การกำจัดพาราควอทด้วยกระบวนการดูดติดผิว

นางไมตรี พระประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974 - 568 - 731 - 6

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014394

เทศ ๓๐๔๒๔

THE PARAQUAT REMOVAL BY ADSORPTION PROCESS

Mrs.Maitree Phraprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for The Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974 - 568 - 731 - 6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดพยาธิควอทด้วยกระบวนการดูดติดผิว
โดย	นางไมตรี พระประเสริฐ
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การกำจัดพาราควอทด้วยระบบการดูดติดผิว

ชื่อ นางไมตรี พระประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับแนวโน้มการกำจัดพาราควอทในน้ำด้วยวิธีการดูดติดผิวด้วยอนุภาคดินเหนียว ชนิดของดินที่ใช้คือ ดินเบนโทไนท์จากบริษัท ไอยีไอ เอเชียติก (เกษตร) ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น และดินแกลลีออนเอิร์ธ ทำการทดลองแบบแบทช์ด้วยเครื่องมือจาร์เทสต์ ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมพีเอช และความเข้มข้นของสารเคมี น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองทุกครั้งสังเคราะห์ขึ้นจากสารละลายสต๊อกพาราควอทที่ยังไม่ได้เติมสี กำหนดให้มีความเข้มข้นของพาราควอทเท่ากับ 100, 200, 300, 500, 1000 และ 2000 ส่วนล้าน ผลการทดลองพบว่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดติดผิวของดินเหนียวทั้ง 3 ชนิด ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นเดียวกันจะแปรตามปริมาณของดินที่เติมขึ้น องค์ประกอบของแร่ในดินมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทโดยดินที่มีแร่มอนท์โมริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบสูงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดี ทั้งนี้การกำจัดพาราควอทของดินจะเกิดจากกลไกการแลกเปลี่ยนประจุ และการดูดติดผิว ดินเบนโทไนท์ซึ่งเป็นดินที่มีแร่มอนท์โมริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบสามารถกำจัดพาราควอทอย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นของดินที่ใช้ในการกำจัดพาราควอท 100, 300 และ 500 ส่วนล้าน คือ 2,000, 3,000 และ 6,000 มก/ลบดม ตามลำดับ สำหรับการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 ส่วนล้าน จะต้องใช้ดินในอัตรา 20 กรัมดิน/กรัมพาราควอท ถ่านแอ็กทิเวตเต็ดคาร์บอนกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่ำได้ดีและเหมาะสำหรับการกำจัดพาราควอทหลังจากผ่านการกำจัดขั้นต้นโดยใช้ดินเหนียวมาแล้ว ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านแอ็กทิเวตเต็ดคาร์บอนมีค่า 0.03 กรัมพาราควอท/กรัมถ่าน

Thesis Title The Paraquat Removal by Adsorption Process

Name Mrs Maitree Phraprasert

Thesis Advisor Associate Professor Thongchai Panswad, Ph.D.

Department Sanitary Engineering

Academic Year 1987

ABSTRACT

This research was a study of the removal potential of paraquat from water by an adsorption process. Chemicals used in the experiments were bentonite from ICI Asiatic (Agriculture), bentonite from Japan and galleon earth. Jar tests were performed under various controlling conditions of pH levels and at different clay concentrations. In all experiments, raw water was synthesized from a stock paraquat solution (without dye addition) to form blue colour and was preset to have constant paraquat concentrations of 100, 200, 300, 500, 1,000 and 2,000 ppm. It was found that pH was an insignificant parameter in controlling paraquat removal and the efficiency of paraquat removal varied as the clay concentration. The type of mineral in clay was an important parameter controlling the efficiency of paraquat removal. Montmorillonite was the most suitable clay type for paraquat removal. Two different mechanism of paraquat removal were expected, i.e., cation exchange and adsorption. Clay dosages for removal of paraquat with concentration of 100, 300 and 500 ppm were 2,000, 3,000 and 6,000 mg/l, respeatively. The dosage for removing paraquat at the concentration over 500 ppm, was determined by using the removal capacity of 0.05 gram paraquat/gram clay. Activated carbon was most processing at low paraquat concentration, with removal capacity of 0.03 gram paraquat/gram activated carbon.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทั้ง 3 ท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวีจิตไมตรี รองศาสตราจารย์ ไพฑูรณ์ พรประภา และรองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช ที่ท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์และข้อมูลของสารกำจัดศัตรูพืช

ขอขอบคุณ คุณภาคภูมิ จรรยหาญ ผู้จัดการบริษัทไอซีไอ เอเชียติก (เกษตร) ที่ให้ความอนุเคราะห์ ดิน และสารเคมี ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณเพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ คุณประเสริฐ เขียวพิมพา ที่ช่วยส่งเคราะห์ดินโดยวิธีเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น

ขอขอบคุณ คุณอัจฉรา มโนเวชพันธ์ และ คุณสุมาลี เดชโชพลชัย ที่กรุณาช่วยตรวจทานรูปเล่มของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณ บุพการีซึ่งได้ส่งเสริมสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณ คุณพรเลิศ พระประเสริฐ ที่เป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจวบจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ทั่วไป 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

2 ทบทวนเอกสาร 4

2.1 พาราควอท 4

2.1.1 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของพาราควอท 4

2.1.2 คุณสมบัติในการกำจัดวัชพืชของพาราควอท 6

2.1.3 การแพร่กระจายของพาราควอทในสิ่งแวดล้อม 8

2.1.4 การแพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืช 9

2.1.4.1 พาราควอทในน้ำ 9

2.1.4.2 พาราควอทในดิน 12

2.1.4.3 พาราควอทในผัก ผลไม้ และน้ำนมวัว.. 12

2.1.5 ผลของพาราควอท 13

2.1.5.1 ผลของพาราควอทต่อมนุษย์ 13

2.1.5.2 ผลของพาราควอทต่อสัตว์บก 15

2.1.5.3 ผลของพาราควอทต่อปลาและสัตว์น้ำ... 15

2.1.5.4 ผลของพาราควอทต่อการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ 20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.1.5.5 ผลของพืชคลุมดินต่อจุลินทรีย์ในดิน	22
	2.1.6 การสลายตัวของพืชคลุมดิน	22
	2.1.6.1 การเปลี่ยนแปลงโดยสิ่งไม่มีชีวิต	22
	2.1.6.2 การเปลี่ยนแปลงโดยสิ่งมีชีวิต	24
2.2	แร่ดินเหนียว	25
	2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของแร่ดินเหนียวซิลิเกต (Silicate clays)	25
	2.2.1.1 รูปร่างและขนาดของแร่ดินเหนียวซิลิเกต	26
	2.2.1.2 พื้นที่ผิว (Surface area)	27
	2.2.1.3 ความเหนียว (cohesion) และอ่อนตัว (plasticity)	28
	2.2.1.4 การขยายตัว (Swelling) และการหดตัว (shrinking)	28
	2.2.1.5 ประจุลบ (electro negative charge) และการดูดยึดไอออนบวก (adsorption of cations)	28
	2.2.1.6 โครงสร้างและชนิดของดินเหนียวซิลิเกต (Silicate clays)	29
	2.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแร่มอนท์โมริลโลไนท์	31
	2.2.3 การดูดติดผิว (adsorption) ของดิน	33
	2.2.4 การแลกเปลี่ยนประจุหรือไอออน (cation exchange capacity)	33
	2.2.4.1 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนในดิน	34
	2.2.5 ที่มาของประจุลบในดินเหนียวซิลิเกต	35
	2.2.6 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity) (C.E.C.))...	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	2.2.7 ซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential) ของดินเหนียวซิลิเกต	38
	2.2.8 ปนิดของดินเหนียวซิลิเกตที่พบในประเทศไทย	38
	2.3 การดูดติดผิวด้วยผงถ่าน	40
	2.3.1 การดูดติดผิวของถ่านแอ็กทิเวตเต็ดคาร์บอน	40
3	แผนงานและการดำเนินการวิจัย	49
	3.1 แผนการทดลองและวิจัย	49
	3.1.1 การทดลองระยะที่ 1	49
	3.1.1.1 คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการกำจัดพาราควอท	52
	3.1.2 การทดลองระยะที่ 2	59
	3.2 การดำเนินการวิจัย	60
	3.2.1 การเตรียมสารกำจัดพาราควอทและน้ำสังเคราะห์ สำหรับการวิจัย	60
	3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
	3.2.3 วิธีการทดลอง	65
	3.2.3.1 การเตรียม Titration Curve	65
	3.2.3.2 การทดลองระยะที่ 1	65
	3.2.3.3 การทดลองระยะที่ 2	66
	3.2.3.4 การเตรียมน้ำสังเคราะห์สำหรับการวิจัย	66
4	ผลการทดลอง	67
	4.1 วิธีวิเคราะห์พาราควอท	67
	4.2 สารละลายพาราควอท	67
	4.2.1 สารละลายมาตรฐานพาราควอท	67
	4.2.2 ความเข้มข้นพาราควอทที่ใช้ในการทดลอง	68
	4.2.3 สารละลายพาราควอทที่ใช้ในการทดลอง	69
	4.3 การกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินประเภทต่าง ๆ	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
4	4.3.1	การกำจัดพาราควอทด้วยดินเบนโทไนท์ (ไอ-ไอ)	69
	4.3.2	การกำจัดพาราควอทด้วยดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	78
	4.3.3	การกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินแกลลีออน	87
	4.3.4	การเปรียบเทียบการกำจัดโดยใช้ดินประเภทต่าง ๆ	95
	4.3.5	การกำจัดพาราควอทโดยใช้เกล็ดถ่านเอชี	100
5	วิจารณ์ผลการทดลอง		109
	5.1	วิธีการวิเคราะห์พาราควอท	109
	5.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดพาราควอทของดิน	113
	5.3	การกำจัดพาราควอทโดยถ่านเอชี	115
	5.4	ขั้นตอนที่เหมาะสมในการกำจัดพาราควอท	116
6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		118
	6.1	สรุปผลการทดลอง	118
	6.2	ข้อเสนอแนะ	119
เอกสารอ้างอิง			120
ภาคผนวก			123
	ภาคผนวก ก		124
	ภาคผนวก ข		128
	ภาคผนวก ค		131
	ภาคผนวก ง		167
ประวัติผู้เขียน			168

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แนวโน้มของความสามารถในการละลาย (Solubility) ของพาราควอทไดคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 20°ซ	6
2.2	อัตราการใช้พาราควอทไดคลอไรด์ในการกำจัดวัชพืช	8
2.3	ปริมาณพาราควอทที่เหลือในพืชน้ำและดินใต้แม่น้ำ	11
2.4	ผลการทดลองการดูดติดผิวพาราควอทของดินชนิดต่าง ๆ	12
2.5	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) ของพาราควอทต่อสัตว์น้ำ	16
2.6	ปริมาณไดควอทและพาราควอทที่พบในเนื้อเยื่อของปลาเทรา (trout) เมื่อให้พาราควอทและไดควอทในปริมาณ 1 ส่วนล เป็นเวลา 7 วัน	19
2.7	ผลการทดลองใช้น้ำที่มีไดควอทในการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ	21
2.8	ประเภทของโครงสร้างในดินซิลิเกตชนิดต่าง ๆ	26
2.9	พื้นที่ผิวของดินเหนียวประเภทต่าง ๆ	27
2.10	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของแร่มอนท์โมริลโลไนท์	32
2.11	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (C.E.C.) ของดินเหนียวโดยทั่วไป	37
2.12	ชนิดของดินเหนียวซิลิเกต ที่ตรวจพบในดินตัวอย่างที่เก็บจากภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย (Identification of silicate clay minerals in the clay fraction (<2μ) of Soils in Thailand)	39
2.13	แสดงความสามารถของคาร์บอนในการดูดสารไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ..	42
2.14	ผลของความเป็นกรด-ด่าง ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) ของพาราควอท	45
2.15	ผลของเวลาสัมผัส (contact time) และปริมาณคาร์บอนในการกำจัดพาราควอทและไดควอทในน้ำ	46

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของอนุมูลพาราควอท	4
2.2	ปฏิกิริยาการผลิตพาราควอท	5
2.3	อนุมูลอิสระในพาราควอท	6
2.4	ขบวนการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	7
2.5	ทิศทางการแพร่กระจายของสารกำจัดวัชพืช	9
2.6	กราฟแสดงอัตราการลดลงของพาราควอทและไดควอท	10
2.7	แสดงกลไกของผลจากพาราควอทที่มีต่อมนุษย์และสัตว์	14
2.8	การสะสมและการลดลงของไดควอทของปลา Rainbow trout ที่มีความเข้มข้นของสารละลายไดควอท 1 ppm	20
2.9	การเปลี่ยนแปลงของพาราควอทเมื่อได้รับแสงอุตราไวโอเลต	23
2.10	โครงสร้างของแร่ดินขาว (Kaolinite)	
2.11	ผลึกของดินขาว (Kaolinite) ถ่ายจากกล้อง electromicroscope	29
2.12	โครงสร้างของแร่มอนท์โมริลโลไนท์	
2.13	ผลึกของดินมอนท์โมริลโลไนท์จากกล้อง electromicroscope	30
2.14	ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการกำจัดพาราควอทโดยใช้โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนส ($KMnO_4$)	44
3.1	การวิเคราะห์องค์ประกอบดินเบนโทไนท์จากไอซีไอโดยวิธี x-ray diffraction	54
3.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่นโดยวิธี x-ray diffraction	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.3	การวิเคราะห์องค์ประกอบดินแกลสออนเอิร์ท โดยวิธี x-ray diffraction	56
3.4	การดูดยึดโมเลกุลที่เป็นโพลาของดินมอนท์โมริลโลไนท์และเมตะฮาโลไซต์	57
3.5	แผนการทดลองระยะที่ 2	59
3.6	ถ้วยทดลองและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์	61
3.7	เครื่องมือทดสอบจาร์เทสต์	62
3.8	คอลัมน์ถังกรองถ่านสำหรับการทดลอง	63
3.9	แผนผังการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่คอลัมน์ถ่าน	64
4.1	ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-200 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	71
4.2	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	72
4.3	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	73
4.4	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	74
4.5	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	76
4.6	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	77
4.7	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ	79
4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-2000 ส่วนล โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	81
4.10	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	83
4.11	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	84
4.12	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	85
4.13	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	86
4.14	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วนล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น	88
4.15	ประสิทธิภาพในการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-2000 ส่วนล้าน โดยใช้ดินแกลสีออน เอิร์ท	89
4.16	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วนล้าน โดยใช้ดินแกลสีออน เอิร์ท	90
4.17	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ส่วนล้าน โดยใช้ดินแกลสีออนเอิร์ท	92
4.18	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วนล้าน โดยใช้ดินแกลสีออน เอิร์ท	93
4.19	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วนล้าน โดยใช้ดินแกลสีออน เอิร์ท	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000 ส่วนล ในล้าน โดยใช้ดินแกลลีออน เอิร์ท	96
4.21	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วนล ในล้าน โดยใช้ดินแกลลีออน เอิร์ท	97
4.22	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ ดินเบนโทไนท์ญี่ปุ่น และดินแกลลีออน เอิร์ท	98
4.23	ปริมาณพาราควอทที่เหลือในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ถ่านเอซีแบบแบทช์	101
4.24	ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทโดยใช้ถ่านเอซีโดยวิธีแบทช์	102
4.25	การกำจัดพาราควอทโดยใช้การผ่านคอลัมน์ถ่านเอซี ที่พาราควอทเริ่มต้น 200 ส่วนล อัตราการกรอง 3.5 $ม^3/ม^2/ชม$	104
4.26	การกำจัดพาราควอทโดยใช้การผ่านคอลัมน์ถ่านเอซีที่พาราควอทเริ่มต้น 50 ส่วนล. อัตราการกรอง 6 $ม^3/ม^2/ชม$	105
5.1	อิทธิพลของ O_2 และ I_2 ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของพาราควอท	110
5.2	การดูดกลืนแสงในกระบวนการวิเคราะห์พาราควอทที่คลื่นแสงต่าง ๆ	111
5.3	การดูดกลืนแสงของ monomer และ dimer ของ methyl viologen cation radical ในน้ำ	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
2.16	การกำจัดพาราควอทโดยการใช้ดินเหนียว (clay mineral) และตามด้วยการตกผลึก (coagulation).....	48
3.1	แสดงพีเอชที่ใช้ในสารเคมีแต่ละชนิด	50
3.2	ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิจัย.....	51
3.3	ลักษณะสมบัติของถ่านเอชที่ใช้ในการทดลอง	58
4.1	ความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำทิ้งจากโรงงานบรรจุพาราควอท	68
4.2	ผลการกำจัดพาราควอทด้วยเกลือถ่านเอชีโดยวิธีแบทช์	103
4.3	การกำจัดพาราควอทด้วยคอลัมน์ถ่าน (อัตรากรองช้ากว่า).....	106
4.4	การกำจัดพาราควอทด้วยคอลัมน์ถ่าน (อัตรากรองเร็วกว่า)	108
5.1	อัตราการดูดติดผิวของดินชนิดต่าง ๆ	114
5.2	ขั้นตอนการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-500 ส่วนล.	116