



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้ยางพาราและ
ถ่านไม้ยางพารา

Adsorption of Sulfide in Phetchaburi Municipal Wastewater by Rubberwood and
Rubberwood Charcoal

نامผู้วิจัย นายกิตติพงษ์ กาวิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์คันตา ตั้งคณาภิรักษ์, วท.ม.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา

Adsorption of Sulfide in Phetchaburi Municipal Wastewater by Rubberwood and
Rubberwood Charcoal

โดย

นายกิตติพงศ์ กาวิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติพงศ์ กาวัน 2555: การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วย
ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พนธ์ ตั้งกณานุรักษ์, Ph.D. 94 หน้า

ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราสามารถถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับชีวมวลที่มีต้นทุนต่ำในการ
กำจัดซัลไฟด์ในน้ำเสียซึ่งซัลไฟด์ที่เหลือหลังจากการดูดซับถูกตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าเลือก
จำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ โดยศึกษาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ
ซัลไฟด์และไอโซเทอร์ม ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ ได้แก่ พีเอช ความเร็วรอบในการ
เขย่า ระยะเวลาในการเขย่า ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์
เริ่มต้นและปริมาณของตัวดูดซับ ผลการศึกษาพบว่า ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ปริมาณ
ชนิดละ 1 กรัม มีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ คือ ค่าพีเอช 6.5 ความเร็วรอบใน
การเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 60 และ 90 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาสัมผัส
30 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม้อย่างพาราและ
ถ่านไม้อย่างพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 62.09 และ 83.24 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการ
ดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช
จากการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่า ไม้อย่างพาราและ
ถ่านไม้อย่างพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 62.91 และ 85.48 ตามลำดับสำหรับการทดลอง
แบบแบตช์ และสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 59.43 และ 80.29 ตามลำดับสำหรับการนำ
ไปประยุกต์ใช้จริงและยังสามารถกำจัดความขุ่น ซัลเฟต ซีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็ง
ทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไบโอมและน้ำมัน ในน้ำเสียของ
เทศบาลเมืองเพชรบุรีได้

Kittipong Kawin 2012: Adsorption of Sulfide in Phetchaburi Municipal Wastewater by Rubberwood and Rubberwood Charcoal. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment.
Thesis Advisor: Associate Professor NiponTungkananuruk, Ph.D. 94 pages.

Rubberwood and rubberwood charcoal can be used as low cost and available bioadsorbent for the removal of sulfide from wastewater. The remained sulfide after adsorption can be determined by silver sulfide selective electrode. Batch experiments were carried out for studying adsorption condition and isotherm. Operating variables studies were pH, mixing speed, shaking time, contact time, concentration of sulfide and adsorbent dose. The optimal conditions were found at pH 6.5, 50 rpm of mixing speed, 60 min of shaking time for rubberwood and 90 min for rubberwood charcoal, 30 min of contact time in 600 mg/L of sulfide. Under these conditions, 62.09 % and 83.24 % of sulfide were adsorbed by rubberwood and rubberwood charcoal, respectively. The adsorption in batch process of rubberwood and rubberwood charcoal were conformed to Freundlich behaviors. From this condition, rubberwood and rubberwood charcoal can remove sulfide in Phetchaburi Municipal Wastewater at 62.91% and 85.48 %, respectively. Field experiments show that sulfide was removed from the wastewater at 59.43 % and 80.29 % by rubberwood and rubberwood charcoal, respectively. It was also found that turbidity, sulfate, COD, electro conductivity, total dissolved solids, total suspended solid, total solid and fat oil and grease can be removed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้
สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ
และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณาภิรักษ์ กรรมการร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและ
ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่
ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา
สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรีที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการ
วิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่ช่วยเหลือและให้
คำแนะนำในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพ่อณรงค์ กาวินและคุณแม่หม่อมหลวง มหาวงศนันท์ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
ให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงขอบคุณพี่ๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 32 และเพื่อนๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 33 ที่ให้ความ
ช่วยเหลือในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กิตติพงษ์ กาวิน

มกราคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	81
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ก่อให้เกิดอันตราย ต่อมนุษย์	12
2	แสดงคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด	31
3	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	48
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	50
5	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	51
6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	53
7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	54
8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์	56
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่าน ไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์	60
10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง	64
11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงด้วย ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	65
12	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาล เมืองเพชรบุรี	66
13	การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมือง เพชรบุรีด้วย ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราโดยทำการทดลองแบบแบตช์	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีหลังการ ดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยทำการทดลอง แบบแบตช์	68
15	การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมือง เพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยการนำไปประยุกต์ ใช้จริง	69
16	คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีหลังการ ดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา โดยการนำไป ประยุกต์ใช้จริง	70
17	การดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราจากการฟื้นฟู สภาพหลังผ่านการใช้งาน	71
18	สภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและ ถ่านไม้อย่างพารา จากการทดลองแบบแบตช์	73
19	ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา	75
ตารางผนวกที่		
1	กราฟมาตรฐานซัลไฟด์ด้วยวิธีโพเทนชิโอเมทรีในสารละลายมาตรฐาน ซัลไฟด์ 0.1 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	83
2	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ไม้อย่างพารา	83
3	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ถ่านไม้อย่างพารา	84
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ของไม้อย่างพารา	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา	85
6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ของไม้ยางพารา	85
7	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา	86
8	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ของไม้ยางพารา	86
9	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ของถ่านไม้ยางพารา	87
10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ไม้ยางพารา	87
11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ถ่านไม้ยางพารา	88
12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับ ซัลไฟด์	88
13	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านไม้ยางพารากับร้อยละการ ดูดซับซัลไฟด์	89
14	การนำสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบแบตช์มาดูดซับซัลไฟด์ ด้วยไม้ยางพารา ทำการทดลอง 7 ชั่วโมง	89
15	การนำสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบแบตช์มาดูดซับซัลไฟด์ ด้วยถ่านไม้ยางพารา ทำการทดลอง 7 ชั่วโมง	90
16	ไอโซเทอร์มการดูดซับของไม้ยางพารา	90
17	ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านไม้ยางพารา	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อ การนำไปประยุกต์ใช้จริงของไม้อย่างพารา	91
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อ การนำไปประยุกต์ใช้จริงของถ่านไม้อย่างพารา	92
20	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อ การนำไปประยุกต์ใช้จริงของไม้อย่างพารา	92
21	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อ การนำไปประยุกต์ใช้จริงของถ่านไม้อย่างพารา	93
22	การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมือง เพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยทำการทดลองแบบ แบตช์ 7 ชั่วโมง	93

สารบัญภาพ

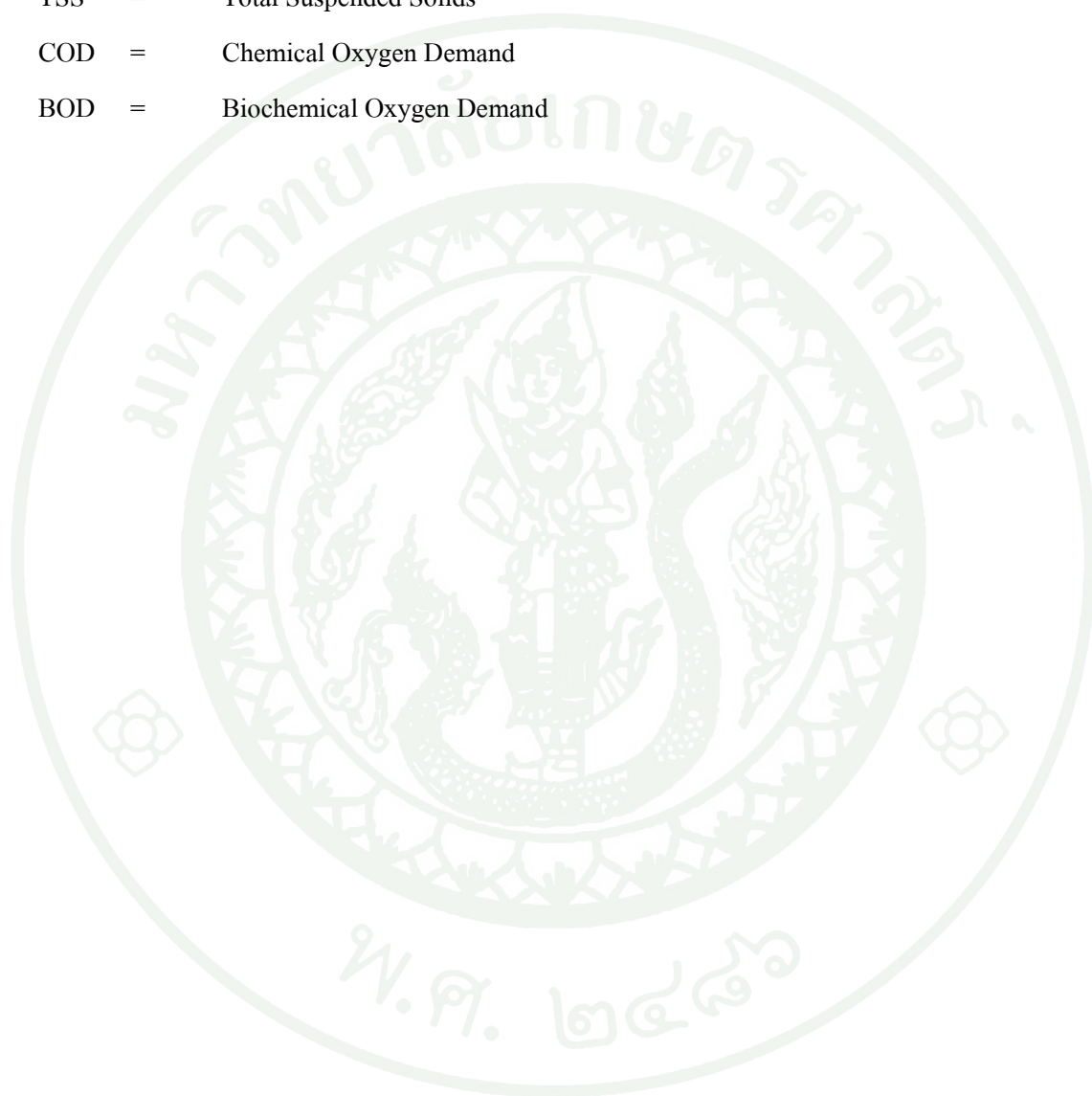
ภาพที่		หน้า
1	วัฏจักรเซลล์เฟอรัส	7
2	การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลไฟด์ที่ระดับพีเอชต่างๆ	10
3	ภาพตัดขวางของท่อระบายน้ำเสียแสดงการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำเสียที่อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนและการเกิดกรดซัลฟิวริกที่ผนังด้านบนของท่อ ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ crown corrosion	13
4	แสดงขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์	16
5	แรงดึงดูระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	19
6	แรงดึงดูระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	20
7	แรงดึงดูระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	20
8	การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้นและสี่ชั้น	21
9	การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	23
10	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	24
11	กราฟความชื้นระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	26
12	แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	27
13	การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	27
14	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	28
15	คั่นยางพารา	32
16	การเตรียมตัวดูดซับ (ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา)	37
17	ตัวดูดซับที่ใช้ในการวิจัย (ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา)	38
18	การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์	39
19	การปรับพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์	40
20	การเขย่าด้วยเครื่องเขย่า	41
21	การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	อุปกรณ์สำหรับการทดลองการดูดซับซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง	44
23	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี	45
24	กราฟมาตรฐานซัลไฟด์	47
25	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและ ถ่านไม้ยางพารา	48
26	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	49
27	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	51
28	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	52
29	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์กับ ร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา	54
30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์	55
31	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของแลงเมียร์ด้วยไม้ยางพารา	58
32	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของฟรุณดิชด้วยไม้ยางพารา	58
33	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์	60
34	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของแลงเมียร์ด้วยถ่านไม้ยางพารา	61
35	ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของฟรุณดิชด้วยถ่านไม้ยางพารา	62
36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ใน สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง	63
37	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ใน สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงด้วยไม้ยางพารา และถ่านไม้ยางพารา	64
38	การฟื้นฟูสภาพไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราล้างผ่านการใช้งาน	72

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DO	=	Dissolve Oxygen
TDS	=	Total Dissolve Solids
TSS	=	Total Suspended Solids
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand



การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้ยางพาราและ ถ่านไม้ยางพารา

Adsorption of Sulfide in Phetchaburi Municipal Wastewater by Rubberwood and Rubberwood Charcoal

คำนำ

ปัญหาหนึ่งที่พบเสมอในน้ำเสียชุมชน คือ การส่งกลิ่นเน่าเหม็นอันเนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนหรือมีออกซิเจนอยู่น้อย ซึ่งมักจะพบในท่อน้ำทิ้งที่เป็นระบบปิดทำให้มีอากาศไม่เพียงพอหรือมีการกักเก็บน้ำเสียไว้ในท่อเป็นเวลานาน แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลกระทบต่อระบบท่อรวบรวมน้ำเสีย เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับความชื้นภายในท่อ ได้เป็นกรดซัลฟิวริกมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนทำให้ท่อส่งน้ำเสียเกิดความเสียหายได้ และนอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถแตกตัวให้ซัลไฟด์ไอออน ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ เกิดเป็นตะกอนโลหะซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำและมักจะมีสีดำ จึงทำให้น้ำเสียมีสีดำและส่งกลิ่นเหม็น อีกทั้งการได้รับสารซัลไฟด์เข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะทำให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจ เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และเกิดอาการระคายเคืองได้ โดยแหล่งน้ำเสียที่ผู้วิจัยสนใจศึกษา คือ น้ำเสียจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีซึ่งได้มีการนำระบบรวบรวมน้ำเสียมาใช้ในการรวบรวมน้ำเสียจากอาคาร บ้านเรือน โรงพยาบาล และตลาดเข้าสู่กระบวนการบำบัดเพื่อลดสารพิษและปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป โดยที่ระบบท่อรวบรวมน้ำเสียนี้จะทำการฝังไว้ใต้ดิน ด้วยระยะทางจากจุดรวบรวมน้ำเสียจนถึงระบบบำบัดเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียภายในท่อนาน อีกทั้งเป็นท่อดปิด

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการช่วยบำบัดซัลไฟด์ในน้ำเสีย โดยใช้วิธีการดูดซับซัลไฟด์ด้วยวัสดุดูดซับจากธรรมชาติซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจ เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมี และยังเป็น การนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย โดยเฉพาะวัสดุธรรมชาติที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว เช่น เศษชิ้นส่วนไม้ยางพาราที่หักและ โคนล้มตามธรรมชาติอันเนื่องจาก ลม ฝน ภัยธรรมชาติ และอายุของต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งมีเป็นจำนวนมากในสวนยางพาราทุกแห่ง เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์

จากทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้วิจัยจึงนำเศษชิ้นส่วนไม้ยางพารามาเป็นวัสดุ
ดูดซับและมีการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยการนำไม้ยางพารามาเผาเป็นถ่าน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งไปสู่การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไม้ยางพาราและถ่าน
ไม้ยางพารามาใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียเพื่อปรับปรุงและบำบัดคุณภาพของน้ำทิ้งให้ดีขึ้น
ก่อนปล่อยสู่แหล่งธรรมชาติต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำผลการศึกษาวิจัยไปใช้และเผยแพร่ให้เกิด
การนำไปปฏิบัติจริงในชุมชนต่อไป



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา
2. นำสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี



การตรวจเอกสาร

1. น้ำเสีย

น้ำเสีย (wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น การชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นกิจกรรมของมนุษย์ทั้งสิ้น ผลจากการใช้น้ำในกิจกรรมเหล่านั้นจะทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ (เสริมพล และ ไชยยุทธ, 2525)

1.1 ประเภทของน้ำเสีย

ประเภทของน้ำเสียสามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากการเกษตรและน้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (Ramalho, 1977)

1.1.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater) น้ำเสียประเภทนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากสถานที่ต่างๆ ได้แก่ อาคารที่พักอาศัย สถานประกอบการ ตลาด ร้านค้า โรงมหรสพ โรงแรม สำนักงาน เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้ล้วนเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระล้างร่างกาย การล้างภาชนะอุปกรณ์ การซักเสื้อผ้า การขับถ่าย เป็นต้น สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้จะมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาด เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียจากชุมชนแต่ละแห่งก็จะมีลักษณะและปริมาณที่ต่างกันออกไป

1.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) สิ่งสกปรกในน้ำเสียมีลักษณะแตกต่างกันออกไปมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับการใช้งานและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากส่วนต่างๆ ของกระบวนการการผลิต เช่น น้ำหล่อเย็น น้ำล้างวัตถุดิบ น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องจักร เป็นต้น

1.1.3 น้ำเสียจากการเกษตร (agricultural wastewater) ได้แก่ น้ำเสียจากการเพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์โดยเพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่ทำเป็นลักษณะของอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา กุ้ง เป็นต้น

1.1.4 น้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (storm sewage) ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลนองไปตามพื้นดิน น้ำเสียประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านระบบบำบัดสามารถปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำได้

1.2 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนยังสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

1.2.1 sanitary wastewater คือ น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากบ้านเรือนซึ่งรวมทั้งน้ำทิ้งจากห้องน้ำห้องครัวและน้ำซักเสื้อผ้า

1.2.2 domestic wastewater คือ น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากชุมชนซึ่งรวมถึงน้ำทิ้งของบ้านเรือนตลาดและโรงพยาบาล

1.2.3 municipal wastewater คือ น้ำเสียที่อยู่ในท่อน้ำเสียของเทศบาลเมืองตามปกติแล้วจะมีแต่น้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากชุมชนแต่บางแห่งเทศบาลอนุญาตให้โรงงานอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมย่อยถ่ายน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำรวมกับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้น้ำเสียในท่อระบายน้ำจึงมีความสกปรกมากขึ้น

1.2.4 combined wastewater คือ น้ำเสียซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียจากชุมชนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและน้ำล้นผิวถนน (storm water runoff) คือ น้ำเสียที่อยู่ในท่อระบายน้ำของกรุงเทพมหานคร (เปี่ยมศักดิ์, 2539)

1.3 ลักษณะและส่วนประกอบของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ขนาดต่างๆ ปะปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญที่สุด คือ สารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้และใช้น้ำเสียเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ดังนั้น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจึงเติบโตได้เร็วมาก (สุรสวัสดิ์, 2542)

สารอินทรีย์ที่มักปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิกลิน ไขมัน สบู่ ผงซักฟอกต่างๆ ทั้งชนิดที่ย่อยสลายได้ยากโดยปฏิกิริยาชีวเคมี (hard detergent) และชนิดที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี (soft detergent) ส่วนสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะประกอบไปด้วยเกลือและแร่ธาตุต่างๆ และน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกลางคือมี pH ไม่ต่างจาก 7 มากนัก (เกรียงศักดิ์, 2539)

เปี่ยมศักดิ์ (2539) กล่าวว่า สิ่งที่ควบคุมลักษณะและส่วนประกอบของน้ำเสียที่มาจากแหล่งชุมชนได้แก่

1.3.1 ลักษณะของชุมชนถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลจำกัดจะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกมากในทางกลับกันถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลสูงจะทำให้มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกไม่มากนัก

1.3.2 ระบบท่อระบายน้ำถ้ามีการวางท่อระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนแยกกับน้ำล้างผิวถนนหรือผิวดินและไม่มีน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย่อยมาปะปนแล้วความเข้มข้นและส่วนประกอบของน้ำเสียจะคงที่แต่ถ้าเป็นระบบแบบ municipal และ combined wastewater แล้วจะมีความเข้มข้นและส่วนประกอบไม่คงที่หรือถ้ามีการรั่วไหลออกไปหรือเข้ามาของน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเปลี่ยนแปลงได้นอกจากนี้ความยาวของระบบท่อก็มีบทบาทที่สำคัญถ้ามีระบบท่อที่ยาวเกินไปจะทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้นภายในท่อและก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นตามมา

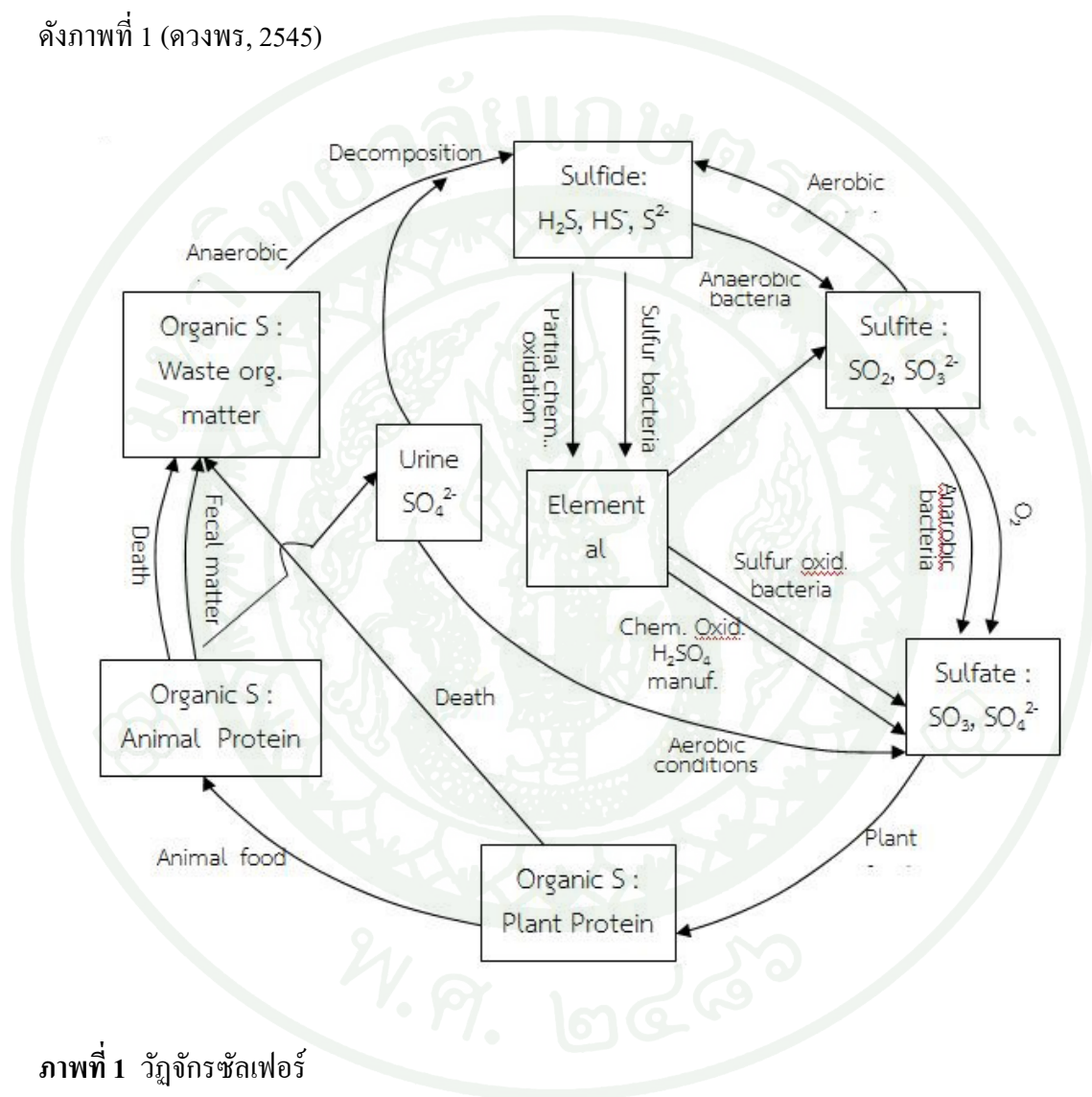
1.3.3 อัตราการไหลภายในท่อในแต่ละวันอัตราการไหลอาจไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเสียได้

2. สารประกอบซัลไฟด์

2.1 วัฏจักรซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) เป็นธาตุที่มีปริมาณมากภายในโลกดังนั้นจึงไม่ค่อยพบว่าซัลเฟอร์เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญซัลเฟอร์มีค่า oxidation level ได้หลายค่าไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และจากปฏิกิริยาการออกซิไดส์และรีดิวซ์โดยจุลินทรีย์เป็นตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนของค่า oxidation level ของธาตุซัลเฟอร์ภายในสารประกอบต่างๆ ก่อให้เกิดวัฏจักร

ซัลเฟอร์จุลินทรีย์สามารถกำจัดซัลเฟอร์ออกจากสารอินทรีย์ ถ้าหากเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนการกำจัดซัลเฟอร์ (desulfurization) ออกจากสารอินทรีย์จะทำให้เกิดซัลเฟต (SO_4^{2-}) แต่ถ้าเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนจะได้แก๊สไข่เน่า (H_2S) แก๊สไข่เน่าอาจเกิดจากแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟต คือ ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในการหายใจแบบไร้ออกซิเจนการสะสมของแก๊สนี้มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้เป็นโลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ดังภาพที่ 1 (ดวงพร, 2545)



ภาพที่ 1 วัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา: Clair *et al.* (2003)

2.2 ที่มาของสารประกอบซัลไฟด์

สารประกอบซัลไฟด์ เป็นสารที่พบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ตามแหล่งน้ำแร่ร้อน น้ำพุร้อน ตะกอนภายใต้ทะเลสาบตะกอนในมหาสมุทร และภูเขาไฟ เป็นต้น (Oxychem, 2009) นอกจากนี้แหล่งสะสมซัลเฟตในดิน เช่น ชั้นหินยิบซัม (gypsum salt layers) และในแหล่งน้ำ เช่น ทะเลและมหาสมุทร เป็นแหล่งผลิตซัลไฟด์ได้เช่นกัน ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารอินทรีย์อย่างเพียงพอและเป็นสภาวะไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ประเภท sulfate reducing bacteria (SRB) สามารถเจริญเติบโตและเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นสารประกอบซัลไฟด์ (Department of Public Health Environmental Health Section [DPH], 2009) รวมถึงการย่อยสลายของซากสัตว์ และสารประกอบกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulfur amino acid) เช่น cysteine methionine cystine เป็นต้น จะถูกจุลินทรีย์ประเภท *Clostridia* และ *Vellionella* ในสภาวะไร้ออกซิเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์ได้ (Gabriel, 1999)

นอกจากกระบวนการทางธรรมชาติแล้ว การกระทำของมนุษย์มีผลทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบซัลไฟด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่นกัน คือ กระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมบางประเภท จากนิคมอุตสาหกรรมบางแห่ง เช่น การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม การเผาถ่านหิน การผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ และการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2008)

2.3 รูปแบบของสารประกอบซัลไฟด์

สารประกอบซัลไฟด์สามารถจำแนกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.3.1 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide; H_2S)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถคงอยู่เป็นแก๊สที่ละลายในน้ำสมบัติที่มีขี้ของ โมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้มันสามารถละลายน้ำได้ในรูปของของเหลวไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่เป็นเหตุให้เกิดกลิ่นอย่างไรก็ตามไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถออกจากเฟสของแก๊สที่ละลายในน้ำไปเป็นแก๊สอิสระได้ จะสามารถทำให้เกิดกลิ่นและการกัดกร่อนได้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่มีสี แต่เป็นแก๊สที่มีกลิ่นฉุนรุนแรงซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยประสาทรับกลิ่นของมนุษย์

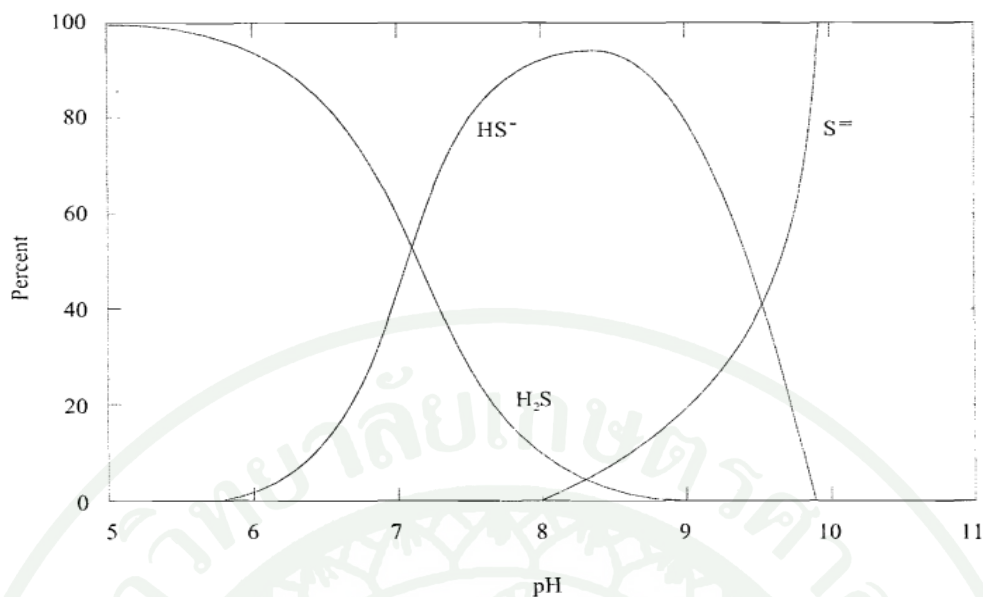
2.3.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน (hydrogen sulfide anion; HS^-)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน จะมีประจุลบ 1 เป็นเหตุให้ประจุลบหนึ่งของซัลไฟด์ไอออนถูกจับโดยประจุบวกของไฮโดรเจนไอออนไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจะไม่มีสีไม่มีกลิ่นซึ่งสามารถคงอยู่ได้เพียงในสารละลายโดยไม่ทำให้เกิดกลิ่น

2.3.3 ซัลไฟด์ไอออน (sulfide ion; S^{2-})

ซัลไฟด์ไอออนมีประจุลบ 2 ซึ่งปฏิกิริยาแรกเกิดขึ้นโดยการให้อิเล็กตรอนวงนอก (outer shell) 2 ตัวซัลไฟด์ไอออนเป็นไอออนที่ไม่มีสีในสารละลายและไม่มีกลิ่น

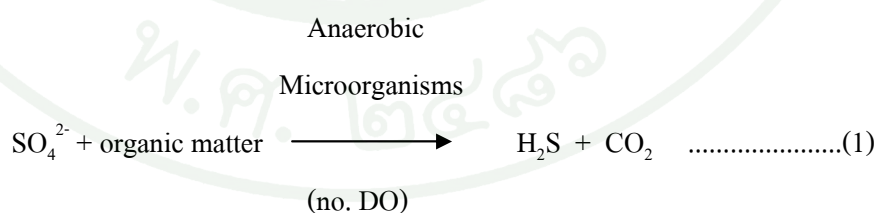
ปริมาณแต่ละชนิดทั้งไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออน และซัลไฟด์ไอออน จะขึ้นอยู่กับพีเอชและความเข้มข้นของสารละลายนั้นๆ เช่น ที่ค่าพีเอช 6 จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 95 และมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนร้อยละ 0.1 เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 7 ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 50 ที่ค่าพีเอช 8 จะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนถึงร้อยละ 90 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไอออนจะเปลี่ยนไปเป็นซัลไฟด์ไอออนเป็นร้อยละ 20 ที่พีเอช 9 และที่พีเอช 10 สารละลายจะประกอบด้วยอนุมูลของซัลไฟด์ไอออนเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบซัลไฟด์ที่ระดับพีเอชต่างๆ

ที่มา: Oliver *et al.* (1996)

สารประกอบซัลไฟด์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะมาจากการรีดิวซ์ซัลเฟตไอออนที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่มี DO ต่ำหรือไม่มีเลย แต่มีค่าของ BOD สูง จุลินทรีย์พวก Sulfate reducing bacteria (SRB) ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Deulfotomaculum*, *Desulfobulbus*, *Desulfomonas*, *Desulfobacter* และ *Thermodesulfobacterium* สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตไอออนผลการรีดิวซ์ซัลเฟตไอออนจะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการที่ (1)



2.4 ความเป็นพิษของสารประกอบซัลไฟด์

2.4.1 ความเป็นพิษของสารประกอบซัลไฟด์ต่อสุขภาพของมนุษย์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแก๊สที่มีความเป็นพิษมาก ความเป็นพิษขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับ อาจถึงขั้นทำให้เสียชีวิตได้เมื่อได้รับในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น โดยทั่วไปปริมาณหรือความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศที่คนเราสามารถรับกลิ่นได้จะอยู่ระหว่างช่วง 0.11-0.33 ppb ($0.15-0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยมีปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดในบรรยากาศอยู่ระหว่าง 0.02-0.07 ppb ($0.03-0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (DPH, 2009)

แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ผ่านเข้าไปในระบบหายใจ จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ไปจับตัวกับเมทฮีโมโกลบิน (methaemoglobin) ได้สารสีเขียวของซัลไฟเมทฮีโมโกลบิน (sulphmethaemoglobin) (Philippe *et al.*, 2011) มีผลทำให้ฮีโมโกลบินในเลือดทำการแลกเปลี่ยนออกซิเจนไม่ได้ ทำให้ร่างกายลำเลียงออกซิเจนซึ่งจะนำไปใช้ในการทำกิจกรรมของเซลล์ทั่วร่างกายได้น้อยลง ทำให้ร่างกายเกิดภาวะขาดออกซิเจนร่างกายไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปยังเซลล์เพื่อทำให้เกิดพลังงานของเซลล์ออกมาใช้ทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ร่างกายจึงไม่มีพลังงานจึงทำให้เกิดอาการอ่อนเพลียและถ้าได้รับปริมาณมากร่างกายจะขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง ทำให้ระบบประสาทสั่งงานให้ร่างกายเป็นลม สลบไป นอกจากนี้อาจร้ายแรงถึงขั้นเสียชีวิต เพราะร่างกายไม่มีออกซิเจนมาหล่อเลี้ยงการสร้างพลังงานของร่างกาย ซึ่งระดับความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์

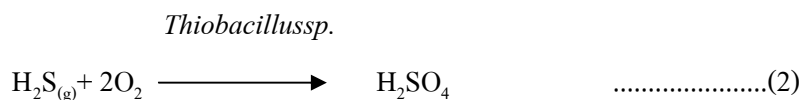
ส่วนในล้านส่วน (ppm)	ผลกระทบต่อมนุษย์
0.05	ได้กลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์
0.1	ระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจ
1	เกณฑ์ต่ำสุดที่สามารถสูดดมได้ (ในช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมง)
15	แสดงอาการในระยะเวลานั้นๆ (หลังได้รับสาร 15 นาที)
30	แก๊สมีกลิ่นรุนแรง ไม่สามารถทนได้
50	เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดหัว ระคายเคืองตา
	เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจและประสาทรับกลิ่น ทำให้หายใจลำบากและเจ็บคอ
	รบกวนการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้อ่อนไม่หลับ รู้สึกเหนื่อยล้า เหนื่อยชา
	หากได้รับเป็นเวลานานๆ 24-72 ชั่วโมง จะทำให้เกิดน้ำคั่งในปอด และเป็นอันตรายถึงตายได้
150	ระบบประสาทในการรับกลิ่นเสียหายยับยั้ง
300	หมดสติ เมื่อหายใจรับเข้าไปในช่วงระยะเวลานั้นๆ
500	หมดสติอย่างรวดเร็ว เมื่อหายใจรับเข้าไปในปริมาณเล็กน้อย
600 – 1,000	ระบบการหายใจหยุดลงอย่างยับยั้ง ทำให้ตายได้ ภายใน 2-3 นาที

ที่มา: The Oceanic Institute and The University of Hawaii (2002)

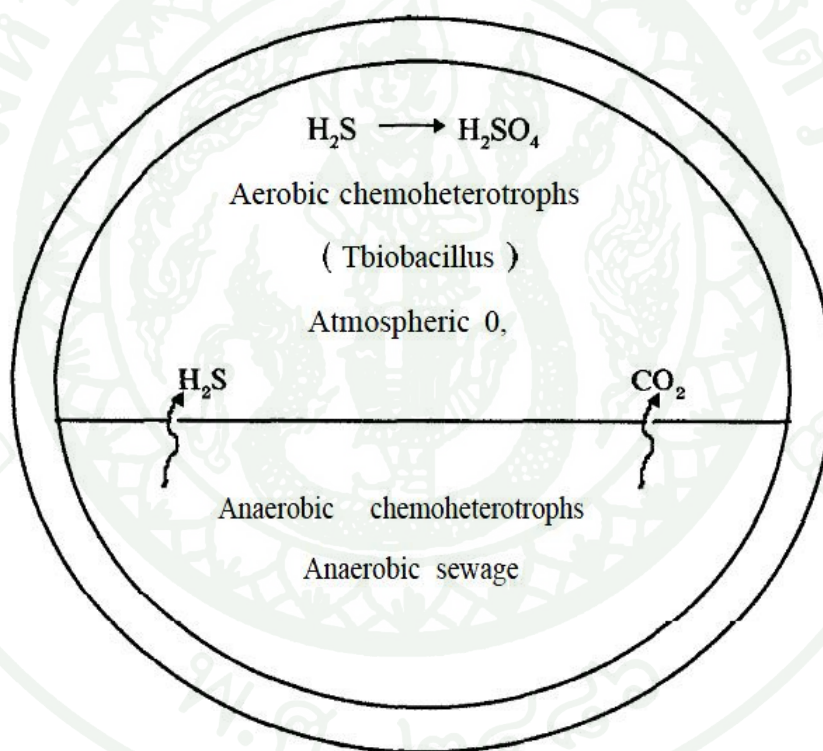
2.4.2 ความเป็นพิษของสารประกอบซัลไฟด์ต่อสิ่งแวดล้อม

แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสาเหตุสำคัญของการผุกร่อนเสียหายของท่อคอนกรีตที่ใช้ระบายน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งในท่อที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำนานๆและไม่มีระบบไหลเวียนอากาศเรียกปรากฏการณ์การผุกร่อนนี้ว่า crown corrosion ดังภาพที่ 3 โดยที่ซัลเฟตในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อระเหยขึ้นไปแล้วจะละลายในหยดน้ำที่เกาะอยู่ตามผนังด้านบนของท่อน้ำเสียจากนั้น thiobacillus aerobic bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอยู่ตามผนังท่อและผิวหน้าอื่นๆ เนื้อท่อส่งน้ำเสียและโครงสร้างอื่นๆ มีความสามารถ

บริเวณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และออกซิไดส์ไปเป็นกรดซัลฟิวริกกระบวนการนี้เกิดขึ้นในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงและมีออกซิเจนในบรรยากาศ ดังสมการที่ (2)



กรดซัลฟิวริกที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ค่าพีเอชต่ำประมาณ 2 ซึ่งสามารถกัดกร่อนท่อคอนกรีตได้ความเสียหายของท่อคอนกรีตจากปรากฏการณ์นี้จะยิ่งรุนแรงมากขึ้นเมื่อน้ำในท่ออยู่ในสถานะที่นิ่งหรือมีการไหลช้ามาก



ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางของท่อระบายน้ำเสียแสดงการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากน้ำเสียที่อยู่ในสถานะไร้ออกซิเจนและการเกิดกรดซัลฟิวริกที่ผนังด้านบนของท่อ ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ crown corrosion

ที่มา: กรรณิการ์ (2549)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ด้วยวิธีโพเทนชิโอเมทรี

โพเทนชิโอเมทรี (potentiometry) เป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าที่เซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นชนิดเซลล์กัลวานิกคือสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์เกิดปฏิกิริยาได้เองที่ผิวของขั้วไฟฟ้าโดยไม่ต้องมีการให้ศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอกแล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วได้แก่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) และขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก (working or indicator electrode) ที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นเป็นสภาวะที่แทบไม่มีการไหลของกระแสในวงจรเลยแผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้าของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอเมทรีเขียนได้ดังนี้

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง / สะพานเกลือ / สารละลายที่ต้องการ / ขั้วไฟฟ้าทำงานหรือขั้วไฟฟ้าชี้บอก

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

$$E_{\text{obs}} \text{ หรือ } E_{\text{cell}} = E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดย E_{ind} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทำงานซึ่งเป็นไปตามสมการเนินสต์

E_{ref} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเช่นขั้วคาโลเมลล์อิ่มตัวมีค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงเท่ากับ 0.242 V

ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซัลเฟอร์ซัลไฟด์ (silver sulfide selective electrode)

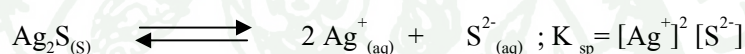
โดยที่ขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซัลเฟอร์ซัลไฟด์จัดเป็นขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะไอออน (ion selective electrode, ISE) ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นเยื่อที่เป็นสารประกอบซัลเฟอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ดังภาพที่ 4 โดยที่ Ag_2S จะเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยมากมีค่าคงที่ของการละลายต่ำ (K_{sp} ของ $\text{Ag}_2\text{S} = 6.0 \times 10^{-50}$) มีความคงตัวสูงทนต่อสารพวกตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ทำเป็นแผ่นเยื่อได้โดยการอัดสารประกอบ Ag_2S ภายใต้อันดันสูงให้มีลักษณะแผ่นเยื่อบางๆ

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

ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยน Ag^+ ระหว่างแผ่นเยื่อกับสารละลายตัวอย่าง เขียนสมการเนินสต์ได้ดังนี้

$$E_{\text{cell}} = K + 0.05916 \log [\text{Ag}^+] \quad \dots\dots\dots(4)$$

และจากสมการการละลายของ Ag_2S และค่า K_{sp} เขียนได้ดังนี้



จะได้

$$[\text{Ag}^+] = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}}{[\text{S}^{2-}]}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

สามารถนำไปหาความเข้มข้นของ S^{2-} ได้ดังต่อไปนี้

$$E_{\text{cell}} = K + 0.05916 \log \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}}{[\text{S}^{2-}]}}$$

$$E_{\text{cell}} = K + \frac{0.05916}{2} \log K_{\text{sp}} - \frac{0.05916}{2} \log [\text{S}^{2-}]$$

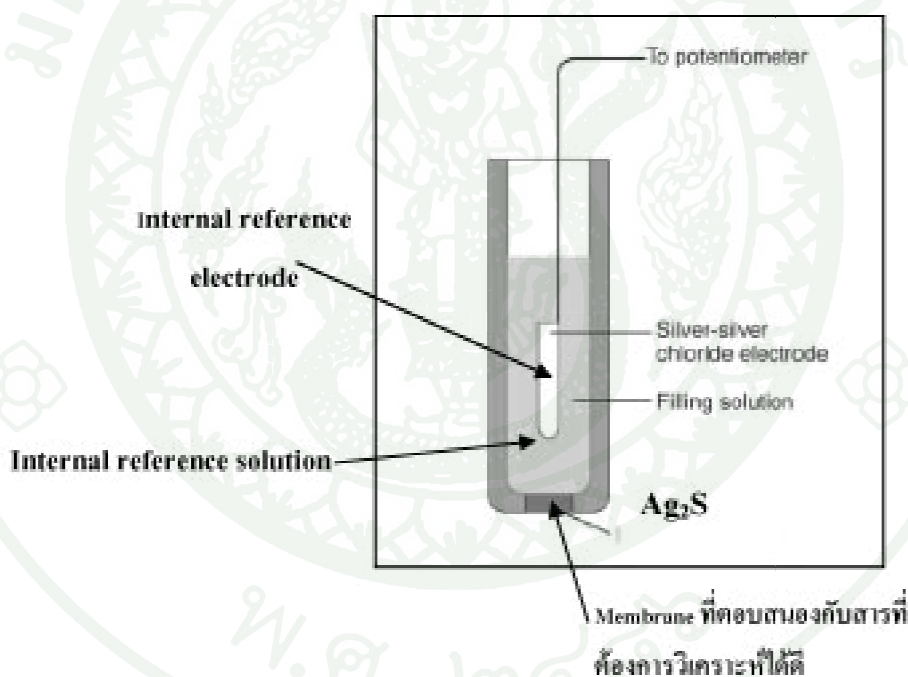
$$E_{\text{cell}} = K' - \frac{0.05916}{2} \log [\text{S}^{2-}]$$

โดย

$$K' = K + \frac{0.05916}{2} \log K_{\text{sp}}$$

จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของซัลไฟด์ด้วย ดังนั้น สามารถนำขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ไปตรวจวัดหาปริมาณได้ทั้ง Ag^+ และ S^{2-} โดยไม่ตอบสนองต่อไอออนอื่นๆ และในการตรวจวัดหาปริมาณซัลไฟด์จะต้องมีการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลาย alkaline antioxidant reagent (AAR) เพื่อยับยั้งไม่ให้แบคทีเรียมาทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ได้

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ในสารละลายตัวอย่างทำได้โดยนำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเติมสารเช่นเดียวกันกับสารละลายมาตรฐานและนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มาเทียบหาความเข้มข้นของซัลไฟด์จากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้หรือเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน



ภาพที่ 4 แสดงขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์

ที่มา: คณิตา (2542)

4. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในรูปแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับแล้วติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งโดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งตัวดูดซับต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดคือ ความพรุน เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ขนาด โครงสร้าง การจัดเรียงตัวและความสม่ำเสมอ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ซึ่งการดูดซับจะเป็นการแยกโมเลกุลหรือคอลลอยด์ออกจากสารละลาย โดยตัวถูกดูดซับจะเกาะบนตัวดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นสามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการไล่โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับไว้ออกไปโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ เปลี่ยนความดัน เปลี่ยนพีเอช เป็นต้น

กระบวนการดูดซับ คือ กระบวนการการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปยังพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างพื้นที่ผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยตัวถูกดูดซับจะไปเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว ซึ่งกระบวนการดูดซับนั้นยังสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร แม่น้ำ เป็นต้น กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนออกจากอากาศและน้ำ ซึ่งการดูดซับน้ำได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน การดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน เป็นต้น

การดูดซับจะทำให้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไว้จะถูกจำกัดความเป็นอิสระในการเคลื่อนย้ายเมื่อเทียบกับโมเลกุลอิสระที่ไม่ถูกดูดซับ โมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับนั้นจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีการย่อยสลายด้วยแสงหรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลที่ถูกดูดซับเอาไว้บนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มอยู่โดยโมเลกุลจะแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงไปยังผิวหน้าของตัวดูดซับ

4.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกที่เกิดขึ้นโดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างในตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

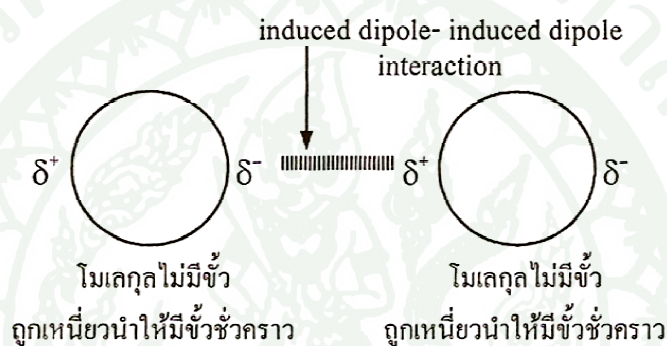
4.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกข้างต้น

4.2 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ของตัวถูกดูดซับบนผิวตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทางกายภาพ (physical force) หรืออาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดได้ทั้งสองแบบ

4.2.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van derwaal force) หมายถึง แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โควาเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โควาเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้วต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

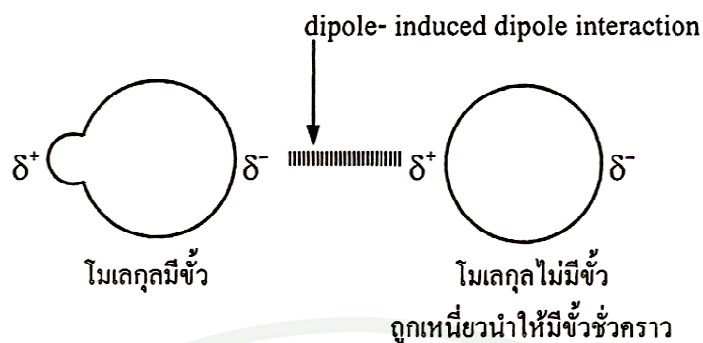
4.2.1.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ที่เกิดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วซึ่งเรียกว่า แรงลอนดอน (London force) เกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลจะเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา แล้วกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอโดยจะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากกว่าปกติ จึงมีสภาพขั้วไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนอีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าเป็นบวก หรือการเกิดโมเลกุลมีขั้วชั่วคราว (induce dipole) ขึ้น ซึ่งขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นจะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงให้มีขั้วขึ้นตาม โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

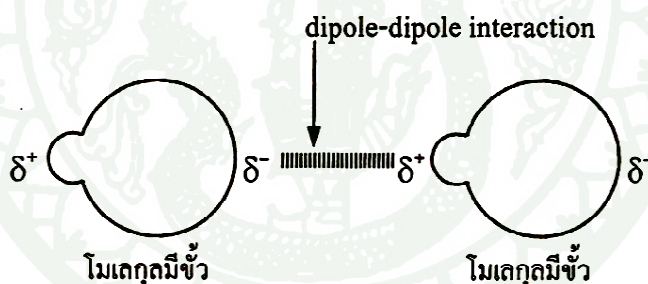
4.2.1.2 แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

4.2.1.3 แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน เรียกว่า แรงไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole attraction) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

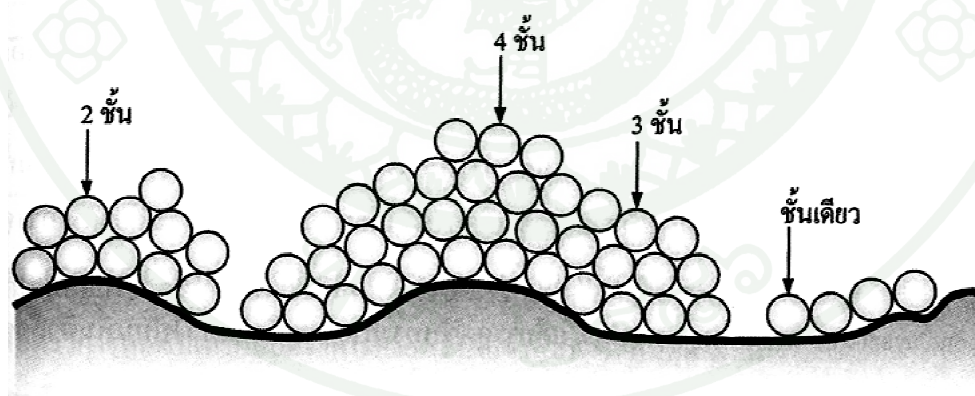
แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงดังกับการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับได้ คือ เกิดการคายสารออก (desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ

4.2.2 แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี จะเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือ พันธะโควาเลนต์ที่มีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และ โปรตอนกับโปรตอน) แรงยึดเหนี่ยวทางเคมีของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้นมาใหม่และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคายสารออก

4.3 รูปแบบของการดูดซับ

การดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

4.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption หรือ physical adsorption หรือ van der waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อนและจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะติดบนผิวตัวดูดซับในลักษณะซ้อนกันหลายชั้น (multilayered) การดูดซับทางกายภาพมักจะเกิดขึ้นในสถานะอุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.3.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าว จะเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง

4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

4.4.1 อัตราการปั่นกววนเพื่อให้มีการดูดซับติดที่ผิวอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านฟิล์มหรือการแพร่เข้าสู่โพรงถ้าอัตราการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับไปยังพื้นผิวตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ แต่ถ้าอัตราการปั่นกววนสูง จะเกิดฟิล์มบาง ทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวและรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าและอัตราการเร็วของการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ

4.4.3 ขนาดและลักษณะของตัวถูกดูดซับซึ่งมีความสำคัญมากต่อการดูดซับและโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายใน ประสิทธิภาพของการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของตัวถูกดูดซับ

4.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับสามารถละลายน้ำได้ลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกดูดซับจะต้องถูกแยกออกน้ำ ดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะถูกดูดซับได้ดี

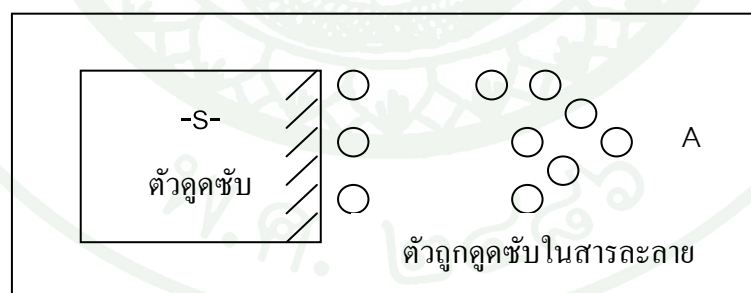
4.4.5 ค่าพีเอชจะมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย

4.4.6 อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับอัตราเร็วของการดูดซับจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ ส่วนความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับอุณหภูมิเพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

4.4.7 ระยะเวลาสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของการดูดซับเพียงช่วงเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาผ่านไปจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ

4.5 สมดุลการดูดซับ

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับเข้มข้น ในช่วงเริ่มต้นตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายออกมา พบว่าอัตราการคายจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับมีค่าเท่ากับปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ



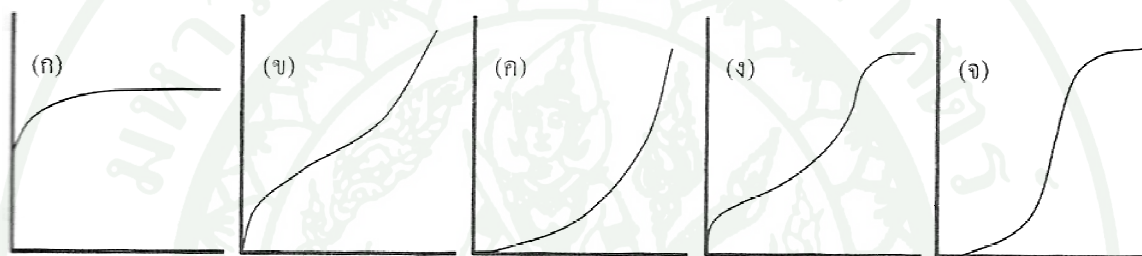
ภาพที่ 9 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

4.6 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือนอยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอน จะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550) อ้างโดย Maronand Prutton (1961)

จากภาพที่ 10 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

ซึ่งสมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สมการ 2 สมการ คือ

4.6.1 สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช (freundlich adsorption isotherm) จะใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) คือ พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดมีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(6)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรูนดิช (freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับโดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots(7)$$

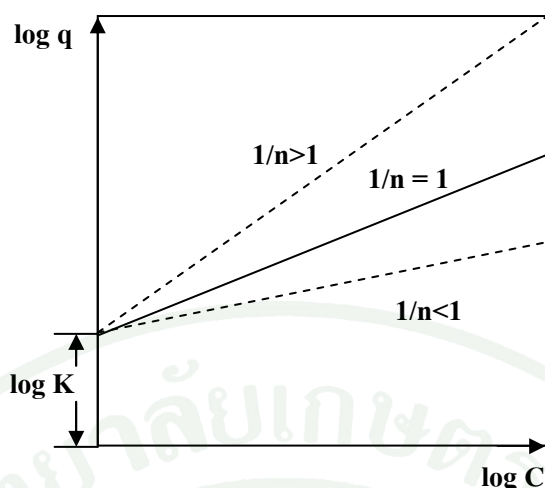
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

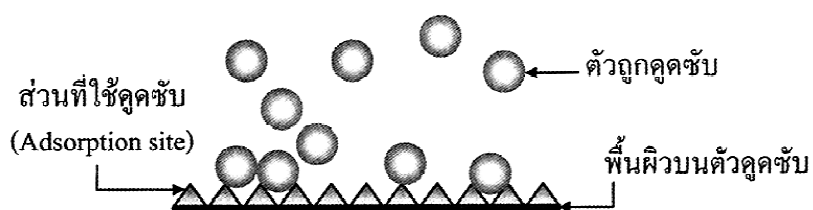
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

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

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

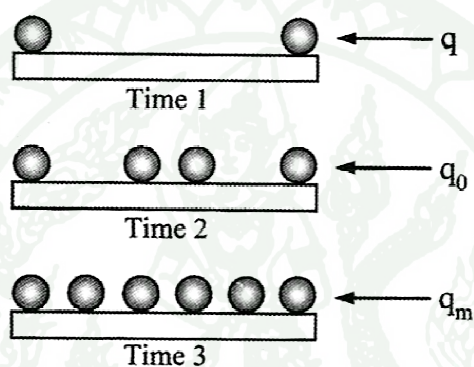
ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มากหรือกล่าวว่ามีพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

4.6.2 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (langmuir adsorption isotherm) จะมีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (monogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับจะไม่เกิดการซ้อนทับกันและเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มี การเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งพื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)



ภาพที่ 13 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

จากความรู้เรื่องสมการการดูดซับ รูปแบบของสมการแลงเมียร์จะใช้สมการสมการการดูดซับเพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (8) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับหรือความสามารถการดูดซับ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

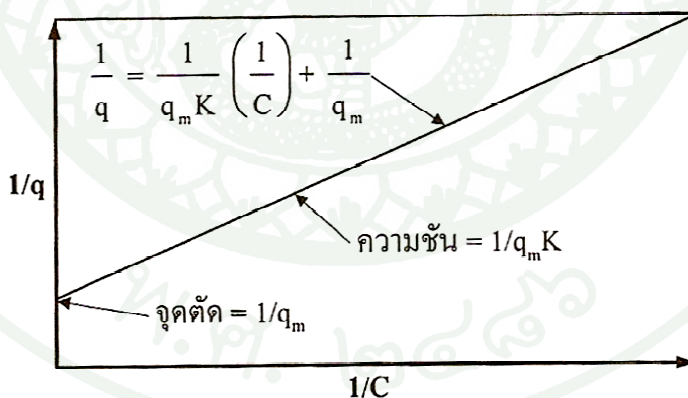
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ

$\frac{1}{Kq_m}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

5. ตัวดูดซับ

5.1 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

5.1.1 สารอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอกติเวเตดซีลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือ คอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์มีขีดจำกัดมาก

5.1.2 ถ่านกัมมันต์ ถือว่าเป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและยังมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม

5.1.3 สารอินทรีย์สังเคราะห์ ตัวอย่างเช่น สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน) ชนิดพิเศษ ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

5.1.4 วัสดุชีวภาพ การนำมาใช้ส่วนใหญ่มักเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางด้านการเกษตร เช่น จี้เลื่อย เปลือกกุ้ง กากกาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) ถั่วแกลบดำ ถ่านจากการเผาต้นไม้ เป็นต้น

5.1.5 สารดูดซับชีวภาพ ตัวอย่างเช่น เซลล์จุลินทรีย์เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือรา สายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

5.2 ตัวดูดซับที่ใช้ในการศึกษา

ไม้ยางพารา (para rubber wood หรือนิยมใช้ว่า rubberwood หรือ parawood) หรือ บางครั้งเรียกอย่างย่อว่า ไม้ยาง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis*. (สมศักดิ์, 2549)

5.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้นยางพาราเป็นต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ สามารถมีอายุยาวนานได้เป็นร้อยๆ ปี ต้นยางพาราเป็นต้นไม้ที่สูงซึ่งสามารถเจริญเติบโตสูงได้มากกว่า 30 เมตร เนื้อไม้ยางพาราจัดเป็นไม้ประเภทไม้เนื้ออ่อน โดยเนื้อไม้มีสีขาวปนเหลืองอยู่ด้านในกลางลำต้น นอกจากนี้จะมีเชื้อเจริญมีลักษณะเป็นเชื้อบางๆ อยู่โดยรอบเนื้อไม้ทำหน้าที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยางพาราและเปลือกต้นยางพาราจะเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเชื้อเจริญออกมาด้านนอกสุด ช่วยป้องกันอันตรายซึ่งเปลือกของต้นยางพารานี้จะมีความสำคัญต่อชาวสวนอย่างมาก เนื่องจากท่อน้ำยางจะอยู่บริเวณนี้ โดยเฉพาะเปลือกด้านในที่ติดอยู่กับเชื้อเจริญจะพบว่า มีจำนวนท่อน้ำยางอยู่มากที่สุด ใบต้นยางพาราจัดเป็นใบประเภทใบประกอบโดยทั่วไป 1 ก้านใบจะมีใบย่อย 3 ใบมีหน้าที่หลักในการปรุงอาหาร การหายใจและการคายน้ำใบต้นยางพาราจะแตกออกมาเป็นชั้นๆ เรียกว่า จัตร ระยะเวลาที่เริ่มแตกใบจนถึงใบเป็นจัตรที่แก่เต็มที่ใช้เวลาประมาณ 2-3 เดือน ซึ่งต้นยางพาราจะผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ยกเว้นต้นยางพาราต้นเล็กที่ยังไม่แตกกิ่งก้านสาขาหรือมีอายุไม่ถึง 3 ปี จะไม่ผลัดใบ ดอกของไม้ยางพารามีลักษณะเป็นช่อมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกันทำหน้าที่ในการผสมพันธุ์โดยจะออกตามบริเวณปลายกิ่งของต้นยางพาราหลังจากที่ต้นยางพาราผลัดใบ ผลต้นยางพารามีลักษณะเป็นพวงโดยปกติจะมี 3 พวง ในแต่ละพวงจะมีเมล็ดอยู่ภายในถ้าเป็นผลอ่อนจะมีสีเขียวแต่ถ้าเป็นผลแก่จะมีสีน้ำตาลและแข็ง เมล็ดของต้นยางพาราจะมีสีน้ำตาลมีลายขาวคล้ายกับเมล็ดละหุ่งยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร หนักประมาณ 3-6 กรัม เมื่อเมล็ดยางพาราล่นลงพื้นดินใหม่ๆ จะมีความสามารถในการงอกได้สูงมาก แต่ความสามารถดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันและน้ำยางพาราเป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองข้นขึ้นอยู่ในท่อน้ำยางเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-45 (สมศักดิ์, 2549)

5.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ยางพาราจะประกอบไปด้วยสารที่สำคัญคือ สารประเภทโพลีแซคคาไรด์ หรือเรียกว่า ไฮโดรเซลลูโลส จะประกอบไปด้วย เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และสารลิกนินไม้ยางพารามีความหนาแน่นพื้นฐานประมาณ 0.56-0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นใยไม้ยางพารามีขนาดประมาณ 1.26 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 0.021 มิลลิเมตร และคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสด โดยจะคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้งประกอบด้วย สารแทรก เช่น แทนนิน ยางน้ำมันไม้ สารที่มีสีอื่นๆ อยู่ ร้อยละ 13.28

เซลลูโลส ร้อยละ 50.63 เพนโทซาน ร้อยละ 17.17 ลิกนิน ร้อยละ 18.06 และเถ้า ร้อยละ 0.86 (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553) นอกจากนี้ยังสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าไม้ยางพาราจะมีค่าความชื้นสูงมาก

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด

Proximate analysis %	แกลบ	ฟางข้าว	ชาน อ้อย	ใบอ้อย	ไม้ ยางพารา	ไผ่ปล้ำ	กะลา ปล้ำ
Moisture	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
Ash	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50
Volatile Matter	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20
Fixed Carbon	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30
Carbon	37.48	38.17	21.33	41.60	25.58	30.82	44.44
Hydrogen	4.41	5.02	3.06	5.08	3.19	3.74	5.01
Oxygen	33.27	35.28	23.29	37.42	24.48	21.61	34.70
Nitrogen	0.17	0.58	0.12	0.40	0.14	0.84	0.28
Sulfur	0.04	0.09	0.03	0.17	0.02	0.08	0.02
Chlorine	0.09	na	na	0.01	0.01	0.11	0.02

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

5.2.3 ลักษณะทางนิเวศวิทยา

ต้นยางพาราชอบขึ้นในดินร่วนที่มีการระบายน้ำได้ดีดินดีและดินนั้น ควรมีค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 4 - 5.5 โดยต้นไม้ยางพาราต้องการฝนขนาดปีละประมาณ 2,000-2,500 มิลลิเมตรและเฉลี่ยฝนตกได้สม่ำเสมอทุกเดือนได้มากเท่าใดยิ่งดีเพราะต้นยางพาราต้องการความชื้นสูงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24-27 องศาเซลเซียส จึงเหมาะที่จะปลูกในระหว่างเส้นขนาน 28 องศาเหนือและ 28 องศาใต้ เช่นเดียวกันกับที่ขึ้นอยู่ในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ อันเป็นถิ่นเดิมรวมทั้งบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยด้วย



ภาพที่ 15 ต้นยางพารา

ที่มา: มุฉนิจพิลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

5.2.4 การใช้ประโยชน์

ไม้ยางพารา ถือเป็นไม้ที่นิยมนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ไม้คุณภาพสูงเนื่องจากคุณสมบัติเด่นของไม้ยางที่เหมาะสมกับการนำมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์ เช่น ความหนาแน่นของเนื้อไม้ สีสันที่สวยงาม การหดตัวน้อย และสามารถตกแต่งผิวได้ง่ายนอกจากนี้ไม้ยางพารายังได้ชื่อว่าเป็นไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม้ยางพารานั้นได้มีการนำส่วนต่างๆ ของต้นยางมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพส่วนประกอบทั้งหมดสามารถนำมาใช้ได้ทุกส่วน ตั้งแต่ยางของต้นไม้อันจนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ตัดไม้ออกมาทำเป็นเฟอร์นิเจอร์

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สร้อยญา และคณะ (2551) ทำการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนซึ่งผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจากกะลามะพร้าวแล้วได้ทำการทดลองแบบแบตช์โดยตรวจวัดซัลไฟด์ที่เหลือด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ พบว่า ประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนจากกะลามะพร้าวมีสภาวะเหมาะสมต่อการดูดซับ คือ พีเอชเท่ากับ 4 ระยะเวลาเขย่าและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของถ่านทั้ง 2 ชนิด เท่ากับ 30 นาที ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์

1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนตัวดูดซับของถ่านทั้ง 2 ชนิดอย่างละ 1 กรัม ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวนี้ ถ่านทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 87.77 และ 90.21 ตามลำดับ และแสดงสภาวะสมดุลที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์

สุณิดา และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียด้วยดินตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี และเทศบาลเมืองเพชรบุรี ทำการทดลองแบบแบตช์โดยตรวจวัดซัลไฟด์ที่เหลือด้วยวิธีไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ของดินตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองสุพรรณบุรีและเทศบาลเมืองเพชรบุรี ได้สภาวะที่เหมาะสมเดียวกันต่อการดูดซับคือ จำนวนตัวดูดซับของดินตะกอนทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 1 กรัม พีเอชเท่ากับ 4 ระยะเวลาเขย่าและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลของดินตะกอนทั้ง 2 ชนิดจะเท่ากับ 30 นาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวนี้ดินตะกอนทั้ง 2 ชนิดสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 87.90 และ 85.54 ตามลำดับ และแสดงสภาวะสมดุลที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์

Haimour *et al.* (2005) ทำการศึกษาการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลาย ด้วย copper oxide (CuO) และ zinc oxide (ZnO) ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ อุณหภูมิ และพีเอช โดยวิเคราะห์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยวิธีไอโอโดเมตริก พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในสารละลาย มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด โดยที่พีเอช 7 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสม copper oxide สามารถดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากที่สุดและจากสภาวะที่เหมาะสม พบว่า กระบวนการดูดซับดังกล่าวสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของเรดลิก-เพเทอร์สันมากกว่าไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

Guo *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนและกระบวนการทางเคมีพร้อมทั้ง เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว วิเคราะห์ซัลไฟด์ที่เหลือด้วยวิธีไอโอโดเมตริก พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก มีค่าการดูดซับมากกว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และการให้ความร้อน ซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 203 169 และ 131 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เท่ากับ 131 มิลลิกรัม

ต่อกรัม และจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า กระบวนการดูดซับดังกล่าวสอดคล้องกับสมการไอโซเทอรัมของฟรุนดลิช

Cosoli *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากแก๊สชีวภาพด้วยซีโอไลต์ 3 ชนิด ได้แก่ FAU NaY และ FAU NaX, MFI และ LTA โดยการจำลองโมเลกุล GCMC และเทคนิคการจำลองพลศาสตร์ของการดูดซับ ในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แรงดันต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพ พบว่าซีโอไลต์ ชนิด FAU NaY ดูดซับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากที่สุด โดยดูดซับได้ 17.9 กิโลแคลลอรีต่อโมล และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนได้ 11.4 และ 7.2 กิโลแคลลอรีต่อโมลตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 pH meter

1.2 เครื่องเขย่า (shaker)

1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001g รุ่น WB-0250003
บริษัท KERM & SOHN GMBH จำกัด

1.4 เครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์พร้อมขั้วไฟฟ้าจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์แบบรวม
(silver sulfide ion - selective combination electrode) รุ่น 461384 บริษัท EUTECH
INSTRUMENTS จำกัด

1.5 ตู้อบ

1.6 ตู้ดูดความชื้น (desiccator)

1.7 เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด

1.8 กระดาษกรองGF/C ขนาด 0.45 ไมครอน

1.9 ถังน้ำพลาสติกขนาดความจุ 20 ลิตร

1.10 ใบพัดกวนที่ต่อกับมอเตอร์ของพัดลม

2. สารเคมี

2.1 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) ชนิดเกรดวิเคราะห์
บริษัท UNI-CHEM จำกัด

2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ชนิดเกรดวิเคราะห์
บริษัท AJAX FINECHEM จำกัด

2.3 โซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide, Na₂S) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท PANREAC
QUIMICA SAU จำกัด

2.4 เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีเตต (ethylenediaminetetra-acetate: EDTA,
C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·2H₂O) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท AJAX FINECHEM จำกัด

2.5 กรดแอสคอร์บิก (l-ascorbic acid, C₆H₈O₆) ชนิดเกรดวิเคราะห์
บริษัท ASIA PACIFIC SPECIALTY CHEMICALS จำกัด

3. วัสดุดูดซับ

3.1 ไม้ยางพารา

3.2 ถ่านไม้ยางพารา

วิธีการ

1. การเตรียมไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา

1.1 นำเศษของไม้ยางพาราที่หักและ โคนตามธรรมชาติที่เก็บได้นำไปตากแดดให้แห้ง แล้วหั่นเป็นชิ้นๆ ยาวประมาณ 2 นิ้ว

1.2 นำไม้ยางพาราที่หั่นเป็นชิ้นๆ แล้วไปเผาแบบภูมิปัญญาชาวบ้านโดย นำปื๊บมาหนึ่งใบ ใส่ไม้ยางพาราที่หั่นเป็นชิ้นๆ ลงไปประมาณครึ่งปื๊บแล้วนำเศษยางรถยนต์มาจุดไฟให้ติดแล้วใส่ลงไปในปื๊บรอนไฟติดไม้สักครู่แล้วนำไม้ยางพาราที่หั่นเป็นชิ้นๆ ใส่ลงไปอีกจนเกือบเต็มรอให้ไฟติดสักครู่แล้วปิดฝาปื๊บให้สนิท เพื่อป้องกันอากาศเข้าไป เผาจนไม้ยางพารากลายเป็นถ่านจนหมด และก่อนนำตัวดูดซับไปใช้จะต้องนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (desiccators)



ภาพที่ 16 การเตรียมตัวดูดซับ (ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา)

1.3 ทำการวัดค่าพีเอชเริ่มต้นของตัวดูดซับ คือ ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา โดยชั่งไม้ยางพาราจำนวน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปกรวยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นวัดค่าพีเอชของสารละลาย และนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น ซึ่งพบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารามีค่าเท่ากับ 6.8 และ 7.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย (ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา)

2. การเตรียมสารละลาย

2.1 สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายผลึกโซเดียมซัลไฟด์ 2.44 กรัม ด้วยน้ำกลั่นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากัน

2.2 สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อที่ 2.1 จำนวน 10 มิลลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากัน

2.3 สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้เตรียมไว้จำนวน 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าให้เข้ากัน

2.4 สารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (alkaline antioxidant reagent: AAR)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติมกรดแอสคอร์บิกจำนวน 0.875 กรัมและ EDTA จำนวน 1.675 กรัม ลงไป จากนั้นคนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเก็บไว้ในที่มืด

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานซัลไฟด์ด้วยวิธีโพเทนชิอเมทรี

ปีเปตสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ในแต่ละความเข้มข้นที่ได้จากหัวข้อที่ 2.3 มาอย่างละ 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย AAR จำนวน 0.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์มาสร้างกราฟ โดยแทนที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ ส่วนแทนนอนแทนค่า $\log [S^{2-}]$ จะได้กราฟมาตรฐานซัลไฟด์



ภาพที่ 18 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์

4. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไมยางพาราและถ่านไมยางพารา โดยทำการทดลองแบบแบตช์

ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ พีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาในการเขย่า ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์และปริมาณของตัวดูดซับ

4.1 ศึกษาอิทธิพลของพีเอช

ทำการทดลองโดยนำไม้ยางพาราจำนวน 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6.5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตรแต่ละขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ (ระยะเวลาสัมผัส) 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย AAR จำนวน 0.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของซัลไฟด์ที่เหลือจากการดูดซับด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำอ่านไม้ยางพารา มาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น



ภาพที่ 19 การปรับพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์

4.2 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

ทำการทดลองโดยซังไม้ยางพาราจำนวน 1 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่ให้ร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 4.1 ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบต่างๆ กันดังนี้ 0, 50, 100, 150, และ 200 รอบต่อนาที นาน 30 นาที

แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1 และนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น

4.3 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อที่ 4.2 โดยเขย่าที่ความเร็วรอบที่ให้ร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 4.2 และแปรผันระยะเวลาเขย่าเป็น 0, 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น



ภาพที่ 20 การเขย่าด้วยเครื่องเขย่า

4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัส

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อที่ 4.3 โดยใช้ระยะเวลาในการเขย่านานเท่ากับระยะเวลาในการเขย่าที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 4.3 และทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัสเป็น 0, 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น



ภาพที่ 21 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์

4.5 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของซัลไฟด์ต่อการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 4.4 โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสนานเท่ากับระยะเวลาสัมผัสที่ให้ร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 4.4 และทำการแปรผันความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่ต่างกันดังนี้ 600, 800, 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น

4.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราและไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 4.5 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เท่ากับความเข้มข้นที่ให้ร้อยละการดูดซับได้ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 4.5 แล้วทำการแปรผันปริมาณไม้ยางพาราที่น้ำหนักต่างๆ กัน คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งนำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มดูดซับของแกลงเมียร์และฟรุนดิชและนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น

5. การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง

เนื่องจากลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้จริงแตกต่างจากที่ทดลองแบบเบตซ์ เช่น ปริมาณน้ำตัวอย่าง การใช้ใบพัดต่อกับมอเตอร์ปั่นกวนแทนการเขย่า ตัวดูดซับถูกบรรจุในถุงตาข่ายพลาสติก ผู้วิจัยจึงเกรงว่าผลการทดลองที่ได้จากวิธีแบบเบตซ์จะไม่ใช่สภาวะที่ให้การดูดซับที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงทดลองบางปัจจัยเพิ่มเติม เช่น ปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาสัมผัส

5.1 ศึกษาปริมาณตัวดูดซับ

ทำการทดลองโดยชั่งไม้ยางพาราจำนวน 20, 30, 40, 50 และ 60 กรัม บรรจุลงในถุงตาข่ายพลาสติกที่ประดิษฐ์ขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 22 (ก) จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 ลิตร แล้วใส่ลงในถังพลาสติกทำการแล้วปรับพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.1 แล้วนำถุงตาข่ายพลาสติกที่บรรจุไม้ยางพาราใส่ลงไปในถัง จากนั้นกวนด้วยใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์ของพัดลม ดังแสดงในภาพที่ 22 (ข) นำลงไปปั่นกวนตามระยะเวลาในการเขย่าที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 ตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาสัมผัสที่ได้จากการทดลองที่ 4.4 กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิตร เติมสารละลาย AAR จำนวน 0.5 มิลลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของซัลไฟด์ที่เหลือจากการดูดซับด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น



(ก) ถุงดำขยะพลาสติกบรรจุตัวดูดซับ



(ข) อุปกรณ์กวนสารละลาย

ภาพที่ 22 อุปกรณ์สำหรับการทดลองการดูดซับซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

5.2 ศึกษาระยะเวลาสัมผัส

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อที่ 5.1 โดยใช้ปริมาณไม้ยางพาราที่ให้ร้อยละการดูดซับได้ดีที่สุดจากผลการทดลองที่ 5.1 แต่ทำการแปรผันระยะเวลาสัมผัส โดยตั้งทิ้งไว้เฉยๆ แล้วเก็บตัวอย่างที่เวลาทุก ๆ 30 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำถ่านไม้ยางพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้ยางพาราข้างต้น

6. ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยทำการทดลองแบบแบตช์และการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

6.1 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีซัลไฟด์ปนเปื้อน โดยจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย คือ ท่อน้ำเข้าบ่อดกตะกอน (บ่อที่ 1) ในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้น



ภาพที่ 23 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีจังหวัดเพชรบุรี

6.2 ทำการทดลองแบบแบตช์โดยใช้ไม้อย่างพารามาดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียดังกล่าวและใช้สภาวะที่เหมาะสมได้จากการทดลองแบบแบตช์ (การทดลองข้อ 4.1-4.6) แล้ววิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ด้วยข้อไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์พร้อมวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังการดูดซับทำการทดลองซ้ำ 7 ครั้งและนำถ่านไม้อย่างพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้อย่างพาราข้างต้น

6.3 ทำการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงของการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียดังกล่าวโดยซึ่งไม้อย่างพาราตามจำนวนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 5.1 บรรจุลงในถุงตาข่ายพลาสติกจากนั้นกวนด้วยใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์ของพัดลมตามระยะเวลาในการเขย่าที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 ตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมได้จากการทดลองที่ 5.2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ด้วยข้อไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์พร้อมวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังการดูดซับและนำถ่านไม้อย่างพารามาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไม้อย่างพาราข้างต้น

7. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ฟื้นฟูสภาพหลังผ่านการใช้งาน

ทำการทดลองโดยนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว มาล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ นาน 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างตัวดูดซับนั้น มีสภาพเป็นกลาง สังเกตจากการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส จากนั้นนำไปตากให้แห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้วมาทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ โดยทำการทดลองตามการทดลองที่ 6.3

8. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

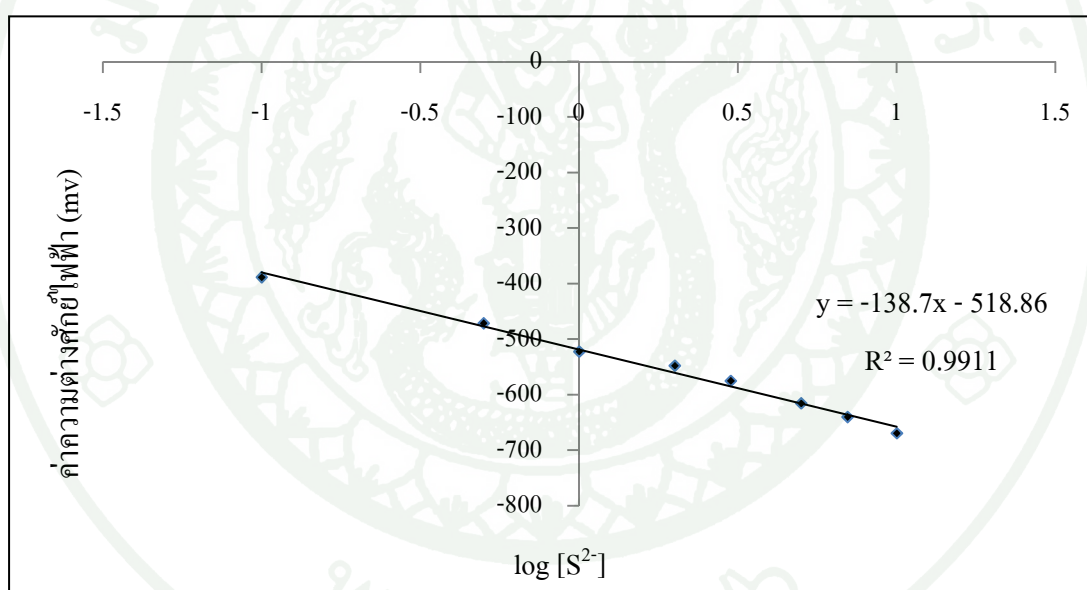
9. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการวิจัย เริ่มตั้งแต่ เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียสังเคราะห์หรือสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์โดยการทดลองแบบแบตช์ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช ความเร็วรอบในการเขย่า ระยะเวลาในการเขย่า ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ปริมาณของตัวดูดซับและไอโซเทอร์มของการดูดซับโดยใช้สมการแลงเมียร์ และฟรุนดิช รวมทั้งศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้จริงพร้อมทั้งนำผลการศึกษาที่ได้ไปหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรีมีรายละเอียดดังนี้

1. กราฟมาตรฐานซัลไฟด์

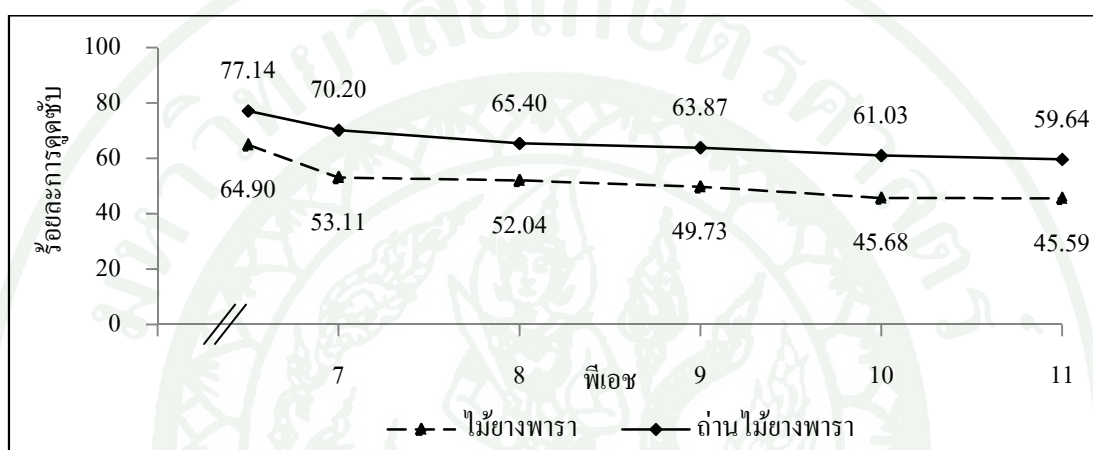


ภาพที่ 24 กราฟมาตรฐานซัลไฟด์

ในการวิจัยนี้ใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ซัลไฟด์ คือ วิธีโพเทนชิโอเมตรี ซึ่งวัดค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยขั้วไฟฟ้าเลือกจำเพาะซิลเวอร์ซัลไฟด์เทียบกับขั้วอ้างอิง กราฟมาตรฐานที่เตรียมได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 24 ซึ่งมีสมการเชิงเส้นตรง คือ $y = -138.7x - 518.86$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9911

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของพีเอช

จากผลการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ จะดูดซับได้ดีที่พีเอชเป็นกรดและลดลงเมื่อพีเอชเป็นเบส แต่ที่พีเอช 3 ถึง 6 สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์มีลักษณะขุ่น ดังนั้น ที่พีเอช 6.5 ไม่ยางพาราและถ่านไม่ยางพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้สูงสุด คือ ร้อยละ 64.90 และ 77.14 ตามลำดับ ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม่ยางพาราและถ่านไม่ยางพารา

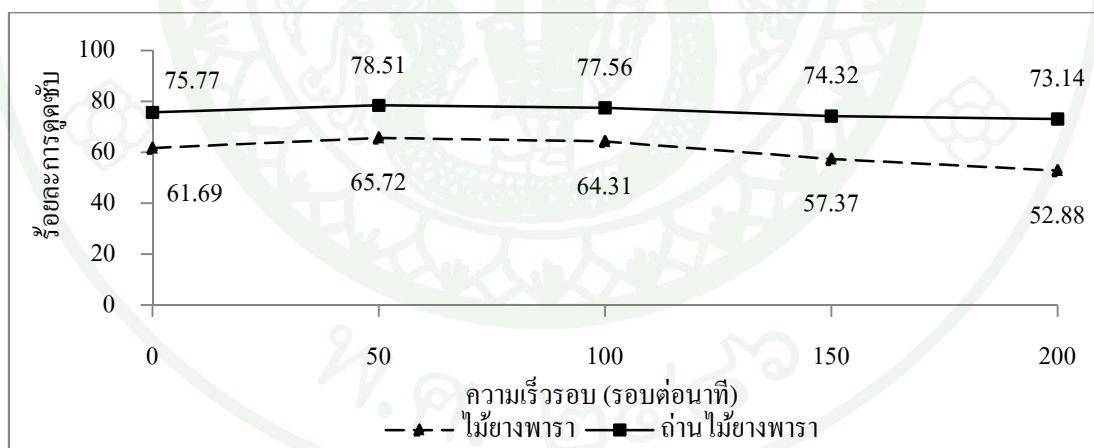
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม่ยางพาราและถ่านไม่ยางพารา

ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม่ยางพารา	ถ่านไม่ยางพารา
6.5	64.90	77.14
7	53.11	70.20
8	52.04	65.40
9	49.73	63.87
10	45.68	61.03
11	45.59	59.64

ซึ่งการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์จะดูดซับได้ดีที่พีเอชเป็นกรดและลดลงเมื่อพีเอชเป็นเบส สามารถอธิบายได้ว่า การดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่พีเอชเป็นกรด ในสารละลายจะมีโปรตรอน (H^+) เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับแสดงอำนาจประจุไฟฟ้าเป็นบวกทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับซัลไฟด์จนเกิดการยึดจับกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุ และเมื่อสารละลายมีพีเอชเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับแสดงอำนาจประจุไฟฟ้าเป็นลบทำให้เกิดแรงผลักระหว่างซัลไฟด์กับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์มีค่าลดลง (นิพนธ์ และ คณิดา, 2550)

3. ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วยรอบในการเขย่า

จากผลการศึกษา พบว่า ทั้งไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ได้สูงสุดที่ความเร็วยรอบในการเขย่า 50 รอบต่อนาที โดยดูดซับได้ร้อยละ 65.72 และ 78.51 ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์จะค่อยๆ ลดลง ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา

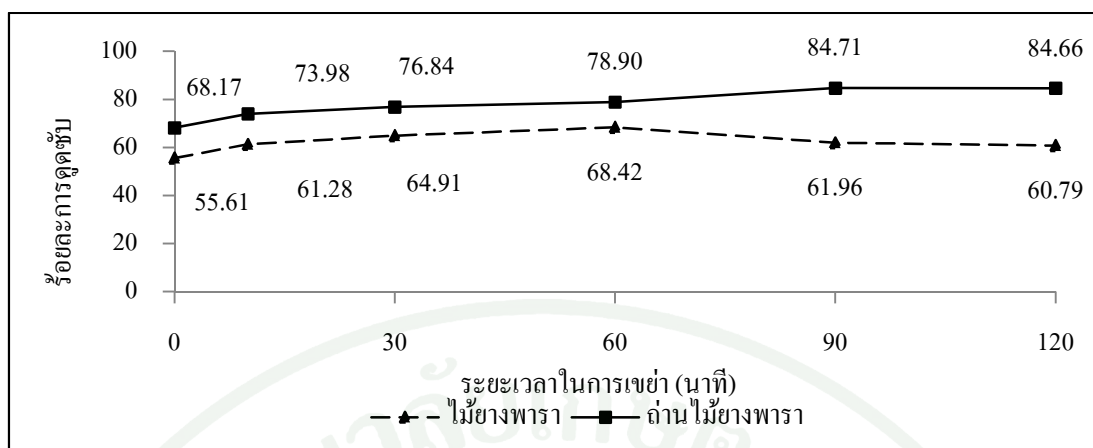
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ
ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม้อย่างพารา	ถ่านไม้อย่างพารา
0	61.69	75.77
50	65.72	78.51
100	64.31	77.56
150	57.37	74.32
200	52.88	73.14

ความเร็วรอบในการเขย่ามีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ อธิบายได้ว่า เมื่อมีการเขย่าส่งผลให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงและเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับซัลไฟด์ไอออนจึงทำให้ซัลไฟด์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วประสิทธิภาพการดูดซับจึงเพิ่มขึ้น และจนถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยซัลไฟด์ แต่พื้นผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ทำให้ซัลไฟด์ไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นผิวของตัวดูดซับได้อีกจึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

4. ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเขย่า

จากการศึกษา พบว่า ไม้อย่างพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ได้สูงสุดที่ระยะเวลาในการเขย่า 60 นาที โดยดูดซับได้ร้อยละ 68.42 จากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์จะค่อยๆ ลดลงและถ่านไม้อย่างพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ได้สูงสุดที่ระยะเวลาในการเขย่า 90 นาที โดยดูดซับได้ร้อยละ 84.71 จากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์จะคงที่ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแช่กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม่ยางพารา และถ่านไม่ยางพารา

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแช่กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม่ยางพารา และถ่านไม่ยางพารา

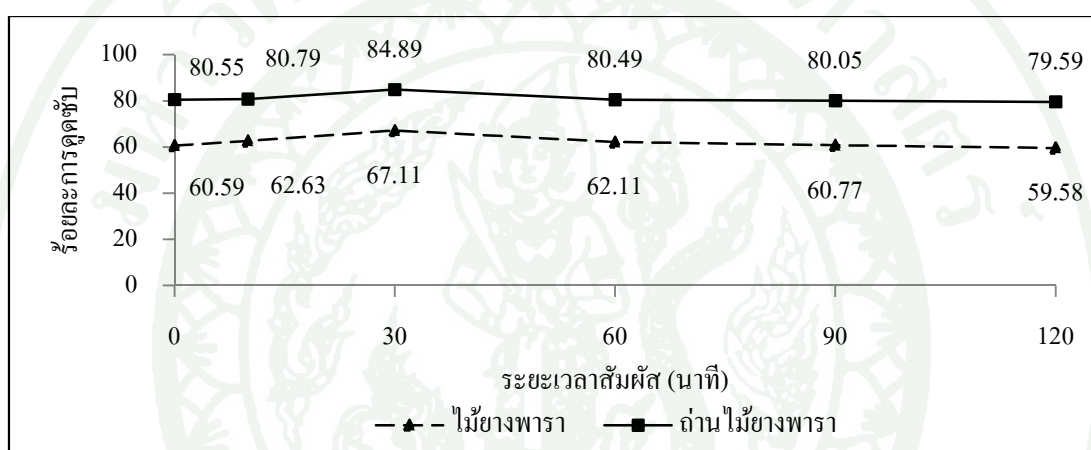
ระยะเวลาในการแช่ (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม่ยางพารา	ถ่านไม่ยางพารา
0	55.61	68.17
10	61.28	73.98
30	64.91	76.84
60	68.42	78.90
90	61.96	84.71
120	60.79	84.66

ระยะเวลาในการแช่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ อธิบายได้ว่า จากผลการทดลองตัวดูดซับทั้งสองชนิดเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่จะเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับซัลไฟด์ ทำให้ซัลไฟด์เคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้ดีและมากขึ้นเนื่องจากระยะเวลาเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่ให้มากกว่าจุดที่ให้ร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุด พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงหรือคงที่ เนื่องจากที่ระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของตัวดูดซับมีพื้นที่มากในการดูดซับจนถึงระยะเวลานึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ

ถูกปกคลุมไปด้วย ชัลไฟด์ซึ่งตัวดูดซับจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

5. ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาสัมผัส

จากการศึกษา พบว่า ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที สามารถดูดซับชัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานชัลไฟด์ได้สูงสุด โดยดูดซับได้ร้อยละ 67.11 และ 84.89 ตามลำดับดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับชัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา

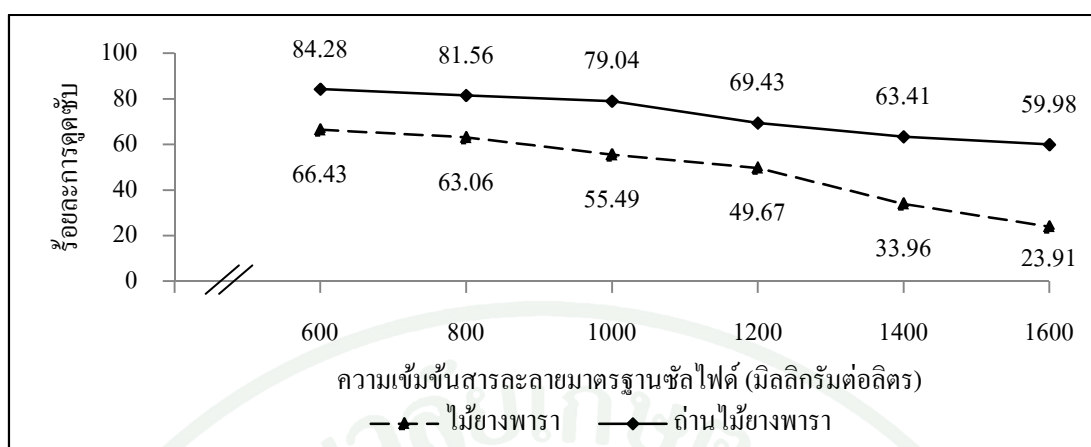
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม้ยางพารา	ถ่านไม้ยางพารา
0	60.59	80.55
10	62.63	80.79
30	67.11	84.89
60	62.11	80.49
90	60.77	80.05
120	59.58	79.59

เมื่อถึงระยะเวลาสัมผัสหนึ่งประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์จะลดลง อธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากซัลไฟด์มีระยะเวลาในการเกาะติดที่พื้นผิวของตัวดูดซับมากขึ้น หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับก็จะคงที่หรือลดลง เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล (อัตราดูดซับเท่ากับอัตราคายตัว) และตัวดูดซับเกิดการอิ่มตัวและเริ่มหมดสภาพก็จะมีการคายออกมา (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

6. ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น

จากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์จะมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยพบว่าความเข้มข้นที่ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้สูงสุดร้อยละ 66.43 และ 84.28 ตามลำดับ ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ย่างพาราและถ่านไม้ย่างพารา

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ย่างพาราและถ่านไม้ย่างพารา

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม้ย่างพารา	ถ่านไม้ย่างพารา
600	66.43	84.28
800	63.06	81.56
1,000	55.49	79.04
1,200	49.67	69.43
1,400	33.96	63.41
1,600	23.91	59.98

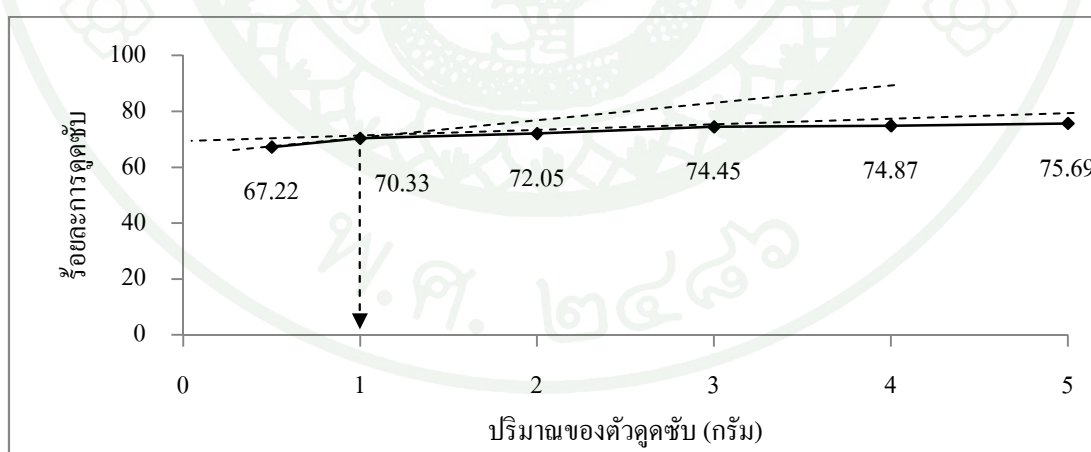
การที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ลดลง สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้น พื้นผิวของตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยซัลไฟด์มากขึ้น ในขณะที่พื้นผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ซัลไฟด์จึงไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นผิวของตัวดูดซับได้ จึงทำให้การดูดซับลดลง (นิพนธ์ และ คณิดา, 2550)

7. ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราและไอโซเทอร์มของการดูดซับซัลไฟด์

7.1 ไม้ยางพารา

7.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณไม้ยางพาราที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์

จากการศึกษา พบว่า ที่สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไม้ยางพาราปริมาณ 1 กรัมมีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 70.33 และจากผลการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณไม้ยางพารา ตั้งแต่ 1 กรัม จนถึง 5 กรัม เปรียบเสมือนการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ในที่นี้เพิ่มขึ้นในลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังภาพที่ 30 เพื่อความสะดวกและประหยัดตัวดูดซับ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณไม้ยางพารา 1 กรัม เป็นปริมาณที่จะใช้ในงานวิจัยในขั้นต่อไปประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นทั้งนี้ปริมาณของตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคและปริมาณของตัวดูดซับปริมาณตัวดูดซับที่มากกว่าจึงมีพื้นที่ผิวการดูดซับสูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ไม้ยางพารา กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์

ปริมาณไม้ยางพารา (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ
0.5	67.22
1.0	70.33
2.0	72.05
3.0	74.45
4.0	74.87
5.0	75.69

และจากการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบ็ดเสร็จในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของไม้ยางพารา คือ สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไม้ยางพาราปริมาณ 1 กรัม ปรับพีเอชเป็น 6.5 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 60 นาทีและระยะเวลาสัมผัส 30 นาที นั้นมาทำการทดลองอีก 7 ชั่วโมง พบว่า ไม้ยางพารามีประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ได้ร้อยละ 69.85 (ปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือ 180.90 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

$$q_W = V(C_i - C_e) \dots\dots\dots(10)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ มีหน่วยเป็น ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) หรือ โมลต่อกรัม (mol/g)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็น น้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม (mg) กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) หรือลิตร (l)

C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลายมี หน่วยเป็น ความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร (mol/l)

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็น ความเข้มข้นเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

$$\text{จาก } qW = V(C_i - C_e)$$

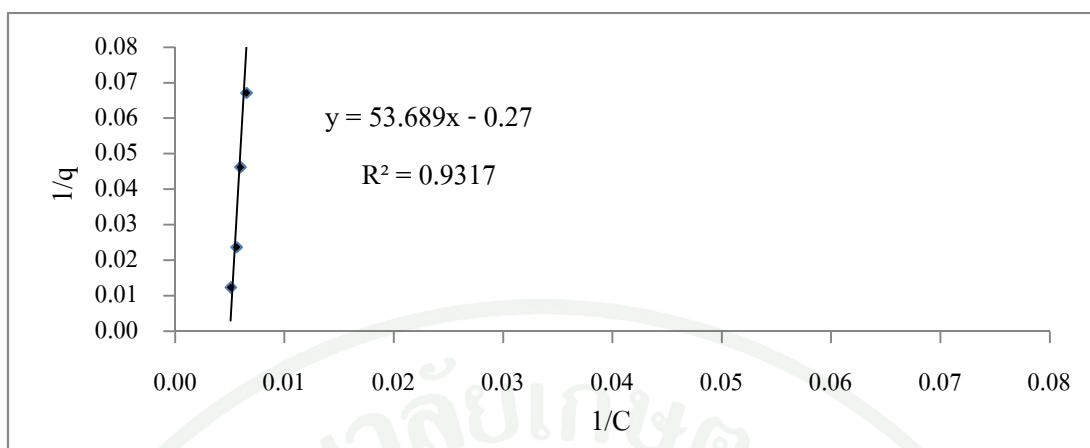
$$\text{แทนค่าได้ } q(1) = 0.1 (600 - 180.90)$$

$$q = 41.91 \text{ mg/g}$$

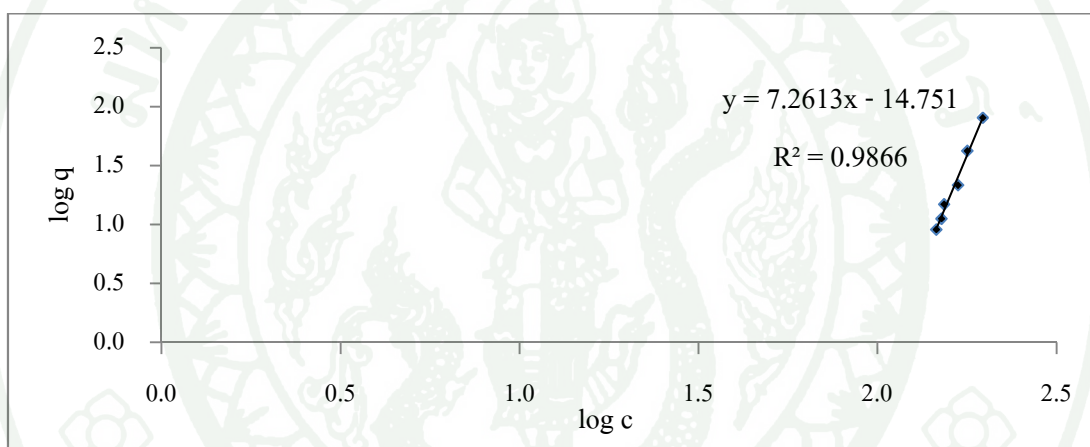
ดังนั้น ไม้ยางพารา 1 กรัมสามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ 41.91 มิลลิกรัม

7.1.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพารา

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของ ไม้ยางพาราจะเป็นการนำผลที่ได้จากการศึกษาในข้อที่ 7.1.1 มาเขียนไอโซเทอร์มโดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิชเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ผลดังภาพที่ 31 และ 32 ตามลำดับ



ภาพที่ 31 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของแสงเมียร์ด้วยไม้ยางพารา



ภาพที่ 32 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของฟรุณดิชด้วยไม้ยางพารา

จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ได้จากไอโซเทอร์มของแสงเมียร์และฟรุณดิชในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของไม้ยางพารามีค่าเท่ากับ 0.9317 และ 0.9866 ตามลำดับ ดังนั้น กลไกการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของไม้ยางพาราจึงมีลักษณะเป็นแบบฟรุณดิชมากกว่าแสงเมียร์ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไอโซเทอร์มของฟรุณดิชมากกว่าไอโซเทอร์มของแสงเมียร์ ซึ่งมีกลไกการดูดซับ คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดและไม่สามารถบอกถึงปริมาณของซัลไฟด์ที่ถูกดูดซับไว้มากที่สุดได้เนื่องจากซัลไฟด์สามารถเกิดการซ้อนทับกันตรงพื้นผิวของตัวดูดซับ

ดังนั้น จากสมการไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช โดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ นำมาเขียนใหม่ในรูปของสมการล็อกการิทึม คือ

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(11)$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟในภาพที่ 38 จะได้

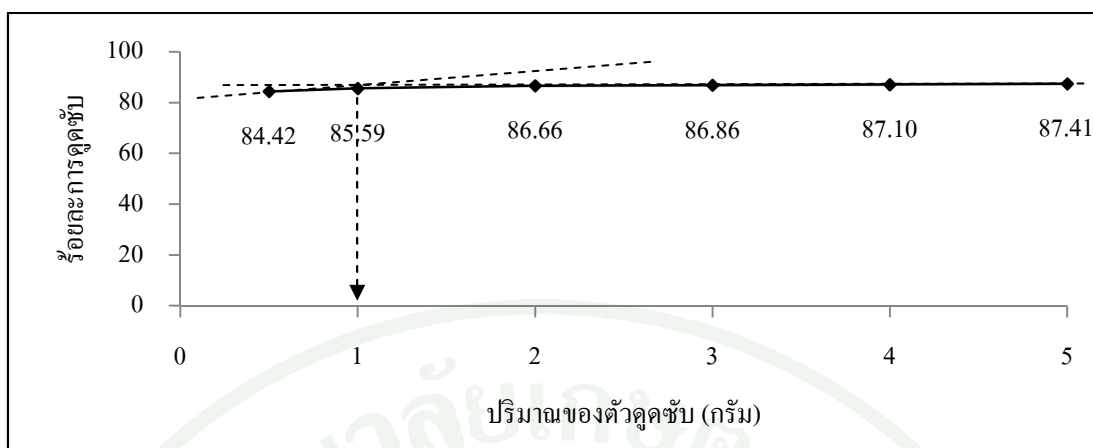
$$\log q = -14.751 + 7.2613 \log C \quad \dots\dots\dots(12)$$

จะเห็นว่า $1/n$ มีค่าเท่ากับ 7.2613 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อธิบายได้ว่า ความสามารถในการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพาราจะดูดซับได้มากหรือบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ ดังนั้น ไม้ยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับซัลไฟด์ได้

7.2 ถ่านไม้ยางพารา

7.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านไม้ยางพาราที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์

จากการศึกษา พบว่า ที่สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ่านไม้ยางพาราจำนวน 1 กรัม มีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 85.59 ดังภาพที่ 33 และเหตุที่ผู้วิจัยใช้ถ่านไม้ยางพารา 1 กรัม เนื่องจาก ร้อยละการดูดซับต่างกันไม่มากนัก เพื่อความสะดวกและประหยัดตัวดูดซับ ผู้วิจัยจึงเลือกปริมาณ ถ่านไม้ยางพารา 1 กรัม เป็นปริมาณที่จะใช้ในงานวิจัยในขั้นต่อไป



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านไม้ยางพารา กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านไม้ยางพารา กับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์

ปริมาณถ่านไม้ยางพารา (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ
0.5	84.42
1.0	85.59
2.0	86.66
3.0	86.86
4.0	87.10
5.0	87.41

และจากการนำสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา คือ สารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ่านไม้ยางพาราปริมาณ 1 กรัม ปรับพีเอชเป็น 6.5 ความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่า 90 นาทีและระยะเวลาสัมผัส 30 นาที นั้นมาทำการทดลองอีก 7 ซ้ำ พบว่า ถ่านไม้ยางพารามีประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ได้ร้อยละ 83.54 (ปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือ 98.76 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากสมการที่ 10

$$qW = V(C_i - C_e)$$

แทนค่าได้

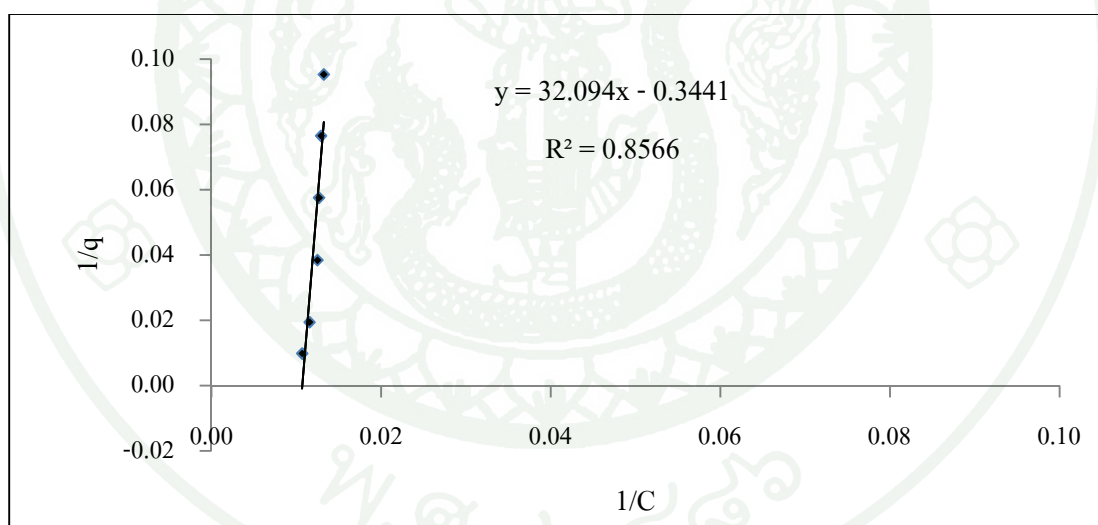
$$q(1) = 0.1 (600 - 98.76)$$

$$q = 50.12 \text{ mg/g}$$

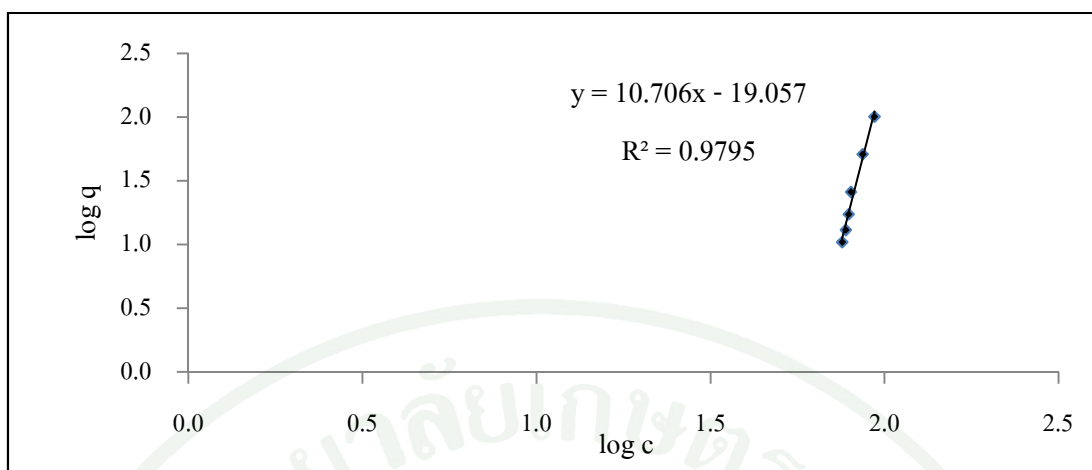
ดังนั้น ถ่านไม้ยางพารา 1 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ 50.12 มิลลิกรัม

7.2.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพาราจะเป็นการนำผลที่ได้จากการศึกษาในข้อที่ 7.2.1 มาเขียนไอโซเทอร์มโดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ผลดังภาพที่ 34 และ 35 ตามลำดับ



ภาพที่ 34 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของแลงเมียร์ด้วยถ่านไม้ยางพารา



ภาพที่ 35 ไอโซเทอร์มการดูดซับซัลไฟด์ของฟรุคตอสน้ำตาลทรายขาว

จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ได้จากไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุคตอสน้ำตาลทรายขาวในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของน้ำตาลทรายขาวทั้งมีค่าเท่ากับ 0.8566 และ 0.9795 ตามลำดับ ดังนั้น กลไกการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ของน้ำตาลทรายขาวจึงมีลักษณะเป็นแบบฟรุคตอสมากกว่าแลงเมียร์ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไอโซเทอร์มของฟรุคตอสมากกว่าไอโซเทอร์มของแลงเมียร์

ดังนั้น จากสมการไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุคตอส โดยทั่วไปคือ $q = KC^{1/n}$ นำมาเขียนใหม่ในรูปของสมการลอการิทึม จากสมการที่ 11 คือ

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

แทนค่าสมการที่ได้จากกราฟในภาพที่ 35 จะได้

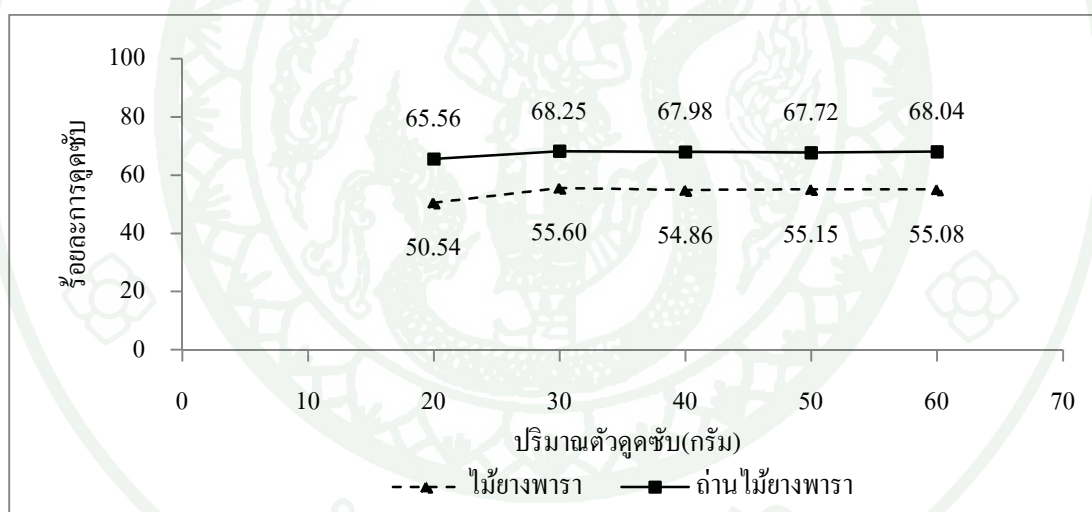
$$\log q = -19.057 + 10.706 \log C \quad \dots\dots\dots(12)$$

จะเห็นว่า $1/n$ มีค่าเท่ากับ 10.706 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อธิบายได้ว่า ความสามารถในการดูดซับซัลไฟด์ของน้ำตาลทรายขาวจะดูดซับได้มากหรือบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ ดังนั้น น้ำตาลทรายขาวสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับซัลไฟด์ได้

8. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง

8.1 ผลการศึกษาปริมาณของตัวดูดซับที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 ลิตร แล้วใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบดซ์ โดยปรับพีเอชเป็น 6.5 จากนั้นใช้ใบพัดกวนที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ของพัดลมนำลงไปยังกวนเป็นระยะเวลา ดังนี้ ไม่ยางพารา 60 นาทีและถ่านไม่ยางพารา 90 นาที ใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที เท่ากัน พบว่า ทั้งไม่ยางพาราและถ่านไม่ยางพาราที่เหมาะสม คือ 30 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 55.60 และ 68.25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 36



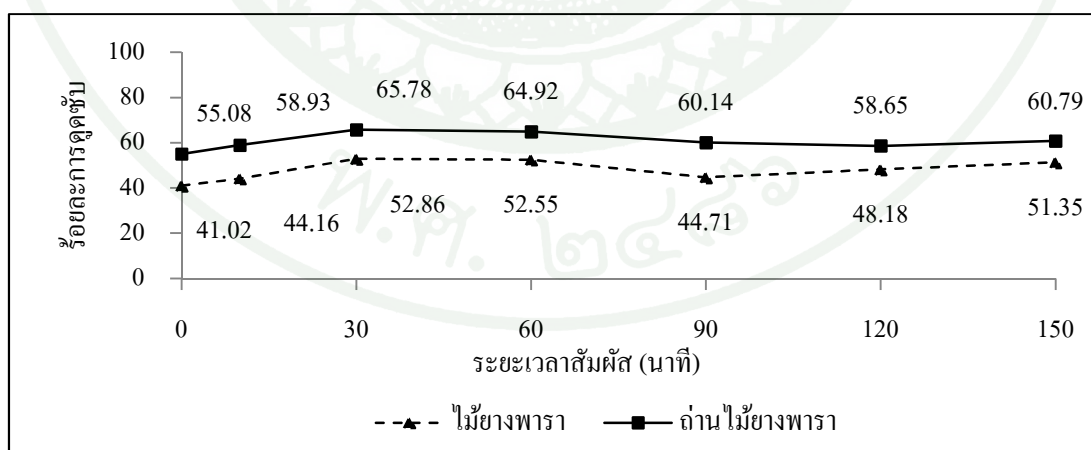
ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลาย
มาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม่ยางพารา	ถ่านไม่ยางพารา
20	50.54	65.56
30	55.60	68.25
40	54.86	67.98
50	55.15	67.72
60	55.08	68.04

8.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลาย
มาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์ โดยทำ
การทดลองเช่นเดียวกับข้อ 8.1 แต่ใช้ตัวดูดซับ จำนวน 30 กรัม พบว่า ทั้งไม่ยางพาราและถ่าน
ไม่ยางพารามีระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ 30 นาที ซึ่งดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 52.86 และ 65.78
ตามลำดับ ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลาย
มาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงด้วยไม่ยางพาราและถ่านไม่ยางพารา

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ในสารละลาย
มาตรฐานซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา

ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไม้อย่างพารา	ถ่านไม้อย่างพารา
0	41.02	55.08
10	44.16	58.93
30	52.86	65.78
60	52.55	64.92
90	44.71	60.14
120	48.18	58.65
150	51.35	60.79

ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการที่จะนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราไปดูดซับซัลไฟด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง คือ ตัวดูดซับจำนวน 30 กรัม พีเอช 6.5 ใช้ใบพัดกวนที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ของพัดลมลงปั่นกวนเป็นเวลา 60 นาทีสำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพารา โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสนั้นจะได้ผลเหมือนกับผลการทดลองแบบแบตช์

9. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยทำการทดลองแบบแบตช์และการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง

9.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

จากการนำตัวอย่างจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีซัลไฟด์ปนเปื้อน มาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยใช้พารามิเตอร์ ได้แก่ พีเอช ความขุ่น ความเค็ม ซัลเฟต ซีโอดี บีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ไขมันและน้ำมัน แอมโมเนีย ไนเตรทและซัลไฟด์ ได้ผลการศึกษาและค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) พบว่า คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีปริมาณซัลไฟด์เกินค่ามาตรฐาน อีกทั้งบีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก็มีค่าเกินค่ามาตรฐานด้วย ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	ลักษณะทางกายภาพ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและชุมชน
อุณหภูมิ (°C)	31.5	น้ำมีสีเขียว มี	ไม่เกิน 40
พีเอช	7.3	ฟองอากาศ	5 - 9
ความขุ่น (NTU)	40.67		ไม่ได้กำหนด
ความเค็ม	0.1		ไม่ได้กำหนด
ซัลไฟด์(mg/l)	3		ไม่เกิน 1
ซัลเฟต (mg/l)	46.65		ไม่ได้กำหนด
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	18.4		ไม่ได้กำหนด
ซีโอดี (mg/l)	93.6		ไม่ได้กำหนด
บีโอดี (mg/l)	26.85		ไม่เกิน 20
สภาพการนำไฟฟ้า (uS/cm)	718		ไม่ได้กำหนด
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l)	436		ไม่เกิน 500
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	504		ไม่ได้กำหนด
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	70		ไม่เกิน 30
ไขมันน้ำมัน (mg/l)	0.165		ไม่เกิน 20
แอมโมเนีย (mg/l)	6.182		ไม่ได้กำหนด
ไนเตรท (mg/l)	1.583		ไม่ได้กำหนด

หมายเหตุ ค่าซัลไฟด์ที่วัดได้เป็นผลการตรวจวัดในภาคสนาม

9.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบเบตซ์

จากการศึกษาโดยใช้ตัวดูดซับเป็นจำนวน 1 กรัม และน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ คือ พีเอช 6.5 นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที สำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพารา แล้วระยะเวลาสัมผัส 30 นาทีเท่ากัน ทำการทดลอง 7 ซ้ำ พบว่า น้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้นเท่ากับ 3.01 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีเท่ากับร้อยละ 62.91 และ 85.48 ตามลำดับ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยทำการทดลองแบบเบตซ์

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
ไม้อย่างพารา	3.01	1.12	62.91
ถ่านไม้อย่างพารา	3.01	0.44	85.48

ตารางที่ 14 คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีหลังการดูดซับชัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยการทดลองแบบเบตซ์

พารามิเตอร์	ชนิดตัวดูดซับ					
	ไม้อย่างพารา			ถ่านไม้อย่างพารา		
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละดูดซับ
พีเอช	6.5	6.9	-	6.5	7.6	-
ความขุ่น (NTU)	40.67	10.16	75.97	40.67	8.71	78.58
ความเค็ม	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-
ซัลเฟต (mg/l)	46.65	45.30	2.89	46.65	41.26	11.55
ซีโอดี (mg/l)	93.6	72.8	22.22	93.6	31.2	66.67
สภาพการนำไฟฟ้า (uS/cm)	718	650	9.47	718	673	6.27
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (mg/l)	436	394	9.63	436	409	6.19
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	504	409	18.84	504	421	16.46
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/l)	70	16	77.14	70	12	82.85
ไขมันน้ำมัน (mg/l)	0.165	0.104	36.96	0.165	0.055	66.67
แอมโมเนีย (mg/l)	6.182	6.182	-	6.182	6.182	-
ไนเตรท (mg/l)	1.583	1.583	-	1.583	1.583	-

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่า เมื่อนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามาดูดซับชัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีซึ่งทำการทดลองแบบเบตซ์จะสามารถลดปริมาณชัลไฟด์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้แล้ว ยังทำให้พารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ลดลงหลังการดูดซับ ได้แก่ ความขุ่น ปริมาณซัลเฟต ซีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและไขมันและน้ำมัน

9.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยการนำไปประยุกต์ใช้จริง

จากการศึกษาโดยใช้ตัวดูดซับจำนวน 30 กรัม น้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาตร 20 ลิตรแล้วปรับพีเอชเป็น 6.5 ใช้ใบพัดกวนที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ของพัดลมลงไปในกวนเป็นเวลา 60 นาทีสำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพาราและระยะเวลาสัมผัส 30 นาที พบว่า น้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้นเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีเท่ากับร้อยละ 59.43 และ 80.29 ตามลำดับ ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราโดยการนำไปประยุกต์ใช้จริง

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
ไม้อย่างพารา	3	1.21	59.43
ถ่านไม้อย่างพารา	3	0.59	80.29

เมื่อนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามาดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีในการนำไปประยุกต์ใช้จริงจะสามารถลดปริมาณซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้แล้ว นอกจากนี้ยังทำให้พารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ลดลงหลังการดูดซับ ได้แก่ ความขุ่น ปริมาณซัลเฟต ซีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและไขมันและน้ำมัน ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 คุณภาพน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีหลังการดูดซับซับไฟด์
ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา โดยการนำไปประยุกต์ใช้จริง

พารามิเตอร์	ชนิดตัวดูดซับ					
	ไม้อย่างพารา			ถ่านไม้อย่างพารา		
	ก่อนดูด ซับ	หลังดูด ซับ	ร้อยละ ดูดซับ	ก่อนดูด ซับ	หลังดูด ซับ	ร้อยละ ดูดซับ
พีเอช	6.5	6.8	-	6.5	7.0	-
ความขุ่น (NTU)	40.67	11.3	72.21	40.67	9.64	76.29
ความเค็ม	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-
ซัลเฟต (mg/l)	46.65	46.44	0.44	46.65	45.88	1.64
ซีโอดี (mg/l)	93.6	72.8	22.22	93.6	72.8	22.22
สภาพการนำไฟฟ้า (uS/cm)	718	654	8.91	718	661	7.94
ของแข็งทั้งหมดที่ ละลายน้ำ (mg/l)	436	397	8.94	436	401	8.02
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	504	656	5.75	504	650	6.61
ของแข็งแขวนลอย ทั้งหมด (mg/l)	70	67	4.28	70	68	2.85
ไขมันน้ำมัน (mg/l)	0.165	0.124	24.84	0.165	0.067	59.39
แอมโมเนีย (mg/l)	6.182	6.182	-	6.182	6.182	-
ไนเตรท (mg/l)	1.583	1.583	-	1.583	1.583	-

10. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ฟื้นฟูสภาพหลังผ่านการใช้งาน

จากการนำไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้วมาทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ โดยใช้ตัวดูดซับจำนวน 30 กรัม น้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี ปริมาตร 20 ลิตร แล้วปรับพีเอชเป็น 6.5 ใช้ใบพัดกวนที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ของพัดลมลงปั่นกวนเป็นเวลา 60 นาทีสำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพารา และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที แล้วพบว่า น้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้นเท่ากับ 2.99 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้วมีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 44.48 และ 66.22 ตามลำดับ ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราจากการฟื้นฟูสภาพหลังผ่านการใช้งาน

ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณซัลไฟด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
ไม้อย่างพารา	2.99	1.66	44.48
ถ่านไม้อย่างพารา	2.99	1.01	66.22



การฟื้นฟูสภาพไม้ยางพารา



การฟื้นฟูสภาพถ่านไม้ยางพารา

ภาพที่ 38 การฟื้นฟูสภาพไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราหลังผ่านการใช้งาน

ดังนั้น การนำไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราหลังผ่านการใช้งานมาแล้ว ควรนำมาฟื้นฟูสภาพเพียงอีกหนึ่งครั้งเท่านั้น เนื่องจากผลการฟื้นฟูสภาพของไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารา ครั้งที่หนึ่งแล้ว พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือเท่ากับ 1.66 และ 1.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 17 ซึ่งพบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือนั้นมีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารและชุมชน คือ ต้องมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่จะนำไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไปฟื้นฟูสภาพครั้งที่สอง ครั้งที่สามหรือครั้งต่อไป จึงไม่เหมาะสม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา ซึ่งได้ทำการทดลองแบบแบตช์และแบบประยุกต์ใช้จริง พบว่า ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับซัลไฟด์ได้ ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. จากการทดลองแบบแบตช์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์คือ พีเอชเท่ากับ 6.5 ความเร็วรอบในการเขย่า คือ 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการเขย่านาน 60 นาที สำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพารา ระยะเวลาสัมผัส คือ 30 นาที ใช้ตัวดูดซับจำนวน 1 กรัม พบว่า ไม้อย่างพารา 1 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ 41.91 มิลลิกรัมและถ่านไม้อย่างพารา 1 กรัม สามารถดูดซับซัลไฟด์ได้ 50.12 มิลลิกรัม ซึ่งกระบวนการดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช

ตารางที่ 18 สภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราจากการทดลองแบบแบตช์

ปัจจัย	ตัวดูดซับ	
	ไม้อย่างพารา	ถ่านไม้อย่างพารา
พีเอช	6.5	6.5
ความเร็วรอบในการเขย่า (รอบต่อนาที)	50	50
ระยะเวลาในการเขย่า (นาที)	60	90
ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	30	30
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	1	1

2. ในการนำไปประยุกต์ใช้จริง สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับซัลไฟด์ด้วยไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 ลิตร คือ ตัวดูดซับจำนวน 30 กรัม พีเอชเท่ากับ 6.5 ระยะเวลาปั่นกวนนาน 60 นาที สำหรับไม้อย่างพาราและ 90 นาที สำหรับถ่านไม้อย่างพาราโดยใช้ใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์ของพัดลมนำลงปั่นกวน และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ที่สภาวะดังกล่าวไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ได้ร้อยละ 52.86 และ 65.78 ตามลำดับ

3. ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีซัลไฟด์ปนเปื้อนโดยการปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบดซ์ พบว่า น้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้นเท่ากับ 3.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีเท่ากับ ร้อยละ 62.91 และ 85.48 ตามลำดับ

4. ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่มีซัลไฟด์ปนเปื้อนโดยการปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในการนำไปประยุกต์ใช้จริง พบว่า น้ำเสียมีปริมาณซัลไฟด์เริ่มต้นเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีเท่ากับร้อยละ 59.43 และ 80.29 ตามลำดับ

ดังนั้น ถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ได้สูงกว่าไม้อย่างพาราจากผลการทดลองในทุกการทดลอง ดังตารางที่ 19 เนื่องมาจากการเผาไม้อย่างพาราเป็นการกระตุ้นตัวดูดซับวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ไม้อย่างพารามีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ถ่านไม้อย่างพารามีประสิทธิภาพในการดูดซับซัลไฟด์ที่สูงกว่า

ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา

น้ำตัวอย่าง	ร้อยละการดูดซับ			
	ไม้อย่างพารา		ถ่านไม้อย่างพารา	
	การทดลองแบบ เบตซ์	การทดลองเพื่อ การนำไป ประยุกต์ใช้จริง	การทดลองแบบ เบตซ์	การทดลอง เพื่อการนำไป ประยุกต์ใช้จริง
น้ำเสียสังเคราะห์ (สารละลายมาตรฐาน ซัลไฟด์)	69.85	52.86	83.54	65.78
น้ำเสียของเทศบาล เมืองเพชรบุรี	62.91	59.43	85.48	80.29

5. ประสิทธิภาพในการดูดซับมลสารอื่นๆ ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยการใช้ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา ปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบตซ์ และการนำไปประยุกต์ใช้จริง พบว่า สามารถดูดซับมลสารอื่นๆ คือ ความขุ่น ซัลเฟต ซีโอดี สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไขมันและน้ำมัน ในน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีให้มีค่าลดลงได้

6. ในการฟื้นฟูสภาพของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราล้างผ่านการใช้งานมาแล้ว ควรนำมาฟื้นฟูสภาพเพียงอีกหนึ่งครั้งเท่านั้น เพราะผลการฟื้นฟูสภาพของไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพาราครั้งที่หนึ่ง พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือเท่ากับ 1.66 และ 1.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่า มีปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารและชุมชนที่ต้องมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การที่จะฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับครั้งต่อไป ก็จะทำให้มีปริมาณซัลไฟด์ที่เหลือเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารและชุมชนเสมอ เพราะประสิทธิภาพการฟื้นฟูตัวดูดซับจะมีค่าลดลงต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุดูดซับชีวภาพชนิดอื่นๆที่เป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นและประหยัดหรืออาจจะเป็นสิ่งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว มาดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสีย เพื่อให้การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารามาดูดซับมลสารชนิดอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น ความขุ่น ซัลเฟต ซีโอดี สภาวะการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไบโอมันและน้ำมัน เป็นต้น
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพารามาดูดซับซัลไฟด์หรือมลสารอื่นๆ ในน้ำเสียจากแหล่งอื่น เช่น น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น
4. ศึกษาความเหมาะสมของชนิดเนื้อไม้ประเภทต่างๆ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน มาใช้ในการดูดซับซัลไฟด์หรือมลสารอื่นๆ พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของไม้ชนิดนั้นๆ
5. การจัดการไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราที่ผ่านการใช้งานและหมดสภาพแล้วควรนำตัวดูดซับดังกล่าวไปตากให้แห้งสนิท จากนั้นนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ตามปกติ ซึ่งต่างจากตัวดูดซับที่เป็นชนิดผง การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีการนำมาอัดเป็นก้อนก่อนนำไปใช้ซึ่งจะทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. **ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดและชุมชน**. มาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s8, 2 ตุลาคม 2554.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2549. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

คณิตา ดังคนานุรักษ์. 2542. **การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ณัฐพล รัตนมุขย์. 2549. **การกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. **นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์ และ คณิตา ดังคนานุรักษ์. 2550. **หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บรรจง วรรณพงษ์ และ เอนก ก้านสังวร. 2537. **ระบบบำบัดน้ำเสีย**, น. 47-51. ใน เอกสารการประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ มานะเสวต. 2539. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พสุธา ตันติศิริพันธ์. 2545. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางยืดด้วยกระบวนการตกผลึกซัลไฟด์ และกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสุข. 2548. การวิเคราะห์ซัลไฟด์ในน้ำ. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2553. พืชชีวมวล. พลังงานชีวมวล. แหล่งที่มา: <http://www.efe.or.th>, 19 มิถุนายน 2553.

สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2549. ยางพารา. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, นนทบุรี.

สรัญญา ชนสัมฤทธิ์, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ วิทยา ปั่นสุวรรณ. 2551. ประสิทธิภาพการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์กะลามะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 36 (4): 327–337.

สุนิดา ทองโต, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, คณิดา ตังคณานุรักษ์ และ พิลานี ไวนอมสัดย์. 2551. การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยสัจจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองสุพรรณบุรีและเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วารสารสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 5 (1): 4–13.

สุรัสวดี บุษปะเรณู. 2542. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีโดยวิธีหลั่งกรองน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

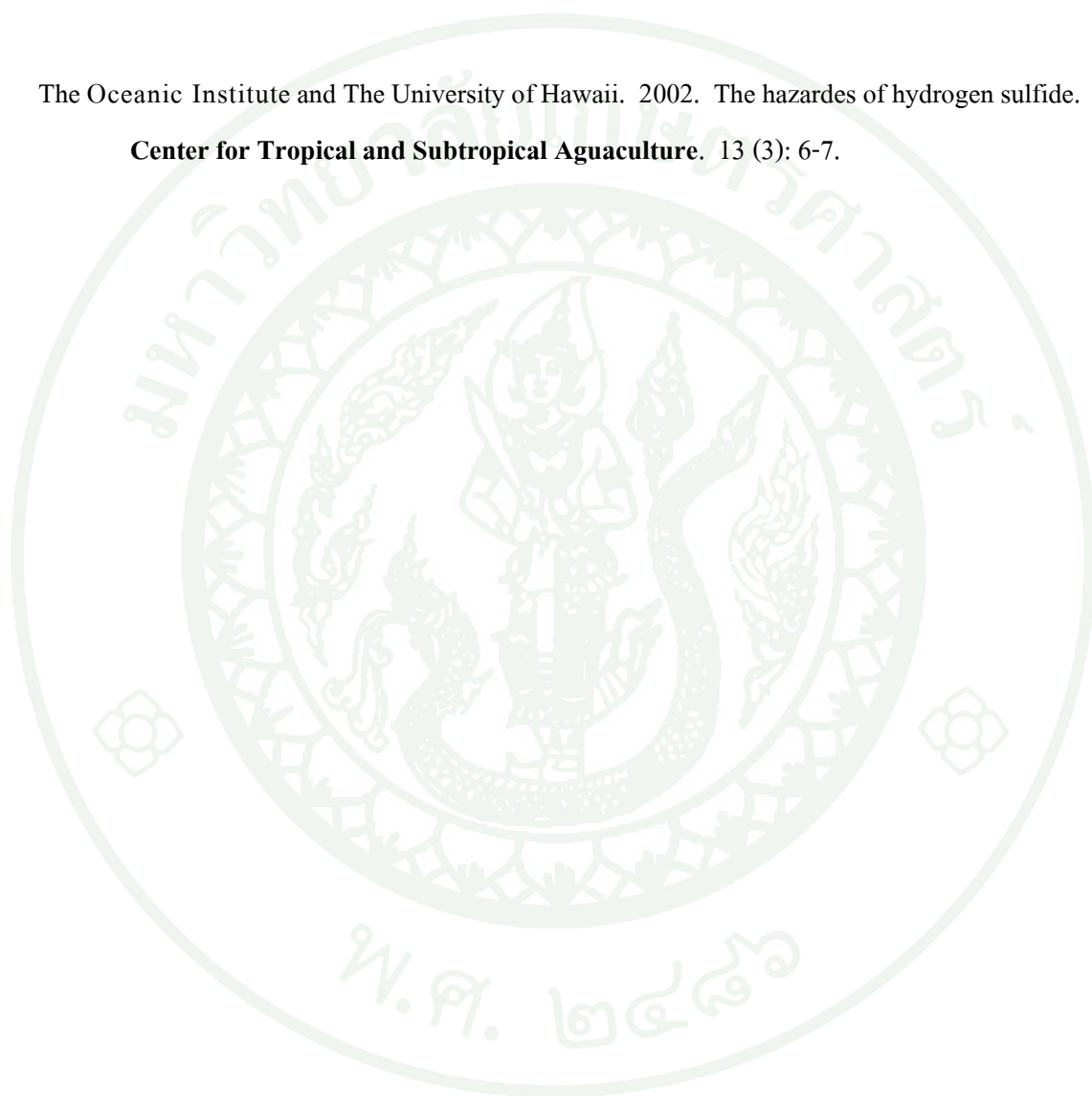
Barona, A., A. Ellas, A. Amurrio, I. Cano and R. Arias. 2005. Hydrogen sulphide adsorption on a waste material used in bioreactors. **Biochemical Engineering**. 24: 79–86.

- Clair, N.S., P.L. Mc Carty and G.F. Parkin. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. Fifth edition. McGraw-Hill Higher Education, Singapore.
- Cosoli, P., M. Ferrone, S. Pricl and M. Fermeglia. 2008. Hydrogen sulphide removal from biogas by zeolite adsorption. **Chemical Engineering** . 145: 86 – 92.
- Department of Public Health Environmental Health Section. 2009. Hydrogen sulfide and sulfate in private drinking water wells. **Publication Science**. 9: 1-4.
- Gabriel, B. 1999. **Wastewater microbiology**. Wiley Liss, Inc., New York.
- Gou, J., Y. Luo, A. Chon Lua, R. Chi, Y. Lin Chen, X. Bao and S. Xiang. 2007. Adsorption of hydrogen sulfide (H₂S) by activated carbons derived from oil-palm shell. **Carbon**. 45: 330–336.
- Haimour, N., R. Bishtawi and A. Ailwahbi. 2005. Equilibrium adsorption of hydrogen sulfide onto CuO and ZnO. **Desalination**. 81: 145-152.
- Haouzi, P., B. Harold and P. Maeve. 2011. Hydrogen sulfide oxidation and the arterial chemoreflex: Effect of methemoglobin. **Respiratory Physiology & Neurobiology**. 177: 273– 283.
- Occupational Safety and Health Administration. 2008. **Hydrogen Sulfide**. United State Department of Labor, Washington, D.C. (Mimeographed)
- Oliver, J.H., M.C. Jin, H. Li and L.B. Robert. 1996. Sulfate reducing bacteria. **Environmental Science and Technology**. 26 (1): 155-187.
- Oxychem. 2009. **Hydrogen Sulfide Control in Wastewater Collection Systems**. A subsidiary of Occidental Petroleum Corp, Washington, D.C. (Mimeographed)

Potivichayanon, S., P. Pokethitiyook and M. Kruatrachue. 2006. Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system. **Process Biochemistry**. 41: 708–715.

Ramalho, R.S. 1977. **Introduction to Wastewater Treatment Processes**. Academic Press, Inc., New York.

The Oceanic Institute and The University of Hawaii. 2002. The hazards of hydrogen sulfide. **Center for Tropical and Subtropical Aquaculture**. 13 (3): 6-7.







ตารางผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานซัลไฟด์ด้วยวิธีโพเทนชิโอเมทรีในสารละลายมาตรฐานซัลไฟด์
0.1 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log [S^{2-}]$	ค่าศักย์ไฟฟ้า(mv)			ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.1	-1	-387.90	-388.80	-389.50	-388.73	0.80
0.5	-0.3010	-470.80	-471.30	-472.10	-471.40	0.66
1.0	0	-522.20	-522.70	-522.90	-522.60	0.36
2.0	0.3010	-546.30	-549.10	-548.30	-547.90	1.44
3.0	0.4771	-576.40	-574.20	-575.10	-575.23	1.11
5.0	0.6990	-616.90	-615.40	-614.80	-615.70	1.08
7.0	0.8451	-639.90	-640.20	-640.50	-640.20	0.30
10.0	1	-669.40	-669.10	-669.90	-669.47	0.40

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของไม้ยางพารา

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
6.5	352.20	349.87	351.03	351.04	1.17	64.90
7	471.72	469.38	465.50	468.86	3.14	53.11
8	479.62	482.01	477.23	479.62	2.39	52.04
9	499.94	504.95	503.27	502.72	2.55	49.73
10	545.92	540.51	543.21	543.21	2.71	45.68

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับร้อยละการดูดซับซับไซด์ไฟด์ของ
ถ่านไม้ยางพารา

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
6.5	224.97	231.03	229.88	228.63	3.22	77.14
7	297.34	300.81	295.86	298.00	2.54	70.20
8	344.11	345.83	348.13	346.02	2.02	65.40
9	358.69	364.09	361.08	361.29	2.71	63.87
10	391.68	387.80	389.74	389.74	1.94	61.03

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซับไซด์ไฟด์
ของไม้ยางพารา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	385.87	381.42	382.05	383.11	2.41	61.69
50	341.27	341.83	345.25	342.78	2.16	65.72
100	358.69	355.14	356.91	356.91	1.78	64.31
150	429.13	427.71	422.06	426.30	3.74	57.37
200	473.29	468.60	471.72	471.20	2.39	52.88

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	246.48	240.82	239.62	242.31	3.66	75.77
50	214.40	211.57	218.71	214.89	3.60	78.51
100	222.00	222.74	228.36	224.37	3.48	77.56
150	256.50	258.64	255.22	256.79	1.72	74.32
200	269.15	269.60	266.92	268.56	1.43	73.14

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลา เขย่า (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	447.31	442.88	441.41	443.87	3.07	55.61
10	385.23	387.80	388.44	387.16	1.70	61.28
30	355.14	351.03	346.40	350.86	4.37	64.91
60	314.60	315.65	317.23	315.83	1.32	68.42
90	377.64	381.42	382.05	380.37	2.39	61.96
120	390.38	396.92	389.09	392.13	4.20	60.79

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเขย่ากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลา เขย่า (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	316.18	320.93	317.75	318.29	2.42	68.17
10	256.50	263.84	260.36	260.23	3.67	73.98
30	228.74	231.03	234.89	231.55	3.11	76.84
60	208.78	213.33	210.87	210.99	2.28	78.90
90	149.54	150.79	158.23	152.85	4.70	84.71
120	156.14	149.05	155.11	153.43	3.83	84.66

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาดัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลา สัมผัส (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	394.29	396.26	391.68	394.08	2.30	60.59
10	371.42	376.38	373.27	373.69	2.51	62.63
30	330.67	323.61	332.32	328.87	4.63	67.11
60	379.52	381.42	375.76	378.90	2.88	62.11
90	392.33	391.03	393.64	392.33	1.30	60.77
120	407.60	401.56	403.56	404.24	3.08	59.58

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	196.99	195.69	190.88	194.52	3.22	80.55
10	196.67	190.24	189.30	192.07	4.01	80.79
30	151.29	153.31	148.80	151.13	2.26	84.89
60	191.83	196.01	197.32	195.05	2.87	80.49
90	197.65	202.63	198.30	199.53	2.71	80.05
120	208.43	203.30	200.62	204.12	3.97	79.59

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของถ่านไม้ยางพารา

ความเข้มข้นซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
600	201.31	200.16	202.81	201.43	1.33	66.43
800	295.97	294.19	296.52	295.56	1.22	63.06
1,000	442.15	447.31	445.83	445.10	2.66	55.49
1,200	602.73	604.39	604.87	604.00	1.12	49.67
1,400	924.10	924.31	925.19	924.53	0.58	33.96
1,600	1217.74	1217.49	1216.91	1217.38	0.43	23.91

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์ของ
ถ่านไม้ยางพารา

ความเข้มข้น ซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
600	95.74	92.24	95.04	94.34	1.85	84.28
800	149.34	146.37	146.94	147.55	1.58	81.56
1,000	207.74	209.82	211.22	209.59	1.75	79.04
1,200	368.11	368.23	364.01	366.78	2.40	69.43
1,400	511.54	511.82	513.56	512.31	1.09	63.41
1,600	641.33	640.18	639.48	640.33	0.93	59.98

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	196.67	199.96	193.43	196.68	3.27	67.22
1.0	178.02	181.00	175.09	178.04	2.96	70.33
2.0	167.14	169.37	166.58	167.70	1.48	72.05
3.0	153.31	155.88	150.79	153.33	2.55	74.45
4.0	148.31	150.79	153.31	150.80	2.50	74.87
5.0	143.46	145.86	148.31	145.88	2.42	75.69

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านไม้ยางพารากับร้อยละการดูดซับ
ซัลไฟด์

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	96.32	91.03	93.17	93.51	2.66	84.42
1.0	84.06	86.61	88.79	86.49	2.37	85.59
2.0	82.26	79.58	78.27	80.04	2.04	86.66
3.0	80.37	76.47	79.71	78.85	2.09	86.86
4.0	80.11	77.11	74.96	77.39	2.59	87.10
5.0	78.79	73.73	74.10	75.54	2.82	87.41

ตารางผนวกที่ 14 การนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบเบตซ์มาดูดซับซัลไฟด์ด้วย
ไม้ยางพารา ทำการทดลอง 7 ครั้ง

การทดลองครั้งที่	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	178.04
2	181.75
3	179.73
4	180.02
5	181.04
6	182.43
7	183.31
เฉลี่ย	180.90
S.D.	1.79
ร้อยละการดูดซับ	69.85

ตารางผนวกที่ 15 การนำสถานะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบเบตซ์มาดูดซับซัลไฟด์ด้วย
ถ่านไม้ยางพารา ทำการทดลอง 7 ชั่วโมง

การทดลองครั้งที่	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	100.19
2	98.79
3	99.45
4	99.11
5	101.93
6	91.33
7	100.49
เฉลี่ย	98.76
S.D.	3.44
ร้อยละการดูดซับ	83.54

ตารางผนวกที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับของไม้ยางพารา

ปริมาณ (กรัม)	$C_{\text{เริ่มต้น}}$	$C_{\text{เหลือ}}$	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
0.5	600	196.68	0.1	80.66	0.0124	0.0051	1.9067	2.2938
1	600	178.04	0.1	42.20	0.0237	0.0056	1.6253	2.2505
2	600	167.70	0.1	21.62	0.0463	0.0060	1.3348	2.2245
3	600	153.33	0.1	14.89	0.0672	0.0065	1.1729	2.1856
4	600	150.80	0.1	11.23	0.0890	0.0066	1.0504	2.1784
5	600	145.88	0.1	9.08	0.1101	0.0069	0.9582	2.1640

ตารางผนวกที่ 17 ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านไม้ยางพารา

ปริมาณ (กรัม)	$C_{\text{เริ่มต้น}}$	$C_{\text{เหลือ}}$	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
0.5	600	93.51	0.1	101.30	0.0099	0.0107	2.0056	1.9709
1	600	86.49	0.1	51.35	0.0195	0.0116	1.7105	1.9370
2	600	80.04	0.1	26.00	0.0385	0.0125	1.4149	1.9033
3	600	78.85	0.1	17.37	0.0576	0.0127	1.2398	1.8968
4	600	77.39	0.1	13.07	0.0765	0.0129	1.1161	1.8887
5	600	75.54	0.1	10.49	0.0953	0.0132	1.0207	1.8782

ตารางผนวกที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของไม้ยางพารา

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
20	25.47	25.76	22.96	24.73	1.54	50.54
30	22.20	20.87	23.53	22.20	1.33	55.60
40	20.21	23.34	24.16	22.57	2.08	54.86
50	20.42	22.98	23.88	22.43	1.80	55.15
60	22.46	24.77	20.15	22.46	2.31	55.08

ตารางผนวกที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของถ่านไม้ยางพารา

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
20	17.22	18.69	15.75	17.22	1.47	65.56
30	14.29	17.84	15.49	15.87	1.81	68.25
40	15.01	14.80	18.22	16.01	1.92	67.98
50	15.11	18.04	15.27	16.14	1.65	67.72
60	15.18	17.23	15.53	15.98	1.10	68.04

ตารางผนวกที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลา สัมผัส (นาท)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	30.87	29.84	27.76	29.49	1.58	41.02
10	29.84	26.43	27.49	27.92	1.75	44.16
30	22.48	23.84	24.39	23.57	0.98	52.86
60	22.99	24.35	23.84	23.73	0.69	52.55
90	26.87	27.02	29.04	27.64	1.21	44.71
120	24.69	27.11	25.93	25.91	1.21	48.18
150	22.99	26.21	23.77	24.32	1.68	51.35

ตารางผนวกที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับร้อยละการดูดซับซัลไฟด์เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของถ่านไม้ยางพารา

ระยะเวลาสัมผัส (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	20.65	23.58	23.15	22.46	1.58	55.08
10	19.12	21.51	20.97	20.53	1.25	58.93
30	15.23	18.31	17.79	17.11	1.65	65.78
60	18.22	17.31	17.09	17.54	0.60	64.92
90	19.07	20.96	19.76	19.93	0.96	60.14
120	20.63	19.97	21.43	20.68	0.73	58.65
150	19.48	19.11	20.22	19.60	0.57	60.79

ตารางผนวกที่ 22 การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราโดยการทดลองแบบเบตซ์ 7 ซ้ำ

การทดลองครั้งที่	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ไม้ยางพารา	ถ่านไม้ยางพารา
1	1.18	0.42
2	1.10	0.44
3	1.18	0.48
4	1.09	0.38
5	1.11	0.44
6	1.09	0.43
7	1.07	0.47
เฉลี่ย	1.12	0.44
S.D.	1.49	1.05
ร้อยละการดูดซับ	62.91	85.48

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายกิตติพงศ์ กาวิน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลแพร่คริสเตียน อำเภอเมือง จังหวัดแพร่
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาเอกวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่น	นำเสนอผลงานทางวิชาการการประชุมวิชาการของ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ครั้งที่ 5 (กลุ่มวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี) เรื่อง การดูดซับซัลไฟด์ในน้ำเสียด้วย ไม้อย่างพาราและถ่านไม้อย่างพารา
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนวิจัยจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี