บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว , การทดลองแบบแบชท์ (Batch) โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช (Frundlich Isotherm)และการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวอย่างต่อเนื่องโดยการใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column)

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดติดผิวที่ทำการวิเคราะห์ คือ พื้นที่ผิว (Surface Area) , ปริมาตรความพรุน (Pore Volume) และขนาดโพรงเฉลี่ย (Average Pore Size) ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET (Brunauer – Emmett – Teller) ส่วนขนาดประสิทธิผล (Effective Size) และสัมประสิทธิ์ความคงตัว (Uniformity Coefficient) วิเคราะห์โดยวิธีการร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 6 , 10 , 16 , 20 , 30 , 40 , 50 และ 80 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว

ลักษณะทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์	ถ่านกะลา	ถ่านชานอ้อย
พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	955.700	228.740	3.511
ปริมาตรโพรง(ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)	0.496	0.111	0.005
ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)	20.737	14.649	54.247
ขนาดประสิทธิผล	0.970	0.780	0.391
สัมประสิทธิ์ความคงตัว	1.938	2.359	5.550

จากตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวของถ่าน คือพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงนั้น ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ คือ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 955.700 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 4.178 เท่าของถ่านกะลา และเป็น 272.210 เท่าของถ่านชานอ้อย และถ่านกะลามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 228.740 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 65.151 เท่าของถ่านชานอ้อย ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 3.511 ตารางเมตรต่อกรัม

ปริมาตรโพรงของถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 0.496 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 4.480 เท่าของถ่านกะลาและเป็น103.229เท่าของถ่านชานอ้อยและถ่านกะลามีปริมาตรโพรงเท่ากับ0.111ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็น 23.042 เท่าของถ่านชานอ้อยซึ่งมีปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.005 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดติดผิวทั้ง 2 อย่าง คือ พื้นที่ผิวและปริมาตรโพรง ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิว คือ สารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าสารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า อนึ่งพื้นที่ผิวนี้ก็ได้มาจากปริมาตรความพรุนภายใน จากผลการวิเคราะห์นั้นถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงมากกว่าถ่านกะลาและถ่านชานอ้อยตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวมากกว่าถ่านกะลาและถ่านชานอ้อยตามลำดับเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านกะลาและถ่านชานอ้อย ถ่านกะลามีพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงมากกว่าถ่านชานอ้อย จึงมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสารดูดติดผิวได้ดีกว่าถ่านชานอ้อยถึงแม้ว่าจะมีความสามารถในการดูดติดผิวได้ไม่ดีเท่าถ่านกัมมันต์ก็ตาม นอกจากพื้นที่ผิวและปริมาตรโพรงของถ่านแล้ว ลักษณะทางกายภาพอื่นๆของถ่านมีผลการวิเคราะห์ดังต่อ ไปนี้

ขนาดโพรงเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ , ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 20.737 , 14.649 และ 54.247 อังสตรอม ตามลำดับ

ขนาดประสิทธิผลของถ่านกัมมันต์ , ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 0.970 , 0.780 และ 0.391 ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์ , ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 1.938 , 2.359 และ 5.550 ตามลำดับ

4.2 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

ในการทดลองนี้ใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวเนื่องจากเป็นสมการการดูดติดผิวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว ซึ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบน้ำเสีย ในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบแบชท์ (Batch) โดยใช้สารดูดติดผิว 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ , ถ่านกะลา และถ่านชานอ้อย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแบ่งตามชนิดของสีและความเข้มข้นของสี พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ความเข้มข้นของสีที่วัดในรูปของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ผลการทดลองแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์

จากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ สามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สมการความสัมพันธ์ ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช
เหลือง	250	$\log x / m = 2.313 + 1.648 \log C$
	500	$\log x / m = 2.290 + 1.354 \log C$
	750	$\log x / m = 1.853 + 1.001 \log C$
	1000	$\log x / m = 1.812 + 1.151 \log C$
แดง	250	$\log x / m = 1.431 + 0.384 \log C$
	500	$\log x / m = 1.125 + 0.322 \log C$
	750	$\log x / m = 1.042 + 0.237 \log C$
	1000	$\log x / m = 0.699 - 0.002 \log C$
น้ำเงิน	250	$\log x / m = 0.818 + 0.472 \log C$
	500	$\log x / m = 0.127 - 0.426 \log C$
	750	$\log x / m = 0.042 - 1.876 \log C$
	1000	$\log x / m = 1.416 - 5.521 \log C$

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	K	1 / n
เหลือง	250	205.353	1.648
	500	194.984	1.354
	750	71.318	1.001
	1000	64.863	1.151
แดง	250	26.996	0.384
	500	13.329	0.322
	750	11.026	0.237
	1000	5.004	-0.002
น้ำเงิน	250	6.571	0.472
	500	1.340	-0.462
	750	1.101	-1.876
	1000	26.086	-5.521

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่น้ำเสียสีเหลือง ค่าความชัน (1 / n) ที่ได้มาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 1.648 , 1.354 , 1.001 และ 1.151 ตามลำดับ ซึ่งก็คือ เส้นไอโซเทอมของน้ำเสียสีเหลืองที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความชันมากที่สุด รองลงมาเป็นที่ความเข้มข้น 500 ,1000 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าความชันนี้แสดงถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ว่าจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นสี 750 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น อาจจะมีค่าความชันของเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวนั้น ที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 205.353 , 194.984 , 71.318 และ 64.863 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่น้ำเสียสีแดงค่าความชัน (1 / n) ที่ได้มาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 , 750 และ1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 0.384 , 0.322 , 0.237 และ – 0.002 ตามลำดับ ซึ่งก็คือ เส้นไอโซเทอมของน้ำเสียสีแดงที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัม

ต่อลิตรมีความชันมากที่สุด รองลงมาเป็นที่ความเข้มข้น 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าความชันนี้แสดงถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ว่าจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น ส่วนค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวนั้น ที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 26.996 , 13.329 , 11.026 และ 5.004 ตามลำดับ

ส่วนที่น้ำเสียสีน้ำเงินนั้นมีค่าความชันที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้นที่มีค่าเป็นบวก คือ 0.472 ส่วนที่ความเข้มข้น 500 , 750 และ1000 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นมีค่าความชันเท่ากับ -0.462 , -1.876 และ -5.521 ตามลำดับ ส่วนค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวนั้น ที่ความเข้มข้นสี 250 , 500, 750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 6.571 , 1.340 , 1.101 และ 26.086 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าความชันของกราฟซึ่งมีค่าน้อยมากนั้น แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์จึงมีความสามารถในการดูดติดผิวของน้ำเสียสีน้ำเงินยังไม่ดีพอ

โดยสรุปแล้วเมื่อเปรียบเทียบค่าความชัน 1 / n และค่า K ของไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ทั้งหมด 3 สี คือ เหลือง , แดง และน้ำเงินแล้วนั้น ค่าความชันของสีเหลืองมีค่ามากกว่าค่าความชันของสีแดงและสีน้ำเงิน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวน้ำเสียสีเหลืองได้ดีกว่าน้ำเสียสีแดงและสีน้ำเงินตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากองค์ประกอบหรือโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมแต่ละโทนสีนั้นแตกต่างกัน ทำให้การดูดติดผิวระหว่างถ่านกัมมันต์และน้ำเสียแต่ละโทนสีนั้นมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงให้เห็นนี้สามารถบอกให้ทราบได้ว่า ถ่านกัมมันต์จะมีความสามารถในการดูดติดสีย้อมในโทนสีเหลืองและสีแดงได้ดีกว่าโทนสีย้อมสีน้ำเงิน

4.2.2 <u>ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลา</u>

จากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลา สามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมแบบการดูดติดผิวฟรุนดลิชของถ่านกะลา ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลา

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สมการความสัมพันธ์ ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช
เหลือง	250	$\log x / m = -0.874 + 0.893 \log C$
	500	$\log x / m = 0.797 + 2.838 \log C$
	750	$\log x / m = -0.512 + 0.666 \log C$
	1000	$\log x / m = -0.898 - 0.326 \log C$
แดง	250	$\log x / m = -0.520 - 0.235 \log C$
	500	$\log x / m = -0.459 - 0.291 \log C$
	750	$\log x / m = -0.396 + 0.020 \log C$
	1000	$\log x / m = -0.303 + 0.077 \log C$
น้ำเงิน	250	$\log x / m = -0.896 - 0.951 \log C$
	500	$\log x / m = -0.7683 - 0.917 \log C$
	750	$\log x / m = -0.7498 - 1.067 \log C$
	1000	$\log x / m = -0.6144 - 0.1391 \log C$

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลา

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	K	1 / n
เหลือง	250	0.818	0.893
	500	6.262	2.838
	750	0.308	0.666
	1000	0.126	-0.326
แดง	250	0.302	-0.235
	500	0.347	-0.291
	750	0.402	0.020
	1000	0.498	0.077

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	K	1 / n
น้ำเงิน	250	0.127	-0.951
	500	0.170	-0.917
	750	0.178	-1.067
	1000	0.243	-0.139

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าความชัน (1 / n) และค่า K จากสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านกะลา ซึ่งเป็นค่าที่จะแสดงถึงประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกะลา จะเห็นได้ว่าค่าความชัน และค่าคงที่ K นั้นส่วนใหญ่มีค่าน้อยมากคือเป็นค่าลบ ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าถ่านกะลานั้นไม่มี ประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำไปเป็นสารดูดติดผิวในการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Adsorption Column) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละสีและแต่ละความเข้มข้นของสีน้ำเสียแล้ว ค่าความชันและค่า K ค่อนข้างจะมีความแปรปรวนและไม่มีความสัมพันธ์กันในแต่ละตัวแปร ถึงแม้ว่าถ่านกะลาจะมีลักษณะทางกายภาพที่อาจจะนำไปใช้เป็นสารดูดติดผิวได้ก็ตาม แต่เนื่องจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกะลาที่แสดงให้เห็นดังกล่าว จึงพิจารณาได้ว่าถ่านกะลาไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นสารดูดติดผิวในการกำจัดสีของน้ำเสียในการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง

4.2.3 <u>ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านชานอ้อย</u>

จากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านชานอ้อย สามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านชานอ้อย ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สรุปสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านชานอ้อย

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช
เหลือง	250	$\log x / m = -0.149 + 0.450 \log C$
	500	$\log x / m = -0.010 + 0.438 \log C$
	750	$\log x / m = -0.363 + 0.230 \log C$
	1000	$\log x / m = -0.365 + 0.227 \log C$
แดง	250	$\log x / m = 0.774 + 0.805 \log C$
	500	$\log x / m = 0.276 + 0.421 \log C$
	750	$\log x / m = 0.231 + 0.440 \log C$
	1000	$\log x / m = 0.055 + 0.396 \log C$
น้ำเงิน	250	$\log x / m = -0.384 - 0.231 \log C$
	500	$\log x / m = -0.476 - 0.152 \log C$
	750	$\log x / m = -0.431 - 0.010 \log C$
	1000	$\log x / m = -0.950 - 1.050 \log C$

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของถ่านชานอ้อย

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	K	1/ n
เหลือง	250	0.710	0.450
	500	0.977	0.438
	750	0.434	0.230
	1000	0.432	0.227
แดง	250	5.944	0.805
	500	1.890	0.421
	750	1.701	0.440
	1000	1.134	0.396

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

สีของน้ำเสีย	ความเข้มข้นสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	K	1/ n
น้ำเงิน	250	0.413	-0.231
	500	0.334	-0.152
	750	0.370	-0.010
	1000	0.112	-1.050

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาที่น้ำเสียสีเหลือง ค่าความชัน (1 / n) ที่ได้มาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 0.450 , 0.438 , 0.230 และ 0.227 ตามลำดับซึ่งก็คือ เส้นไอโซเทอมของน้ำเสียสีเหลืองที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความชันมากกว่าที่ความเข้มข้น 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าความชันนี้แสดงถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านชานอ้อยว่าจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น ส่วนค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวนั้นที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.710 , 0.977 , 0.434 และ 0.432 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าถ่านชานอ้อยอาจจะมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นสารดูดติดผิวในการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง

เมื่อพิจารณาที่น้ำเสียสีแดง ค่าความชัน (1 / n) ที่ได้มาจากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ ฟรุนดลิชที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.805 , 0.421 , 0.440 และ 0.396 ตามลำดับ ซึ่งก็คือ เส้นไอโซเทอมของน้ำเสียสีแดงที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความชันมากที่สุด รองลงมาเป็นที่ความเข้มข้น 500 ,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าความชันที่ใกล้เคียงกัน และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความชันน้อยที่สุด ค่าความชันนี้แสดงถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ว่าจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น ส่วนค่าคงที่ K ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวนั้นที่ความเข้มข้นสี 250 , 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 5.944 , 1.890 , 1.701 และ 1.134 ตามลำดับ

น้ำเสียสีน้ำเงินนั้นเมื่อพิจารณาดูค่าความชันและค่าคงที่ K แล้วนั้นมีค่าน้อยมากคือ ค่าความชันของน้ำเสียสีน้ำเงินที่ความเข้มข้น 250 , 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ – 0.231 , -0.152 , - 0.010 และ – 1.050 ตามลำดับ ส่วนค่า K นั้นมีค่าเท่ากับ 0.413 , 0.334 , 0.370 และ 0.112

ตามลำดับ นั่นคือถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะนำไปใช้ในการดูดติดผิวน้ำเสียสีน้ำเงินในการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง

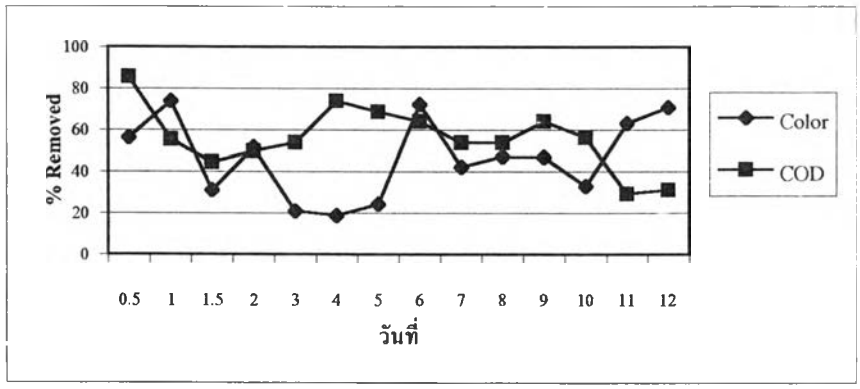
เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสี 3 สี คือ เหลือง แดง และน้ำเงินแล้ว ถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวน้ำเสียสีแดงได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นสีเหลือง ส่วนสีน้ำเงินนั้น ถ่านชานอ้อยยังไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในโทนสีน้ำเงินเพียงพอ

จากผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิชของสารดูดติดผิวทั้ง 3 ชนิด จึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการนำไปใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง โดยถ่านกัมมันต์นี้มีความสามารถในการดูดติดผิวสีย้อมไดเร็กท์ในโทนสีเหลืองและแดงได้ดี ส่วนถ่านชานอ้อยก็มีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้งานได้จริงในการบำบัดโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งเช่นกัน โดยเหมาะสมที่จะใช้บำบัดสีย้อมไดเร็กท์ในโทนสีเหลืองและแดงเช่นกันถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง และอาจจะมีอายุการใช้งานน้อย สำหรับในโทนสีน้ำเงินของสีย้อมไดเร็กท์ที่ใช้ในการทดลองนั้น ถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพไม่ดีพอที่จะใช้ดูดติดผิวสีย้อมในโทนสีน้ำเงินนี้ สาเหตุที่มีความแตกต่างกันของแต่ละโทนสีนั้น ก็เนื่องจากโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของสีในแต่ละโทนสีนั้นแตกต่างกันซึ่งโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีที่กล่าวถึงนั้น ไม่สามารถนำมาเสนอได้ในผลการทดลองนี้ เนื่องจากยังไม่เป็นที่เปิดเผยจากบริษัทผู้ผลิตสีย้อม ทำให้เมื่อทดสอบไอโซเทอมฟรุนดลิชแล้วเกิดความแตกต่างกันในแต่ละโทนสี เพราะลักษณะทางเคมีที่แตกต่างกันนี้อาจจะทำให้สารละลายสีย้อมและถ่านที่ใช้ดูดติดผิวมีขั้วหรือประจุที่ไม่เหมาะสมกันสำหรับถ่านกะลานั้นจากการทดสอบไอโซเทอมฟรุนดลิชแล้วไม่มีความเป็นไปได้เลยในการนำไปใช้เป็นสารดูดติดผิวในถังดูดติดผิวแบบแท่ง ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะทางกายภาพซึ่งเป็นตัวที่แสดงให้เห็นว่าพอจะมีความสามารถในการนำมาใช้เป็นสารดูดติดผิวเหมาะสมมากกว่าถ่านชานอ้อยก็ตาม แต่เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตถ่านกะลาและถ่านชานอ้อยที่กระทำในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างกันตรงที่ ถ่านกะลานั้นเตรียมจากถ่านกะลาสำเร็จรูป ส่วนถ่านชานอ้อยเตรียมจากวัตถุดิบคือ ชานอ้อย ดังนั้นจึงอาจจะเกิดความแตกต่างกันได้จากกระบวนการที่ได้กล่าวไป เนื่องจากเราไม่สามารถทราบได้ว่าในกระบวนการอัดแท่งของถ่านกะลาสำเร็จรูปนั้นเป็นอย่างไร มีการเติมสารช่วยในการอัดแท่งหรือไม่ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ถ่านกะลานั้นเกิดการละลายมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ลอยตัวอยู่ในสารละลายสีย้อมไม่สามารถกรองออกได้จึงทำให้ไม่สามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้

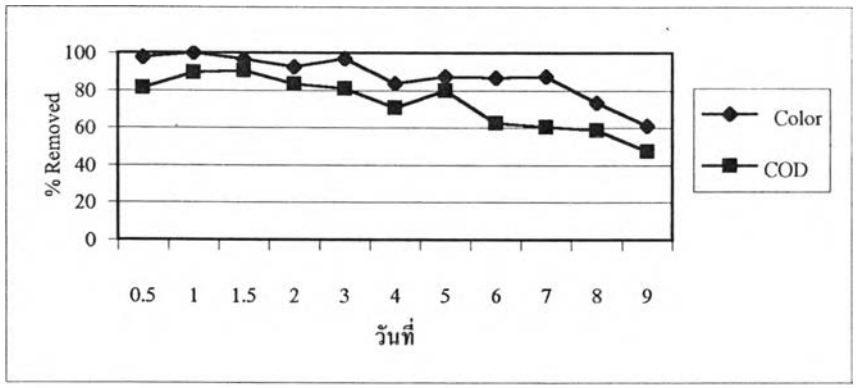
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง(Adsorption)ทำการป้อนน้ำเสียแบบไหลลงเข้าสู่ถังด้วยอัตราการไหลที่คงที่ คือ5 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้สารดูดติดผิว 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ , ถ่านชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยในอัตราส่วนชนิดละร้อยละ 50 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำทิ้งจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำละลายสีย้อมประเภทไดเร็กท์ (Direct) 3 โทนสี คือ เหลือง แดง และน้ำเงิน ซึ่งจะแบ่งออกเป็นโทนสีละ 4 ความเข้มข้นคือ 250 , 500 ,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความสูงของถ่านในถังดูดติดผิวทั้งหมด 1.2 เมตร โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะความสูงต่าง ๆ คือ 0.3 , 0.6 , 0.9 และ 1.2 เมตร ซึ่งในการเก็บตัวอย่างน้ำจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ คือ สี (วัดในรูปค่าการดูดกลืนแสง) , ซีโอดี , พีเอช และอุณหภูมิ

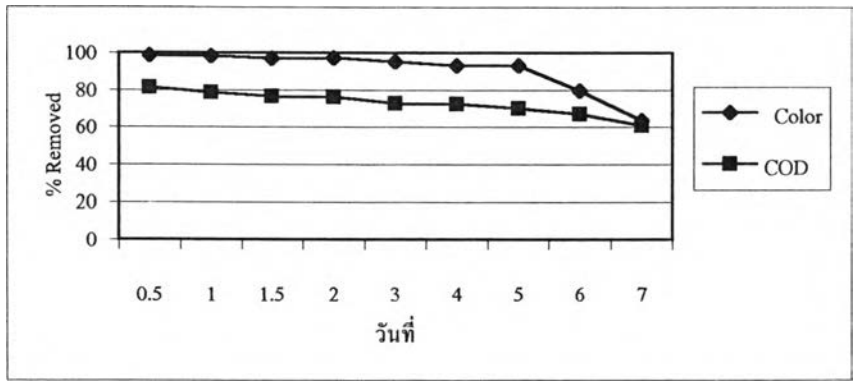
ผลการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ , ถ่านชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย ดังในรูปที่ 4.1 – 4.12



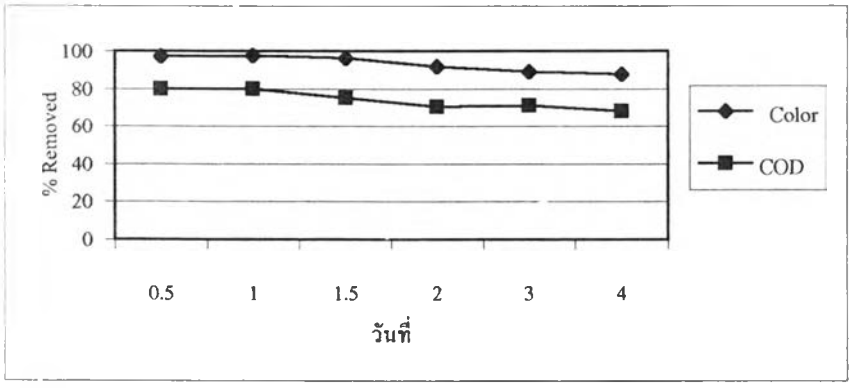
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ที่น้ำทิ้งจริงของโรงงาน



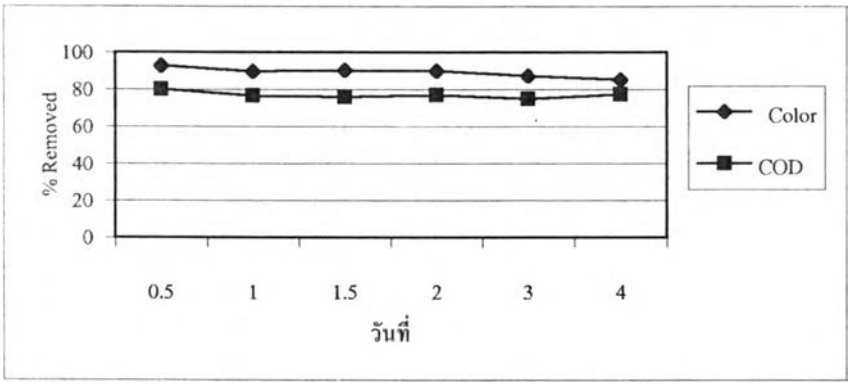
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

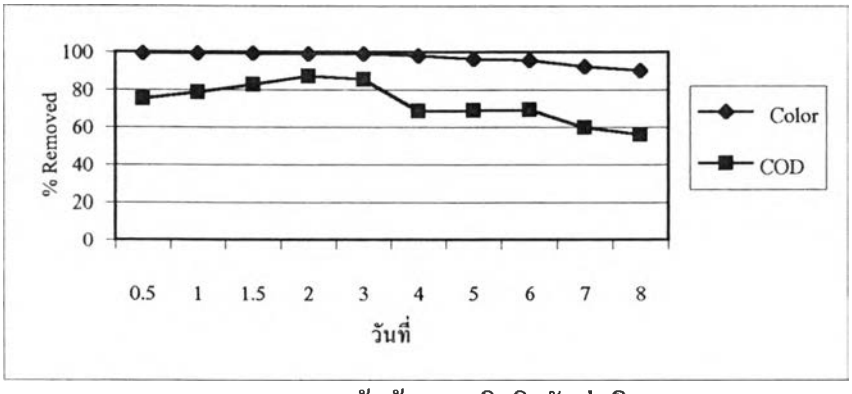


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

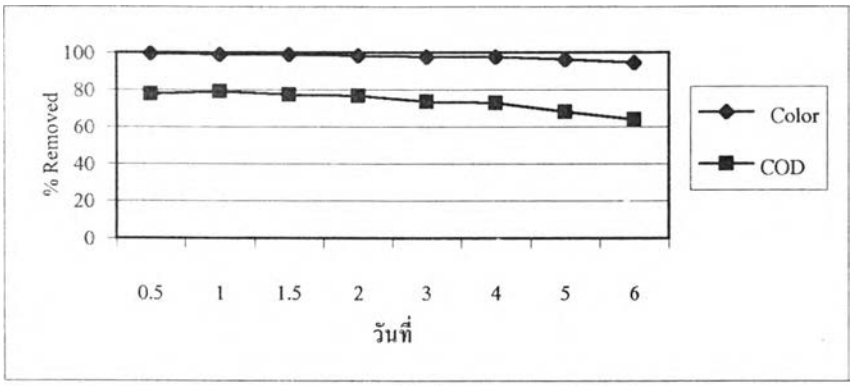
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ที่น้ำเสียสีเหลือง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

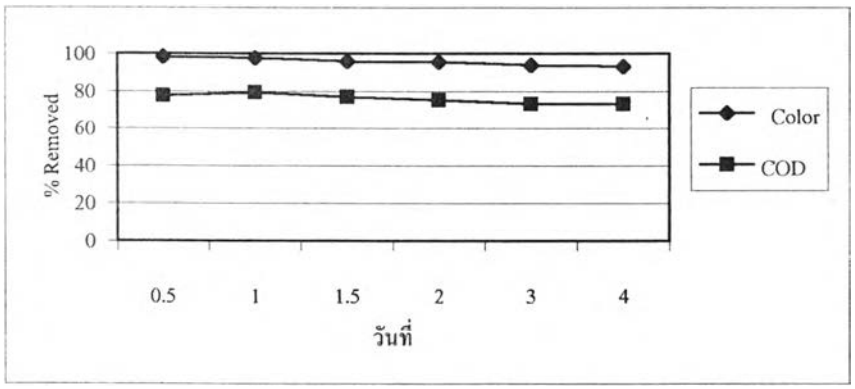
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



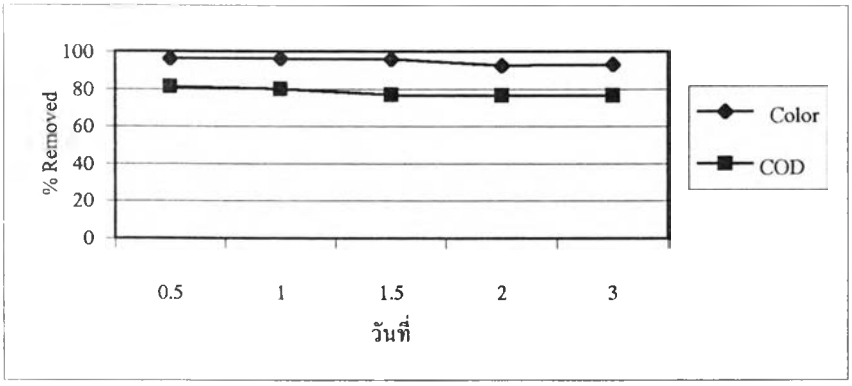
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

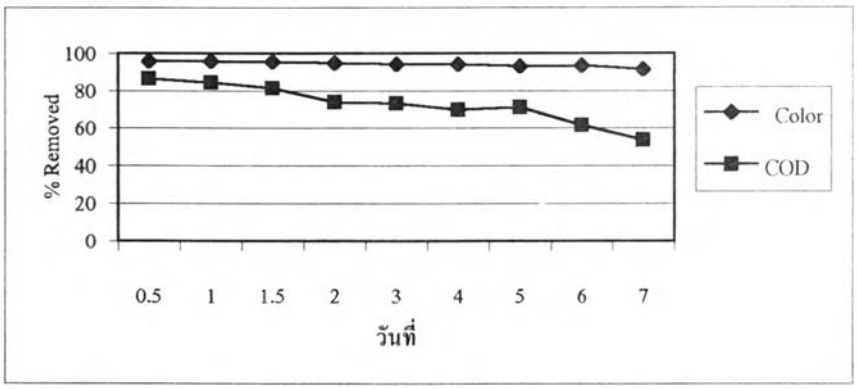


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

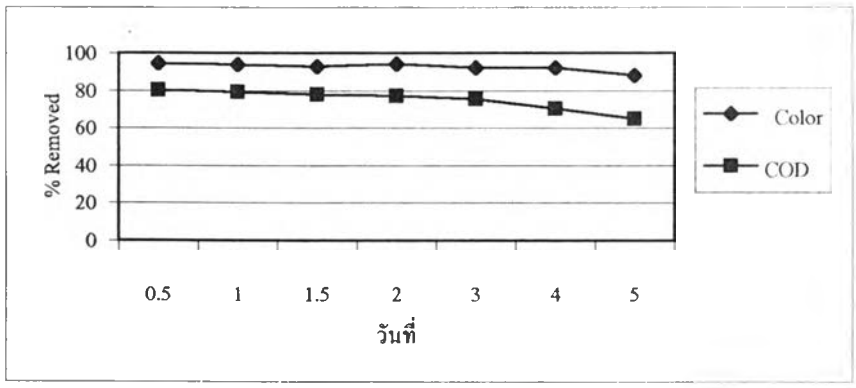
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ที่น้ำเสียสีแดง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

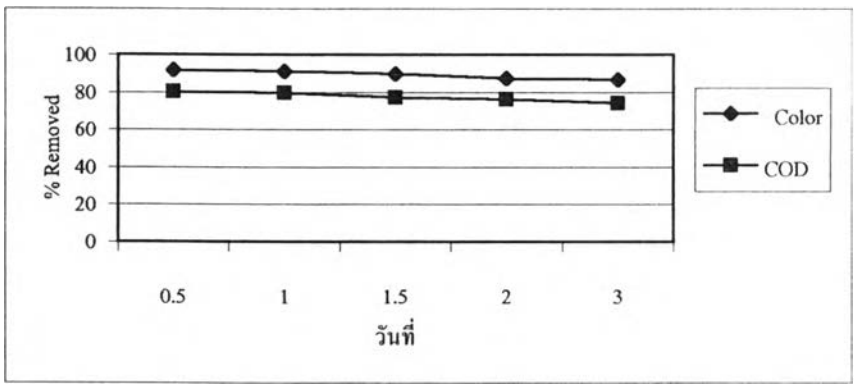
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



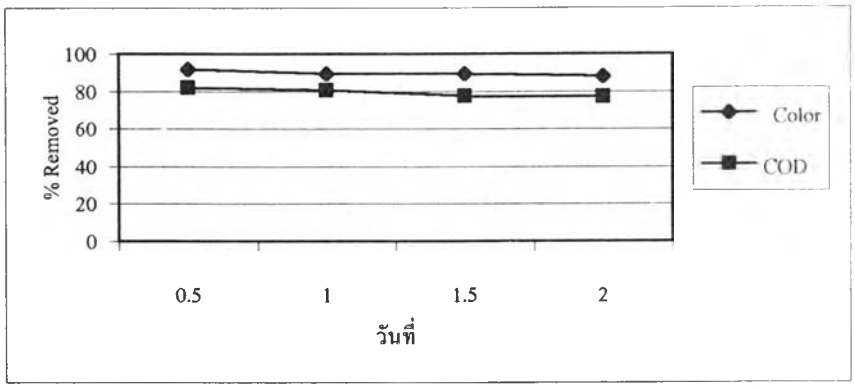
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

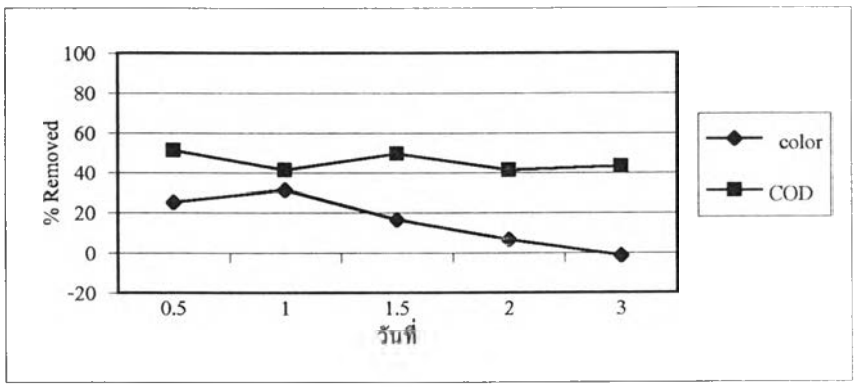


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

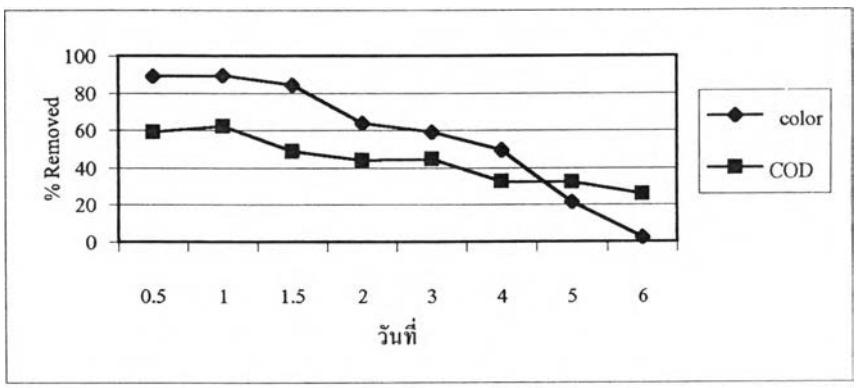
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ที่น้ำเสียสีน้ำเงิน

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

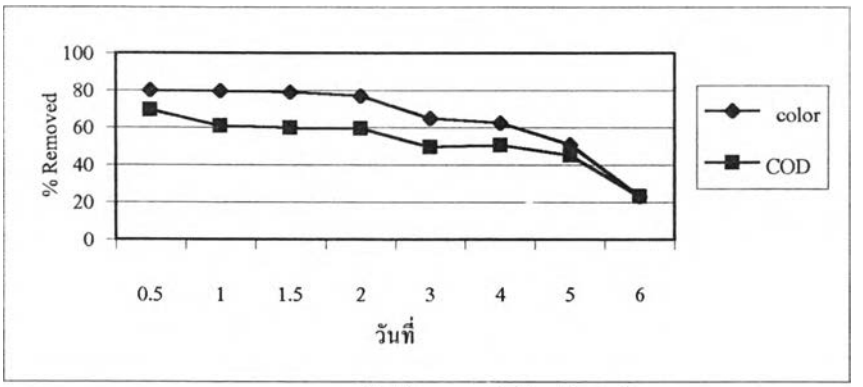
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



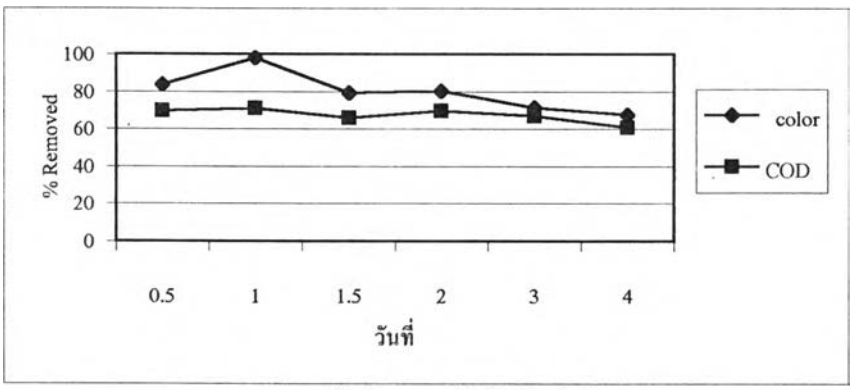
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านชานอ้อยที่น้ำทิ้งจริงของโรงงาน



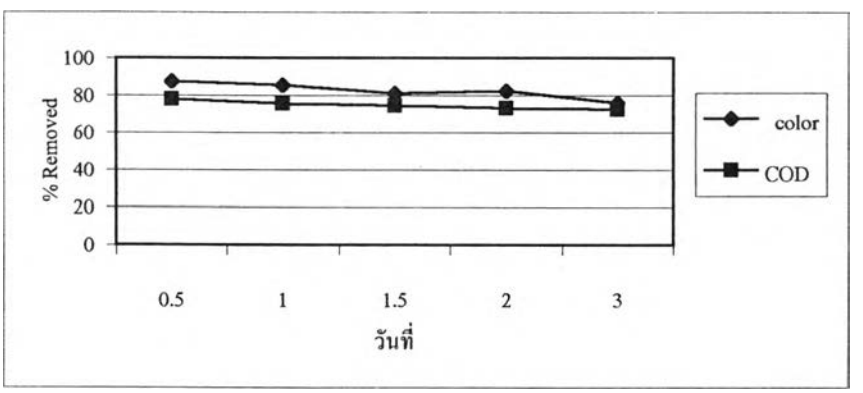
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

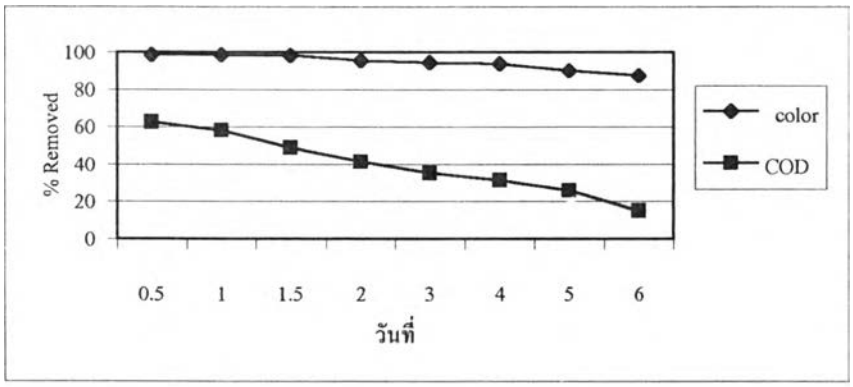


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

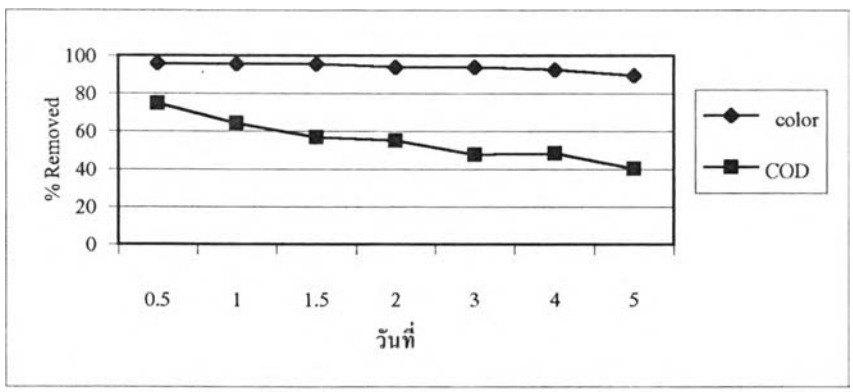
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีเหลือง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

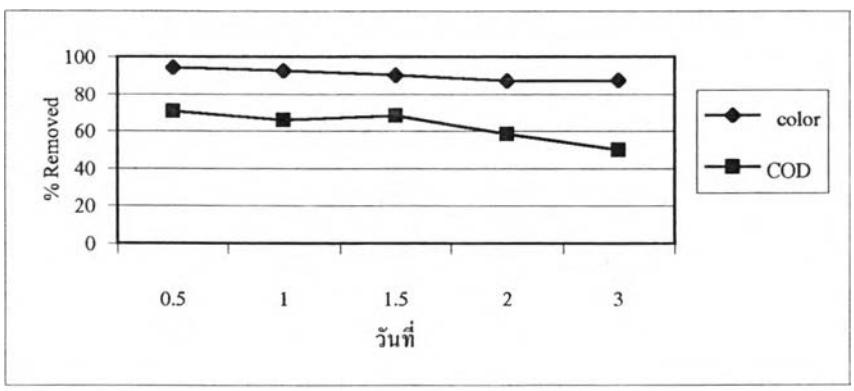
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



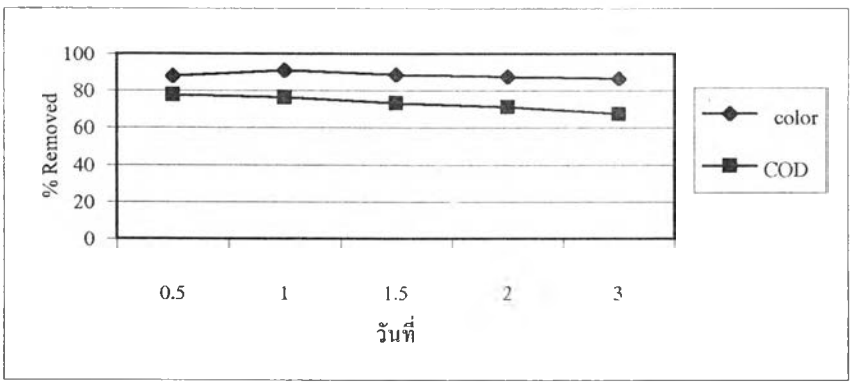
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

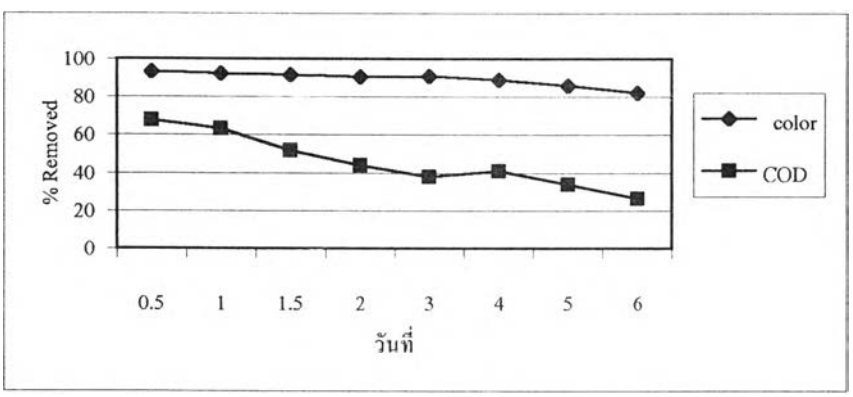


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

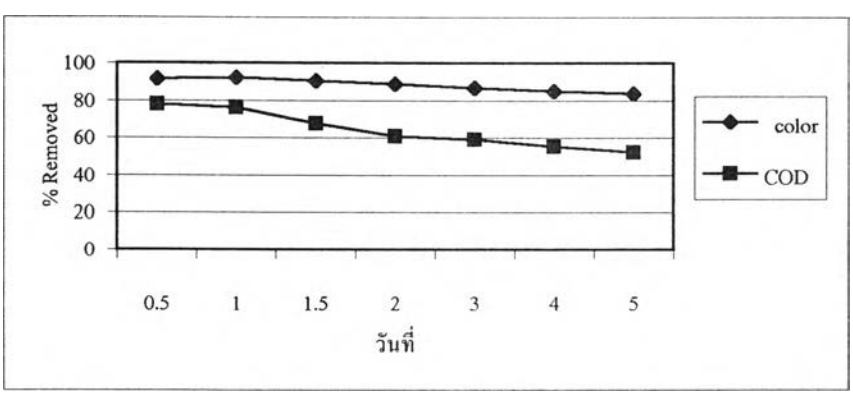
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีแดง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

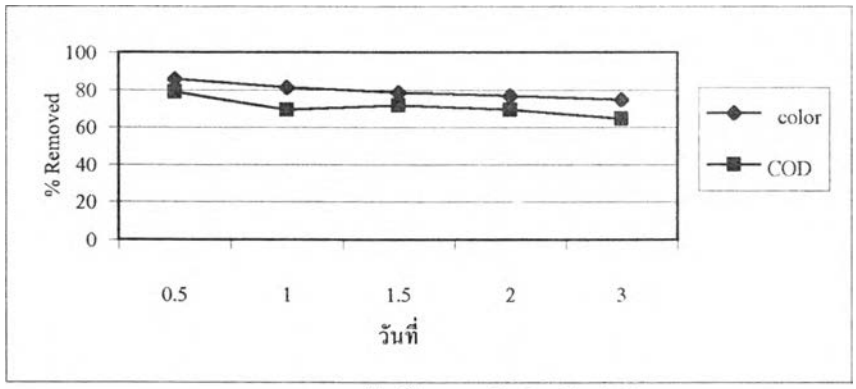
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



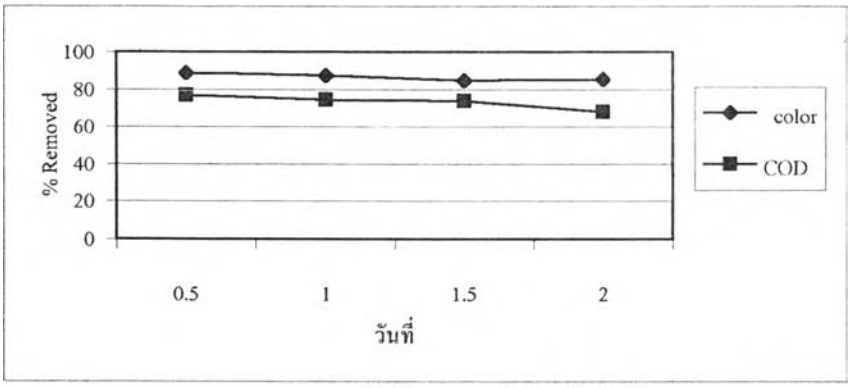
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

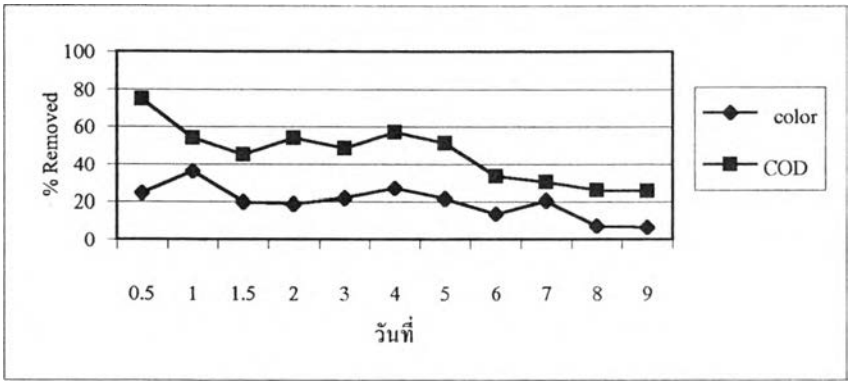


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

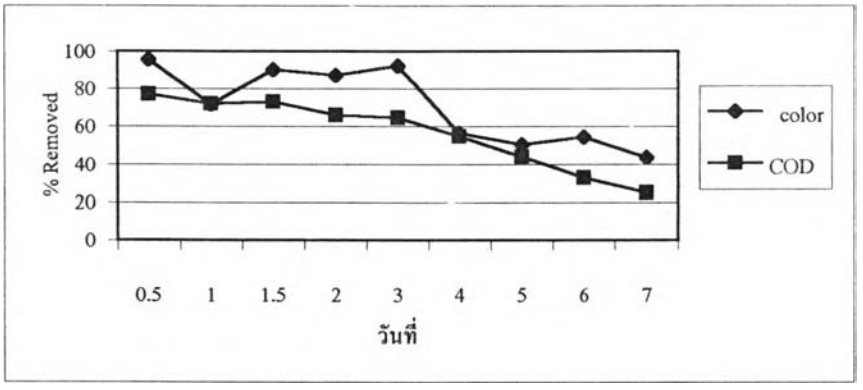
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีน้ำเงิน

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

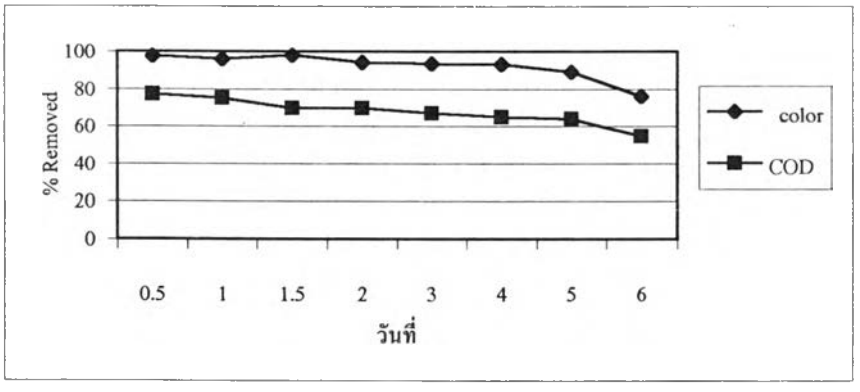
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



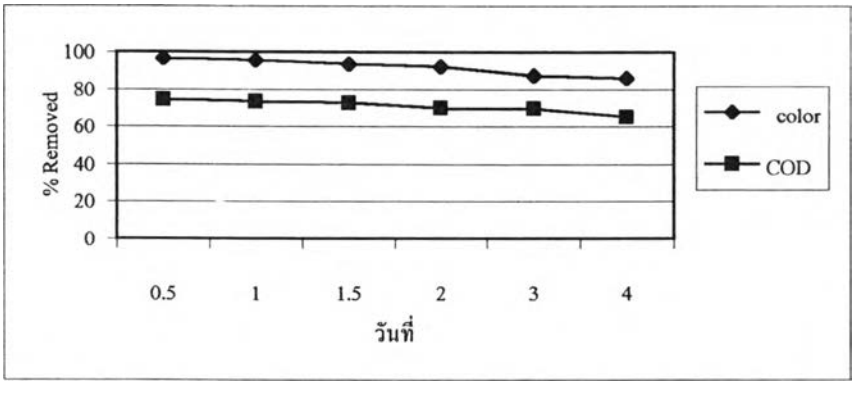
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยที่น้ำทิ้งจริงของโรงงาน



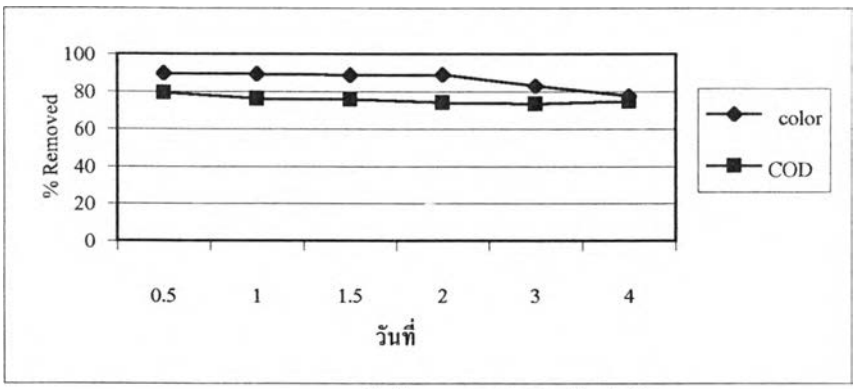
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

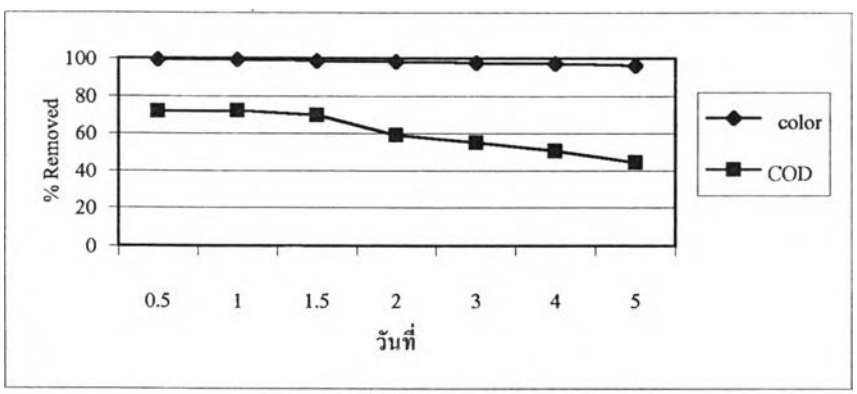


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

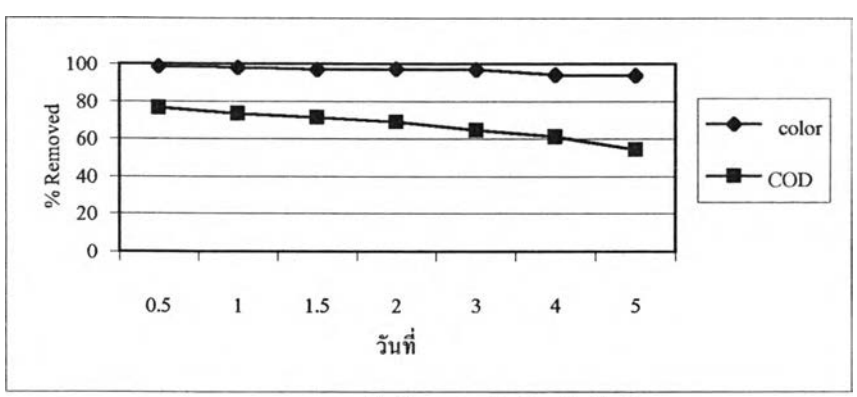
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีเหลือง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

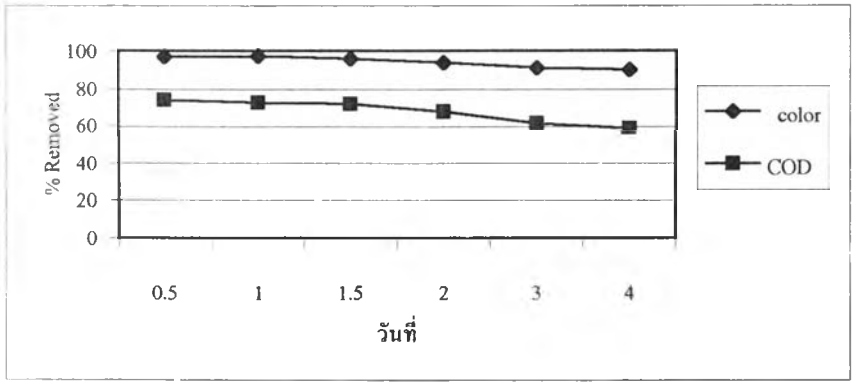
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



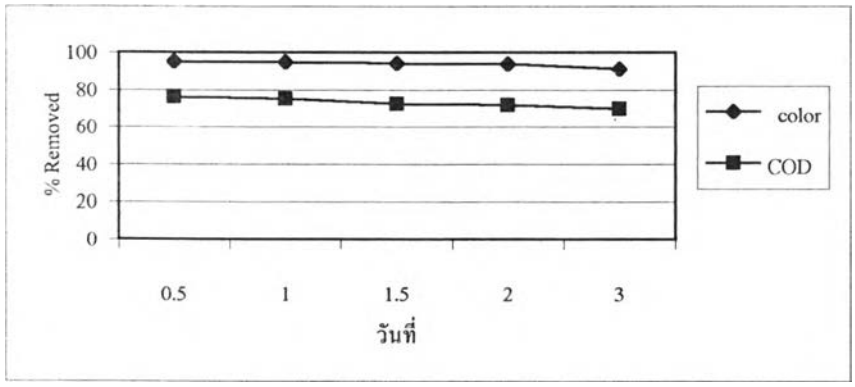
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

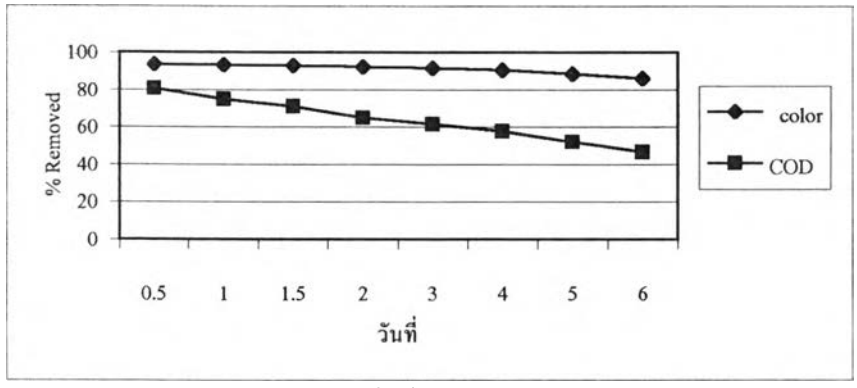


ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

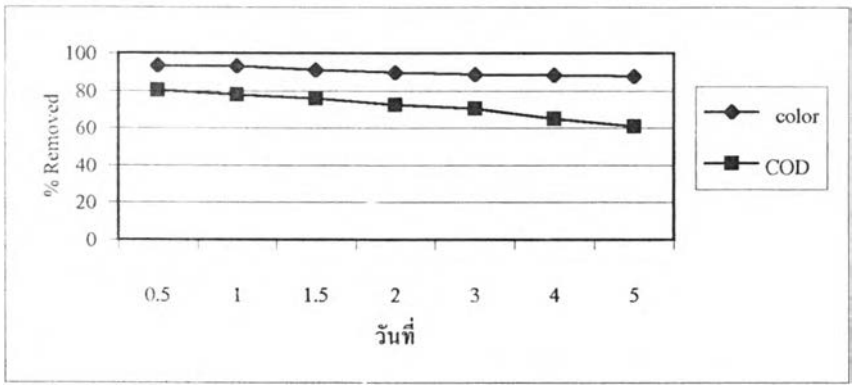
รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีแดง

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

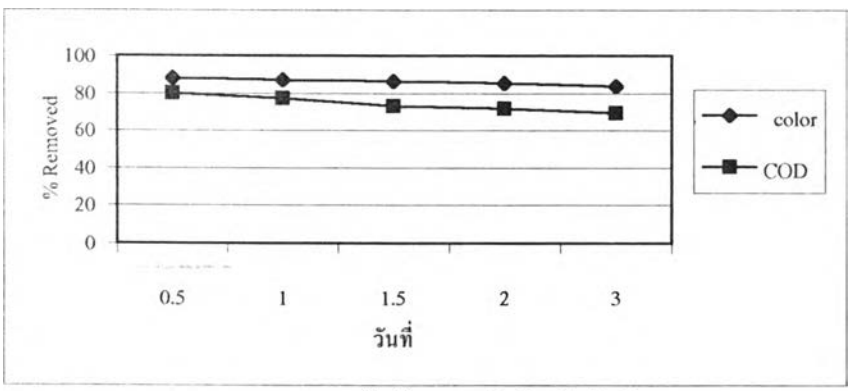
ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร



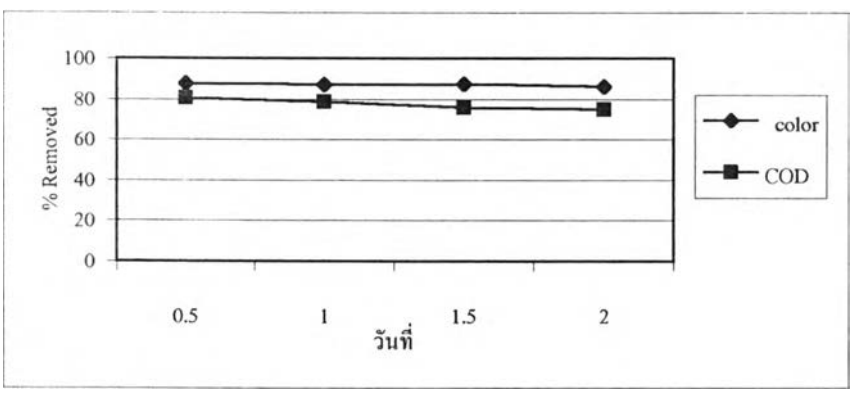
ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร



ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร



ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยที่น้ำเสียสีน้ำเงิน

ก) ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ข) ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค) ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ง) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาอายุการใช้งาน (Breakthrough) ในการบำบัดน้ำเสียของแต่ละการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่4.8 อายุการใช้งานในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งของแต่ละการทดลอง

ชนิดของน้ำเสีย	อายุการใช้งาน(วัน)		
	ถ่านกัมมันต์	ถ่านชานอ้อย	ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย
น้ำทิ้งโรงงาน	12	2	9
สีเหลือง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร	9	6	7
สีเหลือง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	7	6	6
สีเหลือง 750 มิลลิกรัมต่อลิตร	4	4	4
สีเหลือง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร	4	3	4
สีแดง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร	8	6	5
สีแดง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	6	5	5
สีแดง750 มิลลิกรัมต่อลิตร	4	3	4
สีแดง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร	3	3	3
สีน้ำเงิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร	7	6	6
สีน้ำเงิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร	5	5	5
สีน้ำเงิน 750 มิลลิกรัมต่อลิตร	3	3	3
สีน้ำเงิน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร	2	2	2

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.8 ที่แสดงระยะเวลาอายุการใช้งานของแต่ละการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่งซึ่งกำหนดจากการที่สารดูดติดผิวมีความฝืดของการกรองเกิดขึ้นจนเกิดการอุดตันของการกรอง จะเห็นได้ว่าที่น้ำทิ้งจริงของโรงงานนั้นการใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดมีระยะเวลาอายุการใช้งานมากกว่าการใช้ถ่าน กัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยและถ่านชานอ้อยตามลำดับ คือ 12 , 9 และ 2 วันตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยรวมแล้วเมื่อเป็นน้ำเสียสังเคราะห์สีเดียวกันน้ำเสียความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีระยะเวลาอายุการใช้งานมากกว่าที่น้ำเสียความเข้มข้น 500 ,750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบดูในแต่ละสีแล้วทั้งสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน การทดลองจะมีระยะเวลาอายุการใช้งานใกล้เคียงกันในแต่ละการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสีที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีหลังการบำบัดเมื่อใช้สารดูดติดผิวแต่ละชนิด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกันในแต่ละความเข้มข้นของสีแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสี

สารดูดติดผิว	สี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
ถ่านกัมมันต์	เหลือง	250	83.63	70.61
		500	93.30	72.40
		750	87.60	67.95
		1000	85.13	77.18
	แดง	250	98.97	85.27
		500	97.55	73.31
		750	93.86	72.91
		1000	93.21	76.60
	น้ำเงิน	250	94.84	73.81
		500	94.11	77.18
		750	87.47	76.00
		1000	88.21	77.05
ถ่านชานอ้อย	เหลือง	250	59.12	44.81
		500	64.88	49.42
		750	71.19	67.03
		1000	75.77	72.22
	แดง	250	94.70	35.16
		500	94.06	47.70
		750	87.23	49.98
		1000	86.61	67.19

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

สารดูดติดผิว	สี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
	น้ำเงิน	250	90.39	43.91
		500	88.74	60.88
		750	76.66	69.17
		1000	85.49	67.88
ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	เหลือง	250	56.29	54.72
		500	93.16	64.75
		750	86.09	65.18
		1000	77.31	74.86
	แดง	250	97.73	55.01
		500	97.06	64.67
		750	91.06	61.72
		1000	90.99	69.73
	น้ำเงิน	250	92.05	64.86
		500	89.72	72.35
		750	85.38	71.64
		1000	86.12	74.92

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสีในถังดูดติดผิวที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดติดผิวพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการลดสีมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นคือ ที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับในทุก ๆ สีของน้ำเสีย คือทั้งสี เหลือง แดง และน้ำเงิน ยกเว้นในบางค่าของการทดลองที่มีความแปรปรวน เช่น ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรของสีเหลืองและที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของสีน้ำเงิน ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสีนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ถังดูดติดผิวที่ใช้ถ่านชานอ้อยเป็นสารดูดติดผิวนั้นประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสีมีความแตกต่างกัน โดยสีเหลืองนั้นประสิทธิภาพการลดสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นคือที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรประสิทธิภาพการลดสีมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 750 , 500 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในสีแดง และสีน้ำเงินมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการลดสีในทางเดียวกับถ่านกัมมันต์คือที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการลดสีมากกว่าที่ 500 ,750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ยกเว้นบางการทดลองที่มีผลการทดลองบางค่าที่แปรปรวนเนื่องจากการทดลองเอง คือ ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของสีน้ำเงินเท่านั้น ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดีมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสีเพิ่มขึ้น คือที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 750 , 500 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับยกเว้นบางค่าที่แปรปรวนคือที่ ความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ของน้ำเสียสีน้ำเงิน

การทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่งที่ใช้ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยเป็นสารดูดติดผิวเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสีพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการลดสีมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น คือ ที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้น 500 , 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับในน้ำเสียสีแดงและน้ำเงิน ยกเว้นในบางการทดลองที่มีความแปรปรวนคือที่น้ำเสียสีเหลือง ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดีในแต่ละความเข้มข้นของแต่ละสีนั้นมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทางเดียวกันกับถ่านชานอ้อยคือ ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่ามากกว่า 750 , 500 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของโทนสีต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีหลังการบำบัดของสารดูดติดผิวแต่ละชนิด โดยทำการเปรียบเทียบกันในแต่ละโทนสีของแต่ละความเข้มข้นแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีในแต่ละสีของแต่ละความเข้มข้น

สารดูดติดผิว	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สี	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
ถ่านกัมมันต์	250	เหลือง	87.25	60.39
		แดง	92.17	59.84
		น้ำเงิน	91.56	53.66

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

สารดูดติดผิว	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สี	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
	500	เหลือง	93.30	70.06
		แดง	96.08	67.76
		น้ำเงิน	88.17	64.83
	750	เหลือง	89.15	70.91
		แดง	93.86	72.91
		น้ำเงิน	86.80	74.01
	1000	เหลือง	89.90	76.82
		แดง	92.63	76.45
		น้ำเงิน	88.21	77.05
ถ่านชานอ้อย	250	เหลือง	2.25	26.10
		แดง	87.29	15.11
		น้ำเงิน	82.23	26.36
	500	เหลือง	50.86	45.17
		แดง	89.62	40.36
		น้ำเงิน	83.50	52.33
	750	เหลือง	71.19	67.03
		แดง	87.23	49.98
		น้ำเงิน	74.90	64.38
	1000	เหลือง	82.09	72.95
		แดง	87.57	71.17
		น้ำเงิน	85.49	67.88

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

สารดูดติดผิว	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สี	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
ถ่านกัมมันต์ ผสมถ่านชานอ้อย	250	เหลือง	50.23	43.80
		แดง	96.39	44.28
		น้ำเงิน	88.10	45.54
	500	เหลือง	89.07	63.80
		แดง	94.01	54.34
		น้ำเงิน	87.72	60.89
	750	เหลือง	87.42	69.49
		แดง	91.06	61.72
		น้ำเงิน	85.38	71.64
	1000	เหลือง	82.21	74.18
		แดง	93.78	71.53
		น้ำเงิน	86.12	74.92

จากตารางที่ 4.10 ซึ่งได้แสดงประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีโดยพิจารณาแยกตามแต่ละสีของแต่ละความเข้มข้นสี ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าในการทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดติดผิว ปรากฏว่าสีแดงมีประสิทธิภาพการลดสีมากที่สุด ส่วนสีเหลืองและสีน้ำเงินนั้นมีประสิทธิภาพการลดสีเท่า ๆ กันหรืออาจจะแตกต่างกันเล็กน้อยในทุก ๆ ความเข้มข้นของสี ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดีในแต่ละสีของทุก ๆ ความเข้มข้นนั้นมีค่าใกล้เคียงกันหมดทั้งสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน

การทดลองที่ใช้ถ่านชานอ้อยเป็นสารดูดติดผิว ผลการทดลองจากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีของสีแดงมีค่ามากกว่าสีน้ำเงินและสีเหลืองตามลำดับในทุก ๆ ความเข้มข้นของสี ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดีของแต่ละสีในทุกความเข้มข้นนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันยกเว้นบางการทดลองที่ผลที่ได้มี ความแปรปรวน

การทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยเป็นสารดูดติดผิว ปรากฏว่าสีแดงมีประสิทธิภาพการลดสีมากที่สุด ส่วนสีเหลืองและสีน้ำเงินนั้นมีประสิทธิภาพการลดสีใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการลดซีโอดี เมื่อพิจารณาในทุก ๆ ความเข้มข้น สีแดงจะมีค่ามากกว่าสีเหลืองและสีน้ำเงินเล็กน้อย

สาเหตุที่แต่ละโทนสีนั้นที่ผลทำให้มีประสิทธิภาพการลดสีของแต่ละการทดลองนั้นแตกต่างกันก็เนื่องจากถึงแม้จะเป็นสีย้อมไดเร็กท์เหมือนกัน แต่ในแต่ละโทนสีก็จะมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันไปในแต่ละโทนสี อันมีผลทำให้สารละลายสีแต่ละโทนสีนั้นมีคุณลักษณะทางเคมีที่ต่างกันไป ซึ่งก็จะไปมีผลทำให้การดูดติดผิวของถ่านในแต่ละการทดลองแตกต่างกันไปด้วย

สารดูดติดผิวที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ ถ่านชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย ทำให้ประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีแตกต่างกันดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีของสารดูดติดผิวแต่ละชนิดที่น้ำเสียแต่ละความเข้มข้น

สี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารดูดติดผิว	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
	น้ำทิ้งโรงงาน	ถ่านกัมมันต์	51.53	49.58
		ถ่านชานอ้อย	6.67	41.43
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	18.74	53.94
เหลือง	250	ถ่านกัมมันต์	86.81	62.36
		ถ่านชานอ้อย	2.25	26.10
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	54.40	32.93
	500	ถ่านกัมมันต์	79.49	66.93
		ถ่านชานอ้อย	23.30	23.16
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	76.20	54.54
	750	ถ่านกัมมันต์	87.60	67.95
		ถ่านชานอ้อย	67.54	60.76
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	86.09	65.18
	1000	ถ่านกัมมันต์	87.25	74.76
		ถ่านชานอ้อย	75.77	72.22
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	82.77	73.52

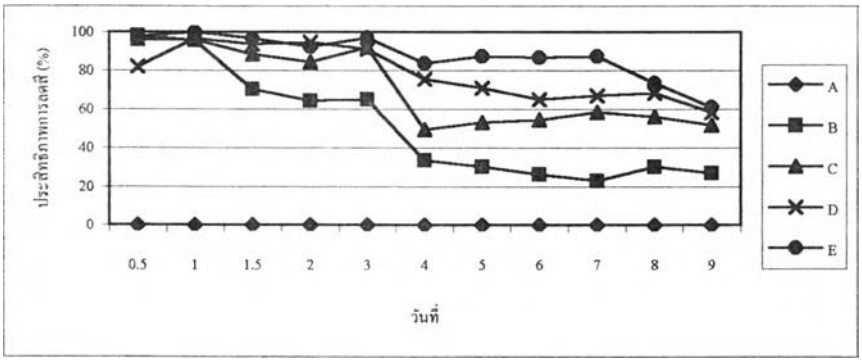
ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

สี	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารดูดติดผิว	ประสิทธิภาพการลดสี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
แดง	250	ถ่านกัมมันต์	96.20	68.87
		ถ่านชานอ้อย	90.16	25.82
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	96.39	44.28
	500	ถ่านกัมมันต์	96.08	67.76
		ถ่านชานอ้อย	89.62	40.36
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	94.01	54.34
	750	ถ่านกัมมันต์	93.86	72.91
		ถ่านชานอ้อย	87.23	49.48
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	91.06	61.72
	1000	ถ่านกัมมันต์	93.21	76.60
		ถ่านชานอ้อย	86.61	67.19
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	90.99	69.73
น้ำเงิน	250	ถ่านกัมมันต์	93.35	61.57
		ถ่านชานอ้อย	82.23	26.36
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	86.10	45.54
	500	ถ่านกัมมันต์	88.17	64.83
		ถ่านชานอ้อย	83.50	52.33
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	87.72	60.89
	750	ถ่านกัมมันต์	86.80	74.01
		ถ่านชานอ้อย	74.90	64.38
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	83.76	69.34
	1000	ถ่านกัมมันต์	88.21	77.05
		ถ่านชานอ้อย	85.49	67.88
		ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย	86.12	74.92

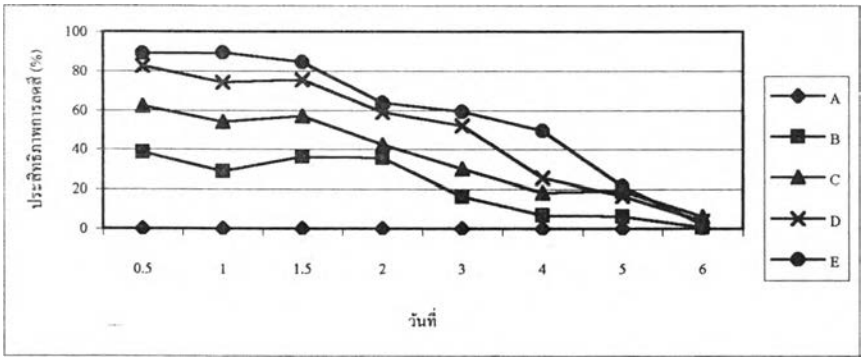
เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวแต่ละชนิดจากทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง เมื่อดูจากประสิทธิภาพการลดสีและซีโอดีจากตารางที่ 4.11 ซึ่งแยกพิจารณาตามแต่ละชนิดของน้ำเสียพบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย และถ่านชานอ้อยตามลำดับ

ปริมาณสารดูดติดผิวในถังดูดติดผิวที่แตกต่างกันนั้นก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดสีแตกต่างกันด้วยเมื่อความสูงของสารดูดติดผิวในถังมีค่าเป็น 0.3 , 0.6 ,0.9 และ 1.2 เมตร ซึ่งได้แสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 4.14 – 4.16

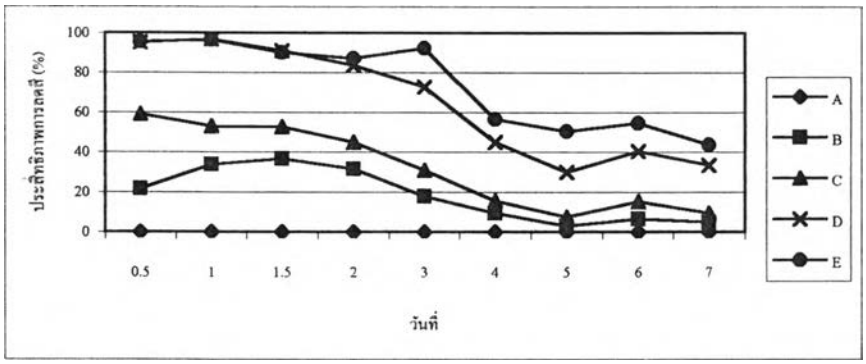
** หมายเหตุ จากกราฟ A คือ จุดที่น้ำเข้าซึ่งยังไม่สัมผัสสารดูดติดผิว
B คือ ความสูงของถ่าน 0.3 เมตร
C คือ ความสูงของถ่าน 0.6 เมตร
D คือ ความสูงของถ่าน 0.9 เมตร
E คือ ความสูงของถ่าน 1.2 เมตร



รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความสูงของถ่านกัมมันต์ในถังดูดติดผิว



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความสูงของถ่านชานอ้อยในถังดูดติดผิว



รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละความสูงของถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยในถังดูดติดผิว

จากรูปที่ 4.14 – 4.16 ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าในทุก ๆ การทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่ง เมื่อความสูงของถ่านมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียมากขึ้น คือ ประสิทธิภาพในการบำบัดสีของถ่านที่ ความสูง 1.2 เมตร มากกว่าที่ความสูง 0.9 , 0.6 ,0.3 เมตร ตามลำดับ ซึ่งก็เพราะว่าเมื่อปริมาณถ่านมากขึ้นทำให้มีพื้นที่การดูดติดผิวในถังดูดติดผิวแบบแท่งมากขึ้น ดังนั้นแนวโน้มของประสิทธิภาพการลดสีของน้ำเสียในแต่ละการทดลองนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณถ่านมากขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีในแต่ละความสูงของถ่านแต่ละชนิดแสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเฉลี่ยในแต่ละความสูงของถ่านแต่ละชนิด

ความสูงของถ่าน (เมตร)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)		
	ถ่านกัมมันต์	ถ่านชานอ้อย	ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย
0.3	68.59	56.50	61.50
0.6	77.55	65.18	69.77
0.9	82.34	73.81	76.83
1.2	87.29	77.91	81.18

เมื่อสรุปรวมผลการทดลองทั้งหมดแล้วนั้น ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวดีที่สุด รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อย และถ่านชานอ้อยตามลำดับ โดยมีแนวโน้มในการกำจัดสีลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นสีเพิ่มขึ้นจำนวนอนุภาคของสีก็จะเพิ่มขึ้นด้วยทำให้พื้นที่ในการดูดติดผิวของถ่านซึ่งมีจำกัดไม่เพียงพอที่จะให้อนุภาคสีมาดูดติด นอกจากนี้สีในแต่ละโทนสีก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของถ่านแต่ละชนิดต่างกันไปด้วย เนื่องจากว่าถึงแม้จะเป็นสีย้อมประเภทเดียวกันแต่เมื่อโทนสีแตกต่างกัน องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางเคมีก็จะแตกต่างกันไปด้วย เมื่อละลายน้ำแล้วสารละลายสีที่ได้ในแต่ละโทนสีจึงแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดติดสีของถ่านแตกต่างกันไปในแต่ละโทนสี

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของสารดูดติดผิวชนิดต่างๆนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

ถ่านกัมมันต์ที่มีขายทั่วไปราคาประมาณลิตรละ 107 บาท ถังดูดติดผิวขนาดที่ใช้ในการทดลองนี้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ความสูงของถ่านที่ใช้คือ 1.2 เมตรใช้ถ่านกัมมันต์ประมาณ 0.9 ลิตร ดังนั้นราคาสารดูดติดผิวต่อ 1 ถังนี้ คือประมาณ 96.3 บาท หรือมีราคาค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 66.9 บาท / น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีร้อยละ 84 – 99 และร้อยละ 54 – 85 โดยมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 2 – 12 วัน

สำหรับถ่านชานอ้อยได้จากชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือใช้จากอุตสาหกรรม เมื่อนำมากระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 180 บาท แต่สามารถนำสารละลายโซเดียมคลอไรด์มาใช้ในกระบวนการกระตุ้นได้หลายครั้ง ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นถ่านชานอ้อยเพื่อใช้ในถังดูดติดผิวจำนวนประมาณ 6 ลิตร ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วนั้น ราคาสารดูดติดผิวต่อ 1 ถังคือประมาณ 27 บาท หรือมีราคาค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 37.5 บาท / น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความคุ้มมากกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์อยู่มาก แต่อย่างไรก็ตาม ถ่านชานอ้อยนี้ก็มีข้อจำกัด คือ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้อยกว่าคือประมาณร้อยละ 51 – 95 และร้อยละ 15 – 73 และมีอายุการใช้งานที่น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ โดยมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 2 – 6 วัน

ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในถังดูดติดผิว ซึ่งได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์บำบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียวถึงเกือบร้อยละ 50 ซึ่งจากผลการทดลองถังดูดติดผิวแบบแท่งแล้ว การใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับถ่านชานอ้อยในถังดูดติดผิว ถ่านจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีใกล้เคียงกับการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว คือ ประมาณร้อยละ 50 – 98 และร้อยละ 44 – 75 แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าคือราคาสารดูดติดผิวต่อ 1 ถังประมาณ 57 บาทหรือประมาณ 56.9 บาท / น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร เพราะต้นทุนในการผลิตถ่านชานอ้อยนั้นมีราคาต่ำกว่าถ่านกัมมันต์มากนอกจากนี้อายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยในถังดูดติดผิวก็ยังมีระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันด้วย คือ ประมาณ 2 – 9 วัน