

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงานเยื่อและกระดาษ ซึ่งน้ำทิ้งมี สีนํ้าตาลค่อนข้างเข้มเนื่องจากส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์พวกลิกนิน โดยสารประกอบ ฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบหลักของลิกนิน (Lignin) ที่พบในเนื้อไม้ซึ่งย่อยสลายได้ยากเป็นสารทน ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพทำให้เกิดสีในน้ำทิ้ง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ การหาจุดสมดุลการดูดซับในการลดสี และ COD ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราและการหาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชใน การลดสี และ COD ส่วนที่สองเป็นการทดลองหาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราแล้วทำการวิเคราะห์ด้านคุณภาพและปริมาณของสาร ประกอบฟีนอลิก โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) และส่วนที่สามเป็น การหาเปอร์เซ็นต์การบำบัดสี COD และสารประกอบฟีนอลิกด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยาง พาราและความสัมพันธ์ของสี และ COD ที่สัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลิก

น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษที่ผ่านกระบวนการบำบัด แบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แต่ยังไม่เติมสารส้ม (ก่อน Final Sedimentation Tank) ของ โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษสยามเซลลูโลส จำกัด และสารดูดซับที่ใช้คือ แอคติเวตเต็ดคาร์บอน จากไม้ยางพารา เนื่องจาก ต่อพงศ์ (2544) ได้ทำการศึกษากำจัดสีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจาก กระบวนการตะกอนเร่งของโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษคราฟท์ไทยจำกัด ด้วยกระบวนการ ดูดซับ (Adsorption Process) โดยใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิ ภาพในการดูดซับในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจากการทดลองพบว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด รองลงมาคือแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากกะลามะพร้าวและถ่าน ลอยตามลำดับ

1. ผลการทดลองหาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับสีและ COD แอ็คติเวเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา

1.1 คุณสมบัติของน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อและกระดาษที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

น้ำทิ้งมีลักษณะทางกายภาพ คือ มีสีเหลืองค่อนข้างเข้ม มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนออกมามีกับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์พอลิกลินิน(Lignin) ซึ่งบำบัดได้ยากโดยกระบวนการทางชีวภาพทั่วไป (Metcalf, 2003; ปราณี, 2545 และมันสิน, 2542) ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุหลักของการทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากกระบวนการตะกอนเร่งมีความเข้มข้นของสีอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทิ้งที่ได้จากโรงงานเยื่อและกระดาษที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมีคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อและกระดาษ

ตัวอย่างน้ำเสีย	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์				
	Color	COD	BOD	SS	pH
	(ADMI Unit)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
น้ำทิ้งก่อนการดูดซับ	458.67	240	17	66	8.11

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อและกระดาษเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า เป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษอย่างสูงต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในข่ายที่อนุโลมให้มีค่า BOD และ COD สูงกว่าค่าปกติได้ โดย BOD ให้ค่าอนุโลม 60 mg/L และ COD ให้ค่าอนุโลม 400 mg/L และพบว่าค่า BOD , COD และ pH อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ แต่จะมีปัญหาด้านสีแม้ว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานตัวเลขชัดเจนเพียงแต่กำหนดให้มีสีของน้ำทิ้งไม่เป็นที่น่ารังเกียจแต่เมื่อปล่อยน้ำทิ้งที่มีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้มออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะก่อให้เกิดผลด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมและจิตวิทยาของชุมชนในการอุปโภคและบริโภค ดังนั้นจึงต้อง

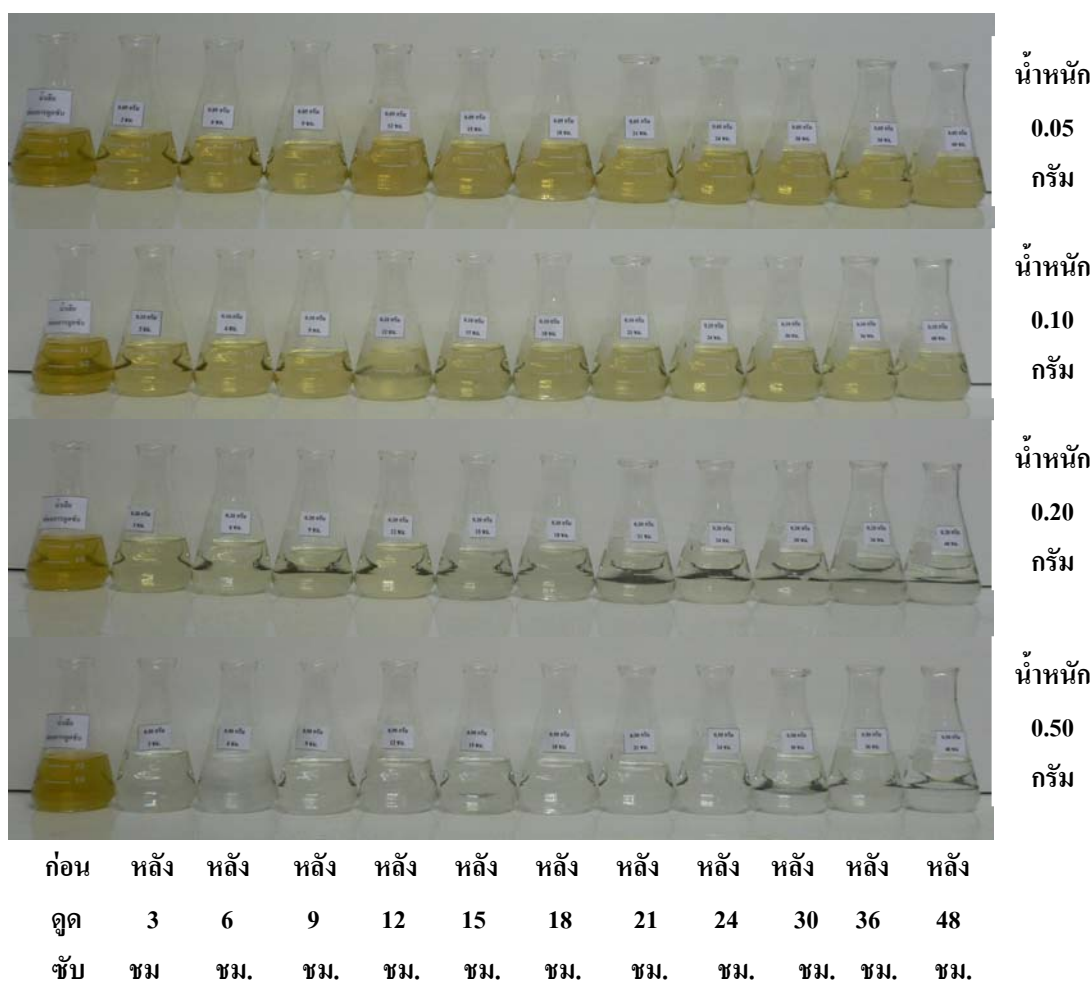
มีการศึกษาแนวทางในการลดสีโดยการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราให้ความเข้มข้นของสีลดลงอยู่ในเกณฑ์ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ

1.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาสัมผัสเพื่อเข้าสู่จุดสมดุลการดูดซับ (Equilibrium Point) ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา

การหาระยะเวลาสัมผัส (Contact time) ที่เหมาะสมเพื่อเข้าสู่จุดสมดุลการดูดซับ (Equilibrium Point) เพื่อใช้เป็นเวลาที่เหมาะสมในการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสีและ COD พบว่าที่จุดสมดุลการดูดซับนี้ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสต่อไป ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปฏิกิริยาการดูดซับจนเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ซึ่งเมื่อถึงจุดสมดุลการดูดซับแล้วการเพิ่มระยะเวลาการดูดซับจะไม่มีการเพิ่มอัตราการดูดซับอีก

การทดลองครั้งนี้ใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา โดยใช้ที่น้ำหนักดังต่อไปนี้ คือ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำที่ 100 มิลลิลิตร แล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ได้แก่ สี และ COD ของน้ำที่หลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง ก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอน ซึ่งในการทดลองใช้น้ำที่จากโรงงานเชื้อและกระดาษในการทดสอบโดยมีความเข้มข้นของสีเริ่มต้นเท่ากับ 458.67 ADMI Unit และ COD เริ่มต้นเท่ากับ 240 mg/L ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงการดูดซับสี น้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำที่ 100 มิลลิลิตร ระยะเวลาการสัมผัส 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ผลการดูดซับสีด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัม ต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร ระยะเวลาการสัมผัส 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36 และ 48 ชั่วโมง

จากภาพสามารถอธิบายได้ว่า

1. แอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.05 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราพบว่า ค่าความเข้มของสีเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2. แอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.10 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราพบว่า ระยะเวลาการดูดซับนานขึ้นค่าความเข้มของสีเริ่มลดลงเล็กน้อย

3. แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.20 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราพบว่า ที่น้ำหนักสารดูดซับมากขึ้นค่าความเข้มของสีเริ่มลดลง

4. แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราพบว่า ที่น้ำหนักสารดูดซับมากขึ้นค่าความเข้มของสีเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 11 การดูดซับสี และ COD ของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.05 กรัมต่อน้ำทิ้ง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ระยะเวลาการดูดซับ(ชั่วโมง)	ความเข้มของสี (ADMI)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดสี (%)	COD (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การบำบัด COD (%)
0	458.67	0.0000	240.00	0.0000
3	353.00	23.0383	161.00	32.9166
6	335.67	26.8166	156.50	34.7916
9	329.34	28.1967	137.00	42.9166
12	319.67	30.3050	136.00	43.3333
15	291.34	36.4815	125.00	47.9166
18	288.00	37.2097	122.50	48.9583
21	278.67	39.2439	121.50	49.3750
24	278.00	39.3899	121.50	49.3750
30	277.67	39.4619	118.00	50.8333
36	277.34	39.5338	118.50	50.6250
48	277.0	39.6079	119.00	50.4166

ตารางที่ 12 การดูดซับสี และ COD ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.10 กรัมต่อน้ำทิ้ง
ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ระยะเวลาการ ดูดซับ(ชั่วโมง)	ความเข้มข้นสี (ADMI)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดสี (%)	COD (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัด COD(%)
0	458.67	0.0000	240.00	0.0000
3	302.34	34.0833	145.00	39.5833
6	230.00	49.8550	136.00	43.3333
9	229.00	50.0730	130.00	45.8333
12	209.34	54.3593	125.00	47.9166
15	186.34	59.3738	108.00	55.0000
18	185.67	59.5199	86.50	63.9583
21	182.67	60.1739	86.00	64.1666
24	179.00	60.9741	86.00	64.1666
30	178.34	61.1180	85.00	64.5833
36	177.00	61.4101	84.00	65.0000
48	175.67	61.7001	83.00	65.4166

ตารางที่ 13 การดูดซับสี และ COD ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.20 กรัมต่อน้ำทิ้ง
ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

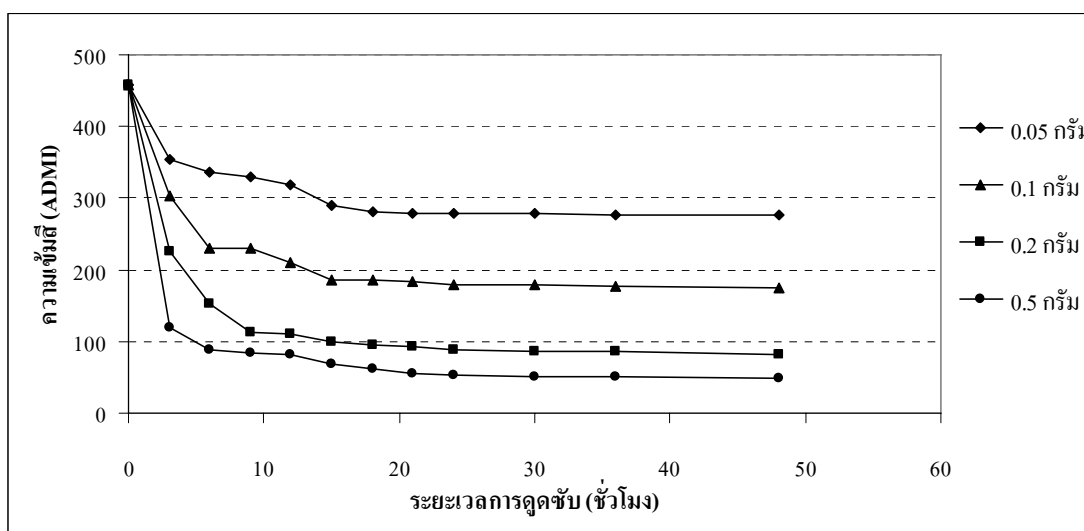
ระยะเวลาการ ดูดซับ(ชั่วโมง)	ความเข้มข้นสี (ADMI)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัดสี (%)	COD (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การ บำบัด COD(%)
0	458.67	0.0000	240.00	0.0000
3	226.00	50.7271	130.00	45.8333
6	152.34	66.7865	125.50	47.7083
9	113.67	75.2174	100.50	58.1250
12	110.00	76.0176	90.00	62.5000
15	100.34	78.1237	78.00	67.5000
18	95.67	79.1418	74.00	69.1666
21	93.34	79.6498	56.50	76.4583
24	88.67	80.668	56.50	76.4583
30	87.00	81.0321	54.50	77.2916
36	86.34	81.1760	54.00	77.5000
48	82.34	82.0480	53.00	77.9166

ตารางที่ 14 การดูดซับสี และ COD ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อน้ำทิ้ง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ระยะเวลาการดูดซับ(ชั่วโมง)	ความเข้มข้นสี (ADMI)	เปอร์เซ็นต์การบำบัดสี (%)	COD (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การบำบัด COD(%)
0	458.67	0.0000	240.00	0.0000
3	118.67	74.1273	93.50	61.0416
6	89.37	80.5154	79.50	66.8750
9	83.34	81.8300	72.50	69.7916
12	82.67	81.9761	61.00	74.5833
15	68.67	85.0284	59.00	75.4166
18	63.00	86.2646	58.00	75.8333
21	54.34	88.1527	47.50	80.2083
24	53.34	88.3707	44.50	81.4583
30	51.67	88.7348	42.50	82.2916
36	51.00	88.8808	41.00	82.9166
48	49.67	89.1708	41.00	82.9166

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับสีด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนักต่างกันดังนี้ คือ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร สรุปได้ว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัม (พื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า) มีความสามารถในการดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมาคือ 0.20, 0.10 และ 0.05 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ผิวจำเพาะของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ โดยสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากจะดูดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนักมาก (มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า) มีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่าให้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนักน้อย (มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า)

จากผลการทดลองการดูดซับทั้งหมดคือ แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อน้ำที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการดูดซับสีและ COD ได้ดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23



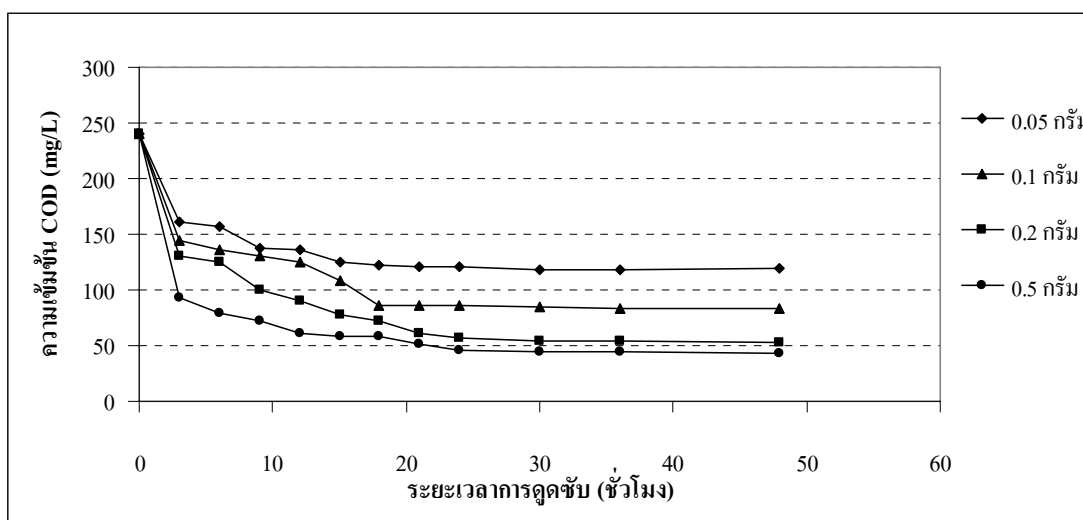
ภาพที่ 22 ผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีต่อการดูดซับสีของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่า

1. เมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับให้นานขึ้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้จนเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่ความเข้มข้นของสีจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง
2. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนมากจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดีขึ้น
3. การเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับสีของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางที่น้ำหนักต่างกัน ดังนี้ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อน้ำที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับสีในชั่วโมงที่ 15, 15, 18 และ 21 ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของสีที่จุดสมดุลมีค่าเท่ากับ 36.4815 %, 59.3738 %, 79.1418 % และ 88.1527 % ตามลำดับ โดยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.05 กรัม (พื้นที่ผิวจำเพาะน้อย) จะเข้าสู่สมดุลการดูดซับเร็วที่สุด ตามด้วย 0.10, 0.20 และ

0.50 กรัม (พื้นที่ผิวจำเพาะมาก) จะเข้าสู่สมดุลการดูดซับช้าที่สุดตามลำดับ เนื่องจากอัตราของการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ ทำให้สารดูดซับที่น้ำหนักน้อยกว่าจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับได้เร็วกว่าสารดูดซับที่มีน้ำหนักมาก

4. การเพิ่มความเข้มข้นของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดีขึ้น แต่จะทำให้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลนานขึ้นด้วย



ภาพที่ 23 ผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีต่อการดูดซับ COD ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่า

1. เมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับให้นานขึ้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้จนเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่ความเข้มข้นของ COD จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง
2. การใช้น้ำหนักแอคติเวตเต็ดคาร์บอนมากจะทำให้การดูดซับดีขึ้นแต่ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลจะนานขึ้นกว่าใช้น้ำหนักแอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้อย

3. การเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับ COD ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้อย่างที่น้ำหนักต่างกัน ดังนี้ 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัม เริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับสีในชั่วโมงที่ 15, 18, 21 และ 24 ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของสีที่จุดสมดุลมีค่าเท่ากับ 47.9166 %, 63.9583 %, 76.4583 % และ 81.4583 % ตามลำดับ โดยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.05 กรัม (พื้นที่ผิวจำเพาะน้อย) จะเข้าสู่สมดุลการดูดซับเร็วที่สุด ตามด้วย 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัม (พื้นที่ผิวจำเพาะมาก) จะเข้าสู่สมดุลการดูดซับช้าที่สุดตามลำดับ เนื่องจากอัตราของการดูดซับจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ ทำให้สารดูดซับที่น้ำหนักน้อยกว่าจะเข้าสู่สมดุลการดูดซับได้เร็วกว่าสารดูดซับที่มีน้ำหนักมาก

4. การเพิ่มความเข้มข้นของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดีขึ้น แต่จะทำให้ระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลนานขึ้นด้วย

ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งภายหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้อย่างพาราทำให้ความเข้มของสี และ COD มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันนั่นคือ เมื่อความเข้มของสีลดลง ความเข้มข้นของ COD จะลดลงด้วย

จากการศึกษาหาระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสีและ COD ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้อย่างพารา สามารถสรุปได้ว่า จุดสมดุลการดูดซับสีและ COD ของน้ำทิ้งด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้อย่างพาราที่น้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร พบว่าจุดสมดุลการดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาการดูดซับอย่างน้อยที่สุดตั้งแต่ที่ 24 ชั่วโมงเป็นต้นไป เมื่อใช้ปริมาณของแอคติเวตเต็ดคาร์บอน 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร สามารถลดความเข้มของสีเท่ากับ 88.3707 % และลด COD เท่ากับ 81.4583 %

1.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนิขของการดูดซับที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมงด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำถึง 100 มิลลิลิตร

การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของสารดูดซับในการวิจัยนี้ เป็นการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนิข เนื่องจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนิขใช้อย่างแพร่หลายในการอธิบายการดูดซับในในระบบของเหลวโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ (X/M) กับความเข้มข้นของสารดูดซับที่จุดสมดุล (C_e) ในการพิจารณาความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

การทดลองใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนในการดูดซับสี และ COD ตามระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับที่ได้ศึกษาที่ 24 ชั่วโมง แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารดูดซับต่อน้ำหนักแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้ (X/M) และความเข้มข้นสารดูดซับที่เหลือ (C_e) ณ จุดสมดุล โดยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$X/M = KC_e^{1/n}$$

โดยที่ X/M = ปริมาณสารดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

C_e = ความเข้มข้นสารดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = พลังงานความแข็งแรงในการดูดซับ

สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปลอการิทึม ได้เป็น

$$\log X/M = \log K + 1/n \log C_e$$

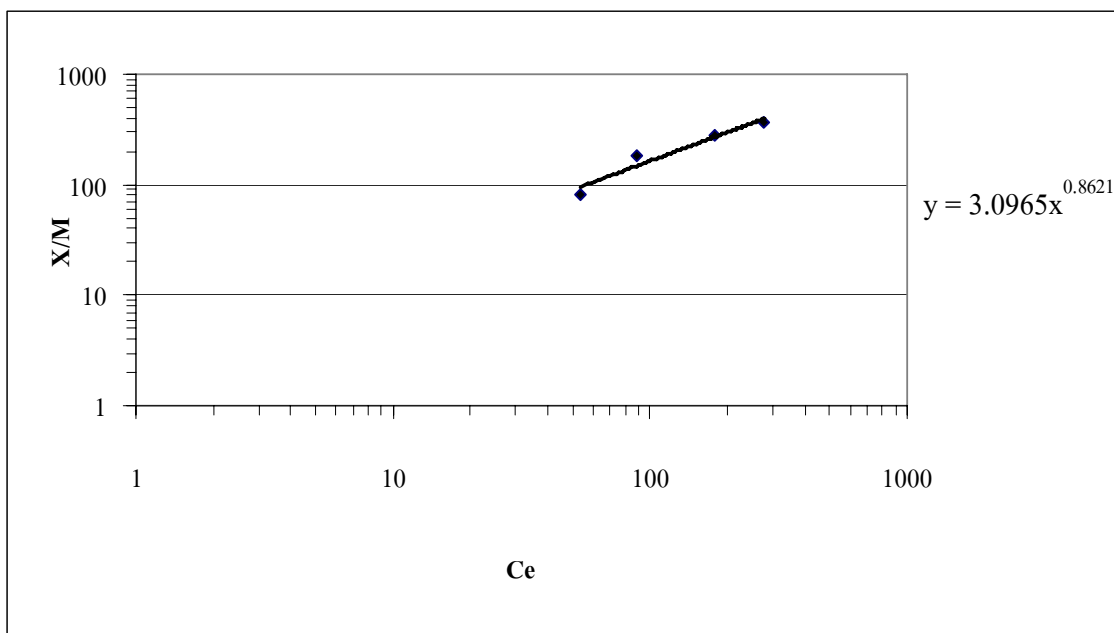
Faust and Aly (1987) ได้กล่าวว่า เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ $\log - \text{scale}$ จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) เป็นค่า $\log K$ ซึ่งค่า $1/n$ ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านแอคติเวตเต็ด

คาร์บอนส่วนใหญ่จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี และจะเกิดเมื่อ ณ จุดที่มีความเข้มข้นที่จุดสมดุลมีค่าสูง และค่าความชัน $1/n$ ที่มากแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะในการดูดซับ สมการของฟรุนดลิช ยังกล่าวถึงค่าความจุของการดูดซับเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุลด้วย ดังนั้นค่าความจุที่เพิ่มขึ้นจะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นที่จุดสมดุล

น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษที่ใช้ทดสอบ ซึ่งมีความเข้มข้นของสีเริ่มต้นเท่ากับ 458.67 ADMI Unit และ COD เท่ากับ 240 mg/L ดังตารางที่ 15 และภาพที่ 24 แสดงไอโซเทอมการดูดซับสีและ COD แบบฟรุนดลิชของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้อย่างพาราที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับสีด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_o	C_e	$X = C_o - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	458.67	278.00	180.67	361.34
1.00	458.67	179.00	279.67	279.67
2.00	458.67	88.67	370.00	185.00
5.00	458.67	53.34	405.33	81.06



ภาพที่ 24 ไอโซเทอมการดูดซับสปีแบบฟรุนดลิชที่จุดสมดุลการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง

สมการแสดงความสัมพันธ์แสดงไอโซเทอมการดูดซับสปีด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ 24 ชั่วโมง สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปลอการิทึมได้เป็น

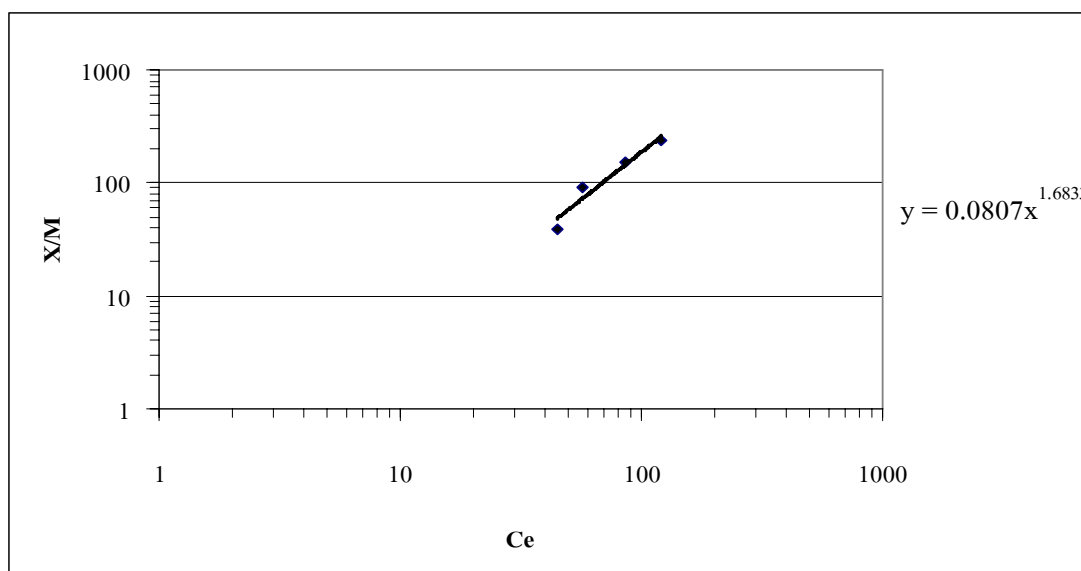
$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 3.0965 C_e^{0.8621} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 3.0965 \quad \text{และ} \quad 1/n = 0.8621$$

จากไอโซเทอมการดูดซับสปีแบบฟรุนดลิชของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 24 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับสปีมีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 3.0965 และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.8621 ซึ่ง Faust and Aly (1987) ได้กล่าวไว้ว่าค่า $1/n$ ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่จะมีค่าเข้าใกล้ 1 และจะเกิดเมื่อ ณ จุดที่มีความเข้มข้นที่จุดสมดุลมีค่าสูง แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี และค่าความชัน $1/n$ ที่มากแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะในการดูดซับ

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ COD ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่
ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M (g/L)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	$X = C_0 - C_e$ (mg/L)	X/M (mg/g)
0.50	240.00	121.50	118.50	237.00
1.00	240.00	86.00	154.00	154.00
2.00	240.00	56.50	183.50	91.75
5.00	240.00	44.50	195.50	39.10



ภาพที่ 25 ไอโซเทอมการดูดซับ COD แบบฟรุนดลิชที่จุดสมดุลการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง

สมการแสดงความสัมพันธ์แสดงไอโซเทอมการดูดซับ COD ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ 24 ชั่วโมง สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปลอการิทึมได้เป็น

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 0.0807 C_e^{1.6833} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 0.0807 \quad \text{และ} \quad 1/n = 1.6833$$

จากไอโซเทอมการดูดซับสี่แบบฟรุนดิชของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 25 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับสี่มีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 0.0807 และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 1.6833 ซึ่ง Faust and Aly (1987) ได้กล่าวไว้ว่าค่า $1/n$ ที่ได้จากกราฟการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่จะมีค่าเข้าใกล้ 1 และจะเกิดเมื่อ ณ จุดที่มีความเข้มข้นที่จุดสมดุลมีค่าสูง แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดีและค่าความชัน $1/n$ ที่มากแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะในการดูดซับ

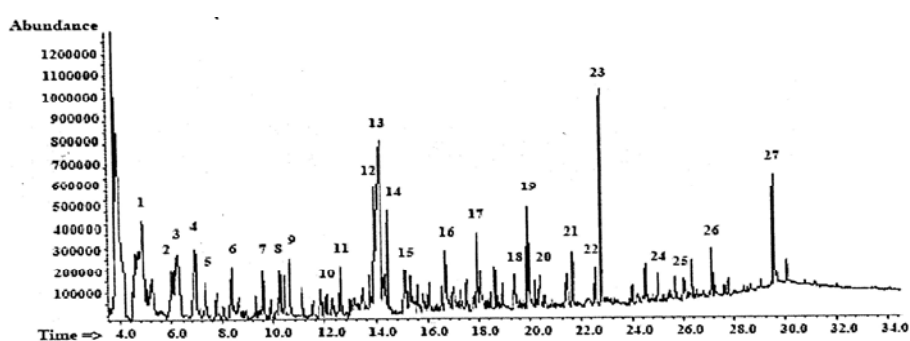
สามารถสรุปได้ว่าแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีคุณสมบัติเหมาะสมในการดูดซับสี และ COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษได้ ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้ในการกำจัดสี กลิ่น รส ตลอดจนโลหะหนักต่าง ๆ, สารฆ่าแมลง, สารชักฟอก, สารประกอบฟีนอลและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำ (ชัชวาลย์, 2546)

2. การทดลองหาความสามารถของแอคทีเวตเตดคาร์บอนจากไม้ยางพาราในการดูดซับสารประกอบเคมี และการวิเคราะห์ด้านคุณภาพและปริมาณของสารประกอบเคมีด้วยเครื่อง GC-MS และ GC

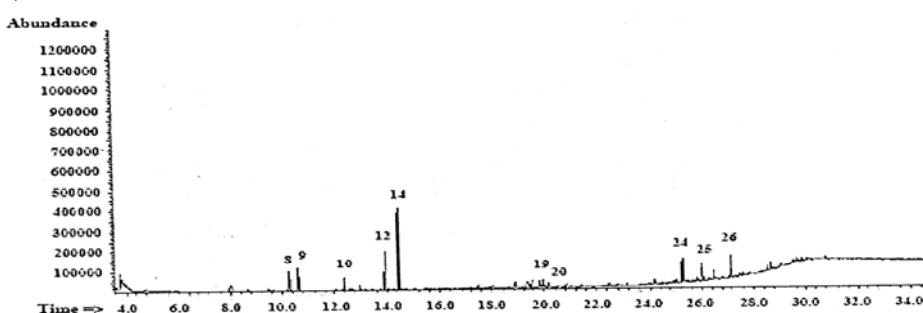
Kreetachat *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสารประกอบเคมีที่พบในน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษก่อนการบำบัดและภายหลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งด้วยเครื่อง GC – MS แสดงผลดังต่อไปนี้

2.1. ผลของสารประกอบเคมีชนิดต่าง ๆ ที่พบในน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษก่อนการบำบัดและภายหลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งด้วยเครื่อง GC – MS

แสดงโครมาโตแกรมดังภาพที่ 26 และรายละเอียดของชนิดของสารประกอบเคมีชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 17 และตารางที่ 18 ตามลำดับ



ก. ก่อนการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง



ข. หลังการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง

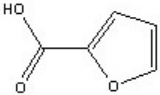
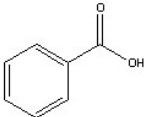
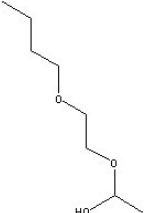
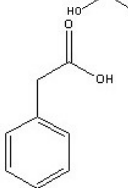
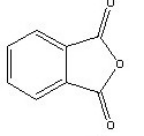
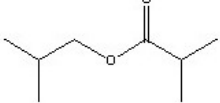
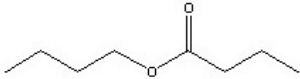
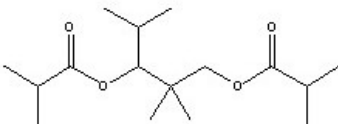
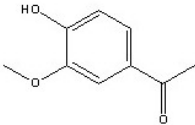
ภาพที่ 26 (ก) โครมาโตแกรมของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษก่อนการบำบัดแบบตะกอนเร่ง

(ข) โครมาโตแกรมของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษหลังการบำบัดแบบตะกอนเร่ง

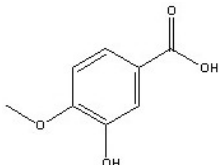
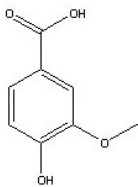
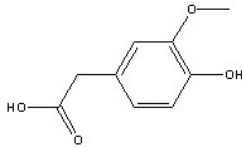
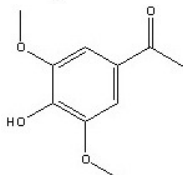
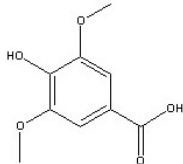
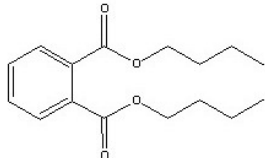
ตารางที่ 17 ชนิดสารประกอบเคมีต่าง ๆ ที่พบในน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อและกระดาษวิเคราะห์ด้วย GC-MS

ลำดับ พีค	เวลาที่พบ (นาที)	สารประกอบเคมี	พื้นที่ใต้พีค	
			น้ำเสียก่อน บำบัดด้วย AS	น้ำเสียหลัง บำบัดด้วย AS
1	4.62	Unidentified Compound	7.20	0.00
2	5.26	2-Furancarboxylic Acid	2.61	0.00
3	6.16	Unidentified Compound	5.18	0.00
4	6.96	Benzoic Acid	8.56	0.00
5	7.30	1-(2-Butoxyethoxy) Ethanol	2.42	0.00
6	8.36	Phenylacetic Acid	3.25	5.71
7	9.59	Phthalic Anhydride	2.59	0.00
8	10.26	Isobutyl Isobutyrate	2.39	8.91
9	10.62	Butyl Butyrate	3.47	9.52
10	12.35	2-methyl-2,2-dimethyl-1-(1methylethyl)-1,3-propanediyl Ester	1.03	4.78
11	12.65	Ethanone	2.51	1.88
12	13.91	Isovanillic Acid	5.90	15.77
13	14.17	Vanillic Acid	5.90	0.00
14	14.46	Unidentified Compound	4.44	26.20
15	15.31	Homovanillic Acid	2.69	0.00
16	16.67	3',5'-Dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone	4.50	0.00
17	17.94	4-Hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic acid	5.18	0.00
18	19.87	Palmitic Acid	3.98	3.10
19	19.96	Dibutyl Phthalate	2.97	2.89
20	20.35	E - Icosane	2.26	2.43
21	21.64	Unidentified Compound	2.23	0.00
22	22.52	Stearic Acid	1.90	0.00
23	22.77	n-Docosane	8.69	0.00
24	25.27	Bis(trimethylsiloxy)methylsilane	1.39	8.98
25	25.84	Hexamethylcyclotrisiloxane	1.13	1.76
26	27.14	Dioctyl Phthalate	1.69	8.08
27	29.55	Erucamide	3.97	0.00

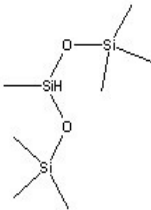
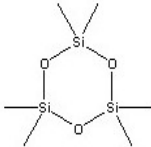
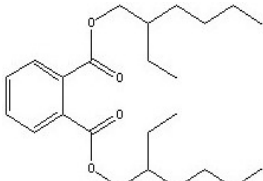
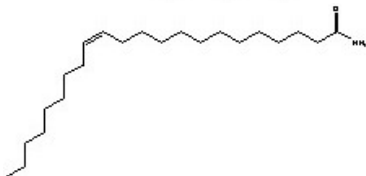
ตารางที่ 18 สูตรโครงสร้างของสารประกอบเคมีที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ลำดับ พีค	เวลาที่พบ (นาที)	สารประกอบเคมี	สูตรโครงสร้าง (Chemical Structure)
1	4.62	Unidentified Compound	-
2	5.26	2-Furancarboxylic Acid	
3	6.16	Unidentified Compound	-
4	6.96	Benzoic Acid	
5	7.30	1-(2-Butoxyethoxy) Ethanol	
6	8.36	Phenylacetic Acid	
7	9.59	Phthalic Anhydride	
8	10.26	Isobutyl Isobutyrate	
9	10.62	Butyl Butyrate	
10	12.35	2-methyl-2,2-dimethyl-1-(1-methylethyl)- 1,3-propanediyl Ester	
11	12.65	Ethanone,1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)	

ตารางที่ 18 (ต่อ)

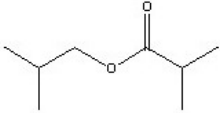
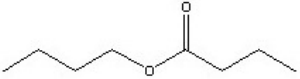
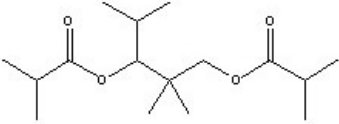
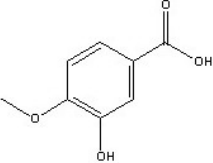
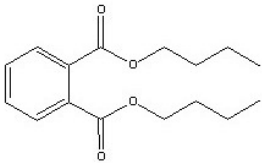
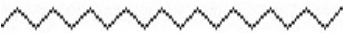
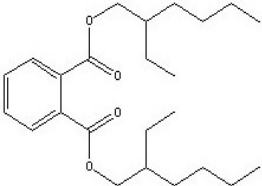
ลำดับ พีค	เวลาที่พบ (นาที)	สารประกอบเคมี	สูตรโครงสร้าง (Chemical Structure)
12	13.91	3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid , Isovanillic Acid	
13	14.17	Vanillic Acid	
14	14.46	Unidentified Compound	-
15	15.31	Homovanillic Acid	
16	16.67	3',5'-Dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone	
17	17.94	4-Hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic acid	
18	19.87	Palmitic Acid	
19	19.96	Dibutyl Phthalate	
20	20.35	E - Icosane	
21	21.64	Unidentified Compound	-

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ลำดับ พีค	เวลาที่พบ (นาที)	สารประกอบเคมี	สูตรโครงสร้าง (Chemical Structure)
22	22.52	Stearic Acid	
24	25.27	Bis(trimethylsiloxy) methylsilane	
25	25.84	Hexamethylcyclotrisiloxane	
26	27.14	Diethyl Phthalate	
27	29.55	Erucamide	

จากผลโครมาโตแกรมของภาพที่ 26 พบว่า การบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งช่วยกำจัดสารเคมีประเภทต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งสารเคมีที่ถูกกำจัดในระบบตะกอนเร่ง คือ 2-Furancarboxylic Acid, Benzoic Acid, 1-(2-Butoxyethoxy)Ethanol, Phenylacetic Acid, Phthalic Anhydride, 2-methyl-2,2-dimethyl-1-(1-methylethyl)-1,3-propanediyl Ester, Ethanone, Vanillic Acid, Homovanillic Acid, 3',5'-Dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone, 4-Hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic Acid, Palmitic Acid, Stearic Acid และ Erucamide ส่วนสารเคมีที่ไม่ถูกกำจัดมีอยู่ 8 ชนิด ดังแสดงในโครมาโตแกรมของภาพที่ 26 ข. ซึ่งสารเคมีที่ประกอบอยู่ในน้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งจะแสดงในตารางที่ 18 ส่วน Bis(trimethylsiloxy)methylsilane และ Hexamethylcyclotrisiloxane เป็นสารเคมีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา Silylation ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ประกอบอยู่ในน้ำทิ้งของโรงงาน

ตารางที่ 19 ชนิดของสารประกอบเคมีที่พบในน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่ง
(Activated Sludge)

ลำดับพีค	เวลาที่พบ (นาที)	สารประกอบเคมี	สูตรโครงสร้าง (Chemical Structure)
8	3.878	Isobutyl Isobutyrate	
9	4.797	Butyl Butyrate	
10	12.35	2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(1-methylethyl)-1,3-propanediyl ester	
12	15.268	Isovanillic Acid	
14	14.46	Unidentified Compound	-
19	20.157	Dibutyl Phthalate	
20	20.504	E - Icosane	
26	27.096	Dioctyl Phthalate	

จากตารางที่ 19 พบว่าสารประกอบเคมีที่พบ 8 ชนิด มีเพียง 1 ชนิด คือ ฟิคที่ 14 ที่ไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างได้จากเครื่อง GC-MS ระยะเวลาที่พบ 14.46 นาที ส่วนสารประกอบที่เหลืออีก 7 ชนิด สามารถหาสูตร โครงสร้างได้หมดทุกชนิด

การทดลองหาสารประกอบเคมีต่าง ๆ ด้วยเครื่อง GC จะทำการนํิดสารเคมีมาตรฐานทั้ง 6 ชนิดเข้าไปที่เครื่อง GC แล้วเปรียบเทียบระยะเวลาที่ออกของสารแต่ละชนิด โดยนำไปเปรียบเทียบกับเครื่อง GC-MS ได้ผลดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบระยะเวลาที่พบของสารประกอบเคมีจากเครื่อง GC-MS และเครื่อง GC

สารประกอบเคมี	ระยะเวลาที่พบของเครื่อง GC-MS (นาที)	ระยะเวลาที่พบของเครื่อง GC (นาที)
Isobutyl Isobutyrate	3.878	3.969
Butyl Butyrate	4.797	4.771
Isovanillic Acid	15.268	13.547
Dibutyl Phthalate	20.157	20.010
E - Icosane	20.504	21.786
Dioctyl Phthalate	27.096	27.084

ในการทดลองจะทำการหาปริมาณของสารเคมี 6 ชนิดในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแบบตะกอนเร่ง คือ Isobutyl Isobutyrate, Butyl Butyrate, Isovanillic acid, Dibutyl Phthalate, E – Icosane และ Dioctyl Phthalate โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography ที่มี Detector เป็น FID ในการหาปริมาณสารเคมีทั้ง 6 ชนิด ก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารทั้ง 6 ชนิด ทำการสร้างกราฟมาตรฐานสัมบูรณ์ (Absolute Calibration Curve Method) ของสารทั้งหกชนิดที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานเทียบหาปริมาณสารแต่ละชนิดที่ถูกดูดซับ แสดงดังภาพผนวกที่ ก1

การทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% Recovery) ของสารประกอบเคมีเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและถูกต้อง ในการทดลองใช้สารประกอบเคมีที่เป็นสารมาตรฐานทั้ง 6 ชนิด เข้มข้น 500 mg/L นำไปผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลาย Ethyl Acetate แล้วระเหยให้แห้ง

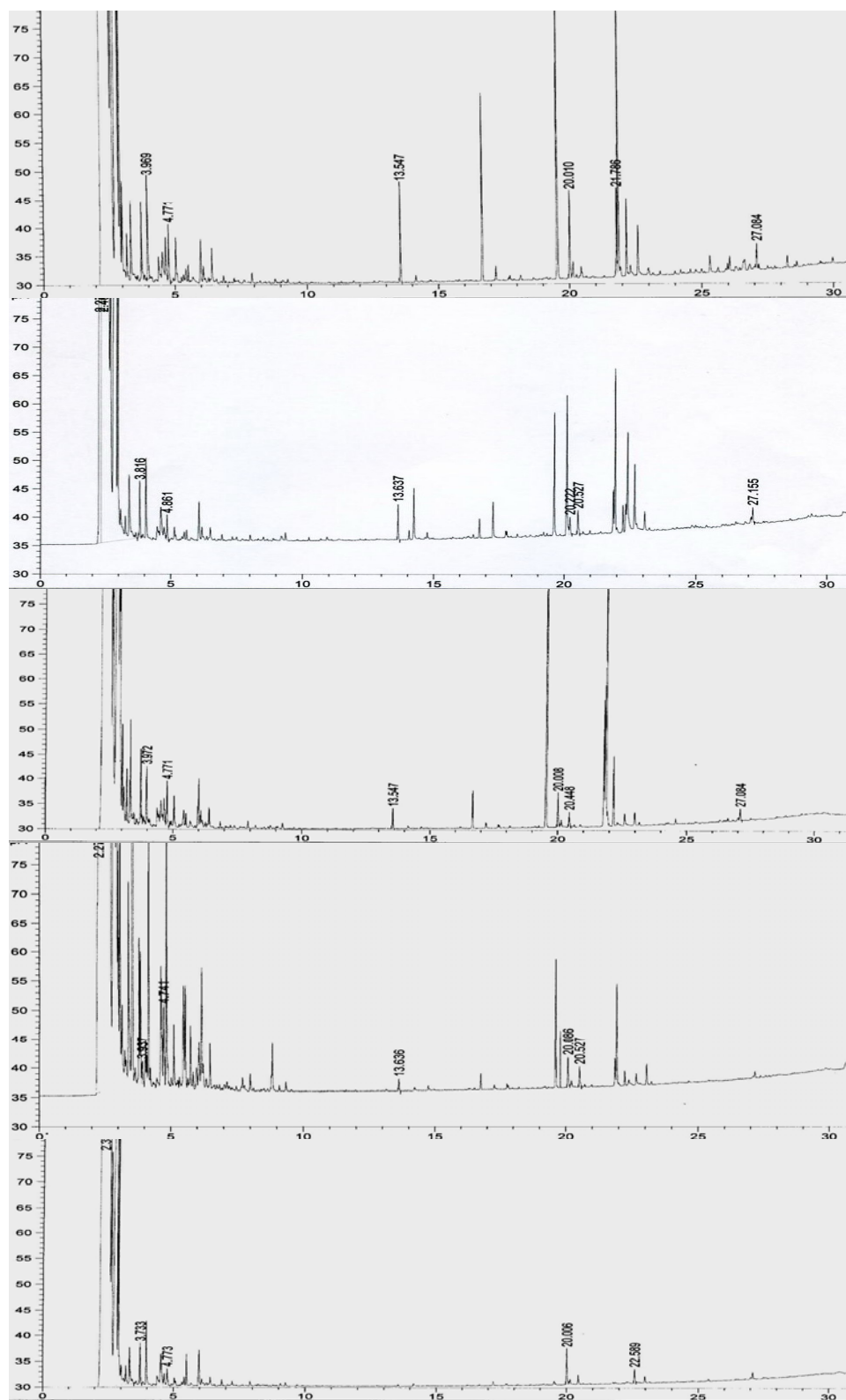
แล้วผ่านขั้นตอนการทำอนุพันธ์ (Derivatization) แล้วฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อหาปริมาณสารแต่ละชนิดเทียบกับกราฟมาตรฐานดังภาพผนวกที่ ก1 และผลการทดลองเปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารประกอบเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารประกอบเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

สารประกอบพีนอลิก	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสุดท้าย(mg/L)			เปอร์เซ็นต์ที่ได้ กลับคืนมา (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
Isobutyl Isobutyrate	500	306.85693	310.07213	308.46453	61.69290
Butyl Butyrate	500	369.82195	361.20522	365.51358	73.10271
Isovanillic Acid	500	387.98085	404.88611	396.43348	79.28669
Dibutyl Phthalate	500	299.72327	305.80353	302.76340	60.55268
E – Icosane	500	397.17200	413.46314	405.31757	81.06351
Dioctyl Phthalate	500	305.36562	316.16024	310.76293	62.15258

การทดลองได้นำน้ำทิ้งก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ไปทำการวิเคราะห์สารประกอบเคมีต่าง ๆ โดยผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลาย Ethyl Acetate แล้วนำไประเหย (Evaporation) จนแห้งผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นอนุพันธ์ (Derivatization) โดยการเติม BSTFA (N, O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (μ l) และ TMCS (Trimethylchlorosilane) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร (μ l) ให้ความร้อนในตู้อบ (Oven) ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นละลายในตัวทำละลาย Chloroform นำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ได้พื้นที่ได้พีค (Area Peak) นำไปคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานสัมบูรณ์ แสดงผลโครมาโตแกรมสารประกอบเคมีที่พบในน้ำทิ้งก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ดังภาพที่ 27

Abundance



ก่อนการดูดซับ

Time (min)

หลังดูดซับ AC

0.05 กรัม

Time (min)

หลังดูดซับ AC

0.10 กรัม

Time (min)

หลังดูดซับ AC

0.20 กรัม

Time (min)

หลังดูดซับ AC

0.50 กรัม

Time (min)

ภาพที่ 27 โครมาโตแกรมของสารประกอบเคมีก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอน

จากโครมาโตแกรมผลการดูดซับสารประกอบสารประกอบเคมีก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนพบว่า เมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณของสารประกอบเคมีทั้ง 6 ชนิดที่ประกอบอยู่ในน้ำทั้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่น้ำหนักต่างๆ กัน ได้ผลข้อมูลดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณของสารประกอบเคมีที่ถูกดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่น้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.50 กรัม

สารประกอบเคมี	น้ำหนักแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา (กรัมต่อปริมาตรน้ำทั้ง 100 มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสารประกอบเคมี (mg/L)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
		ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
Isobutyl	0.05	56.7305	37.8294	33.3173
Isobutyrate	0.10	56.7305	36.7060	35.2977
	0.20	56.7305	26.6474	53.0280
	0.50	56.7305	27.24385	51.9767
Butyl Butyrate	0.05	25.2244	15.7871	37.4133
	0.10	25.2244	21.7825	13.6451
	0.20	25.2244	36.6420	0.0000
	0.50	25.2244	18.3918	27.0872
Isovanillic Acid	0.05	70.4460	37.49505	46.7747
	0.10	70.4460	30.1590	57.1884
	0.20	70.4460	29.2406	58.4921
	0.50	70.4460	0.0000	100.0000
Dibutyl	0.05	20.4728	2.5003	87.7872
Phthalate	0.10	20.4728	6.1014	70.1975
	0.20	20.4728	6.3433	69.0159
	0.50	20.4728	6.8640	66.4725

ตารางที่ 22 (ต่อ)

ชนิด	น้ำหนักแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา (กรัมต่อปริมาตรน้ำทั้ง 100 มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นสารประกอบเคมี (mg/L)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
		ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
E – Icosane	0.05	12.5914	3.2791	73.9577
	0.10	12.5914	1.5262	87.8790
	0.20	12.5914	2.3305	81.4914
	0.50	12.5914	0.0000	100.0000
Diocetyl	0.05	3.1604	1.3960	55.8283
Phthalate	0.10	3.1604	0.6552	79.2668
	0.20	3.1604	0.0000	100.0000
	0.50	3.1604	0.0000	100.0000

จากข้อมูลชนิดและปริมาณของสารประกอบเคมีก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา นำมาหาไอโซเทอมแบบฟรุนลิช เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ (X/M) กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (C_0) เพื่อพิจารณาความสามารถของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราในการดูดซับชนิดของสารประกอบเคมีดังต่อไปนี้ คือ Isobutyl Isobutyrate, Butyl Butyrate, Isovanillic acid, Dibutyl Phthalate, E – Icosane และ Diocetyl Phthalate

การทดลองใช้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ในการดูดซับสารประกอบเคมีทั้ง 6 ชนิด ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับที่ได้ศึกษาที่ 24 ชั่วโมง แล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้ (X/M) และความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่เหลือ (C_0) ณ จุดสมดุล

2.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนดิชในการดูดซับ Isobutyl Isobutyrate

การดูดซับ Isobutyl Isobutyrate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 56.7305 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 23 และภาพที่ 28

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ Isobutyl Isobutyrate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	56.7305	37.8294	18.9011	37.8022
1.00	56.7305	36.7060	20.0245	20.0245
2.00	56.7305	26.6474	30.0831	15.0415
5.00	56.7305	27.2438	29.4867	5.8973

โดยที่ X/M = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

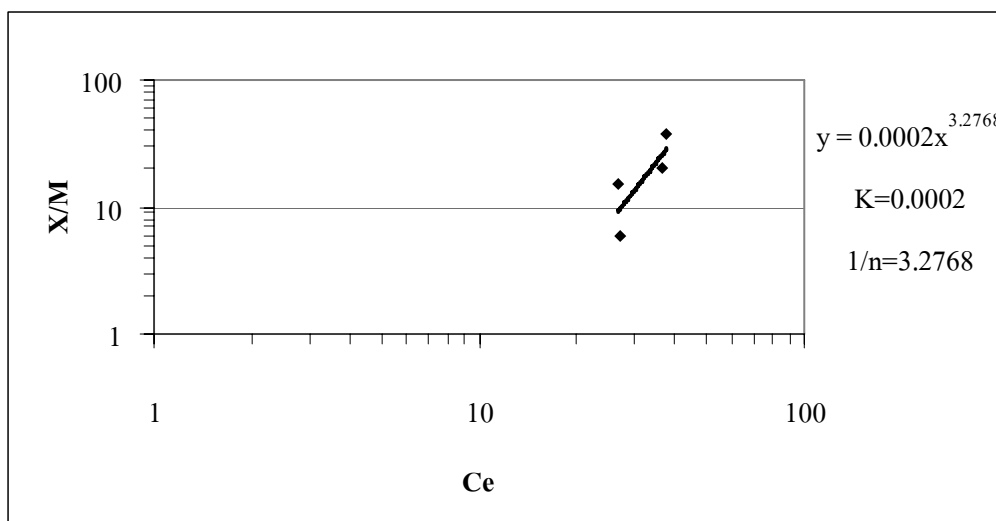
C_e = ความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = พลังงานความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ log – scale จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ไอโซเทอมการดูดซับ Isobutyl Isobutyrate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

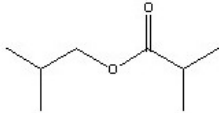
โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 0.0002 C_e^{3.2768} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 0.0002 \quad \text{และ} \quad 1/n = 3.2768$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 28 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับนี้มีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 0.0002 และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 3.2768 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 5.8973 - 37.8022 mg/L เมื่อความเข้มข้นของ Isobutyl Isobutyrate เริ่มต้นเท่ากับ 56.7305 mg/L พบว่ามีค่าความชัน $1/n$ ที่สูง หมายถึงมีความแข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) ได้มาก แสดงว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความเหมาะสมในการดูดซับ Isobutyl Isobutyrate ได้

เนื่องจาก Isobutyl Isobutyrate ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและสารเติมแต่งพวกกรดไขมัน (Fatty Acid) ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 144.21 มีสูตร

โมเลกุล คือ $C_8H_{16}O_2$ สูตรโครงสร้างทางเคมี คือ  เป็นสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) ซึ่งมีการ์บอนอะตอมสายยาวมีโซ่กิ่ง (Branch Chain) คุณสมบัติโมเลกุลเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ทำให้สามารถละลายน้ำได้น้อย

Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะถูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง

จะเห็นได้ว่า สารประกอบเคมี Isobutyl Isobutyrate เป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและสารเติมแต่งพวกกรดไขมัน (Fatty Acid) ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) และเป็นสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) มีการ์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวแบบโซ่กิ่ง (Branch Chain) ซึ่ง Mihelcic (1999) ได้ทำการศึกษาพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบพวกอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำได้น้อย และแอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่ก็มีความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้บ้างเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก Isobutyl Isobutyrate มีคุณสมบัติโมเลกุลเป็นสารที่ไม่มีขั้วสามารถละลายน้ำได้น้อย ทำให้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราสามารถดูดซับสารประกอบ

เคมี Isobutyl Isobutyrate ได้ (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*, 1975) ซึ่งพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำถึง 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับสารประกอบเคมี Isobutyl Isobutyrate ได้เท่ากับ 51.9767 %

2.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชในการดูดซับ Butyl Butyrate

การดูดซับ Butyl Butyrate ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 25.2244 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 24 และภาพที่ 29

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ Butyl Butyrate ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	25.2244	15.7871	9.4373	18.87460
1.00	25.2244	21.7825	3.4419	3.44190
2.00	25.2244	36.6420	-11.4176	-5.7088
5.00	25.2244	18.3918	6.8326	1.36652

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

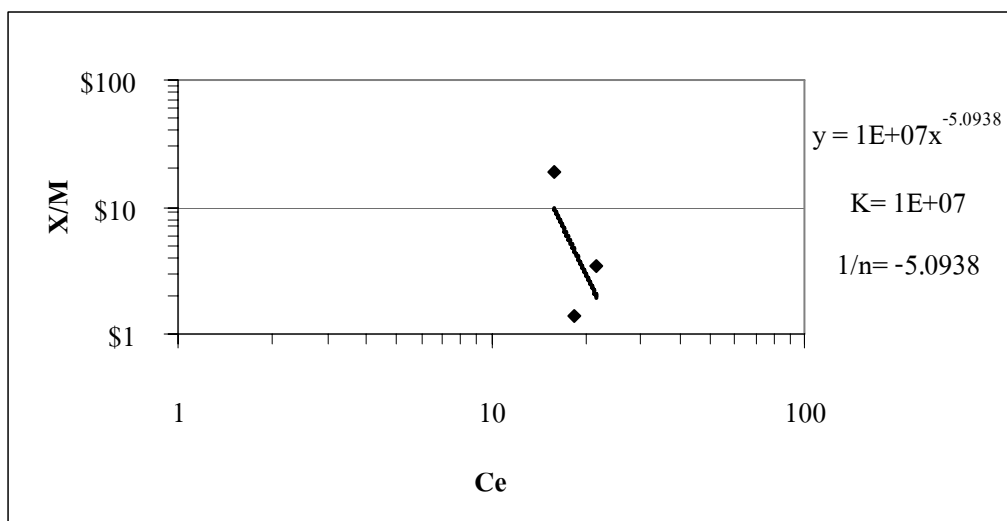
C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ log – scale จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ไอโซเทอมการดูดซับ Butyl Butyrate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่
ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

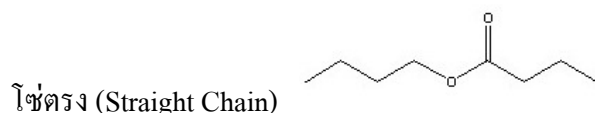
โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 1E+07C_e^{-5.0938} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 1E+07 \quad \text{และ} \quad 1/n = -5.0938$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนดิชของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุด
สมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 29 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M
เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับนี้มีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ
 $1E+07$ และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ -5.0938 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อ
น้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 1.36652 - 18.87460 mg/L เมื่อความ
เข้มข้นของ Butyl Butyrate เริ่มต้นเท่ากับ 25.2244 mg/L จะเห็นได้ว่าจากไอโซเทอมการดูดซับ
ค่าความแข็งแรงของพันธะในการดูดซับ ($1/n$) มีค่าความชันติดลบ แสดงให้เห็นว่า แอคติเวตเต็ด
คาร์บอนจากไม้ยางพาราไม่เหมาะสมกับการดูดซับสารประกอบเคมี Butyl Butyrate เนื่องจาก
คุณสมบัติของสารประกอบเคมี Butyl Butyrate

สารประกอบเคมี Butyl Butyrate เป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและสารเติมแต่งพวกกรดไขมัน (Fatty Acid) ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 144.21 สูตรโมเลกุล คือ $C_8H_{16}O_2$ เป็นสารกลุ่มเดียวกับ Isobutyl Isobutyrate แต่ต่างกันที่สูตรโครงสร้างทางเคมี คือ เป็นสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) ซึ่งมีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวแบบ



Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และ โมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง

จะเห็นได้ว่า สารประกอบเคมี Butyl Butyrate เป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและสารเติมแต่งพวกกรดไขมัน (Fatty Acid) เป็นสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวแบบโซ่ตรง (Straight Chain) ซึ่ง Mihelcic (1999) ได้ทำการศึกษาพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนมีความสามารถในการถูกดูดซับสารประกอบพวกอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำได้น้อย โดย Butyl Butyrate สามารถถูกดูดซับได้น้อยกว่า Isobutyl Isobutyrate ที่เป็นสารกลุ่มเดียวกัน เนื่องจาก Isobutyl Isobutyrate มี คาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวแบบโซ่กิ่ง (Branch Chain) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่า Butyl Butyrate ซึ่งมีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายยาวแบบโซ่ตรง (Straight Chain) และ

แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราสามารถดูดซับสารประกอบเคมี Butyl Butyrate ได้เพียงเล็กน้อย (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*, 1975) และมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน $1/n$ ที่ติดลบ แสดงว่ามีความแข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) ต่ำมาก ซึ่งพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำที่ 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับสารประกอบเคมี Butyl Butyrate ได้เพียง 27.0872 %

2.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนดิชในการดูดซับ Isovanillic Acid

การดูดซับ Isovanillic Acid ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 70.4460 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 25 และภาพที่ 30

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ Isovanillic Acid ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	70.4460	37.4950	32.9510	65.9019
1.00	70.4460	30.1590	40.2870	40.2870
2.00	70.4460	29.2406	41.2054	20.6027
5.00	70.4460	0.0000	70.4460	14.0892

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

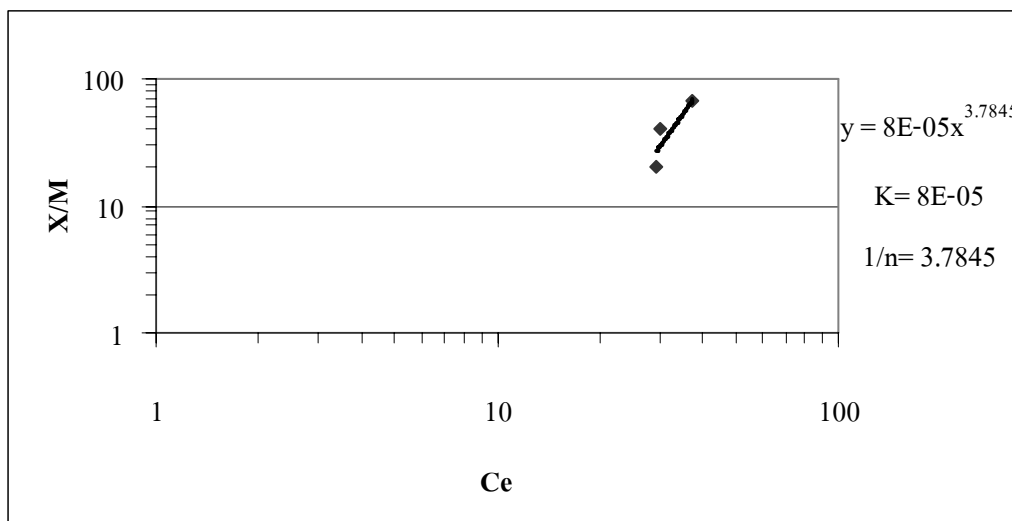
C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ log – scale จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ไอโซเทอมการดูดซับ Isovanillic Acid ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

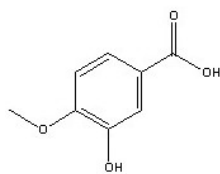
โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 8E-05 C_e^{3.7845} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 8E-05 \quad \text{และ} \quad 1/n = 3.7845$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบพหุนิพจน์ของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 30 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับมีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ $8E-05$ และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 3.7845 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 20.6027 - 65.9019 mg/L เมื่อความเข้มข้นของ Isovanillic Acid เริ่มต้นเท่ากับ 70.4460 mg/L พบว่า มีค่าความชัน $1/n$ ที่สูง หมายถึงมีความแข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) ได้มาก แสดงว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความเหมาะสมในการดูดซับ Isovanillic Acid ได้

เนื่องจาก Isovanillic Acid เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่แตกตัวจากโมเลกุลลิกันนิน ซึ่งเป็นสารที่วิเคราะห์ได้จากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มาจากองค์ประกอบของลิกันนิน มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง คือ



มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 168.14 สูตรโมเลกุล คือ $C_8H_8O_4$ ค่า pK_a เท่ากับ 4.35

Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง

จะเห็นได้ว่า สารประกอบเคมี Isovanillic Acid เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่แตกตัวจากโมเลกุลลิกันนิน เป็นสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง ซึ่งวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Rings) ทำให้การถูกดูดซับดีขึ้น และเป็นสารไม่มีขั้ว สามารถละลายน้ำได้น้อย สามารถถูกดูดซับได้ดี (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*, 1975) ซึ่ง Mihelcic (1999) ได้ทำการศึกษาพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนสามารถดูดซับสารพวก Aromatic Solvents เช่น เบนซีน (Benzene), โทลูอิน (Toluene) และไนโตรเบนซีน (Nitrobenzenes) ได้ดี และพบว่า Isovanillic Acid มีค่า pK_a เท่ากับ 4.35 ซึ่งไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นไอออนที่สามารถถูกดูดซับบนผิวของแอ็คติเวตเต็ด

คาร์บอนได้ดี และสามารถถูกดูดติดผิวค่อนข้างแข็งแรง (มันสิน, 2539) นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส ทำให้แอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความสามารถในการดูดซับ Isovanillic Acid ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่แตกตัวจากโมเลกุลกลูทินได้ดี และมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน $1/n$ ที่สูง แสดงว่ามีความแข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) ได้มาก ซึ่งพบว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำถึง 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับสารประกอบเคมี Isovanillic Acid ได้ทั้งหมด 100.00 %

2.5 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชในการดูดซับ Dibutyl Phthalate

การดูดซับ Dibutyl Phthalate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 20.4728 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 26 และภาพที่ 31

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ Dibutyl Phthalate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	20.4728	2.5003	17.9725	35.9450
1.00	20.4728	6.1014	14.3714	14.3714
2.00	20.4728	6.3433	14.1295	7.0647
5.00	20.4728	6.8640	13.6088	2.7217

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

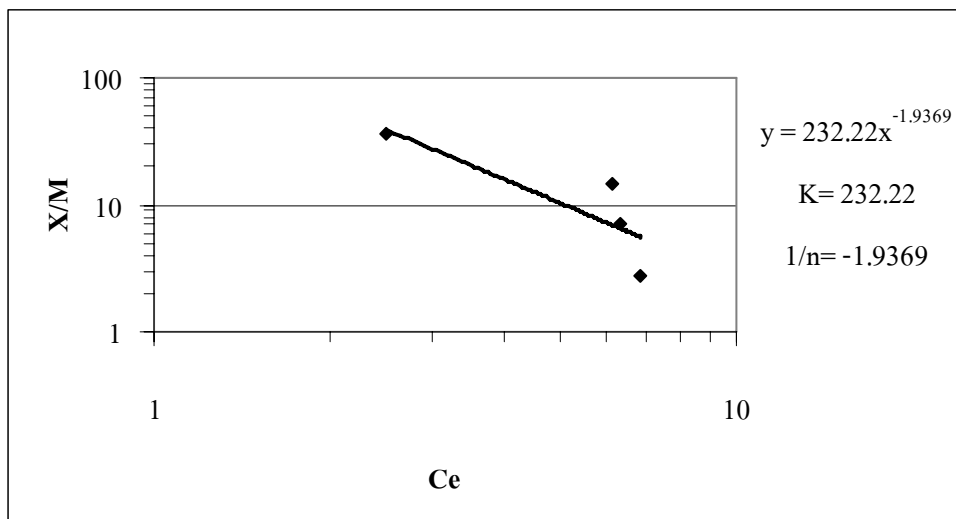
C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ฟังก์ชันความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ $\log - \text{scale}$ จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ไอโซเทอมการดูดซับ Dibutyl Phthalate ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

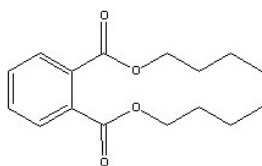
$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

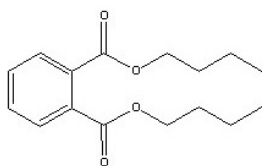
$$X/M = 232.22 C_e^{-1.9369} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 232.22 \quad \text{และ} \quad 1/n = -1.9369$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนดิซของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุดสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 31 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับมีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 232.22 และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ -1.9369 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 2.7217 – 35.9450 mg/L เมื่อความเข้มข้นของ Dibutyl Phthalate เริ่มต้นเท่ากับ 20.4728 mg/L จะเห็นได้ว่าจากไอโซเทอมการดูดซับ ค่าความแข็งแรงของพันธะในการดูดซับ ($1/n$) มีค่าความชันติดลบ แสดงให้เห็นว่าแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน

จากไม้อย่างพาราไม่เหมาะสมกับการดูดซับสารประกอบเคมี Dibutyl Phthalate เนื่องจากคุณสมบัติของสารประกอบเคมี Dibutyl Phthalate

เนื่องจาก Dibutyl Phthalate เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบมาจากลิกนิน สารที่วิเคราะห์ได้จากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มาจากองค์ประกอบของลิกนินเป็น สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง มีน้ำหนักมวลโมเลกุลเท่ากับ 278.3 สูตรโมเลกุล $C_{16}H_{22}O_4$



สูตรโครงสร้างเป็น  เป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Rings) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.05 เมื่อน้ำ (Water) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิ 20 °C

Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ด คาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบ โซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วง แหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และโมเลกุลที่มีขั้ว ต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบ อินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะ เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย ลดลง

จะเห็นได้ว่าถึงแม้ Dibutyl Phthalate ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มาจากลิกนินและมีวงแหวน เบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.05 เมื่อน้ำ (Water) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิ 20 °C แสดงว่ามีคุณสมบัติเป็นสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*,

1975) และมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน $1/n$ ที่ติดลบ แสดงว่ามีความแข็งแกร่งในการดูดซับ ($1/n$) ต่ำ แต่ก็ยังมีความสามารถถูกดูดซับได้บ้าง เนื่องจากมีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างและเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งพบว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำถึง 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับสารประกอบเคมี Dibutyl Phthalate เท่ากับ 66.4725 %

2.6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชในการดูดซับ E-Icosane

การดูดซับ E-Icosane ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 12.5914 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 27 และภาพที่ 32

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ E-Icosane ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	12.5914	3.2791	9.3123	18.6247
1.00	12.5914	1.5262	11.0652	11.0652
2.00	12.5914	2.3305	10.2609	5.1304
5.00	12.5914	0.0000	12.5914	2.5182

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

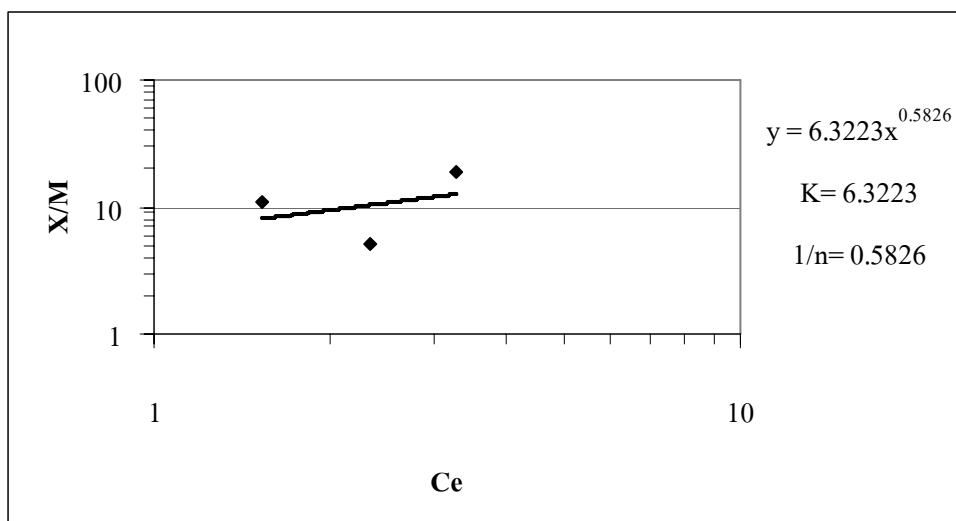
C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = พังก์ชันความแข็งแกร่งในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ $\log - \text{scale}$ จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ไอโซเทอมการดูดซับ E-Icosane ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลา
สมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 6.3223 C_e^{0.5826} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 6.3223 \quad \text{และ} \quad 1/n = 0.5826$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชของแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุด
สมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 32 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M
เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับมีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 6.3223
และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.5826 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสาร
ดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 5.1304 – 18.6247 mg/L เมื่อความเข้มข้นของ
E-Icosane เริ่มต้นเท่ากับ 12.5914 mg/L พบว่ามีค่าความชัน $1/n$ เท่ากับ 0.5826 หมายถึงมีความ
แข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) แสดงว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความเหมาะสมในการ
ดูดซับ E-Icosane ได้

เนื่องจาก E-Icosane เป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและ สารเติมแต่งส่วนใหญ่จะ



เป็นพวก Alkane มีสูตร โมเลกุลเท่ากับ $C_{20}H_{42}$ สูตร โครงสร้างเป็น

มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.7886 เมื่อน้ำ (Water) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$

Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และ โมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง

จะเห็นได้ว่า E-Icosane เป็นองค์ประกอบที่มาจากสารแทรกและสารเติมแต่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) พวก Alkane และมีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.7886 เมื่อน้ำ (Water) มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ ซึ่ง E-Icosane มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 แสดงว่าเป็นสารละลายที่สามารถแยกตัวลอยจากชั้นน้ำได้ดี และมีความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงและความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*, 1975) และมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.5826 แสดงว่ามีความแข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) สามารถถูกดูดซับ E-Icosane ได้ ซึ่งพบว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำถึง 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับสารประกอบเคมี E-Icosane ได้ทั้งหมด 100.00 %

2.7 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนดิชในการดูดซับ Diocetyl Phthalate

การดูดซับ Diocetyl Phthalate ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารา ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 3.1604 mg/L ที่ระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังตารางที่ 28 และภาพที่ 33

ตารางที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ C_e ของการดูดซับ Diocetyl Phthalate ด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

M	C_0	C_e	$X = C_0 - C_e$	X/M
(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/g)
0.50	3.1604	1.3960	1.7644	3.5288
1.00	3.1604	0.6552	2.5052	2.5051
2.00	3.1604	0.0000	3.1604	1.5802
5.00	3.1604	0.0000	3.1604	0.6320

โดยที่ X/M = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสารดูดซับ (Adsorbent) (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

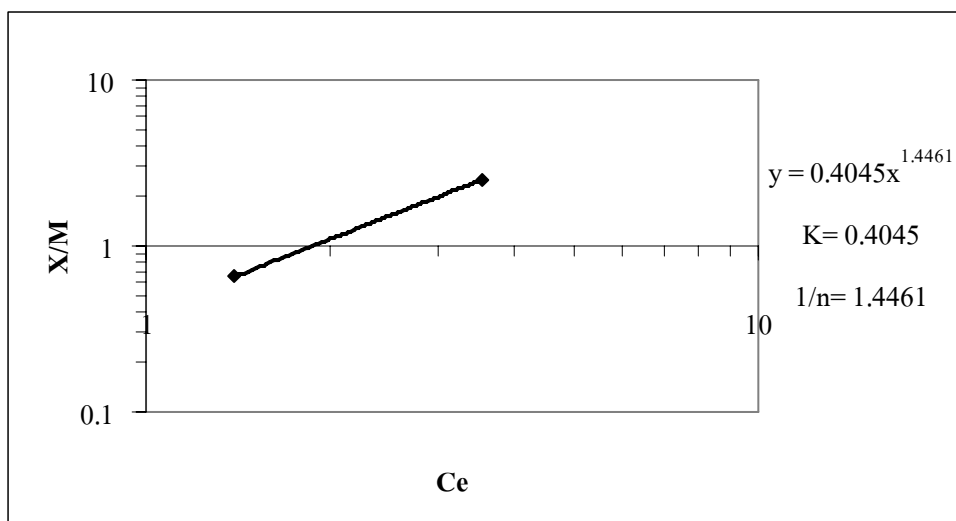
C_e = ความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

C_0 = ความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่จุดเริ่มต้น (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

K = ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = พลังงานความแข็งแรงในการดูดซับ

เมื่อนำค่า X/M และ C_e มาเขียนในกราฟ log – scale จะได้เป็นเส้นตรงโดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M เป็นค่า $\log K$ ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ไอโซเทอมการดูดซับ Diocetyl Phthalate ด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่
ระยะเวลาสมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง

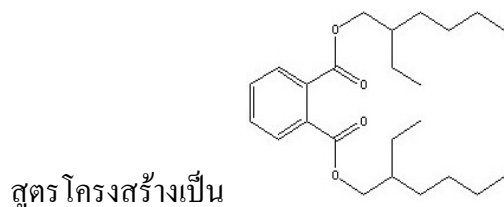
โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\log X/M = 1/n \log C_e + \log K \quad \text{หรือ} \quad X/M = KC_e^{1/n}$$

$$X/M = 0.4045 C_e^{1.4461} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 0.4045 \quad \text{และ} \quad 1/n = 1.4461$$

จากไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชของแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราที่จุด
สมดุลการดูดซับ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 33 โดยความชันของกราฟเป็นค่า $1/n$ และจุดตัดแกน X/M
เป็นค่า $\log K$ พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับมีค่าความสามารถในการดูดซับ (K) มีค่าเท่ากับ 0.4045
และค่าความชัน $1/n$ มีค่าเท่ากับ 1.4461 และมีปริมาณสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ต่อน้ำหนักสาร
ดูดซับ (Adsorbent) (X/M) อยู่ในช่วงระหว่าง 2.5051 – 3.5288 mg/L เมื่อความเข้มข้นของ
Diocetyl Phthalate เริ่มต้นเท่ากับ 3.1604 mg/L พบว่า มีค่าความชัน $1/n$ ที่สูง หมายถึงมีความ
แข็งแรงในการดูดซับ ($1/n$) ได้มาก แสดงว่าแอคติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความเหมาะสม
ในการดูดซับ Diocetyl Phthalate ได้

เนื่องจาก Dioctyl Phthalate เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบมาจากลิกนิน เป็นสารที่วิเคราะห์ได้จากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มาจากองค์ประกอบของลิกนิน เป็นสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Rings) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง ซึ่งมี



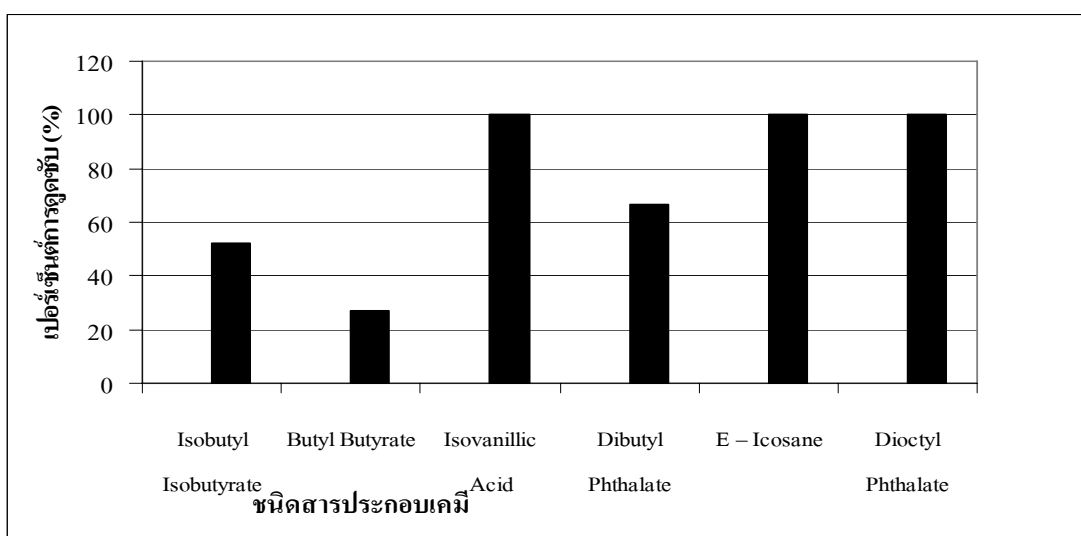
Reimer *et al.* (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนได้แก่ โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) , สมบัติการละลาย (Solubility) , กลุ่มฟังก์ชันที่เกาะในโครงสร้างโมเลกุล (Substituent Group) , $[H_3O^+]$, โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular Structure) และพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนส่วนใหญ่ไม่ดูดซับสารพวกกรดอะมิโน (Fatty Acid) แต่มีขีดความสามารถในการดูดซับพวกกรดอะมิโนได้เล็กน้อย , เมื่อการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับลดลง , โมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่กิ่งสามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่ต่อกันแบบโซ่ตรง , ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบส , วงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) การดูดซับเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก)

Wang *et al.* (1975) ได้ทำการศึกษาพบว่า ความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้นและความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายลดลง

จะเห็นได้ว่า Dioctyl Phthalate เป็นองค์ประกอบที่มาจากลิกนิน สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Rings) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง ซึ่งทำให้มีการดูดซับได้ดี เนื่องจาก การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามวงแหวนอะโรมาติก และโมเลกุลที่มีขั้วต่ำ (ละลายน้ำได้น้อย) สามารถถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีขั้วสูง (ละลายน้ำได้มาก) (Reimer *et al.*, 1987 and Wang *et al.*, 1975) ซึ่ง Mihelcic (1999) ได้ทำการศึกษาพบว่า แอคติเวตเต็ดคาร์บอนสามารถดูดซับสารพวก Aromatic Solvents เช่น เบนซีน (Benzene), โทลูอีน (Toluene) และไนโตรเบนซีน (Nitrobenzenes) ได้ดี

และมีความสัมพันธ์กับค่าความชัน $1/n$ มีค่าสูงเท่ากับ 1.4461 แสดงว่ามีความแข็งแกร่งในการดูดซับ ($1/n$) สามารถดูดซับ Diocetyl Phthalate ได้ดี ซึ่งพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่น้ำหนัก 0.50 กรัมต่อปริมาตรน้ำทิ้ง 100 มิลลิลิตร สามารถดูดซับ Diocetyl Phthalate ได้ทั้งหมด 100.00 %

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของสารเคมีชนิดต่าง ๆ โดยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่ความเข้มข้น 0.50 กรัมต่อน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร แสดงกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 เปอร์เซนต์การดูดซับสารประกอบเคมีประเภทต่าง ๆ ที่แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราน้ำหนัก 0.50 กรัม

จากผลการทดลอง กราฟของเปอร์เซนต์การดูดซับสารประกอบเคมีแต่ละชนิดจากการใช้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนน้ำหนัก 0.50 กรัมต่อน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตรพบว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความสามารถในการดูดซับ Isovanillic Acid, E-Icosane และ Diocetyl Phthalate ในน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษได้ดีที่สุด สามารถดูดซับให้หมดได้ทั้ง 100 % มีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชพบว่า ค่าความชัน ($1/n$) มีค่าสูง หมายถึง มีความแข็งแกร่งในการดูดซับได้มาก แสดงว่าแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราสามารถดูดซับสารประกอบเคมีในน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การดูดซับสามารถเรียงลำดับสารเคมีที่ถูกดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนจากไม้ยางพาราจากมากไปน้อย

ดังนี้ คือ Isovanillic Acid, E-Icosane และ Dioctyl Phthalate > Dibutyl Phthalate > Isobutyl Isobutyrate > Butyl Butyrate ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับอยู่ในช่วง 27.0872 – 100.00 %

การใช้เทคนิควิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของสารประกอบเคมีที่พบในน้ำทิ้งจากโรงงานเชื้อและกระดาษก่อนและหลังการดูดซับด้วยแอคติเวเต้ดคาร์บอนทั้งในระดับคุณภาพ (Qualitative) และปริมาณ (Quantitative) สามารถอธิบายได้ว่าองค์ประกอบหลักที่ประกอบอยู่ในน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ องค์ประกอบที่มาจากกลินินความเข้มข้นเท่ากับ 94.0792 mg/L และจากสารแทรกและสารเติมแต่งความเข้มข้นเท่ากับ 94.5463 mg/L

องค์ประกอบที่มาจากกลินินความเข้มข้นเท่ากับ 94.0792 mg/L เป็นสารที่วิเคราะห์ได้จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษทำให้น้ำทิ้งมีสีน้ำตาล เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) มีวงแหวนเบนซีน (Benzene Ring) เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง โดยทั่วไปจะละลายน้ำได้น้อยและมีแรงดึงดูดสูงจึงสามารถดูดติดผิวได้ง่าย พบว่า องค์ประกอบจากกลินินที่พบในน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วย Isovanillic Acid , Dibutyl Phthalate และ Dioctyl Phthalate ความเข้มข้นเท่ากับ 70.4460, 20.4728 และ 3.1604 mg/L ตามลำดับ ซึ่งแอคติเวเต้ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความสามารถในการดูดซับได้ทั้งหมด 100 % คือ Isovanillic Acid, Dioctyl Phthalate และ สามารถดูดซับ Dibutyl Phthalate ได้เท่ากับ 66.4725 %

องค์ประกอบจากสารแทรกและสารเติมแต่งความเข้มข้นเท่ากับ 94.5463 mg/L เป็นสารประกอบประเภทอะลิฟาติก (Aliphatic Compounds) ส่วนใหญ่จะเป็นพวกกรดไขมัน (Fatty Acid) ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) พบว่า องค์ประกอบจากสารแทรกและสารเติมแต่งที่พบในน้ำทิ้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วย Isobutyl Isobutyrate, Butyl Butyrate และ E - Icosane ความเข้มข้นเท่ากับ 56.7305, 25.2244 และ 12.5914 mg/L ตามลำดับ ซึ่งแอคติเวเต้ดคาร์บอนจากไม้ยางพารามีความสามารถในการดูดซับ Isobutyl Isobutyrate ที่เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมต่อเป็นโซ่กิ่ง (Branch Chain) ได้เท่ากับ 51.9767 % และ Butyl Butyrate เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นสายแบบโซ่ตรง (Straight Chain) ได้เท่ากับ 27.0872 % และสามารถดูดซับสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นแบบโซ่ตรงอยู่ในรูป Alkane คือ E – Icosane ได้ทั้งหมด 100 %