

การประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร
ในกระบวนการผลิตน้ำประปา



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
กรกฎาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร
ในกระบวนการผลิตน้ำประปา”
ของ นางสาวกนกพรรณ ยอดนิล
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปจรรย์ ทองสนิท)

.....ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย)

.....กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิทยานุกุล)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร.สุธาทิพย์ สีนัยง)

อนุมัติ



.....
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน ปฏิบัติราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

24 ก.ค. 2566

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ชจิตวิษยานุกูล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นทีปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภาจริย์ ทองสนิทและดร.สุชาติพิทย์ สิ้นยัง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ในจุดต่างๆ ด้วยความใส่ใจจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านใน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกๆ ท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ จนนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการน้ำเสีย อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร นางวิชญา อิ่มกระจ่าง นางสาวนิภาวรรณ จันทร์คุณ ที่ให้คำแนะนำในการใช้ห้องปฏิบัติการในและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยในทุก ๆ เรื่องภายในห้องปฏิบัติการในขณะทำวิจัยให้เป็นไปอย่างราบรื่น

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปเป็นข้อมูลเพื่อการทำประโยชน์ต่อในภายภาค

กนกพรรณ ยอดนิล

ชื่อเรื่อง	การประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร ในกระบวนการผลิตน้ำประปา
ผู้วิจัย	กนกพรรณ ยอดนิล
สถานที่ปรึกษา	ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย
กรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิทยานุกุล
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยยโสธร, 2559
คำสำคัญ	ระบบผลิตน้ำประปา สารพาราควอต สารคลอรีนไฟฟอส สารอาหารพืช

บทคัดย่อ

งานนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารปราบศัตรูพืช หรือ ยาฆ่าแมลง ของระบบการผลิตน้ำประปา ซึ่งยาฆ่าแมลงที่สนใจ ได้แก่ สารพาราควอต สารคลอรีนไฟฟอส และสารอาหารพืช โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของยาฆ่าแมลงในขณะเกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยจะศึกษาใน 4 กระบวนการ คือ กระบวนการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม กระบวนการกำจัดความกระด้างโดยใช้ปูนขาว กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และทรายเขียว และกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนโดยใช้สารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ จากผลการทดลอง สารพาราควอต สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนโดยใช้สารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ สารคลอรีนไฟฟอส สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการทั้ง 4 กระบวนการ และสารอาหารพืช สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ดังนั้น จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงได้ทั้ง 3 ชนิด โดยสามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 90% กระบวนการลำดับถัดไปคือ กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนโดยใช้สารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงได้ทั้ง 3 ชนิด โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 10-40 % ส่วนกระบวนการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม , กระบวนการกำจัดความกระด้างโดยใช้ปูนขาว และกระบวนการดูดซับโดยใช้ทรายเขียว ไม่สามารถกำจัดสารพาราควอต และ สารอาหารพืชได้ ดังนั้น กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จึงเป็นกระบวนการที่ดีที่สุด ในกระบวนการผลิตน้ำประปา หากต้องการกำจัดยาฆ่าแมลง 3 สาร ดังกล่าวข้างต้น ควรเลือกใช้ กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

Title DETERMINATION OF PESTICIDE REMOVAL
EFFICIENCY DURING WATER TREATMENT PROCESS

Author Kanokpan Yodnil

Advisor Jirapat Ananpattarachai, Ph.D.

Co - Advisor Associate Professor Puangrat Kajitvichyanukul, Ph.D.

Academic Paper Thesis M.Eng in Environmental Engineering,
Naresuan University, 2016

Keywords Water treatment process, Paraquat, Chlorpyrifos, Atrazine

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the efficiencies of water treatment units in pesticide removal. The chosen insecticides were chlorpyrifos, abamectin, paraquat, and atrazine, which are widely used in agricultural activity. The formation of by-products during the chemical reactions in water treatment process was also investigated. The evaluated water treatment techniques include adsorption to activated carbon and manganese dioxide, softening using lime and soda ash, and, reactions with chlorine. From results, abamectin, and paraquat were rarely removed by the investigated methods. The highest removal percentages of abamectin was only 2%. Atrazine can be removed by activated carbon with a maximum of 22.1% and by chlorine oxidation with a maximum of 36.3%. Chlorpyrifos can be removed with a maximum of 50-60% by adsorption using activated carbon and lime softening. For paraquat, the maximum removal efficiency 18.9% was obtained from chlorine oxidation. By-product formation was observed with chlorine oxidation for all investigated pesticides. The list of these chemical by-products was reported in this work.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
กระบวนการผลิตน้ำประปา.....	4
รูปแบบกระบวนการของระบบผลิตน้ำประปาชุมชน.....	6
รูปแบบระบบผลิตน้ำประปาจังหวัดน่าน.....	14
กระบวนการรวมตะกอน (Coagulation).....	22
กระบวนการกำจัดความกระด้างในน้ำ (Water Softening).....	23
กระบวนการดูดซับ.....	24
กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination).....	29
สารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
สารเคมี.....	41
อุปกรณ์และเครื่องแก้ว.....	43
เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล.....	43
ขั้นตอนการศึกษาการจัดสรรเคมีทางการเกษตรในหน่วยกระบวนการ ต่างๆ.....	45
ขั้นตอนการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของสารเคมีทางการเกษตรด้วย ถ่านกัมมันต์.....	46

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	48
การประเมินการกำจัดสารพาราควอทในน้ำด้วยกระบวนการผลิต น้ำประปา.....	48
การประเมินการกำจัดสารคลอรีนไฟฟอสในน้ำด้วยกระบวนการผลิต น้ำประปา.....	63
การประเมินการกำจัดสารอาหารซีในน้ำด้วยกระบวนการผลิต น้ำประปา.....	77
การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารเคมีทางการเกษตรด้วยถ่าน กัมมันต์.....	90
การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอรีนไฟฟอสด้วยถ่านกัมมันต์.....	96
การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารอาหารซีด้วยถ่านกัมมันต์.....	102
5 บทสรุป.....	109
สรุปผลการวิจัย.....	109
ข้อเสนอแนะ.....	111
บรรณานุกรม.....	112
ประวัติผู้วิจัย.....	114

สารบัญญัตราสาร

ตาราง		หน้า
1	แผนการดำเนินงานวิจัย.....	3
2	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารพาราควอท.....	32
3	ค่าLD50ของสารพาราควอทในรูปประจุบวก โดยมีเส้นทางการได้รับผ่านทางปาก.	34
4	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารคลอร์ไพริฟอส.....	35
5	ค่า LD50 ของสารคลอร์ไพริฟอส.....	36
6	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารอาทราซีน.....	38
7	ค่า LD50 ของสารอาทราซีน.....	39
8	ผลสรุปของแนวทางในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรด้วยกระบวนการต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตน้ำสะอาด.....	85
9	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารพาราควอทในน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ	86
10	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ	88
11	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารอาทราซีนในน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ	89
12	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง....	92
13	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด	95
14	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง	98
15	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิด เกล็ด.....	101
16	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาทราซีนในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	104
17	สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาทราซีนในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด..	107

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล.....	9
2 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน.....	13
3 ระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1.....	14
4 ระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2.....	15
5 ระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 3.....	15
6 ถังกรวนช้าในระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่าน.....	16
7 ถังตกตะกอนในระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่าน.....	17
8 ถังกรองในระบบประปา ^{น้ำ} ผิวดินในจังหวัดน่าน.....	17
9 ระบบประปา ^{น้ำ} ป้อนดื่มในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1.....	18
10 ระบบประปา ^{น้ำ} ป้อนดื่มในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2.....	18
11 ระบบประปา ^{น้ำ} ป้อนดื่มในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 3.....	19
12 ถังกรองในระบบประปา ^{น้ำ} ป้อนดื่มในจังหวัดน่าน.....	20
13 ระบบประปา ^{น้ำ} บาดาลในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1.....	21
14 ระบบประปา ^{น้ำ} บาดาลในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2.....	21
15 สารพาราควอท (Paraquat).....	30
16 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารพาราควอท (1,1'-dimethyl-4, 4'-bipyridinium dication).....	31
17 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารพาราควอทไดคลอไรด์ (1,1'-dimethyl-4, 4'-bipyridinium dichloride).....	31
18 สารคลอรีไฟริฟอส.....	34
19 โครงสร้างโมเลกุลของสารคลอรีไฟริฟอส.....	35
20 สารอาทราซีน.....	37
21 โครงสร้างโมเลกุลของสารอาทราซีน.....	38
22 สารเคมีทางการเกษตรสำหรับงานวิจัย.....	42
23 สารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตน้ำประปา.....	42
24 เครื่องวัดพีเอช.....	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
25 เครื่องทดสอบการตกตะกอนหรือเครื่องแกว่งสารให้ตกตะกอน.....	44
26 เครื่องวัดการดูดกลืนของแสง.....	44
27 เครื่องวิเคราะห์ TOC.....	45
28 สัดส่วนความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา..	48
29 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา.....	49
30 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา.....	49
31 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารพาราควอท เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา.....	50
32 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	50
33 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	51
34 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	51
35 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆเมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	52
36 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	52
37 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารพาราควอท เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
38	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำ ปฏิกิริยา.....	53
39	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	54
40	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงใน การทำปฏิกิริยา.....	54
41	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	55
42	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำ ปฏิกิริยา.....	55
43	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	56
44	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ในการทำปฏิกิริยา.....	56
45	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	57
46	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	57
47	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	58
48	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
49	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา..... 59
50	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำ ปฏิกิริยา..... 59
51	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา..... 60
52	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในการทำปฏิกิริยา..... 61
53	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในการทำปฏิกิริยา..... 61
54	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียม ไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา..... 62
55	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำ ปฏิกิริยา..... 62
56	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรีไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำ ปฏิกิริยา..... 63
57	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอรีไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา..... 63
58	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรีไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำ ปฏิกิริยา..... 64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
59	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา.....	64
60	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มใน การทำปฏิกิริยา.....	65
61	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้น ต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา...	65
62	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	66
63	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาว ในการทำปฏิกิริยา.....	66
64	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	67
65	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	67
66	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำ ปฏิกิริยา.....	68
67	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้น ต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	68
68	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำ ปฏิกิริยา.....	69
69	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
70 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	70
71 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.	70
72 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	71
73 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	71
74 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	72
75 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	72
76 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา....	73
77 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	73
78 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา...	74
79 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
80	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	75
81	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	75
82	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	76
83	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไฟริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอริไฟริฟอส เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	76
84	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา..	77
85	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา.....	77
86	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	78
87	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา.....	78
88	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	79
89	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	79
90	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
91	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารอาหารซีเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา.....	80
92	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำ ปฏิกิริยา.....	81
93	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา.....	81
94	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	82
95	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา.....	82
96	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ใน การทำปฏิกิริยา.....	83
97	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	84
98	สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความ เข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียม ไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา.....	84
99	กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซีในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารอาหารซีเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา	85
100	ลักษณะการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	90
101	ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ แลงเมียร์.....	91
102	ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ ฟรุนดิช.....	92

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
103	ลักษณะการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด.....	93
104	ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบ แลงเมียร์.....	94
105	ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบ ฟรุนดิช.....	95
106	ลักษณะการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	96
107	ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ แลงเมียร์.....	97
108	ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ ฟรุนดิช.....	98
109	ลักษณะการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด.....	99
110	ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดใน รูปแบบแลงเมียร์.....	100
111	ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดใน รูปแบบฟรุนดิช.....	101
112	ลักษณะการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	102
113	ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ แลงเมียร์.....	103
114	ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบ ฟรุนดิช.....	104
115	ลักษณะการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด.....	105
116	ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบ แลงเมียร์.....	106
117	ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบ ฟรุนดิช.....	107

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากเกษตรกรเป็นอาชีพหลักของประชาชนในประเทศไทย เมื่อเกษตรกรต้องการผลผลิตที่มีคุณภาพและมีปริมาณมากพอที่จะส่งออกไปยังต่างประเทศ สารเคมีทางการเกษตรจึงเป็นตัวช่วยสำคัญในการตอบสนองของความต้องการของเกษตรกรเพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่ปลอดภัยจากศัตรูพืชและยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตทางการเกษตรให้มากขึ้นในอีกทางด้วย แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรร่วมกับการทำเกษตร เมื่อต้องการผลผลิตที่มากขึ้น ก็ต้องใช้สารเคมีทางการเกษตรในปริมาณที่มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น จึงส่งผลให้สารเคมีทางการเกษตรเกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน น้ำ และระบบนิเวศน์ต่างๆ และยังรวมไปถึงสิ่งมีชีวิตทั้งคนและสัตว์ในพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรก็จะได้รับผลกระทบไปด้วย

จากการศึกษาปัญหาสารเคมีตกค้างทางการเกษตรในพื้นที่ตัวอย่างคือ บริเวณจังหวัดน่าน พบว่าเกษตรกรมีการมีการใช้สารปราบศัตรูพืชในปริมาณมากโดยสารเคมีทางการเกษตรที่ตรวจพบได้แก่ สารอะทราซีน (Atrazine) สารพาราควอท (Paraquat) หรือกรัมม็อกโซน (Gramoxone) และสารคลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos) ที่ปนเปื้อนอยู่ในบริเวณพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งสาเหตุการปนเปื้อนของสารที่กล่าวมานี้จะเริ่มต้นจากการปนเปื้อนในดินบริเวณที่ทำการเพาะปลูกซึ่งอยู่บนภูเขา หรือพื้นที่ราบสูง เมื่อมีฝนตกลงมาชะล้างหน้าดินทำให้สารเคมีทางการเกษตรไหลลงสู่ลำน้ำได้ และอีกสาเหตุมาจากการที่บางพื้นที่มีการกันฝายเพื่อผสมสารเคมีทางการเกษตรลงไปในลำน้ำโดยตรง ทำให้น้ำจากพื้นที่เหล่านี้ไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ในทันที อันเนื่องมาจากได้มีการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรแล้วนั่นเอง ทั้งนี้ ระบบการผลิตน้ำประปาและน้ำดื่มในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะทำการออกแบบมาเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำจืดของแข็ง เศษดิน ฝุ่นผง สี เชื้อโรคบางชนิด และความขุ่น แต่ไม่รวมไปถึงการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร จากการสำรวจพื้นที่ตัวอย่างซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรที่ค่อนข้างรุนแรง แต่ระบบผลิตน้ำประปาไม่ได้มีการออกแบบระบบมาเพื่อช่วยในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนมากับน้ำได้ จากการศึกษาเบื้องต้นทำให้ทราบว่าระบบผลิตน้ำประปามีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำ หรือนำบำบัดไม่ได้เลย โดยทราบได้จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปากับค่าความ

เข้มข้นของสารเคมีทางการเกษตรที่หลงเหลือในน้ำที่ออกจากระบบผลิตประปา ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงต้องการที่จะศึกษาหาแนวทางที่จะช่วยพัฒนาหน่วยบำบัดน้ำที่ใช้ในระบบผลิตน้ำประปาว่าหน่วยใดสามารถช่วยบำบัดหรือลดผลกระทบจากการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำดิบที่ใช้ในระบบผลิตน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น การเติมสารส้มในกระบวนการการรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation) ที่ปนมากับน้ำดิบ, การเติมปูนขาวในกระบวนการกำจัดความกระด้างของน้ำดิบ, การใช้ถ่านกัมมันต์และทรายเขียวในกระบวนการดูดซับสารเคมีทางการเกษตรภายในถังกรอง และ การเติมสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ทั้งนี้ เมื่อสารเคมีทางการเกษตรและสารเคมีที่ใช้ระบบผลิตประปาทำปฏิกิริยากันในแต่ละหน่วยบำบัดน้ำที่ทำการศึกษา อาจเกิดการเปลี่ยนรูปของสารเคมีไปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิดได้ ซึ่งอาจมีความเป็นพิษสูงหรือต่ำกว่าเดิมก็เป็นได้ จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดในส่วนนี้ด้วย เพื่อหาแนวทางแก้ไขเพื่อให้ระบบผลิตน้ำประปาเป็นไปในทางที่ดีขึ้น ดังนั้น หากหน่วยบำบัดน้ำที่ใช้ระบบผลิตน้ำประปาหน่วยใดมีความประสิทธิภาพในการลดผลกระทบการปนเปื้อนจากสารเคมีทางการเกษตรได้ดีที่สุด ก็จะเป็นแนวทางที่นำไปสู่การพัฒนาและจัดสร้างระบบผลิตน้ำประปาที่เหมาะสมในการช่วยลดการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตรในอนาคตต่อไป

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำประปาในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำประปาในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรและศึกษาการเปลี่ยนรูปของสารเคมีทางการเกษตรในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาเคมีในแต่ละหน่วยการผลิตน้ำประปา โดยขอบเขตงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและจำลองหน่วยการผลิตน้ำประปาในแต่ละหน่วย โดยศึกษาในหน่วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยสารส้ม กระบวนการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาว กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือทรายเขียว และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ทั้งนี้จะอาศัย

เครื่องทดสอบการตกตะกอนหรือเครื่องแกว่งสารให้ตกตะกอน (Jar Test) เข้ามาช่วยในการกวนผสม และหาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเบื้องต้นในของระบบผลิตน้ำประปาแต่ละหน่วย

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบผลิตประปาในแต่ละหน่วย กระทบว่าการว่ากระทบการใดมีประสิทธิภาพสูงสุด และทำการศึกษาเพิ่มเติมในกระทบการนั้นๆ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีทางการเกษตรด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon: TOC)

ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)			
	1-3	4-6	7-9	10-12
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→			
2. กำหนดระยะเวลาดำเนินการ	←→			
3. เตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย	←→			
4. ทำการทดลอง		←→		
5. รวบรวมผลการทดลอง			←→	
6. วิเคราะห์และสรุปผล			←→	
7. ทำรายงานฉบับโครงร่าง				←→
8. ปรับปรุงและแก้ไขงานวิจัย				←→
9. ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์				←→

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตน้ำประปา

กระบวนการผลิตน้ำประปาชุมชนโดยทั่วไป มีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการผลิตน้ำประปาเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรในหมู่บ้าน และที่สำคัญต้องสามารถผลิตน้ำที่มีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคและผ่านมาตรฐานน้ำต่างๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติทางจุลินทรีย์ รวมไปถึงสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มของสารพิษ โดยระบบผลิตน้ำประปาชุมชนจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

องค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปา

องค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปา ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ระบบน้ำดิบ ระบบการผลิตน้ำประปา และระบบการผลิตน้ำประปา และระบบขนส่งและจ่ายน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ระบบน้ำดิบ (Raw Water)

แหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตประปาอาจได้มากจากน้ำผิวดิน น้ำบาดาล ซึ่งควรมีความสกปรก หรือสิ่งเจือปนน้อยที่สุด และอยู่ใกล้ระบบผลิตน้ำประปาชุมชนมากที่สุด เพื่อลดค่าขนส่งและเพื่อลดภาระในการบำบัดได้บางส่วนด้วย ทั้งนี้ องค์การอนามัยโลก (1993) ได้มีการพิจารณาแหล่งน้ำดิบ และจัดลำดับความเหมาะสมไว้ดังนี้

1.1 แหล่งน้ำที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรก ควรเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีอยู่แล้ว อาจสามารถแจกจ่ายให้ประชาชนสามารถใช้ได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพิ่มเติม อีกทั้งยังต้องพิจารณาไปถึงเรื่องการแจกจ่ายน้ำว่าสามารถอาศัยการไหลตามแรงโน้มถ่วง โดยไม่ใช้เครื่องสูบน้ำ เช่น แหล่งน้ำที่อยู่บนภูเขาซึ่งอยู่สูงกว่าระดับที่ตั้งของหมู่บ้านอยู่แล้ว ทำให้อัตราค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการดูแลรักษาไม่สูงมากนัก

1.2 แหล่งน้ำที่ควรพิจารณาเป็นลำดับที่สอง ควรเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพิ่มเติมอีก แต่ต้องมีการนำเครื่องสูบน้ำเข้ามาช่วยในขั้นตอนการแจกจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้ น้ำ ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำเข้ามาช่วย

1.3 แหล่งน้ำที่ควรพิจารณาเป็นลำดับที่สาม เลือกจากแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำค่อนข้างดี ซึ่งต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ผ่านมาตรฐานที่กำหนดด้วยวิธีต่างๆ

อาทิเช่น การตกตะกอน การกรอง การฆ่าเชื้อโรค ส่วนในเรื่องการจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำ ยังไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ ซึ่งอาศัยหลักการโน้มถ่วงก็ยังสามารถจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำได้

1.4 แหล่งน้ำที่ควรพิจารณาเป็นลำดับที่สี่ เป็นแหล่งน้ำที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ผ่านมาตรฐานที่กำหนดด้วยวิธีต่างๆ อาทิเช่น การตกตะกอน การกรอง การฆ่าเชื้อโรค ส่วนในเรื่องการจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำต้องใช้เครื่องสูบน้ำเข้ามาช่วยจึงจะสามารถจ่ายน้ำไปยังผู้ใช้น้ำได้

2. ระบบการผลิตน้ำประปา (Water Treatment Systems)

ระบบการผลิตน้ำประปา ความจำเป็นของระบบนี้ จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบ และคุณภาพของน้ำประปาที่ต้องการ น้ำดิบบางแหล่งอาจไม่ต้องผ่านระบบการผลิตน้ำประปาเลยก็เป็นได้ น้ำดิบบางแหล่งก็ต้องผ่านบางกระบวนการเท่านั้นก็ได้ น้ำประปาที่สะอาดแล้ว แต่น้ำดิบบางแหล่งอาจต้องผ่านกระบวนการทุกขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาดออกมา ทั้งนี้ระบบผลิตและทำความสะอาดน้ำดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำประปา อาจสามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการได้ 3 กระบวนการ ดังนี้

2.1 กระบวนการกำจัดสารแขวนลอย ซึ่งได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และกระบวนการกรองน้ำ (Filtration)

2.2 กระบวนการกำจัดสารละลาย ซึ่งได้แก่ กระบวนการตกผลึก (Precipitation) กระบวนการดูดติดผิว (Adsorption) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และกระบวนการผ่านเมมเบรน (Membrane process)

2.3 กระบวนการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งได้แก่ กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน หรือวิธีอื่นๆ

3. ระบบขนส่งและจ่ายน้ำ (Transmission and Distributing System)

ระบบขนส่งน้ำมีหน้าที่ในการนำน้ำดิบ (Raw Water) จากแหล่งน้ำดิบที่เลือกส่งไปยังระบบผลิตน้ำประปา (Water Treatment Systems) และระบบจ่ายน้ำมีหน้าที่จ่ายน้ำที่ผลิตได้จากระบบผลิตน้ำประปาจ่ายไปยังผู้รับบริการหรือผู้ใช้น้ำ

ระบบท่อขนส่งน้ำจะยาวหรือสั้นเพียงใด ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่งน้ำดิบไปยังระบบผลิตน้ำประปา และ ระยะทางระหว่างระบบผลิตน้ำประปาไปยังผู้รับบริการหรือผู้ใช้น้ำ และขึ้นอยู่กับว่าจะขนส่งน้ำด้วยวิธีใด ไหลเองตามธรรมชาติ ซึ่งจะใช้ท่อขนส่งเป็นแบบรางเปิด (Open Channel) หรือ ไหลด้วยเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะใช้ท่อขนส่งแบบท่อปิดภายใต้แรงดัน (Pressure Pipe) ซึ่งโดยปกติอัตราเร็วของการไหลของน้ำภายในท่อจะมีค่าระหว่างประมาณ 1-1.7 เมตร/วินาที และโดยปกติความต้องการน้ำสูงสุดมักเกิดขึ้นมักเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆหรือที่เรียกว่าชั่วโมงเร่งด่วนนั่นเอง เพื่อให้สามารถขนส่งน้ำได้ทันตลอดเวลา จึงอาจมีการสร้างอ่างเก็บน้ำสำรอง

(Service or Distributing Reservoir) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการสำรองน้ำในช่วงเวลาที่เกิดไฟไหม้ หรือเมื่อต้องมีการซ่อมแซมท่อ เป็นต้น

รูปแบบกระบวนการของระบบผลิตน้ำประปาชุมชน

รูปแบบกระบวนการของระบบการผลิตน้ำประปาชุมชน ทั้งนี้ จะแบ่งตามแหล่งที่มีของ แหล่งน้ำดิบ โดยจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการผลิตน้ำประปาจากน้ำบาดาล และ กระบวนการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล

กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะสามารถอธิบายรายละเอียดและหน้าที่ในแต่ละขั้นตอนตามองค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปาได้ ดังนี้

1.1 ระบบน้ำดิบ (Raw Water)

1.1.1 บ่อน้ำบาดาล

น้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะเป็นน้ำที่มาจากบ่อน้ำบาดาล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างชั้นหินที่เป็นโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation) โดยหมายถึงชั้นที่อาจประกอบด้วยชั้นกรวดทราย (Sand & Gravel) หรือชั้นหินที่เป็นเนื้อพรุนน้ำซึมได้ (Pervious Rock) หรือที่ว่าง (Void or Space) ในช่องว่าง (Opening) รอยแตก (Crack or Joints) หรือโพรง (Caverns) ในชั้นหินอย่างใดอย่างหนึ่ง และชั้นน้ำบาดาลเหล่านี้จะถูกรองรับด้วยหินเนื้อแน่นที่ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมลงไปข้างล่างได้อีก ทำให้สามารถสูบน้ำไปใช้งานได้โดยไม่แห้ง ทั้งนี้ ชนิดของบ่อน้ำบาดาล สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) บ่อน้ำบาดาลตื้น (Shallow Well) หมายถึง บ่อน้ำบาดาลที่มีความลึกไม่กี่เมตรไปจนถึงความลึกไม่เกิน 20 เมตร

2) บ่อน้ำบาดาลลึก (Deep Well) หมายถึง บ่อน้ำบาดาลที่มีความลึกมากกว่า 20 เมตรขึ้นไปจนถึงความลึกไม่เกิน 100 เมตร

3) บ่อน้ำบาดาลลึกมาก (Very Deep Well) หมายถึง บ่อน้ำบาดาลที่มีความลึกมากกว่า 100 เมตรขึ้นไป

ดังนั้น การนำน้ำจากบ่อน้ำบาดาลมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาหรือระบบผลิตน้ำสะอาดจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำ ซึ่งต้องมีการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เช่น ความลึก ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ ปริมาณเหล็ก คลอไรด์ ความกระด้าง และของแข็งละลายน้ำ โดยนำค่าต่างๆ ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2535 ก่อนที่จะถูกเลือกไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.1.2 เครื่องสูบน้ำดิบ

เครื่องสูบน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องสูบน้ำแบบจมน้ำใต้ดิน หรือปั๊มน้ำแบบจุ่ม (Submersible Pump) ตัวเครื่องจะประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำและมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในบ่อบาดาล โดยน้ำบาดาลจะถูกสูบผ่านไปตามท่อส่งน้ำดิบเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปา

1.2.3 ท่อส่งน้ำดิบ

ท่อสูบน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล ที่ใช้สำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาลมายังระบบผลิตประปา ส่วนใหญ่จะใช้เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี

1.2 ระบบผลิตน้ำ (Water Treatment Systems)

กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาลในส่วนของระบบผลิตน้ำจะประกอบด้วย ระบบเติมอากาศ ถังกรองสนิมเหล็ก ระบบฆ่าเชื้อโรค และถังน้ำใส โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 ระบบเติมอากาศ (Aeration)

ระบบเติมอากาศ สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล โดยปกติแล้ว น้ำบาดาลจากบ่อบาดาลบางแห่งที่นำมาใช้เป็นน้ำดิบ มักจะอยู่ในสถานะที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ทำให้ในน้ำบาดาลมีเหล็ก แมงกานีส คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ ละลายปนอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการนำระบบเติมอากาศมาช่วยกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ โดยเมื่อเหล็กและแมงกานีสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์และตกตะกอนลงมา ซึ่งระบบประปาบางแห่งจะมีการนำถุงกรองตะกอนมาไว้สำหรับกักตะกอน เพื่อเป็นการช่วยลดภาระถังกรองด้วยอีกทางหนึ่ง ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ละลายในน้ำดิบจะสามารถระเหยออกไปเมื่อมีการเติมอากาศเข้าไป แต่ระบบผลิตน้ำประปาบางสถานที่อาจไม่มีการก่อสร้างระบบเติมอากาศไว้ อันเนื่องมาจากมีการนำน้ำบาดาลที่เป็นน้ำดิบไปตรวจคุณภาพน้ำก่อนว่ามีค่าสินแร่ต่างๆ โดยเฉพาะเหล็กและแมงกานีสมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำบาดาลกรมทรัพยากรธรณีปีพ.ศ. 2535

1.2.2 ถังกรองสนิมเหล็ก

ถังกรองสนิมเหล็ก สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล ภายในถังกรองสนิมเหล็กจะถูกบรรจุไว้ด้วยทรายกรองและกรวดกรองเรียงเป็นชั้นๆ โดยชั้นทรายจะอยู่ด้านบนและชั้นกรวดจะอยู่ด้านล่าง ทั้งนี้ถังกรองสนิมเหล็ก เมื่อรองรับน้ำต่อจากระบบเติมอากาศ

แล้วจะทำหน้าที่ในกรองสนิมเหล็กและเชื้อโรคบางส่วนที่เจอปนมากับน้ำบาดาลหรือน้ำดิบที่เข้ามาสู่ระบบผลิตน้ำประปา

1.2.3 ถังน้ำใส

ถังน้ำใส สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะทำหน้าที่กักเก็บน้ำที่ผ่านมาจากถังกรองเพื่อรอส่งขึ้นหอสูง

1.2.4 ระบบฆ่าเชื้อโรค

ระบบฆ่าเชื้อโรค สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะเป็นการฆ่า หรือทำลายจุลินทรีย์ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคเกือบทั้งหมดที่อยู่ในน้ำประปา โดยสารฆ่าเชื้อโรคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ซึ่งในการฆ่าเชื้อโรคจะใช้วิธีการเติมสารเติมสารละลายคลอรีนเข้าในถังก่อนที่น้ำจะถูกส่งไปที่หอสูง ทั้งนี้ ระบบฆ่าเชื้อโรคจะกระทำเพื่อให้ได้น้ำสะอาดและปลอดภัยมากที่สุด ไปสู่ผู้ใช้น้ำนั่นเอง

1.3 ระบบจ่ายน้ำ (Distributing System)

1.3.1 เครื่องสูบน้ำดี

เครื่องสูบน้ำดีสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะใช้เครื่องสูบน้ำแบบเหวี่ยง (Centrifugal Pump) โดยจะมีหน้าที่สูบน้ำจากถังน้ำใสขึ้นไปสู่ออกถึงสูง เพื่อรอจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำ

1.3.2 หอดังสูง

หอดังสูงสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล จะทำหน้าที่รับน้ำที่ส่งมาจากถังน้ำใส ช่วยสร้างแรงดันน้ำ และรักษาแรงดันน้ำให้สม่ำเสมอในขณะที่จ่ายน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำ

1.3.3 ท่อเมนจ่ายน้ำ

ท่อเมนจ่ายน้ำสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล ส่วนใหญ่เป็นท่อพีวีซี และท่อเหล็กอาบสังกะสี ซึ่งมีหน้าที่จ่ายน้ำประปาจากหอดังสูงส่งไปยังผู้ใช้น้ำ โดยผ่านมาตรวัดน้ำ



ภาพ 1 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบบาดาล

2. กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน

กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะสามารถอธิบายรายละเอียดและหน้าที่ในแต่ละขั้นตอนตามองค์ประกอบของระบบผลิตน้ำประปาได้ ดังนี้

2.1 ระบบน้ำดิบ (Raw Water)

2.1.1 แหล่งน้ำผิวดิน

น้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะเป็นน้ำที่มาจากน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินแล้วไหลลงไปสู่ที่ต่ำ หรือ เป็นน้ำที่ถูกเก็บกักไว้บนผิวดิน ในแม่น้ำ ลำคลอง ห้วย คู บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และรวมไปถึงน้ำที่ไหลล้นจากใต้ดินเข้ามาสมทบด้วย ทั้งนี้ การนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาหรือระบบผลิตน้ำสะอาดจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำ โดยนำน้ำนั้นไปตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนแล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

2.1.2 เครื่องสูบน้ำดิบ

เครื่องสูบน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในโรงสูบน้ำบนพื้นดิน หรือติดตั้งในโรงสูบลอย แต่ในบางที่อาจใช้เครื่องสูบบแบบจมน้ำ หรือปั๊มน้ำแบบจุ่ม (Submersible Pump) ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในระบบรับน้ำดิบที่เรียกว่า ถังกรองได้น้ำ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ที่ใช้เป็นแหล่งน้ำผิวดิน

2.1.3 ท่อส่งน้ำดิบ

ท่อส่งน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดินที่ใช้สำหรับสูบน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำดิบมายังระบบผลิตประปา ส่วนใหญ่จะใช้เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี

2.2 ระบบผลิตน้ำ (Water Treatment Systems)

กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดินในส่วนของระบบผลิตน้ำจะประกอบด้วยระบบกวนเร็ว ระบบกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรองน้ำผิวดิน และถังน้ำใส โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ระบบกวนเร็ว

ระบบกวนเร็วในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะเป็นการเติมสารเคมีลงในถังกวนเร็ว (Rapid mixing tank) เพื่อกำจัดความขุ่นหรือสารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำผิวดินที่ใช้เป็นน้ำดิบการในผลิตน้ำประปาให้ออกไปจากน้ำนั่นเอง โดยการกำจัดความขุ่นของน้ำจะทำให้ได้ง่ายหรือยาก ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคความขุ่น ซึ่งถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ย่อมจะสามารถถูกกำจัดออกจากร่างได้ง่ายมากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งอนุภาคขนาดเล็ก อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า อนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal Particle) ทั้งนี้ เมื่ออนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเอง จึงต้องมีการเติมสารเคมีเข้ามาเพื่อช่วยให้อนุภาค

คอลลอยด์สามารถจับตัวกันแล้วตกตะกอนลงมาได้ โดยสารเคมีที่นิยมใช้ในระบบกวนเร็ว จะเรียกอีกอย่างว่า สารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) อันได้แก่ สารละลายสารส้ม สารละลายปูนขาวและสารประกอบเหล็กเช่น เฟอร์รัสซัลเฟต เพอร์ริคคลอไรด์ และ เพอร์ริคซัลเฟต ดังนั้น ระบบกวนเร็วจึงมาความสำคัญในการช่วยให้สารเคมีที่เติมลงไปในถังกวนเร็วสามารถกระจายตัวได้อย่างเต็มที่และช่วยทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของคอลลอยด์ให้แตกตัวแล้วสามารถสัมผัสกับสารเคมีได้อย่างเต็มที่เช่นกัน

2.2.2 ระบบกวนช้า

ระบบกวนช้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องมาจากระบบกวนเร็ว ซึ่งระบบกวนช้าจะเกิดขึ้นในถังกวนช้า (Slow Mixing Tank) นั่นเอง เมื่อสารเคมีสัมผัสกับอนุภาคคอลลอยด์ได้อย่างทั่วถึงในถังกวนเร็วแล้ว ระบบกวนช้าจะช่วยผสมอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วให้สามารถรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ หรือเรียกว่า ฟล็อก (Floc) นั่นเอง สำหรับระบบกวนช้าของกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน ส่วนใหญ่จะเป็นระบบคลองวนเวียน โดยจะให้น้ำไหลผ่านคลองวนเวียนไปเรื่อยๆ เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่จนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้เอง ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณเวลาในการไหลของน้ำเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มีเวลามากพอในการจับตัวกันเป็นก้อนแล้วสามารถไปตกตะกอนในถังตกตะกอนในระบบบำบัดขั้นต่อไปได้ ทั้งนี้ระบบการกวนช้าอาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ระบบการรวมตะกอน

2.2.3 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะรับน้ำต่อจากระบบรวมตะกอน โดยน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนจะมีความเร็วที่ลดลง เพื่อให้ฟล็อกหรือตะกอนที่รวมตัวกันแล้วมีเวลาในการตกตะกอนลงสู่ก้นถัง โดยตะกอนที่ตกลงสู่ก้นถังแล้วจะเรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) ทั้งนี้ ถังตกตะกอนมีหน้าที่ในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลก ช่วยให้ความขุ่นของน้ำลดลงทำให้น้ำที่ไหลออกจากถังตกตะกอนจะเป็นน้ำที่ใส ดังนั้นจึงเป็นการช่วยลดภาระของถังกรองในขั้นตอนถัดไปอีกด้วย

2.2.4 ถังกรองน้ำผิวดิน

ถังกรองน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะทำหน้าที่รับน้ำต่อจากถังตกตะกอน ภายในถังกรองจะถูกบรรจุไว้ด้วยทรายกรองและกรวดกรองเรียงเป็นชั้นๆ โดยชั้นทรายจะอยู่ด้านบนและชั้นกรวดจะอยู่ด้านล่าง ทั้งนี้ ถังกรองมีหน้าที่ช่วยกรองตะกอนความขุ่น

ขนาดเล็กที่สุดมาบางส่วนจากถังตกตะกอน โดยให้ตะกอนเหล่านี้ติดค้างอยู่บนผิวหน้าหรือบริเวณชั้นทรายกรอง

2.2.5 ถังน้ำใส

ถังน้ำใส สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะทำหน้าที่รับน้ำต่อจากถังกรองและกักเก็บน้ำเพื่อรอส่งขึ้นหอสูง

2.2.6 ระบบฆ่าเชื้อโรค

ระบบฆ่าเชื้อโรค สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะเป็นการฆ่า หรือทำลายจุลินทรีย์ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคเกือบทั้งหมดที่อยู่ในน้ำประปา โดยสารฆ่าเชื้อโรคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ซึ่งในการฆ่าเชื้อโรคจะใช้วิธีการเติมสารเติมสารละลายคลอรีนเข้าในเส้นท่อน้ำก่อนที่น้ำจะถูกส่งไปที่หอสูง ทั้งนี้ ระบบฆ่าเชื้อโรคจะกระทำเพื่อให้ได้น้ำสะอาดและปลอดภัยมากที่สุดไปสู่ผู้ใช้น้ำนั่นเอง

2.3 ระบบจ่ายน้ำ (Distributing System)

2.3.1 เครื่องสูบน้ำดี

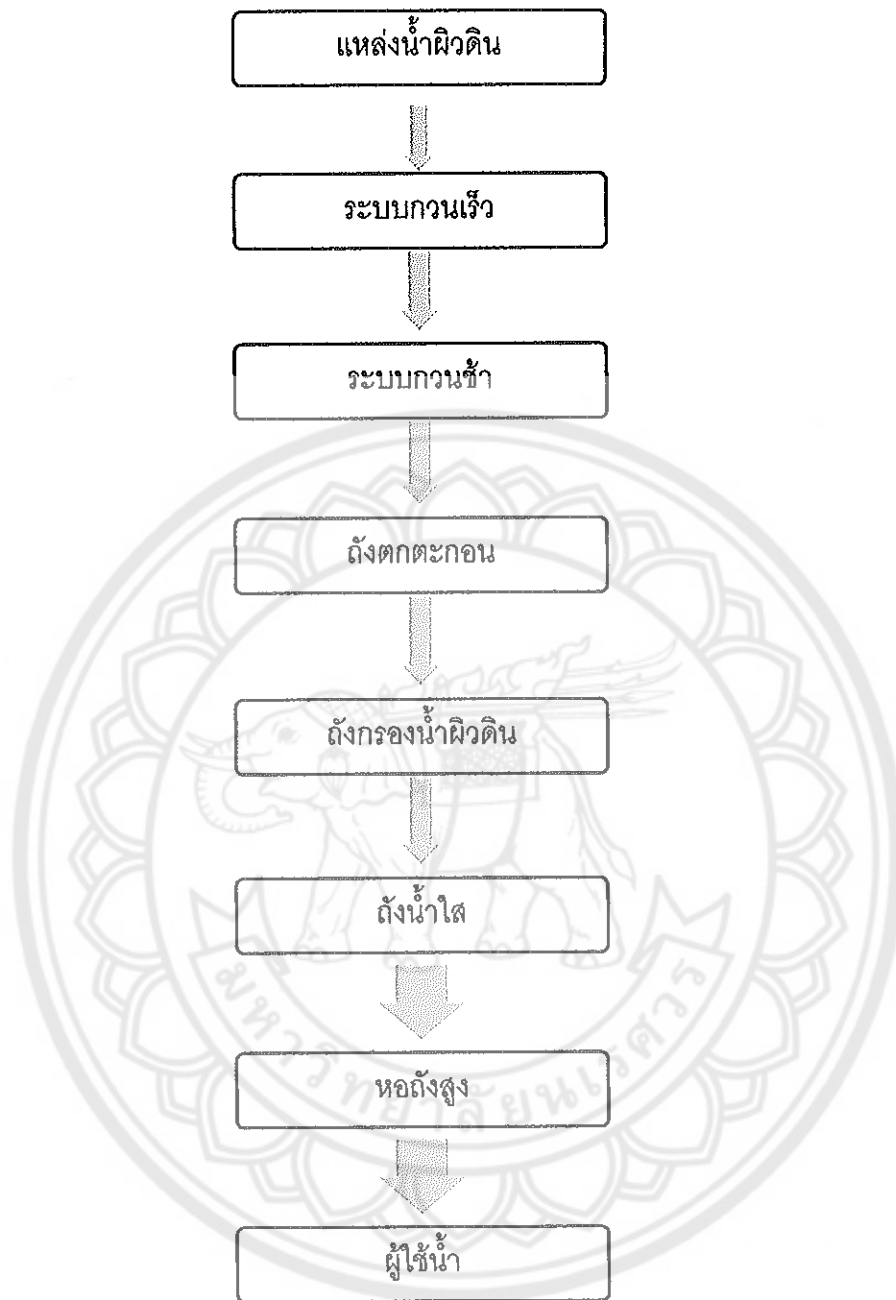
เครื่องสูบน้ำดีสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) โดยจะมีหน้าที่สูบน้ำจากถังน้ำใสขึ้นไปสู่อ่างสูงเพื่อรอจ่ายน้ำให้กับผู้ใช้น้ำ

2.3.2 หอดังสูง

หอดังสูงสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน จะทำหน้าที่รับน้ำที่ส่งมาจากถังน้ำใส ช่วยสร้างแรงดันน้ำ และรักษาแรงดันน้ำให้สม่ำเสมอในขณะที่จ่ายน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำ

2.3.3 ท่อเมนจ่ายน้ำ

ท่อเมนจ่ายน้ำสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน ส่วนใหญ่เป็นท่อพีวีซี และท่อเหล็กอาบสังกะสี ซึ่งมีหน้าที่จ่ายน้ำประปาจากหอดังสูงส่งไปยังผู้ใช้น้ำ โดยผ่านมาตรวัดน้ำ



ภาพ 2 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบผิวดิน

รูปแบบระบบผลิตน้ำประปาจังหวัดน่าน

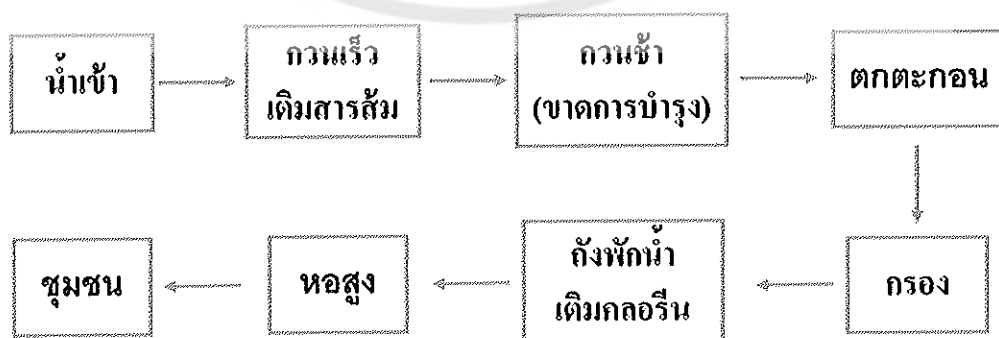
จากการสำรวจระบบผลิตประปาในจังหวัดน่านอันเนื่องมาจากทุนสนับสนุนของโครงการ “การวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างศักยภาพหน่วยงานท้องถิ่นในกาจัดการและการป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษพื้นดินน่านาน ระยะเวลาที่ 2 ” ซึ่งได้ทำการสำรวจจำนวนทั้งสิ้น 20 สถานที่ ซึ่งมีรายชื่อดังนี้ หมู่ 3 บ้านดอนอภัย, หมู่ 3 ตำบลพงษ์, หมู่ 4 ตำบลคู่พงษ์, หมู่ 4 ตำบลป่าแลวหลวง, หมู่ 5 ตำบลบ้านสบยาง, หมู่ 5 เมืองจั้ง, หมู่ 6 บ้านดอนชัย, หมู่ 7 ตำบลป่าแลวหลวง, หมู่ 3 บ้านน้ำแก่น, หมู่ 6 บ้านใหม่ร่มเย็น, หมู่ 6 น้ำตี่มคาบาว, หมู่ 7 บ้านนาล้อม 2, หมู่ 7 บ้านนาล้อม 1, บ้านแก่นนคร, ไร่สามัคคี, บ้านท่าน้ำว, บ้านน้ำแก่นกลาง, บ้านโป่งดำ วัดโป่งดำ ตำบลคู่พงษ์, หมู่ 9 บ้านหลวงเจริญราษฎร์ และหมู่ 1 ตำบลป่าแลวหลวง ซึ่งสามารถแบ่งระบบประปาที่สำรวจได้ 3 ระบบ คือ ระบบประปาน้ำผิวดิน, ระบบประปาน้ำบาดาล และระบบประปา น้ำบาดาลโดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบประปาน้ำผิวดิน

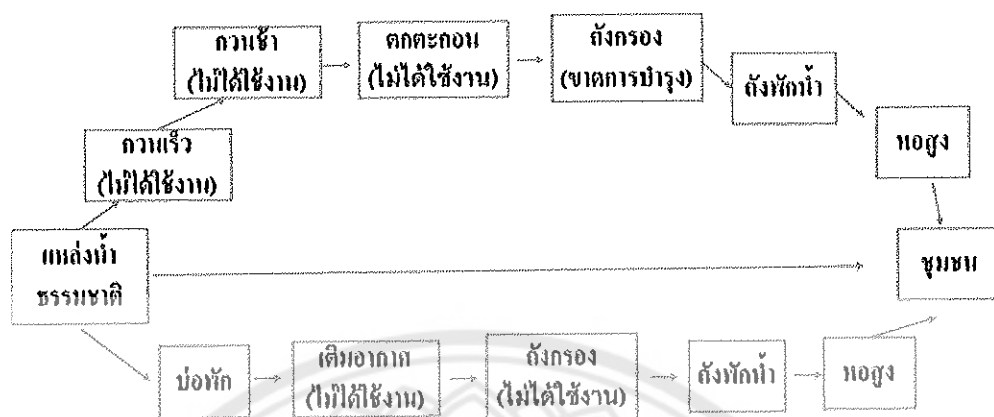
จากการสำรวจระบบประปาทั้ง 20 แห่ง พบว่า มีการใช้น้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ซึ่งรูปแบบที่สำรวจพบ มี 3 รูปแบบ ดังนี้



ภาพ 3 ระบบประปาน้ำผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1



ภาพ 4 ระบบประปาน้ำผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2



ภาพ 5 ระบบประปาน้ำผิวดินในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 3

จากภาพ 3, 4 และ 5 ซึ่งเป็นภาพระบบประปาพื้นผิวดินในจังหวัดน่านทั้ง 3 รูปแบบ จะสามารถอธิบายการใช้งานระบบประปาพื้นผิวดินในจังหวัดน่านได้ดังนี้

1. แหล่งน้ำดิบ มีที่มาจากบ่อน้ำที่ชาวบ้านขุดขึ้นมาเอง โดยบางหมู่บ้านมีลักษณะของบ่อเป็นสีเหลี่ยมจัตุรัส และบางหมู่บ้านมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งจะใช้เครื่องสูบน้ำที่มีกำลัง 5 แรงม้า จำนวน 4 หมู่บ้าน และใช้เครื่องสูบน้ำที่มีกำลัง 3 แรงม้า จำนวน 1 หมู่บ้าน ซึ่งเครื่องสูบน้ำโดยส่วนมากมีการใช้งานอยู่ แต่บางตัวยังขาดการบำรุงรักษา

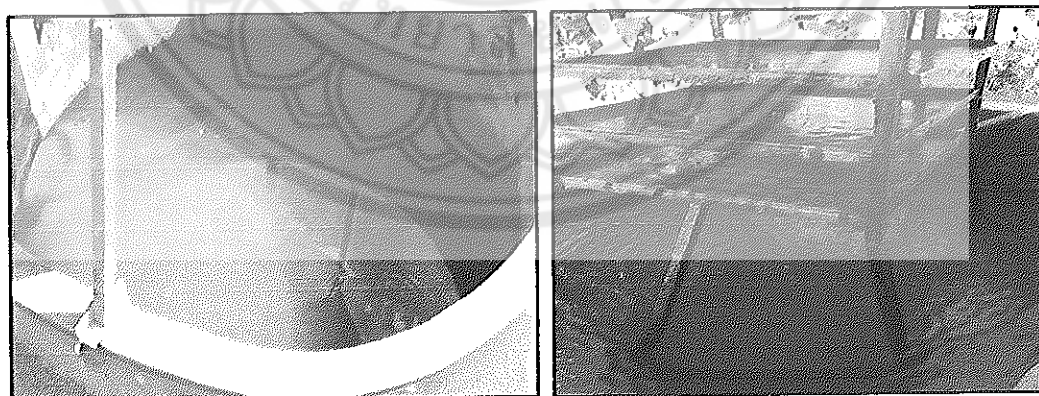
2. ถังกวนเร็ว ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 3 หมู่บ้าน ส่วนอีกหนึ่งหมู่บ้านมีถังกวนเร็วในระบบผลิตน้ำประปาแต่ไม่ได้เปิดใช้งาน ทั้งนี้มีการเติมสารเคมีในขั้นตอนถังกวนเร็ว โดยสารที่ใช้คือ ปูนขาว สารส้ม และคลอรีน ซึ่งมีการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวมีจำนวน 1 หมู่บ้าน , ใช้สารส้มร่วมกับคลอรีน มีจำนวน 3 หมู่บ้าน และใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิดร่วมกันจำนวน 1 หมู่บ้าน

3. ถังกวนช้า ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 4 หมู่บ้าน แต่แม้ว่าจะใช้ดีก็ยังคงขาดการบำรุงรักษา 2 หมู่บ้าน และใช้งานผิดปกติอยู่จำนวน 1 หมู่บ้าน เพราะนำไปใช้ในการรับน้ำเข้าจากท่อเหล็กที่ต่อมาจากเครื่องสูบน้ำเท่านั้น



ภาพ 6 ถังกวนช้าในระบบประปาหน้าผิวดินในจังหวัดน่าน

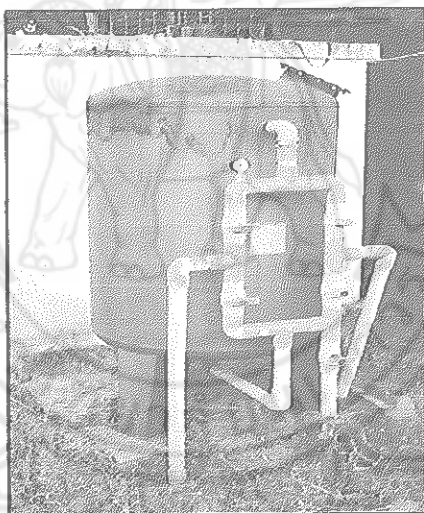
4. ถังตกตะกอน ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 3 หมู่บ้าน แต่แม้ว่าจะใช้ดีก็ยังคงขาดการบำรุงรักษา 2 หมู่บ้าน ซึ่งสาเหตุมาจากคั้นน้ำชำระ และมีหนึ่งหมู่บ้านที่มีถังตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปาแต่ไม่ได้ใช้งาน นอกจากนี้บางหมู่บ้านไม่มีถังกวนเร็วและกวนช้าในระบบผลิตน้ำประปา จึงมีการเติมสารส้มในขั้นตอนนี้เพื่อให้คอลลอยด์ในน้ำดิบตกตะกอน



ภาพ 7 ถังตกตะกอนในระบบประปาหน้าผิวดินในจังหวัดน่าน

5. ถังกรอง ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 5 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 4 หมู่บ้าน แต่แม้ว่าจะใช้ดีก็ยังคงขาดการบำรุงรักษา 1 หมู่บ้าน และมีหนึ่งหมู่บ้านที่มีถังกรองในระบบผลิตน้ำประปาแต่ไม่ได้ใช้งาน และมี 1 หมู่บ้านที่ใช้งานผิดปกติโดยใช้สำหรับเลี้ยงปลา ไม่ได้ใช้ถังกรองสำหรับกรองน้ำในระบบ

นอกจากนี้ วัสดุที่หมู่บ้านนำมาใช้ในการกรองน้ำ ได้แก่ ทราย กรวด และหิน ซึ่งมี 3 หมู่บ้าน ใช้ทรายเป็นวัสดุในการกรองเพียงอย่างเดียว และมี 3 หมู่บ้านที่ใช้วัสดุทั้ง 3 ร่วมกันในขั้นตอนการกรอง และมี 1 หมู่บ้านที่ใช้งานถังกรองผิดปกติซึ่งกระทำโดยให้น้ำผ่านตาข่ายกรองแล้วส่งน้ำเข้าชุมชนทันที ทั้งนี้จากการสอบถาม ทั้ง 5 หมู่บ้านมีการบำรุงรักษาถังกรองโดยการล้างย้อน (Back Wash) ทุกหมู่บ้าน แต่ระยะเวลาในการบำรุงรักษาจะแตกต่างกันไปตามความสะดวกของผู้ดูแลระบบผลิตน้ำประปา



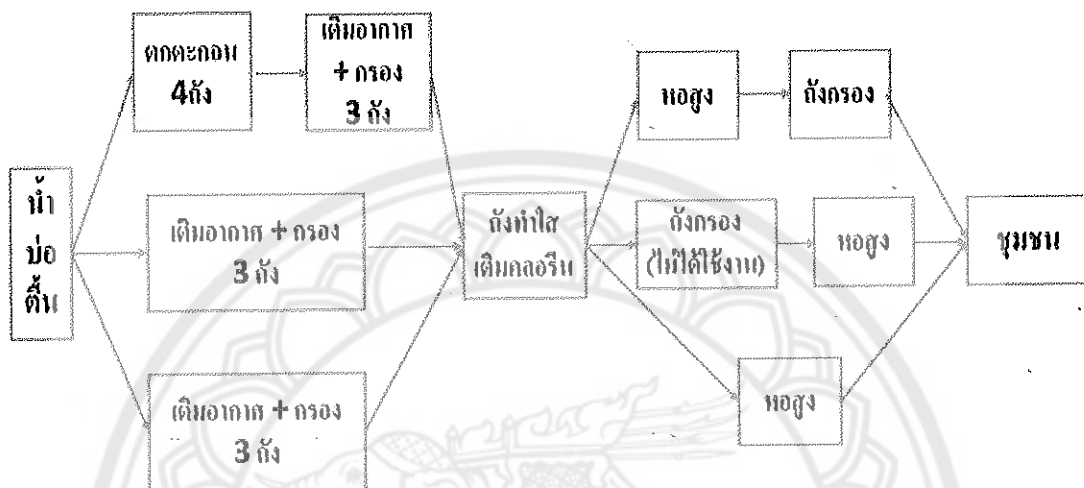
ภาพ 8 ถังกรองในระบบประปาน้ำผิวดินในจังหวัดน่าน

6. ถังเก็บน้ำ ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 6 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีทั้ง 6 หมู่บ้าน มี 3 หมู่บ้านที่ใช้สำหรับพักน้ำเท่านั้น ส่วนอีก 3 หมู่บ้าน นอกจากใช้สำหรับพักน้ำยังมีการเติมคลอรีนในขั้นตอนอีกด้วย

7. หอสูง ในระบบประปาแบบผิวดินมีจำนวนทั้งสิ้น 6 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 5 หมู่บ้าน และ อีก 1 หมู่บ้านมีหอสูง แต่ใช้งานไม่ได้

ระบบประปาน้ำป้อน

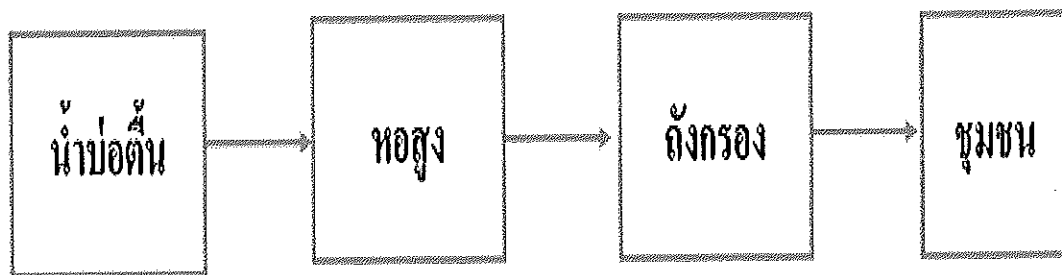
จากการสำรวจระบบประปาทั้ง 20 แห่ง พบว่า มีการใช้น้ำป้อนเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ซึ่งรูปแบบที่สำรวจพบ มี 7 รูปแบบ ดังนี้



ภาพ 9 ระบบประปา น้ำป้อนในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1



ภาพ 10 ระบบประปา น้ำป้อนในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2



ภาพ 11 ระบบประปา น้ำป้อนในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 3

จากภาพ 9, 10 และ 11 ซึ่งเป็นภาพระบบประปา น้ำป้อนจังหวัดน่านทั้ง 3 รูปแบบ จะสามารถอธิบายการใช้งานระบบประปา น้ำป้อนในจังหวัดน่านได้ดังนี้

1. แหล่งน้ำดิบ มีที่มาจากปอน้ำที่ชาวบ้านขุดขึ้นมาเอง โดยบางหมู่บ้านมีลักษณะของ ปอน้ำเป็นสีเหลืองมจตุรัส และบางหมู่บ้านมีลักษณะเป็นสีเหลืองผืนผ้า ซึ่งจะใช้เครื่องสูบน้ำที่มีกำลัง 3 แรงม้า ซึ่งสามารถใช้งานได้ดี แต่ปริมาณน้ำที่ได้ ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของประชาชน

2. ถังเติมอากาศ ในระบบประปาแบบป้อนมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดี จำนวน 3 หมู่บ้าน ทั้งนี้ได้มีการใช้ถังเติมอากาศให้ทำงานร่วมกันกับถังกรอง บางหมู่บ้านอาจมีการ นำถ่านไม้ไฟไปวางบนชั้นกรองเพื่อช่วยในการกำจัดสีและกลิ่นที่ปนมากับน้ำดิบ ทั้งนี้ ยังมีอีก 1 หมู่บ้านที่มีถังเติมอากาศอยู่ในระบบผลิตน้ำประปาแต่ไม่ได้ใช้งาน

3. ถังกรอง ในระบบประปาแบบป้อนมีจำนวนทั้งสิ้น 5 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 4 หมู่บ้าน ทั้งนี้ได้มีการใช้ถังกรองให้ทำงานร่วมกันกับถังเติมอากาศ จำนวน 3 หมู่บ้าน และใช้ถังกรองเพียงอย่างเดียว จำนวน 1 หมู่บ้าน และบางหมู่บ้านมีการฝานน้ำเข้าถังกรองอีก 2 ครั้ง ก่อนที่จะจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชน และยังมีอีก 1 หมู่บ้านที่มีถังกรองอยู่ในระบบผลิตน้ำประปาแต่ไม่ได้ใช้งาน

นอกจากนี้ วัสดุที่หมู่บ้านนำมาใช้ในการกรองน้ำ ได้แก่ ทราย หิน และเรซิน ซึ่งมี 3 หมู่บ้าน ใช้ทรายและหินเป็นวัสดุในการกรอง และมี 1 หมู่บ้านที่ใช้วัสดุทั้ง 3 ร่วมกันในขั้นตอน การกรอง ทั้งนี้มีบางหมู่บ้านที่มีการกรองน้ำ 2 รอบ โดยจะใช้ถ่านคาร์บอนและแมงกานีสเป็นวัสดุ ร่วมในการกรองด้วย ทั้งนี้จากการสอบถาม ทั้ง 5 หมู่บ้านมีการบำรุงรักษาถังกรองโดยการล้างย้อน (Back Wash) ทุกหมู่บ้าน แต่ระยะเวลาในการบำรุงรักษาจะแตกต่างกันไปตามความสะดวกของ ผู้ดูแลระบบผลิตน้ำประปา



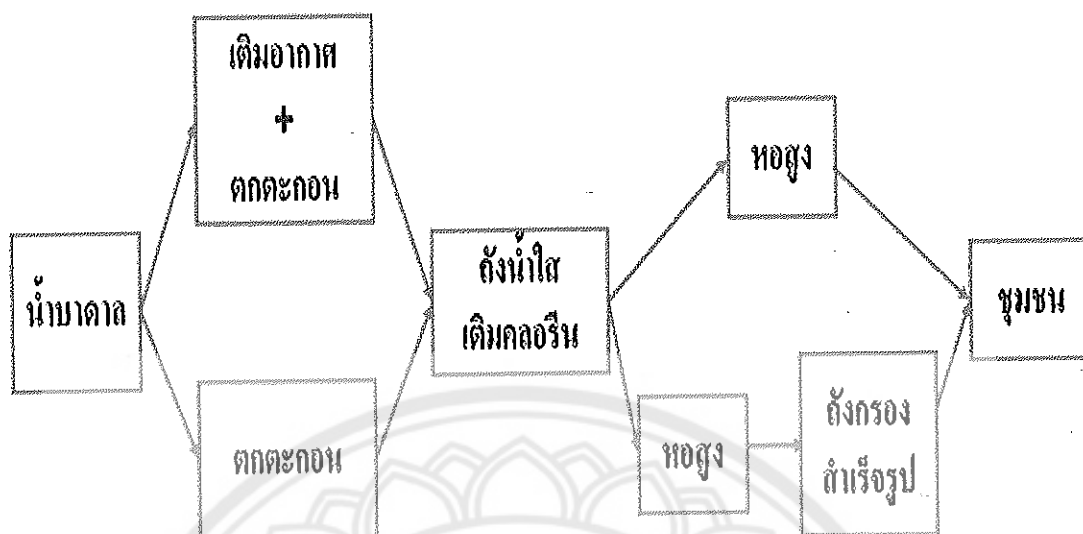
ภาพ 12 ถังกรองในระบบประปาน้ำป๋อตันในจังหวัดน่าน

4. ถังเก็บน้ำ ในระบบประปาแบบบ่อดินมีจำนวนทั้งสิ้น 5 หมู่บ้าน ใช้งานได้ดีทั้ง 5 หมู่บ้าน โดยมีการเติมคลอรีนในขั้นตอนนี้จำนวน 3 หมู่บ้าน

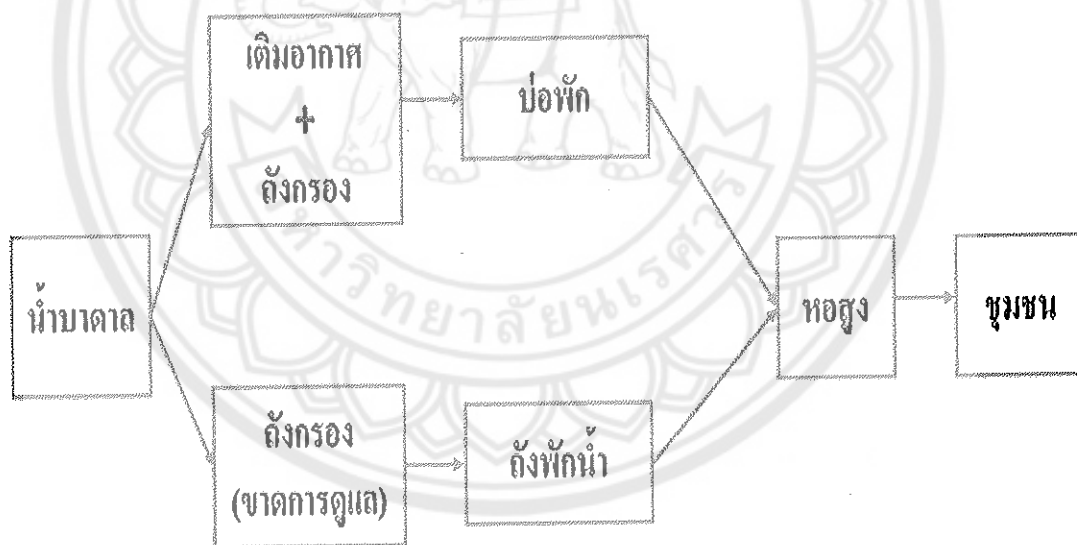
5. หอสูง ในระบบประปาแบบบ่อดินมีจำนวนทั้งสิ้น 5 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีทั้ง 5 หมู่บ้าน โดยในบางหมู่บ้านก่อนที่จะจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชนจะใช้ถังกรองสำเร็จรูปอีก 2 ครั้ง และมีบางหมู่บ้านที่ใช้หอสูงเก็บน้ำดิบที่สูบจากบ่อดินทันที โดยไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ ไปผ่านถังกรองเพียงครั้งเดียวแล้วจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชนทันที

ระบบประปาน้ำบาดาล

จากการสำรวจระบบประปาทั้ง 20 แห่ง พบว่า มีการใช้น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ซึ่งรูปแบบที่สำรวจพบ มี 2 รูปแบบ ดังนี้



ภาพ 13 ระบบประปน้ำบาดาลในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 1



ภาพ 14 ระบบประปน้ำบาดาลในจังหวัดน่านรูปแบบที่ 2

จากภาพ 13 และ 14 ซึ่งเป็นภาพระบบประปน้ำบาดาลจังหวัดน่านทั้ง 2 รูปแบบ จะสามารถอธิบายการใช้งานระบบประปน้ำบาดาลในจังหวัดน่านได้ดังนี้

1. แหล่งน้ำดิบ มีที่มาจากกรสูบน้ำจากบ่อบาดาลซึ่งเป็นบ่อที่มีความลึกประมาณ 20 – 50 เมตร ซึ่งจะใช้เครื่องสูบน้ำที่มีกำลัง 3 แรงม้าในการสูบน้ำ

2. ถังเติมอากาศ ในระบบประปาแบบบาดาลมีจำนวนทั้งสิ้น 2 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีทั้ง 2 หมู่บ้าน ทั้งนี้ได้มีการใช้ถังเติมอากาศทำงานร่วมกับถังตกตะกอนจำนวน 1 หมู่บ้าน และอีก 1 หมู่บ้าน มีการใช้ถังเติมอากาศทำงานร่วมกับถังกรอง

3. ถังตกตะกอน ในระบบประปาแบบบาดาลมีจำนวนทั้งสิ้น 2 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีทั้ง 2 หมู่บ้าน ทั้งนี้ได้มีการใช้ถังตกตะกอนทำงานร่วมกับถังเติมอากาศ จำนวน 1 หมู่บ้าน และอีก 1 หมู่บ้าน ใช้เป็นถังตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

4. ถังกรอง ในระบบประปาแบบบาดาลมีจำนวนทั้งสิ้น 3 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีจำนวน 3 หมู่บ้าน ทั้งนี้ได้ใช้เป็นถังกรองสำเร็จรูปก่อนที่จะจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชน จำนวน 1 หมู่บ้าน และได้มีการใช้ถังกรองให้ทำงานร่วมกันกับถังเติมอากาศ จำนวน 1 หมู่บ้าน

นอกจากนี้ วัสดุที่หมู่บ้านนำมาใช้ในการกรองน้ำ ได้แก่ ทอวย ซึ่งใช้ทอวยเป็นวัสดุในการกรองทั้ง 3 หมู่บ้าน ส่วนหมู่บ้านที่ใช้เป็นถังกรองสำเร็จรูปจะใช้ถ่านคาร์บอนและแมงกานีสเป็นวัสดุร่วมในการช่วยกรองด้วย ทั้งนี้จากการสอบถาม ทั้ง 3 หมู่บ้านมีการบำรุงรักษาถังกรองโดยการล้างย้อน (Back Wash) เป็นประจำ จำนวน 2 หมู่บ้าน ส่วนอีก 1 หมู่บ้านไม่ได้ทำการล้างย้อนถังกรองมาประมาณ 4-5 ปีแล้ว

5. ถังเก็บน้ำ ในระบบประปาแบบบาดาลมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ใช้งานได้ดีทั้ง 4 หมู่บ้าน โดยมีการเติมคลอรีนในชั้นตอนนี้จำนวน 2 หมู่บ้าน ส่วนอีก 2 หมู่บ้านใช้เป็นถังเก็บน้ำตามปกติ

6. หอสูง ในระบบประปาแบบบาดาลมีจำนวนทั้งสิ้น 4 หมู่บ้าน ซึ่งใช้งานได้ดีทั้ง 4 หมู่บ้าน โดยใช้ในการเก็บน้ำแล้วจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชนทันทีจำนวน 3 หมู่บ้าน และอีก 1 หมู่บ้าน มีการกรองด้วยถังกรองสำเร็จรูปก่อนจ่ายน้ำเข้าสู่ชุมชน

กระบวนการรวมตะกอน (Coagulation)

กระบวนการรวมตะกอน หรือ โคแอกกูเลชัน เป็นการเติมสารเคมีสร้างตะกอน (Coagulants) ซึ่งจะให้ไอออนประจุบวก เพื่อไปลดศักย์ซีต้าที่เป็นลบ การจับตัวระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อศักย์ซีต้ามีค่าเป็นลบเล็กน้อย ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการสะเทินประจุให้เป็นกลางจนหมดสิ้น ถ้าใส่สารเคมีมากเกินไป ไอออนประจุบวกของสารเคมีที่แตกตัวจะไปเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค จนทำให้อนุภาคศักย์ซีต้าเป็นบวก อนุภาคเกิดแรงผลักรวมออกจากกัน แทนที่จะจับตัวกันตกตะกอน ฉะนั้นในการใช้สารเคมี เช่น สารส้ม ถ้าใส่มากเกินไป แทนที่น้ำจะใสกลับขุ่นมากขึ้น

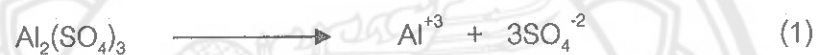
ในทางปฏิบัติ การกวนอย่างแรงและเร็ว (Rapid Mixing) จะช่วยให้สารเคมีกระจายอย่างทั่วถึงในน้ำ และอนุภาคมีโอกาสชนกันมากขึ้น น้ำที่มีความขุ่นต่ำจึงต้องมีการนำเอาตะกอนกลับเข้ามาใส่น้ำอีก หรือเติมสารสร้างตกตะกอนอื่น เพื่อเพิ่มโอกาสที่อนุภาคจะชนกันมากขึ้น

สารเคมีที่ใช้ในการรวมตะกอน มีหลายชนิด เช่น สารส้ม โซเดียมอะลูมิเนต เกลือของเหล็ก ซึ่งในการวิจัยจะใช้สารส้มในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สารส้ม (Aluminium Sulfate หรือ Alum)

สารส้มมีปริมาณ Al_2O_3 อย่างต่ำร้อยละ 17 การใช้สารส้มจะได้ผลดีเพียงใด ขึ้นอยู่กับ pH และความเป็นด่าง ยิ่งถ้าเติมสารส้มปริมาณน้อยสภาพการเกิดฟล็อกจะขึ้นอยู่กับการปรับค่า pH มากขึ้น

เมื่อสารส้มละลายในน้ำ ที่มีความเป็นด่าง จะแตกตัวดังสมการนี้



เมื่อเติมสารส้มในน้ำจะไปเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับน้ำ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิก และลดความเป็นด่างในน้ำจนไม่มี OH^- เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับสารส้มอีก จึงต้องปรับ pH ให้สูงขึ้นโดยการเติมปูนขาว โซดาแอช หรือโซดาไฟ ซึ่งช่วง pH 6.0 - 7.8 เป็นช่วงที่ดีที่สุดสำหรับการตกตะกอนด้วยสารส้ม

กระบวนการกำจัดความกระด้างในน้ำ (Water Softening)

ความกระด้างในน้ำเกิดจากการที่ในน้ำมีแร่ธาตุละลายอยู่ โดยทั่วไปมักจะหมายถึงปริมาณของแคลเซียมรวมกับแมกนีเซียม เนื่องจากมีปริมาณในน้ำมากกว่าแร่ธาตุอื่นๆ ความกระด้างทำให้เกิดปัญหาหลายอย่าง เช่น ทำให้สีนเป็ลืองสนุ เวลาใช้สนุจะไม่เกิดฟอง แต่เกิดเป็นคราบฝ้า ทำให้เกิดรสในน้ำ และการต้มน้ำที่มีความกระด้างสูงอาจทำให้เกิดโรคนิวได้ ทำให้เกิดตะกอนในหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรม ความกระด้างในน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ความกระด้างชั่วคราว และ ความกระด้างถาวร

การกำจัดความกระด้าง หมายถึง การกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียมออกจากน้ำ จนมีปริมาณความกระด้างอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หรือในบางกรณีอาจต้องกำจัดความกระด้างออกทั้งหมด อย่างไรก็ตาม โดยปกติจะกระทำเมื่อน้ำมีความกระด้างอยู่ในระดับที่กระทบกระเทือนต่อ

วัตถุประสงค์ในการใช้น้ำนั้นๆ วิธีการกำจัดความกระด้างมี 2 วิธี คือ การแลกเปลี่ยนไอออน และการทำให้ความกระด้างนั้นตกผลึก

วิธีการกำจัดความกระด้างที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาโดยการทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมตกผลึก ทำได้โดยใช้สารเคมี เช่น ปูนขาว (CaO) โซดาแอช (Na₂CO₃) ซึ่งในการวิจัยจะใช้ปูนขาวในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ปูนขาว

ปูนขาวทำปฏิกิริยากับความกระด้างคาร์บอเนต (Ca(HCO₃)₂) และ Mg(HCO₃)₂ ที่ละลายน้ำให้เปลี่ยนเป็นไม่ละลายน้ำ (รูปแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂)) และทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอเนตไอออนในน้ำด้วย ปริมาณปูนขาวที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเป็นต่างของน้ำดิบ ปฏิกิริยาลดความกระด้างคาร์บอเนต มีดังนี้



จากสมการ การกำจัดความกระด้างในรูปแมกนีเซียมไบคาร์บอเนตจะต้องใช้ปูนขาวมากเป็นสองเท่าของการกำจัดความกระด้างแคลเซียมไบคาร์บอเนต ปูนขาวที่เติมไปมากเกินไปจะมีผลไปเพิ่มความเป็นต่างไฮดรอกไซด์อิสระ (Free Causticity) ในรูปของ OH⁻ ในน้ำ นอกจากนี้ปฏิกิริยาดังกล่าวช่วยลดปริมาณของแข็ง (Solids) ที่มีอยู่ในน้ำได้ ปฏิกิริยากำจัดความกระด้างแมกนีเซียมด้วยปูนขาว ดังนี้



กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับ หรือ กระบวนการดูดติดผิว เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาเกาะจับ และติดบนผิวของตัวกลางซึ่งเป็นของแข็ง สารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการนี้ เรียกว่า แอ็บซอร์เบนท์ (Absorbent) ส่วนโมเลกุล

หรือคอลลอยด์ที่เกาะจับบนผิวของสารตัวกลาง เรียกว่า แอบซอบเบท (Absorbate) การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารอาจเกิดจากทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงเคมี หรือแรงทั้งสองรวมกัน โดยทั่วไปการเกาะติดผิวในระบบประปามีก็ถือเป็นกระบวนการทางกายภาพ เพราะโมเลกุลถูกดูดให้เกาะบนผิวของของแข็งด้วยแรงกายภาพและมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นน้อย

1. ขั้นตอนการดูดซับ

ขั้นตอนการดูดซับของโมเลกุลบนสารตัวกลาง จะเริ่มจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาสารตัวกลาง โมเลกุลแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำ (Film Diffusion) ที่ห่อหุ้มสารตัวกลางเข้าถึงผิวของสารตัวกลาง และโมเลกุลเข้าไปในช่องว่างภายในสารตัวกลาง (Pore Diffusion) และเกาะติดบนผิวสารตัวกลางโดยไม่หลุด

การดูดซับในระบบประปาสสามารถกำจัดสารมลทินที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุลที่ไม่อาจกำจัดได้ด้วยการตกตะกอน หรือการกรองแบบธรรมดา สารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการนี้มี 3 ประเภท ประเภทแรกเป็นสารอินทรีย์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ ประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม ประเภทที่สองเป็นเรซินชนิดพิเศษที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macroporous Resin) ได้ง่าย และประเภทสุดท้ายคือ แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน เป็นสารตัวกลางที่ดีที่สุด ซึ่งในการวิจัยจะใช้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon)

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน , Activated Carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์พิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมาก โดยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน 1 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1000 ตารางเมตร ซึ่งคาร์บอนยังมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม) สูง จะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) สูงตามไปด้วย การดูดซับเกิดขึ้นได้รวดเร็ว การวัดประสิทธิภาพของคาร์บอนอาจทำได้โดยการวัด Iodine Number ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวคาร์บอน หรือเป็นประสิทธิภาพของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เมื่อใช้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนไปซักกระยะหนึ่ง อำนาจในการดูดซับจะลดลงและหมดในที่สุดต้องทำการรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) โดยการเผาที่อุณหภูมิสูงมาก แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้งานในระบบประปามี 2 แบบ คือ แบบผง (Powder Activated Carbon) และแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon) โดยระบบประปาจะใช้แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนในการกำจัดสารต่าง ๆ ดังนี้

1. กำจัดสี กลิ่น รส ที่เกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟัลวิก (Fulvic Acid)

2. กำจัดคลอรีนในน้ำ กรณีที่เติมคลอรีนปริมาณมาก เพื่อให้เกิดฤทธิ์ยับยั้งในการฆ่าเชื้อโรค จึงเหลือคลอรีนตกค้างในน้ำมากเกินไป แก้ไขได้โดยให้น้ำไหลผ่านชั้นคาร์บอนแบบเกร็ด

3. กำจัดโลหะหนักต่างๆ เช่น ปรอท เงิน ตะกั่ว ทองแดง ฯลฯ ได้โดยให้น้ำไหลผ่านชั้นคาร์บอนแบบเกร็ด

4. กำจัดสารฆ่าแมลงได้ ซึ่งการกำจัดสารแขวนลอยโดยการทำโคแอกกูเลชัน การตกตะกอน และการกรอง มักไม่กำจัดสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ได้ ยกเว้น ดีดีที ซึ่งอาจกำจัดได้เพียงบางส่วน คาร์บอนทั้งสองแบบสามารถกำจัดสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ได้อย่างดี

5. การกำจัดผงซักฟอกได้ถึงร้อยละ 90 หรือมากกว่า ด้วยคาร์บอนแบบเกร็ด บรรจุเป็นถังและให้น้ำไหลผ่าน

6. กำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอลได้ดี แม้กระทั่งคาร์บอนที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์จวนเสื่อมแล้ว ก็ยังสามารถจับฟีนอลได้ ถ้าต้องการกำจัดฟีนอลให้หมดต้องใช้คาร์บอนแบบเกร็ด

7. กำจัดสารไฮโดรคาร์บอนแบบลูกโซ่อิ่มตัว (Saturated Chain Hydrocarbon) ได้นอกจากนี้ การดูดซับด้วยแอคติเวตเต็ดคาร์บอนก็ยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถดูดซับคอลลอยด์ หรือโมเลกุลบางชนิดให้มาติดที่ผิวได้ เช่น โมเลกุลขนาดเล็กที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม และโมเลกุลแบบโพลาร์ (Polar Molecule) ตัวอย่างของสารละลายที่คาร์บอนจับไม่ได้ เช่น แอลกอฮอล์ธรรมดา กรดอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก และน้ำตาล ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย แต่ในทางตรงกันข้ามโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากก็มักสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้

2. ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสารที่ต้องการกำจัดออกจากสารละลายสามารถทำได้โดยการพัฒนา Adsorption Isotherm ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) จะขึ้นอยู่กับสมบัติและความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับและอุณหภูมิของสารละลาย สมบัติที่สำคัญของสารที่ถูกดูดซับ ได้แก่ ความสามารถในการละลาย โครงสร้างโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ความมีขั้ว ความอิ่มตัวของไฮโดรคาร์บอน

โดยทั่วไป ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ จะถูกวิเคราะห์ในรูปของความเข้มข้นภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่คงที่ ซึ่งผลของฟังก์ชันที่ได้ เรียกว่า Adsorption Isotherm ซึ่งทำได้โดยการแปรผันปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับปล่อยให้เกิดการดูดซับในปริมาตรคงที่ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยอาศัยการทดสอบแบบทีละเท (Batch) ในห้องปฏิบัติการ

เมื่อใส่ถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายที่มีสารอินทรีย์เป็นตัวถูกละลาย แล้วทำการกวนผสม ให้เกิดการสัมผัสระหว่างถ่านกัมมันต์และตัวถูกละลายจะเกิดการดูดซับขึ้น ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะลดลงจากค่าเริ่มต้น (Initial Concentration) เข้าสู่ค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุล (Equilibrium Concentration) หากมีเวลาในการสัมผัสที่นานเพียงพอ ซึ่งอาจใช้เวลา 1-4 ชั่วโมง เมื่อทำการทดสอบหลายๆชุด จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่จุดสมดุลและปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์

2.1 ไอโซเทอมฟรอนด์ลิช (Freundlich Isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1912 ใช้กันมากที่สุดในการอธิบายลักษณะการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในงานด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการ

$$X/M = K_f C_e^{1/n} \quad (11)$$

เมื่อ	
X	= ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ (มก./ล.)
C_e	= ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล.)
M	= ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)
K_f	= ค่าคงที่ความจุของฟรอนด์ลิช
$1/n$	= พารามิเตอร์ความเข้มข้นของฟรอนด์ลิช

เมื่อจัดรูปสมการใหม่ ดังสมการด้านล่าง ค่าคงที่ในสมการของฟรอนด์ลิช สามารถหาได้โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (X/M) และ C_e ในกราฟล็อกสเกล จะได้กราฟเป็นเส้นตรง จุดตัดแกนมีค่าเท่ากับ K_f และความลาดชันมีค่าเท่ากับ $(1/n)$ จะได้สมการดังนี้

$$\text{Log}(X/M) = \text{Log}(K_f) + (1/n)\text{Log}(C_e) \quad (12)$$

ทั้งนี้ หาก K_f เป็นตัวชี้วัดขอบเขตในการดูดซับ และ $1/n$ เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์ของโมเลกุลสารอินทรีย์สำหรับพื้นผิวดูดซับ จะสามารถแปรผลได้ดังนี้

$1/n < 1$ แสดงว่า สารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

$1/n = 1$ แสดงว่า ตัวละลาย (Solute) สามารถแพร่เข้าไปในสารละลาย และ พื้นผิวของตัวดูดซับอย่างสมดุล

$1/n > 1$ แสดงว่า การดูดซับจะถูกเรียกว่า Cooperative เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับโมเลกุลใหม่ใกล้พื้นผิว ทำให้ส่งเสริมการดูดซับ

2.2 ไอโซเทอมแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่พัฒนาขึ้นโดยมีสมมติฐานที่สำคัญ 2 ประการ โดยประการแรกคือพื้นผิวของวัสดุดูดซับมีจำนวนจุด (Site) ที่จะเกิดการดูดซับที่แน่นอน และมีพลังงานเหมือนกัน และประการที่สองคือ การดูดซับเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ระบบเข้าสู่สมดุลเมื่ออัตราการดูดซับของโมเลกุลบนพื้นผิวมีค่าเท่ากับอัตราการปลดปล่อย (Desorption) ของโมเลกุลออกจากพื้นผิว อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ซึ่งก็คือความแตกต่างของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่ความเข้มข้นหนึ่งกับปริมาณที่จะสามารถดูดซับได้ที่ความเข้มข้นนั้น ซึ่งที่จุดสมดุล ความแตกต่างนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$X/M = (K_1 * b * C_0) / (1 + (K_1 * C_0)) \quad (13)$$

เมื่อ

X = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ (มก./ล.)

M = ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)

K_1 = ค่าคงที่ความจุของแลงเมียร์ (ล./มก.)

C_0 = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล.)

b = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มก./ก.)

ค่าคงที่ของแลงเมียร์ไอโซเทอม สามารถโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C_0/(X/M)$ และ C_0 ในกราฟธรรมดา จะได้กราฟเป็นเส้นตรง จุดตัดแกนมีค่าเท่ากับ $(1/(b * K_1))$ และค่าความลาดชันเท่ากับ $(1/b)$ ดังสมการ

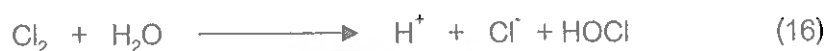
$$C_0 / (X/M) = \{ 1/(K_1 * b) \} + \{ (1/b) * C_0 \} \quad (14)$$

$$1 / (X/M) = \{ (1/(K_1 * b)) * (1/C_0) \} + (1/b) \quad (15)$$

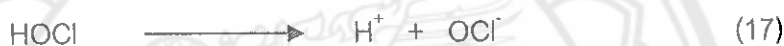
กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination)

การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ซึ่งเรียกว่า คลอรีเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน และยังเป็นที่ยอมรับถึงปัจจุบัน สารที่ใช้ได้แก่ ก๊าซคลอรีน (Cl_2) สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)

เมื่อเติมก๊าซคลอรีนในน้ำบริสุทธิ์จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนี้



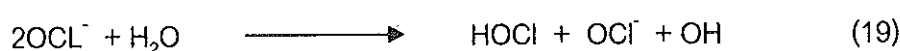
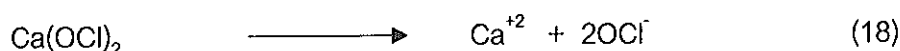
กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid, HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้เพียงบางส่วน

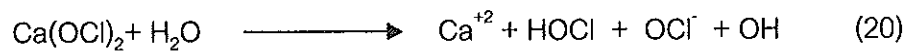


ด้วยเหตุนี้ ในน้ำจึงมีคลอรีนในรูปกรดเกลือ ซึ่งแตกตัวเป็นกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และไฮโปคลอไรต์ไอออน (Hypochlorite, OCl^-) และมีก๊าซคลอรีนอิสระเหลืออยู่บ้าง กรดที่เกิดขึ้นทำให้ pH ของน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง

HOCl และ OCl^- รวมเรียกว่า Free Available Chlorine หรือ คลอรีนอิสระ ซึ่งเป็นส่วนที่รับผิดชอบในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของกรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับ pH ถ้าน้ำมี pH ต่ำจะมี HOCl มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมี pH สูง จะมี OCl^- มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า (ประมาณ 80 เท่า) การทำคลอรีเนชันที่ pH ต่ำ จึงได้ผลมากกว่าที่ pH สูง เหตุผลที่ HOCl มีอำนาจมากกว่า OCl^- เพราะสารตัวออร์มีอานาจออกซิไดซิงสูงกว่า นอกจากนี้ OCl^- มีประจุทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของเซลล์ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน กรดไฮโปคลอรัสไม่มีประจุสามารถสัมผัสกับเซลล์ได้ง่ายกว่าและไม่ถูกผลัก

การเติมสารประกอบคลอรีนในรูปของไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite) เช่น ปูนคลอรีน แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ให้กับน้ำบริสุทธิ์ สารเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาคลายกัน ปฏิกิริยาแคลเซียมไฮโปคลอไรต์เมื่อละลายน้ำ จะเป็นดังสมการนี้





คลอรีนอิสระเกิดขึ้นทั้งสองตัว เช่นเดียวกับในกรณีของการเติมก๊าซคลอรีนให้กับน้ำ สิ่งที่แตกต่างกันคือ Ca(OCl)_2 ทำให้น้ำมี pH สูงขึ้น แต่คลอรีนทำให้ pH ของน้ำลดลง

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ในการวิจัยจะใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium Hypochlorite , NaOCl)

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ผลิตในรูปสารละลายเท่านั้น เป็นของเหลวใสสีเหลืองอมเขียว นิยมใช้กับระบบประปาขนาดเล็ก หรือสระวบน้ำ โซเดียมไฮโปคลอไรต์มีเสถียรภาพต่ำกว่า Ca(OCl)_2 ทำให้เสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ควรเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิไม่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เพื่อชะลออัตราเสื่อมคุณภาพ อายุในการเก็บไม่ควรเกิน 60-90 วัน

สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์มี 2 เกรด คือ ชั้นคุณภาพ ก และชั้นคุณภาพ ข ซึ่งมี % Available Cl_2 ประมาณร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ

สารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีทางการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลอง มี 3 ชนิด คือ สารพาราควอต (Paraquat) สารคลอร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos) และสารอะทราซีน (Atrazine)

1. สารพาราควอต (Paraquat)

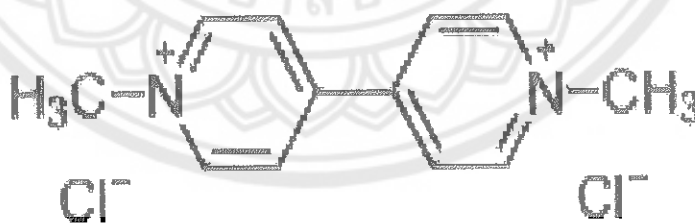


ภาพ 15 สารพาราควอต (Paraquat)

สารพาราควอตเป็นสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดวัชพืช (Herbicide) จัดเป็นสารกำจัดวัชพืชที่อยู่ในกลุ่มไบไพริดีเนียม Bipyridinium ถูกเริ่มนำมาใช้ครั้งแรกใน ค.ศ.1960 โดยบริษัทไอ.ซี.ไอ แห่งประเทศอังกฤษ โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า กรัมม็อกโซน (Grammoxone) ทั้งนี้ สารพาราควอตเป็นสารที่ใช้ฉีดหลังจากที่วัชพืชงอก (Post-Emergence) แล้ว โดยสารพาราควอตจะเข้าสู่พืชทางใบเท่านั้น จัดเป็นสารประเภททำลายพืชทุกชนิดสารที่นี้ สัมผัสและยังทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Contact-Membrane Disrupters) ดังนั้น สารพาราควอต จึงจัดเป็นสารไม่เลือกทำลาย (Non-Selective Herbicide) ซึ่งสามารถใช้กำจัดวัชพืชได้กว้างขวางเกือบทุกชนิด และสามารถทำให้วัชพืชตายในทันทีที่มีการสัมผัสกัน สามารถใช้ได้ในการควบคุมวัชพืชน้ำไม่ให้ระบาดได้อีกด้วย ทั้งนี้ ลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารพาราควอตจะแสดงในตาราง 1



ภาพ 16 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารพาราควอต
(1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dication)



ภาพ 17 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารพาราควอตไดคลอไรด์
(1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride)

ที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/พาราควอต>

ตาราง 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารพาราควอต

ชื่อสามัญ	พาราควอต(Paraquat)
ชื่อทางเคมี	Dication : 1,1'-dimethyl-4, 4'-bipyridinium dication Dichlororide salt : 1,1'-dimethyl-4, 4'-bipyridinium dichloride
เลขทะเบียนCAS	Dication 4685-14-7 Dichlororide salt 1910-42-5
สูตรโมเลกุล	Dication $C_{12}H_{14}N_2$ Dichlororide salt $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$
น้ำหนักโมเลกุล	Dication 186.26 กรัม/โมล Dichlororide salt 257.16 กรัม/โมล
ความถ่วงจำเพาะ	1.240-1.260 ที่ 20 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	175-180 องศาเซลเซียสและสลายตัวที่ 340 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	สลายตัวที่ 340 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.5 กรัม/มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส
ลักษณะทางกายภาพ	Chloride Salt บริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว แต่เมื่ออยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำจะมีสีแดงเข้มเกือบดำ (Dark-Red)
สภาพการละลาย	- สามารถละลายในน้ำ 700 กรัม/ลิตร ที่ 20°C - สามารถละลายในแอลกอฮอล์ได้น้อย - ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Solvent)
pHในรูปของสารละลาย	6.5 - 7.5

ตาราง 2 (ต่อ)

ชื่อสามัญ	พาราควอท(Paraquat)
ชื่อทางการค้า	Cyclonē , Cekuquāt , Dēxtrōnē , Stārfirē , Esgrām , Gramoxone , Gramixel , Gramonol , Gramoxone dichloride , Gramuron , Methyl Viologen , Paraquat , Para-Col , Paraquat Chloride , Pathclear , Pillaquat , Pillarxone , Setre , Starfire , Sweep , Terraklean , Totacol , Texar , Total , Viologen Methyl และ Weedol เป็นต้น

2. ข้อมูลความเป็นพิษของสารพาราควอท

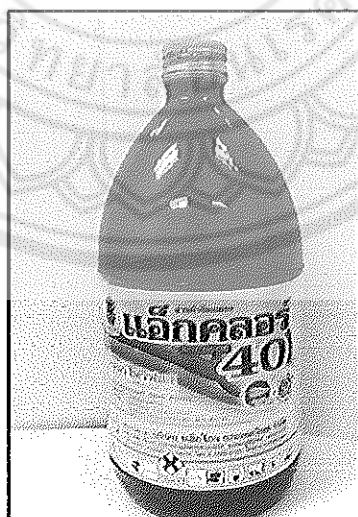
เนื่องจากสารพาราควอทเป็นสารเคมีทางที่มีความนิยมในการใช้งานเพื่อการกำจัดวัชพืชในพื้นที่ทางการเกษตร เมื่อมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก ทำให้สารพาราควอทเกิดปนเปื้อนทั้งในน้ำและในดิน โดยข้อมูลการตกค้างในดินของสารพาราควอท RaO and Davison ได้ทำการศึกษาไว้เมื่อปี 1980 ทำให้ทราบว่า ค่าครึ่งชีวิตของสารพาราควอทที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในช่วง 16 เดือน (ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสม) ถึง 13 ปี (ในธรรมชาติ) อีกทั้งยังมีผลทำให้เกิดการตกค้างในแหล่งน้ำธรรมชาติได้อีกด้วยซึ่งเกิดมาจากการชะล้างของน้ำฝนนั่นเอง

สารพาราควอทนอกจากจะสามารถตกค้างในดินและในน้ำได้แล้ว จากการศึกษานี้ของ Arnol และ Kevin ในปี 1990 สารพาราควอทยังเป็นสารที่มีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอีกด้วย และที่สำคัญ ยังไม่มีการค้นพบว่ามียารักษาโรคใดที่สามารถแก้พิษของสารพาราควอทได้โดยตรง ต้องอาศัยการรักษาไปตามอาการที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ ค่าความเป็นพิษของสารพาราควอทสามารถศึกษาได้จากค่า LD50 ในรูปของประจวบกันได้ดังตาราง 2

ตาราง 3 ค่า LD50 ของสารพาราควอทในรูปประจุบวก โดยมีเส้นทางการได้รับผ่านทางปาก

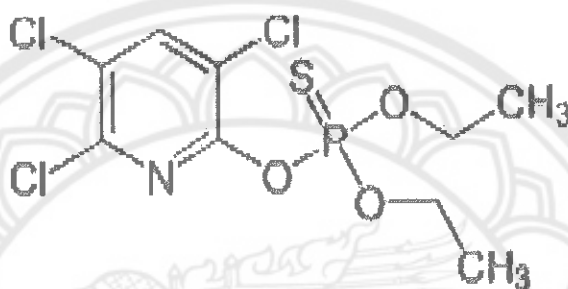
ประเภท	ค่า LD50 (มก./กก.) ในอัตราการใช้ที่ต่ำสุด
มนุษย์	214 มก./กก.
ผู้ชาย	111 มก./กก.
ผู้หญิง	43 มก./กก.
หนู	57 มก./กก.
แมว	35 มก./กก.
สุนัข	25 มก./กก.
ลิง	50 มก./กก.
หมู	30 มก./กก.
นกพิราบ	22 มก./กก.
ไก่	362 มก./กก.
เป็ด	199 มก./กก.

3. สารคลอโรไพริฟอส



ภาพ 18 สารคลอโรไพริฟอส

สารคลอริไพริฟอสเป็นสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช (Insecticide) จัดเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate Insecticide) ซึ่งสารกลุ่มนี้เป็นสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยสารคลอริไพริฟอสจะมีวิธีการทำงานโดยไปยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยโคลีนเอสเตอเรสในระบบประสาทของแมลงได้อย่างถาวร ทั้งนี้ ลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารคลอริไพริฟอสจะแสดงในตาราง 3



ภาพ 19 โครงสร้างโมเลกุลของสารคลอริไพริฟอส

ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Chlorpyrifos>

ตาราง 4 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารคลอริไพริฟอส

ชื่อสามัญ	คลอริไพริฟอส (Chlorpyrifos)
ชื่อทางเคมี	O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothiate
เลขทะเบียนCAS	2921-88-1
สูตรโมเลกุล	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS
น้ำหนักโมเลกุล	350.586 กรัม/โมล
จุดหลอมเหลว	41-42 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	สลายตัวที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.398 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 43 องศาเซลเซียส
ลักษณะทางกายภาพ	มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว

ตาราง 4 (ต่อ)

ชื่อสามัญ	คลออร์ไพริฟอส (Chlorpyrifos)
สภาพการละลาย	-สามารถละลายในน้ำ 1.4 มก./ล. ที่ 20 องศาเซลเซียส
ชื่อทางการค้า	คลอวิติน , ลอร์สแบน

ข้อมูลความเป็นพิษของสารคลออร์ไพริฟอส

เนื่องจากสารคลออร์ไพริฟอสเป็นสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้งานเพื่อการกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่ทางการเกษตร จึงมีผลโดยตรงต่อแมลงต่างๆ โดยสารคลออร์ไพริฟอสจะสามารถทำลายระบบประสาทของแมลงได้ ทำให้แมลงเป็นอัมพาต กินอาหารไม่ได้และเสียชีวิตในที่สุด ทั้งนี้เพราะสารอะซีทิลโคลีน (Acetylcholine) ที่เป็นสารสื่อประสาทของแมลงได้ถูกทำลายนั่นเอง ส่วนอันตรายจากสารคลออร์ไพริฟอสที่มีมนุษย์ คือ สารนี้จะเข้าไปยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยโคลีนเอสเตอเรสในระบบประสาทของมนุษย์ เมื่อน้ำย่อยนี้ถูกยับยั้งก็จะทำให้มนุษย์เป็นโรคอัมพาตกล้ามเนื้อเรียบเกิดการหดตัว ทั้งนี้ ค่าความเป็นพิษของสารคลออร์ไพริฟอสสามารถศึกษาได้จากค่า LD50 ได้ดังตาราง 4

ตาราง 5 ค่า LD50 ของสารคลออร์ไพริฟอส

สัตว์	เส้นทางการได้รับ	ค่า LD50 (มก./กก.)
หนูตัวใหญ่ (Rat)	ทางปาก	135 - 163 มก./กก.
หนูตัวใหญ่ (Rat)	ทางผิวหนัง	มากกว่า 2000 มก./กก.
หนูตะเภา	ทางปาก	504 มก./กก.
กระต่าย	ทางปาก	1000 - 2000 มก./กก.
กระต่าย	ทางผิวหนัง	2000 มก./กก.

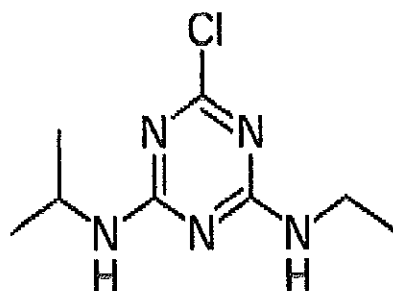
4. สารอาทราซีน



ภาพ 20 สารอาทราซีน

สารอาทราซีนเป็นสารเคมีทางการเกษตรที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดวัชพืช (Herbicide) จัดเป็นสารกำจัดวัชพืชที่อยู่ในกลุ่มไฮดรอกซีเบนโซไนโตรส ถูกเริ่มนำมาใช้ครั้งแรกใน ค.ศ.1960 สารอาทราซีนเป็นสารที่ใช้ฉีดก่อนที่วัชพืชงอก (Pre-Emergence) และใช้หลังจากวัชพืชงอกแล้วในระยะเริ่มต้น (Early Post-Emergency) โดยสารอาทราซีนจะเข้าสู่พืชทางราก แต่สามารถผ่านเข้าทางใบได้เล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทที่ใช้ทำลายและยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis Inhibitors) ดังนั้น สารอาทราซีนจึงจัดเป็นสารเลือกทำลาย (Selective Herbicide) ซึ่งสามารถใช้กำจัดวัชพืชได้บางชนิด จำพวก วัชพืชใบแคบและใบกว้าง ต่างๆ วงศ์หญ้า แต่ในบางครั้งสารอาทราซีนยังถูกใช้เป็นสารไม่เลือกทำลาย (Non-Selective Herbicide) ในพื้นที่ที่ไม่ได้ทำการเกษตร เป็นพากับพืชปลูกบางชนิด เช่น ผัก มันฝรั่ง ถั่วลิสง

ดังนั้นจึงไม่ควรใช้สารอาทราซีนในขณะที่ลมกำลัง หึ้นนี้ ลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารอาทราซีนจะแสดงในตาราง 5



ภาพ 21 โครงสร้างโมเลกุลของสารอะทราซีน

ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/Atrazine>

ตาราง 6 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารอะทราซีน

ชื่อสามัญ	อะทราซีน (Atrazine)
ชื่อทางเคมี	6-chloro-N-ethyl-N-(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine
เลขทะเบียนCAS	1912-24-9
สูตรโมเลกุล	$C_8H_{14}ClN_5$
น้ำหนักโมเลกุล	215.69 กรัม/โมล
ความต้งจำเพาะ	ความหนาแน่นรวม 0.90
จุดหลอมเหลว	175-177 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	สลายตัวที่ 340 องศาเซลเซียส
ลักษณะทางกายภาพ	Chloride salt บิริสุทธิ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว แต่เมื่ออยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำจะมีสีแดงเข้มเกือบดำ (Dark-Red)
สภาพการละลาย	สามารถละลายในน้ำ 700 กรัม/ลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส สามารถละลายในแอลกอฮอล์ได้น้อย ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Solvent)
pH ในรูปของสารละลาย	6.5 - 7.5

ตาราง 6 (ต่อ)

ชื่อสามัญ	อะทราซีน (Atrazine)
ชื่อทางการค้า	Cyclone , Cekuquat , Dextrone , Starfire , Esgram , Gramoxone , Gramixel , Gramonol , Gramoxone Dichloride , Gramuron , Methyl Viologen , Paraquat , Para-Col , Paraquat Chloride , Pathclear , Pillaquat , Pillarxone , Setre , Starfire , Sweep , Terraklean , Totacol , Texar , Total , Viologen Methyl และ Weedol เป็นต้น

ข้อมูลความเป็นพิษของสารอะทราซีน

เนื่องจากสารอะทราซีนเป็นสารที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดวัชพืช โดยสารจะเข้าสู่พืช โดยผ่านทางรากทำให้สารสัมผัสกับดินโดยตรง ดังนั้น จึงเป็นสารที่มีความคงทนในดินสูง เมื่อมีการชะล้างจากฝน ทำให้จะมีผลทำให้สารอะทราซีนปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้สูงเช่นกัน ซึ่งสามารถดูได้จากค่าครึ่งชีวิตของสารอะทราซีนเฉลี่ยประมาณ 60 วัน แต่หากอยู่ในสภาพที่แห้งและเย็นสารอะทราซีนจะสามารถคงอยู่ในดินได้นานถึง 1 ปี

สารอะทราซีน เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษปานกลาง จึงถูกจัดอันดับความเป็นพิษให้อยู่ในลำดับที่ 3 แต่สามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนได้สูง ดังนั้น ทาง EPA (Environmental Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงมีคำสั่งให้ระงับการใช้สารอะทราซีน ตั้งแต่เดือนธันวาคม ในปี ค.ศ. 1994 ทั้งนี้ ค่าความเป็นพิษของสารอะทราซีนสามารถศึกษาได้จากค่า LD50 ได้ดังตาราง 6

ตาราง 7 ค่า LD50 ของสารอะทราซีน

สัตว์	เส้นทางการได้รับ	ค่า LD50 (มก./กก.)
หนูตัวใหญ่ (Rat)	ทางปาก	3,090 มก./กก.
หนู (Mice)	ทางปาก	1,750 มก./กก.
หนูแฮมสเตอร์	ทางปาก	1,000 มก./กก.
กระต่าย	ทางผิวหนัง	7,500 มก./กก.

ตาราง 7 (ต่อ)

สัตว์	เส้นทางการได้รับ	ค่า LD50 (มก./กก.)
หนู (Mice)	ทางผิวหนัง	3,000 มก./กก.

จากการทดลองหนูที่ได้รับสารอาหารซีน 20 มก./กก./วัน จะตายในเวลา 6 เดือน โดยจะมีอาการเป็นอัมพาต ระบบหายใจถูกรบกวน ลักษณะภายนอกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคาดว่าเป็นโรคมะเร็ง หากหนูได้รับสารอาหารซีนในปริมาณที่มากจะทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ชักกระตุก และตายในที่สุด ส่วนผลกระทบจากสารอาหารซีนในคน หากได้รับในปริมาณมาก จะมีอาการปวดท้องน้อย คลื่นไส้ อาเจียน จากนั้นร่างกายจะขับถ่ายออกมาภายใน 72 ชั่วโมง โดยถูกขับออกมาเพียงแค่ 20% ส่วนอีก 80% จะถูกดูดซึมไว้ในระบบอาหารและซึมเข้าสู่เส้นเลือด หลังจากนั้นจะถูกขับออกมาในรูปของปัสสาวะอีกครั้งปริมาณ 65-70% ที่มีอยู่ในร่างกาย อีก 15% ที่เหลือจะยังถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อของตับ ไต และปอด ต่อไป หากถูกสะสมไปเรื่อยๆ จะมีผลทำให้ถึงแก่ชีวิตได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย จะประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำประปาในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีทางการเกษตรในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาเคมีในแต่ละหน่วยการผลิตน้ำประปา โดยงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและจำลองหน่วยการผลิตน้ำประปาในแต่ละหน่วย โดยศึกษาในหน่วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยสารส้ม หน่วยกระบวนการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาว หน่วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์หรือทรายเขียว และกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ทั้งนี้จะอาศัยเครื่อง Jar Test เข้ามาช่วยในการกวนผสม และหาคำนวนหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรในของระบบผลิตน้ำประปาแต่ละหน่วย

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบผลิตประปาในแต่ละหน่วย กระบวนการว่ากระบวนการใดมีประสิทธิภาพสูงสุด และทำการศึกษาในกระบวนการนั้นๆ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีทางการเกษตรด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon: TOC)

สารเคมี

1. สารเคมีทางการเกษตร
 - 1.1 สารพาราควอต (Paraquat)
 - 1.2 สารคลอโรไพริฟอส (Chlorpyrifos)
 - 1.3 สารอะทราซีน (Atrazine)
2. สารเคมีที่ใช้ระบบประปา
 - 2.1 สารส้ม (Aluminium Sulfate, $Al_2(SO_4)_3$)
 - 2.2 ปูนขาว (Hydrated Lime, $Ca(OH)_2$)
 - 2.3 ทรายเขียว (Manganese Dioxide, MnO_2)
 - 2.4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbo , PAC)
 - 2.5 ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbo , GAC)
 - 2.6 คลอรีน (Sodium Hypochlorite, NaOCl)

3. สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช

3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide , NaOH)

3.2 กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid , H₂SO₄)



(ก) สารพาราควอต

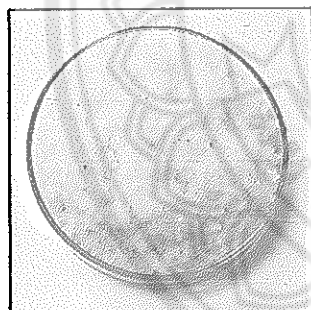


(ข) สารคลอโรไฟริฟอส



(ค) สารอาหารพืช

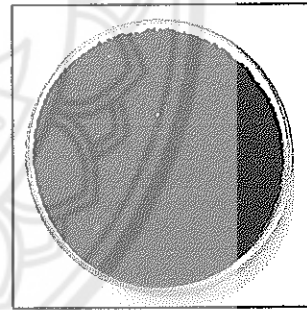
ภาพ 22 สารเคมีทางการเกษตรสำหรับงานวิจัย



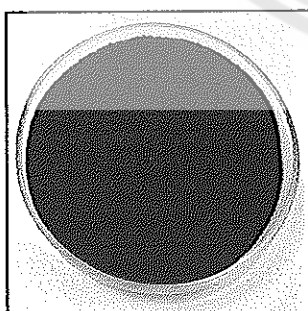
(ก) สารส้ม



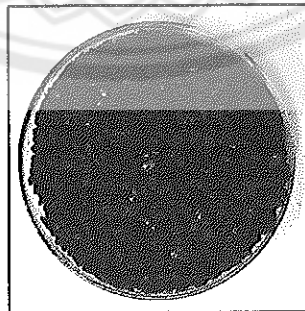
(ข) ปูนขาว



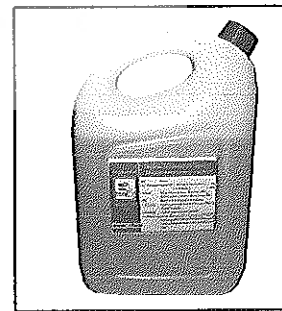
(ค) ทราบายเขียว



(ง) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง



(จ) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด



(ฉ) คลอรีน

ภาพ 23 สารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตประปา

อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร
4. ปีเปตปริมาตร
5. แ่งแก้วคนสาร
6. ข้อนटकสาร
7. ขวดสีชา
8. ไสลิงค์แก้ว

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยการเก็บรวบรวมข้อมูล

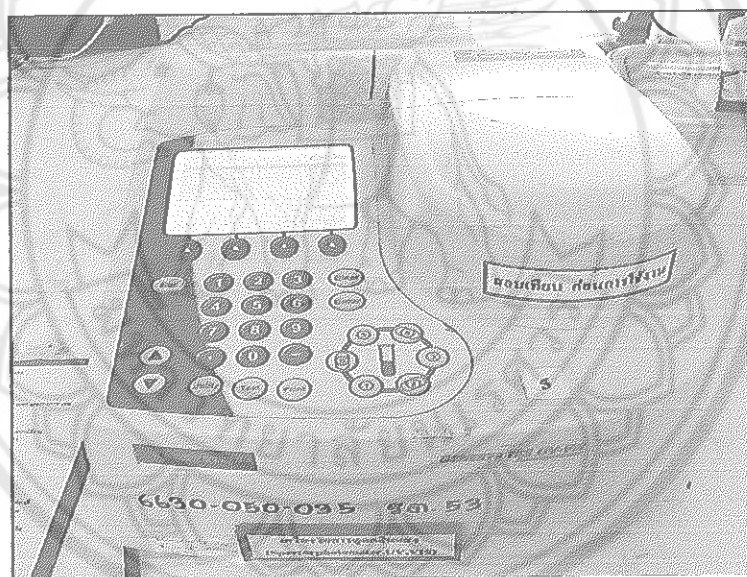
1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องทดสอบการตกตะกอนหรือเครื่องแกว่งสารให้ตกตะกอน (Jar Test)
3. เครื่องวัดการดูดกลืนของแสง (UV-VIS Spectrophotometer)
4. เครื่องวิเคราะห์ TOC (Total Organic Carbon)



ภาพ 24 เครื่องวัดพีเอช



ภาพ 25 เครื่องทดสอบการตกตะกอนหรือเครื่องแกว่งสารให้ตกตะกอน (Jar Test)



ภาพ 26 เครื่องวัดการดูดกลืนของแสง (UV-VIS Spectrophotometer)



ภาพ 27 เครื่องวิเคราะห์ TOC (Total Organic Carbon)

ขั้นตอนการศึกษาการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรในหน่วยกระบวนการต่างๆ

1. เตรียมน้ำตัวอย่างในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร โดยผสมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร กับสารเคมีทางการเกษตร ให้มีความเข้มข้นดังนี้ จำนวน 5 ปีกเกอร์
 - 1.1 สารพาราควอท เข้มข้น 50 มิลลิกรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
 - 1.2 สารคลอร์ไพริฟอส เข้มข้น 30 มิลลิกรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
 - 1.3 สารอาทราซีน เข้มข้น 20 มิลลิกรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. เติมน้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นเริ่มต้นของสารด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง บันทึกราคา และนำไปคำนวณหาความเข้มข้นที่เตรียมได้เทียบกับกราฟมาตรฐานที่จัดทำไว้ (หลังจากวัดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแล้วต้องเก็บน้ำตัวอย่างไว้ทุกครั้ง)
4. หาพีเอชที่เหมาะสม สำหรับน้ำตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้นของสารเคมีทางการเกษตรที่ได้เตรียมไว้ในข้อที่ 1 โดยปรับให้น้ำตัวอย่างมีพีเอช 3, 5, 7, 9 และ 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดซัลฟูริก ให้ได้ตามต้องการในแต่ละปีกเกอร์
5. นำปีกเกอร์ใส่เข้าเครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar test) โดยยังไม่ต้องเปิดเครื่อง
6. เติมสารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตประปาลงในปีกเกอร์
7. เปิดเครื่อง Jar Test โดยเริ่มกวนผสมที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นกวนผสมต่อที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 นาที

8. เมื่อกวนผสมเรียบร้อยแล้วให้นำบีกเกอร์ออกจากเครื่องทดสอบการตกตะกอน โดยระวังไม่ให้ตะกอนในน้ำตัวอย่างเขย่ามากเกินไป

9. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้คอลลอยด์ในน้ำตัวอย่างตกตะกอน

10. เก็บตัวอย่างน้ำประมาณ 50 มิลลิลิตร โดยเก็บที่ผิวน้ำด้านบนของตัวอย่างระวังไม่ให้คอลลอยด์ฟุ้งขึ้นมา

11. นำน้ำตัวอย่างหลังการทดลองไปวัดความเข้มข้นสุดท้ายของสารด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง บันทึกค่า และนำไปคำนวณหาความเข้มข้นสุดท้าย (หลังจากวัดค่าความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำตัวอย่างด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแล้วต้องเก็บน้ำตัวอย่างไว้ทุกครั้ง)

12. คำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร ว่าพีเอชใดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรได้สูงที่สุด

13. นำน้ำตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของแต่ละสารเคมีทางการเกษตร ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC

ขั้นตอนการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของสารเคมีทางการเกษตรด้วยถ่านกัมมันต์

1. เตรียมน้ำตัวอย่างในขวดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเคมีทางการเกษตรในน้ำจะใช้ดังนี้

1.1 ความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และในน้ำเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร

1.2 ความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำเข้มข้น 10, 15, 20, 25 และในน้ำเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลิตร

1.3 ความเข้มข้นของสารอาทราซีนในน้ำเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และในน้ำเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/ลิตร

1.4 เหน้ตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร

1.5 เหน้ตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเคมีทางการเกษตรที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ทำการบันทึกค่า และนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นที่แท้จริง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้จัดเตรียมไว้

1.6 ปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดซัลฟูริกให้ได้ตามต้องการโดยใช้ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองซึ่งได้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร

1.7 นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำตัวอย่างใส่เข้ากับเครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) โดยยังไม่ต้องเปิดเครื่อง

1.8 เติมสารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตประปา คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่เตรียมไว้ลงในปิกเกอร์ ตามความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากหัวข้อขั้นตอนการศึกษาการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรในหน่วยกระบวนการต่างๆ

1.9 เปิดเครื่อง Jar Test โดยเริ่มกวนผสมที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 360 นาที

1.10 เก็บน้ำตัวอย่างที่เวลา 0, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 270, 300 และ 360 นาที ตามลำดับ โดยเก็บน้ำตัวอย่างด้วยไซริงค์แก้วประมาณ 10 มิลลิลิตร โดยเก็บน้ำบริเวณผิวน้ำด้านบนอย่างระมัดระวังไม่ให้ตะกอนฟุ้งขึ้นมา

1.11 นำน้ำตัวอย่างที่เก็บมา ไปวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนของแสง ทำการบันทึกค่า และนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นที่แท้จริง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้จัดเตรียมไว้

1.12 คำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารเคมีทางการเกษตรที่เหลือในน้ำในแต่ละนาทีโดยทำการหาจุดสมดุลของการดูดซับและไอโซเทอมของการดูดซับ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบ Langmuir Isoterm หรือ Freundlich Isoterm

บทที่ 4

ผลการวิจัย

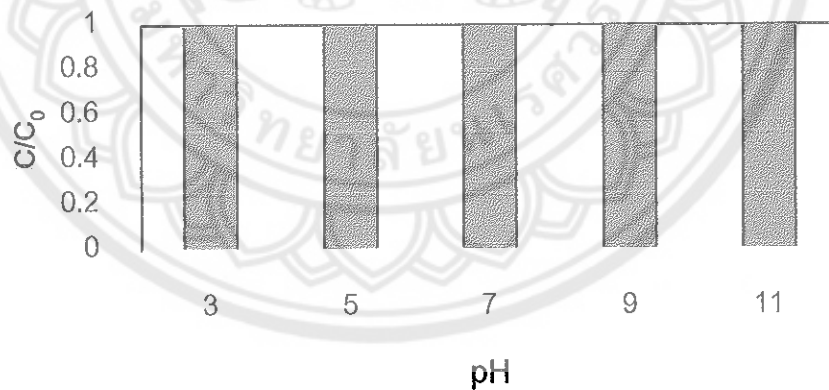
งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรในระบบผลิตน้ำประปา โดยเปรียบเทียบจากหน่วยบำบัดน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาว่าหน่วยใดสามารถช่วยบำบัดหรือลดผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรที่ปนมากับน้ำดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถประเมินได้ ดังนี้

การประเมินการกำจัดสารพาราควอทในน้ำด้วยกระบวนการผลิตน้ำประปา

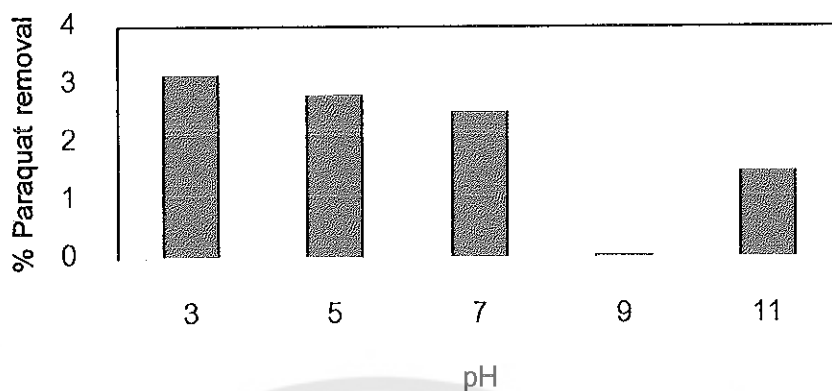
1. ผลของการรวมตะกอน ต่อการลดสารพาราควอทในน้ำประปา

การรวมตะกอนทำได้โดยใช้สารเคมี คือ สารส้ม

ในการใช้สารส้มกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 28, 29

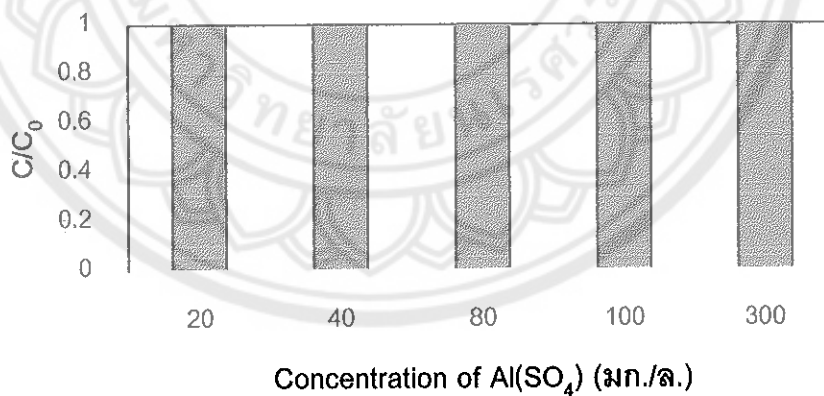


ภาพ 28 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

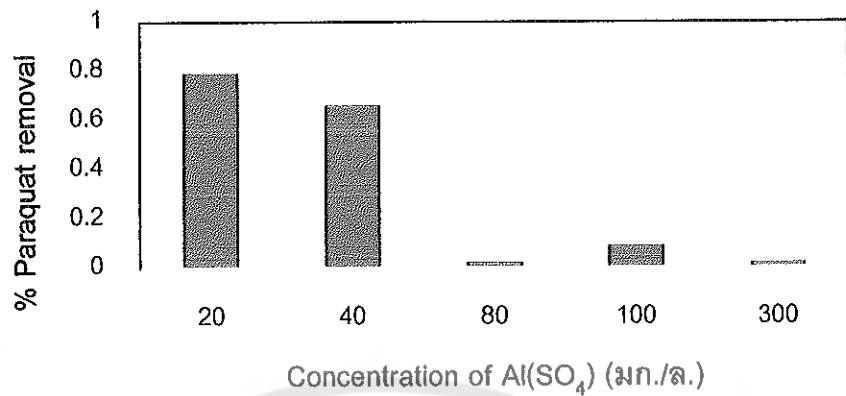


ภาพ 29 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้สารละลายสารส้มกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล.
โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 20-300 มก./ล. ที่พีเอช 3 โดย
ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 30 และ 31



ภาพ 30 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ
ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มใน
การทำปฏิกิริยา

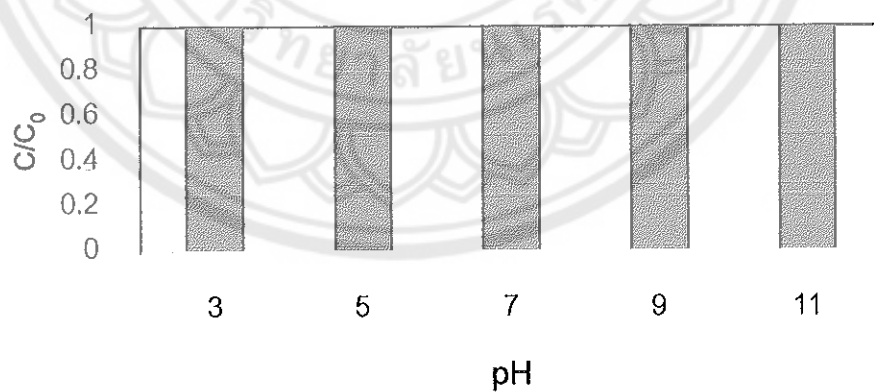


ภาพ 31 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารพาราควอท เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

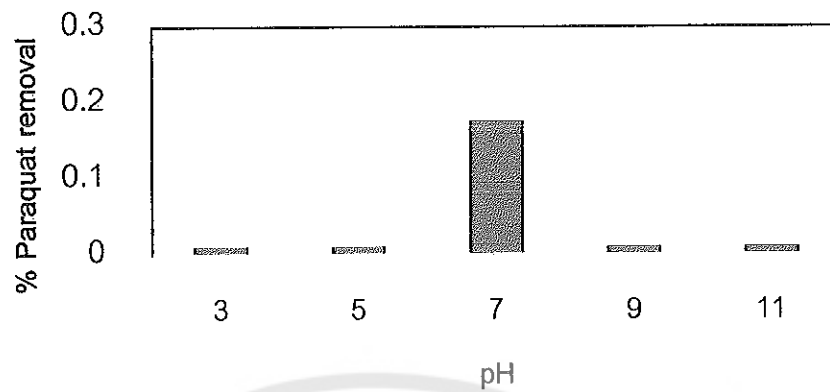
2. ผลของการกำจัดความกระด้าง ต่อการลดสารพาราควอทในน้ำประปา

การกำจัดความกระด้างทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ปูนขาว

ในการใช้ปูนขาว กำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาว ที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 32, 33

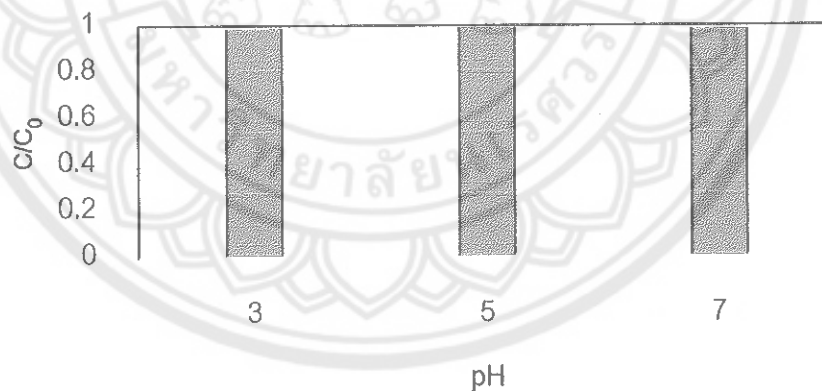


ภาพ 32 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

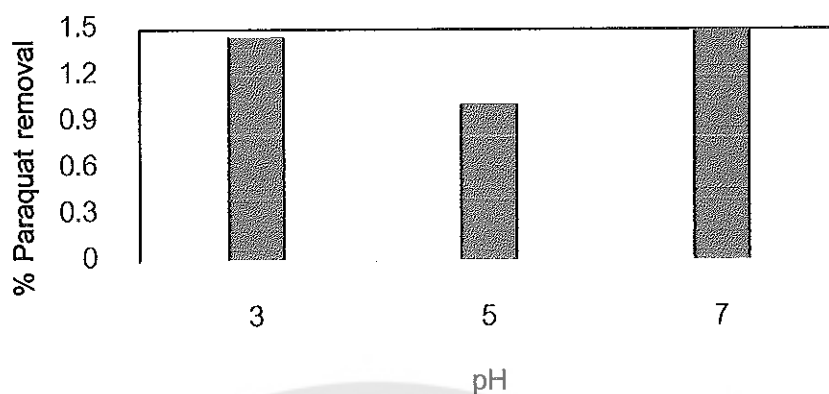


ภาพ 33 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ปูนขาวกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยให้ความเข้มข้นของปูนขาวที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 34, 35

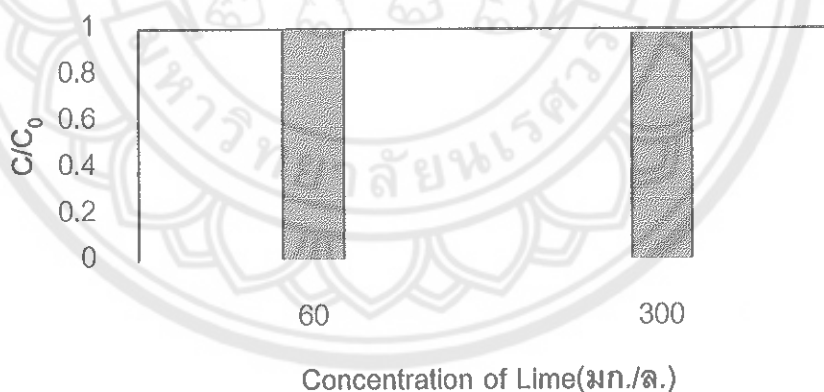


ภาพ 34 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

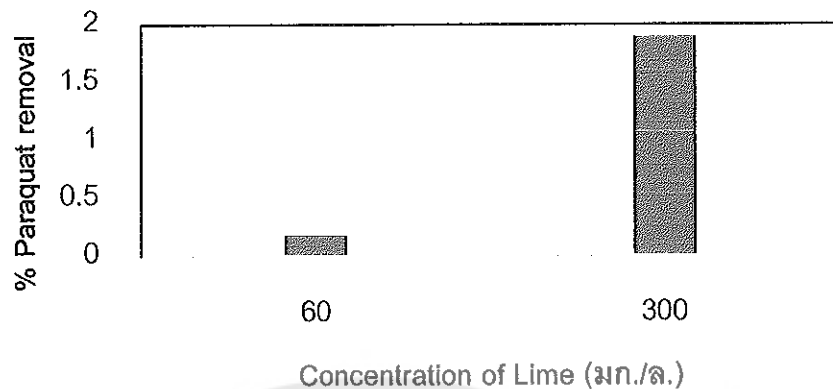


ภาพ 35 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ปูนขาวกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาวที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 60-300 มก./ล. ที่พีเอช 7 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 36, 37



ภาพ 36 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา



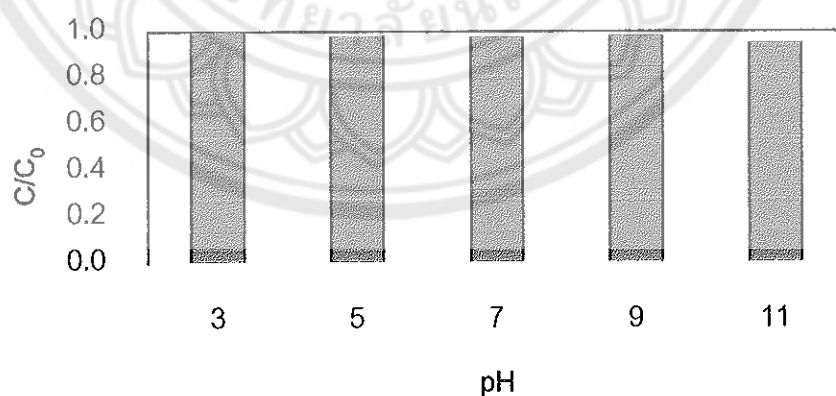
ภาพ 37 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารพาราควอท เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

3. ผลของกระบวนการดูดซับต่อการลดสารพาราควอทในน้ำประปา

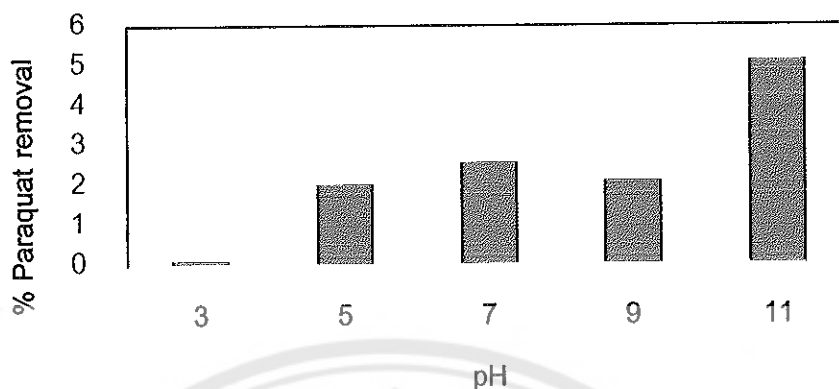
กระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถ่านกัมมันต์ชนิด

เกล็ด และทรายเขียว

3.1 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 38, 39

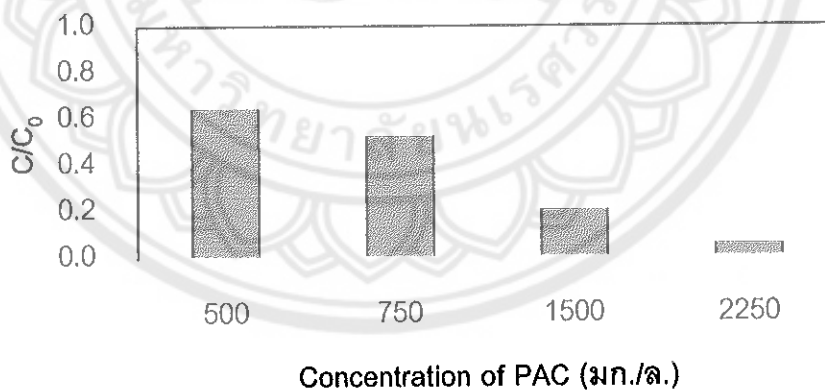


ภาพ 38 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

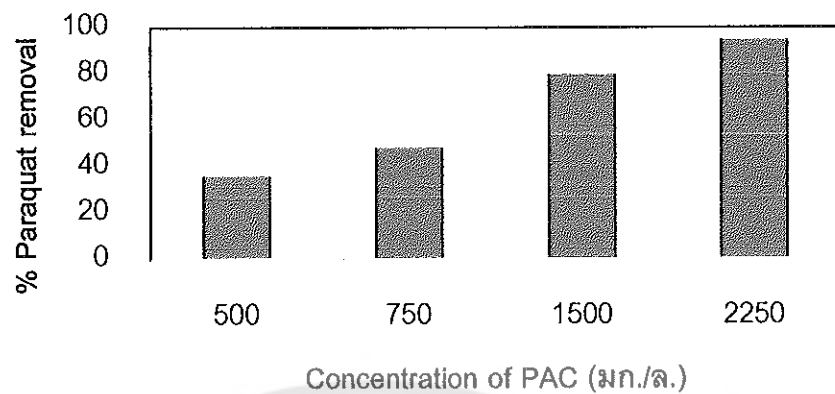


ภาพ 39 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 500-2250 มก./ล. ที่พีเอช 11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 40, 41

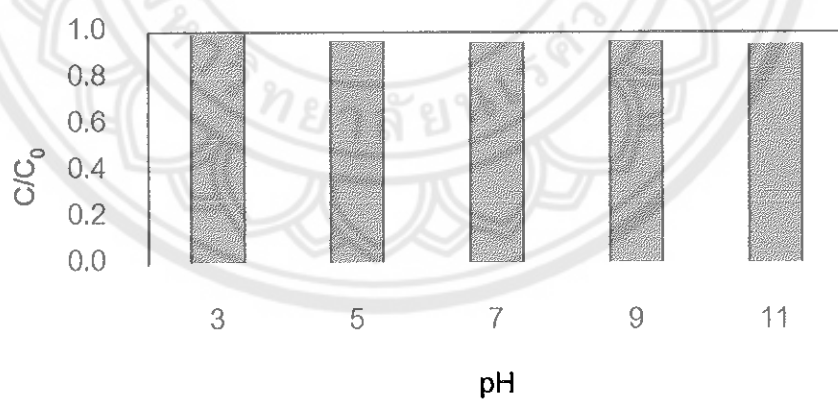


ภาพ 40 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไป
เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ
เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

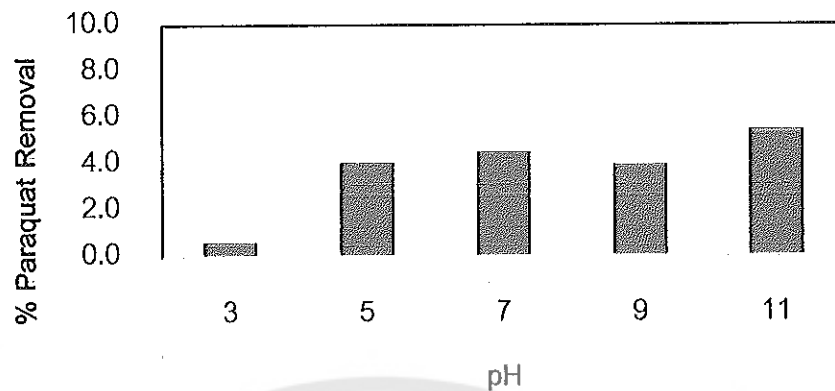


ภาพ 41 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

3.2 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ค่าความเข้มข้น 2250 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 42, 43

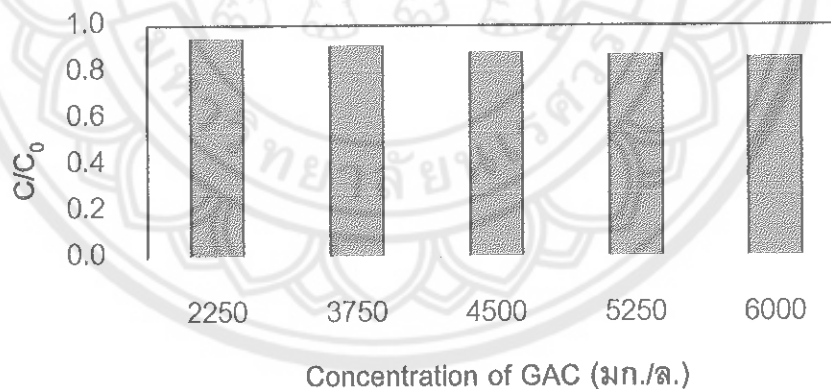


ภาพ 42 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

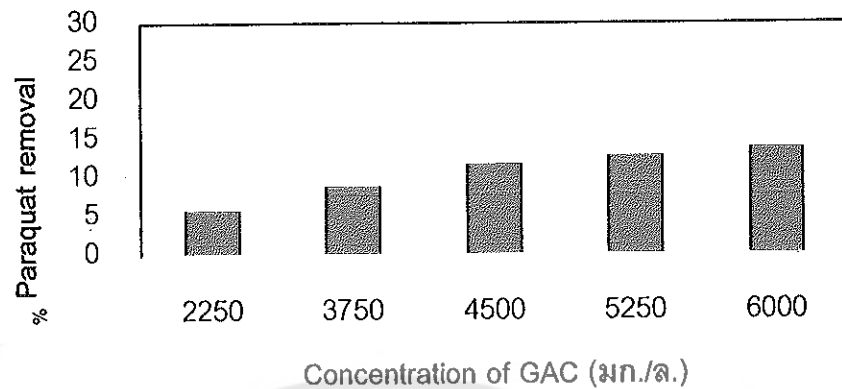


ภาพ 43 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 2250-6000 มก./ล. ที่พีเอช 11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 44 และ 45

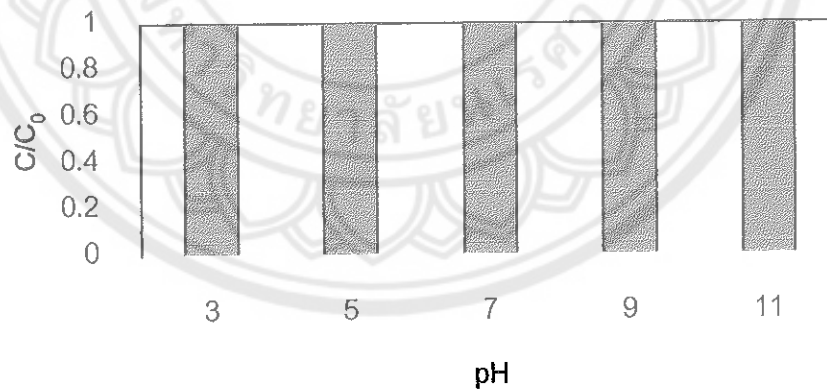


ภาพ 44 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

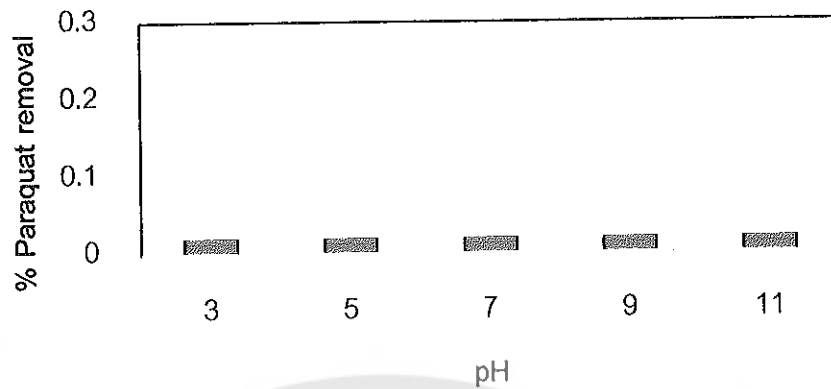


ภาพ 45 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารพาราควอท เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

3.3 ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 46, 47

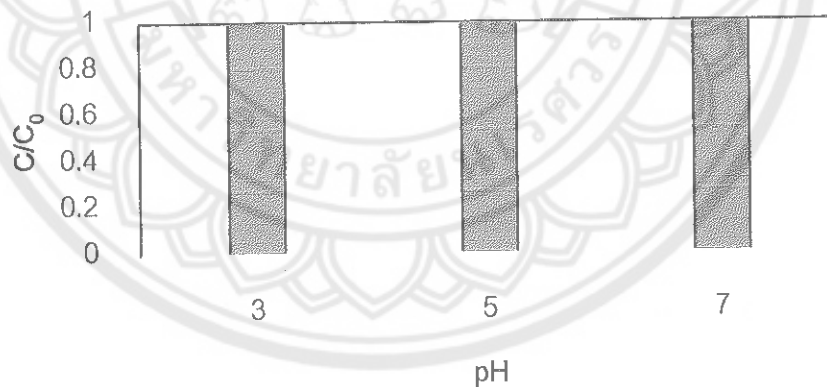


ภาพ 46 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

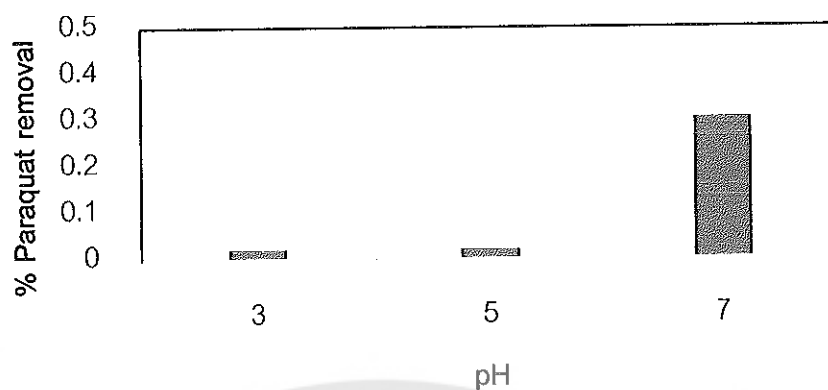


ภาพ 47 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอตในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารพาราควอตในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้
ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ
ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 48,49

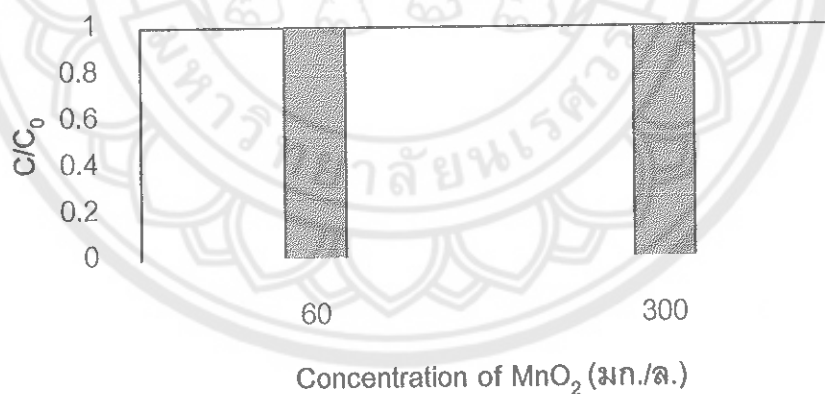


ภาพ 48 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอตในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ
ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำ
ปฏิกิริยา

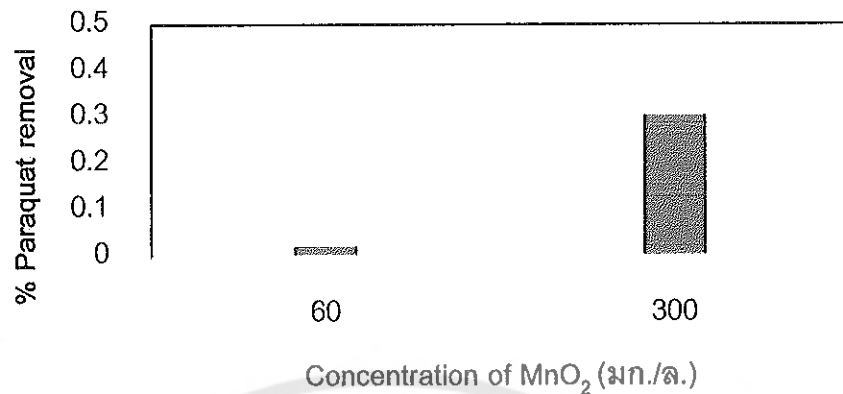


ภาพ 49 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอตในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารพาราควอตในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มก./ล.
โดยใช้ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 60-300 มก./ล. ที่พีเอช 7 โดยได้ผล
การทดลองแสดงดังภาพ 50, 51



ภาพ 50 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอตในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับ
กับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวใน
การทำปฏิกิริยา

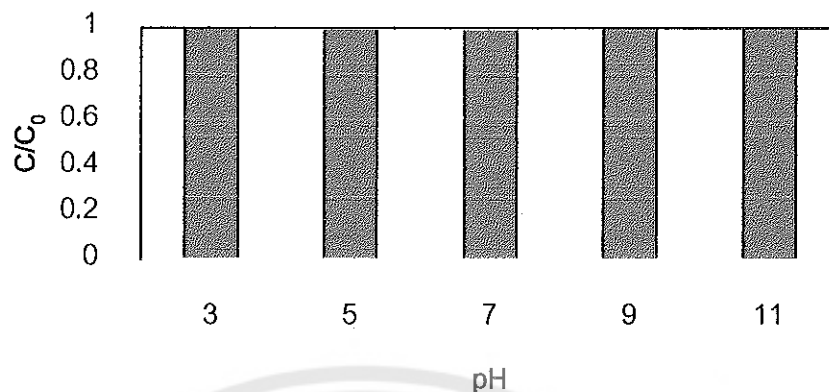


ภาพ 51 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอตในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารพาราควอต เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

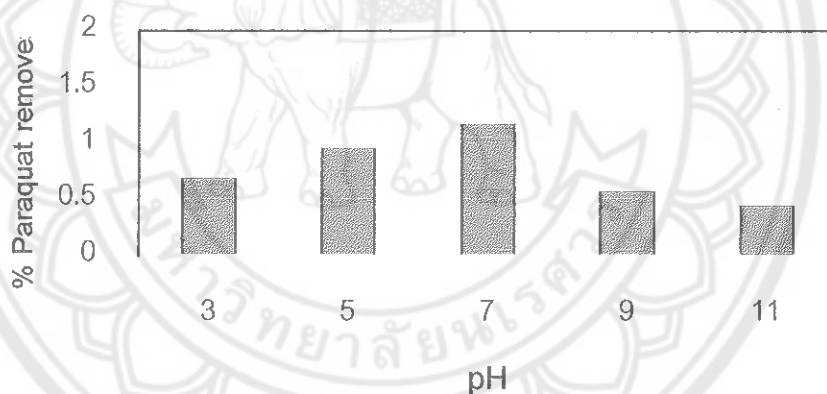
4. ผลของการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (chlorination) ต่อการลดสารพาราควอตในน้ำประปา

สารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ในการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารพาราควอตในน้ำที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอตในน้ำต่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 52, 53

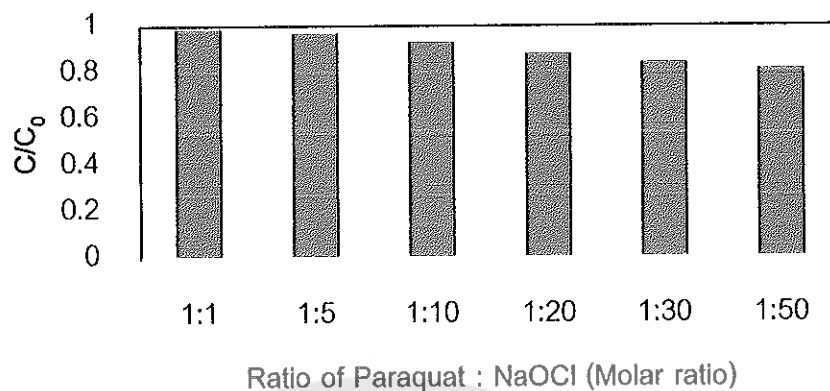


ภาพ 52 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในการทำปฏิกิริยา

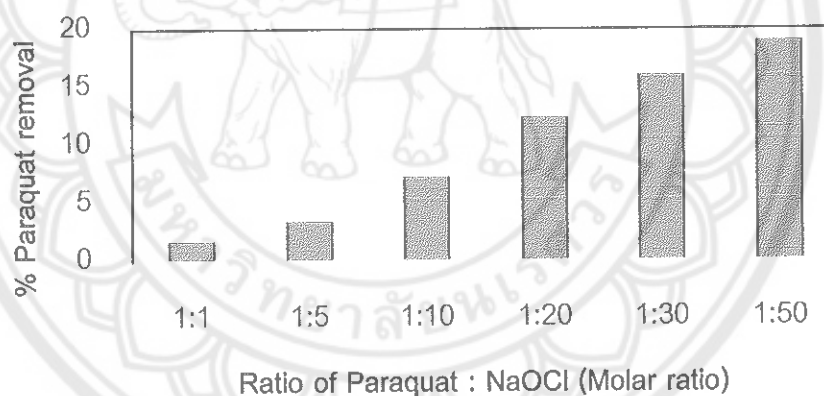


ภาพ 53 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารพาราควอทในน้ำที่มีความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำต่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 ถึง อัตราส่วน 1:50 ที่พีเอช 7 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 54, 55



ภาพ 54 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา



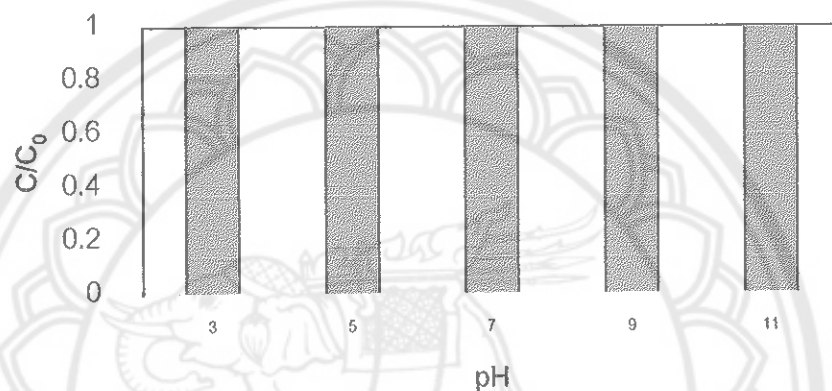
ภาพ 55 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารพาราควอทในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารพาราควอท เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

การประเมินการกำจัดสารคลอโรไฟริฟอสด้วยกระบวนการผลิตน้ำประปา

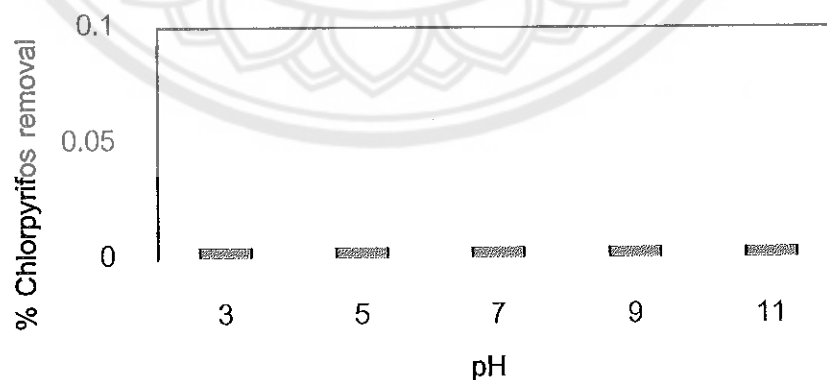
1. ผลของการรวมตะกอน ต่อการลดสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำประปา

การรวมตะกอนทำได้โดยใช้สารเคมี คือ สารส้ม

ในการใช้สารละลายสารส้มกำจัดสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 56,57

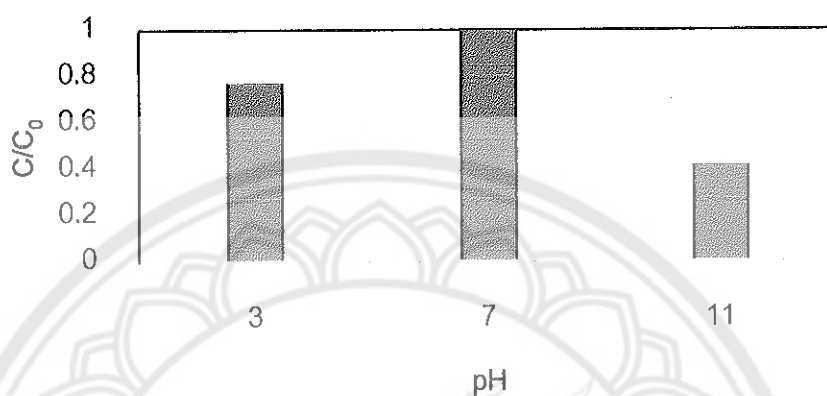


ภาพ 56 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

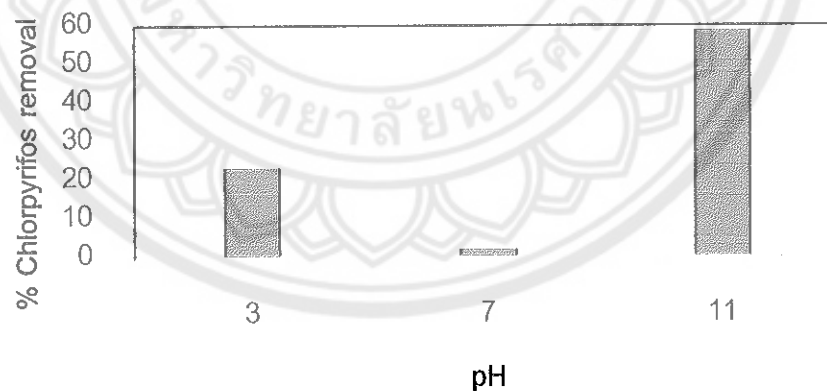


ภาพ 57 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้สารส้มกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 58, 59

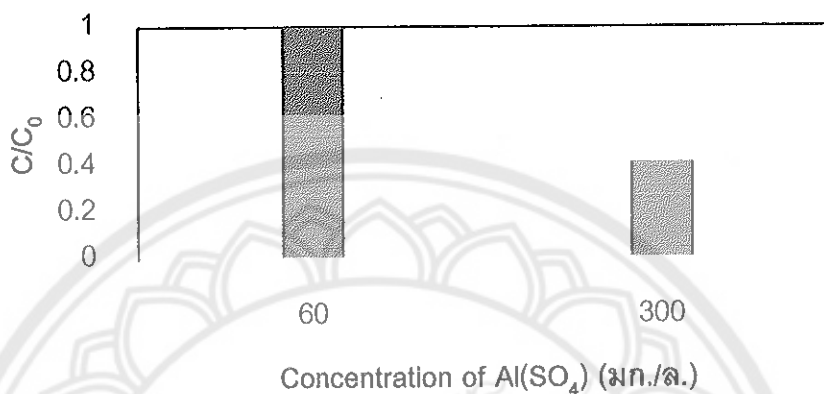


ภาพ 58 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

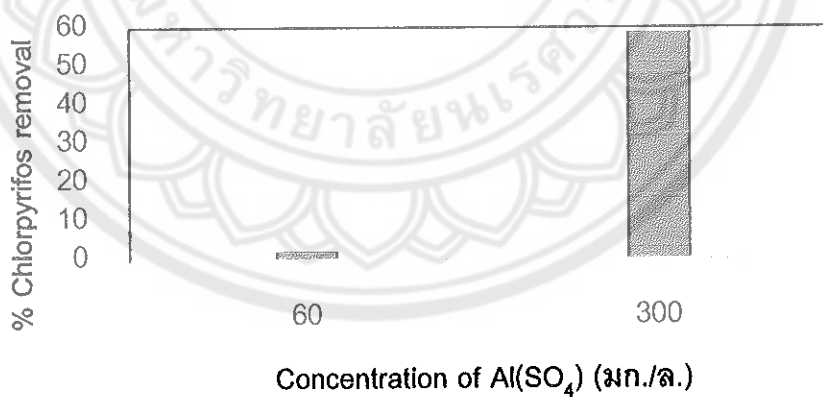


ภาพ 59 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้สารละลายสารส้มกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 60-300 มก./ล. ที่พีเอช 11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 60, 61



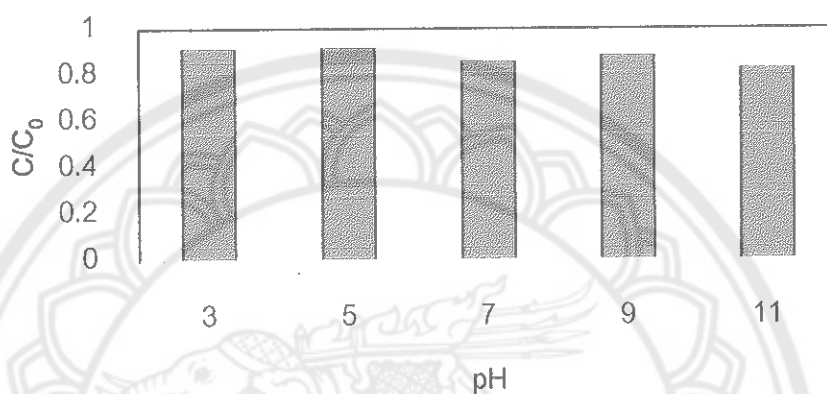
ภาพ 60 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา



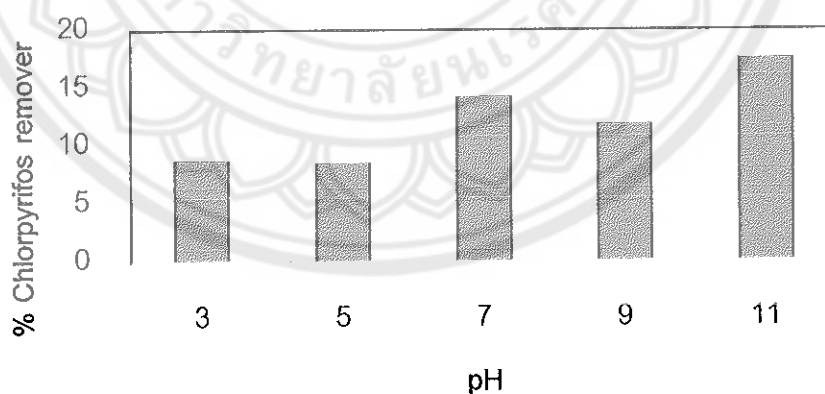
ภาพ 61 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอโรไพริฟอส เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

2. ผลของการกำจัดความกระด้าง ต่อการลดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำประปา
การกำจัดความกระด้างทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ปูนขาว

ในการใช้ปูนขาว กำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาวที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 62, 63

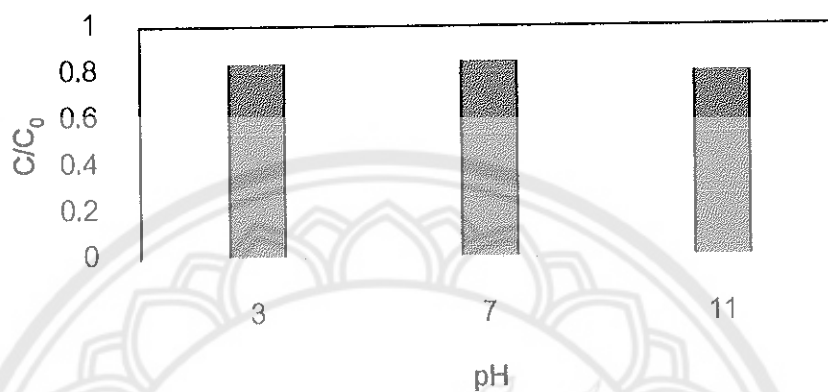


ภาพ 62 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

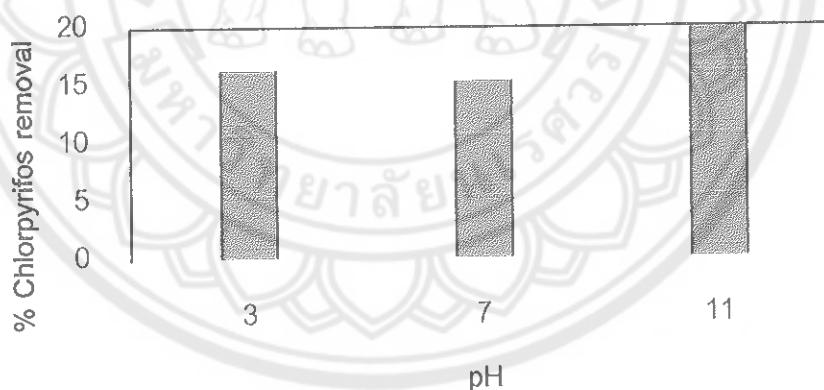


ภาพ 63 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ปูนขาว กำจัดสารคลอรีไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาวที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 64, 65

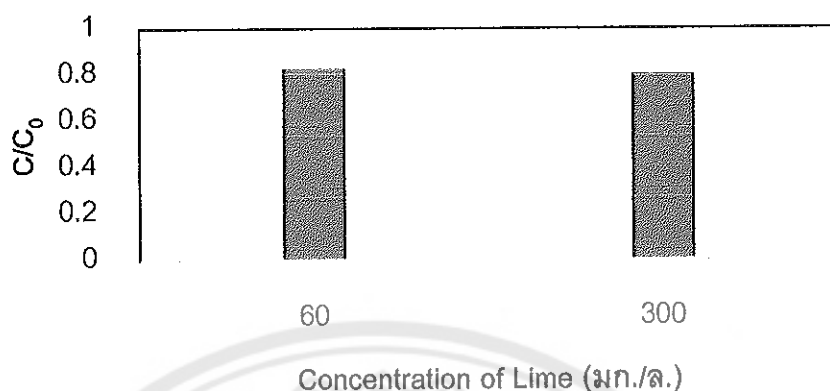


ภาพ 64 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรีไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

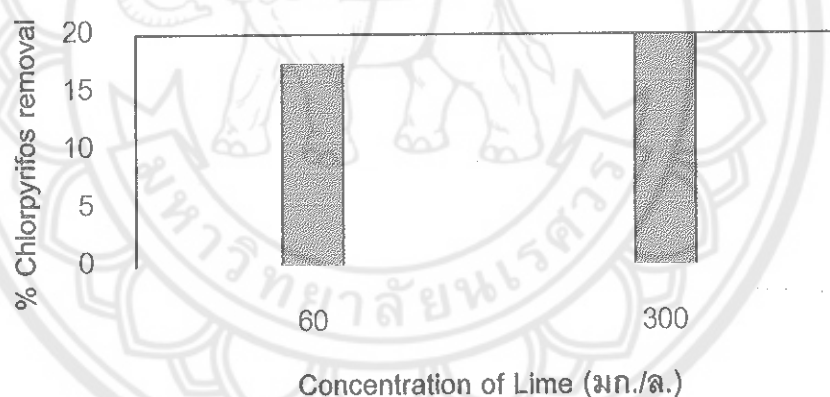


ภาพ 65 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอรีไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ปูนขาว กำจัดสารคลอรีไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาว ที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 60-300 มก./ล. ที่พีเอช 11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 66, 67



ภาพ 66 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไฟลอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

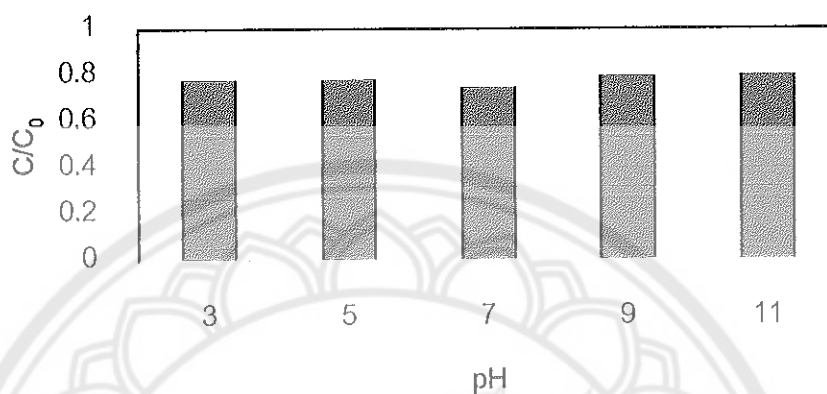


ภาพ 67 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไฟลอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารคลอโรไฟลอส เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

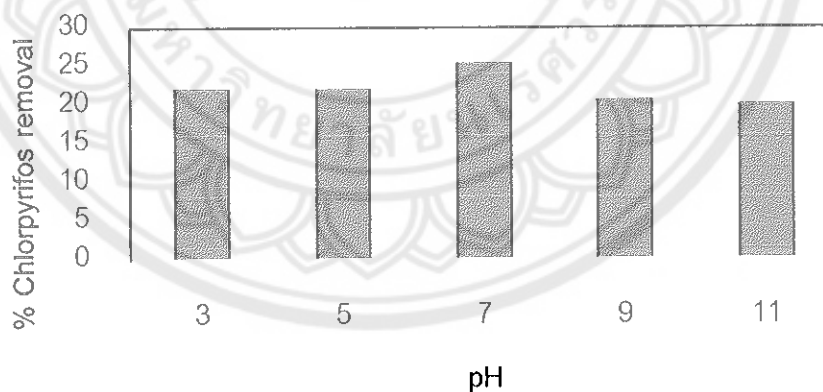
3. ผลของกระบวนการดูดซับต่อการลดสารคลอโรไฟลอสในน้ำประปา

กระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด และทรายเขียว

3.1 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยให้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 68, 69

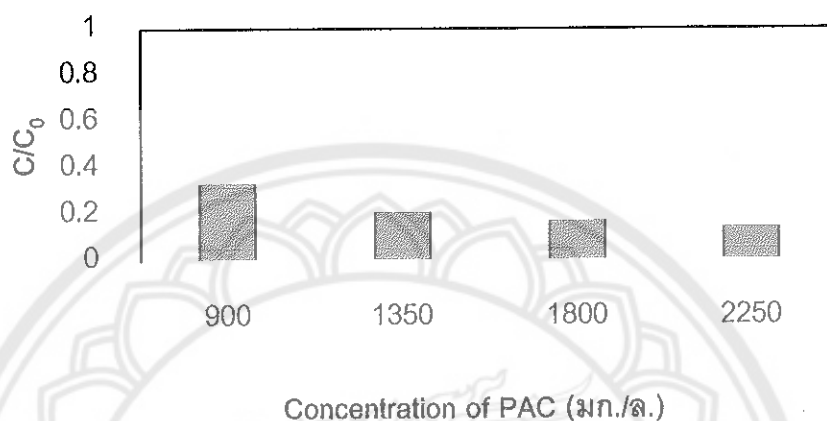


ภาพ 68 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

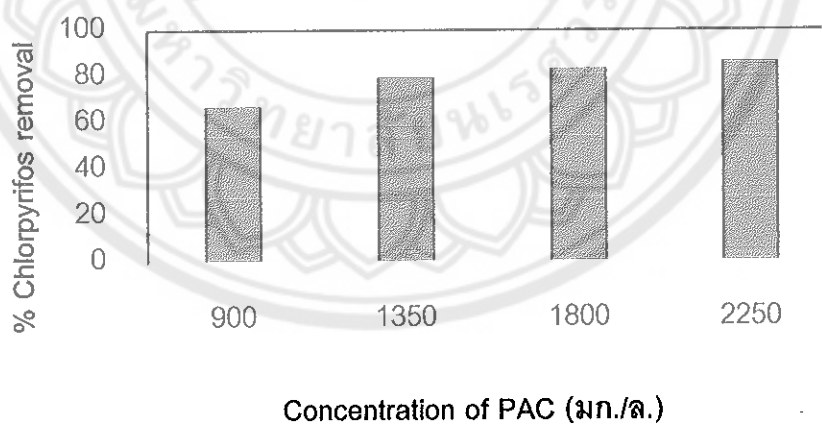


ภาพ 69 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 500-2250 มก./ล. ที่พีเอช 7 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 70, 71

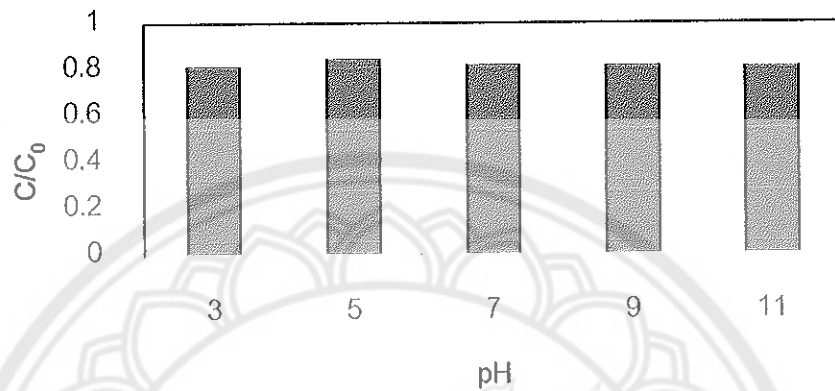


ภาพ 70 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

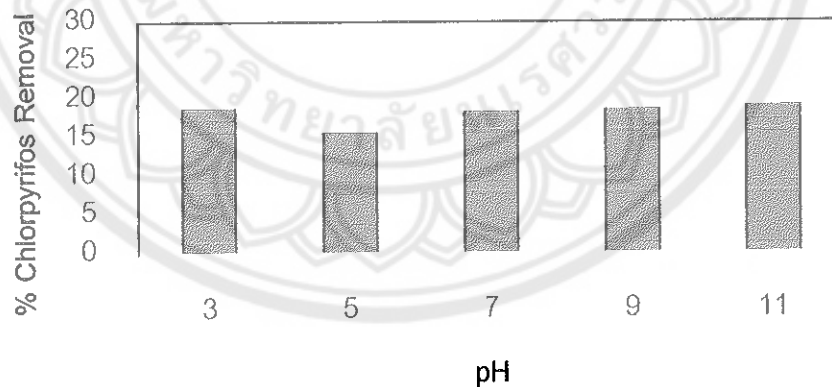


ภาพ 71 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารคลอโรไพริฟอส เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

4.2 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ค่าความเข้มข้น 2250 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 72, 73

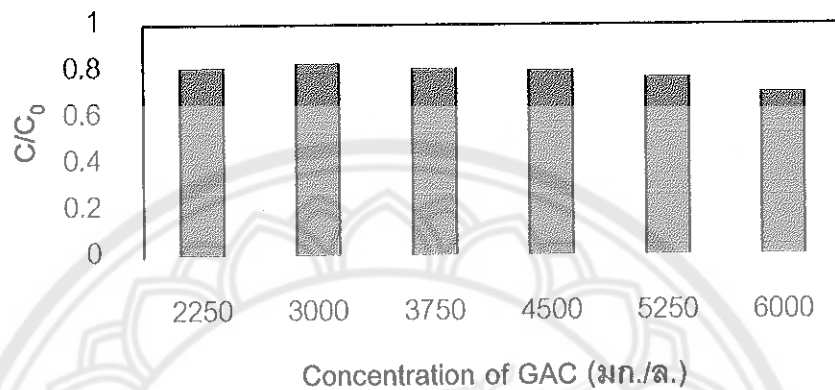


ภาพ 72 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

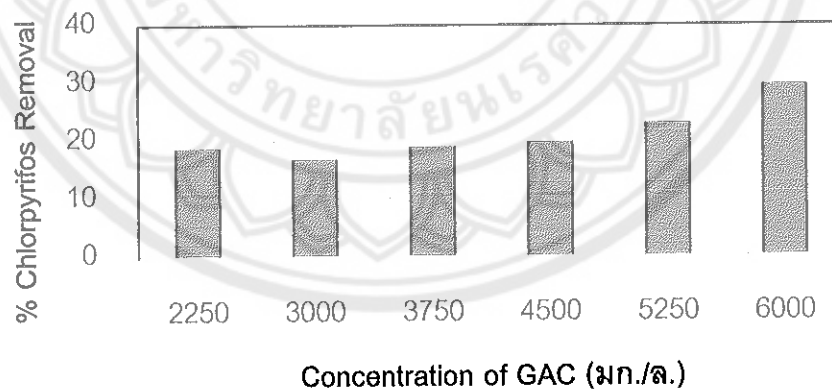


ภาพ 73 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดกำจัดสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 2250-6000 มก./ล. ที่พีเอช 11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 74, 75

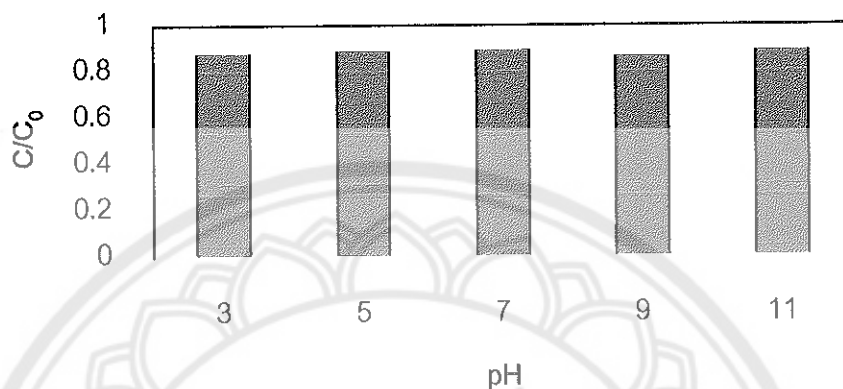


ภาพ 74 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

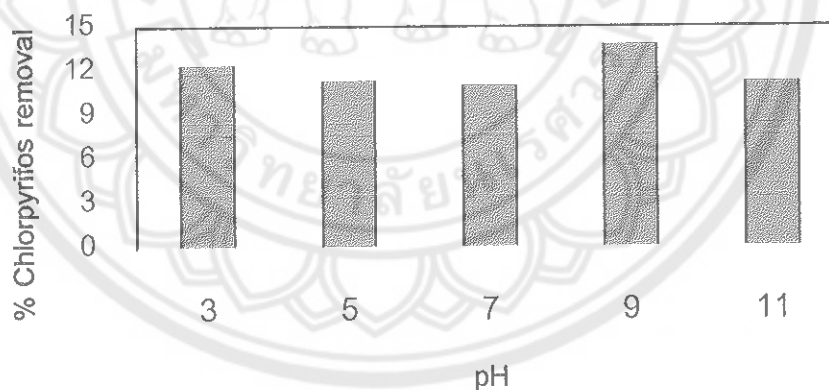


ภาพ 75 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารคลอโรไพริฟอส เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

4.3 ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดย
ใช้ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ
ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 76, 77

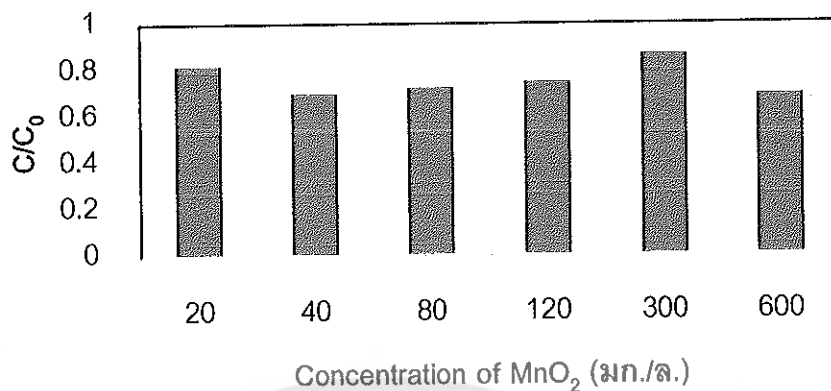


ภาพ 76 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

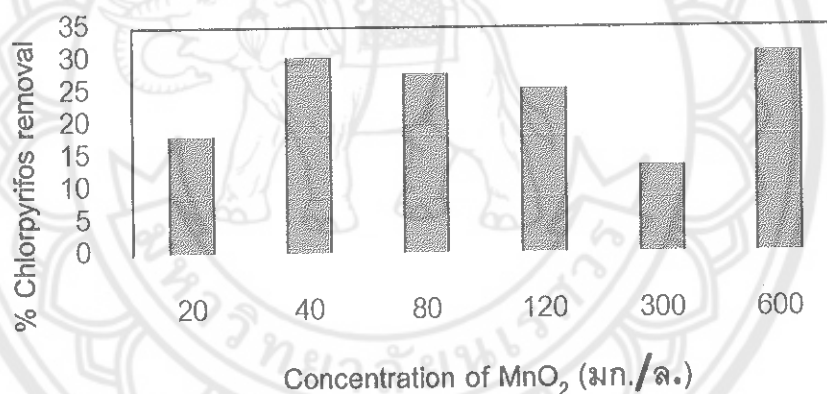


ภาพ 77 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ
เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารคลอโรไฟริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น
30 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 20-600 มก./ล. ที่พีเอช 9
โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 78, 79



ภาพ 78 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรีไฟรฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา



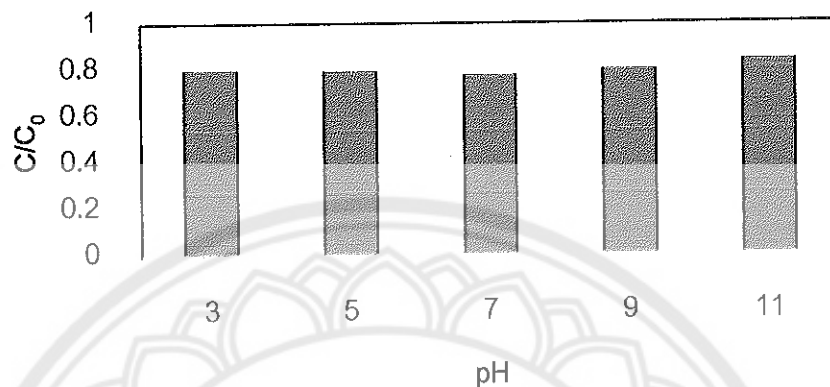
ภาพ 79 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอรีไฟรฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารคลอรีไฟรฟอส เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

5. ผลของการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (chlorination) ต่อการลดสารคลอรีไฟรฟอสในน้ำประปา

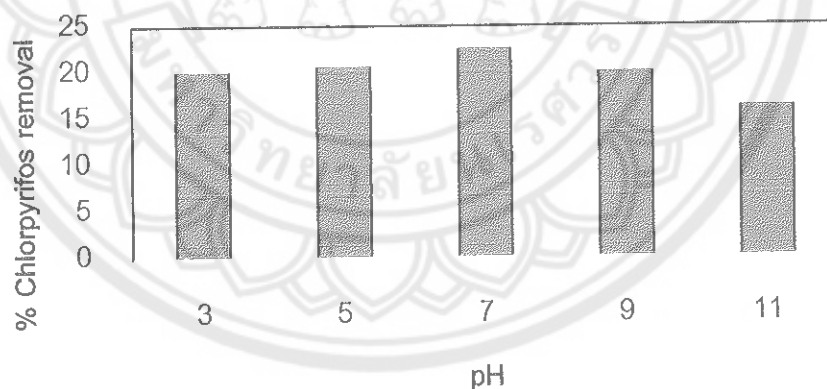
สารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ในการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารคลอรีไฟรฟอสในน้ำที่มีความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรี

ไพรฟอสต่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 80, 81



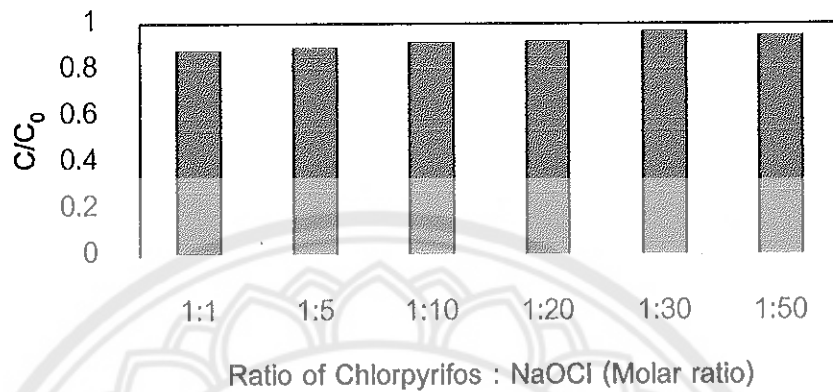
ภาพ 80 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา



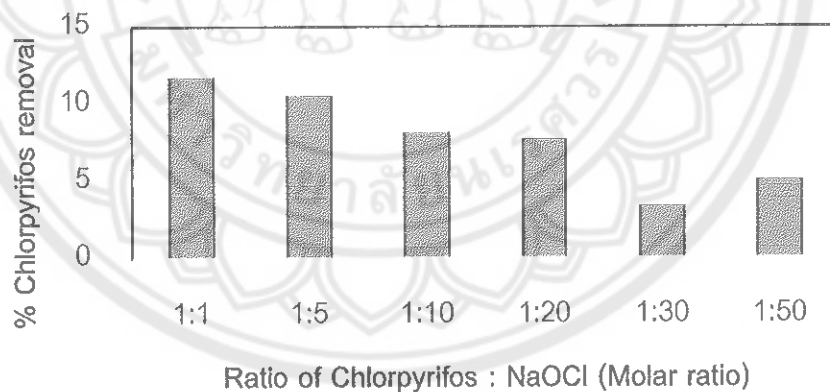
ภาพ 81 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอริไพริฟอสในน้ำที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารคลอริไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารคลอริไพริฟอสในน้ำต่อความ

เข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 ถึง อัตราส่วน 1:50 ที่พีเอช 9 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 82, 83



ภาพ 82 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารคลอรัไพริฟอสในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา



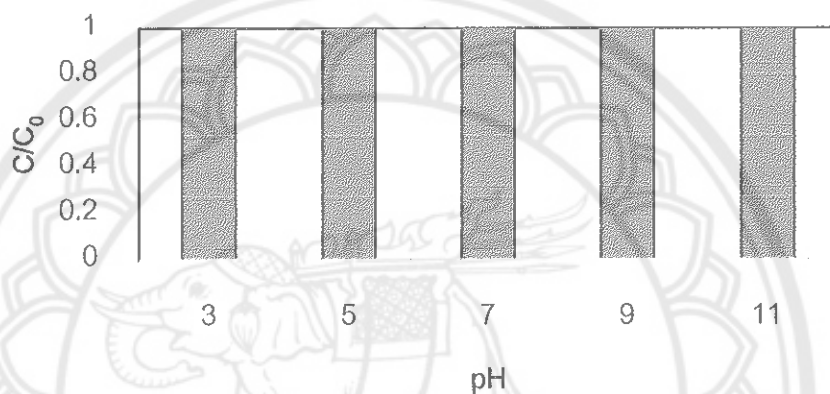
ภาพ 83 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารคลอรัไพริฟอสในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารคลอรัไพริฟอส เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

การประเมินการกำจัดสารอาหารพืชด้วยกระบวนการผลิตน้ำประปา

1. ผลของการรวมตะกอน ต่อการลดสารอาหารพืชในน้ำประปา

การรวมตะกอนทำได้โดยใช้สารเคมี คือ สารส้ม

ในการใช้สารส้มกำจัดสารอาหารพืชในน้ำที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 84, 85



ภาพ 84 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารพืชในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

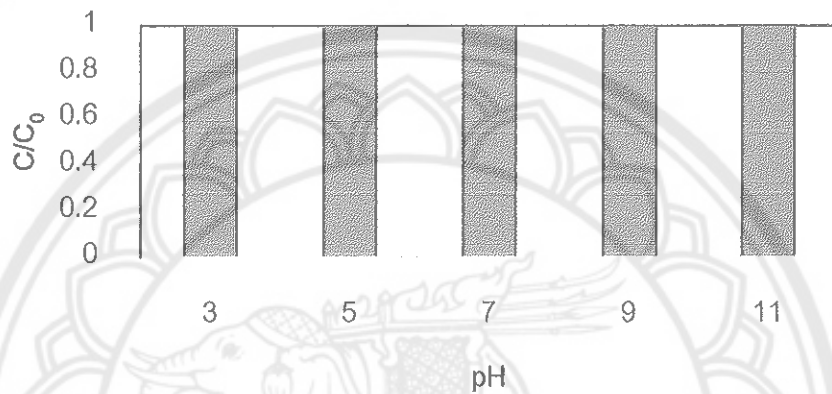


ภาพ 85 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารพืชในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายสารส้มในการทำปฏิกิริยา

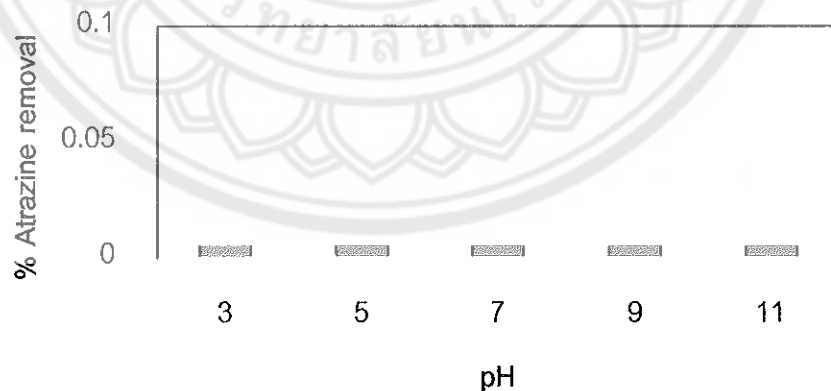
2. ผลของการกำจัดความกระด้าง ต่อการลดสารอะทราซีนในน้ำประปา

การกำจัดความกระด้างทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ปูนขาว

ในการใช้ปูนขาว กำจัดสารอะทราซีนที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาว ที่ค่าความเข้มข้น 300 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 86, 87



ภาพ 86 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอะทราซีนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

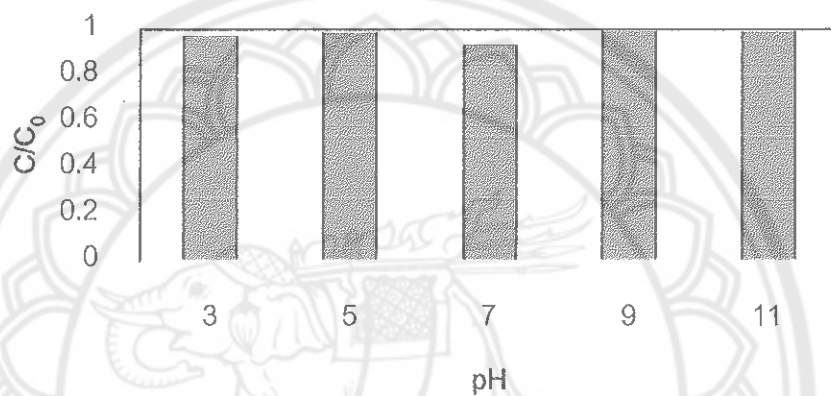


ภาพ 87 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอะทราซีนในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ปูนขาวในการทำปฏิกิริยา

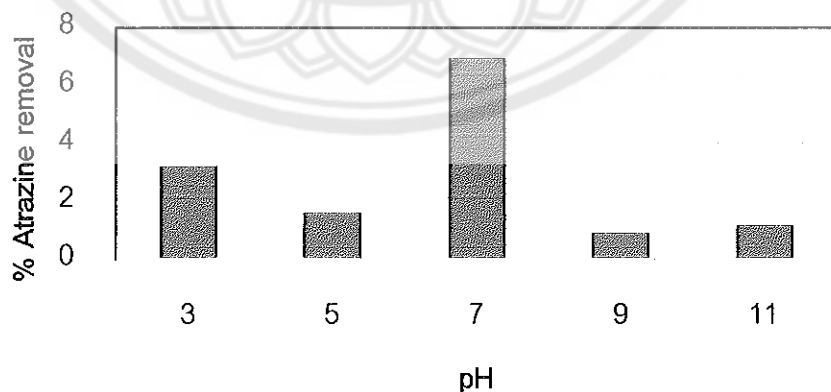
3. ผลของกระบวนการดูดซับต่อการลดสารอาหารซึนในน้ำประปา

กระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้สารเคมีคือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด และทรายเขียว

3.1 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกำจัดสารอาหารซึนในน้ำที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้น 100 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 88, 89

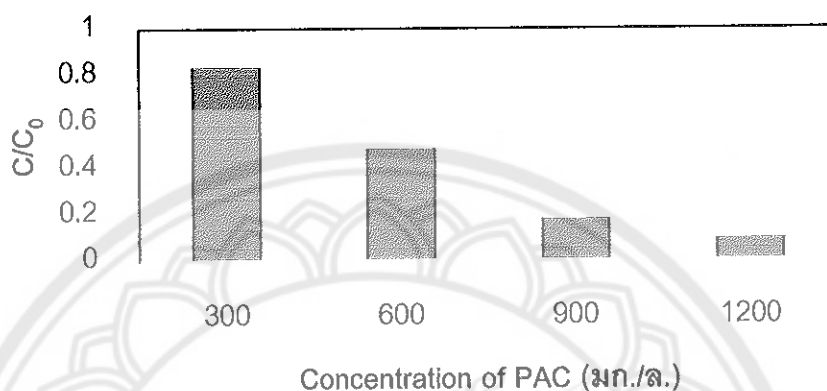


ภาพ 88 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซึนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

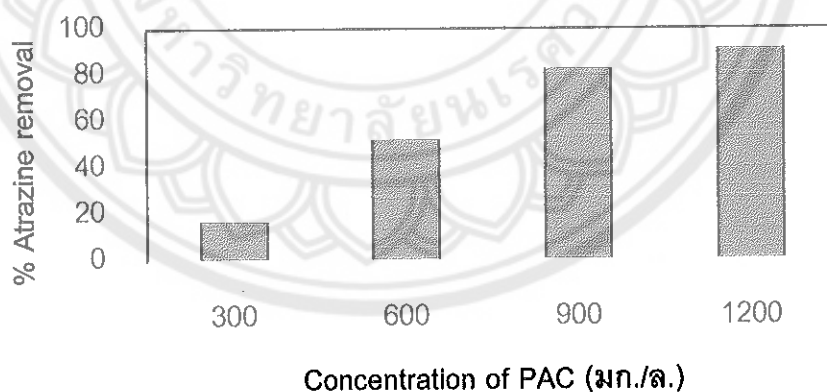


ภาพ 89 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซึนในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดสารอาหารซึนในน้ำที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 300-1200 มก./ล. ที่พีเอช 7 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 90, 91

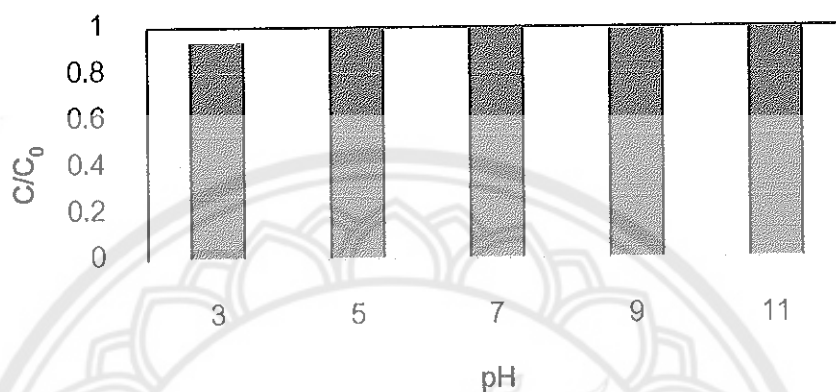


ภาพ 90 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซึนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

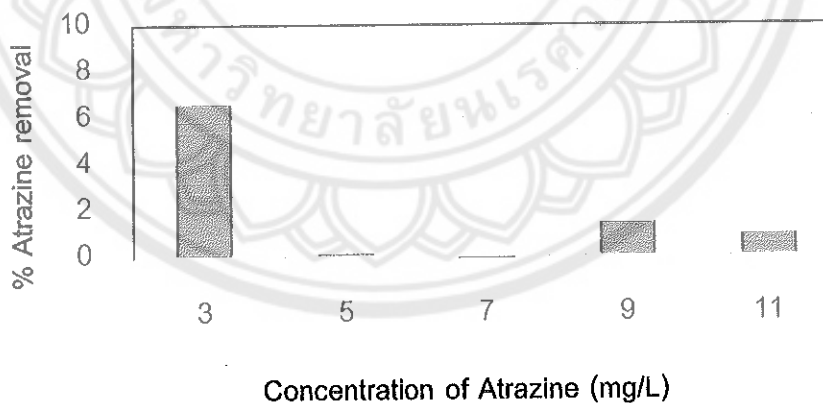


ภาพ 91 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซึนในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารอาหารซึนเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการทำปฏิกิริยา

3.2 ในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดกำจัดสารอาหารซึนในน้ำที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ค่าความเข้มข้น 1200 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 92, 93

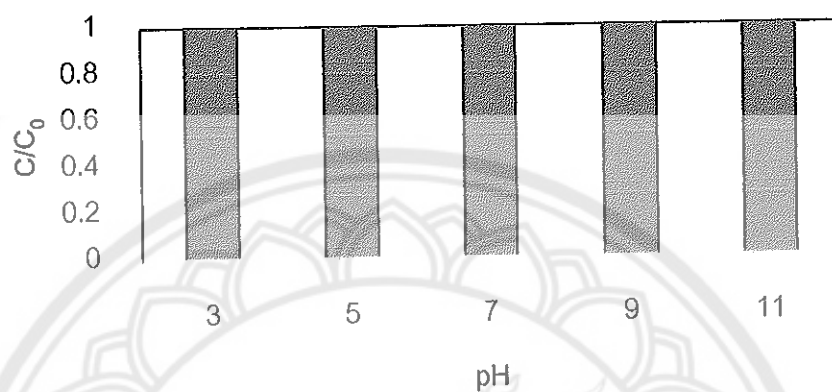


ภาพ 92 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารซึนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

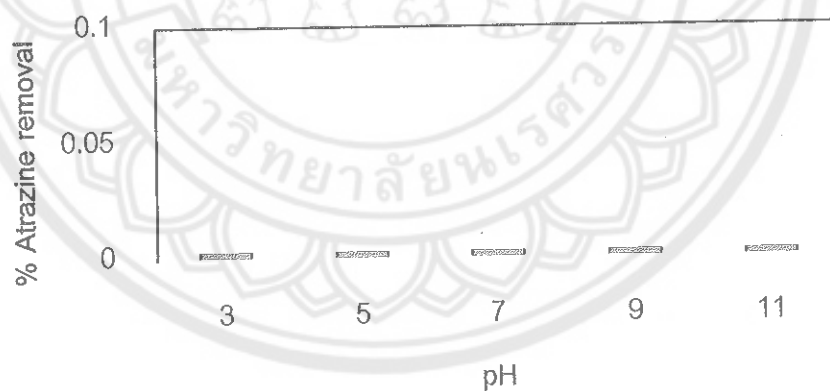


ภาพ 93 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซึนในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการทำปฏิกิริยา

3.3 ในการใช้ทรายเขียวกำจัดสารอะทราซีนในน้ำที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้ความเข้มข้นของทรายเขียวที่ค่าความเข้มข้น 60 มก./ล. โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่างๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 94, 95



ภาพ 94 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอะทราซีนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ค่าพีเอชต่าง ๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

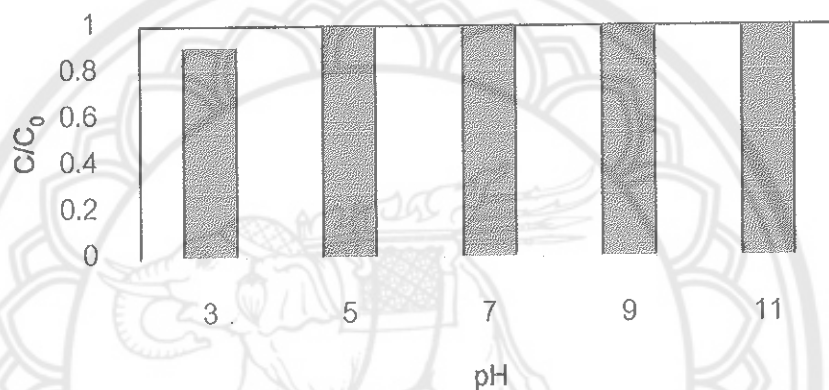


ภาพ 95 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอะทราซีนในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ทรายเขียวในการทำปฏิกิริยา

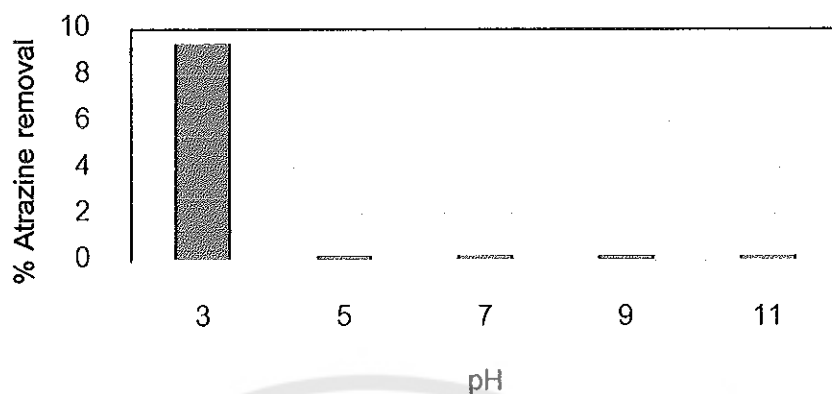
4. ผลของการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (chlorination) ต่อการลดสารอาหารอินในน้ำประปา

สารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ในการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารอาหารอินในน้ำที่ความเข้มข้น 20 มก./ล. โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารอินในน้ำต่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยทดสอบที่ค่าพีเอชของน้ำที่ค่าต่าง ๆ ในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 3-11 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 96, 97

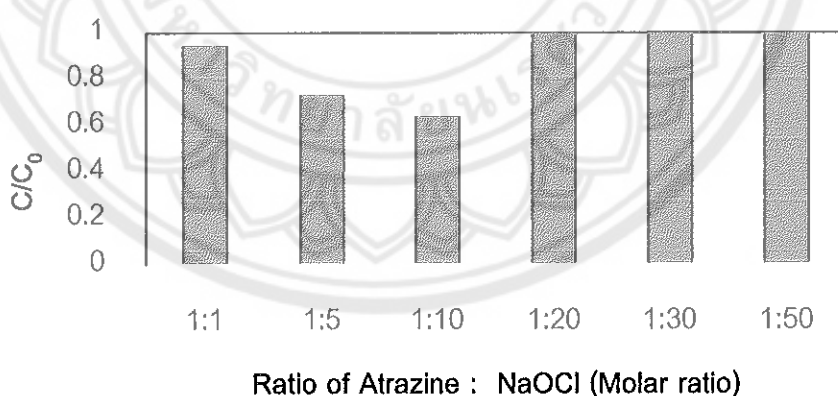


ภาพ 96 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอาหารอินในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

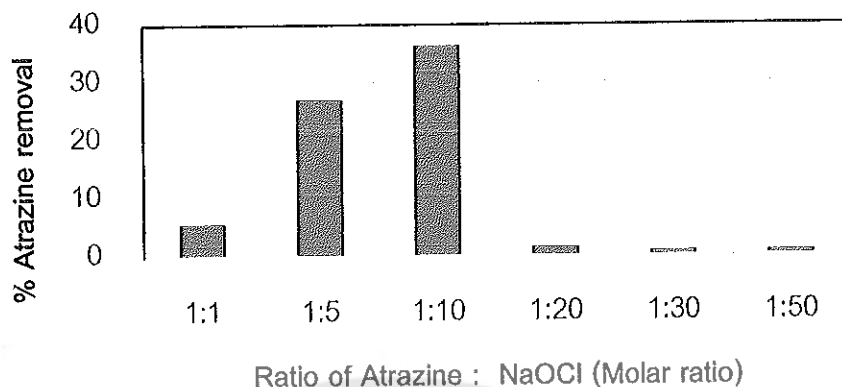


ภาพ 97 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอะทราซีนในน้ำที่ค่าพีเอชต่างๆ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

ในการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์กำจัดสารอะทราซีนที่ความเข้มข้น 30 มก./ล. โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารอะทราซีนต่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 ถึง อัตราส่วน 1:50 ที่พีเอช 3 โดยได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 98, 99



ภาพ 98 สัดส่วนของความเข้มข้นของสารอะทราซีนในน้ำที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา



ภาพ 99 กราฟแสดงร้อยละของการลดลงของสารอาหารซึ้นในน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆของสารอาหารซึ้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองในการกำจัดสารเคมีสามชนิด คือ สารพาราควอท, สารคลอโรไพริฟอส และสารอาหารซึ้น ได้ผลสรุปของการวิจัยแนวทางในการกำจัดสารเคมีด้วยกระบวนการต่างๆ ในตาราง 8

ตาราง 8 ผลสรุปของแนวทางในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรด้วยกระบวนการต่างๆ ในกระบวนการผลิตน้ำสะอาด

กระบวนการ / สารเคมีทางการเกษตร	การรวมตะกอน	การกำจัดความกระด้าง	การดูดซับ	การฆ่าเชื้อโรค		
สารเคมีที่ใช้ในระบบประปา	สารส้ม $Al(SO_4)_3$	ปูนขาว $Ca(OH)_2$	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC)	ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (GAC)	ทรายเขียว (MnO_2)	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl)
สารพาราควอท	x	x	✓	✓	x	✓
สารคลอโรไพริฟอส	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ตาราง 8 (ต่อ)

กระบวนการ	การรวม ตะกอน	การ กำจัด ความ กระด้าง	การดูดซับ			การฆ่าเชื้อ โรค
สารเคมีทาง การเกษตร	สารส้ม Al(SO ₄) ₃	ปูนขาว Ca(OH) ₂	ถ่านกัม มันต์ ชนิดผง (PAC)	ถ่านกัม มันต์ ชนิดเกล็ด (GAC)	ทราย เขียว (MnO ₂)	โซเดียม ไฮโปคลอ ไรต์ (NaOCl)
สารเคมีที่ใช้ใน ระบบประปา						
สารอาหารอื่น	X	X	✓	✓	X	✓

หมายเหตุ: ✓ สามารถลดสารเคมีชนิดนั้นได้ X ไม่สามารถลดสารเคมีชนิดนั้นได้

การประเมินการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการต่างๆ เป็นสารเคมีชนิดอินทรีย์ด้วยการหาค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดหลังการทำปฏิกิริยา (Total organic carbon, TOC) แสดงในตาราง 9, 10, 11

ตาราง 9 ประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารคอกทในน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ

กระบวนการ	สารเคมี	ค่าความ เข้มข้น เริ่มต้น (มก./ล.)	สภาวะ ในการกำจัด (pH) , PQ : Chemical (ratio)	ความ เข้มข้นที่ เหลือในน้ำ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการลด สารเคมี (%)	ประสิทธิภาพ ในการลด TOC (%)
การรวม ตะกอน	สารส้ม	50	pH 3 1 : 0.4 (Wt/Wt)	49.61	0.79 %	N/A

ตาราง 9 (ต่อ)

กระบวนการ	สารเคมี	ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	สภาวะในการกำจัด (pH) , PQ : Chemical (ratio)	ความเข้มข้นที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการลดสารเคมี (%)	ประสิทธิภาพในการลด TOC (%)
การกำจัดความกระด้าง	ปูนขาว	50	pH 7 1 : 6 (Wt/Wt)	49.06	1.89 %	0 %
กระบวนการดูดซับ	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	50	pH 11 1 : 45 (Wt/Wt)	2.77	94.46 %	94.05 %
	ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด	50	pH 11 1 : 120 (Wt/Wt)	43.12	13.77 %	-
	ทรายเขียว	50	pH 7 1 : 6 (Wt/Wt)	49.85	0.30 %	0 %
การฆ่าเชื้อโรค	โซเดียมไฮโปคลอไรต์	50	pH 7 1 : 50 (Molar ratio)	40.54	18.92 %	19.17 %

ตาราง 10 ประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารคลอรีนไฟฟอสในน้ำ
เมื่อทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ

กระบวนการ	สารเคมี	ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	สภาวะในการกำจัด (pH), CH : Chemical (ratio)	ความเข้มข้นที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพในการลดสารเคมี (%)	ประสิทธิภาพในการลด TOC (%)
การรวมตะกอน	สารส้ม	30	pH 11 1 : 10 (W/W)	12.41	58.63 %	96.17 %
การกำจัดความกระด้าง	ปูนขาว	30	pH 11 1 : 10 (W/W)	24.02	19.92 %	N/A
กระบวนการดูดซับ	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	30	pH 7 1 : 75 (W/Wt)	4.19	86.03 %	96.17 %
	ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด	30	pH 11 1 : 200 (W/Wt)	21.13	29.56 %	-
	ทรายเขียว	30	pH 9 1 : 20 (W/Wt)	20.69	31.05 %	N/A
การฆ่าเชื้อโรค	โซเดียมไฮโปคลอไรต์	30	pH 7 1 : 1 (Molar ratio)	26.49	11.71 %	92.02 %

ตาราง 11 ประสิทธิภาพในการกำจัดและการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารอินในน้ำเมื่อทำ
ปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ

กระบวนการ	สารเคมี	ค่าความ เข้มข้น เริ่มต้น (มก./ล.)	สภาวะ ในการกำจัด (pH) , AZ : Chemical (ratio)	ความเข้มข้น ที่เหลือในน้ำ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ในการลด สารเคมี (%)	ประสิทธิ ภาพใน การลด TOC (%)
การรวม ตะกอน	สารส้ม	20	pH 7 1 : 15 (Wt/Wt)	20	0 %	29.52 %
การกำจัด ความกระด้าง	ปูนขาว	20	pH 7 1 : 15 (Wt/Wt)	20	0 %	15.08 %
กระบวนการ ดูดซับ	ถ่านกัม มันต์ ชนิดผง	20	pH 7 1 : 60 (Wt/Wt)	1.81	90.97 %	95.28 %
	ถ่านกัม มันต์ ชนิดเกล็ด	20	pH 3 1 : 300 (Wt/Wt)	18.69	6.56 %	-
	ทราย เขียว	20	pH 3 1 : 15 (Wt/Wt)	20	0 %	10.44 %
การฆ่า เชื้อโรค	โซเดียม ไฮโป คลอไรต์	20	pH 3 1 : 10 (Molar ratio)	12.75	36.27 %	60.16 %

จากตาราง 9, 10 และ 11 จะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์ในหน่วยกระบวนการดูดซับมี
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรได้ดี ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ทั้ง 2
ชนิด จะพบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรดีกว่า
ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารเคมีทาง
การเกษตรด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดเพิ่มเติม ซึ่งมีผลการทดลอง

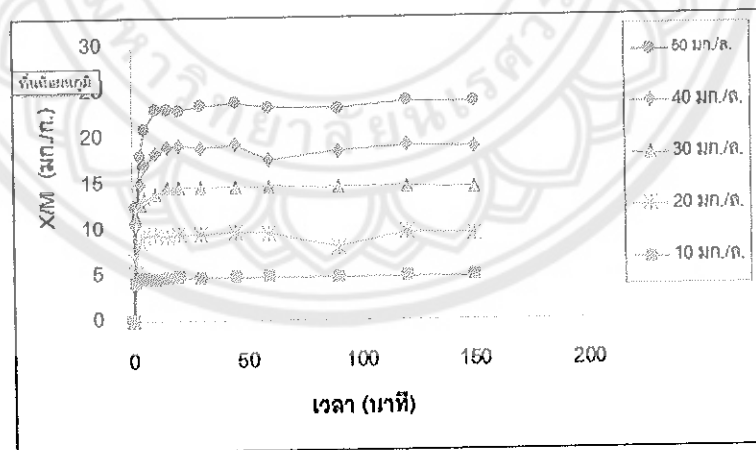
การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารเคมีทางการเกษตรด้วยถ่านกัมมันต์

1. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารพาราควอทด้วยถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดลองให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารพาราควอทในน้ำที่ความเข้มข้นในน้ำเริ่มต้น (Initial Concentration) ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งชนิดผง และชนิดเกล็ดในปริมาณ 2.25 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะในการกำจัด pH 11 และจะนำไปทวนผลสมด้วยเครื่อง Jar Test เป็นเวลา 360 นาที ทั้งนี้ เมื่อใส่ถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายที่มีสารพาราควอทในน้ำลงไปทวนผลสมกันเพื่อให้เกิดการสัมผัสและดูดซับกันระหว่างถ่านกัมมันต์และสารพาราควอท ความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำจะลดลงจากค่าความเข้มข้นเริ่มต้น เข้าสู่ค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุล (Equilibrium Concentration) ซึ่งจะพบว่าความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วนั่นเอง ทั้งนี้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ จะใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ซึ่งลักษณะการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ด จะแสดงตามลำดับดังนี้

1. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิด

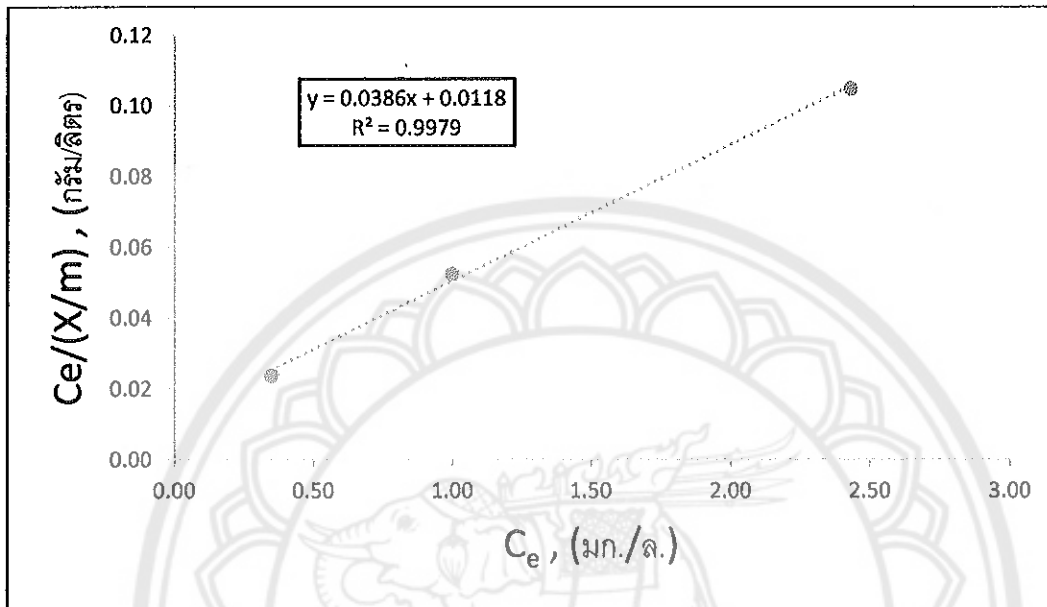
ผง



ภาพ 100 ลักษณะการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารพาราควอทในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง โดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

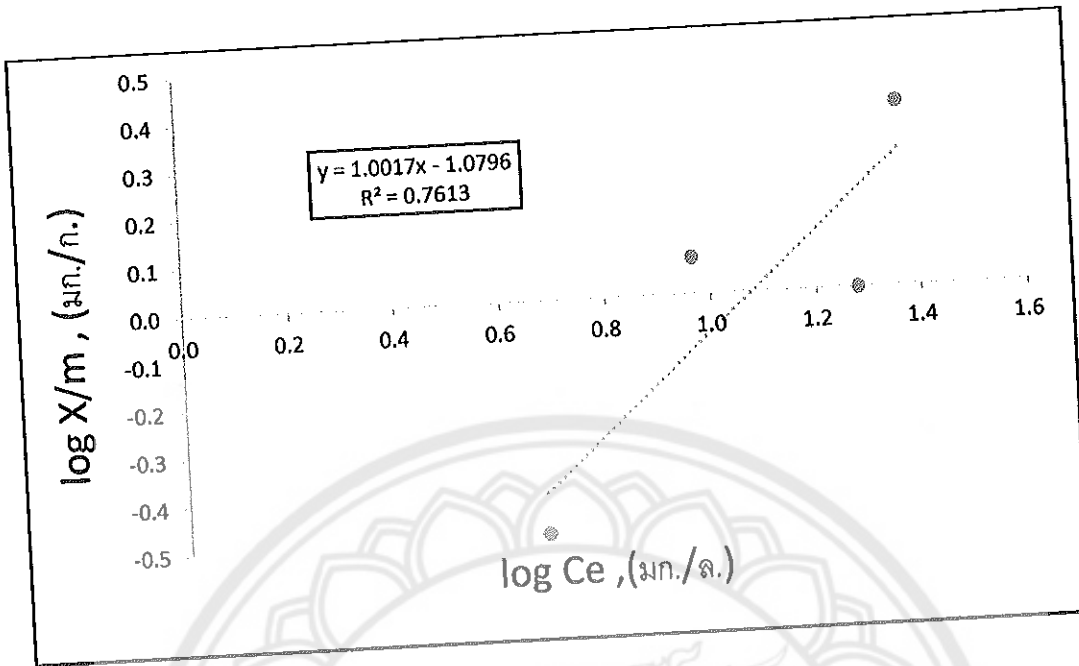
1.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 101 ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายพาราควอตในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารพาราควอตในน้ำที่จุดสมดุล (C_e) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายพาราควอตในน้ำที่สถานะสมดุลต่อปริมาณของสารพาราควอตที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดผง ($C_e/(X/m)$) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพที่ 101 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9979 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์ สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ 3.277 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 25.9067 มิลลิกรัมต่อกรัม

1.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบฟรุนดลิช



ภาพ 102 ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงใน
รูปแบบฟรอนดิช

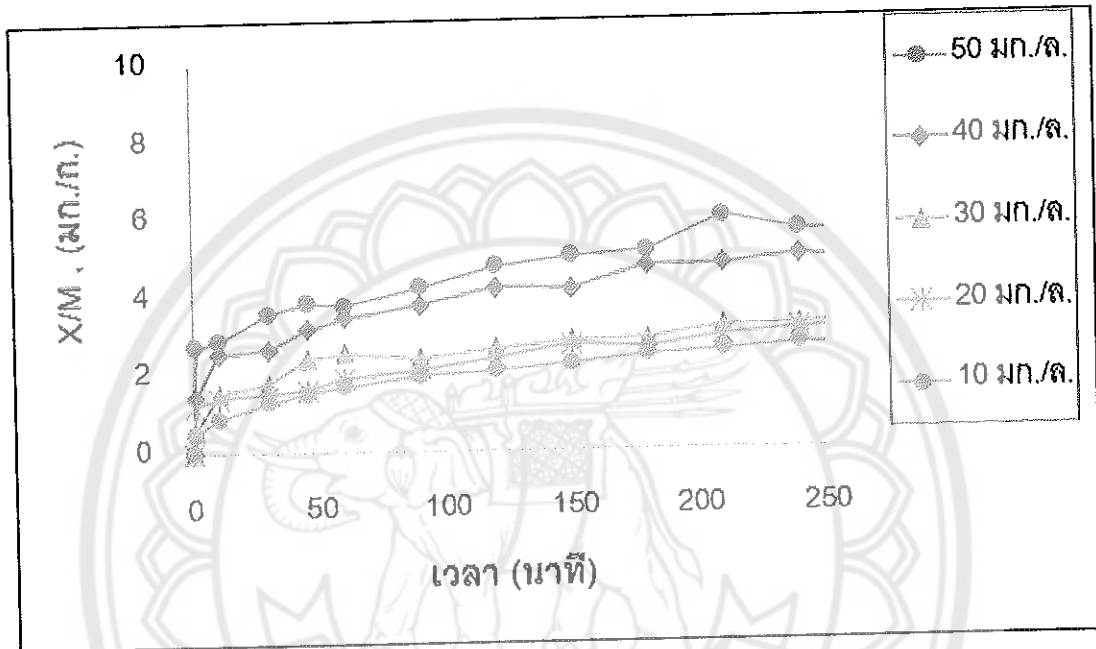
จากภาพ 102 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความ
แม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7613 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการฟรอนดิช สามารถนำมาหาค่าคงที่
ของฟรอนดิชได้เท่ากับ 0.0832 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความ
เข้มข้นของสารพาราควอต (n) มีค่าเท่ากับ 0.9983 จากการพิจารณา ค่า $1/n$ จะพบว่า มีค่าเท่ากับ
1.001 ซึ่งมีความมากกว่า 1 แสดงว่า การดูดซับจะถูกเรียกว่า cooperative เนื่องจากการทำงาน
ร่วมกันระหว่างโมเลกุลใหม่ใกล้พื้นผิว ทำให้ส่งเสริมการดูดซับ

ตาราง 12 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์
ชนิดผง

ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{84.746Ce}{1+3.271Ce}$	0.9979	$Q_0 = 25.9067$ $b = 3.2711$
ฟรอนดิช	$q_e = 0.083C_e^{1.002}$	0.7613	$K_F = 0.0833$ $n = 0.998$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของแลงเมียร์ มีค่าสูงกว่าไอโซเทอมของฟรุนดิช ดังนั้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Single Layer)

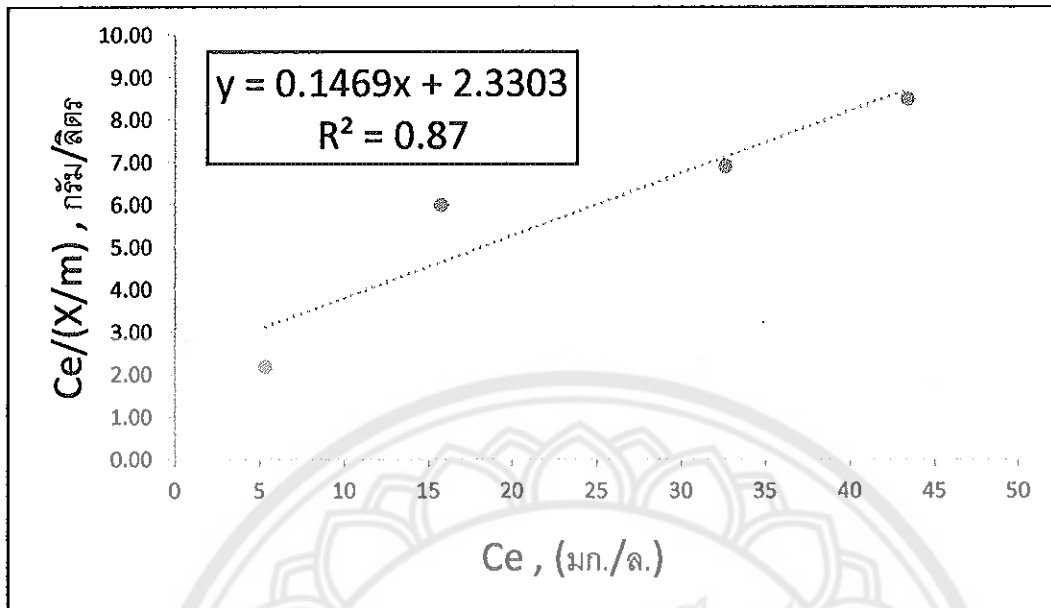
2. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารพาราควอตด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด



ภาพ 103 ลักษณะการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดโดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

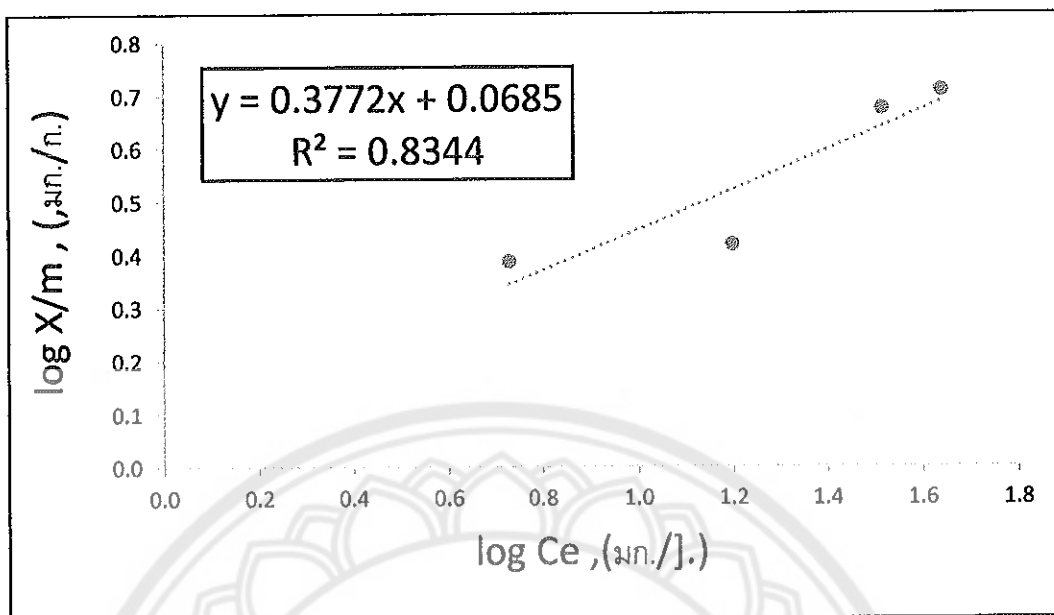
2.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 104 ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายพาราควอตในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารพาราควอตในน้ำที่จุดสมดุล (Ce) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายพาราควอตในน้ำที่สภาวะสมดุลต่อปริมาณของสารพาราควอตที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Ce/(X/m)) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพ 104 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงสัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7613 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ 0.0630 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 6.8073 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบฟรอนดิช



ภาพ 105 ไอโซเทอมการดูดซับสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบฟรอนดิช

จากภาพ 105 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความ
แม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.8311 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการฟรอนดิช สามารถนำมาหาค่าคงที่
ของฟรอนดิชได้เท่ากับ 1.1708 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความ
เข้มข้นของสารพาราควอต (n) มีค่าเท่ากับ 2.6511 จากการพิจารณาค่า $1/n$ จะพบว่า มีค่าเท่ากับ
0.3772 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

ตาราง 13 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิด
เกล็ด

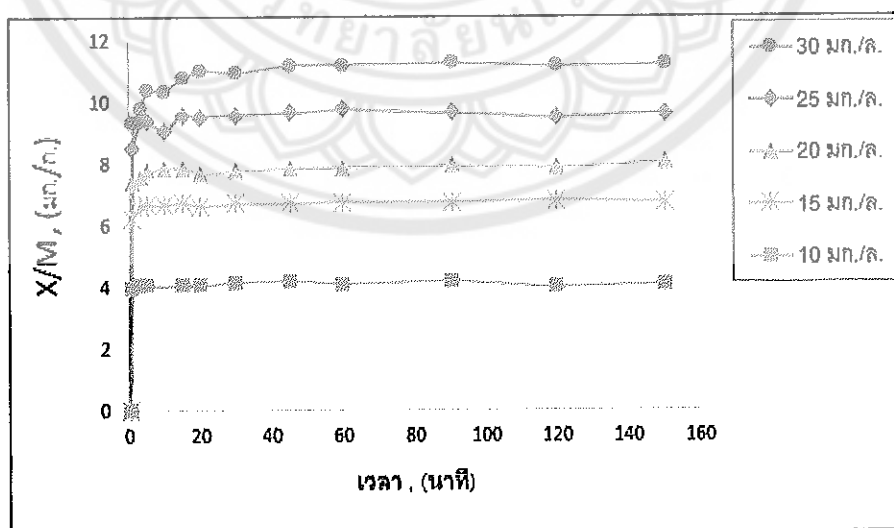
ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{0.429Ce}{1+0.063Ce}$	0.7613	$Q_0 = 6.8073$ $b = 0.063$
ฟรอนดิช	$q_e = 1.171C_e^{0.377}$	0.8344	$K_F = 1.1708$ $n = 2.6511$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารพาราควอตในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของฟรุนดิช มีค่าสูงกว่า ไอโซเทอมของแลงเมียร์ ดังนั้น เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multi Layer)

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอไพริฟอสด้วยถ่านกัมมันต์

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอไพริฟอสด้วยถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดลองให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำที่ความเข้มข้นในน้ำเริ่มต้น (Initial Concentration) ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งชนิดผง และ ชนิดเกล็ดในปริมาณ 2.25 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะในการกำจัด pH 7 และจะนำไปกวนผสมด้วยเครื่อง Jar Test เป็นเวลา 360 นาที ทั้งนี้ เมื่อใส่ถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายที่มีสารคลอไพริฟอสในน้ำลงไปกวนผสมกันเพื่อให้เกิดการสัมผัสและดูดซับกันระหว่างถ่านกัมมันต์และสารคลอไพริฟอสความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสในน้ำจะลดลงจากค่าความเข้มข้นเริ่มต้น เข้าสู่ค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุล (Equilibrium Concentration) ซึ่งจะพบว่าความเข้มข้นของคลอไพริฟอสในน้ำมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วนั่นเอง ทั้งนี้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ จะใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ซึ่งลักษณะการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ด จะแสดง ตามลำดับดังนี้

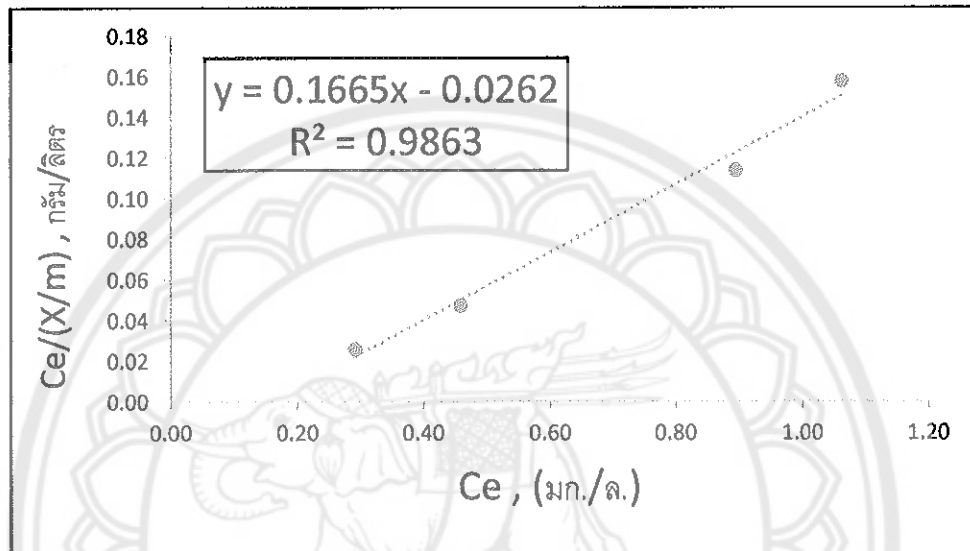
1. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอไพริฟอสด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง



ภาพ 106 ลักษณะการดูดซับสารคลอไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงโดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

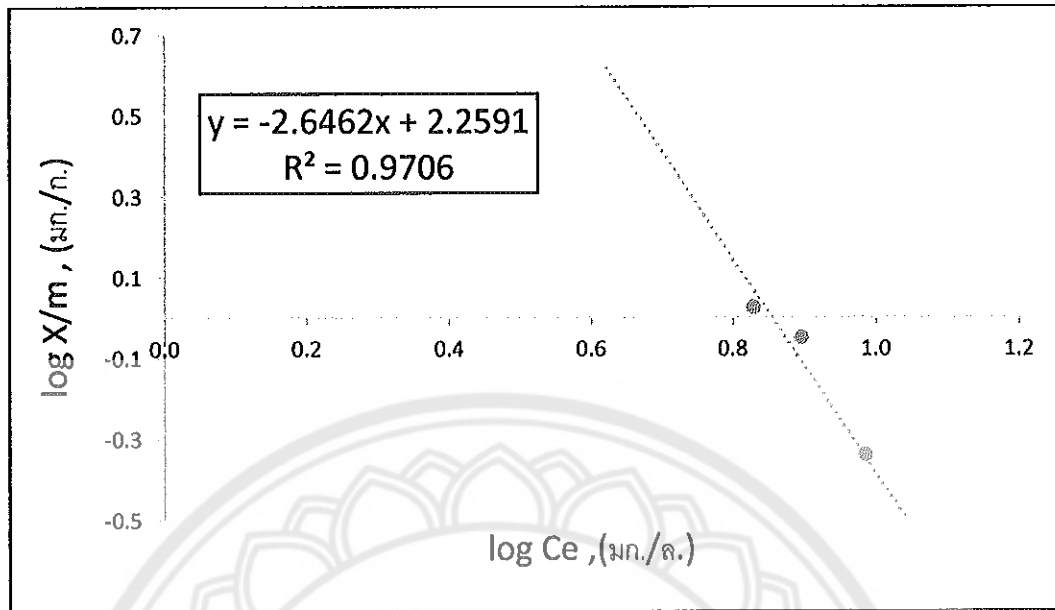
1.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 107 ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำที่จุดสมดุล (Ce) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำที่สภาวะสมดุลต่อปริมาณของสารคลอไร์ไฟรีฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Ce/(X/m)) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพ 107 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9863 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์ สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ -6.355 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 6.006 มิลลิกรัมต่อกรัม

1.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไร์ไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบฟรุนดลิช



ภาพ 108 ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไรไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง
ในรูปแบบฟรอนดิช

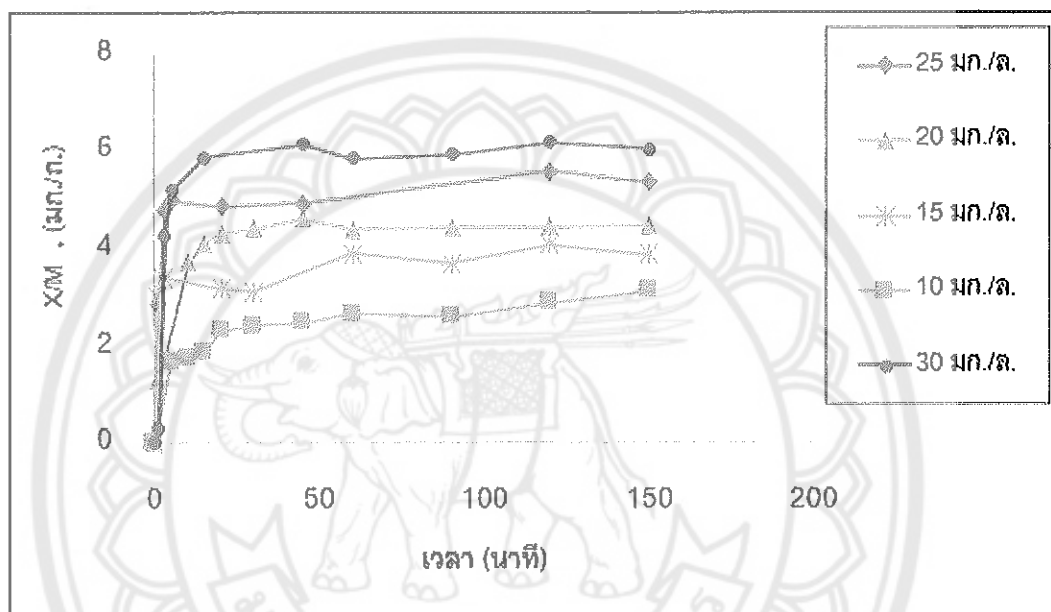
จากภาพ 108 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9956 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการฟรอนดิช สามารถนำมาหาค่าคงที่ของฟรอนดิชได้เท่ากับ 181.5934 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความเข้มข้นของสารพาราควอท (n) มีค่าเท่ากับ -0.3779 จากการพิจารณาว่า $1/n$ จะพบว่า มีค่าเท่ากับ -2.64 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

ตาราง 14 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคลอไรไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{-38.168C_e}{1-6.355C_e}$	0.9863	$Q_0 = 6.006$ $b = -6.355$
ฟรอนดิช	$q_e = 181.593C_e^{-2.646}$	0.9956	$K_f = 181.5934$ $n = -0.3779$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคลอรีนไฟรฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของฟรุนดิช มีค่าสูงกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ ดังนั้น เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multi Layer)

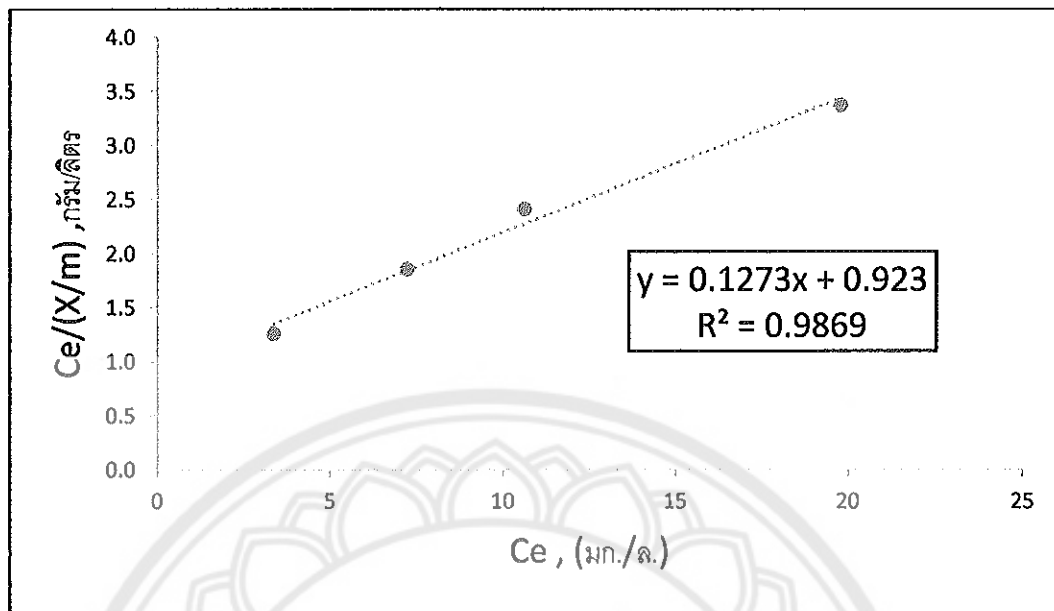
2. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอรีนไฟรฟอสด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด



ภาพ 109 ลักษณะการดูดซับสารคลอรีนไฟรฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารคลอรีนไฟรฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดโดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

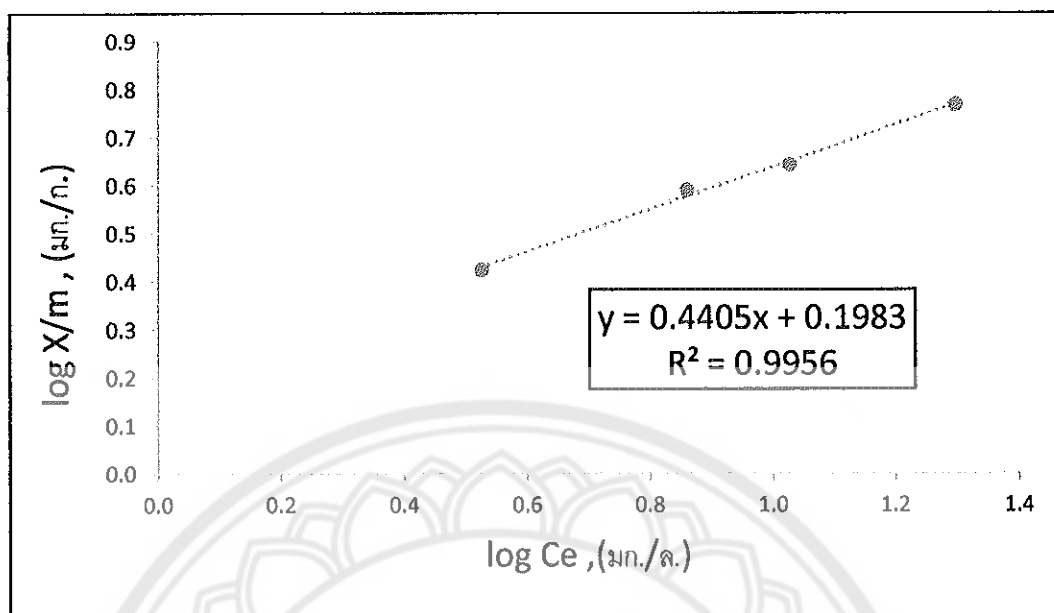
2.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอรีนไฟรฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 110 ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไรไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไรไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอไรไฟรีฟอสในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารพาราควอตในน้ำที่จุดสมดุล (Ce) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอไรไฟรีฟอสในน้ำที่สภาวะสมดุลต่อปริมาณของสารคลอไรไฟรีฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Ce/(X/m)) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพ 110 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9869 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์ข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ 0.1379 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 7.855 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารคลอไรไฟรีฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบฟรุนดลิช



ภาพ 111 ไอโซเทอมการดูดซับสารคลอโรไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบพหุนาม

จากภาพ 111 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9956 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการพหุนาม สามารถนำมาหาค่าคงที่ของพหุนามได้เท่ากับ 1.5787 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความเข้มข้นของสารพาราควอต (n) มีค่าเท่ากับ 2.2701 จากการพิจารณาค่า $1/n$ จะพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.4405 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

ตาราง 15 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคลอโรไพริฟอสในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

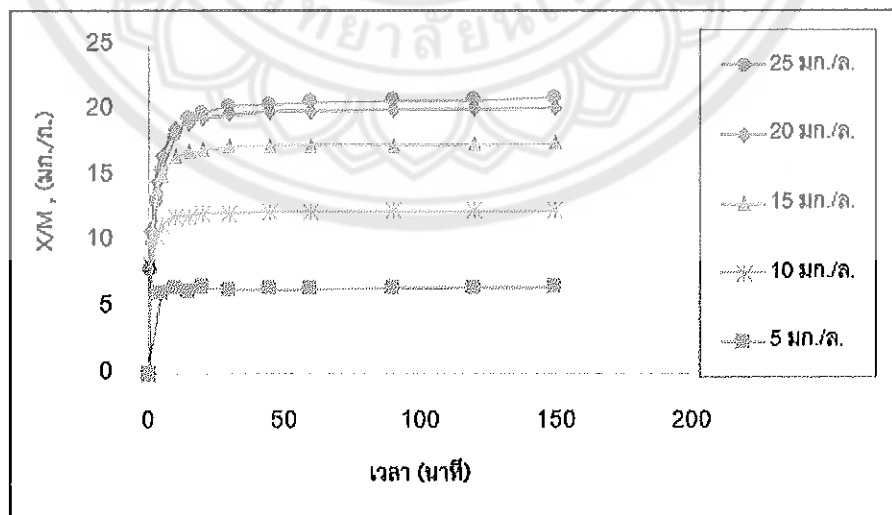
ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{1.083C_e}{1+0.138C_e}$	0.9869	$Q_0 = 7.8555$ $b = 0.1379$
พหุนาม	$q_e = 1.579C_e^{0.441}$	0.9956	$K_F = 1.5787$ $n = 2.2701$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารคอลลอยด์ไฟรฟอสในน้ำด้วย ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของฟรุนดลิช มีค่าสูงกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ดังนั้น เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multi Layer)

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดลองให้ ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารอาหารซีในน้ำที่ความเข้มข้นในน้ำเริ่มต้น (Initial Concentration) ที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งชนิดผง และ ชนิดเกล็ดในปริมาณ 1.2 กรัม ต่อลิตร ที่สภาวะในการกำจัด pH 7 และจะนำไปกรองผสมด้วยเครื่อง Jar Test เป็นเวลา 360 นาที ทั้งนี้ เมื่อใส่ถ่านกัมมันต์ลงในสารละลายที่มีสารอาหารซีในน้ำลงไปจนผสมกันเพื่อให้เกิดการ สัมผัสและดูดซับกันระหว่างถ่านกัมมันต์และสารอาหารซีความเข้มข้นของสารอาหารซีในน้ำจะ ลดลงจากค่าความเข้มข้นเริ่มต้น เข้าสู่ค่าความเข้มข้นที่จุดสมดุล (Equilibrium Concentration) ซึ่งจะพบว่าความเข้มข้นของอาหารซีในน้ำมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วนั่นเอง ทั้งนี้ในการศึกษา ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ จะใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัม มันต์ชนิดผง และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ซึ่งลักษณะการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิดผงและชนิดเกล็ด จะแสดง ตามลำดับดังนี้

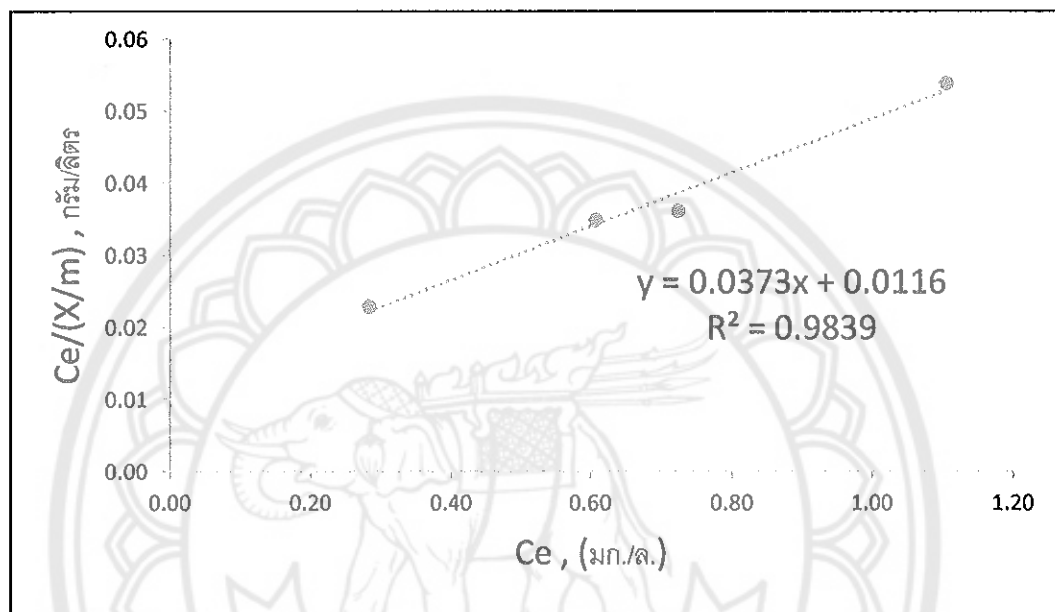
1. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง



ภาพ 112 ลักษณะการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง โดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

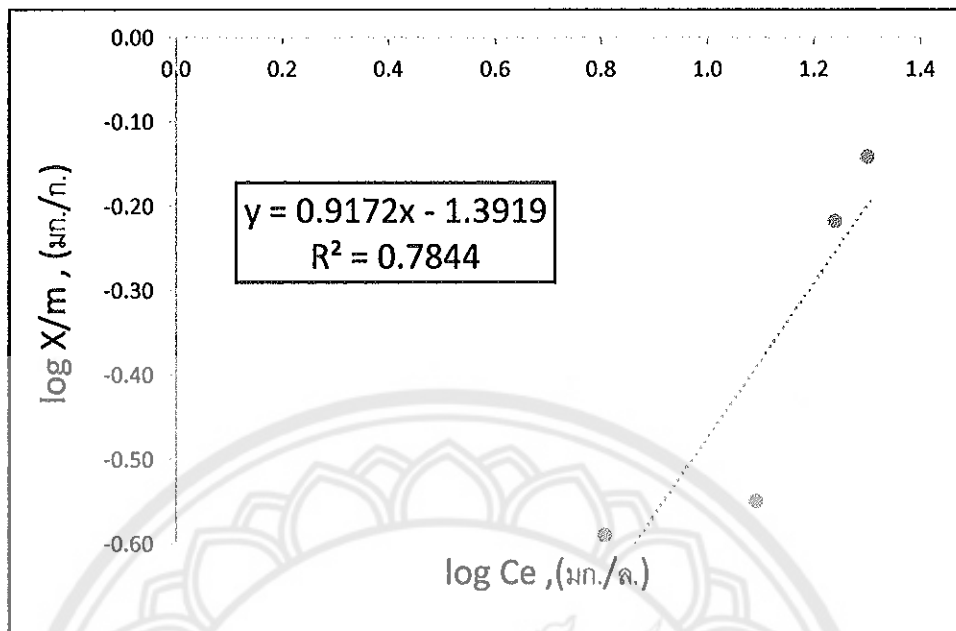
1.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 113 ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารซีในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารอาหารซีในน้ำที่จุดสมดุล (Ce) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารซีในน้ำที่สถานะสมดุลต่อปริมาณของสารอาหารซีที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Ce/(X/m)) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพที่ 113 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9839 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์ สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ 3.2155 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 26.8097 มิลลิกรัมต่อกรัม

1.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผงในรูปแบบฟรุนดลิช



ภาพ 114 ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง
ในรูปแบบฟรอนดิช

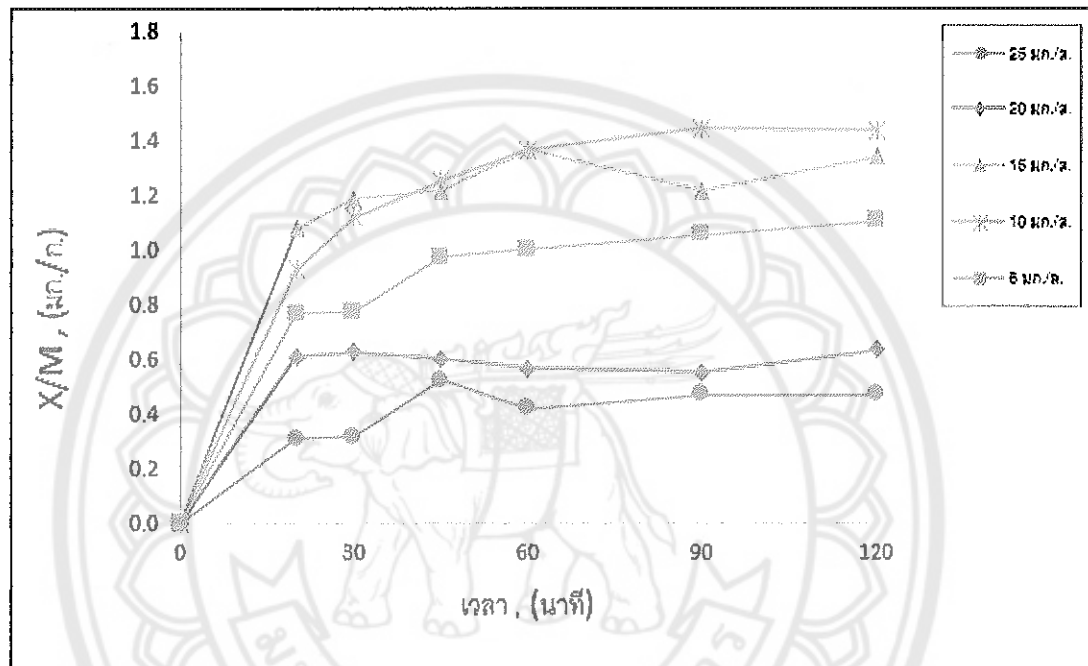
จากภาพ 114 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7844 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการฟรอนดิช สามารถนำมาหาค่าคงที่ของฟรอนดิชได้เท่ากับ 0.0406 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความเข้มข้นของสารพาราควอต (n) มีค่าเท่ากับ 1.0903 จากการพิจารณาค่า $1/n$ จะพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.9172 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

ตาราง 16 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{86.207Ce}{1+3.216Ce}$	0.9839	$Q_0 = 26.8097$ $b = 3.2155$
ฟรอนดิช	$q_e = 0.041C_e^{0.441}$	0.7844	$K_F = 0.0406$ $n = 1.0903$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของแลงเมียร์ มีค่าสูงกว่าไอโซเทอมของฟรุนดิซ ดังนั้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Single Layer)

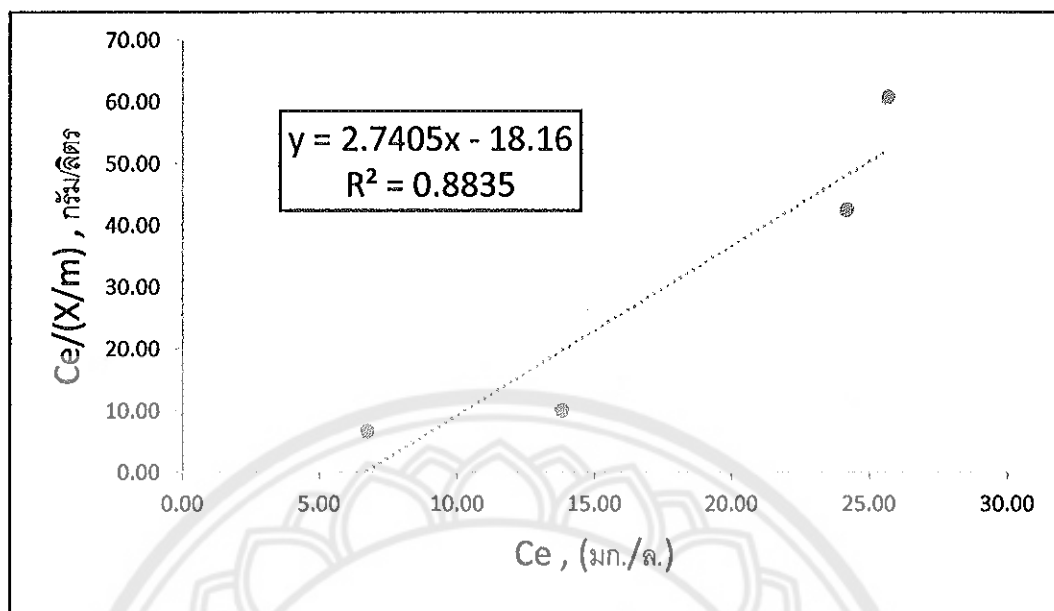
2. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารอาหารขึ้นด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด



ภาพ 115 ลักษณะการดูดซับสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

ทั้งนี้ จากการศึกษาลักษณะการดูดซับสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด โดยใช้สมการไอโซเทอมทั้ง 2 รูปแบบ จะแสดงผลดังนี้

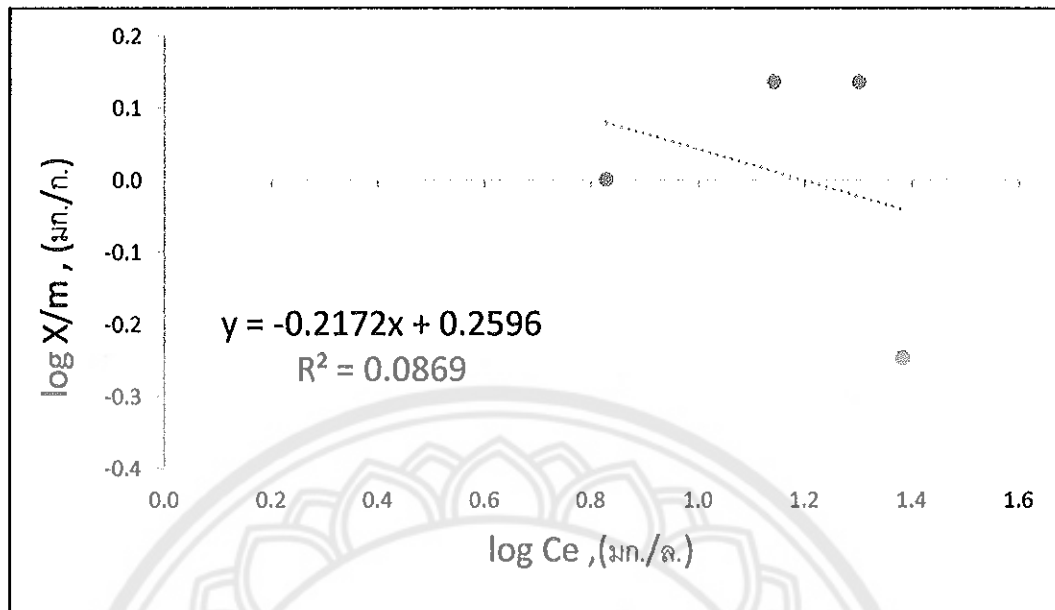
2.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์



ภาพ 116 ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบแลงเมียร์

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบแลงเมียร์ โดยการนำค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารซีในน้ำที่เหลือหลังการดูดซับสารอาหารซีในน้ำที่จุดสมดุล (Ce) และ ค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารซีในน้ำที่สถานะสมดุลต่อปริมาณของสารอาหารซีที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Ce/(X/m)) มาอธิบายเป็นกราฟ ดังภาพ 116 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.8835 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการแลงเมียร์ข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาค่าคงที่ของแลงเมียร์ได้เท่ากับ -0.151 และค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับได้เท่ากับ 0.3649 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซีในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในรูปแบบฟรอนดิช



ภาพ 117 ไอโซเทอมการดูดซับสารอาหารซึนในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด
ในรูปแบบฟรอนดิช

จากภาพ 117 จะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์ค่าความแม่นยำ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0869 ซึ่งเข้าใกล้ 1 และจากสมการฟรอนดิช สามารถนำมาหาค่าคงที่ของฟรอนดิชได้เท่ากับ 1.818 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่ถดถอยแสดงการขึ้นตรงกับค่าความเข้มข้นของสารพาราควอด (n) มีค่าเท่ากับ -4.604 จากการพิจารณาค่า $1/n$ จะพบว่า มีค่าเท่ากับ -0.2172 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีแรงดึงดูดต่อกัน

ตาราง 17 สรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาหารซึนในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด

ไอโซเทอม	สมการ	R^2	ค่าคงที่
แลงเมียร์	$q_e = \frac{-0.055C_e}{1-0.151C_e}$	0.8835	$Q_0 = 0.3649$ $b = -0.1509$
ฟรอนดิช	$q_e = 1.818C_e^{-0.217}$	0.0869	$K_f = 1.818$ $n = -4.604$

จากตารางสรุปผลการทดสอบไอโซเทอมของสารอาหารขึ้นในน้ำด้วยถ่าน
กัมมันต์ชนิดเกล็ด พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ (R^2) จากไอโซเทอมของแลงเมียร์ มีค่าสูง
กว่าไอโซเทอมของฟรุนดิช ดังนั้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Single Layer)



บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตร สามารถสรุปประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรได้ดังนี้

1. การประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรในหน่วยการผลิตน้ำประปา

1.1 กระบวนการรวมตะกอน

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม จะสามารถกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ค่อนข้างดี เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 11 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ร้อยละ 58.63 แต่ไม่สามารถกำจัดสารพาราควอทและสารอาหารขึ้นได้

1.2 กระบวนการกำจัดความกระด้าง

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการกำจัดความกระด้างโดยใช้ปูนขาว จะสามารถกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 11 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ร้อยละ 19.92 แต่ไม่สามารถกำจัดสารพาราควอทและสารอาหารขึ้นได้เลย

1.3 กระบวนการดูดซับ

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการดูดซับโดยใช้ทรายเขียว จะสามารถกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 9 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสได้ร้อยละ 31.05 แต่ไม่สามารถกำจัดสารพาราควอทและสารอาหารขึ้นได้เลย

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการดูดซับที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง จะสามารถกำจัดสารเคมีทั้งสามชนิดได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 11 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารพาราควอทในน้ำได้ร้อยละ 94.46

2. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอรีนไฟรฟอสในน้ำได้ร้อยละ 86.03

3. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารซีเอ็นในน้ำได้ร้อยละ 90.67

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการดูดซับที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจะสามารถกำจัดสารเคมีทั้งสามชนิดได้เช่นเดียวกันกับถ่านกัมมันต์ชนิดผง แต่มีประสิทธิภาคน้อยกว่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 11 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารพาราควอตในน้ำได้ร้อยละ 13.77

2. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ร้อยละ 29.56

3. เมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารซีเอ็นในน้ำได้ร้อยละ 6.56

1.4 กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยไฮเดียมไฮโปคลอไรต์

จากผลการทดลองทั้งหมด กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยไฮเดียมไฮโปคลอไรต์จะทำให้สามารถกำจัดสารเคมีทั้งสามชนิดได้ โดยแนวทางในการปรับปรุงคือ

1.4.1 หากต้องการกำจัดสารพาราควอต ให้ใช้อัตราส่วนของสารพาราควอตในน้ำต่อไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:50 (Molar ratio) โดยเมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งจะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารพาราควอตได้ร้อยละ 18.92

1.4.2 หากต้องการกำจัดสารคลอร์ไพริฟอส ให้ใช้อัตราส่วนของสารคลอร์ไพริฟอสในน้ำต่อไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:1 (Molar ratio) โดยเมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งจะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารคลอร์ไพริฟอสได้ร้อยละ 11.71

1.4.3 หากต้องการกำจัดสารอาหารซีเอ็น ให้ใช้อัตราส่วนของสารอาหารซีเอ็นในน้ำต่อไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ ในอัตราส่วน 1:10 (Molar ratio) โดยเมื่อปรับพีเอชของน้ำให้มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งจะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารซีเอ็นได้ร้อยละ 36.28

2. การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารเคมีทางการเกษตรด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด

จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารเคมีทางการเกษตรด้วยถ่านกัมมันต์สามารถสรุปประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรได้ดังนี้

2.1 ไอโซเทอมของการดูดซับสารพาราควอต ไม่ว่าจะใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง หรือชนิดเกล็ดก็ตาม ลักษณะการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Singer Layer)

2.2 ไอโซเทอมของการดูดซับสารคลอโรไฟรฟอส หากใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการดูดซับ ลักษณะการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Singer Layer) แต่หากใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดในการดูดซับ ลักษณะการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multi Layer)

ข้อเสนอแนะ

หากต้องการให้ระบบผลิตน้ำประปามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนมา อาจจะต้องปรับปรุงใช้ 2 กระบวนการร่วมกันได้ คือ อาจมีการปรับพีเอชตามข้อสรุปข้างต้น โดยปรับพีเอชในกระบวนการดูดซับและกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ทั้ง 2 หน่วยในการผลิตน้ำประปา เพื่อให้การกำจัดสารเคมีทางการเกษตรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ หากต้องการใช้สารเคมีที่ใช้ในระบบประปาให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรให้ได้ อาจจะต้องทราบชื่อสารเคมีทางการเกษตรที่ปนเปื้อนมาในแหล่งน้ำดิบก่อนการศึกษาอื่นๆ เพราะจากสภาวะทางด้านบนที่กล่าวมาแล้ว ในการกำจัดสารเคมีทางการเกษตรแต่ละชนิดมีสภาวะที่แตกต่างและมีอัตราส่วนของสารเคมีทางการเกษตรต่อสารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตประปาในแต่ละกระบวนการที่แตกต่างกันด้วย



บรรณานุกรม

วรางคณา สังกิติสวัสดิ์, (2545). การประปา (พิมพ์ครั้งที่2). ขอนแก่น:มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มันสิน ตันทุลเวศม์, (2542). วิศวกรรมการประปา เล่ม1 (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ:

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันทุลเวศม์, (2542). วิศวกรรมการประปา เล่ม2 (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ:

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทวีศักดิ์ วังไพศาล, (2554). วิศวกรรมการประปา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยวัฒน์ ไพริทอง. (2554) วิศวกรรมประปาและสุขาภิบาล. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ทศพล พรพรม. (2554). สารป้องกันกำจัดวัชพืช: หลักการและกลไกการทำลายพืช (พิมพ์ครั้งที่

2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

ดร.ดำริห์ รุ่งสุข (2543). สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์. เชียงใหม่:

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล. (2557). นาโนเทคโนโลยีเพื่อสิ่งแวดล้อม. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัย

นเรศวร.