

การกำจัดคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ผงเหล็ก

นางสาวแก้วตา กิตติกนกรัตน์



สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-077-7

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECHLORINATION OF CHLORINATED HYDROCARBONS FROM
LABORATORY WASTEWATER BY ZERO-VALENT IRON



Miss Kaewta Kittikanokrat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-077-7

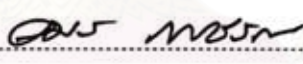
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดคลอรีนเดคลอไรด์คาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ผงเหล็ก
โดย แก้วตา กิตติกันกรัตน์
สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลบุญชัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล)

แก้วตา กิตติกนกรัตน์ : การกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี
โดยใช้ผงเหล็ก (DECHLORINATION OF CHLORINATED HYDROCARBONS FROM
LABORATORY WASTEWATER BY ZERO-VALENT IRON) อาจารย์ที่ปรึกษา :
รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม, 119 หน้า. ISBN 974-334-077-7.

งานวิจัยนี้ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสีย
สังเคราะห์โดยใช้ผงเหล็ก เพื่อนำไปใช้กำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี
โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาพพีเอช ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย และขนาดอนุภาคผงเหล็ก
ทำการทดลองแบบทีละเท (batch) โดยเติมผงเหล็ก 1 กรัม และคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน 10
มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 20 มิลลิลิตร วิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนโดยใช้
แก๊สโครมาโทกราฟี และเทคนิคเฮดสเปค พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายมาตรฐาน
เมธิลคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ
พีเอช 4 ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน และใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ประสิทธิภาพ
การกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อปรับสภาพพีเอชของน้ำเสียลดลง อนุภาคผงเหล็ก
ขนาดเล็กลง และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐาน
เมธิลคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีนในน้ำเสียสังเคราะห์สูงสุด
เท่ากับ 63.20%, 88.00%, 100% และ 42.58% ตามลำดับ ส่วนการกำจัดเมธิลคลอไรด์,
คลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาพให้มี
ค่าพีเอชเท่ากับ 4 ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน และใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน พบว่า
ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 42.58%, 75.06% และ 100% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ออมร เพชรสม
ปีการศึกษา..... 2542.....

4072216223 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: ZERO-VALENT IRON / DECHLORINATION / LABORATORY WASTEWATER
KAEWTA KITTIKANOKRAT : DECHLORINATION OF CHLORINATED
HYDROCARBONS FROM LABORATORY WASTEWATER BY ZERO-VALENT
IRON. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF AMORN PETSOM, Ph. D. , 119 pp.
ISBN 974-334-077-7.

The optimum condition for removal of chlorinated hydrocarbons from laboratory wastewater by zero-valent iron were studied. The effects of various pH conditions, contact times and iron particle sizes. All chlorinated hydrocarbons were tested by batch procedure in which 1 g of iron and 10 mL of chlorinated hydrocarbons were added to 20 mL serum vials. Chlorinated hydrocarbons concentrations were monitored at certain time intervals by gas chromatography (GC) analysis of the headspace. It was found that methylene chloride, chloroform, carbon tetrachloride and chlorobenzene in artificial wastewater could be removed by zero-valent iron at pH 4, in 15 days and using 10 μm iron particle. The efficiency for removal of chlorinated hydrocarbons increased when pH and iron particle size decreased while contact time was increased. The efficiency for removal of methylene chloride, chloroform, carbon tetrachloride and chlorobenzene in artificial wastewater are 63.20%, 88.00%, 100% and 42.58% respectively. While efficiency for removal of methylene chloride, chloroform and carbon tetrachloride in laboratory wastewater are 42.58%, 75.06% and 100% respectively.

ภาควิชา...สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพแคว้นลอม... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา...วิทยาศาสตร์สุขภาพแคว้นลอม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... *amorn*.....
ปีการศึกษา...2542.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วย ความกรุณา ความช่วยเหลือ และสนับสนุนจากบุคคล
หลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนแนะนำเทคนิคต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ และกราบ
ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรวิฑูรกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา
และอาจารย์ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล ที่ให้คำแนะนำที่ดีเพื่อแก้ไขให้วิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า นอกจากนี้
นี้ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ
เพื่อแก้ไขให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณมูลนิธิชิน โสภณพานิช ด้านสิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณทุกๆ ท่าน ที่มอบกำลังกายและกำลังใจช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี
สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดาที่ให้โอกาสที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
3 วัสดุอุปกรณ์และการดำเนินการวิจัย.....	21
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	78
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย.....	85
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก ค. การกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ150 ไมครอน	98
ประวัติผู้เขียน.....	119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงวิธีการเก็บรักษาของเสียประเภท organic solvents.....	6
ตารางที่ 3.1	แสดงเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์และความหนาแน่นของสารละลายมาตรฐาน...	22
ตารางที่ 3.2	แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ที่ใช้ในการทดลองในตัวทำละลายเมทานอล	23
ตารางที่ 3.3	แสดงการเตรียมบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ตั้งแต่ 4 ถึง 8.....	23
ตารางที่ 3.4	แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี.....	24
ตารางที่ 4.1	แสดงค่า retention time ของ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน	35
ตารางที่ 4.2	แสดงความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ของสารมาตรฐาน..... คลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัว	36
ตารางที่ 4.3	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	41
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	41
ตารางที่ 4.5	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	42
ตารางที่ 4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	42
ตารางที่ 4.7	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	47
ตารางที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	47
ตารางที่ 4.9	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	48
ตารางที่ 4.11	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	53
ตารางที่ 4.12	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	53
ตารางที่ 4.13	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	54
ตารางที่ 4.14	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	54
ตารางที่ 4.15	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	59
ตารางที่ 4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 10 ไมครอน	59
ตารางที่ 4.17	ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	60
ตารางที่ 4.18	ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็ก..... ขนาด 150 ไมครอน	60
ตารางที่ 4.19	แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 1	67
ตารางที่ 4.20	แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 2	68
ตารางที่ 4.21	แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 3	68
ตารางที่ 4.22	แสดงคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	69
ตารางที่ 4.23	แสดงความเข้มข้นของสารประกอบคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน..... จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี	69
ตารางที่ 4.24	ผลการกำจัดเมธิลซีนคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.25	ประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลซีนคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	71
ตารางที่ 4.26	ผลการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	73
ตารางที่ 4.27	ประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	73
ตารางที่ 4.28	ผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	76
ตารางที่ 4.29	ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี.....	76



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2.1	แสดงการกำจัดของเสียประเภทของเหลวของห้องปฏิบัติการเคมี (179 แห่ง)..	7
ภาพที่ 2.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดสารประกอบคลอรีนในน้ำ โดยใช้ผงเหล็ก.....	12
ภาพที่ 2.3	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	18
ภาพที่ 3.1	แสดงขบวนการกำจัดคลอรีนเตตราไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์..... โดยใช้ผงเหล็ก	32
ภาพที่ 3.2	แสดงขบวนการกำจัดคลอรีนเตตราไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสีย..... ห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ผงเหล็ก	34
ภาพที่ 4.1	แสดงกราฟมาตรฐานของเมธิลีนคลอไรด์ความเข้มข้น 0 – 10 mg/L.....	37
ภาพที่ 4.2	แสดงกราฟมาตรฐานของเมธิลีนคลอไรด์ความเข้มข้น 0 – 100 mg/L.....	37
ภาพที่ 4.3	แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 – 10 mg/L.....	38
ภาพที่ 4.4	แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 – 100 mg/L.....	38
ภาพที่ 4.5	แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 – 1000 mg/L.....	39
ภาพที่ 4.6	แสดงกราฟมาตรฐานของคาร์บอนเตตราคลอไรด์ความเข้มข้น 0 – 10 mg/L..	39
ภาพที่ 4.7	แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรเบนซีนความเข้มข้น 0 – 10 mg/L.....	40
ภาพที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์กับเวลา... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	45
ภาพที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	45
ภาพที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์กับเวลา... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	46
ภาพที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	46
ภาพที่ 4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์ม..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	51
ภาพที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	52
ภาพที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์ม..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	52
ภาพที่ 4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์.... กับเวลาโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	57
ภาพที่ 4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด..... คาร์บอนเตตระคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	57
ภาพที่ 4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์.... กับเวลาโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	58
ภาพที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด..... คาร์บอนเตตระคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	58
ภาพที่ 4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซินกับเวลา..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	65
ภาพที่ 4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซิน..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน	65
ภาพที่ 4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซินกับเวลา..... โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	66
ภาพที่ 4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซิน..... กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน	66
ภาพที่ 4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา... จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์..... กับเวลาจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี	72
ภาพที่ 4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา..... จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี	75
ภาพที่ 4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์ม..... กับเวลาจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี	75



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยการศึกษา ค้นคว้าวิจัยจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี จัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดของเสีย อันตรายประเภทหนึ่ง ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของชีวิต ทั้งผู้ปฏิบัติงานและประชาชน ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารในสิ่งแวดล้อม หลายประเทศที่พัฒนาแล้วมีมาตรการ ควบคุมการบำบัดของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับสารเคมีอันตรายซึ่งมีความหลากหลายมาก สำหรับประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดเพื่อควบคุมและติดตั้งระบบบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ ของเสียส่วนหนึ่งที่เป็นพิษจะถูกรวบรวมไว้ในภาชนะต่างๆภายในห้องทดลอง อีกส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะโดยไม่มีการกำจัด ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของห้องปฏิบัติการทดลองพบว่าของเสียส่วนใหญ่เป็น organic solvent (21%) รองลงมาเป็นเกลือของโลหะหนักต่างๆ(15%) (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 2539) ซึ่งกลุ่ม chlorohydrocarbon เป็น organic solvent ที่สำคัญ มีใช้เป็นจำนวนมาก และสารกลุ่มนี้ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ ผู้สัมผัส หรือได้รับสารกลุ่มนี้เข้าสู่ร่างกาย และมีแนวโน้มจะเป็นสารก่อมะเร็ง (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531)

สารประกอบคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ได้มีการนำมาใช้เป็นตัวทำละลายของการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดสารประกอบคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสีย ได้แก่ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4), คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$), เมทิลีนคลอไรด์ (CH_2Cl_2) และ สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ซึ่งสารประกอบประเภทนี้เป็นสารระเหยง่ายสามารถเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว โดยทางปาก และการสูดดม ซึ่งจะมีผลต่อเมมเบรนของไมโทคอนเดรีย (mitochondria) และ เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) และยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ใน Kreb's cycle ซึ่งผลดังกล่าวอาจนำไปสู่ความล้มเหลวของการทำงานของตับ และไต อาการที่แสดงออกเมื่อได้รับสารประเภทนี้เข้าไปคือ ระคายเคืองตามผิวหนัง, เวียนศีรษะ, อาเจียน, สูญเสียความรู้สึก, ชóngตาดำอักเสบ และ หดตัว จากผลความเป็นพิษดังกล่าวสารจำพวกนี้จึงถูกกำหนดเป็นสารมลพิษหลัก (priority pollutant) จากผลงานการศึกษาวิจัยของ Hengerson (1950) ได้เปรียบเทียบความเป็นพิษ และอิทธิพลของสารประกอบจำพวกนี้ในสัตว์ทดลอง พบว่า คาร์บอนเตตระคลอไรด์ มีความเป็นพิษมากที่สุด ดังนั้น World Health Organization (WHO) จึง กำหนดปริมาณของสารประกอบคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนไว้ คือ ในน้ำดื่มจะต้องมีปริมาณของ

คลอโรฟอร์ม ได้ไม่เกิน 30 ug/L และทาง Environmental Protection Agency (EPA) ได้กำหนดปริมาณของคาร์บอนเตตระคลอไรด์, ไตรคลอโรเอธิลีน และ 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน ในน้ำดื่มมีได้ไม่เกิน 5, 5 และ 20 ug/L ตามลำดับ

ในการศึกษานี้ใช้ zero-valent iron ในการเปลี่ยนคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน (RCl) ซึ่งเป็นการลดการปนเปื้อนคลอรีนในน้ำเสีย โดย iron ให้อิเล็กตรอน ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้ผลิตภัณฑ์คือ ไฮโดรคาร์บอน (RH) และคลอไรด์ (Cl⁻) ซึ่งเป็นสารที่อันตรายน้อยลง เป็นวิธีการที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย (Matheson and Tratnyek, 1994) เพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก (zero-valent iron) เช่น อนุภาคผงเหล็ก pH และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบการกำจัดคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยขบวนการนี้

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนโดยใช้อนุภาคผงเหล็ก (zero-valent iron) ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน
2. ทดลองกำจัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ดึกเคมี 3 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้
3. สารประกอบคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนที่ศึกษา ได้แก่ carbon tetrachloride (CCl₄), chloroform (CHCl₃), methylene chloride (CH₂Cl₂) และ chlorobenzene (C₆H₅Cl)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสีย โดยใช้ผงเหล็ก
2. เป็นการพัฒนาเทคนิคในการกำจัดคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในมหาวิทยาลัย

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีมากมายหลายชนิด ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและวิเคราะห์ ตลอดจนประเภทของห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามสารเคมีดังกล่าวอาจแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ 2 กลุ่ม คือ สารประกอบอินทรีย์ (organic compound) และสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compound) ซึ่งสารทั้ง 2 กลุ่มนี้อาจมีคุณสมบัติบางประการที่ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ที่นำสารเหล่านี้มาใช้งาน โดยการสัมผัส สูดดม หรือรับเข้าร่างกาย คุณสมบัติที่เป็นอันตรายเหล่านี้ ได้แก่

1. การกัดกร่อน (corrosive) ได้แก่ กรดต่างๆ โดยเฉพาะพวกกรดอนินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น มีคุณสมบัติกัดกร่อนรุนแรงมาก ทำให้เกิดอันตรายเมื่อสัมผัสถูกต้องกับผิวหนัง เป็นอันตรายต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ เมื่อสูดดม เป็นอันตรายต่อตา และเมื่อเข้าสู่ร่างกายทางปาก จะเป็นอันตรายอย่างรุนแรงแก่เยื่อบุทางเดินอาหาร

2. การระเหิดและระเหย สารเคมีหลายชนิดระเหิดเป็นไอ (sublime) ได้ในภาวะที่เป็นของแข็ง (solid state) ที่พบบ่อยและใช้มากในห้องปฏิบัติการเคมี คือ พวกสารไอโอดีน และโบรมีน ส่วนสารที่ระเหยได้นั้น มีใช้เป็นจำนวนมากเป็นกลุ่มที่สำคัญที่สุด โดยเฉพาะพวก organic solvents

3. การเกิดพิษ (toxic chemicals) เกิดจากคุณสมบัติความเป็นพิษของสารนั่นเอง สารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารพิษทางการเกษตร สารหนู โลหะหนัก และสารละลายชนิดต่างๆ (organic solvents) ซึ่งบางชนิดมีอันตรายและมีความเป็นพิษสูง

สารเคมีที่มีใช้มากที่สุดในห้องปฏิบัติการ คือพวก organic solvents ความหมายโดยทั่วไปของ organic solvents คือ น้ำยาอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการละลายสารเคมีต่างๆ ได้ดี ทำให้อาหารนั้นกลายเป็นเนื้อเดียวกัน (solution) มีใช้มากทั้งทางภาคอุตสาหกรรม และในห้องปฏิบัติการทางอุตสาหกรรมมีใช้มากในการเป็นตัวทำละลาย สี ฟิล์มเมอร์ กาว ยาง น้ำหอม เป็นต้น organic solvents แบ่งเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะการเกิดพิษ (กุลธิดา และคณะ, 2539) ดังต่อไปนี้ คือ

1. กลุ่ม saturated hydrocarbons ตัวอย่างน้ำยาในกลุ่มนี้ได้แก่ pentane, hexane และ heptane เป็นต้น ไอระเหยของน้ำยากลุ่มนี้จะออกฤทธิ์กดประสาท ทำให้มีอาการง่วงและงุนงง ซึ่งปฏิกิริยาจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอม ในประเทศอุตสาหกรรมบางประเทศมีการกำหนด

ค่า Maximum Allowable Concentrations (MAC) ของไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (C_1-C_{10}) ให้มีอยู่ในบรรยากาศ โดยคิดเป็นค่าน้ำหนักของคาร์บอนอะตอมได้ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. กลุ่ม aromatic hydrocarbons น้ำยาเคมีที่สำคัญที่สุดในกลุ่มนี้ คือ benzene ซึ่งมีพิษและอันตรายแก่ชีวิตและสุขภาพของมนุษย์สูงมาก เมื่อได้รับกลิ่นไฮโดรคาร์บอนโดยการสูดดม หรือสัมผัสหรือเข้าทางปาก จะทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงทันที ถ้าได้รับในปริมาณสูง อาจมีผลทำลายระบบการทำงานของตับ และอาจทำให้ถึงตายได้โดยเกิดจากระบบหายใจล้มเหลว ความเป็นพิษของ benzene มีสูงถึงขั้นทำให้เกิดเป็นมะเร็งได้ในอวัยวะบางส่วนของร่างกายและยากที่จะรักษา ค่า MAC กำหนดให้มีไอของ benzene ในบรรยากาศได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. chlorohydrocarbons สารเคมีในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของ methane, ethane และ ethylene ตัวอย่างน้ำยาที่สำคัญและมีใช้มากในห้องปฏิบัติการ คือ carbon tetrachloride, chloroform และ methylene chloride (dichloromethane) ซึ่งน้ำยาทั้ง 3 ชนิดนี้ มีใช้มากในห้องปฏิบัติการ สารในกลุ่มนี้ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ ผู้สัมผัส หรือรับสารนี้เข้าสู่ร่างกายได้ โดยมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง และเป็นพิษต่อ ตับ ไต ถ้าได้รับในปริมาณสูง จะเกิดอันตรายรุนแรง ทำให้ปวดศีรษะ ตาพร่ามัว คลื่นไส้ อาเจียน และหมดสติ มีรายงานว่าชนิดที่มีปฏิกิริยาทำให้เกิดระคายเคืองต่อ mucous membrane มากที่สุดในกลุ่มนี้ คือ carbon tetrachloride สำหรับผู้ที่ทำงานใกล้ชิดกับสารกลุ่มนี้เป็นประจำ อาจเกิดพิษเรื้อรังได้ทางตับ ไต เนื่องจากสารนี้จะกระตุ้นให้มีการผลิต free radicals ซึ่งเข้าไปทำลายการออกซิไดซ์ peroxide ของ microsomal structures และ endoplasmic network ของเซลล์ในอวัยวะดังกล่าว ค่า MAC สำหรับ carbon tetrachloride และ methylene chloride คือ 20 และ 50 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

4. กลุ่ม alcohols เป็น organic solvent กลุ่มใหญ่ มีใช้กว้างขวางทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการ ได้แก่ methyl, ethyl, propyl และ butyl alcohol โดยทั่วไปน้ำยาในกลุ่มนี้มีพิษน้อยกว่า solvents กลุ่มอื่นๆ ยกเว้น methyl alcohol หรือ methanol เท่านั้น ที่มีพิษสูงมากเนื่องจากสารตัวนี้ สามารถให้ผลผลิตผลเกิดเป็น formaldehyde และ formic acid ซึ่งทำให้เกิดการทำลายประสาทตาและม่านตา ทำให้ตาบอดและเสียชีวิตได้

5. กลุ่ม ethers ทำให้เกิดความเป็นพิษ คือ ก่อความระคายเคืองแก่ mucous membrane ของตา และทางเดินลมหายใจตอนบน ทำลายการทำงานของตับ ไต พิษเฉียบพลันอาจทำให้เกิดหลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบ ส่วนพิษเรื้อรังอาจเกิดอาการคลื่นไส้ ตามองเห็นผิดปกติ ไข้ ความรู้สึก และมีอาการนอนไม่หลับ ค่ากำหนด MAC อนุญาตให้มีไฮโดรคาร์บอนของ diethyl ether ในบรรยากาศของการทำงานได้ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6. กลุ่ม esters สำหรับสารในกลุ่มนี้ตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยๆ จะมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก ได้แก่ methyl, ethyl, propyl และ butyl acetate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้มีพิษทำให้ง่วงและเสพติดได้ ถ้าได้รับหรือสูดดมบ่อยๆ ค่า MAC ของ methyl acetate = 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ ethyl, propyl และ butyl acetate มีค่า MAC = 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7. กลุ่ม ketones solvent ในกลุ่มนี้มีที่ใช้มากในห้องปฏิบัติการ เช่น acetone ซึ่งเป็น aliphatic ketone สารในกลุ่มนี้ทุกตัวมีพิษและอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายหรือสูดดมบ่อยๆ จะเกิดการสะสมในร่างกาย ทำให้เกิดอาการพิษแบบเรื้อรัง ค่า MAC ของ acetone, methyl, ethyl และ propyl ketone เท่ากันคือ มีได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีการเก็บรักษาของเสียประเภท organic solvents

ของเสียประเภท organic solvents ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการศึกษาวิจัย และกิจกรรมต่างๆ ความเป็นพิษของสารประเภทนี้ยากที่จะจำแนกได้ ผู้ปฏิบัติการทดลองเป็นผู้ที่รู้ว่าของเสียนี้ประกอบด้วยอะไร ตามชนิดและวิธีการทดลอง ดังนั้นจึงควรแยกของเสียและเก็บรักษาไว้เพื่อกำจัดต่อไป (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531)

สารประเภท organic solvents เป็นสารต้องห้ามที่ไม่ควรนำไปทิ้งในแหล่งน้ำ การจัดเก็บควรเก็บในขวดและมีฝาปิดแน่น และในที่ที่มีอุณหภูมิไม่สูงมาก การจัดเก็บควรจัดเก็บให้เป็นระบบโดยการแยกกลุ่มดังตารางที่ 2.1

รายงานผลการสำรวจการจัดการด้านความปลอดภัยจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ

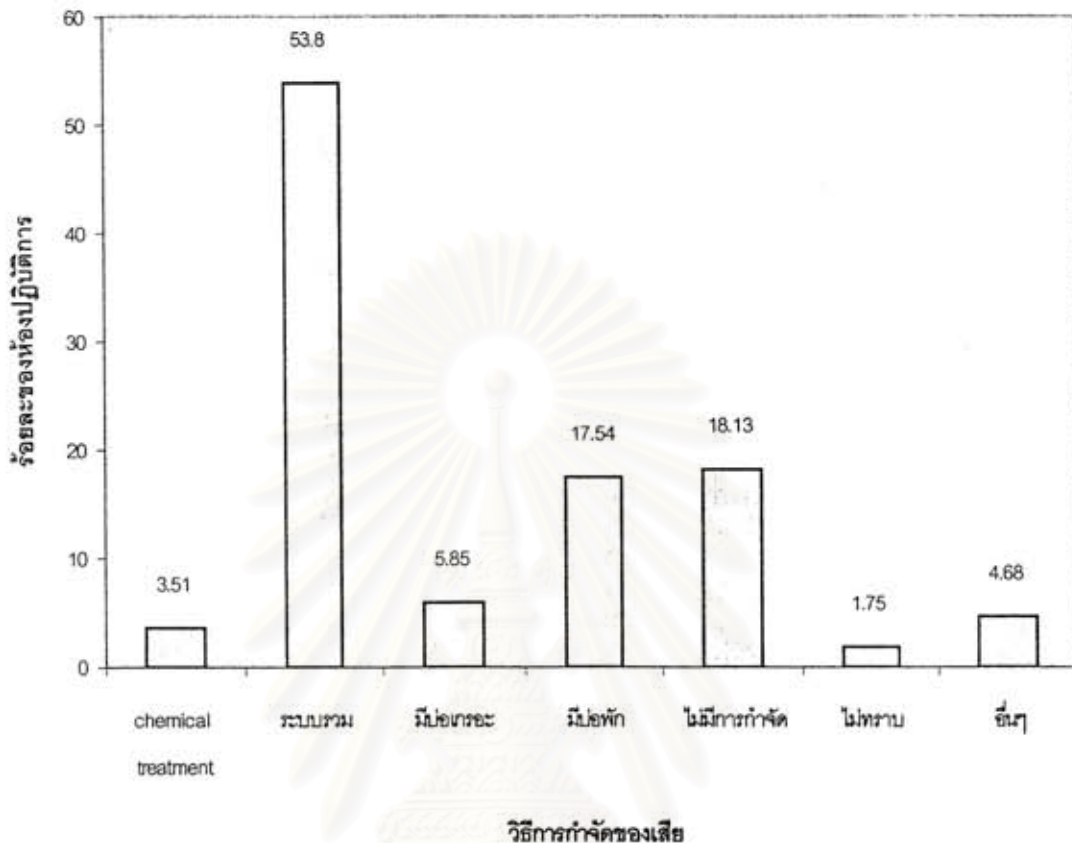
ของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการมีทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ของเสียที่ค่อนข้างจะเป็นปัญหาได้แก่ ของเสียประเภทของเหลว ซึ่งผลการสำรวจพบว่ามีห้องปฏิบัติการเพียงร้อยละ 3.51 เท่านั้นที่มีระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี ส่วนห้องปฏิบัติการอื่นๆ มักจะปล่อยน้ำเสียไปยังระบบกำจัดน้ำเสียรวมของอาคาร บ่อเกรอะ ลงสู่บ่อพัก หรือปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะโดยตรง (ดังภาพที่ 2.1) ส่วนของเสียประเภทของแข็งนั้นพบว่ายังมีการกำจัดที่ไม่ถูกต้องกล่าวคือห้องปฏิบัติการร้อยละ 68.05 จะทิ้งของเสียประเภทของแข็งร่วมกับขยะอื่นๆ หรือขยะเทศบาล ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการอาจก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษได้ (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531)

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการเก็บรักษาของเสียประเภท organic solvents

กลุ่ม	ชนิด	สารประกอบ	ข้อควรระวัง
1	common organic solvent	alcohol, ester, organic acid, ketone, ether, aldehyde	สารกลุ่มนี้บางตัวทำให้เกิด peroxide ซึ่งเป็นอันตรายและอาจเกิดระเบิด จึงควรแยกเก็บรักษา
2	organic solvent	organic-nitrogen pyridine, amide, amine	สารประกอบประเภทไวไฟและวัตถุระเบิดควรแยกจากกัน
3	organic substance ที่มี sulfur เป็นองค์ประกอบ	alkyl sulfite, aromatic sulfur compound	สารกลุ่มนี้ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ถึงแม้จะมีความเข้มข้นน้อย จำเป็นต้องเก็บไว้
4	organochlorine solvent	carbon tetrachloride, chloroform, methylene chloride, polychlorinated hydrocarbon	สารกลุ่มนี้ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ถึงแม้จะมีความเข้มข้นน้อย จำเป็นต้องเก็บไว้
5	oil (petroleum hydrocarbon)	hexane, benzene, oil, grese, phenol	สารประกอบประเภท emulsion และที่มีน้ำผสม ควรแยกจากกัน
6	animals fat และ vegetable fat	fat	สามารถนำ fat ที่ได้นี้น้ำกลับไปใช้ประโยชน์ในการทำสบู่
7	heavy metals contains organic solvent	chelate organic solvent	complex และ chelate สามารถถูก decomposed เป็น Inorganic และกำจัดโดยวิธี Inorganic waste
8	polymer	polyethylene glycol, polyvinyl alcohol, polyvinyl acetate	ถ้ามี organic solvent ผสมอยู่ ควรแยกออกจากกัน
9	water contains organic substance	emulsion และ water contain solvent	ในกรณีเป็นน้ำยาล้างรูป ซึ่งมี Ag ผสมอยู่ ควรแยก Ag ออกมาใช้ประโยชน์ต่อไป

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531)

ภาพที่ 2.1 แสดงการกำจัดของเสียประเภทของเหลวของห้องปฏิบัติการเคมี (179 แห่ง)



(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531)

การบำบัดของเสียอินทรีย์จากห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

ของเสียอินทรีย์ในกลุ่มสารติดไฟ สารปนเปื้อนน้ำมัน สารละลายจากการล้างฟิล์ม สารละลายที่ไม่ติดไฟ และสารประกอบฮาโลเจน ซึ่งแยกประเภทแล้วจะถูกส่งไปกำจัดโดยใช้เตาเผาแบบ atomizing ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบได้ ไอความร้อนหรือก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาของเสียจากเตาเผาจะนำมาบำบัดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยใช้หอหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิของก๊าซแล้วใช้อุปกรณ์หอทำความสะอาดก๊าซในการดูดจับก๊าซไว้ ส่วนในกรณีของไฮโดรฟลูออไรด์ต้องมีการเพิ่มส่วนของหอสำหรับดูดซับปรอทด้วย สำหรับน้ำที่เกิดขึ้นนั้นก็ถูกนำไปบำบัดร่วมกับสารอินทรีย์ สุดท้ายก๊าซที่ผ่านออกสู่บรรยากาศจะมีการตรวจสอบความเข้มข้นเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของการปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศ (ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 2540)

คุณสมบัติของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน

1. methylene chloride

สูตรโครงสร้าง	CH_2Cl_2
ลักษณะ	methylene chloride เป็นสารไม่ติดไฟ ไม่มีสี กลิ่นเหมือนคลอโรฟอร์ม ไม่ปนกับน้ำ
คุณสมบัติ	ความหนาแน่น 1.3255 ที่ 20°C จุดเดือด 39.7°C จุดหลอมเหลว -95°C
ชื่อเรียกอื่น	dichloromethane, DCM, methylene dichloride, methane dichloride, methylene bichloride, methylenum chlratum
พิษต่อร่างกาย	ไอระคายต่อตาและระบบหายใจ ทำให้ปวดศีรษะ ถ้ามากอาจหมดสติ เป็นอันตรายต่อตา
ข้อควรระวัง	ไวไฟเล็กน้อยถ้ามีปริมาณออกซิเจนอยู่มาก เมื่อร้อนให้ก๊าซพิษ phosgene

2. chloroform

สูตรโครงสร้าง	CHCl_3
ลักษณะ	chloroform เป็นสารไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ไม่ปนกับน้ำ ไอเป็นอันตราย
คุณสมบัติ	ความหนาแน่น 1.484 ที่ 20°C จุดเดือด 61.2°C จุดหลอมเหลว -63.5°C
ชื่อเรียกอื่น	trichloromethane, methyl trichloride, methane trichloride, methenyl trichloride, trichloroform
พิษต่อร่างกาย	ไอทำให้อ่อนเพลีย วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ และของเหลวระคายตา ทำให้ตาแดง กลืนกินเข้าไปทำให้อ่อนเพลีย หัวใจเต้นช้าลง และตายเพราะหัวใจหยุดเต้น
ข้อควรระวัง	เมื่อร้อนทำให้อไอที่ระคายเป็นพิษ อันตรายเมื่อผสมกับ acetone

3. carbon tetrachloride

สูตรโครงสร้าง	CCl_4
ลักษณะ	carbon tetrachloride เป็นสารไม่ติดไฟ ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ไม่ปนกับน้ำ ใช้ดับไฟ หนัก ไอเป็นอันตราย
คุณสมบัติ	ความหนาแน่น 1.589 ที่ 25°C จุดเดือด 76.7°C จุดหลอมเหลว -23°C
ชื่อเรียกอื่น	tetrachloromethane, perchloromethane

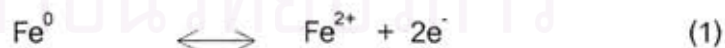
พิษต่อร่างกาย	ถ้าสูดดมเข้าไปมากทำให้ปวดศีรษะ สมองมึนงง เหนื่อย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียนและหมดสติ อาการเหล่านี้ไม่แสดงออกทันที อาจใช้เวลาหลาย ชั่วโมง ทำให้เสบตา ถ้ากลืนกินเป็นอันตรายต่อดับ ไต หัวใจ และระบบประสาท ถ้าสูดไอทีละน้อยเป็นเวลานาน ทำให้ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เจ็บคอ และตัวเหลือง(icterice) ถ้าถูกผิวหนังบ่อยๆ ทำให้ผิวหนังอักเสบ (dermatitis)
ข้อควรระวัง	เมื่อร้อนหรือเวลาใช้ดับไฟ จะเกิดก๊าซพิษ phosgene จึงไม่ควรใช้ดับไฟในห้องที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดี ทำปฏิกิริยารุนแรงกับ alkali metal เพราะฉะนั้นใช้ดับไฟที่เกิดจากโซเดียมไม่ได้ จะทำให้เกิดระเบิดเมื่อผสมกับ hydrogen peroxide

4. chlorobenzene

สูตรโครงสร้าง	C_6H_5Cl
ลักษณะ	chlorobenzene เป็นสารไม่มีสี มีกลิ่น aromatic ไม่ละลายน้ำ ไอเป็นอันตราย ซึมเข้าผิวหนัง
คุณสมบัติ	ความหนาแน่น 1.105 ที่ $25^{\circ}C$ จุดเดือด $131.6^{\circ}C$ จุดหลอมเหลว $-45^{\circ}C$
พิษต่อร่างกาย	ถ้าสูดดมเข้าไปทำให้เพี้ยน ระคายจุมก ของเหลวระคายตา ถ้าถูกผิวหนัง ทำให้อักเสบ (dermatitis) เป็นพิษถ้ากลืนกินเข้าไป

ปฏิกิริยาเคมีกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน (dechlorination) โดยใช้ zero-valent iron

(A) ปฏิกิริยาเคมีหลัก แสดงดังภาพที่ 2.2 A



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน แสดงในสมการที่ (1) มีค่า standard reduction potential ของครึ่งปฏิกิริยา Fe^0 เท่ากับ $-0.44 V$. ส่วนปฏิกิริยารีดักชัน แสดงในสมการที่ (2) มีค่า standard reduction potential ของครึ่งปฏิกิริยา alkyl chloride (RCl) อยู่ในช่วงระหว่าง $+0.5$ ถึง $+1.5 V$. ที่ระดับ pH 7 ดังนั้นเมื่อใส่ผงเหล็กลงใน สารละลาย alkyl chloride จะเกิดปฏิกิริยาการกำจัด

คลอริเนตเตดไฮโดรคาร์บอนได้ ซึ่งแสดงปฏิกิริยา redox ในสมการที่ (3) เกิดจากโลหะเหล็กโดยตรง โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากพื้นที่ผิวของ Fe^0 และดูดซับ alkyl chloride (RCI) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้ผลิตภัณฑ์คือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}), อัลเคน (RH) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-)

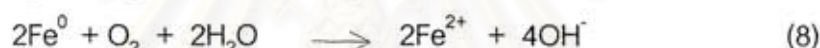
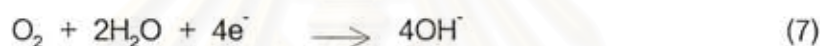
(B) ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็น intermediate product ของการกัดเซาะในสารละลาย แสดงดังภาพที่ 2.2 B



เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ของสาร alkyl chloride (RCI) ได้ ผลิตภัณฑ์คือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{3+}), อัลเคน (RH) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เช่นกันกับสมการที่ (3) แต่ปฏิกิริยาเกิดอย่างช้ามาก อัตราการเกิดกระบวนการนี้ขึ้นกับ ligand ที่เกาะอยู่ที่พื้นที่ผิวโลหะ

ซึ่งเฟอร์รัสไอออน เกิดจาก zero-valent iron (Fe^0) ในสภาวะมีออกซิเจน และไร้ออกซิเจน ดังนี้

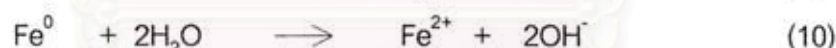
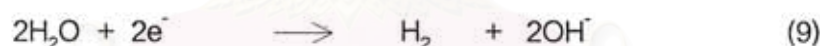
- สภาวะมีออกซิเจน



ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Fe^0 ในสภาวะที่มีออกซิเจนและน้ำ แสดงในสมการที่ (8)

ทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรวดเร็วได้สนิมเหล็ก (ferric hydroxide)

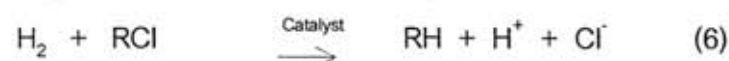
- สภาวะไร้ออกซิเจน



ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Fe^0 ในสภาวะไร้ออกซิเจน เมื่อมีน้ำ ก็สามารถทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรวดเร็วได้สนิมเหล็ก (ferric hydroxide) ได้เช่นกัน แสดงในสมการที่ (10)

จากสมการที่ (7) ถึง (10) จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งมีผลทำให้ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์อยู่ที่พื้นที่ผิวโลหะ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยา dechlorination

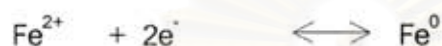
(C) ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดจากการกัดเซาะด้วยน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.2 C



ปฏิกิริยา dechlorination ของสาร alkyl chloride (RCl) โดยเกิดจากการกัดเซาะด้วยน้ำ ทำให้เกิด H_2 ดังสมการที่ (5) ต่อมาเมื่อ alkyl chloride ทำปฏิกิริยากับ H_2 ได้ผลิตภัณฑ์คือ อัลเคน (RH), ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ดังสมการที่ (6) แต่ถ้าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยานี้จะเกิดยากมาก และเมื่อมีไฮโดรเจนไอออนมากเกินไป ทำให้เกิดการสะสมที่ผิวโลหะ ซึ่งไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเคมีของการกำจัดเมทิลคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ zero-valent iron

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ปฏิกิริยารีดักชัน



ปฏิกิริยารีดอกซ์



ปฏิกิริยา reduction นี้ เกิดจากโลหะเหล็กโดยตรง โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากพื้นที่ผิวของ Fe^0 และดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้ผลิตภัณฑ์คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}), เมทิลคลอไรด์ (CH_3Cl) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) โดยมีเมทิลคลอไรด์ CH_2Cl_2 , คลอโรฟอร์ม $CHCl_3$ เป็นสารมัธยันตร์

ปฏิกิริยาเคมีของการกำจัดคลอโรเบนซีน โดยใช้ zero-valent iron

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ปฏิกิริยารีดักชัน

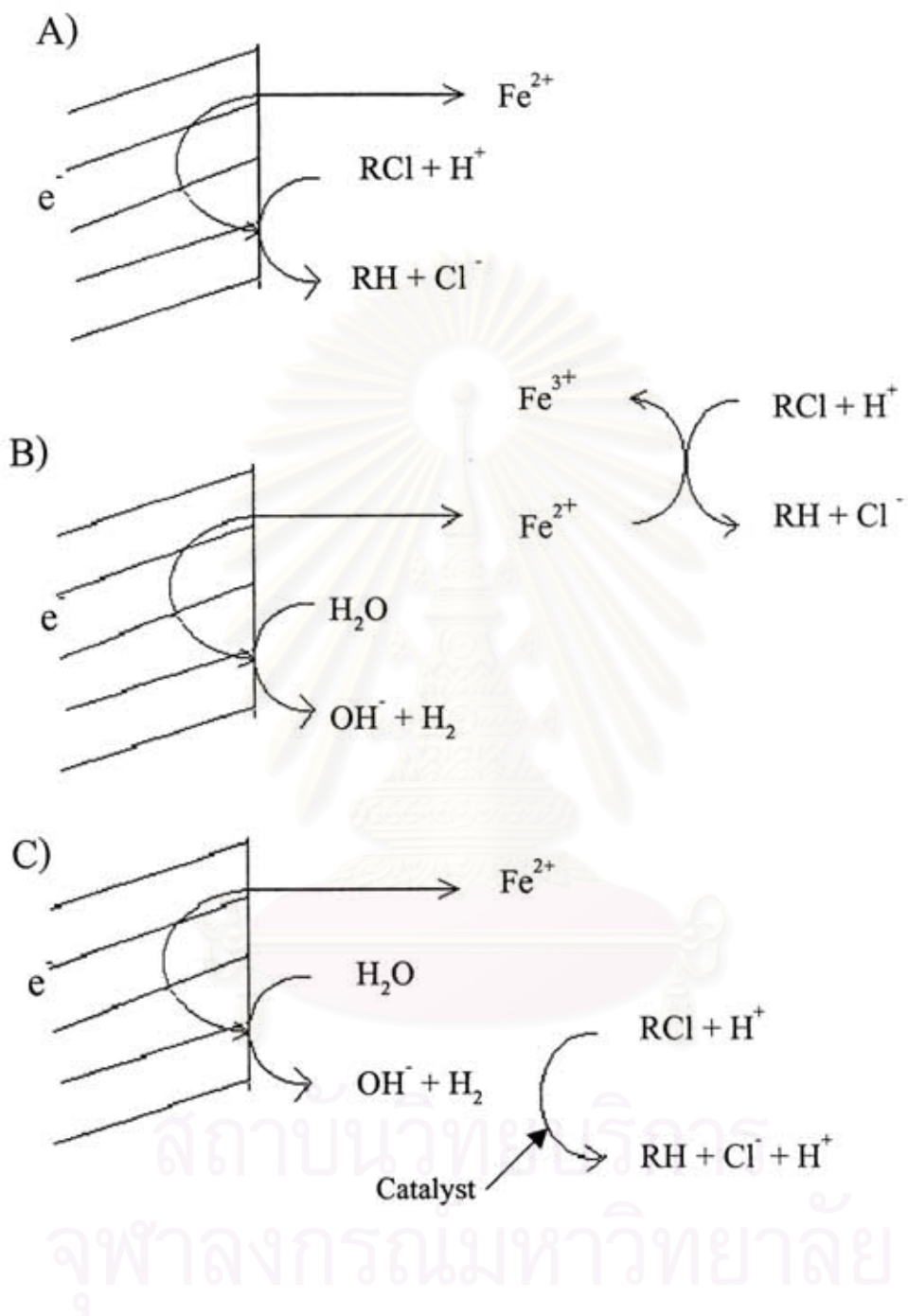


ปฏิกิริยารีดอกซ์



ปฏิกิริยา reduction นี้ เกิดจากโลหะเหล็กโดยตรง โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากพื้นที่ผิวของ Fe^0 และดูดซับคลอโรเบนซีน (C_6H_5Cl) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้ผลิตภัณฑ์คือ เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}), เบนซีน (C_6H_6) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-)

ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำโดยใช้ผงเหล็ก



ภาพที่ 2.2 A ปฏิกิริยาเคมีหลัก

ภาพที่ 2.2 B ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็น Intermediate Product ของการกัดเซาะในสารละลาย

ภาพที่ 2.2 C ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดจากการกัดเซาะด้วยน้ำ

(ที่มา : Matheson and Tratnyek, 1994)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yentongchai (1992) ศึกษาการวิเคราะห์สารประกอบคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนบางชนิดที่ระเหยง่ายในตัวอย่างน้ำ เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม เมทิลคลอไรด์ 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน และ ไตรคลอโรเอทิลีน โดยใช้เทคนิคเฮดสเปส ศึกษาและประเมินค่าปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความไว (sensitivity) ได้แก่ เวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุล อุณหภูมิ อัตราส่วนของปริมาตรระหว่างน้ำต่ออากาศ ปริมาณของเฮดสเปสแก๊สที่ใช้ในการวิเคราะห์และการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนต ผลการศึกษาพบว่า การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ด้วยอัตราส่วนน้ำต่ออากาศ 30:30 ในขวดขนาด 60 มิลลิลิตร ปริมาตรของเฮดสเปสที่นำเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ 1.50 มิลลิลิตร และใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 13.00 กรัม เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการวิเคราะห์โดยเทคนิคเฮดสเปส

Gillham และ O'Hannesin (1994) ศึกษาการใช้ zero-valent iron เพื่อเพิ่มปฏิกิริยาการกำจัดคลอรีนออกจากสารประกอบคลอรีเนเตดมีเทน คลอรีเนเตดอีเทน และคลอรีเนเตดอีทีน 14 ตัว ทำการทดลองแบบ batch โดยใช้ผงเหล็กขนาด 100 mesh. 10 กรัม ใส่ในขวด ขนาด 40 มิลลิลิตร จากนั้นเติมคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนลงไปในช่วง ความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจะลดลงตามเวลา โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวผงเหล็กเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนปริมาณผงเหล็กต่อปริมาตรคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น

Kriegman-King และ Reinhard (1994) ศึกษาการเปลี่ยนโครงสร้างของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ ไพไรต์ (FeS) ภายใต้สภาวะมีอากาศและไร้อากาศ ปฏิกริยาทั้งสองสภาวะ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ มากกว่า 90 % ถูกเปลี่ยนไปโดยใช้ไพไรต์ 1.2-1.4 m²/L ที่ 25 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 12-36 วัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบ zero-order ขึ้นกับความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์และพื้นที่ผิวของไพไรต์ ในสภาวะไร้อากาศ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ มากกว่า 70 % เปลี่ยนไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนสภาวะมีอากาศ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ประมาณ 50 % เปลี่ยนไปเป็น CHCl₃

Matheson and Tratnyek (1994) ศึกษาการลดตัวทำลายคลอรีน โดยใช้โลหะเหล็กขนาดเล็กละเอียด ในระบบไร้อากาศแบบที่ละเท เพื่อช่วยบำบัดน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน ผลการทดลอง carbon tetrachloride 70 % เปลี่ยนเป็น chloroform และ chloroform 50% เปลี่ยนเป็น methylene chloride และเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง

Boronina และ Klabunde (1995) ศึกษาการกำจัดคลอรีนออกจากคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยใช้โลหะ ได้แก่ แมงกานีส (Mg), ดีบุก (Sn) และ สังกะสี (Zn) เมื่อใช้แมงกานีสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ผลิตภัณฑ์คือ $Mg-CCl_4$ ส่วนดีบุกเมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์คือ CO_2 , $CHCl_3$, SnO_2 , HCl และ CH_2Cl_2 ในกรณีสังกะสีเมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์คือ $ZnCl_2$, $Zn(OH)_2$, CH_4 , $CHCl_3$ และ CH_2Cl_2 โดยมี $CHCl_3$ เป็น สารมัธยันตร์ ดังนั้นการใช้ดีบุกและสังกะสีจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายแตกต่างกัน

Burris และคณะ (1995) ศึกษาขบวนการดูดซับของกลไกการลด trichloroethylene (TCE) และ tetrachloroethylene (PCE) ด้วย zero-valent iron ในระบบไร้อากาศแบบ batch วัดความเข้มข้นของตัวทำละลายคลอรีนในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ PCE และ TCE เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

Grittini และคณะ (1995) ศึกษาการกำจัดคลอรีนออกจาก polychlorinated biphenyls (PCB) โดยใช้ palladized iron (Pd/Fe) ที่อุณหภูมิบรรยากาศ ประมาณ 5-10 นาที ปฏิกิริยากำจัดคลอรีนเกิดอย่างรวดเร็วโดย PCB ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว Pd/Fe ทำให้คลอรีนทุกอะตอมถูกแทนที่โดยไฮโดรเจนอะตอม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ biphenyl และ chloride ion ถ้ามี palladized เปอร์เซนต์สูงบนพื้นผิวเหล็ก ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็วขึ้น

Orth and Gillham (1996) ศึกษาการกำจัดคลอรีนออกจาก trichloroethane โดยผ่านคอลัมน์ที่บรรจุผงเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ethane ประมาณ 3.0-3.5 % ของสารเริ่มต้น ซึ่งมีปริมาณน้อยเนื่องจาก trichloroethane ที่เหลือส่วนใหญ่ถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวเหล็กจนกระทั่งเกิดปฏิกิริยากำจัดคลอรีนอย่างสมบูรณ์

Siantar และคณะ (1996) ศึกษาความสามารถของ zero-valent iron powder และ hydrogen ที่มี palladium เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการกำจัดสารประกอบฮาโลเจน โดยเปลี่ยน 1,2-dibromo-3-chloropropane (DBCP) ไปเป็น propane ในสภาวะ pH เป็นกลาง และที่อุณหภูมิบรรยากาศ

Tratnyek (1996) ศึกษาการใช้ zero-valent iron ในการกำจัดฮาโลเจนจากตัวทำละลายคลอรีนในสิ่งแวดล้อม โดยเปลี่ยนคาร์บอนเตตระคลอไรด์ไปเป็นคลอโรฟอร์มอย่างรวดเร็ว และเกิดเมธิลีนคลอไรด์ขึ้นเล็กน้อย ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ส่วนคลอรีนเดอซีทีนเกิดปฏิกิริยากำจัด

คลอรีนได้ไม่สมบูรณ์ ได้ผลิตภัณฑ์คือ ไวนิลคลอไรด์ แสดงว่าน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อนด้วยตัวทำละลายคลอรีน สามารถใช้ zero-valent iron กำจัดคลอรีนออกได้ โดยปฏิกิริยาการกำจัดตัวทำละลายคลอรีนพวกคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอิ่มตัว เช่นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ จะเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วกว่าพวกที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัว

Ozdemir และ Tufekci (1997) ศึกษาการลดสารประกอบคลอรีนในสารละลายคลอรีนโดยใช้ผงเหล็ก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเช่น pH, อุณหภูมิ และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย ผลการทดลองพบว่า สารประกอบ OCl^- และ HOCl ถูกกำจัดได้ 100 % pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4 ถึง 7 ภายใน 25 นาที

Wang and Zhang (1997) ศึกษาการกำจัดคลอรีนออกจากสารประกอบพวก chlorinated aliphatics compounds และ polychlorinated biphenyls (PCB) โดยใช้ nanoscale iron (1-100 nM) หรือ nanoscale Pd/Fe ที่อุณหภูมิบรรยากาศ ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ nanoscale iron ที่สังเคราะห์ขึ้น มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนได้ดีกว่าผงเหล็กที่ขายทั่วไป เพราะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่า และอนุภาคขนาด nanoscale ของ Pd/Fe มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนได้ดีกว่า nanoscale iron อย่างเดียว

Arnold และ Roberts (1998) ศึกษาการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ zero-valent metals ทำการทดลองแบบที่ละเท โดยใช้ zinc (Zn) ในการกำจัด chlorinated ethylene ผลการทดลองสามารถลด tetrachloroethylene 15%, trichloroethylene 30%, cis-dichloroethylene 85 % และ tran-dichloroethylene 95% ส่วน chloroacethylene และ dichloroacethylene เกิดปฏิกิริยากำจัดคลอรีนโดยใช้ Zn ได้รวดเร็วกว่า chloroethylene นอกจากนี้ยังเกิดการสลายพันธะสามของ chloroacethylene ด้วย

Boronina และคณะ (1998) ศึกษาการลดสารคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนซึ่งปนเปื้อนในน้ำบาดาล โดยใช้โลหะสังกะสี (Zn) การทดลองใช้โลหะสังกะสีลดปริมาณคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4), คลอโรฟอร์ม (CHCl_3) และ เมทิลีนคลอไรด์ (CH_2Cl_2) วิเคราะห์สารโดยใช้ GC/MS ปฏิกิริยาการลดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เกิดผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คลอโรฟอร์ม, เมทิลีนคลอไรด์, เมทิลคลอไรด์ (CH_3Cl), อะเซทิลีน (C_2H_2) และ มีเทน (CH_4) เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 ชั่วโมง คาร์บอนเตตระคลอไรด์ถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนประมาณ 20 % ส่วนปฏิกิริยาการลดเมทิลีนคลอไรด์ เกิดผลิตภัณฑ์ ได้แก่ cis และ tran-1,2-dichloroethane (DCE)

Butler และ Hayes (1998) ศึกษาการใช้โลหะซัลไฟด์ในการลดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในสภาวะไร้อากาศ ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียในสิ่งแวดล้อม เช่น pH, ionic และสารละลายอินทรีย์ ในการกำจัดคลอรีนออกจาก hexachloroethane (HCA) โดยใช้ FeS ผลการทดลองปฏิกิริยาการกำจัดคลอรีนขึ้นอยู่กับ pH และ พื้นที่ผิวโลหะ ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ tetrachloroethylene (PCE) ส่วนผลิตภัณฑ์ย่อยคือ trichloroethylene (TCE), cis-1,2-dichloroethylene และ acetylene ส่วน pentachloroethylene (PCA) เป็นสารมัธยันตร์

Fennelly และ Roberts (1998) ศึกษาปฏิกิริยาการลด 1,1,1-trichloroethane (1,1,1-TCA) โดยใช้ zero-valent metals ได้แก่ zinc, iron และ bimetallic (Ni-iron, Cu-iron) ทำการทดลองแบบ batch ในระบบไร้อากาศ ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ zinc เกิดปฏิกิริยาการลด 1,1,1-TCA อย่างรวดเร็วได้ผลิตภัณฑ์ คือ ethane และมี 1,1,- dichloroethane เป็นสารมัธยันตร์ ส่วนเมื่อใช้ iron, nickel-iron และ copper-iron เกิดปฏิกิริยาการลด 1,1,1-TCA ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ 1,1-dichloroethane และ ethane ส่วนผลิตภัณฑ์รองคือ cis-butene, ethylene และ 2-butyne

O'Hannesin และ Gillham (1998) ศึกษาการลดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนในน้ำบาดาล โดยใช้เม็ดผงเหล็ก ทำการทดลองผสมผงเหล็ก (22%) กับทราย (78%) นำมา สร้างกำแพง จากนั้น บำน้ำบาดาลที่ปนเปื้อน trichloroethene (TCE) 268 mg/L และ tetrachloroethene (PCE) 58 mg/L พบว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยา TCE ถูกกำจัด 90 % และ PCE ถูกกำจัด 86 % ได้ผลิตภัณฑ์คือ dichloroethene isomers ซึ่งกำแพงนี้มีอายุใช้งาน 5 ปี มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดูแลรักษาต่ำ

Butler และ Hayes (1999) ศึกษาการเปลี่ยนโครงสร้างของ trichloroethylene (TCE) และ tetrachloroethylene (PCE) โดยใช้ FeS 10 g/L (0.5 m²/L) ศึกษาแบบ batch ที่ pH 8.3 ได้ผลิตภัณฑ์คือ 1,1-dichloroethylene(1,1-DCE) และเกิด acetylene เป็นผลิตภัณฑ์หลัก เมื่อเวลาผ่านไป 120 วัน

Deng และคณะ (1999) ศึกษาจลศาสตร์และกลไกการลด vinyl chloride (VC) โดยใช้ metallic iron ทำการทดลองแบบ batch หาประสิทธิภาพในการลด VC โดยแปรผัน ความเข้มข้นของ VC, pH, อุณหภูมิ และ Fe²⁺/Fe³⁺ chelating agent (1,10-phenanthroline, 2,2-dipyridyl and nitrilotriacetic acid) ผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาการลด VC ได้ผลิตภัณฑ์คือ ethylene ปฏิกิริยาเป็นแบบ pseudo-first order อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น, pH ลดลง และปริมาณ Fe เพิ่มขึ้น

Lowry และ Reinhard (1999) ศึกษาการใช้โลหะพาลาเดียม (Pd) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับแก๊สไฮโดรเจน ในการลดฮาโลเจนออกจากน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อนด้วยคลอรีน ทำการทดลองแบบ batch ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิบรรยากาศ ใช้ 1% w/w Pd/Al 0.22 g/L ในการกำจัด trichloroethylene (TCE) เมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์คือ ethane 97% โดยไม่เกิดสารมัธยันตร์ ส่วน carbon tetrachloride (CCl_4) เมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ ผลิตภัณฑ์คือ methane และ ethane เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และเกิด ethylene, propane และ propylene เล็กน้อย โดยเกิด chloroform 20 % ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์

Sonoyama และ Sakata (1999) ศึกษาการกำจัดคลอโรฟอร์มและสารประกอบคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยง่ายบางตัวในน้ำ โดยใช้โลหะ Ag และ Zn ร่วมกับ carbon fiber electrode (CFE) ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Ag-CFE และ Zn-CFE ในการกำจัดคลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.25 mMol/L จะได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ methane และมีประสิทธิภาพในการกำจัด 100 % โดยมีการ detection limit = 1 ppm. ส่วนปฏิกิริยาการลด tetrachloroethylene, 1,1,1-trichloroethane และ 1,1,2-trichloroethane โดยใช้ Ag-CFE มี ประสิทธิภาพในการกำจัดเกือบจะเท่ากับ 100 %

Su และ Puls (1999) ศึกษาการลด trichloroethene (TCE) ที่มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ zero-valent iron (Fe^0) และ tin (Sn) ในระบบไร้อากาศแบบ batch ที่อุณหภูมิ 25 และ 55 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาการลด TCE ได้รวดเร็วกว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และพบว่า Fe^0 สามารถลด TCE ได้รวดเร็วกว่า Sn เมื่อใช้ Fe^0 ลด TCE ได้ผลิตภัณฑ์คือ cis-dichloroethene, ethene, ethane ส่วนการลด TCE โดยใช้ Sn ได้ผลิตภัณฑ์คือ cis-dichloroethene, tran-dichloroethene, vinyl chloride และ ethene

Yak และคณะ (1999) ศึกษาวิธีการกำจัดสาร polychlorinated biphenyls ที่ปนเปื้อนในดินและตะกอน โดยใช้ zero-valent iron ขนาด 100 mesh ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส สามารถกำจัด aroclor 1260 โดยใช้เวลา 1-8 ชั่วโมง เกิดผลิตภัณฑ์คือ pentachlorobiphenyl 12 %, hexachlorobiphenyl 42 %, heptachlorobiphenyl 38%, octachlorobiphenyl 7% และ nonachlorobiphenyl 1%

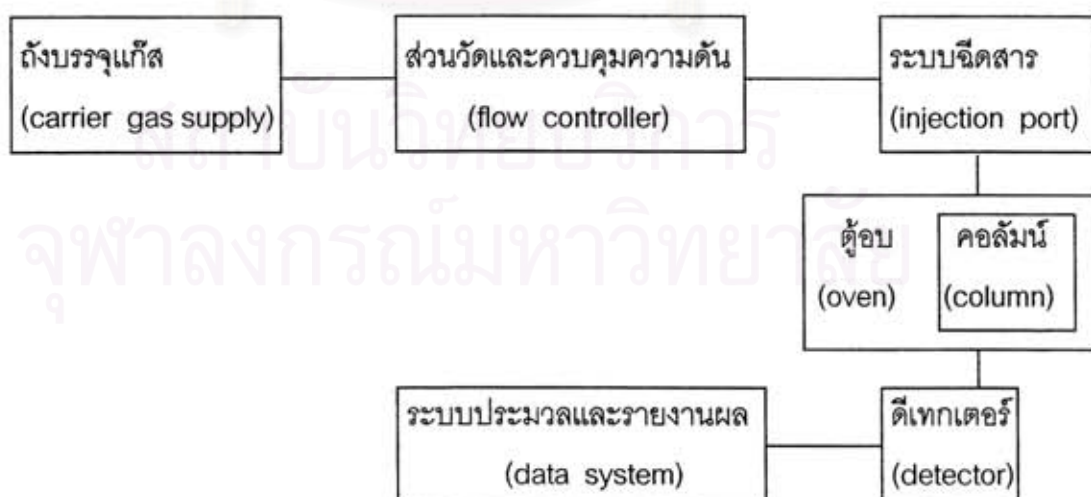
แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) เป็นวิธีที่ใช้ในการแยกสารผสมในสถานะแก๊ส โดยอาศัยหลักการกระจายตัวของสารระหว่าง 2 เฟสแตกต่างกันคือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) และ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยที่เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็งหรือของเหลวเคลือบอยู่บนของแข็ง บรรจุอยู่ในคอลัมน์ หรือเป็นของเหลวเคลือบอยู่ที่ผนังด้านในของคอลัมน์ชนิดแคปิลลารี ส่วนเฟสเคลื่อนที่ เป็นแก๊สเรียกว่าแก๊สพา (carrier gas) แก๊สโครมาโตกราฟีแบ่งเป็น 2 เทคนิค คือ

1. แก๊ส-โซลิดโครมาโตกราฟี (Gas Solid Chromatography, GSC) เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็งที่สามารถดูดซับ (adsorption) สารที่ต้องการแยกได้ และไม่มีสารอื่นใดเคลือบอยู่
2. แก๊ส-ลิกวิดโครมาโตกราฟี (Gas Liquid Chromatography, GLC) สารที่เป็นแก๊สหรือไอของสารที่ผสมกันอยู่ เมื่อผ่านคอลัมน์จะสามารถแยกออกจากกันได้ด้วยการกระจายตัวที่แตกต่างกันของแก๊สหรือไอระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสอยู่กับที่ ซึ่งมีของเหลวฉาบอยู่บนของแข็ง หรือเป็นของเหลวเคลือบอยู่ที่ผนังด้านในของคอลัมน์ชนิดแคปิลลารี

การวิเคราะห์สารด้วย GC นิยมใช้เทคนิค GLC มากกว่า GSC เนื่องจากสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่มาก ทำให้เลือกใช้งานได้กว้าง นอกจากนี้ของเหลวสามารถเคลือบได้ในคอลัมน์ชนิดแคปิลลารี ซึ่งนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เครื่องมือแก๊สโครมาโตกราฟี มีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี



(ที่มา : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2534)

หลักการทำงานของเครื่อง GC

สารตัวอย่างถูกฉีด (inject) เข้าเครื่อง GC บริเวณ injection port แล้วกลายเป็นไอทันทีด้วยความร้อน ไอสารถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สพา ซึ่งไหลผ่านคอลัมน์อยู่ตลอดเวลา สารแต่ละชนิดในตัวอย่่างจะแพร่กระจายในเฟสอยู่กับที่แตกต่างกัน สารจึงเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ในเส้นทางที่แตกต่างกัน ทำให้สารผสมแยกออกเป็นแถบของสารแต่ละชนิด เคลื่อนที่เข้าสู่ดีเทกเตอร์ด้วยเวลาแตกต่างกัน ตามลำดับ รายงานผลเป็นกราฟระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับเวลา เรียกว่าโครมาโทแกรม ขนาดของสัญญาณแปรผันโดยตรงกับปริมาณของสาร เครื่อง GC มีส่วนประกอบดังนี้

- ถังแก๊สที่ใช้บรรจุตัวพา (carrier gas) เพื่อจะพาไอของสารตัวอย่างผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ ได้แก่ ไนโตรเจน ฮีเลียม และอาร์กอน เป็นต้น
- ส่วนวัดและควบคุมการไหลของแก๊สต่างๆ (flow controller) ได้แก่ ไฮโดรเจน อากาศ และไนโตรเจน เป็นต้น
- ระบบฉีดสารตัวอย่างเข้าไป (injection port)
- คอลัมน์ (column) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ใช้ในการแยกสาร
- ดีเทกเตอร์ (detector) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดสารแต่ละชนิดที่ถูกแยกออกมาจากคอลัมน์ ดีเทกเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ Flame Ionization Detector (FID) หลักการทำงานของ FID คือไอของสารถูกแก๊สพาเข้าสู่ดีเทกเตอร์ ซึ่งภายในมีเปลวไฟจากแก๊สไฮโดรเจนกับแก๊สออกซิเจน สารตัวอย่างถูกเผาเกิดเป็นไอออนในสถานะแก๊ส อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทำให้ความต้านทานระหว่างขั้วไฟฟ้าลดลง กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านในวงจรได้ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่เข้าสู่ดีเทกเตอร์
- ส่วนที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ให้กับดีเทกเตอร์ และ injector
- ส่วนที่ใช้ประมวลผลและข้อมูลต่างๆ ได้แก่ อินทิเกรเตอร์ เครื่องบันทึกโครมาโทแกรม หรือ data processor หรือคอมพิวเตอร์

เทคนิคเฮดสเปซ (Headspace Technique)

วิธีการวิเคราะห์สารตัวอย่างแบบเฮดสเปซนี้ ใช้สำหรับสารที่สามารถระเหยได้โดยใส่สารตัวอย่างลงในขวดที่ปิดสนิท (sealed vial) ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้และทำให้ร้อนขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นไอจนเกิดสมดุลขึ้น (equilibrium) ระหว่าง gas phase และ liquid phase หรือ solid phase องค์ประกอบของสารที่ระเหยได้จะอยู่ในชั้นแก๊ส หลังจากเกิดสมดุลแล้วก็ฉีดตัวอย่างที่เป็นไอเข้าเครื่องด้วย gas-tight syringe

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้นิยมใช้กับการวิเคราะห์สารในอาหาร, เครื่องดื่ม, เครื่องสำอาง trace analysis และ volatile organic solvent เนื่องจากตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปในคอลัมน์อยู่ในสภาพเป็นแก๊ส ดังนั้นตัวอย่างที่ไม่สามารถระเหยได้จะไม่สามารถฉีดเข้าไปในคอลัมน์ วิธีการนี้จึงเหมาะสมกับตัวอย่างที่มี impurity มาก นอกจากนี้แล้วทำให้สามารถวิเคราะห์สารที่มีปริมาณในระดับน้อยๆ ได้ (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2534)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (ของบริษัท Hewett Packard รุ่น HP 5890) แบบ Flame Ionization Detector (FID)
2. ไมโครไซริงค์ (gastight microsyringe) ขนาด 2.5 mL
3. ไมโครปิเปตขนาด 1000 μ L
4. ปิเปตขนาด 1.00, 2.00 , 5.00, 10.00 mL
5. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 5, 10, 25, 100, 250, 500 และ 1000 mL
6. ขวดยาฉีด (serum vial) ขนาด 25 mL
7. บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1000 mL
8. ขวดชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 100, 125, 250 และ 500 mL
9. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 50, 100, 500, 1000 mL
10. อลูมิเนียมฝาขวด (aluminium crimp cap)
11. อุปกรณ์ปิดฝาขวด (manual hand operated crimper)
12. อลูมิเนียมฟรอยด์ (aluminium foils)
13. ยางปิดฝาขวด (black rubber septa)
14. พีเอช มิเตอร์ (pH meter)
15. เครื่องเขย่า (shaker)
16. ขวดแก้วสี่ขาขนาด 4,000 mL

3.2 สารเคมี

1. carbon tetrachloride (บริษัท Merck)
2. chloroform (บริษัท Merck)
3. methylene chloride (บริษัท Merck)
4. chlorobenzene (บริษัท Merck)
5. methanol
6. H_2SO_4

7. citric acid
8. Na_2HPO_4
9. น้ำกลั่น (distilled water)
10. ผงเหล็ก (Fe^0) ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน (บริษัท Fluka)
11. anhydrous sodium sulfate (บริษัท Merck)
12. glass bead เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.3 เซนติเมตร

หมายเหตุ

ตั้งแต่ข้อ 1-4 เป็นสารละลายมาตรฐานคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่ง ร้อยละความบริสุทธิ์ และความหนาแน่นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของสารละลายมาตรฐาน และความหนาแน่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

สารประกอบคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน	ร้อยละความบริสุทธิ์ของสารละลายมาตรฐาน	ความหนาแน่น
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	99.8	1.585
คลอโรฟอร์ม	99.9	1.474
เมทิลคลอไรด์	100.0	1.323
คลอโรเบนซีน	95.0	1.105

3.3 การเตรียมสารมาตรฐานเมทิลคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ในตัวทำละลายเมทานอล สำหรับการทดลองที่ใช้เทคนิคเฮดสเปคกับระบบแก๊สโครมาโตกราฟี

เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมทิลคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีนในตัวทำละลายเมทานอล เตรียมได้โดยใช้ไมโครไซริงซ์ขนาด 1000 ไมโครลิตร ดูดสารละลายมาตรฐานของสารประกอบคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวให้มีปริมาตรตามที่กำหนด ในตารางที่ 3.2 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 mL ซึ่งมีปริมาณเมทานอลอยู่เล็กน้อยจากนั้นเติมตัวทำละลายเมทานอลจนถึงขีดวัดปริมาตร

ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเริ่มต้นแต่ละชนิดเท่ากับ 1000 mg/L คำนวณจากความหนาแน่นและค่าร้อยละความบริสุทธิ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน ที่ใช้ในการทดลองในตัวทำละลายเมทานอล ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 mL

สารประกอบ	ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน (μL)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (mg/L)
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	632	1000
คลอโรฟอร์ม	678	1000
เมทิลลีนคลอไรด์	756	1000
คลอโรเบนซีน	905	1000

3.4 การเตรียมผงเหล็ก

- นำผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และขนาด 150 ไมครอน ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 mL ทั้ง 2 ใบ
- ล้างด้วย 3% HCl เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง
- นำผงเหล็กเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.5 การเตรียมบัฟเฟอร์ (buffer) โดยใช้ citric acid และ Na_2HPO_4

- เตรียม citric acid 0.1 M. โดยชั่ง citric acid 19.21 กรัม ใส่ในขวด แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 mL
- เตรียม Na_2HPO_4 0.2 M โดยชั่ง Na_2HPO_4 35.60 กรัม ใส่ในขวด แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 mL
- ผสม citric acid กับ Na_2HPO_4 เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้บัฟเฟอร์ ที่มีค่า pH ตั้งแต่ 4 ถึง 8 ในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงการเตรียมบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ตั้งแต่ 4 ถึง 8

pH	Na_2HPO_4 (mL)	citric acid (mL)
4	38.55	61.45
5	51.50	48.50
6	63.15	36.85
7	82.35	17.65
8	97.25	2.75

(ที่มา : Deah, 1979)

3.6 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารมาตรฐานคลอรีนเตตราไฮโดรคาร์บอน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 3.4 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	สภาวะที่ใช้ในการทดลอง
แคปิลารีคอลัมน์ (capillary column)	DB-1 ขนาด 30 m. x 0.25 mm. , ID. 0.25 μ m.
injection temperature	220 °C
detector temperature	220 °C
inital temperature	40 °C
final temperature	50 °C
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	5 °C/min
เวลาเริ่มต้น (inital time)	1 min
เวลาสุดท้าย (final time)	3 min
split ratio	50 : 1
flow rate of carrier gas (He)	1 mL/min
flow rate of H ₂	40 mL/min
flow rate of air zero	80 mL/min
detector	Flame Ionization Detector (FID)

3.7 การเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมี

- 3.7.1 การสำรวจข้อมูลจุดเก็บตัวอย่าง โดยเลือกจุดเก็บตัวอย่างจากท่อปลายน้ำทิ้งก่อนระบายสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ
- 3.7.2 วัดอัตราการไหลของน้ำเสียโดยใช้กระบอกตวงขนาด 1000 mL รองรับน้ำเสียให้ได้ปริมาตร 1000 mL และจับเวลาเป็นนาที วัด pH ของน้ำเสียตัวอย่าง แล้วนำเข้าสู่เย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 4 องศาเซลเซียส
- 3.7.3 เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุกๆ 1 ชั่วโมงตลอดช่วงการทำงานของอาคาร ปริมาตรที่เก็บตัวอย่างแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำเสีย แล้วนำมารวมกันในขวดแก้วสีชาขนาด 4000 mL ซึ่งแช่ขวดไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 4 องศาเซลเซียส (แสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก.)
- 3.7.4 วัด pH ของน้ำตัวอย่าง แล้วนำเข้าสู่เย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 4 องศาเซลเซียส

3.8 วิธีการทดลอง

3.8.1 การหาค่า retention time ของสารมาตรฐานคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีน-คลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน

1. เตรียมสารละลายแบบลงค์โดยเติมเฉพาะตัวทำละลายเมทานอล 0.1 mL ลงในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตอยู่ 3.0 กรัม ละลายอยู่ในน้ำกลั่น ปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร
2. ปิดปากขวดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
3. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาณ 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.3
4. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายแบบลงค์
5. ใช้ปิเปตขนาด 0.1 mL ดูดสารละลายมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ตามลำดับ ที่มีความเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มาปริมาณ 0.1 mL ใส่ลงใน serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตอยู่ 3.0 กรัม ละลายอยู่ในน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ทั้ง 4 ขวด
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
7. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
8. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ตามลำดับ แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารละลายแบบลงค์

3.8.2 การหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารมาตรฐานคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีน-คลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ที่สามารถตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ตามลำดับ เข้มข้น 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 4 ขวด

2. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ตูดสารละลายปริมาตร 10 mL ในแต่ละขวด ใส่ในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตอยู่ 3.0 กรัม ทั้ง 4 ขวด
3. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
4. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ตูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-4 โดยลดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจากที่เข้มข้น 10 mg/L ลงเรื่อยๆ จนสัญญาณที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวนเพียง 2 เท่า
6. บันทึกความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารละลายมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ตามลำดับ ที่สามารถตรวจวัดได้

3.8.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรอินเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ที่สามารถตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.8.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 5, 10, 15, 20 และ 25 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
3. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ตูดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์ แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟต อยู่ 3.0 กรัม ทั้ง 10 ขวด
4. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
5. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ตูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4 โดยทำการวิเคราะห์ขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดก่อน

6. ทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเมธิลีนคลอไรด์ โดยพล็อตระหว่างพื้นที่ใต้พีค (แกน y) กับความเข้มข้น (แกน X)

3.8.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 5, 10, 15, 20 และ 25 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มที่มีความเข้มข้น 200, 400, 600, 800 และ 1,000 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 50, 100, 150, 200 และ 250 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟต อยู่ 3.0 กรัมทั้ง 15 ขวด
5. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่ อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
6. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4 โดยทำการวิเคราะห์ขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดก่อน
7. ทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม โดยพล็อตระหว่างพื้นที่ใต้พีค (แกน y) กับความเข้มข้น (แกน X)

3.8.3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
2. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตอยู่ 3.0 กรัมทั้ง 5 ขวด
3. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
4. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4 โดยทำการวิเคราะห์ขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดก่อน
5. ทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยพล็อตระหว่างพื้นที่ใต้พีค (แกน y) กับความเข้มข้น (แกน X)

3.8.3.4 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซีน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซีนที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 mL ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ทั้ง 5 ขวด
2. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซีนแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial ขนาด 20 mL ที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตอยู่ 3.0 กรัมทั้ง 5 ขวด
3. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
4. ใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4 โดยทำการวิเคราะห์ขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดก่อน
5. ทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซีน โดยพล็อตระหว่างพื้นที่ใต้พีค (แกน y) กับความเข้มข้น (แกน X)

3.8.4 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์

3.8.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์

1. นำผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ปริมาณ 1 กรัม จากข้อ 3.4 ใส่ใน serum vial ขนาด 20 mL ทั้ง 2 ขวด
2. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 3.0 กรัม และ glass bead ประมาณ 10 เม็ด ลงใน serum vial แต่ละขวด
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์ เข้มข้น 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะ pH โดยใช้บัฟเฟอร์จากข้อ 3.5 ให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 มาปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial จากข้อ 2. ทั้ง 10 ขวด
5. เตรียมสารละลายแบลนด์โดยทำการทำลองเหมือนในข้อ 2-4 (ไม่เติมผงเหล็ก)
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap
7. นำขวดไปเขย่าบน shaker ที่มีความเร็ว 150 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง
8. นำขวดไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
9. วัดความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์ เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
10. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์ แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเมธิลลีนคลอไรด์

3.8.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอโรฟอร์ม

1. นำผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ปริมาณ 1 กรัม จากข้อ 3.4 ใส่ใน serum vial ขนาด 20 mL ทั้ง 2 ขวด
2. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 3.0 กรัม และ glass bead ประมาณ 10 เม็ด ลงใน serum vial แต่ละขวด

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม เข้มข้น 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะ pH โดยใช้บัฟเฟอร์จากข้อ 3.5 ให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 มาปริมาณ 10 mL ใส่ในขวด serum vial จากข้อ 2. ทั้ง 10 ขวด
5. เตรียมสารละลายแบลนด์โดยทำการทำลองเหมือนในข้อ 2-4 (ไม่เติมผงเหล็ก)
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap
7. นำขวดไปเขย่าบน shaker ที่มีความเร็ว 150 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง
8. นำขวดไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
9. วัดความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มเมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาณ 1.5 mL แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
10. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของคลอโรฟอร์ม แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

3.8.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์

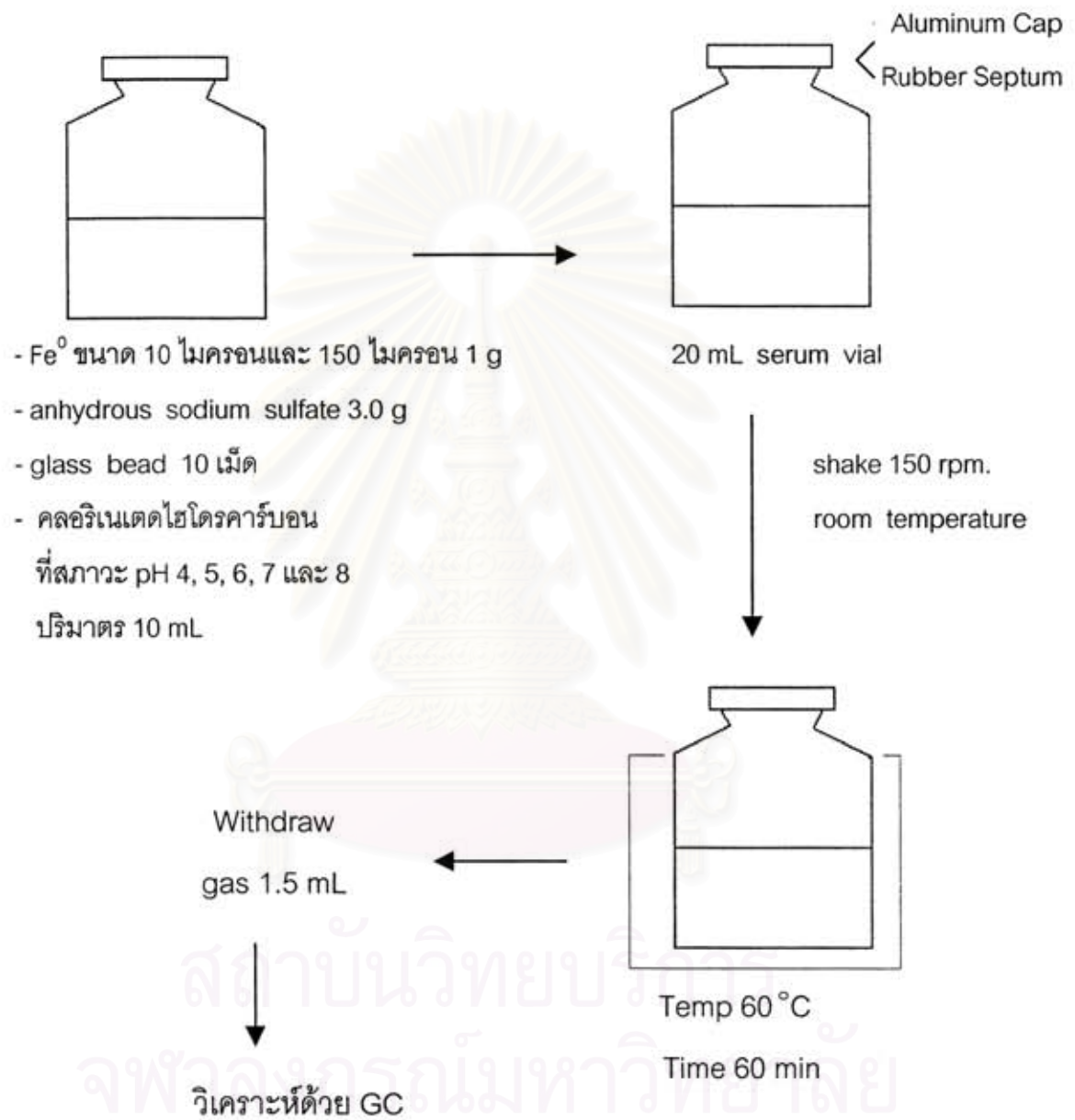
1. นำผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ปริมาณ 1 กรัม จากข้อ 3.4 ใส่ใน serum vial ขนาด 20 mL ทั้ง 2 ขวด
2. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 3.0 กรัม และ glass bead ประมาณ 10 เม็ด ลงใน serum vial แต่ละขวด
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เข้มข้น 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะ pH โดยใช้บัฟเฟอร์จากข้อ 3.5 ให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 มาปริมาณ 10 mL ใส่ในขวด serum vial จากข้อ 2. ทั้ง 10 ขวด
5. เตรียมสารละลายแบลนด์โดยทำการทำลองเหมือนในข้อ 2-4 (ไม่เติมผงเหล็ก)
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap

7. นำขวดไปเขย่าบน shaker ที่มีความเร็ว 150 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง
8. นำขวดไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
9. วัดความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
10. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์

3.8.4.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอโรเบนซิน

1. นำผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ปริมาณ 1 กรัม จากข้อ 3.4 ใส่ใน serum vial ขนาด 20 mL ทั้ง 2 ขวด
2. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 3.0 กรัม และ glass bead ประมาณ 10 เม็ด ลงใน serum vial แต่ละขวด
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินเข้มข้น 10 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L จากข้อ 3.3 มา 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซินความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะ pH โดยใช้บัฟเฟอร์ จากข้อ 3.5 ให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 มาปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial จากข้อ 2. ทั้ง 10 ขวด
5. เตรียมสารละลายแบลนด์โดยทำการทำลองเหมือนในข้อ 2-4 (ไม่เติมผงเหล็ก)
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap
7. นำขวดไปเขย่าบน shaker ที่มีความเร็ว 150 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง
8. นำขวดไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
9. วัดความเข้มข้นของคลอโรเบนซินเมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
10. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของคลอโรเบนซิน แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซิน

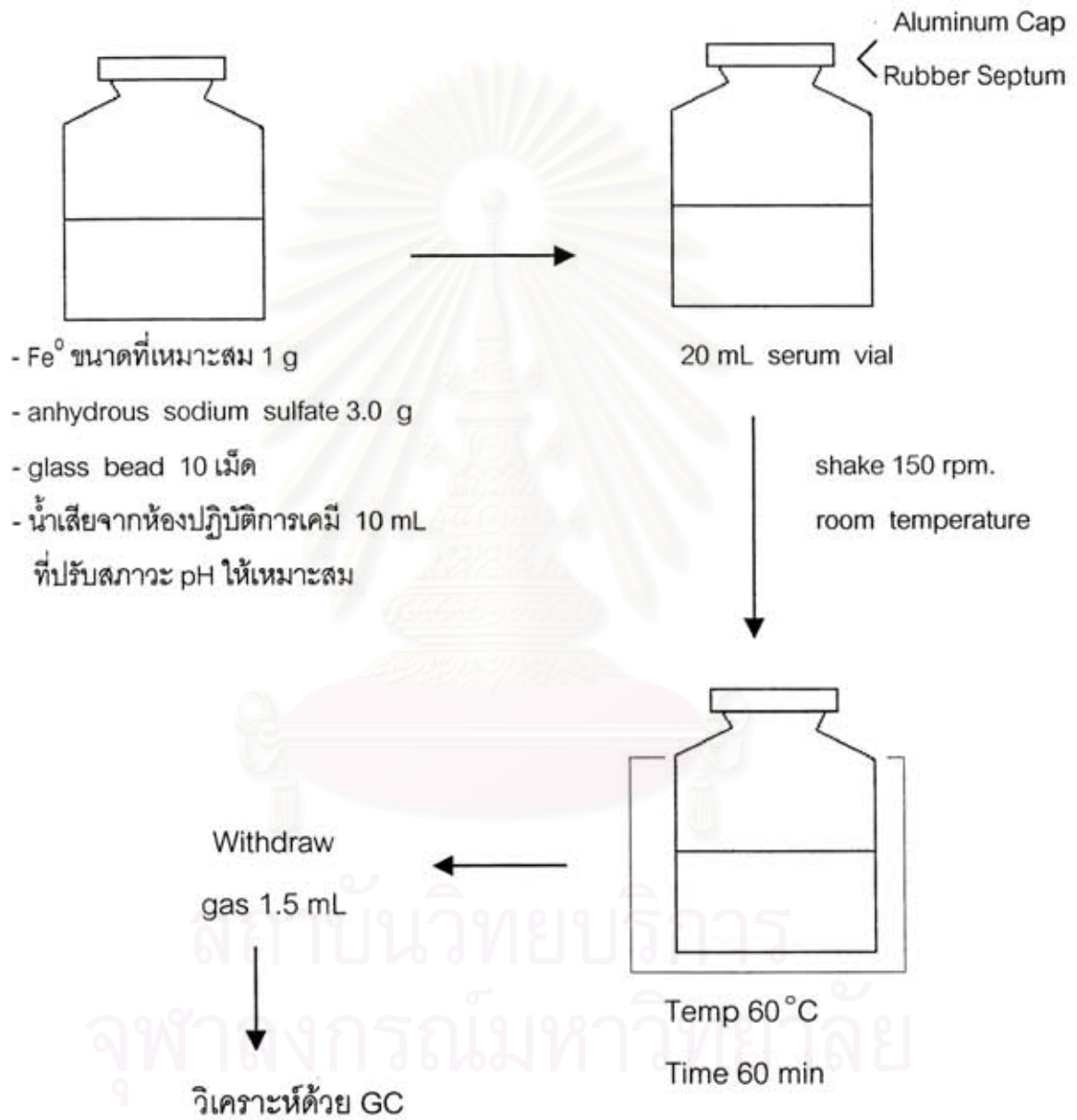
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก



3.8.5 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

1. นำผงเหล็กขนาดที่เหมาะสม (จากการทดลองข้อ 3.8.4) ปริมาณ 1 กรัม จากข้อ 3.4 ใส่ใน serum vial ขนาด 20 mL
2. เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 3.0 กรัม และ glass bead ประมาณ 10 เม็ด ลงใน serum vial
3. นำตัวอย่างน้ำเสียจากข้อ 3.7.4 มาปรับ pH ให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม (จากการทดลองข้อ 3.8.4) ด้วย citric acid หรือ Na_2HPO_4
4. ใช้ปิเปตขนาด 10 mL ดูดตัวอย่างน้ำเสียมาปริมาตร 10 mL ใส่ในขวด serum vial จากข้อ 2.
5. เตรียมสารละลายแบลงค์โดยทำการทดลองเหมือนในข้อ 2-4 (ไม่เติมผงเหล็ก)
6. ปิดปากขวดทั้งหมดด้วย septum และ aluminium crimp cap
7. นำขวดทั้งหมดไปเขย่าบน shaker ที่มีความเร็ว 150 rpm. ที่อุณหภูมิห้อง
8. นำขวดทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที
9. วัดความเข้มข้นของคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน โดยใช้ gastight microsyringe ขนาด 2.5 mL ดูดแก๊สมาปริมาตร 1.5 mL แล้วทำการวิเคราะห์ห้ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.4
10. บันทึกโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานของเมธิลซีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซิน ตามลำดับ แล้วนำโครมาโทแกรมที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัว

ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้ผงเหล็ก



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การหาค่า retention time ของสารมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน

เมื่อนำโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน แต่ละตัวมาเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารละลายเบรนด์ พบว่า ค่า retention time ของสารมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า retention time ของ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน

สารมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน	ค่า retention time (min)
เมธิลลีนคลอไรด์	2.15
คลอโรฟอร์ม	2.51
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	2.90
คลอโรเบนซีน	4.90

จากค่า retention time ของสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิดในน้ำ จะเห็นว่าโครมาโทแกรมที่ได้แสดงการแยกพีคของสารทั้ง 4 ชนิด ออกจากกันได้อย่างชัดเจนและเมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารที่ใช้กับสัญญาณที่ปรากฏ พบว่า สภาพไวในการวิเคราะห์สารทั้ง 4 ชนิดนี้ เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้คือ เมธิลลีนคลอไรด์ < คลอโรฟอร์ม < คาร์บอนเตตระคลอไรด์ < คลอโรเบนซีน

4.2 การหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน ที่สามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคเฮดสเปสพร้อมกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

การใช้เทคนิคเฮดสเปสภายใต้เงื่อนไขของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ในการหาปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของสารมาตรฐานคลอรีนเตตระไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน พบว่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดของสารละลายมาตรฐานที่ศึกษาแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ของสารมาตรฐานคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัว

สารมาตรฐานคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน	retention time (min)	พื้นที่พิก (mV)	ปริมาณความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ตรวจพบ (mg/L)
เมธิลลีนคลอไรด์	2.15	13254	0.20
คลอโรฟอร์ม	2.51	11000	0.30
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	2.90	10566	0.50
คลอโรเบนซีน	4.90	21000	0.01

4.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ที่สามารถตรวจวัดด้วยวิธีเอกซ์เทอนอลแอสแตนดาร์ด (external standard)

เทคนิคนี้สำคัญในการเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันและจะต้องทำการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้สภาวะเดียวกัน โครมาโทแกรมที่ได้จะนำไปหาพื้นที่พิกหรือความสูงของพิก แล้วนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หรือความสูงของพิกกับความเข้มข้น ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานที่เป็นเส้นตรง สำหรับการหาปริมาณสารตัวอย่าง

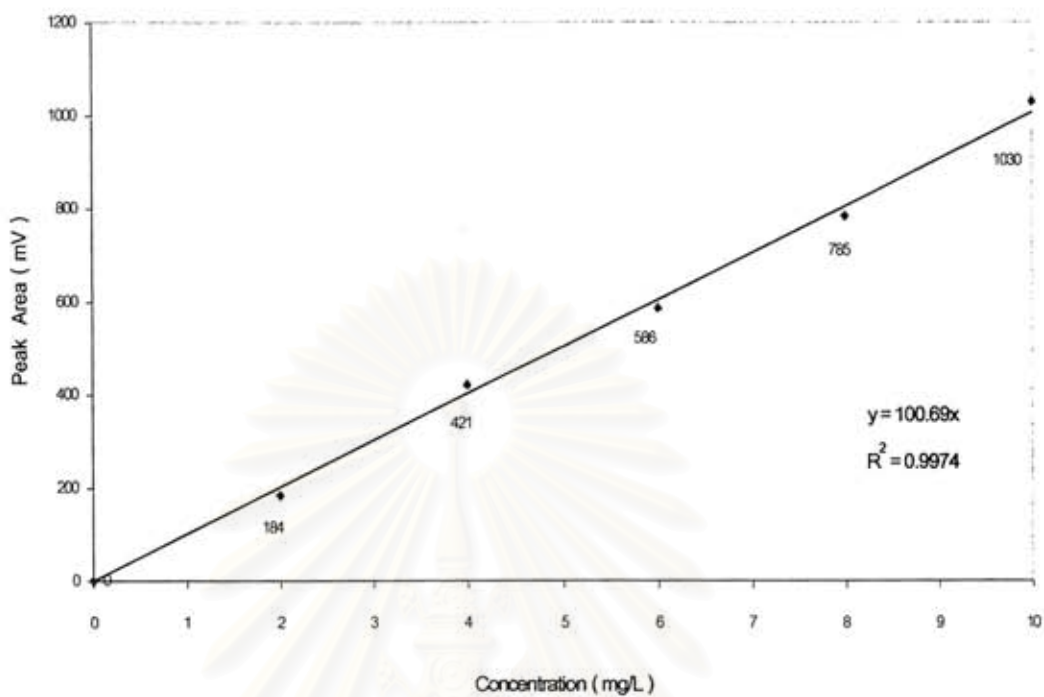
$$\text{จากสมการเส้นตรง } Y = mX + b$$

จะเห็นว่าค่า Slope = m และค่า y-intercept = b ซึ่งค่า Slope (m) และค่า y-intercept (b) สามารถคำนวณได้โดยวิธี linear least square

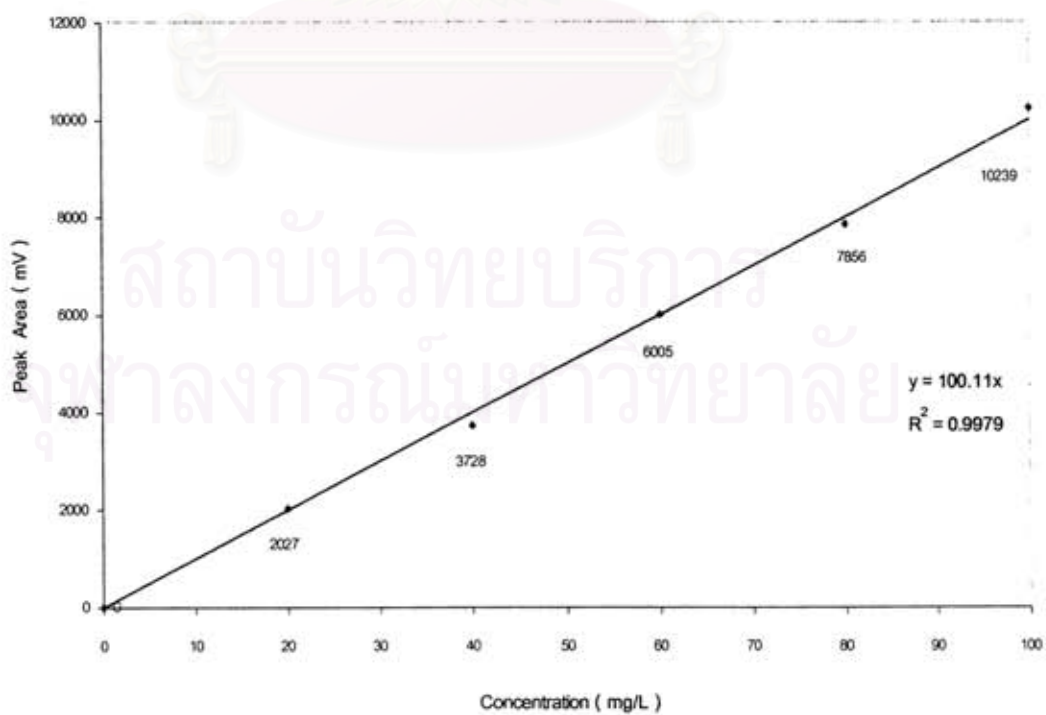
กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัวที่ใช้สำหรับหาปริมาณสารตัวอย่างที่สนใจภายใต้สภาวะการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (แสดงไว้ในตารางที่ 3.3) ผลการทดลองแสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ไว้ในภาพที่ 4.1-4.7 ตามลำดับ

ผลจากกราฟมาตรฐานซึ่งทำการศึกษาในช่วง 5 ความเข้มข้น พบว่ากราฟมาตรฐานที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องในการใช้วิเคราะห์หาปริมาณค่อนข้างสูง เพราะค่า least square จากรูปกราฟทั้งหมดมีค่าใกล้ 1.00 คืออยู่ในช่วงมากกว่า 0.99 ขึ้นไป

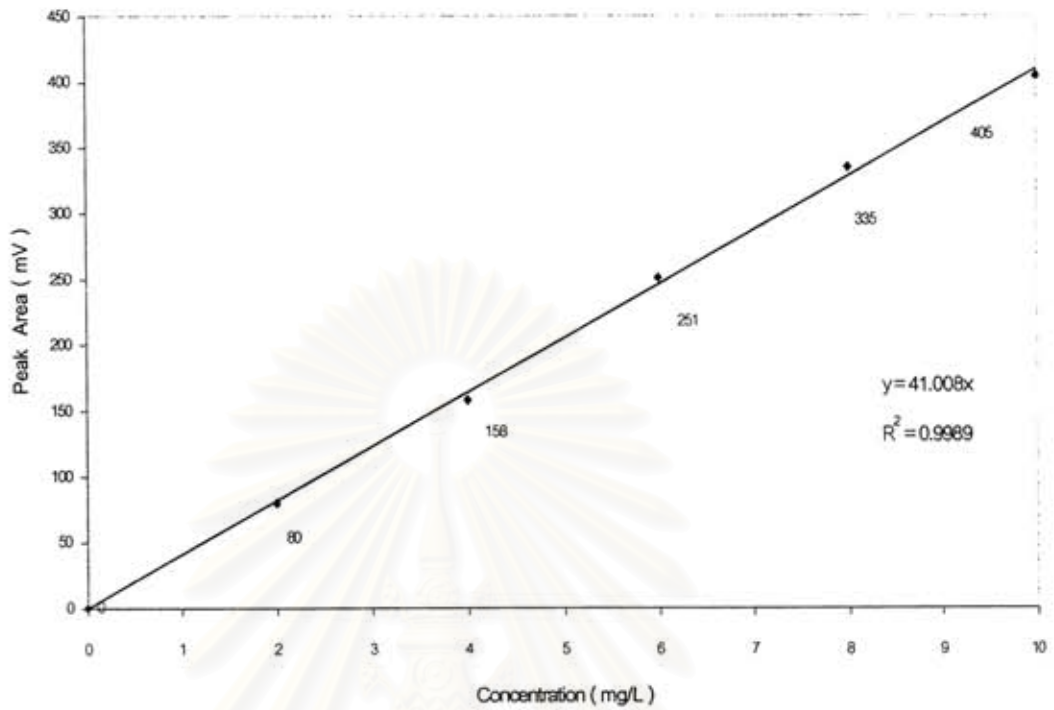
ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์ความเข้มข้น 0 - 10 mg/L



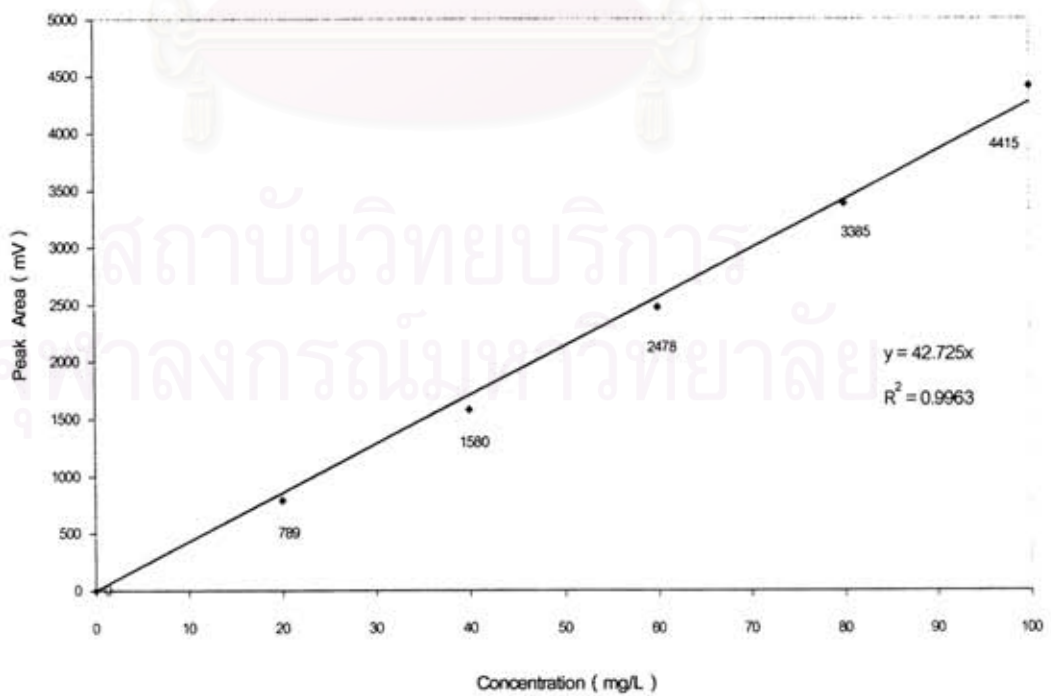
ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟมาตรฐานของเมธิลลีนคลอไรด์ความเข้มข้น 0 - 100 mg/L



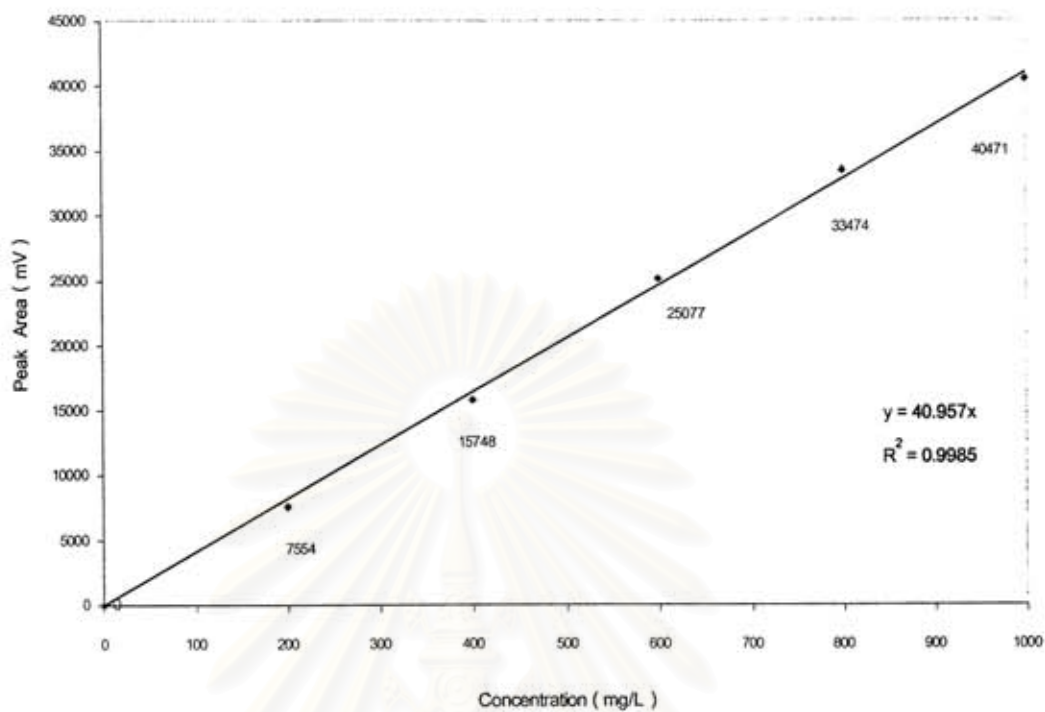
ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 - 10 mg/L



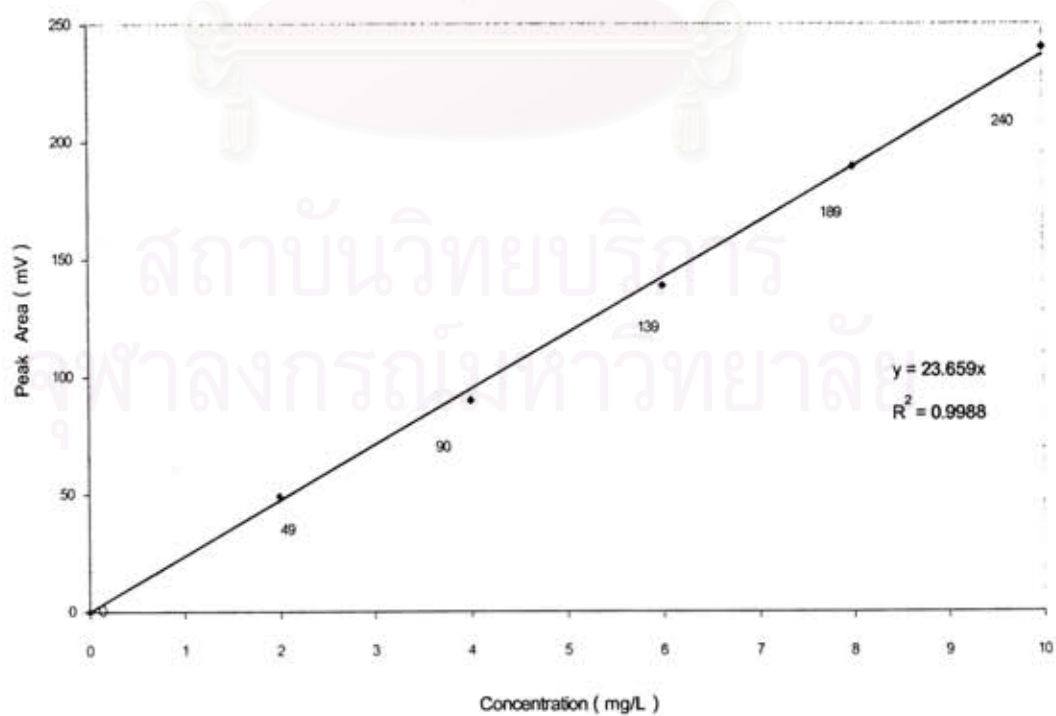
ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 - 100 mg/L



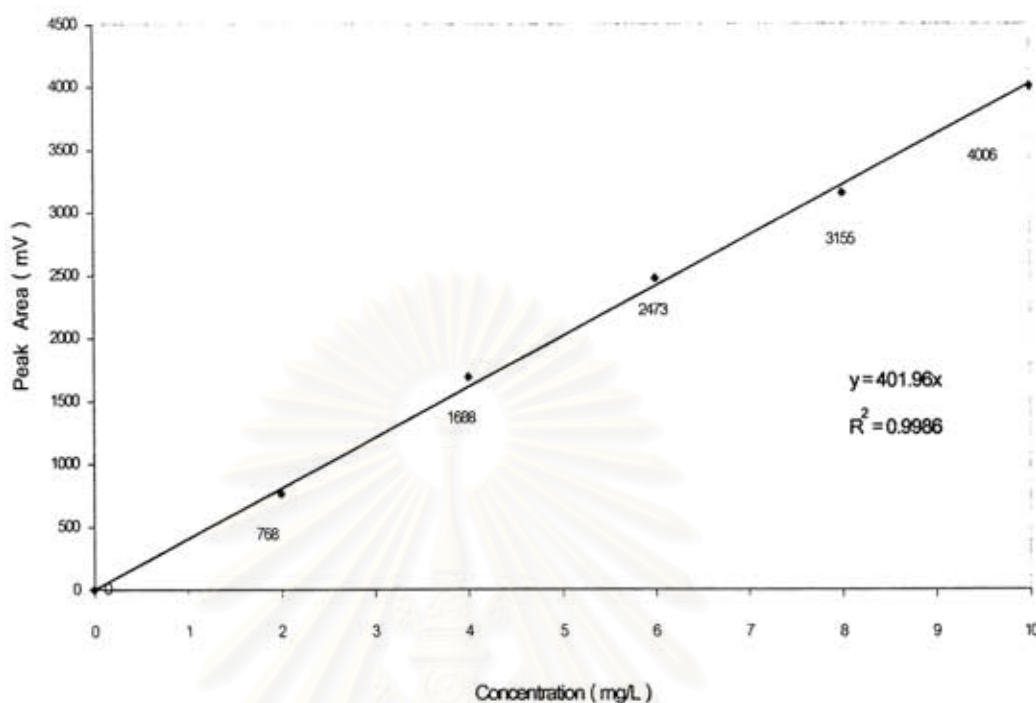
ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรฟอร์มความเข้มข้น 0 - 1000 mg/L



ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟมาตรฐานของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ความเข้มข้น 0 - 10 mg/L



ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของคลอโรเบนซีนความเข้มข้น 0 - 10 mg/L



4.4 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษานี้ได้หาสภาวะที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้กำจัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี จากการทดลองเพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการศึกษากำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ เตรียมจากเมธิลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีนในน้ำ เงื่อนไขที่สำคัญคือ pH ขนาดอนุภาคผงเหล็ก และเวลาในการสัมผัสน้ำเสีย ได้ทำการทดลองโดยแปรผัน pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แปรผันอนุภาคขนาดผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน และแปรผันระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน

4.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์

4.4.1.1 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ ซึ่งปรับสภาวะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	6.04 ±0.10	6.51 ±0.10	7.56 ±0.21	7.84 ±0.14	9.66 ±0.04
2 วัน	5.72 ±0.28	6.23 ±0.41	6.85 ±0.33	7.40 ±0.11	9.05 ±0.10
3 วัน	5.32 ±0.23	5.96 ±0.11	6.18 ±0.04	7.02 ±0.21	8.87 ±0.08
5 วัน	4.86 ±0.25	5.44 ±0.28	5.60 ±0.18	6.72 ±0.04	8.35 ±0.11
7 วัน	4.36 ±0.09	5.01 ±0.10	5.28 ±0.51	6.06 ±0.14	8.11 ±0.03
10 วัน	3.88 ±0.28	4.69 ±0.16	4.98 ±0.20	5.89 ±0.10	7.59 ±0.51
15 วัน	3.68 ±0.14	4.04 ±0.54	4.54 ±0.01	5.49 ±0.65	7.48 ±0.18

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดเมธิลีนคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	39.60	34.90	24.44	21.63	3.36
2 วัน	42.80	37.70	31.50	25.99	9.50
3 วัน	46.80	40.40	38.20	29.82	11.30
5 วัน	51.39	45.60	43.99	32.80	16.50
7 วัน	56.40	49.90	47.20	39.40	18.90
10 วัน	61.20	53.10	50.20	41.10	24.10
15 วัน	63.20	59.60	54.60	45.10	25.20

4.4.1.2 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายเมธิลลีนคลอไรด์ ซึ่งปรับสภาพให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายเมธิลลีนคลอไรด์ โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการกำจัดสารละลายเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์(mg/L)ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	6.42 ±0.34	6.84 ±0.08	7.71 ±0.23	8.23 ±0.27	9.91 ±0.06
2 วัน	6.21 ±0.16	6.58 ±0.55	7.24 ±0.17	7.72 ±0.25	9.60 ±0.48
3 วัน	5.65 ±0.11	6.37 ±0.13	7.06 ±0.54	7.56 ±0.15	9.37 ±0.42
5 วัน	5.21 ±0.54	5.98 ±0.11	6.25 ±0.21	7.09 ±0.30	8.87 ±0.40
7 วัน	4.79 ±0.18	5.54 ±0.20	6.09 ±0.08	6.57 ±0.32	8.54 ±0.45
10 วัน	4.21 ±0.08	5.07 ±0.17	5.67 ±0.25	6.27 ±0.16	7.89 ±0.18
15 วัน	3.96 ±0.08	4.29 ±0.17	5.54 ±0.10	5.89 ±0.14	7.69 ±0.35

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายเมธิลลีนคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	35.80	31.60	22.90	17.70	0.91
2 วัน	37.90	34.20	27.60	22.82	3.97
3 วัน	43.50	36.30	29.40	24.44	6.33
5 วัน	47.90	40.20	37.45	29.10	11.30
7 วัน	52.10	44.60	39.10	34.30	14.60
10 วัน	57.90	49.30	43.30	37.30	21.10
15 วัน	60.40	57.10	44.60	41.10	23.10

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานเมธิลีนคลอไรด์ความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ในการกำจัด และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน แสดงผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.9 ผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.10 และประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.11 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ คือ

- สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 63.2 %, 59.6 %, 54.6 %, 45.1 % และ 25.2 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน ส่วนเมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 60.4 %, 57.1 %, 44.6 %, 41.1 % และ 23.1 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน จะเห็นได้ว่าที่ pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนที่ pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า pH ของน้ำเสียนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ เมื่อ pH ของน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) ที่ระยะเวลา

สัมผัสน้ำเสีย 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด ส่วนระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด เมธิลินคลอไรด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลินคลอไรด์

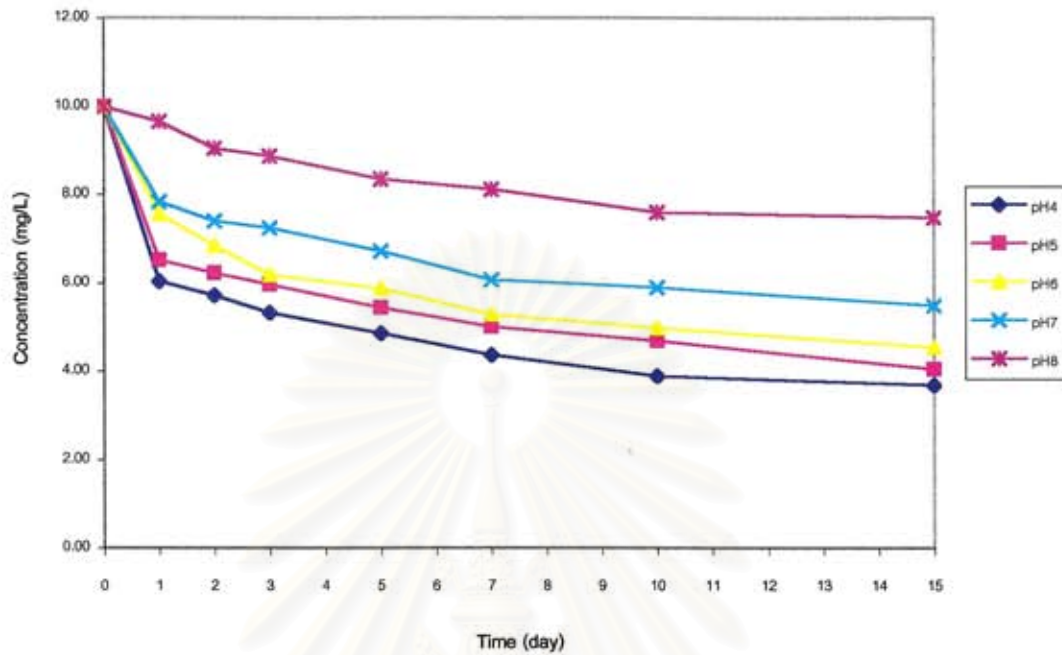
ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) และทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) แสดงผลการกำจัด และประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ดังภาพที่ ผ.1 – ผ.10 (ภาคผนวก ค.) พบว่า เมื่อใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์สูงกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด เมธิลินคลอไรด์ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

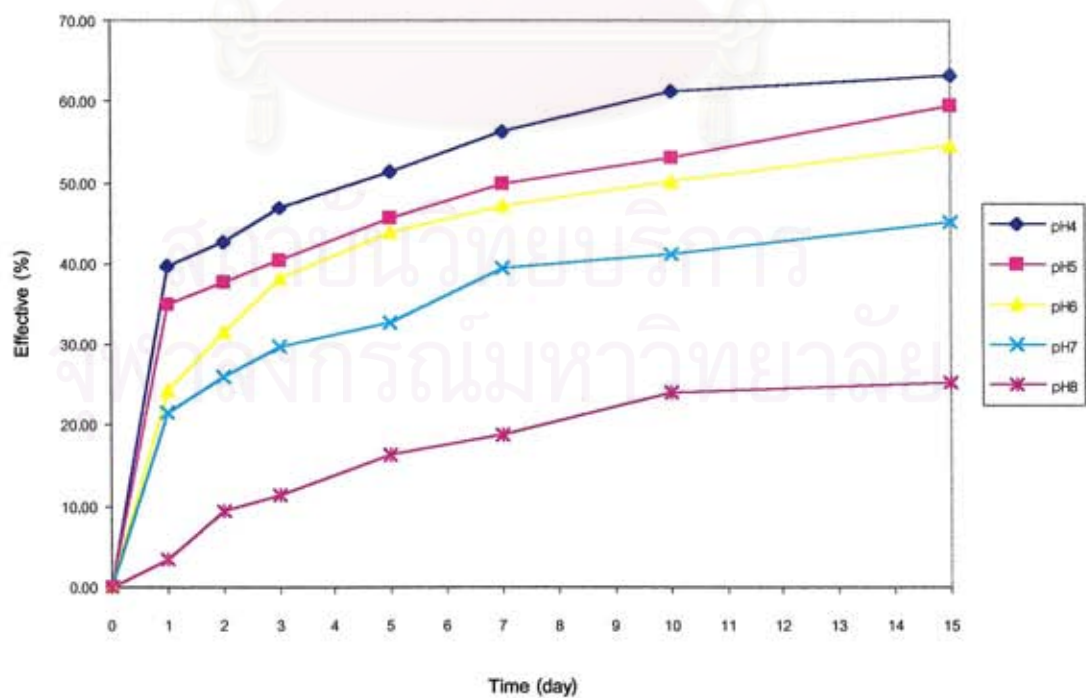
เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์ขึ้นกับ pH, ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย และขนาดอนุภาคผงเหล็ก ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลินคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้ลดลง ใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น และใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายเมธิลินคลอไรด์ออกจากน้ำเสียคือ ปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 4, ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

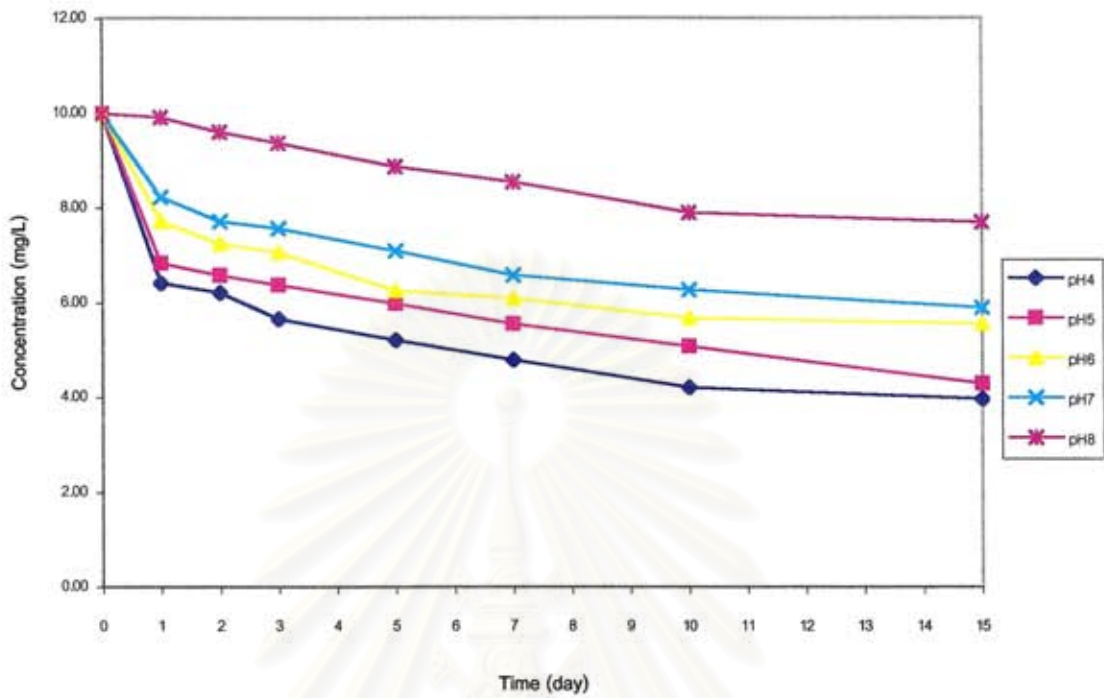
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



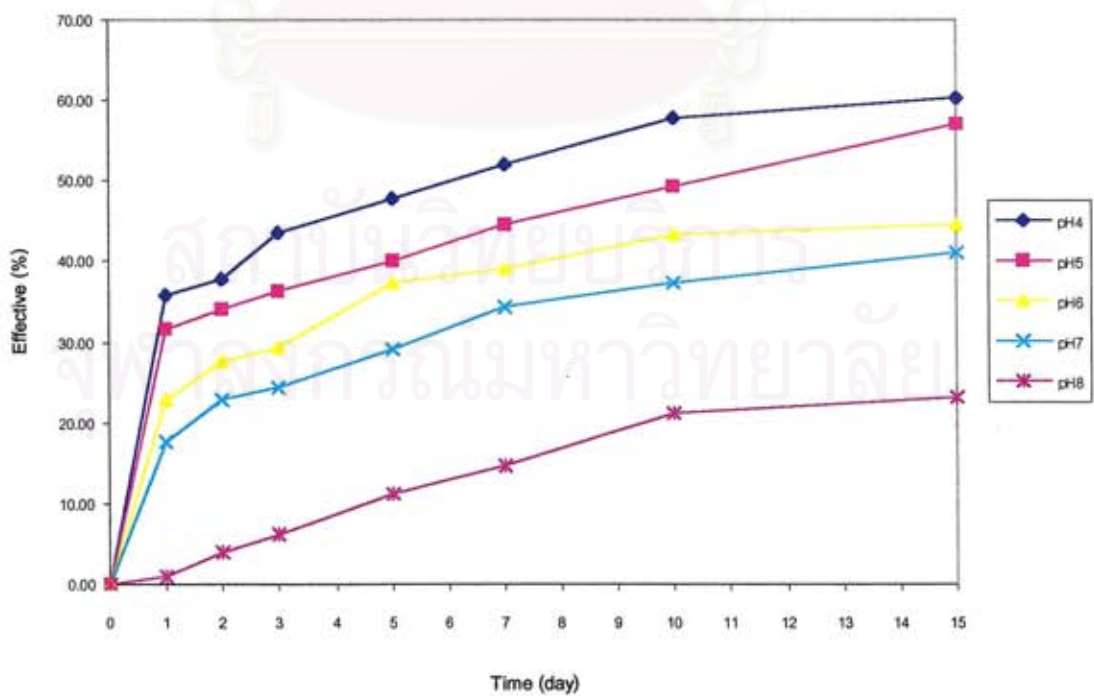
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



4.4.2 การหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอโรฟอร์ม

4.4.2.1 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม ซึ่งปรับสถานะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	3.53 ±0.13	4.81 ±0.21	5.15 ±0.37	6.25 ±0.27	8.63 ±0.28
2 วัน	3.01 ±0.10	3.56 ±0.45	4.30 ±0.03	5.20 ±0.03	7.35 ±0.34
3 วัน	2.49 ±0.07	3.01 ±0.16	3.81 ±0.14	4.80 ±0.18	6.89 ±0.06
5 วัน	2.01 ±0.11	2.57 ±0.18	3.22 ±0.16	3.90 ±0.13	6.54 ±0.16
7 วัน	1.30 ±0.10	1.93 ±0.07	2.66 ±0.06	3.58 ±0.28	6.42 ±0.13
10 วัน	1.25 ±0.11	1.84 ±0.06	2.23 ±0.16	3.25 ±0.10	5.92 ±0.10
15 วัน	1.20 ±0.27	1.45 ±0.27	2.16 ±0.24	2.98 ±0.04	5.51 ±0.11

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟอร์ม				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	64.70	51.90	48.50	37.50	13.70
2 วัน	69.90	64.40	57.00	48.00	26.50
3 วัน	75.10	69.90	61.90	52.00	31.10
5 วัน	79.90	74.30	67.80	61.00	34.60
7 วัน	87.00	80.69	73.45	64.20	35.80
10 วัน	87.52	81.59	77.75	67.50	40.80
15 วัน	88.00	85.54	78.40	70.20	44.90

4.4.2.2 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม ซึ่งปรับสถานะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	4.05 ±0.18	5.07 ±0.24	5.58 ±0.03	6.53 ±0.41	8.93 ±0.17
2 วัน	3.73 ±0.06	4.67 ±0.14	4.94 ±0.08	5.82 ±0.10	8.04 ±0.28
3 วัน	3.12 ±0.27	3.78 ±0.14	4.47 ±0.13	5.24 ±0.13	7.39 ±0.48
5 วัน	2.98 ±0.21	3.37 ±0.10	4.27 ±0.08	4.80 ±0.37	7.00 ±0.16
7 วัน	2.38 ±0.18	3.00 ±0.04	3.87 ±0.06	4.04 ±0.20	6.88 ±0.16
10 วัน	2.13 ±0.00	2.60 ±0.27	3.41 ±0.08	3.86 ±0.17	6.44 ±0.31
15 วัน	2.01 ±0.01	2.24 ±0.04	3.09 ±0.40	3.46 ±0.17	5.97 ±0.03

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์มโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟอร์ม				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	59.50	49.30	44.20	34.70	10.70
2 วัน	62.70	53.30	50.60	41.80	19.60
3 วัน	68.80	62.20	55.30	47.60	26.10
5 วัน	70.20	66.30	57.30	52.00	30.00
7 วัน	76.20	70.00	61.30	59.60	31.20
10 วัน	78.70	74.00	65.90	61.40	35.60
15 วัน	79.93	77.61	69.10	65.40	40.30

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐาน คลอโรฟอร์มความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ในการกำจัด และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน แสดงผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.13 ผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.14 และประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.15 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new mutple range test พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลาย คลอโรฟอร์ม คือ

- สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม

ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 88 %, 85.54 %, 78.4 %, 70.2 % และ 44.9 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน ส่วนเมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 79.93 %, 77.61 %, 69.1 %, 65.4 % และ 40.3 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน จะเห็นได้ว่าที่ pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนที่ pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า pH ของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม เมื่อ pH ของน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม

ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม เมื่อระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม

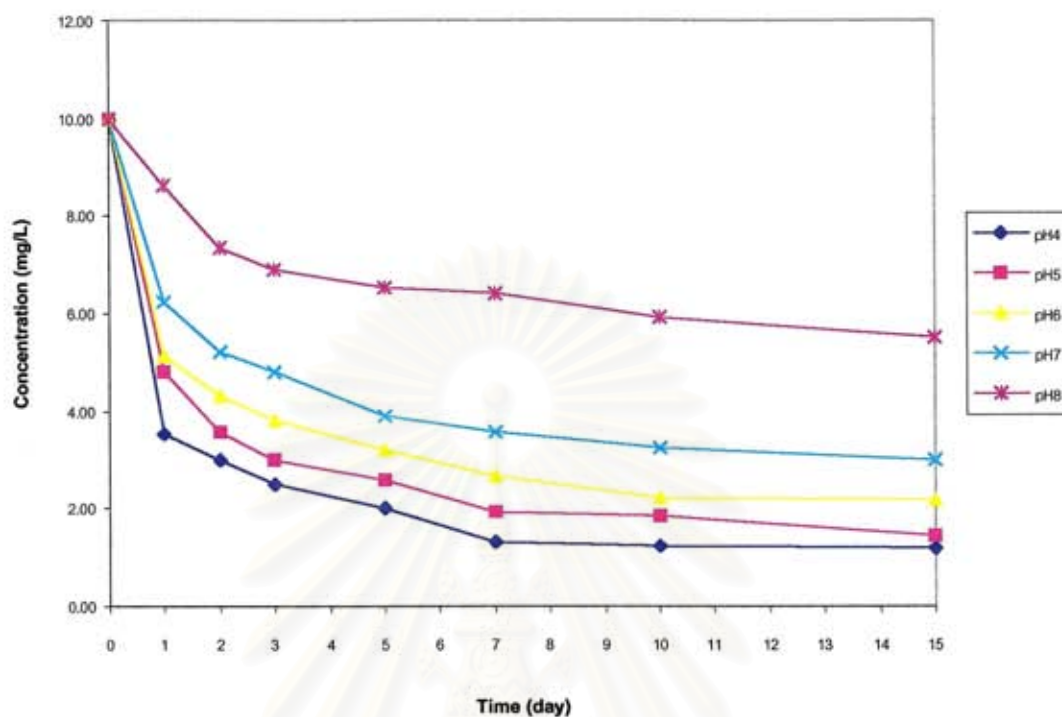
ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) และทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) แสดงผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ดังภาพที่ ผ.11 – ผ.20 (ภาคผนวก ค.) พบว่า เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มสูงกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

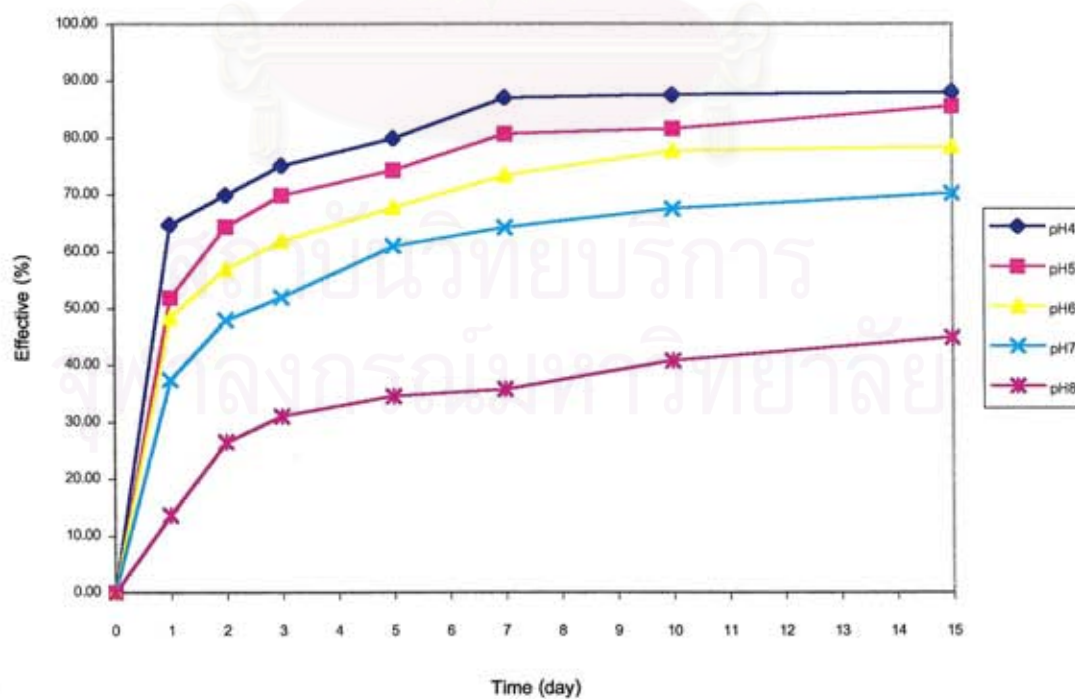
เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม ขึ้นกับ pH, ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย และขนาดอนุภาคผงเหล็ก ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้ลดลง ใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น และใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์มออกจากน้ำเสียคือ ปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 4, ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

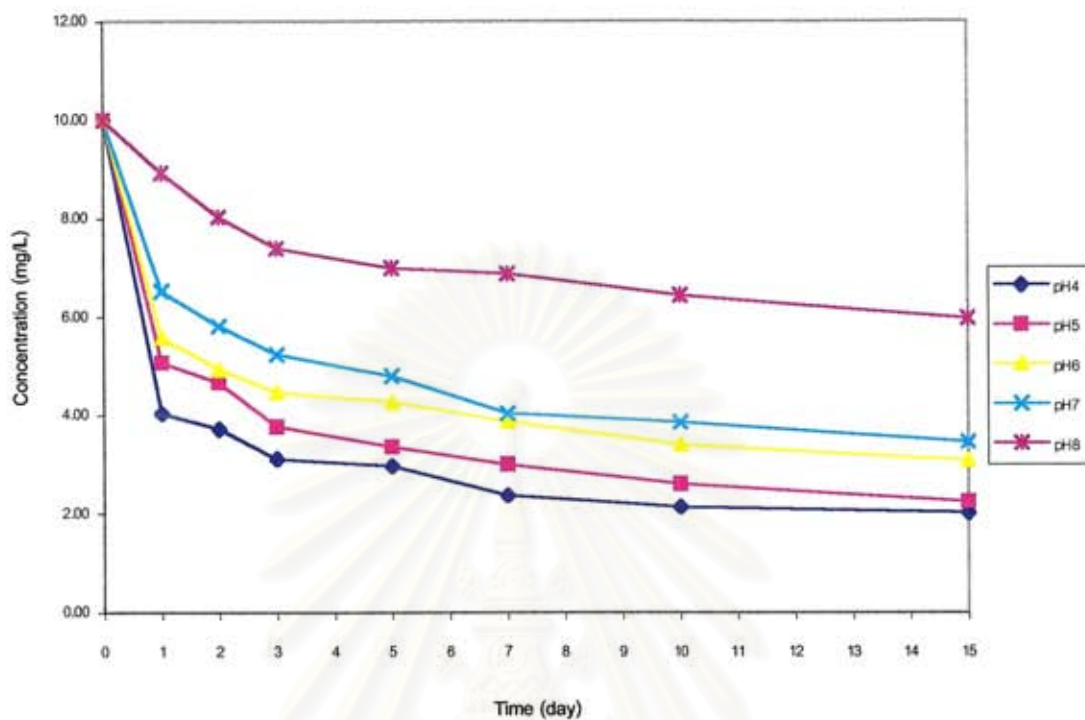
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



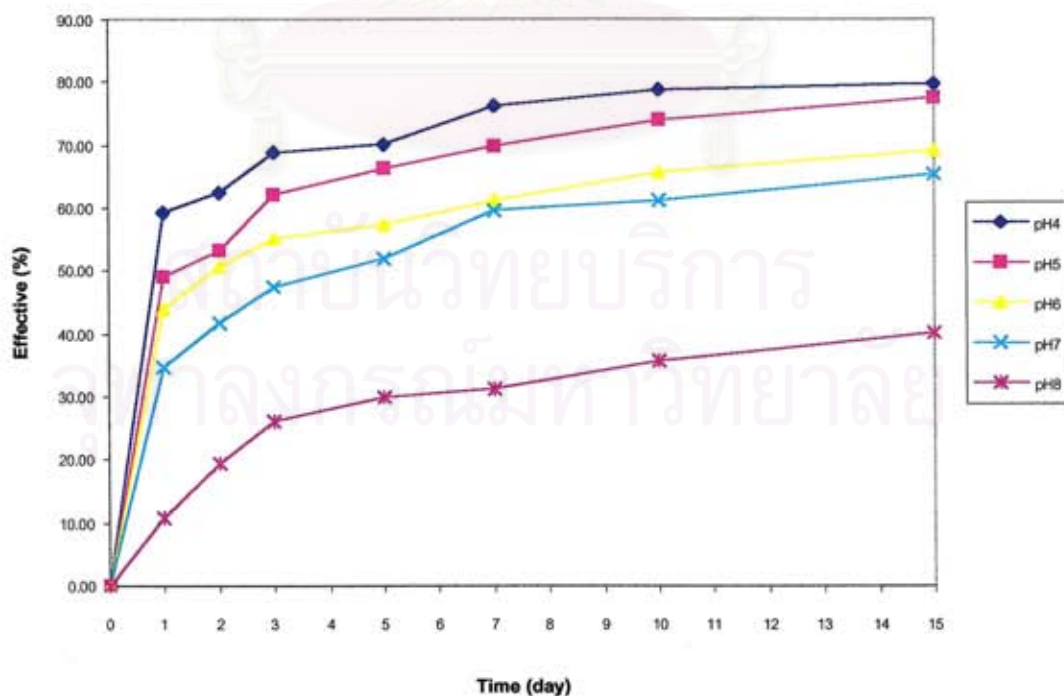
ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



4.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์

4.4.3.1 การใช้อุณหภูมิคงเหลือขนาด 10 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งปรับสภาวะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ผงเหลือขนาด 10 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหลือขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	3.67 ±0.31	4.20 ±0.39	4.52 ±0.01	5.47 ±0.21	8.23 ±0.07
2 วัน	2.94 ±0.46	3.54 ±0.15	4.14 ±0.32	4.44 ±0.42	7.25 ±0.18
3 วัน	2.33 ±0.11	3.36 ±0.08	3.72 ±0.35	3.98 ±0.78	6.70 ±0.82
5 วัน	1.88 ±0.24	2.48 ±0.07	2.44 ±0.11	3.45 ±0.41	5.54 ±0.06
7 วัน	ND	1.66 ±0.04	1.95 ±0.00	2.58 ±0.07	4.34 ±0.67
10 วัน	ND	0.89 ±0.01	1.04 ±0.15	2.03 ±0.16	3.57 ±0.06
15 วัน	ND	ND	ND	0.97 ±0.03	3.30 ±0.01

หมายเหตุ ND : ค่าที่วัดความเข้มข้น CCl_4 ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.5 mg/L) ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหลือขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	63.30	58.03	54.80	45.26	17.70
2 วัน	70.60	64.57	58.58	55.63	27.54
3 วัน	76.70	66.38	62.76	60.15	32.96
5 วัน	81.20	75.15	75.60	65.53	44.60
7 วัน	~100.00	83.38	80.51	74.22	56.55
10 วัน	~100.00	91.09	89.60	79.72	64.33
15 วัน	~100.00	~100.00	~100.00	90.34	66.96

4.4.3.2 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งปรับสภาพให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และ 4.14

ตารางที่ 4.13 ผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	4.46 ±0.35	4.57 ±0.12	5.24 ±0.16	5.87 ±0.07	8.99 ±0.35
2 วัน	3.68 ±1.01	3.83 ±0.26	4.63 ±0.11	5.32 ±0.04	8.76 ±0.21
3 วัน	3.06 ±0.60	3.62 ±0.10	4.01 ±0.24	5.19 ±0.06	8.38 ±0.37
5 วัน	2.28 ±0.29	2.99 ±0.08	3.01 ±0.05	3.98 ±0.47	7.39 ±0.33
7 วัน	ND	1.95 ±0.11	2.30 ±0.07	3.42 ±0.24	6.23 ±0.45
10 วัน	ND	1.37 ±0.00	1.80 ±0.03	2.78 ±0.38	5.81 ±0.01
15 วัน	ND	1.19 ±0.06	1.22 ±0.02	1.97 ±0.35	5.93 ±0.13

หมายเหตุ ND : ค่าที่วัดความเข้มข้น CCl_4 ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.5 mg/L) ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	55.42	54.31	47.61	41.25	10.14
2 วัน	63.16	61.69	53.70	46.78	12.40
3 วัน	69.42	63.77	59.86	48.07	16.16
5 วัน	77.19	70.14	69.86	60.22	26.10
7 วัน	~100.00	80.51	76.97	65.80	37.69
10 วัน	~100.00	86.29	81.95	72.20	41.94
15 วัน	~100.00	88.12	87.81	80.27	40.67

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์ความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาพให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ในการกำจัด และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน แสดงผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.17 ผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.18 และประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.19 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test พบว่า สภาพที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ คือ

- สภาพ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ที่สภาพ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และปรับสภาพให้ pH เท่ากับ 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ ~100% ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน เมื่อปรับ pH เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ ~100%, ~100%, 90.34% และ 66.96 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน ส่วนเมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน และปรับสภาพให้ pH เท่ากับ 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ ~100 % ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน เมื่อปรับ pH เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 88.12 %, 87.81%, 80.27% และ 40.67 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน จะเห็นได้ว่าที่ pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนที่ pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า pH ของน้ำเสียนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อ pH ของน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้

ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด เมื่อปรับ pH เท่ากับ 4 ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด (~100%) เมื่อ pH เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

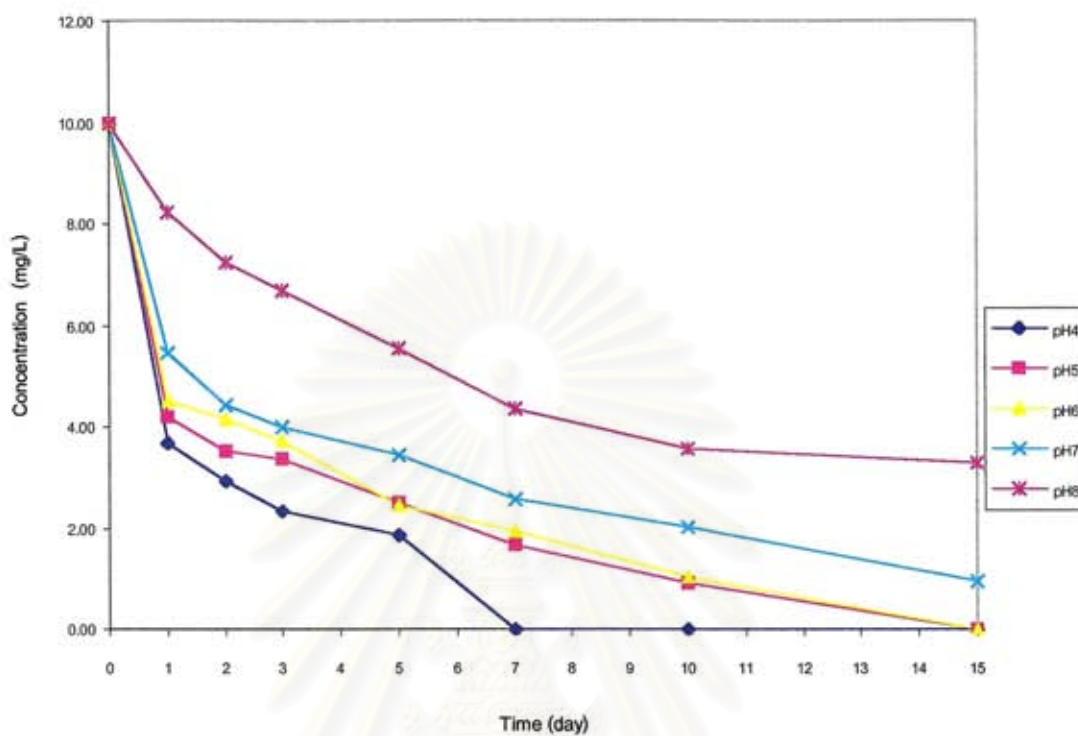
- ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) และทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) แสดงผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ดังภาพที่ ผ.21 – ผ.30 (ภาคผนวก ค.) พบว่า เมื่อใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์สูงกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

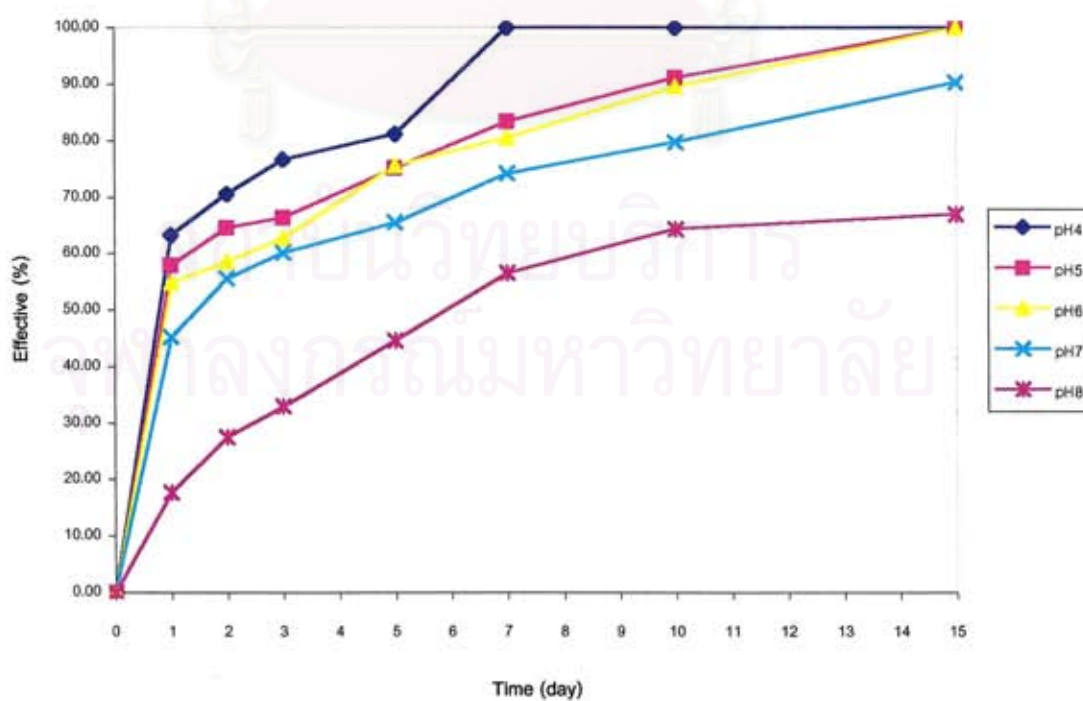
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ขึ้นกับ pH, ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย และขนาดอนุภาคผงเหล็ก ประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้ลดลง ใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น และใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กขนาดเล็กลง เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ออกจากน้ำเสียคือปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 4, ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน

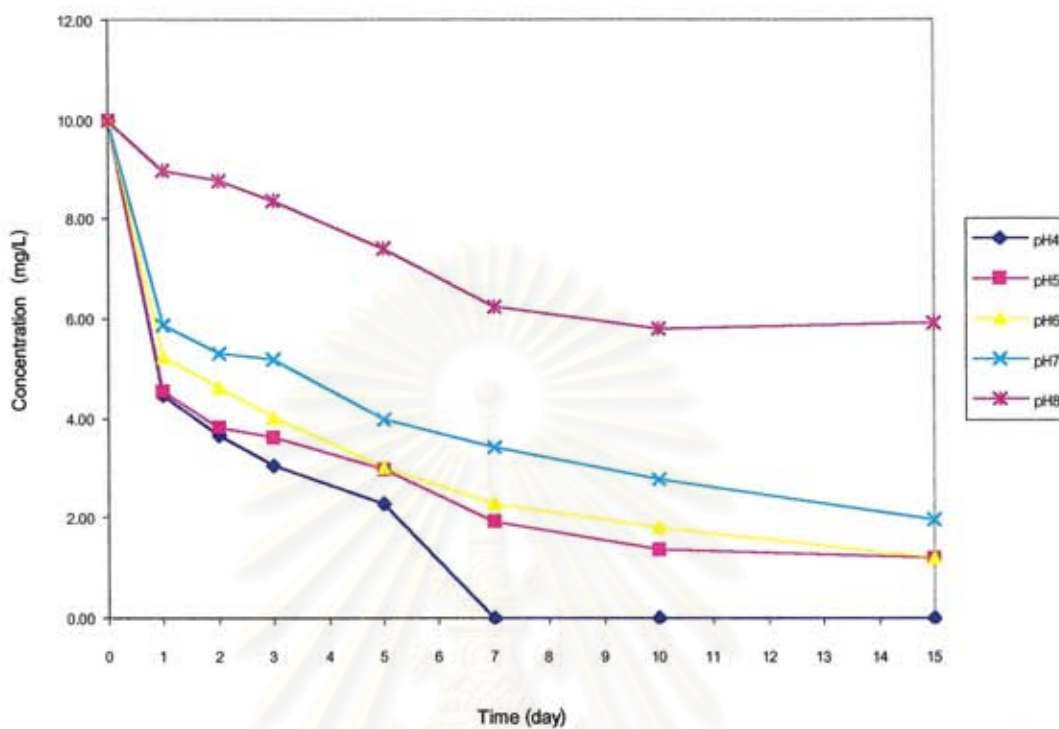
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลาโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



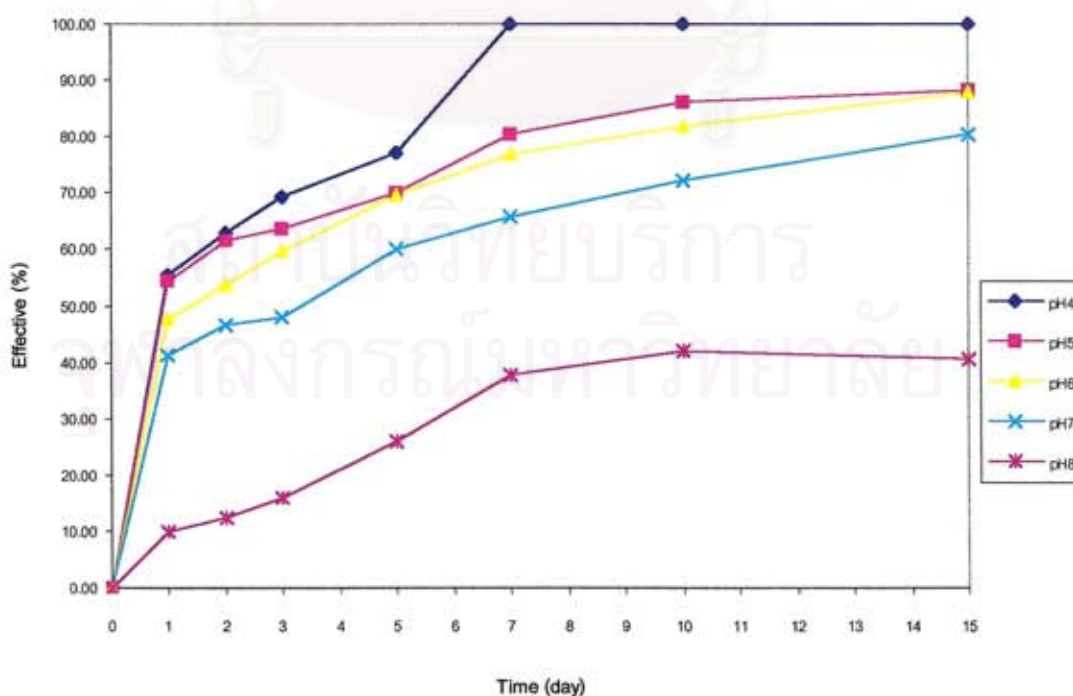
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลาโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลาโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



4.4.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอโรเบนซีน

4.4.4.1 การใช้อนภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีน ซึ่งปรับสภาวะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีน โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.15 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีนโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีน (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	7.79 ±0.18	7.98 ±0.05	8.42 ±0.04	8.64 ±0.07	10.00 ±0.00
2 วัน	7.48 ±0.11	7.57 ±0.12	7.99 ±0.09	8.40 ±0.11	10.00 ±0.00
3 วัน	7.04 ±0.09	7.22 ±0.08	7.80 ±0.22	8.01 ±0.22	10.00 ±0.00
5 วัน	6.75 ±0.10	7.01 ±0.03	7.44 ±0.03	7.66 ±0.16	9.45 ±0.05
7 วัน	6.10 ±0.04	6.88 ±0.12	7.12 ±0.26	7.49 ±0.02	9.23 ±0.05
10 วัน	5.92 ±0.10	6.62 ±0.15	6.88 ±0.01	7.22 ±0.11	8.97 ±0.16
15 วัน	5.74 ±0.23	6.58 ±0.04	6.69 ±0.18	7.00 ±0.14	8.58 ±0.17

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีนโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรเบนซีน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	22.07	20.18	15.80	13.60	0.00
2 วัน	25.22	24.27	20.10	16.00	0.00
3 วัน	29.63	27.78	22.00	19.90	0.00
5 วัน	32.52	29.90	25.60	23.40	5.53
7 วัน	38.96	31.20	28.80	25.10	7.74
10 วัน	40.84	33.79	31.20	27.80	10.35
15 วัน	42.58	34.20	33.10	30.00	14.24

4.4.3.3 การใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน การกำจัดสารละลายคลอโรเบนซินซึ่งปรับสถานะให้มี pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 rpm. เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซิน โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และ 4.18

ตารางที่ 4.17 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรเบนซิน (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	8.18 ±0.27	8.69 ±0.13	8.80 ±0.07	9.26 ±0.15	10.00 ±0.00
2 วัน	7.96 ±0.13	8.21 ±0.31	8.48 ±0.24	9.03 ±0.22	10.00 ±0.00
3 วัน	7.50 ±0.37	7.93 ±0.14	8.26 ±0.18	8.87 ±0.10	10.00 ±0.00
5 วัน	7.12 ±0.06	7.45 ±0.42	7.92 ±0.32	8.65 ±0.18	9.73 ±0.06
7 วัน	6.50 ±0.17	7.23 ±0.17	7.55 ±0.44	8.29 ±0.27	9.44 ±0.22
10 วัน	6.22 ±0.57	6.89 ±0.04	7.35 ±0.15	7.95 ±0.13	9.21 ±0.23
15 วัน	5.99 ±0.30	6.68 ±0.14	6.89 ±0.19	7.68 ±0.28	8.78 ±0.16

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซินโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรเบนซิน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 วัน	18.25	13.15	11.96	7.36	0.00
2 วัน	20.40	17.90	15.15	9.66	0.00
3 วัน	25.00	20.70	17.40	11.27	0.00
5 วัน	28.80	25.50	20.80	13.50	2.72
7 วัน	35.00	27.70	24.50	17.10	5.60
10 วัน	37.80	31.10	26.50	20.50	7.90
15 วัน	40.10	33.20	31.10	23.20	12.20

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซิน ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐาน คลอโรเบนซินความเข้มข้น 10 mg/L ที่ปรับสภาพให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ในการกำจัด และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน แสดงผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ดังตารางที่ 4.16 และ ภาพที่ 4.21 ผลการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.22 และประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.23 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new mutiple range test พบว่า

- สภาพ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซิน

ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 42.58 %, 34.2 %, 33.10 %, 30.00 % และ 14.24 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน ส่วนเมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ที่สภาวะ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 40.1 %, 33.2 %, 31.1 %, 23.2 % และ 12.2 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน จะเห็นได้ว่าที่ pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนที่ pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า pH ของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน เมื่อ pH ของน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซิน

ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน เมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ส่วนระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน เมื่อระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซิน

ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระดับ pH (4, 5, 6, 7 และ 8) และทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) แสดงผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ดังภาพที่ ผ.31 – ผ.40 (ภาคผนวก ค.) พบว่า เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซินสูงกว่าผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน ขึ้นกับ pH, ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย และขนาดอนุภาคผงเหล็ก ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรเบนซิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้ลดลง ใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้น และใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซินออกจากน้ำเสียคือ ปรับสภาวะ pH ของน้ำเสียให้เท่ากับ 4, ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดสารประกอบคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.3 – 4.18 พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสม คือ

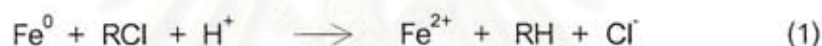
- การกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์ - pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน เวลา 15 วัน
- การกำจัดคลอโรฟอร์ม - pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน เวลา 15 วัน
- การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ - pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน เวลา 7 วัน
- การกำจัดคลอโรเบนซิน - pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน เวลา 15 วัน

จากผลการทดลองข้อ 4.4 จึงเลือกสภาวะในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซิน ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี คือ pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน เนื่องจากสภาวะนี้มีความเหมาะสมที่สุดในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน ทั้ง 4 ตัว

จากผลการศึกษาการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย เท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน พบว่า

➤ สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

การกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก ซึ่งแปรผันระดับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่าที่ pH 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด ส่วนที่ pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า pH ของน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน เมื่อ pH ของน้ำเสียลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

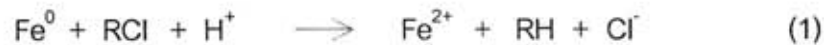
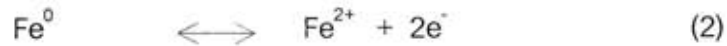


จากสมการที่ (1) แสดงปฏิกิริยาการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเกิดจากโลหะเหล็ก โดยตรง โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากพื้นที่ผิวของ Fe^0 และดูดซับ alkyl chloride (RCl) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้ผลิตภัณฑ์คือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}), อัลเคน (RH) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับ pH ต่ำ (สภาวะ pH เป็นกรด) จะมีปริมาณโปรตรอน (H^+) มาก ทำให้ปฏิกิริยา dechlorination ได้มากกว่าระดับ pH สูง (สภาวะ pH เป็นเบส) นอกจากนั้นระดับ pH สูง (สภาวะ pH เป็นเบส) จะมีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) มาก ซึ่งไฮดรอกไซด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับผงเหล็ก เกิดการกัดเซาะอย่างรวดเร็วได้สนิมเหล็ก (ferric hydroxide) ทำให้ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา dechlorination ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Matheson และ Tratnyek (1994)

➤ ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

การกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ดังนั้น

สามารถสรุปได้ว่าขนาดอนุภาคผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ดังนี้



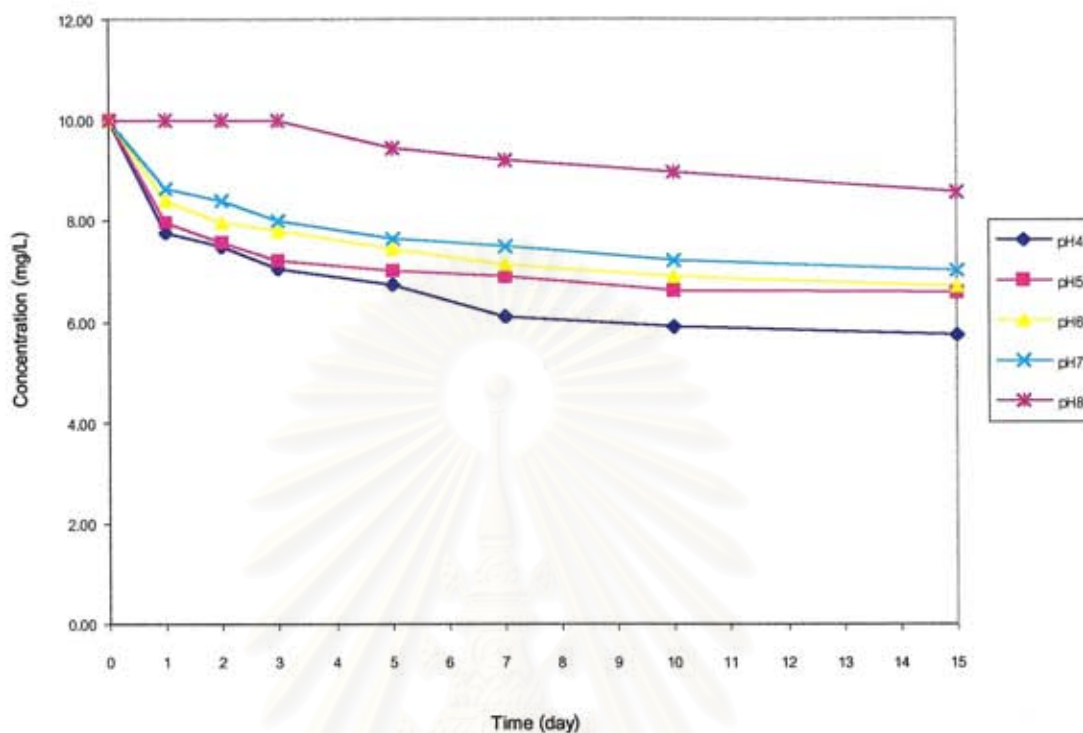
จากผลการทดลองอนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคผงเหล็กขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำเสียมากกว่า ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับพื้นที่ผิวของผงเหล็กได้มาก แสดงดังสมการที่ (2) ก็จะมีความสามารถในการดูดซับ alkyl chloride (RCI) ได้ผลิตภัณฑ์คือ อัลเคน (RH) และคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) แสดงดังสมการที่ (3) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้มากกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาดใหญ่ ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Deng และคณะ (1999)

➤ ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

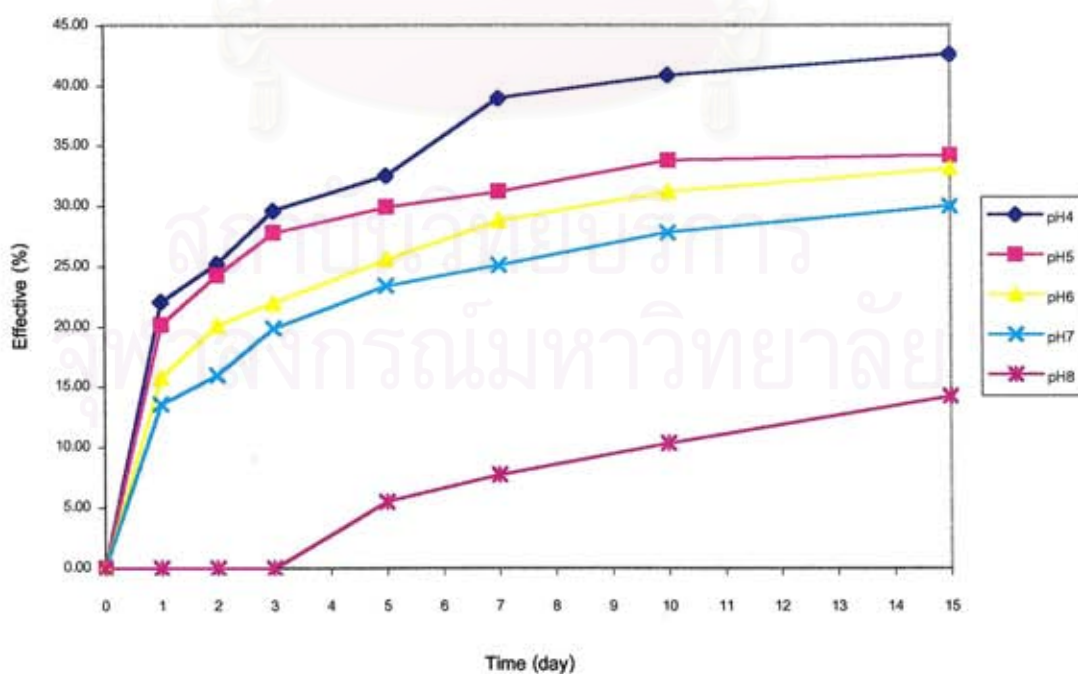
การกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมทิลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแปรผันระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน พบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดอย่างมีนัยสำคัญ ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด ส่วนระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน เมื่อระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

จากผลการทดลองระยะเวลา 15 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน สูงกว่าระยะเวลา 1 วัน เนื่องจากระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียมากจะทำให้คลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียมีระยะเวลาสัมผัสพื้นที่ผิวเหล็กได้มากกว่า ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับพื้นที่ผิวของผงเหล็กได้มาก ก็จะมีความสามารถในการดูดซับ alkyl chloride (RCI) ได้ผลิตภัณฑ์คือ อัลเคน (RH) และคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) ทำให้เกิดปฏิกิริยา dechlorination ได้มากกว่าระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียต่ำ ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ozdemir และ Tufekci (1997)

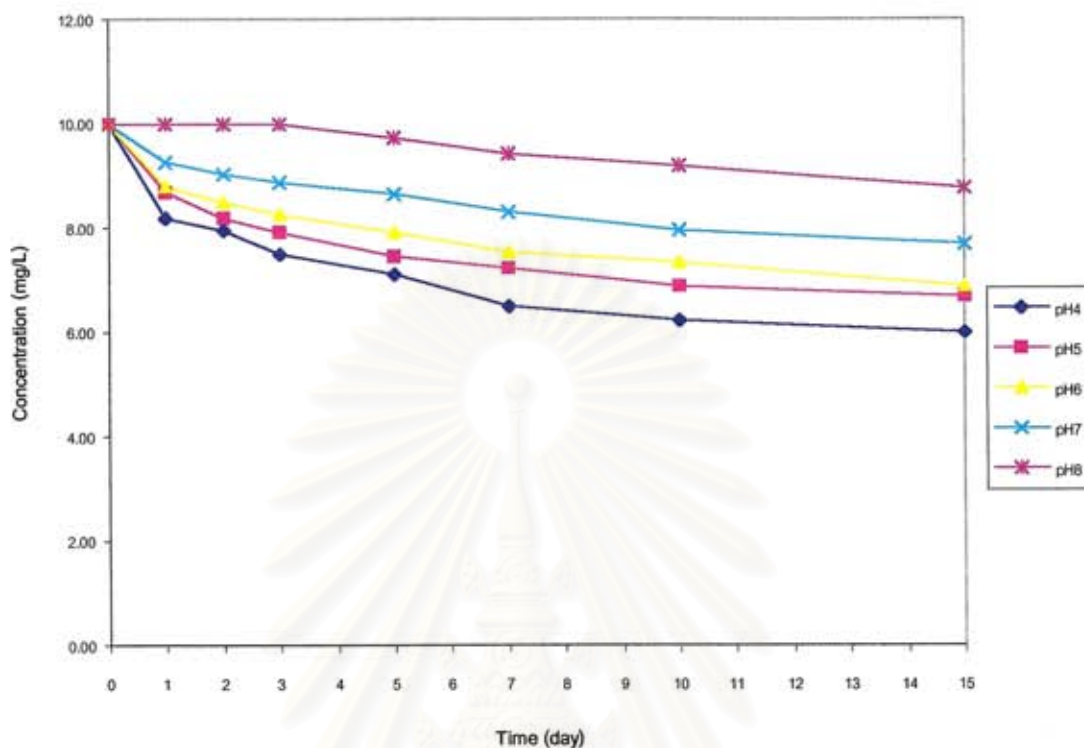
ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนกับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



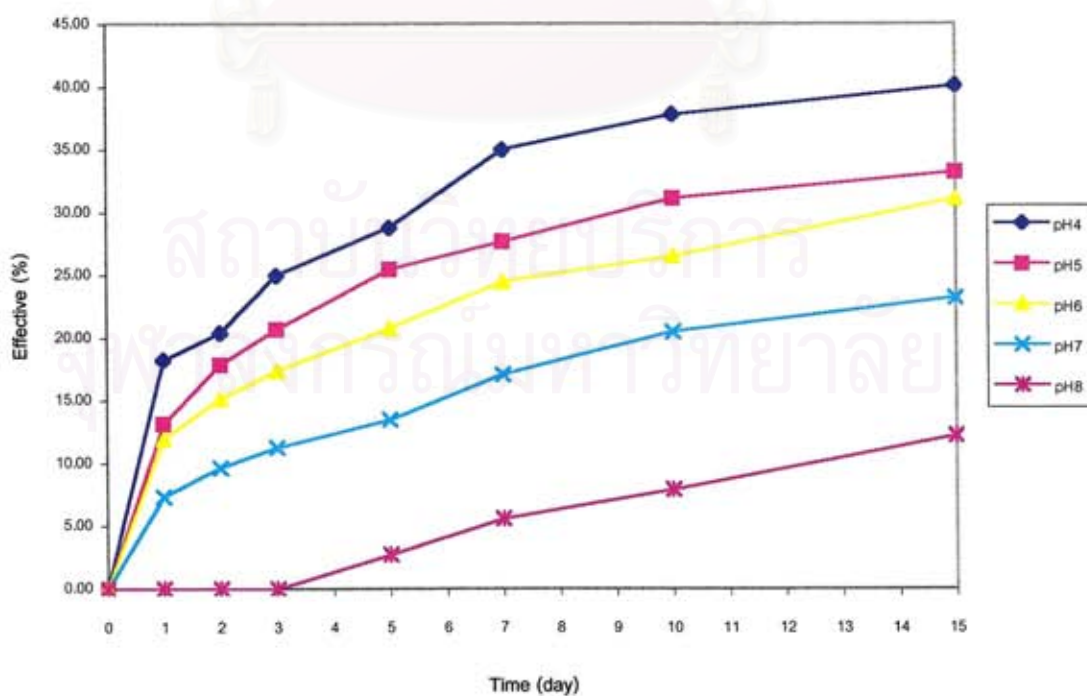
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซีนกับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนกับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซีนกับเวลา โดยใช้ผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน



4.5 ผลการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมี

4.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบผสมรวม

ตัวอย่างแบบผสมรวมเกิดจากการนำเอาตัวอย่างแบบจ้วงหลายๆตัวอย่างมาผสมรวมกัน ซึ่งเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำเสียทั้งวัน การจำกัดจำนวนตัวอย่างน้ำเพื่อลดภาระและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ ขนาดตัวอย่างจ้วงที่นำมาผสมกันขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเสียโดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียทุก 1 ชั่วโมงตลอดช่วงการทำงานของอาคาร แล้วนำมารวมกันในขวดแก้วสีขาขนาด 4000 mL ปริมาตรที่เก็บตัวอย่างแปรผันตามอัตราการไหลของน้ำเสีย ผลการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี แสดงไว้ดังตารางที่ 4.19 – 4.21

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1	pH	อัตราการไหล (L/min)	ตัวอย่างเก็บ	ปริมาตรที่ต้องการ
8.00 นาฬิกา	6.6	1.03	1000	158
9.00 นาฬิกา	6.9	1.43	1000	218
10.00 นาฬิกา	7.0	2.22	1000	339
11.00 นาฬิกา	6.8	4.29	1000	654
12.00 นาฬิกา	6.9	1.71	1000	261
13.00 นาฬิกา	6.8	2.40	1000	366
14.00 นาฬิกา	6.9	2.14	1000	327
15.00 นาฬิกา	6.5	6.00	1000	915
16.00 นาฬิกา	6.8	5.00	1000	762
รวม	6.8	26.23		4000

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2	pH	อัตราการไหล (L/min)	ตัวอย่างเก็บ	ปริมาตรที่ต้องการ
8.00 นาฬิกา	6.8	1.88	1000	148
9.00 นาฬิกา	6.8	7.50	1000	593
10.00 นาฬิกา	7.0	2.61	1000	206
11.00 นาฬิกา	6.8	6.00	1000	475
12.00 นาฬิกา	6.6	4.00	1000	316
13.00 นาฬิกา	6.7	4.00	1000	316
14.00 นาฬิกา	6.7	6.00	1000	475
15.00 นาฬิกา	6.5	10.00	1000	791
16.00 นาฬิกา	6.6	8.57	1000	678
รวม	6.8	50.56		4000

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3	pH	อัตราการไหล (L/min)	ตัวอย่างเก็บ	ปริมาตรที่ต้องการ
8.00 นาฬิกา	6.8	1.58	1000	246
9.00 นาฬิกา	6.5	2.61	1000	406
10.00 นาฬิกา	3.6	0.67	1000	104
11.00 นาฬิกา	7.2	1.05	1000	164
12.00 นาฬิกา	7.4	1.50	1000	234
13.00 นาฬิกา	7.5	4.00	1000	623
14.00 นาฬิกา	7.7	4.00	1000	623
15.00 นาฬิกา	7.4	6.00	1000	934
16.00 นาฬิกา	7.5	4.29	1000	667
รวม	7.5	25.69		4000

4.5.2 คุณภาพน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ทำการศึกษาวิจัย

ขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ได้บันทึก ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

ตัวอย่างน้ำเสีย	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
ปริมาตรน้ำทิ้ง (ลิตร)	4,000	4,000	4,000
pH	6.8	6.8	7.5
อุณหภูมิ (°C)	25	24	25

4.5.3 ความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

จากการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตึกเคมี 3 ภาค วิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ คลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนภายใต้สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟและเทคนิค เฮดสเปส ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ซึ่งความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการ เคมี

ความเข้มข้นของ	ตัวอย่างน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
คลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน			
ความเข้มข้น CH ₂ Cl ₂ (mg/L)	50.66 ±0.06	4.86 ±0.06	3.23 ±0.03
ความเข้มข้น CHCl ₃ (mg/L)	104.00 ±1.00	950.00 ±5.00	81.00 ±0.36
ความเข้มข้น CCl ₄ (mg/L)	0.92 ±0.13	1.11 ±0.16	ND*
ความเข้มข้น C ₆ H ₅ Cl (mg/L)	ND**	ND**	ND**

หมายเหตุ ND* : ค่าที่วัดความเข้มข้น CCl₄ ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.5 mg/L)

ND** : ค่าที่วัดความเข้มข้น C₆H₅Cl ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.01 mg/L)

ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.22 แสดงคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี พบว่า ค่า pH (6.8 - 7.5) และอุณหภูมิ (24 - 25 °C) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติในสิ่งแวดล้อม

จากตารางที่ 4.23 แสดงความเข้มข้นของคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี พบว่า ความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ที่ถูกทิ้งออกจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมีมีปริมาณน้อยมากจนถึงระดับที่ตรวจไม่พบ อาจเป็นเพราะไม่มีการใช้สารเหล่านี้ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง หรืออาจมีใช้ในปริมาณน้อยและเกิดการเจือจางไปมากด้วยน้ำที่ใช้ทดลองหรือน้ำล้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี ยกเว้นเมธิลลีนคลอไรด์จากน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 มีความเข้มข้นสูง (50.66 mg/L) และคลอโรฟอร์มซึ่งมีความเข้มข้นสูงมาก โดยเฉพาะตัวอย่างที่ 2 มีความเข้มข้นสูงถึง 950 mg/L เนื่องจากช่วงเวลาเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมี มีการใช้คลอโรฟอร์มในการทดลองโดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายของนิสิตเคมี คณะวิทยาศาสตร์

4.6 การหาประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

4.6.1 การหาประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

การกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งปรับสภาวะ ให้มี pH เท่ากับ 4 โดยใช้ขนาดผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์แสดงไว้ในตารางที่ 4.24 และ 4.25

ตารางที่ 4.24 ผลการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย		
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3
0 วัน	50.66 ±0.06	4.86 ±0.06	3.23 ±0.03
1 วัน	47.32 ±0.04	4.42 ±0.04	2.89 ±0.03
2 วัน	45.78 ±0.26	4.25 ±0.03	2.79 ±0.04
3 วัน	44.50 ±0.18	4.01 ±0.10	2.57 ±0.04
5 วัน	42.30 ±0.63	3.64 ±0.05	2.37 ±0.03
7 วัน	40.31 ±0.36	3.39 ±0.05	2.21 ±0.01
10 วัน	37.55 ±0.62	3.17 ±0.06	2.06 ±0.04
15 วัน	34.83 ±0.77	2.92 ±0.05	1.85 ±0.06

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

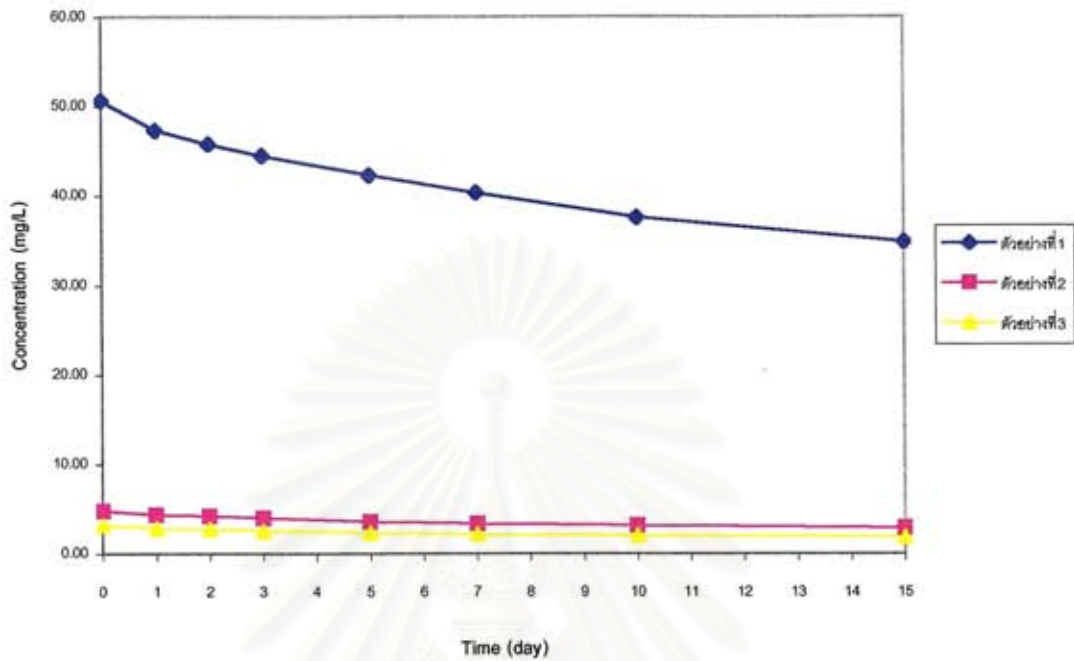
ตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดเมธิลลินคลอไรด์		
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3
0 วัน	0.00	0.00	0.00
1 วัน	6.58	8.98	10.62
2 วัน	9.63	12.50	13.60
3 วัน	12.15	17.50	20.45
5 วัน	16.51	25.15	26.70
7 วัน	20.43	30.28	31.70
10 วัน	25.88	34.83	36.36
15 วัน	31.25	39.92	42.58

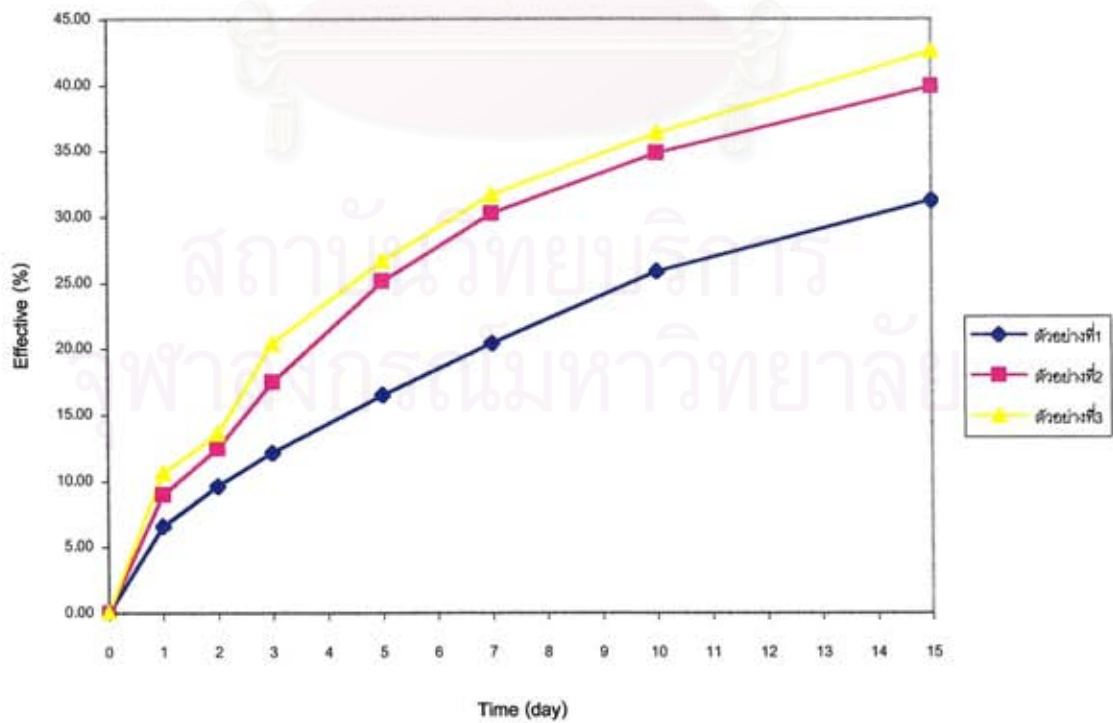
การกำจัดเมธิลลินคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ผลการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.24 และภาพที่ 4.24 และประสิทธิภาพการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.25 และภาพที่ 4.25 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's new multiple range test พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) เนื่องจากน้ำเสียในแต่ละตัวอย่างมีความเข้มข้นของเมธิลลินคลอไรด์ก่อนกำจัดแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์แตกต่างกันด้วย

ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 31.25, 39.92 และ 42.58 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี



4.6.2 การหาประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

การกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งปรับสภาวะให้มี pH เท่ากับ 4 โดยใช้ขนาดผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.26 และ 4.27

ตารางที่ 4.26 ผลการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย		
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3
0 วัน	104.00 ±1.00	950.00 ±5.00	81.00 ±0.36
1 วัน	71.92 ±0.31	800.54 ±0.65	55.28 ±0.39
2 วัน	66.79 ±0.13	764.79 ±3.73	48.66 ±0.40
3 วัน	59.60 ±0.26	671.25 ±0.68	43.00 ±0.43
5 วัน	46.08 ±0.20	567.66 ±2.04	32.41 ±0.07
7 วัน	37.84 ±0.32	517.95 ±1.83	25.33 ±0.08
10 วัน	33.30 ±0.43	472.44 ±4.70	23.33 ±0.31
15 วัน	30.45 ±0.26	428.45 ±4.39	20.20 ±0.21

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.27 ประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

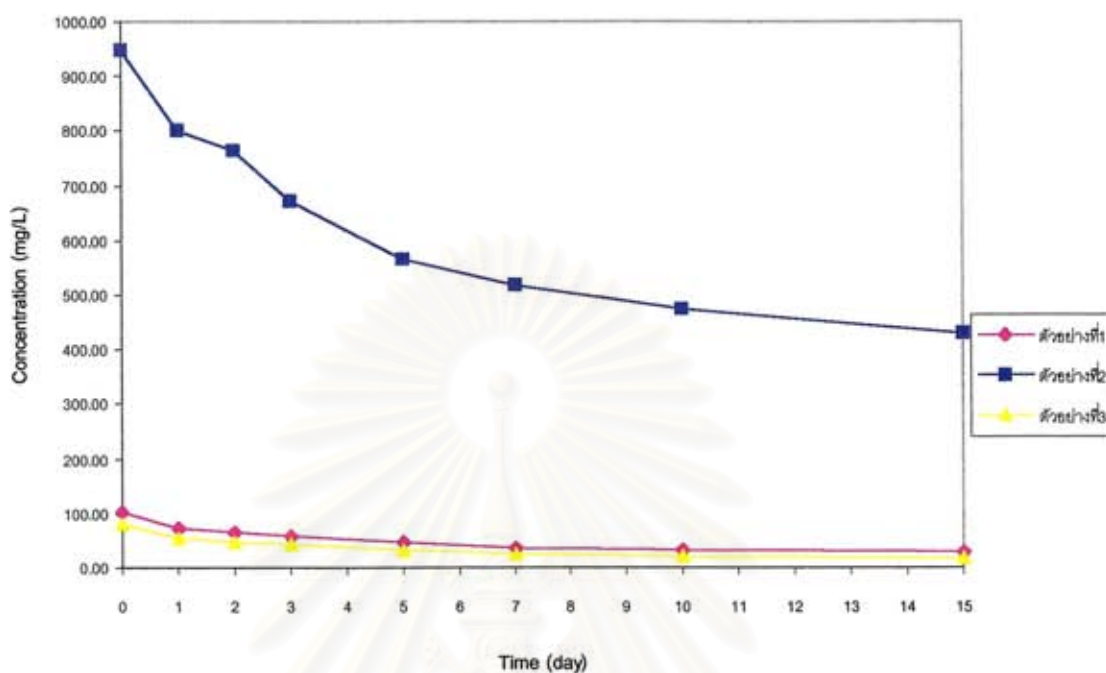
เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟอร์ม		
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3
0 วัน	0.00	0.00	0.00
1 วัน	30.85	15.73	31.76
2 วัน	35.78	19.50	39.93
3 วัน	42.69	29.34	46.91
5 วัน	55.69	40.25	59.99
7 วัน	63.61	45.48	68.72
10 วัน	67.98	50.27	71.20
15 วัน	70.72	54.90	75.06

การกำจัดคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาพให้มีค่า pH เท่ากับ 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.26 และภาพที่ 4.26 และประสิทธิภาพการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.27 และภาพที่ 4.27 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์ม โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new mutiple range test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน) เนื่องจากน้ำเสียในแต่ละตัวอย่างมีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มก่อนกำจัดแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอโรฟอร์มแตกต่างกันด้วย

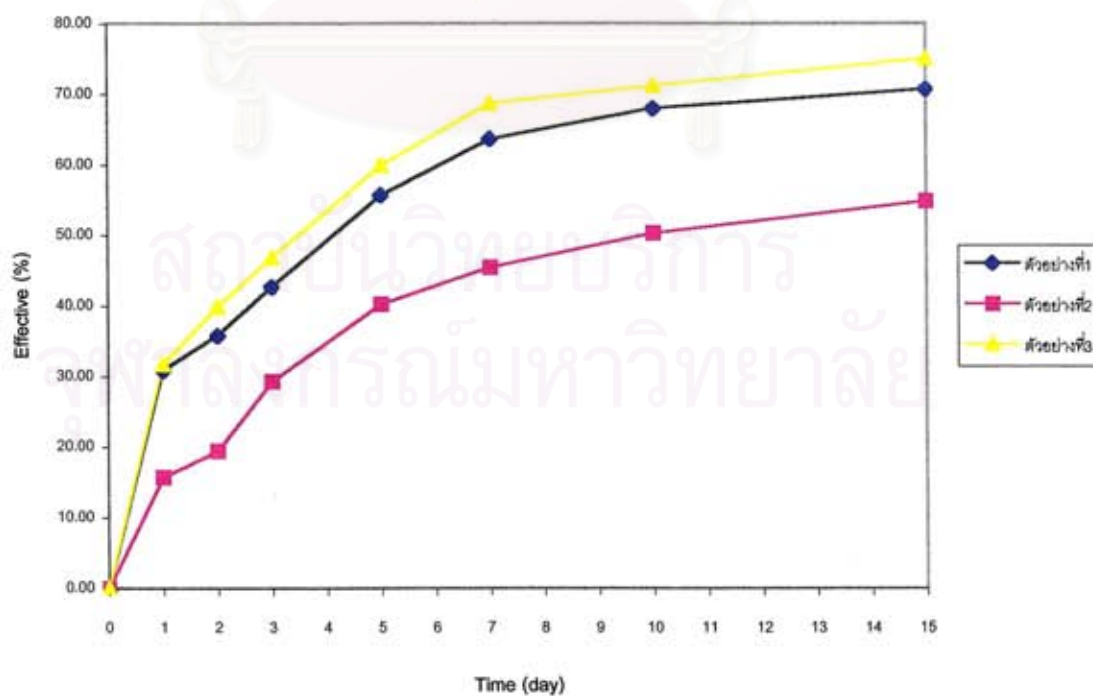
ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอโรฟอร์มจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 70.72%, 54.90% และ 75.06 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี



ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี



4.6.3 การหาประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4 โดยใช้ขนาดผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ซึ่งผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.28 – 4.29

ตารางที่ 4.28 ผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย	
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2
0 วัน	0.92 ±0.13	1.11 ±0.16
1 วัน	ND	ND

หมายเหตุ ND : ค่าที่วัดความเข้มข้น CCl₄ ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (0.5 mg/L) ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์	
	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1	ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2
0 วัน	0.00	0.00
1 วัน	~100.00	~100.00

การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 rpm. แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ผลการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.28 และประสิทธิภาพการกำจัดแสดงดังตารางที่ 4.29 ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) หากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan's new multiple range test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทุกระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย (1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน)

ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 100% ที่ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 1 วัน

ส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 3 ไม่สามารถตรวจพบได้ เนื่องจากเจือจางไปมากด้วยน้ำที่ใช้ทดลองหรือน้ำล้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี หรือเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียไม่มีการใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ในการทดลอง ดังนั้นผลการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาพให้มีค่า pH เท่ากับ 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แล้วได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการวิเคราะห์จึงตรวจไม่พบ

ความเข้มข้นของคลอโรเบนซินในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่สามารถตรวจพบได้ อาจเกิดจากคลอโรเบนซินที่ถูกทิ้งออกจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมีมีปริมาณน้อยมากจนถึงระดับที่ตรวจไม่พบ โดยเกิดการเจือจางไปมากด้วยน้ำที่ใช้ทดลองหรือน้ำล้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี หรือเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียไม่มีการใช้คลอโรเบนซินในการทดลอง จึงตรวจไม่พบ ดังนั้นผลการกำจัดคลอโรเบนซินในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ผ่านกระบวนการกำจัด โดยปรับสภาพให้มีค่า pH เท่ากับ 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน แล้วได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด ผลการวิเคราะห์จึงตรวจไม่พบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์

จากผลการทดลองเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก ในการกำจัดจะขึ้นกับเงื่อนไขที่ใช้ทดลองอันได้แก่ pH ขนาดอนุภาคผงเหล็ก และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายมาตรฐาน เมธิลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม และคลอโรเบนซีน คือ pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน ส่วนเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายมาตรฐาน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คือ pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน

➤ สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก ซึ่งแปรผันค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน คือ pH 4 (กรด) ส่วนประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน คือ pH 8 (ด่าง) เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสภาวะต่าง เมื่อเติมผงเหล็กพบว่าการตกตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์หรือสนิมเหล็ก ซึ่งเป็นตัวลดประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นเมื่อ pH ของน้ำเสียลดลงจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

➤ ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลีนคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงเหล็ก ซึ่งแปรผันระยะเวลาในการสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน คือ ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน เนื่องจากมีระยะเวลา

ในการสัมผัสน้ำเสียมากที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนดีที่สุด ดังนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

➤ ขนาดอนุภาคผงเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแปรผันขนาดอนุภาคผงเหล็ก เท่ากับ 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน คือ อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำเสียมากกว่าอนุภาคผงเหล็กขนาด 150 ไมครอน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนดีกว่า ดังนั้นเมื่อขนาดอนุภาคผงเหล็กเล็กลงจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี คือ pH 4 อนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน เนื่องจากสภาวะนี้มีความเหมาะสมที่สุดในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนทั้ง 4 ตัว

การหาประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ เมธิลลินคลอไรด์, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน และใช้ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7, 10 และ 15 วัน พบว่า

- ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 63.20 % ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน
- ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 88.00 % ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน
- ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 100 % ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 7 วัน
- ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 42.58 % ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 ใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และระยะเวลาสัมผัสน้ำเสีย 15 วัน

การหาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

จากผลการทดลองตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมีค่า pH และอุณหภูมิ นับว่าอยู่ในค่าที่อยู่ในเกณฑ์ปกติในสิ่งแวดล้อม ส่วนความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรเบนซีน ที่ถูกทิ้งออกจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมีมีปริมาณน้อยมากจนถึงระดับที่ตรวจไม่พบ อาจเกิดจากไม่มีการใช้คลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง หรือเกิดการเจือจางไปมากด้วยน้ำที่ใช้ทดลองหรือน้ำล้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี ยกเว้นความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์จากน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 มีความเข้มข้นสูง (50.66 mg/L) และคลอโรฟอร์มมีความเข้มข้นสูงมากในตัวอย่างที่ 2 มีความเข้มข้นสูงถึง 950 mg/L เนื่องจากช่วงเวลาเก็บตัวอย่างจากท่อน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการเคมีมีการใช้คลอโรฟอร์มในการทดลอง

- การกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH 4 และใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดเมธิลีนคลอไรด์ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 31.25, 39.92 และ 42.58 % ตามลำดับ
- การกำจัดคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH 4 และใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 70.72, 54.90 และ 75.06 % ตามลำดับ
- การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH 4 และใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน พบว่าประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ~100.00 และ ~100.00 % ตามลำดับ
- ส่วนความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่สามารถตรวจพบได้ ดังนั้นผลการกำจัดคลอโรเบนซีนในตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ผ่านกระบวนการกำจัด โดยปรับสภาวะให้มีค่า pH 4 และใส่ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน ผลการวิเคราะห์จึงตรวจไม่พบความเข้มข้นของคลอโรเบนซีน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด
2. ควรมีการนำผงเหล็กที่ใช้ในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน แล้วนำกลับมาใช้ใหม่
3. ควรทดลองใช้โลหะชนิดอื่นๆ ในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน
4. ควรมีการพัฒนาเศษเหล็กจากโรงกลึงเหล็กมาใช้งาน เนื่องจากเศษเหล็กเป็นของเหลือใช้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน
5. ควรมีการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนออกจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนนำไปบำบัดกับระบบบำบัดน้ำเสียรวม
6. ควรมีการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย และโรงงานอุตสาหกรรม
7. ควรพัฒนาเครื่องต้นแบบให้สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ ราคาถูก ใช้งานง่าย ในการกำจัดคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนออกจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีของมหาวิทยาลัย และโรงงานอุตสาหกรรม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กุลธิดา ศิริวัฒน์, ھرรษา ไชยวานิช และนวลตา ม่วงน้อยเจริญ. แนวทางการจัดการของเสียเคมีจากห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2539
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. ความปลอดภัยจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ. รายงานสัมมนาทางวิชาการเรื่องความปลอดภัยจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการ, หน้า 67-123. 24-25 มีนาคม 2531 ณ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือเก็บตัวอย่างน้ำเสียอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2541
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. รายงานสรุปผลการประชุม : การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง ระบบการจัดการสารเคมี และวัตถุอันตรายจากห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัย-โรงงานอุตสาหกรรมรูปแบบที่ใช้ในมหาวิทยาลัยญี่ปุ่น. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- ชลิต รัตนธรรมสกุล. การจัดการของเสียในมหาวิทยาลัยโตเกียว. วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 2 ฉบับที่ 7 (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2540) : 31 - 34

ภาษาอังกฤษ

- Arnold, W. A. and Roberts, A. L. Pathways of chlorinated ethylene and chlorinated acetylene reaction with Zn(0). Environ. Sci. Technol. 32 (1998) : 3017 - 3025.
- Boronina, T. and Klabunde, K. J. Destruction of organohalides in water using metal particles : Carbon tetrachloride / water reactions with magnesium, tin and zinc. Environ. Sci. Technol. 29 (1995) : 1511 - 1517.

- Boronina, T. N.; Lagadic, I.; Sergeev, G. B. and Klabunde, K. J. Activated and nonactivated forms of zinc powder : Reactivity toward chlorocarbon in water and AFM. studies of surface morphologies. Environ. Sci. Technol. 32 (1998) : 2614 - 2622.
- Burris, D. R. ; Campbell, T. J. and Manoranjan, V. S. Sorption of Trichloroethylene and Tetrachloroethylene in a batch reactive metallic iron - water system. Environ. Sci. Technol. 29 (1995) : 2850 - 2855.
- Butler, E. C. and Hayes, K. F. Effects of solution composition and pH on the reductive dechlorination of hexachloroethane by iron sulfide. Environ. Sci. Technol. 32 (1998) : 1276 - 1284.
- Butler, E. C. and Hayes, K. F. Kinetic of the transformation of trichloroethylene and tetrachloroethylene by iron sulfide. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 2021 - 2027.
- Dean, J. A. Lang' Handbook of Chemistry. 12nd ed. New York : McGraw - Hill, 1979.
- Deng, B. ; Burris, D. B. and Campbell, T. J. Reduction of vinyl chloride in metallic iron-water systems. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 2651 - 2656.
- Fennelly, J. P. and Roberts, A. L. Reaction of 1,1,1-trichloroethane with zero-valent metals and bimetallic reductants. Environ. Sci. Technol. 32 (1998) : 1980 - 1988.
- Gillham, R. W. and O'Hannesin, S. F. Enhanced degradation of halogenated aliphatic by zero-valent iron. Ground Water. 32 (1994) : 958 - 967.
- Grittini, C. ; Malcomson, M. ; Fernando, Q. and Korte, N. Rapid dechlorination of polychlorinated biphenyls on the surface of a Pd/Fe bimetallic system. Environ. Sci. Technol. 29 (1995) : 2898 - 2900.
- Hengerson, Y. and Whagard, H. Noxious Gases. 2nd ed. New York : Reinhold Publishing Cooperation, 1950.
- Kriegman-King, M. F. and Reinhard, M. Transformation of carbon tetrachloride by pyrite in aqueous solution. Environ. Sci. Technol. 28 (1994) : 692 - 700.
- Lowry, G. V. and Reinhard, M. Hydrodehalogenation of 1 - to 3 - carbon hydrogenated organic compounds in water using a palladium catalyst and hydrogen gas. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 1905 - 1910.
- Matheson, L. J. and Tratnyek, P. G. Reductive dehalogenation of chlorinated methanes by iron metal. Environ. Sci. Technol. 28 (1994) : 2045 - 2053.

- O'Hannesin, S. F. and Gillham, R. W. Long-term performance of an in situ "Iron wall" for remediation of VOCs. Ground Water, 36 (1998) : 164 -170.
- Orth, W. S. and Gillham, R. W. Dechlorination of Trichloroethene in aqueous solution using Fe^0 . Environ. Sci. Technol. 30 (1996) : 66 - 71.
- Ozdemir, M. and Tufekci, M. Removal of chlorine residues in aqueous media by metallic iron. Wat. Res. 31(1997) : 343 - 345.
- Siantar, D. P. ; Schreier, C. G. ; Chou, C. and Reinhard, M. Treatment of 1,2-dibromo-3-chloropropane and nitrate-contaminated water with zero-valent iron or hydrogen/palladium catalysts. Wat. Res. 30 (1996) : 2315 - 2322.
- Sonoyama, N. and Sakata, T. Electrochemical continuous decomposition of chloroform and other volatile chlorinated hydrocarbons in water using a column type metal impregnated carbon fiber electrode. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 3438 - 3442.
- Su, C. and Puls, R. W. Kinetic of trichloroethene reduction by zerovalent iron and tin : Pretreatment effect, apparent activation energy, and intermediate products. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 163 -168.
- Tratnyek, P. G. Putting corrosion to use : remediating contaminated groundwater with zero-valent metals. Chemistry & Industry (1 July 1996) : 499 - 503.
- Wang, C. B. and Zhang, W. X. Synthesizing Nanoscale iron particles for rapid and complete dechlorination of TCE and PCBs. Environ. Sci. Technol. 31 (1997) : 2154 - 2156.
- Yakm, H. K. ; Wenclawiak, W. ; Cheng, I. F. ; Doyle, J. G. and Wai, C. M. Reduction dechlorination of polychlorinated biphenyls by zerovalent iron in subcritical water. Environ. Sci. Technol. 33 (1999) : 1307 - 1310.
- Yentongchai, W. Analysis of some chlorinated hydrocarbons in water by headspace technique. Master's Thesis, Department of Science, Graduate School, Chulalongkorn University, 1992.



ภาคผนวก ก.

การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบผสมรวม หมายถึง ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำเสียทั้งวัน ตัวอย่างแบบผสมรวมจึงเกิดจากการนำเอาตัวอย่างแบบจ้วงหลายๆตัวอย่างมาผสมรวมกัน การจำกัดจำนวนตัวอย่างน้ำเพื่อลดภาระและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ ขนาดตัวอย่างจ้วงที่นำมาผสมกันขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเสียในขณะเก็บตัวอย่าง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ยกตัวอย่างเช่น อาจกำหนดให้นำเอาตัวอย่างจ้วง ปริมาตร N มิลลิลิตร ต่อทุกๆอัตราการไหล 1 ลิตร/นาที่ มาใช้เป็นสูตรผสมเป็นต้น (N อาจเป็น 1, 2, 3, 4..... แล้วแต่ความเหมาะสมเพื่อให้ได้ ปริมาตรรวมของตัวอย่างแบบผสมรวมประมาณ 4 ลิตร)

ตารางที่ ผ.1 แบบฟอร์มการคำนวณปริมาตรตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเพื่อใช้ผสมเป็นตัวอย่างแบบผสมรวม

เวลา	อัตราการไหล (ลิตร/นาที่)	ปริมาตรตัวอย่างน้ำแบบจ้วง	
		ตัวอย่างเก็บ	ปริมาตรที่ต้องการ
8.00 นาฬิกา	M1	1000	$M1 \times (4000/M)$
9.00 นาฬิกา	M2	1000	$M2 \times (4000/M)$
10.00 นาฬิกา	M3	1000	$M3 \times (4000/M)$
11.00 นาฬิกา	M4	1000	$M4 \times (4000/M)$
12.00 นาฬิกา	M5	1000	$M5 \times (4000/M)$
13.00 นาฬิกา	M6	1000	$M6 \times (4000/M)$
14.00 นาฬิกา	M7	1000	$M7 \times (4000/M)$
15.00 นาฬิกา	M8	1000	$M8 \times (4000/M)$
16.00 นาฬิกา	M9	1000	$M9 \times (4000/M)$
รวม	M		ประมาณ 4000 ml.

(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

วิธีใช้ตาราง

- วัดอัตราการไหลของน้ำเสีย (ใช้หน่วย ลิตร/นาที่) ที่เวลาต่างๆ และจดค่า M_i ในเมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots$ ในขณะที่วัด อัตราการไหลทั้งหมดและจดเป็นค่า M
- คำนวณผลรวมของค่าอัตราการไหลทั้งหมดและจดเป็นค่า M

- จำนวนปริมาตรน้ำเสีย (ในแต่ละเวลา) ที่ต้องนำมาผสมเป็นตัวอย่างรวมให้ได้ปริมาณ 4,000 มิลลิลิตร โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาตรที่ต้องการ} = M_i \times 4,000 / M$$

ขนาดของตัวอย่างแบบผสมรวมขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยปกติควรเก็บตัวอย่างแบบผสมไม่น้อยกว่า 2 ลิตร และอย่างมาก 4 ลิตร ความถี่ในการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง เพื่อนำมาผสมรวมเป็นตัวอย่างแบบผสมรวมขึ้นอยู่กับการแกว่งของลักษณะน้ำ หากแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำมีลักษณะคงที่หรือแกว่งน้อย การเก็บตัวอย่างจ้วงก็มีความถี่ต่ำ เช่น ทุก 4 ชั่วโมงหรือมากกว่า ความถี่น้อยที่สุดคือ วันละ 1 ครั้ง นั่นคือ ตัวอย่างแบบจ้วงสามารถเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำเสียได้ และไม่มีจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างแบบผสมรวม เมื่อลักษณะของน้ำเสียมีความแกว่งอยู่ในระดับสูง ตัวอย่างแบบจ้วงต้องเก็บให้ถี่ เช่น เก็บตัวอย่างแบบจ้วงทุกชั่วโมง เป็นต้น การผสมตัวอย่างน้ำควรใช้ขนาดตัวอย่างตามสัดส่วนของอัตราการไหลของน้ำเสีย เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำแบบอัตโนมัติอาจนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวมทั้งนี้เครื่องอัตโนมัติ ช่วยลดภาระในการใช้แรงงานได้มาก การเก็บตัวอย่างที่ต้องทำเป็นประจำควรใช้เครื่องเก็บน้ำแทนแรงคน อย่างไรก็ตาม เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำเหล่านี้ต้องสามารถเก็บน้ำให้ได้ตามสัดส่วนของอัตราการไหลของน้ำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกำจัดคลอรีนเดคลไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

1. เมธิลีนคลอไรด์

ตารางที่ ผ.2 ผลการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์(mg/L)ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	9.85 ±0.05	9.92 ±0.06	9.60 ±0.22	9.85 ±0.13	9.93 ±0.04
2 วัน	9.56 ±0.12	9.55 ±0.11	9.86 ±0.07	9.66 ±0.31	9.55 ±0.20
3 วัน	9.86 ±0.17	9.91 ±0.04	9.95 ±0.04	9.95 ±0.04	9.83 ±0.17
5 วัน	9.87 ±0.07	9.83 ±0.05	9.92 ±0.02	9.83 ±0.17	9.74 ±0.22
7 วัน	9.97 ±0.02	9.60 ±0.23	9.74 ±0.18	9.67 ±0.31	9.64 ±0.24
10 วัน	9.69 ±0.30	9.67 ±0.27	9.75 ±0.23	9.84 ±0.11	9.87 ±0.08
15 วัน	9.74 ±0.22	9.71 ±0.01	9.92 ±0.04	9.92 ±0.06	9.86 ±0.01

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ ผ.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายเมธิลีนคลอไรด์ เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดเมธิลีนคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	1.50	0.80	4.00	1.50	0.70
2 วัน	4.40	4.50	1.40	3.40	4.50
3 วัน	1.40	0.90	0.50	0.50	1.70
5 วัน	1.30	1.70	0.80	1.70	2.60
7 วัน	0.30	4.00	2.60	3.30	3.60
10 วัน	3.10	3.30	2.50	1.60	1.30
15 วัน	2.60	2.90	0.80	0.80	1.40

2. คลอโรฟอร์ม

ตารางที่ ผ.4 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	9.97 ±0.13	9.64 ±0.27	9.60 ±0.31	9.67 ±0.21	9.74 ±0.11
2 วัน	9.56 ±0.10	9.55 ±0.41	9.55 ±0.27	9.66 ±0.16	9.86 ±0.13
3 วัน	9.74 ±0.11	9.86 ±0.13	9.71 ±0.18	9.92 ±0.05	9.92 ±0.01
5 วัน	9.87 ±0.07	9.74 ±0.21	9.83 ±0.09	9.83 ±0.10	9.92 ±0.08
7 วัน	9.86 ±0.04	9.83 ±0.07	9.91 ±0.02	9.95 ±0.03	9.95 ±0.04
10 วัน	9.69 ±0.16	9.87 ±0.03	9.67 ±0.18	9.84 ±0.11	9.75 ±0.19
15 วัน	9.85 ±0.13	9.93 ±0.05	9.92 ±0.07	9.85 ±0.14	9.60 ±0.27

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ ผ.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรฟอร์ม เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรฟอร์ม				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	0.30	3.60	4.00	3.30	2.60
2 วัน	4.40	4.50	4.50	3.40	1.40
3 วัน	2.60	1.40	2.90	0.80	0.80
5 วัน	1.30	2.60	1.70	1.70	0.80
7 วัน	1.40	1.70	0.90	0.50	0.50
10 วัน	3.10	1.30	3.30	1.60	2.50
15 วัน	1.50	0.70	0.80	1.50	4.00

3. คาร์บอนเตตระคลอไรด์

ตารางที่ ผ.6 ผลการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	9.97 ±0.01	9.95 ±0.01	9.60 ±0.24	9.67 ±0.12	9.87 ±0.12
2 วัน	9.56 ±0.35	9.84 ±0.15	9.75 ±0.11	9.66 ±0.29	9.86 ±0.06
3 วัน	9.69 ±0.24	9.55 ±0.21	9.71 ±0.22	9.83 ±0.11	9.91 ±0.07
5 วัน	9.85 ±0.11	9.74 ±0.18	9.83 ±0.13	9.83 ±0.15	9.92 ±0.04
7 วัน	9.74 ±0.15	9.92 ±0.06	9.92 ±0.05	9.95 ±0.04	9.74 ±0.19
10 วัน	9.86 ±0.11	9.87 ±0.11	9.67 ±0.26	9.74 ±0.16	9.86 ±0.11
15 วัน	9.55 ±0.21	9.93 ±0.01	9.92 ±0.04	9.85 ±0.07	9.91 ±0.03

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ ผ.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด คาร์บอนเตตระคลอไรด์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	0.30	0.50	4.00	3.30	1.30
2 วัน	4.40	1.60	2.50	3.40	1.40
3 วัน	3.10	4.50	2.90	1.70	0.90
5 วัน	1.50	2.60	1.70	1.70	0.80
7 วัน	2.60	0.80	0.80	0.50	2.60
10 วัน	1.40	1.30	3.30	2.60	1.40
15 วัน	4.50	0.70	0.80	1.50	0.90

4. สารละลายคลอโรเบนซีน

ตารางที่ ผ.8 ผลการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีน เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีน (mg/L) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00	10.00 ±0.00
1 วัน	9.85 ±0.09	9.55 ±0.28	9.60 ±0.22	9.56 ±0.14	9.97 ±0.01
2 วัน	9.86 ±0.14	9.67 ±0.23	9.96 ±0.02	9.93 ±0.01	9.79 ±0.16
3 วัน	9.87 ±0.11	9.66 ±0.15	9.84 ±0.13	9.83 ±0.12	9.91 ±0.07
5 วัน	9.86 ±0.08	9.83 ±0.10	9.83 ±0.10	9.95 ±0.04	9.69 ±0.28
7 วัน	9.75 ±0.19	9.83 ±0.10	9.92 ±0.05	9.87 ±0.04	9.74 ±0.16
10 วัน	9.71 ±0.25	9.74 ±0.09	9.77 ±0.20	9.74 ±0.16	9.86 ±0.10
15 วัน	9.55 ±0.32	9.92 ±0.02	9.74 ±0.17	9.85 ±0.12	9.91 ±0.04

หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ ผ.9 ประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายคลอโรเบนซีน เมื่อไม่ใส่ผงเหล็ก (ชุดควบคุม)

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอโรเบนซีน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1 วัน	1.50	4.50	4.00	4.40	0.30
2 วัน	1.40	3.30	0.40	0.70	2.10
3 วัน	1.30	3.40	1.60	1.70	0.90
5 วัน	1.40	1.70	1.70	0.50	3.10
7 วัน	2.50	1.70	0.80	1.30	2.60
10 วัน	2.90	2.60	2.30	2.60	1.40
15 วัน	4.50	0.80	2.60	1.50	0.90

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ ผ.10 ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานเมธิลีนคลอไรด์

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลีนคลอไรด์ (mg/L)									
	Fe ^o 10 ไมครอน					Fe ^o 150 ไมครอน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
1 day	5.97	6.44	7.41	7.74	9.63	6.18	6.78	7.55	8.04	9.95
1 day	6.11	6.58	7.71	7.94	9.69	6.66	6.90	7.87	8.42	9.87
2 day	5.92	6.52	6.62	7.32	8.98	6.10	6.97	7.12	7.54	9.94
2 day	5.52	5.94	7.08	7.48	9.12	6.32	6.19	7.36	7.89	9.26
3 day	5.16	6.04	6.21	6.87	8.93	5.57	6.28	7.44	7.45	9.67
3 day	5.48	5.88	6.15	7.17	8.81	5.72	6.46	6.68	7.66	9.07
5 day	4.68	5.64	5.47	6.69	8.27	5.59	5.90	6.10	6.88	9.15
5 day	5.04	5.24	5.73	6.75	8.43	4.83	6.06	6.39	7.30	8.59
7 day	4.29	5.08	4.92	5.96	8.13	4.66	5.68	6.03	6.79	8.86
7 day	4.42	4.94	5.64	6.16	8.09	4.92	5.40	6.15	6.34	8.22
10 day	3.68	4.58	4.84	5.82	7.95	4.15	5.19	5.85	6.38	7.76
10 day	4.08	4.80	5.12	5.96	7.23	4.26	4.95	5.49	6.16	8.02
15 day	3.58	3.66	4.55	5.95	7.35	4.01	4.41	5.47	5.99	7.44
15 day	3.78	4.42	4.53	5.03	7.61	3.90	4.17	5.61	5.79	7.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.11 ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L)									
	Fe ^o 10 ไมครอน					Fe ^o 150 ไมครอน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
1 day	3.44	4.96	5.41	6.44	8.83	4.18	5.24	5.56	6.24	9.05
1 day	3.62	4.66	4.89	6.06	8.43	3.92	4.90	5.60	6.82	8.81
2 day	2.94	3.24	4.32	5.22	7.11	3.77	4.57	4.88	5.75	7.84
2 day	3.08	3.88	4.28	5.18	7.59	3.69	4.77	5.00	5.89	8.24
3 day	2.54	2.90	3.91	4.67	6.93	3.31	3.88	4.56	5.15	7.05
3 day	2.44	3.12	3.71	4.93	6.85	2.93	3.68	4.38	5.33	7.73
5 day	2.09	2.44	3.11	3.99	6.43	2.83	3.44	4.33	5.06	6.89
5 day	1.93	2.70	3.33	3.81	6.65	3.13	3.30	4.21	4.54	7.11
7 day	1.37	1.88	2.70	3.78	6.33	2.51	2.97	3.83	3.90	6.99
7 day	1.23	1.98	2.62	3.38	6.51	2.25	3.03	3.91	4.18	6.77
10 day	1.28	1.88	2.34	3.18	5.99	2.13	2.79	3.35	3.98	6.66
10 day	1.12	1.80	2.12	3.32	5.85	2.13	2.41	3.47	3.74	6.22
15 day	1.44	1.64	1.99	2.95	5.43	2.02	2.21	3.37	3.58	5.95
15 day	1.06	1.26	2.33	3.01	5.59	2.00	2.27	2.81	3.34	5.99

ตารางที่ ผ.12 ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคาร์บอนเตตระคลอไรด์

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (mg/L)									
	Fe° 10 ไมครอน					Fe° 150 ไมครอน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
1 day	3.45	3.92	4.53	5.32	8.18	4.21	4.66	5.35	5.93	9.23
1 day	3.89	4.47	4.51	5.62	8.28	4.70	4.48	5.12	5.82	8.74
2 day	2.61	3.65	4.37	4.73	7.12	4.40	3.65	4.71	5.35	8.91
2 day	3.26	3.44	3.91	4.14	7.37	2.97	4.02	4.55	5.29	8.61
3 day	2.25	3.42	3.97	4.53	6.13	3.48	3.55	3.84	5.24	8.64
3 day	2.41	3.30	3.48	3.44	7.28	2.63	3.69	4.18	5.15	8.12
5 day	2.05	2.54	2.51	3.74	5.49	2.08	3.04	2.98	4.31	7.15
5 day	1.71	2.43	2.36	3.16	5.58	2.49	2.93	3.05	3.65	7.62
7 day	0.00	1.69	1.95	2.63	4.82	0.00	2.02	2.35	2.96	6.55
7 day	0.00	1.63	1.95	2.53	3.87	0.00	1.87	2.25	2.89	5.91
10 day	0.00	0.89	1.14	1.91	3.53	0.00	1.37	1.83	3.05	5.81
10 day	0.00	0.90	0.93	2.14	3.61	0.00	1.37	1.78	2.51	5.80
15 day	0.00	0.00	0.00	0.94	3.30	0.00	1.15	1.21	2.22	5.84
15 day	0.00	0.00	0.00	0.99	3.31	0.00	1.23	1.23	1.72	6.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.13 ผลการกำจัดสารละลายมาตรฐานคลอโรเบนซีน

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีน (mg/L)									
	Fe° 10 ไมครอน					Fe° 150 ไมครอน				
	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
0 day	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
1 day	7.67	7.94	8.39	8.59	10.00	8.37	8.78	8.85	9.36	10.00
1 day	7.92	8.02	8.45	8.69	10.00	7.99	8.59	8.75	9.15	10.00
2 day	7.55	7.49	8.06	8.32	10.00	7.87	8.43	8.65	9.18	10.00
2 day	7.40	7.66	7.93	8.48	10.00	8.05	7.99	8.31	8.87	10.00
3 day	6.97	7.28	7.65	8.16	10.00	7.76	7.83	8.39	8.94	10.00
3 day	7.10	7.17	7.96	7.85	10.00	7.24	8.03	8.13	8.80	10.00
5 day	6.82	6.99	7.46	7.78	9.41	7.16	7.75	7.69	8.52	9.77
5 day	6.68	7.03	7.42	7.55	9.48	7.08	7.15	8.14	8.78	9.69
7 day	6.08	6.79	7.31	7.48	9.26	6.38	7.11	7.24	8.10	9.59
7 day	6.13	6.96	6.94	7.51	9.19	6.62	7.35	7.86	8.48	9.28
10 day	5.99	6.73	6.89	7.29	9.08	6.62	6.92	7.24	8.04	9.37
10 day	5.84	6.52	6.87	7.13	8.85	5.81	6.86	7.45	7.85	9.05
15 day	5.91	6.61	6.61	6.90	8.70	6.20	6.78	6.75	7.48	8.89
15 day	5.58	6.55	6.36	7.10	8.45	5.78	6.58	7.02	7.87	8.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคลอรีนเดคไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการเคมี

ตารางที่ ผ.14 ผลการกำจัดเมธิลลินคลอไรด์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของเมธิลลินคลอไรด์ (mg/L)								
	ตัวอย่างที่ 1			ตัวอย่างที่ 2			ตัวอย่างที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0 day	50.00	50.66	51.32	4.80	4.86	4.92	3.20	3.23	3.26
1 day	47.73	46.92	47.32	4.39	4.46	4.42	2.92	2.85	2.89
2 day	45.52	46.04	45.78	4.22	4.28	4.25	2.83	2.75	2.79
3 day	44.68	44.32	44.50	4.11	3.91	4.01	2.61	2.53	2.57
5 day	42.92	41.67	42.30	3.58	3.69	3.64	2.34	2.40	2.37
7 day	39.94	40.67	40.31	3.43	3.34	3.39	2.20	2.21	2.21
10 day	38.17	36.93	37.55	3.11	3.22	3.17	2.10	2.01	2.06
15 day	34.05	35.60	34.83	2.97	2.87	2.92	1.92	1.79	1.85

ตารางที่ ผ.15 ผลการกำจัดคลอโรฟอร์มจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม (mg/L)								
	ตัวอย่างที่ 1			ตัวอย่างที่ 2			ตัวอย่างที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0 day	103.00	104.00	105.00	945.00	950.00	955.00	80.64	81.00	81.36
1 day	71.61	72.23	71.92	801.19	799.89	800.54	55.67	54.89	55.28
2 day	66.92	66.65	66.79	768.53	761.06	764.80	49.06	48.26	48.66
3 day	59.86	59.34	59.60	671.93	670.57	671.25	43.43	42.57	43.00
5 day	45.89	46.28	46.08	569.70	565.62	567.66	32.34	32.48	32.41
7 day	38.16	37.52	37.84	516.13	519.78	517.95	25.41	25.26	25.33
10 day	33.73	32.87	33.30	467.74	477.15	472.44	23.02	23.64	23.33
15 day	30.71	30.19	30.45	424.06	432.84	428.45	20.41	19.99	20.20



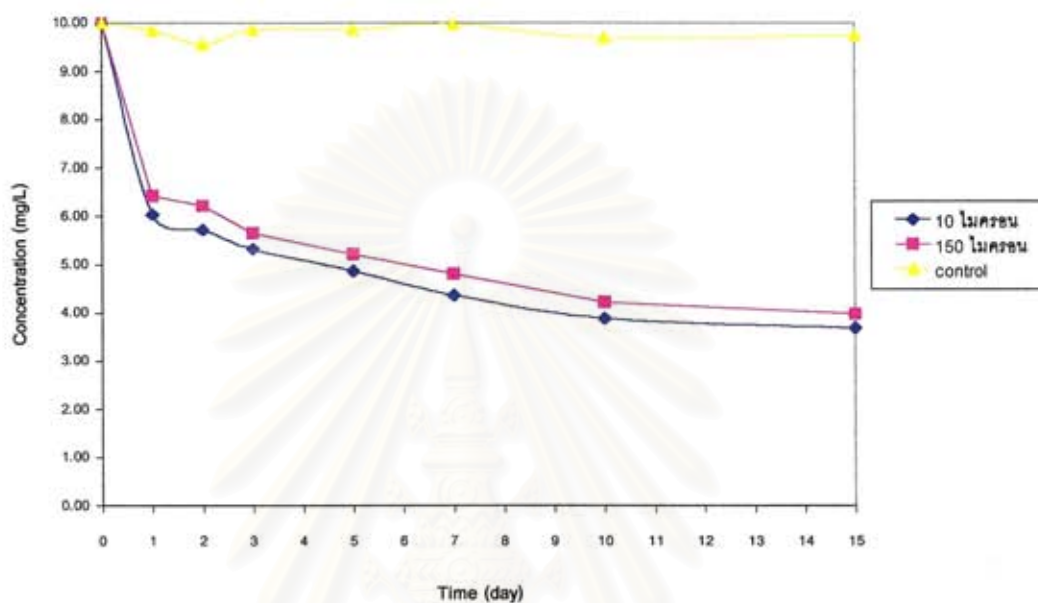
ภาคผนวก ค.

การกำจัดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน
โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

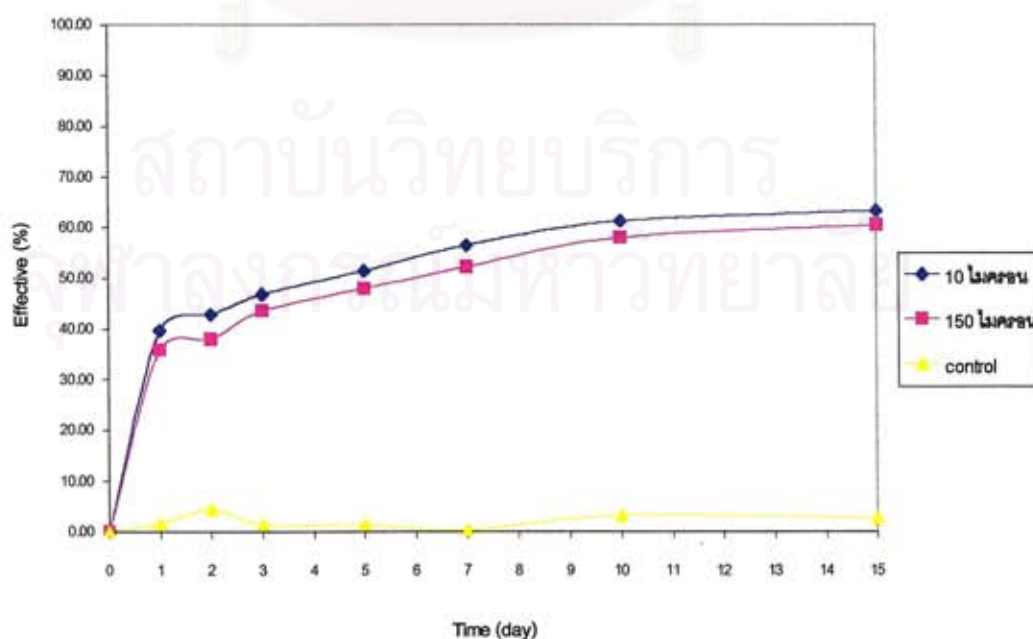
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน แสดงดังภาพที่ ผ.1 – ผ.10

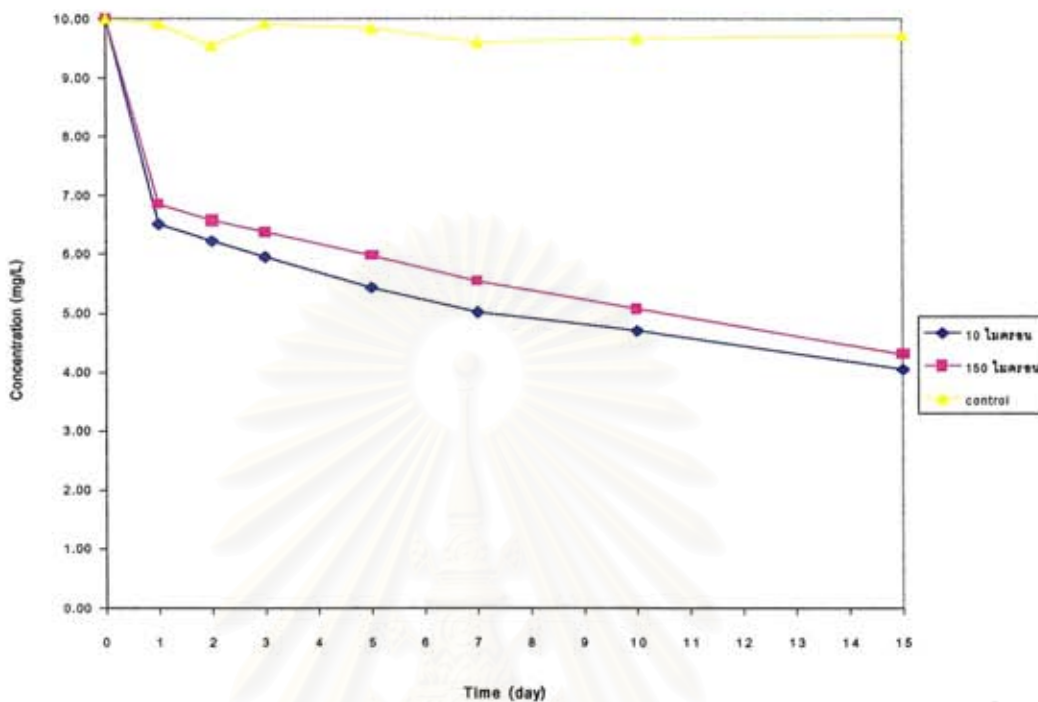
ภาพที่ ผ.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลาที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



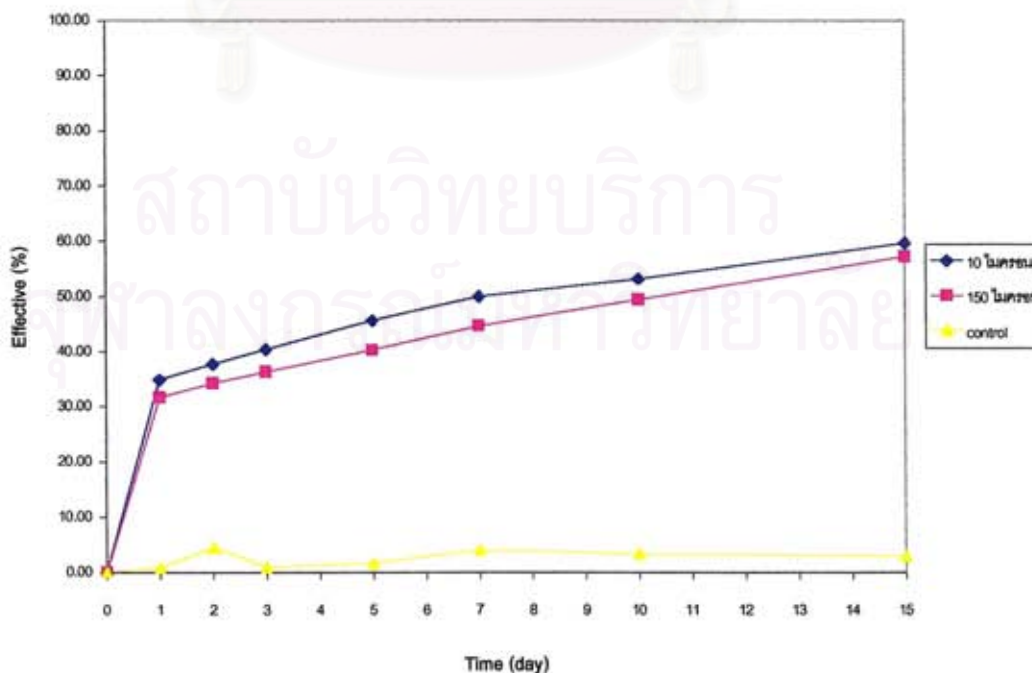
ภาพที่ ผ.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลาที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



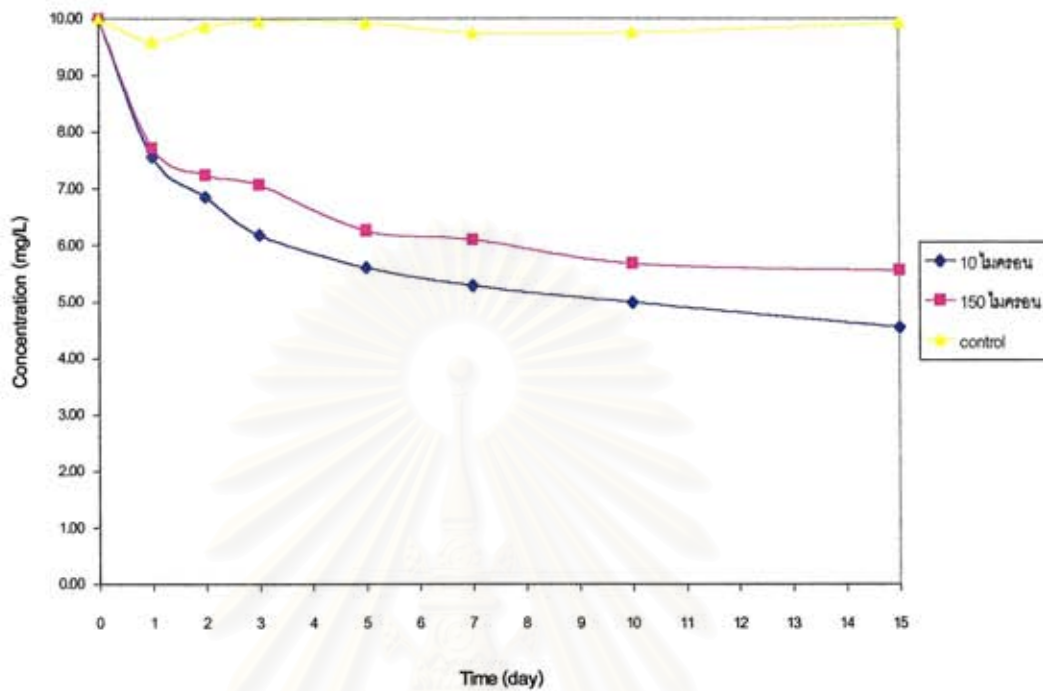
ภาพที่ ๘.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



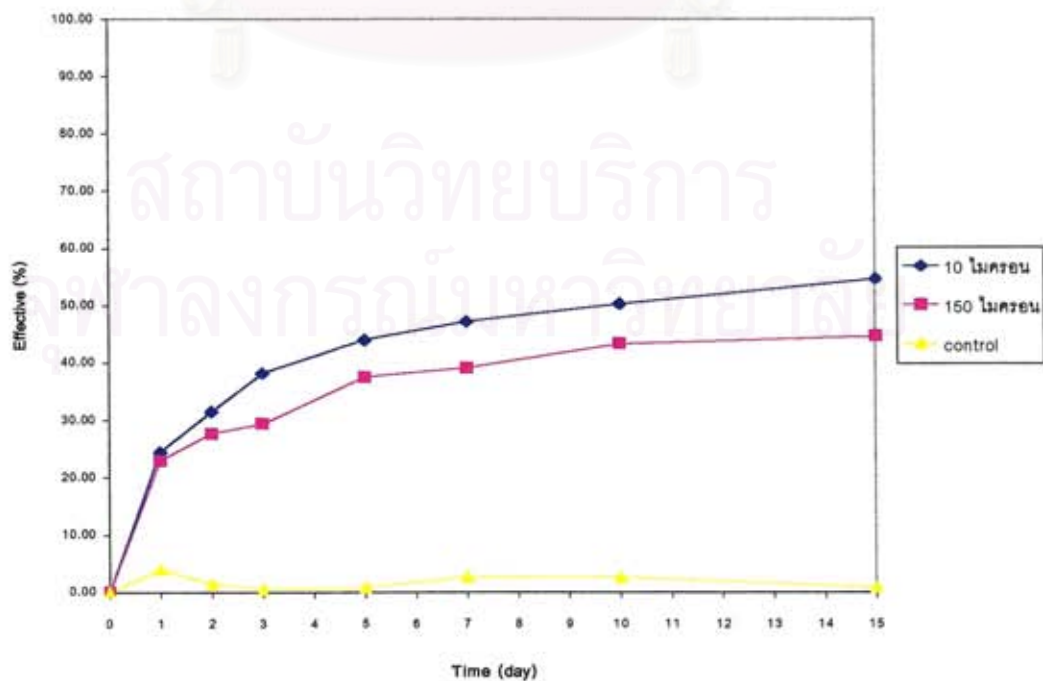
ภาพที่ ๘.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



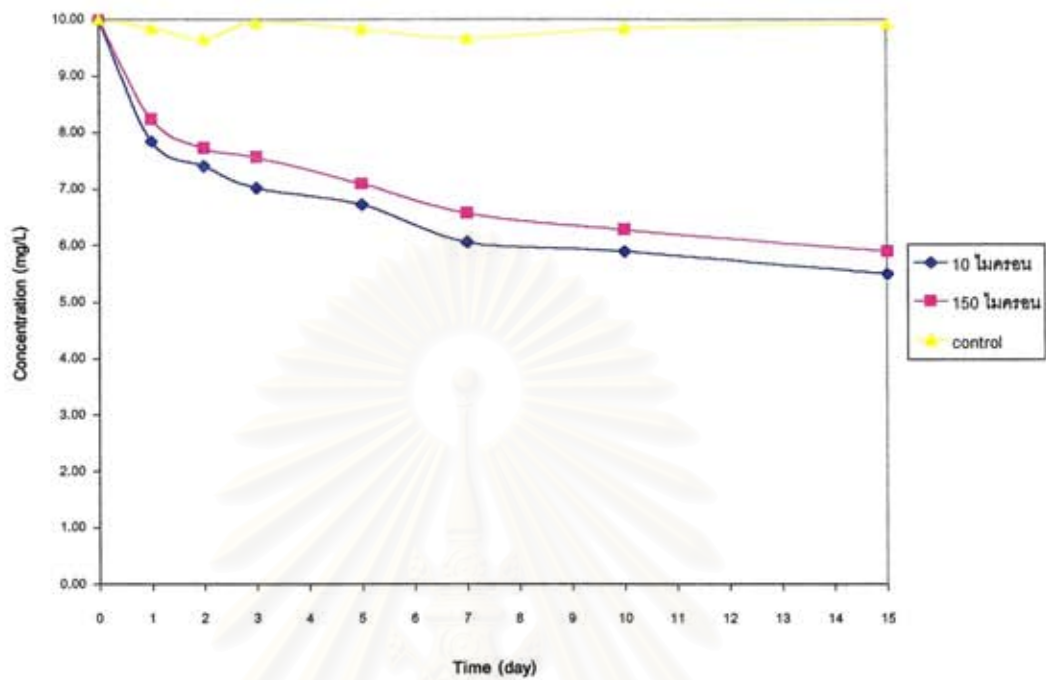
ภาพที่ ๕.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลซีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



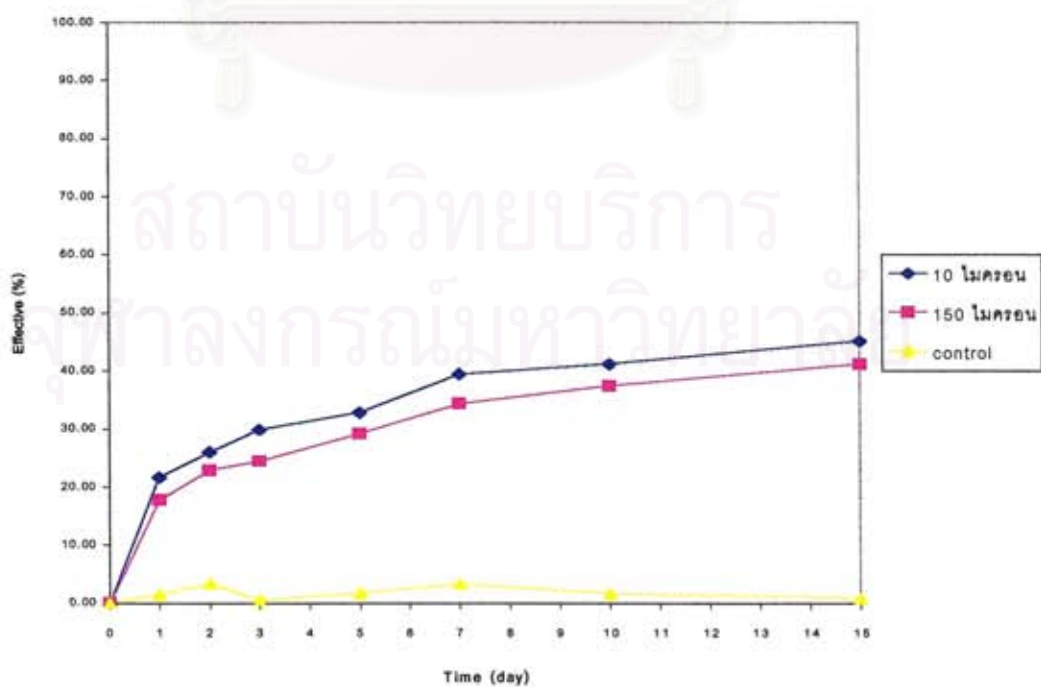
ภาพที่ ๕.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลซีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



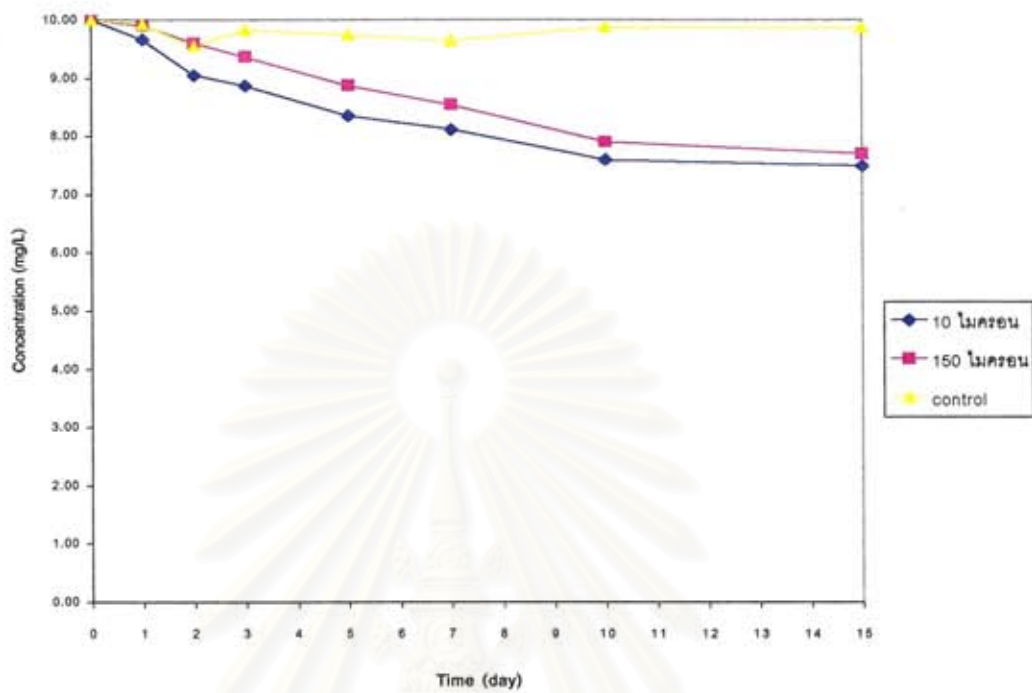
ภาพที่ ๘.๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



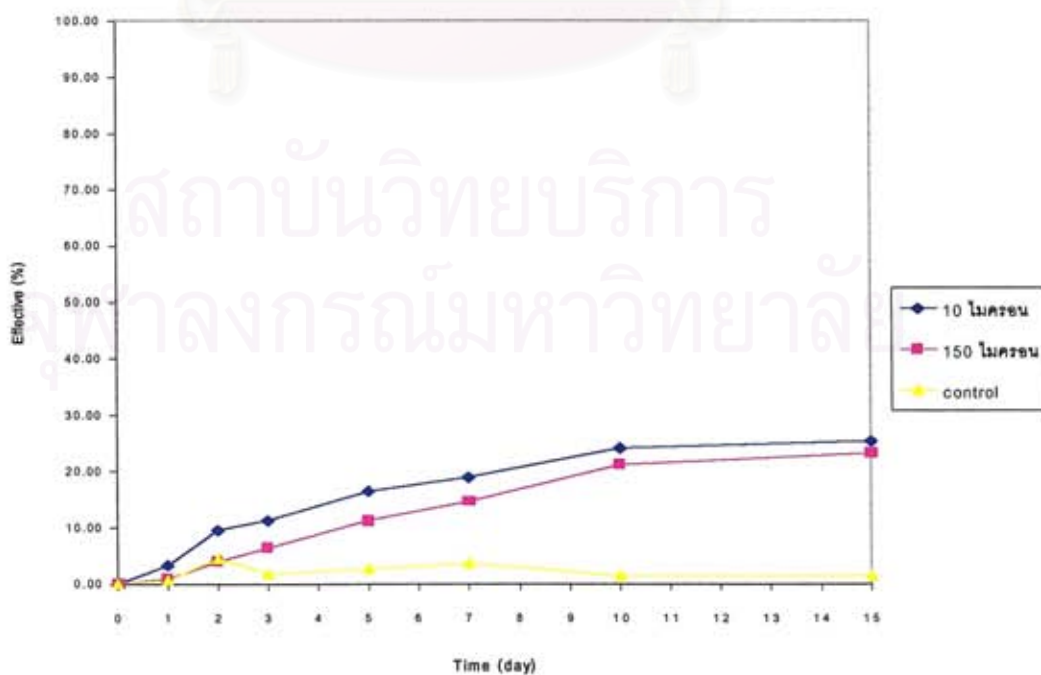
ภาพที่ ๘.๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ภาพที่ ๘.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

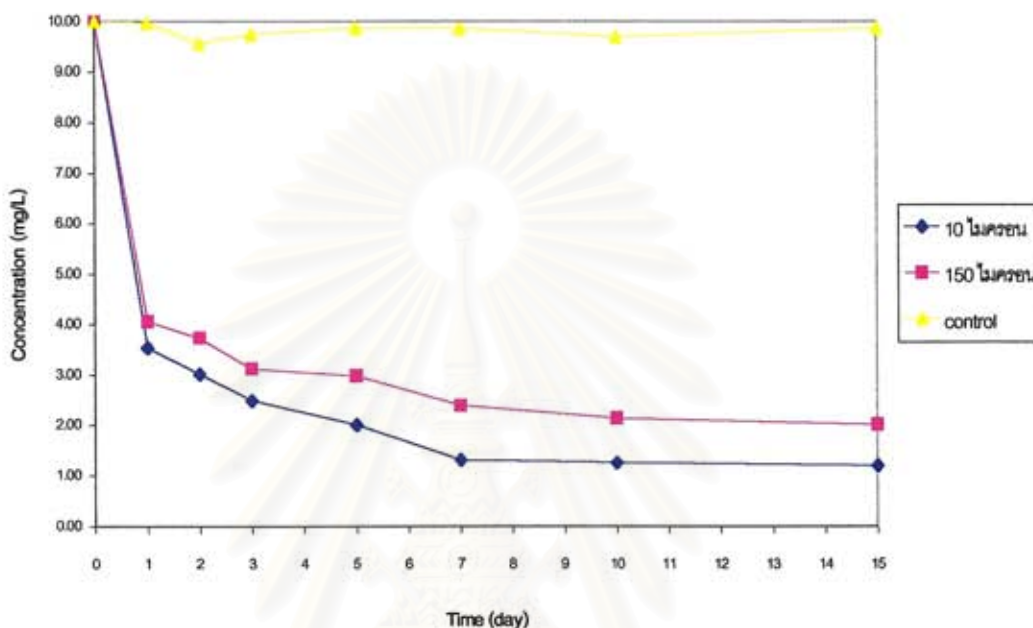


ภาพที่ ๘.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดเมธิลลีนคลอไรด์กับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็ก ขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

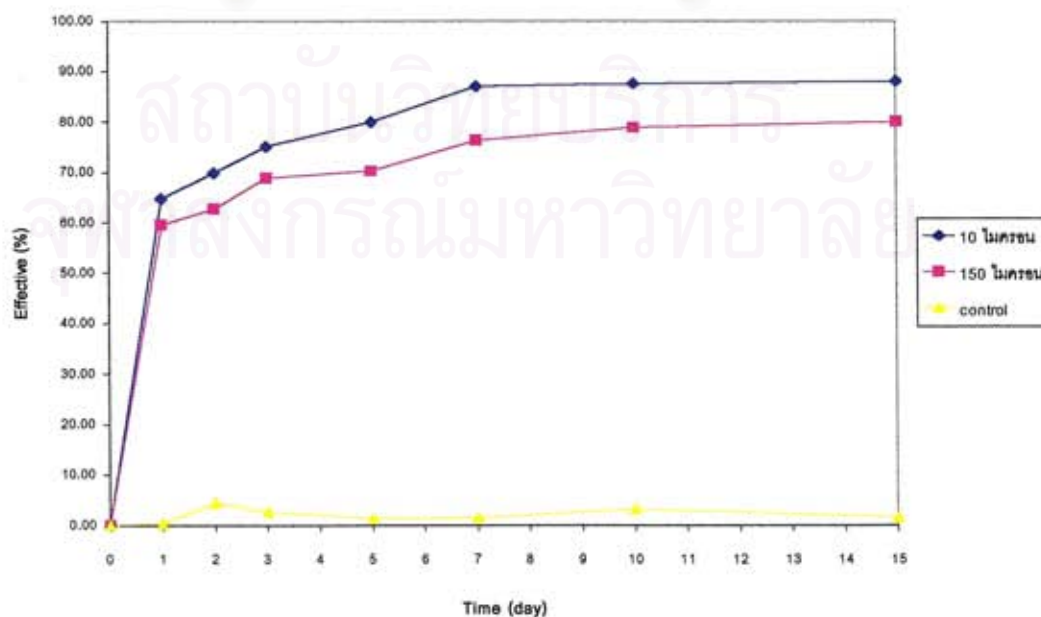


- การกำจัดคลอโรฟอร์มในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน แสดงดังภาพที่ ผ.11 – ผ.20

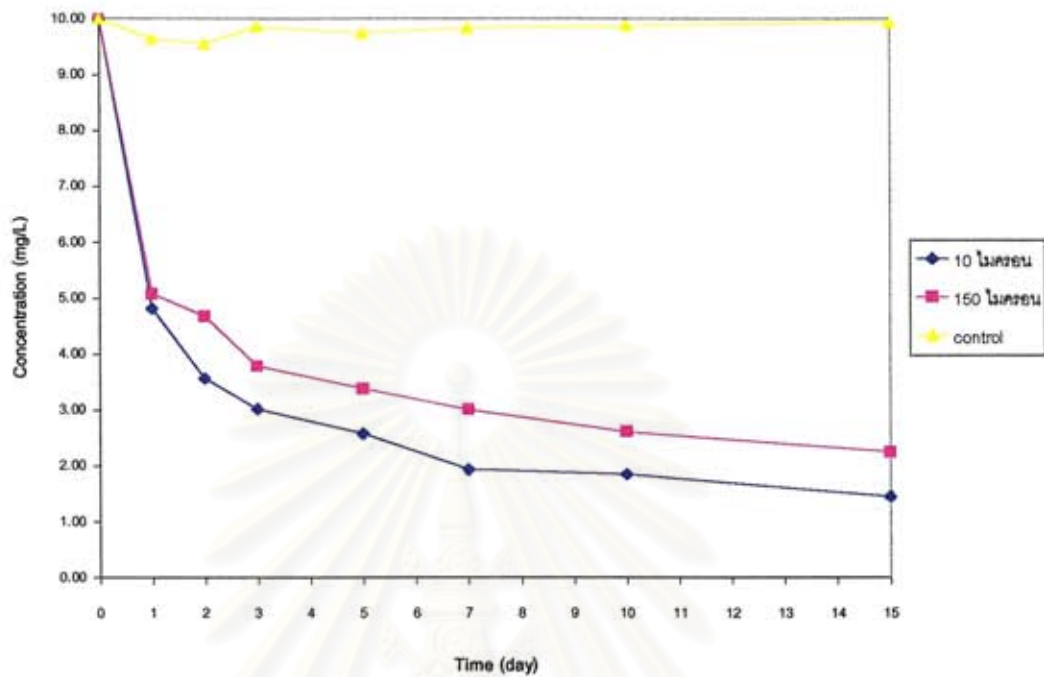
ภาพที่ ผ.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลาที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



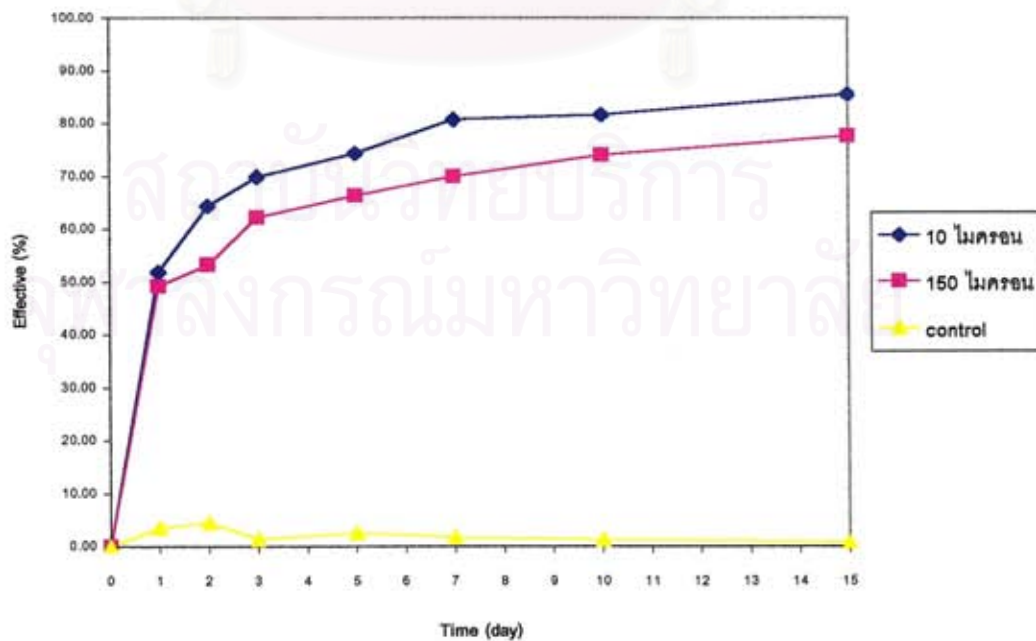
ภาพที่ ผ.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลาที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



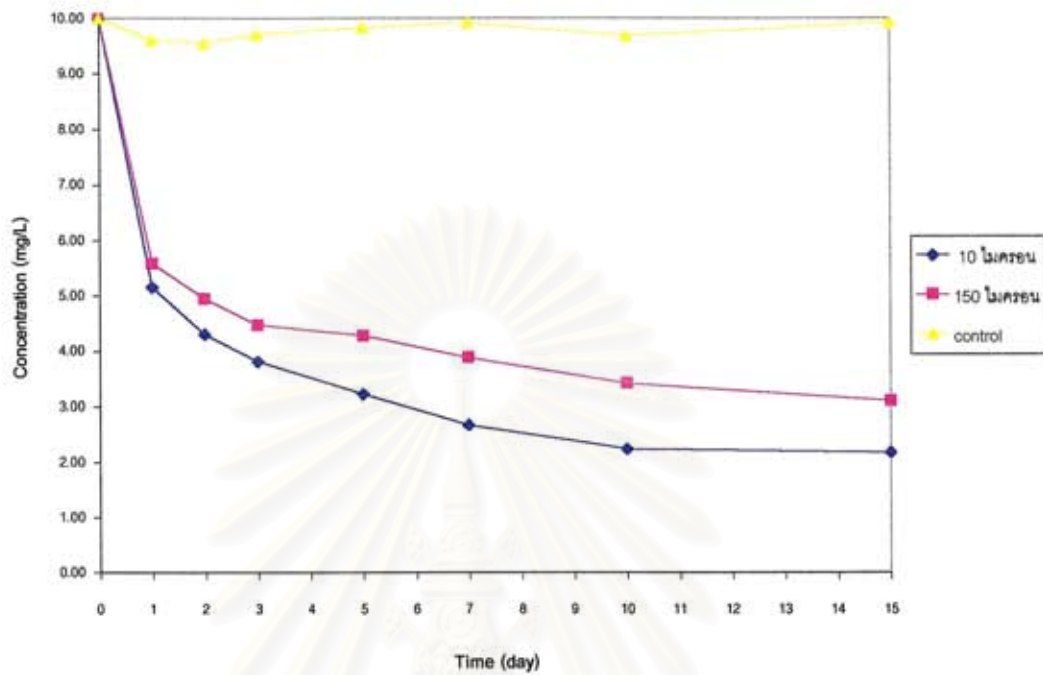
ภาพที่ ๘.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



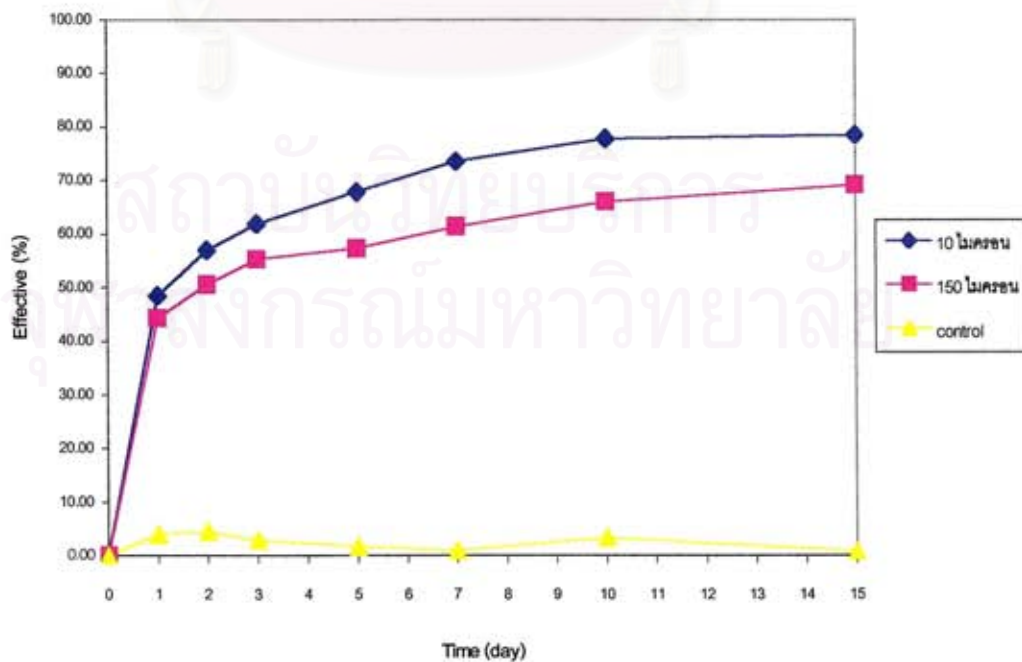
ภาพที่ ๘.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



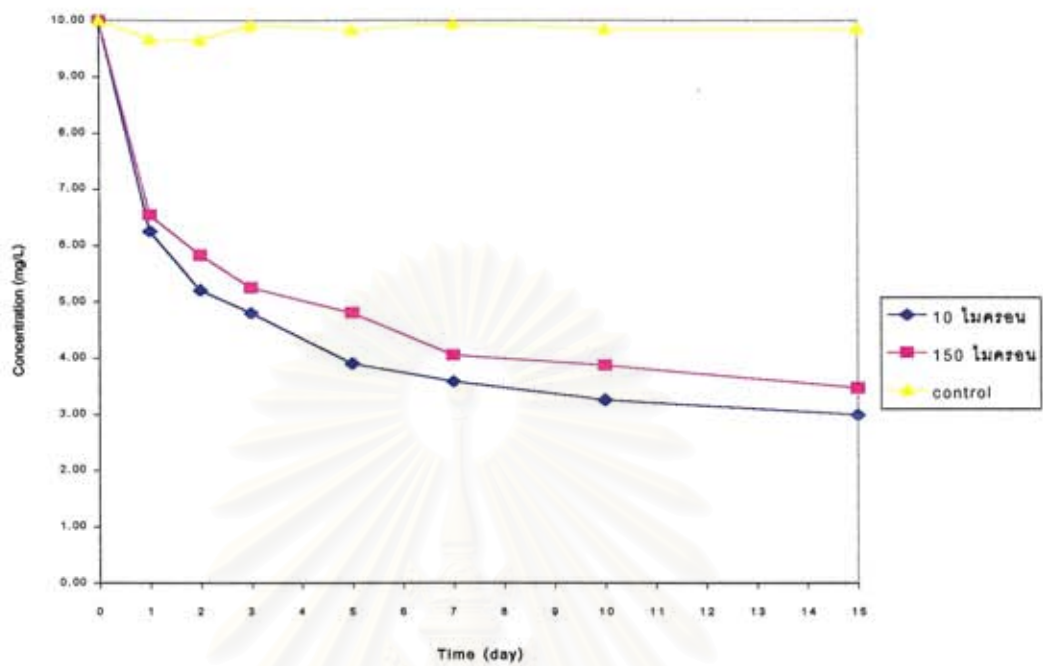
ภาพที่ ๘.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



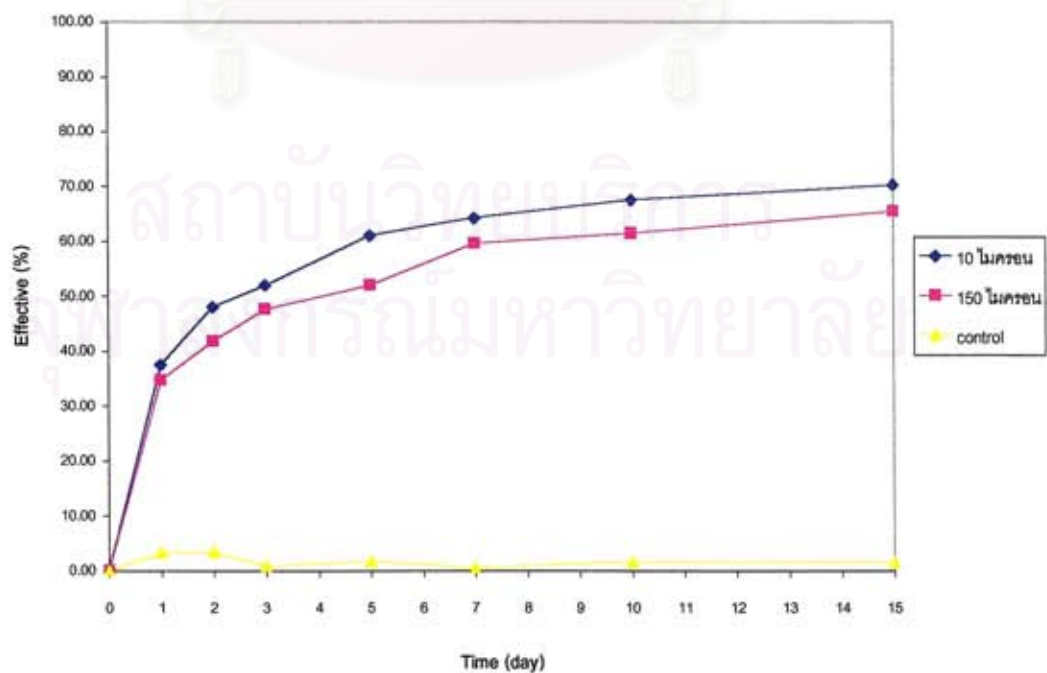
ภาพที่ ๘.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



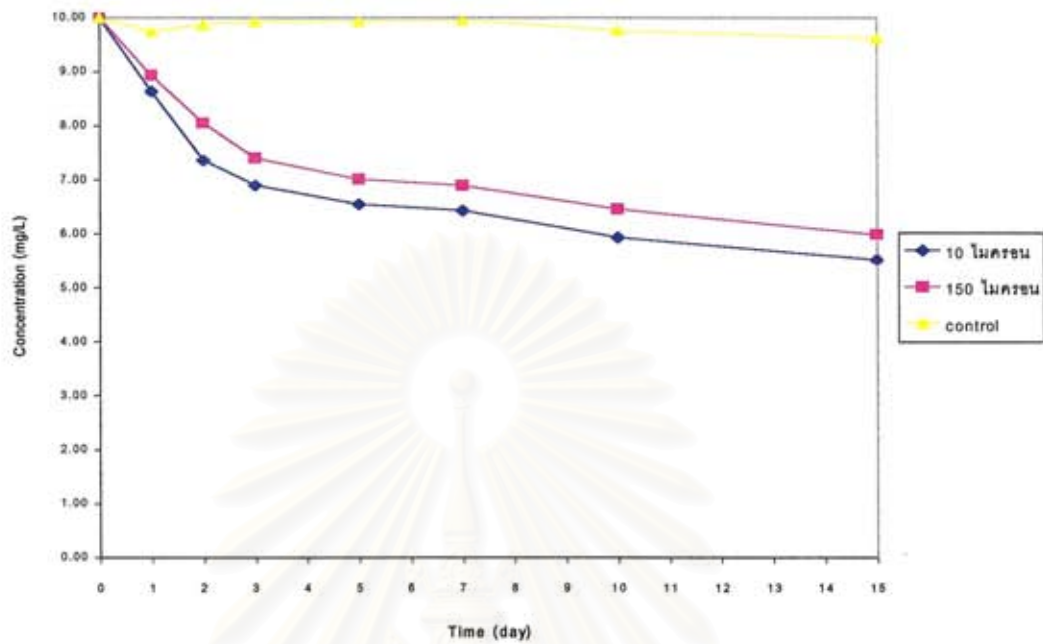
ภาพที่ ๘.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



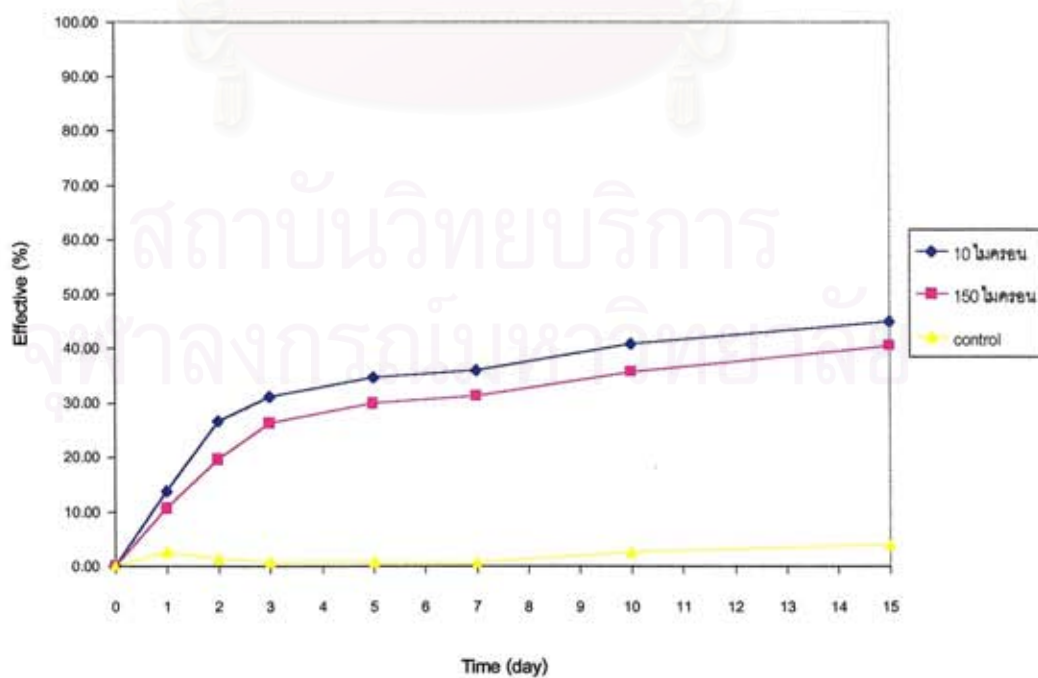
ภาพที่ ๘.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ภาพที่ ผ.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

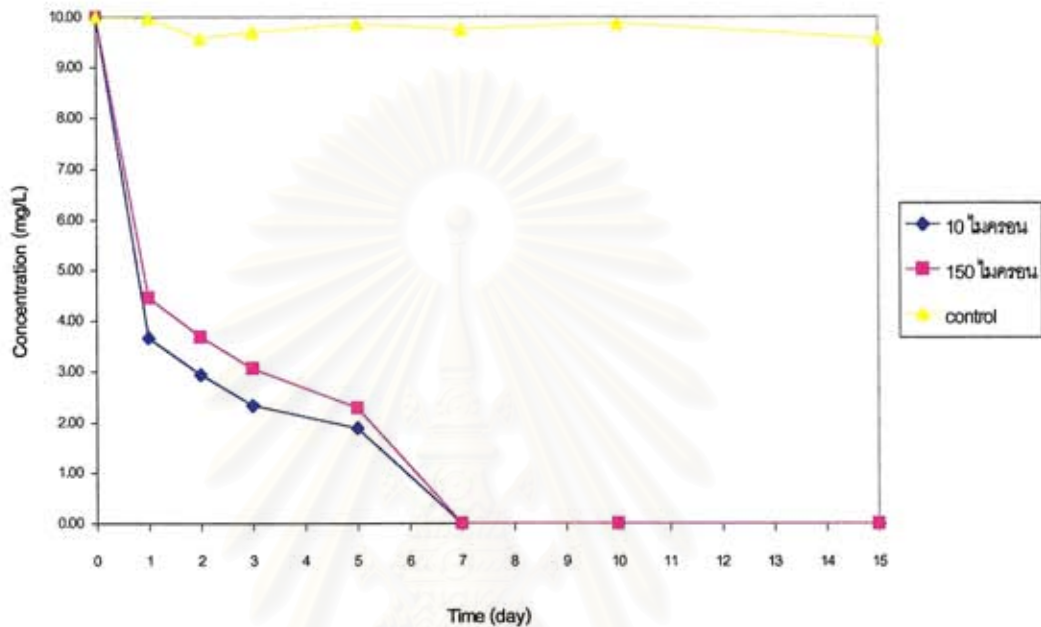


ภาพที่ ผ.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟอร์มกับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

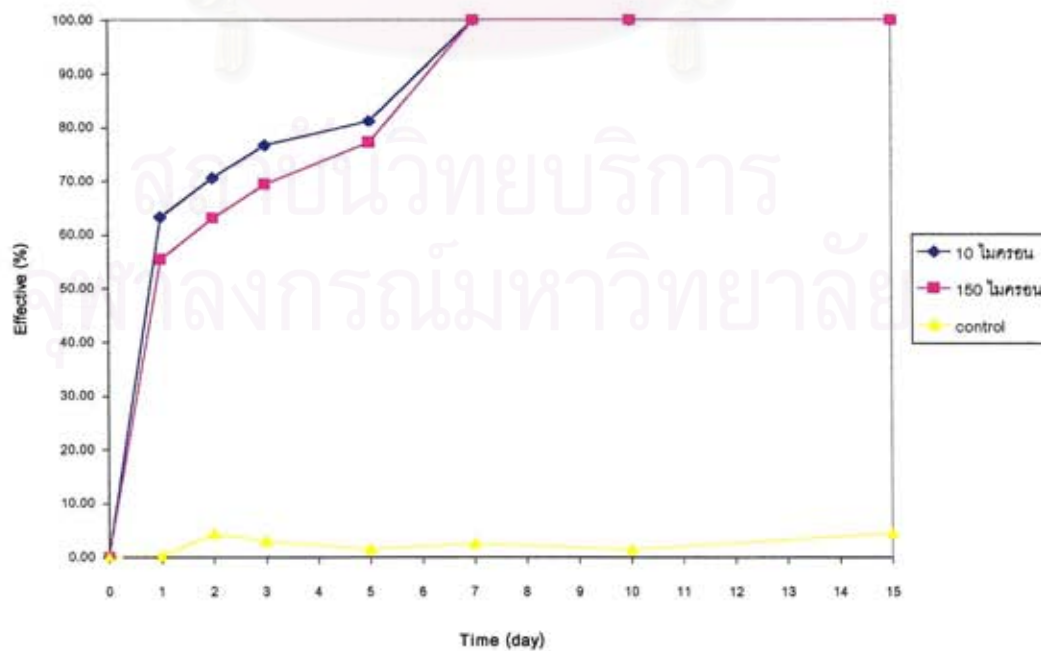


- การกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน แสดงดังภาพที่ ผ.21 – ผ.30

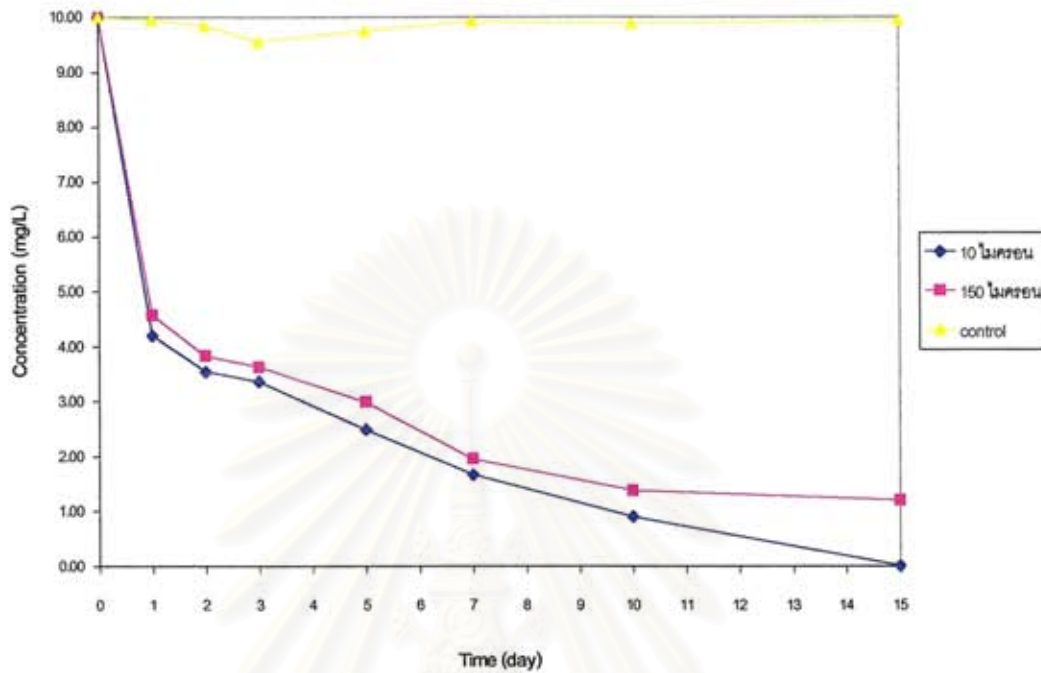
ภาพที่ ผ.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์กับเวลา ที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



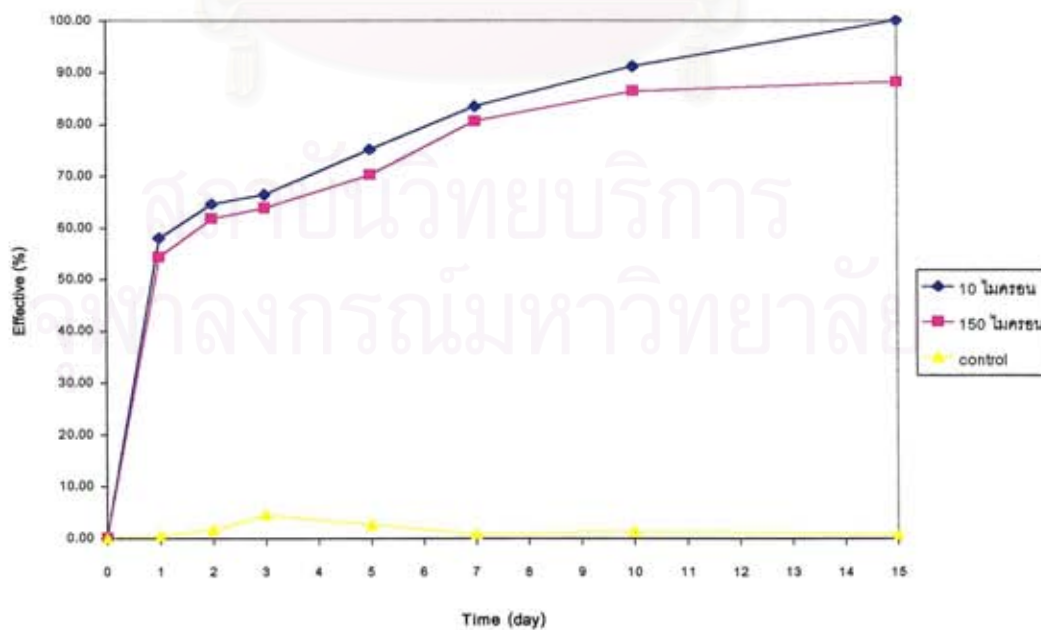
ภาพที่ ผ.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์กับเวลา ที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



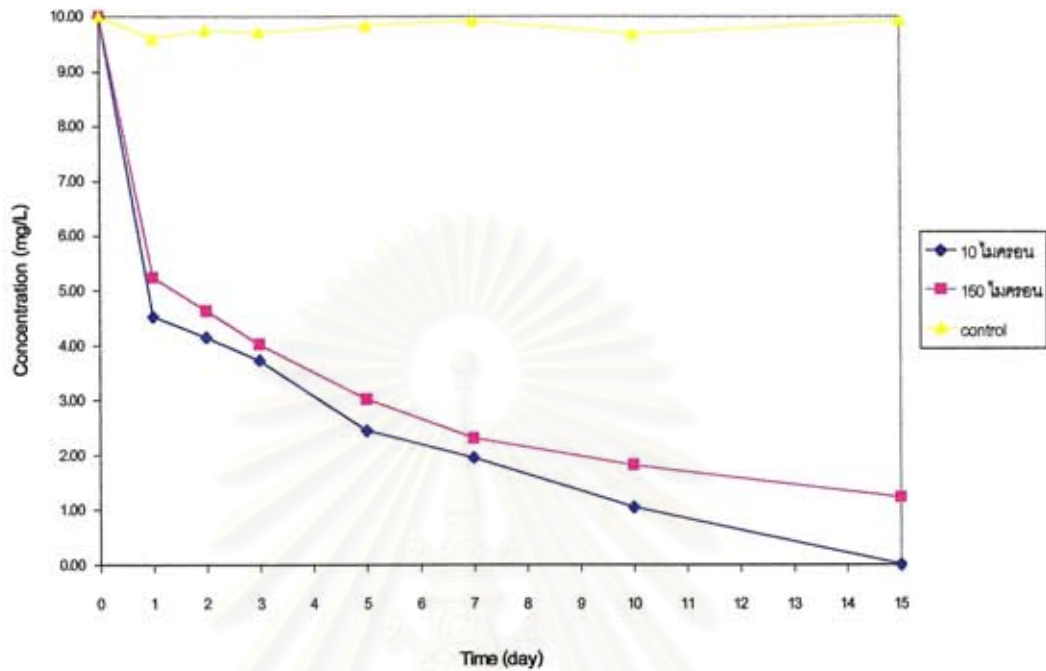
ภาพที่ ผ.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเดตรระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



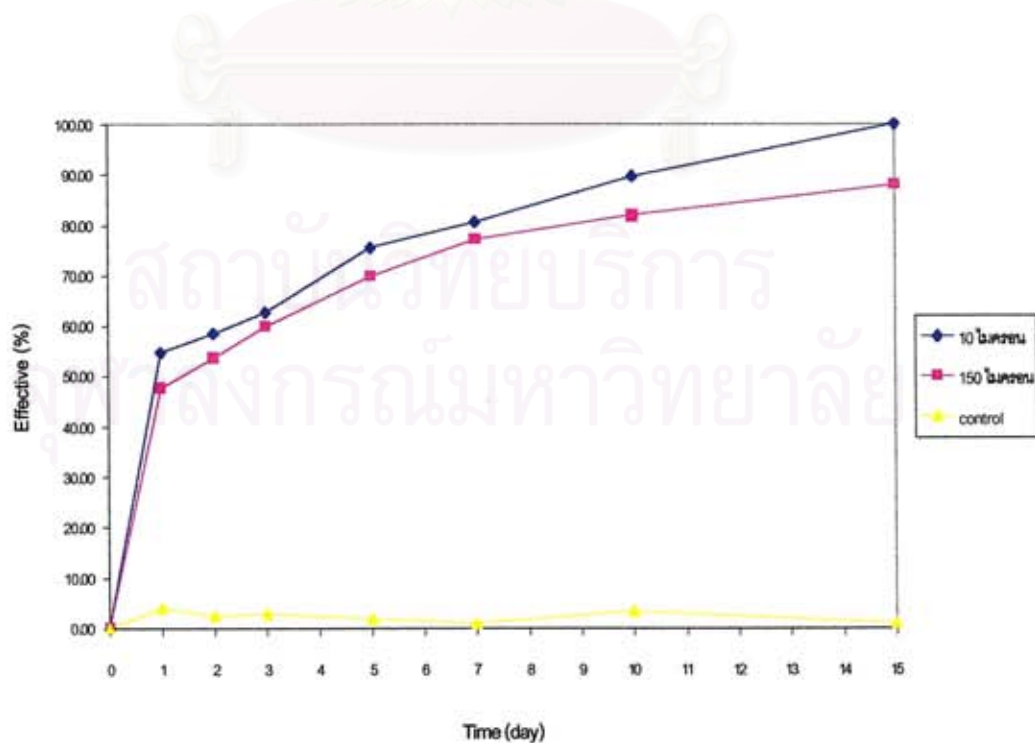
ภาพที่ ผ.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเดตรระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



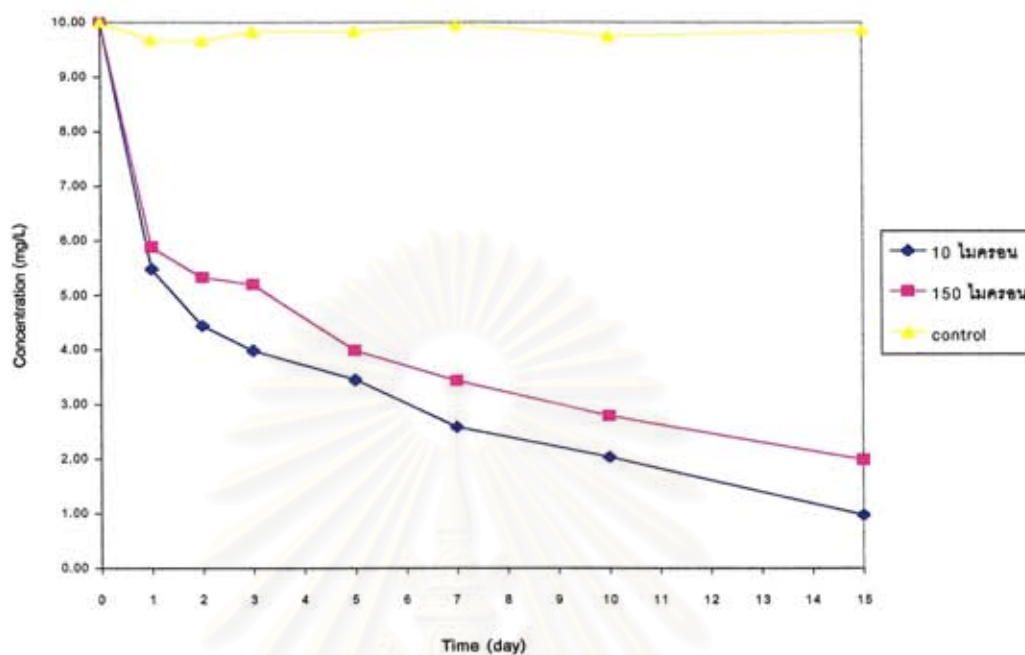
ภาพที่ ๘.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



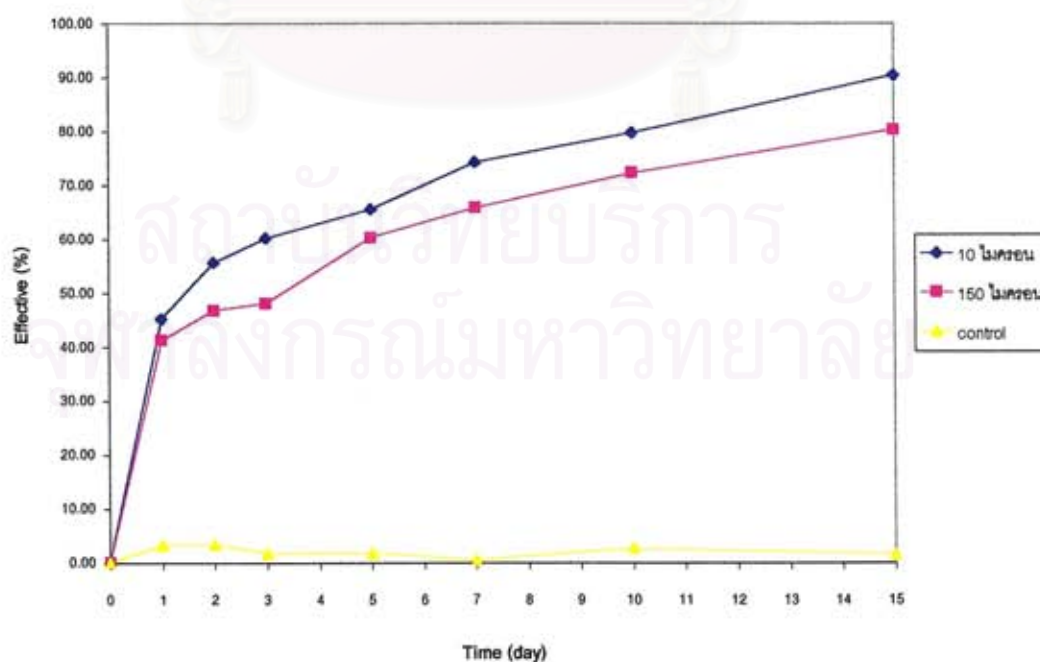
ภาพที่ ๘.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



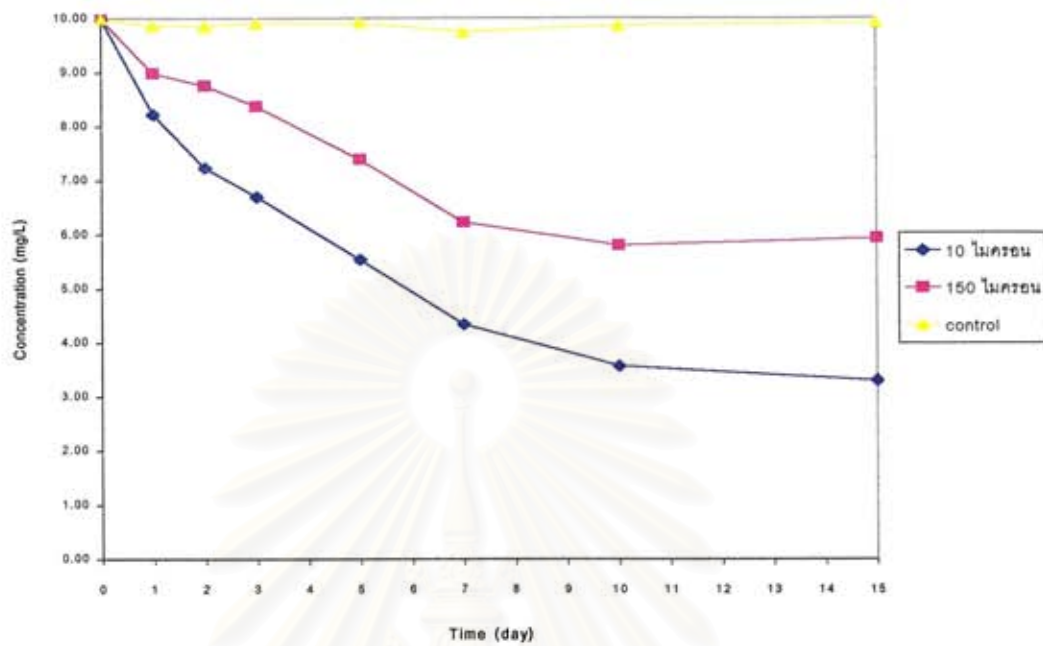
ภาพที่ ๘.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



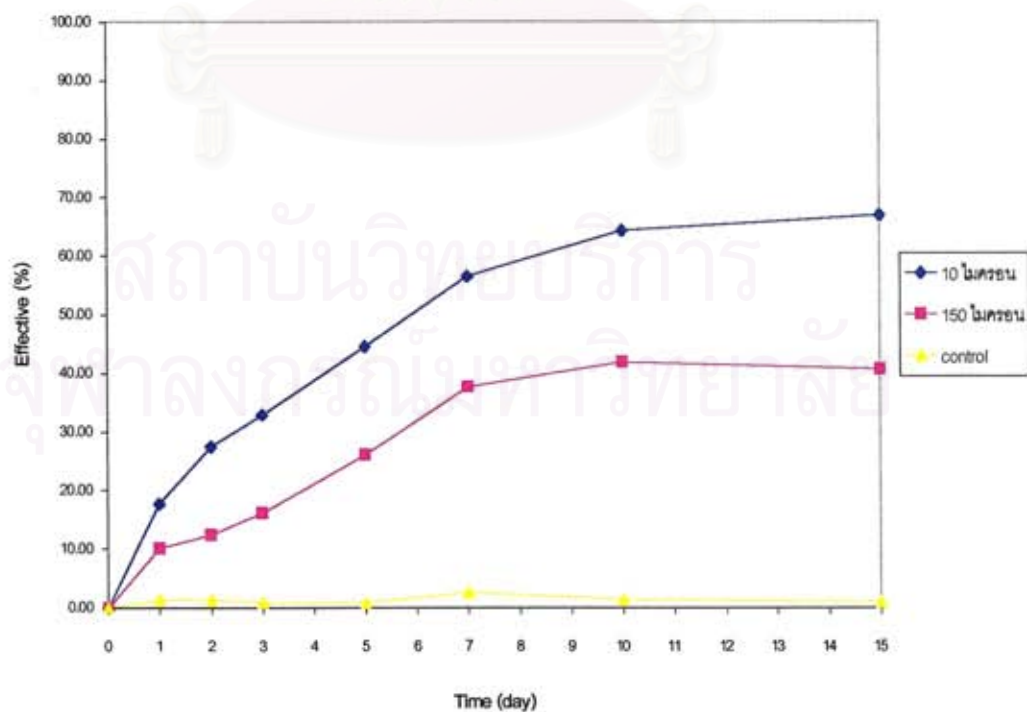
ภาพที่ ๘.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ภาพที่ ๘.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

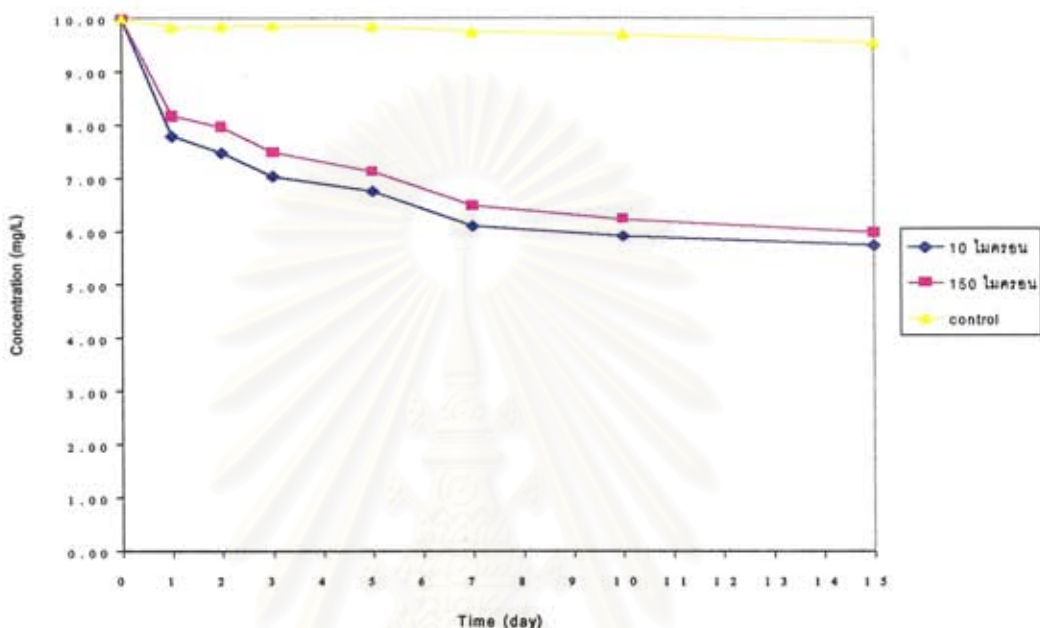


ภาพที่ ๘.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนเตตระคลอไรด์
กับเวลา ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน

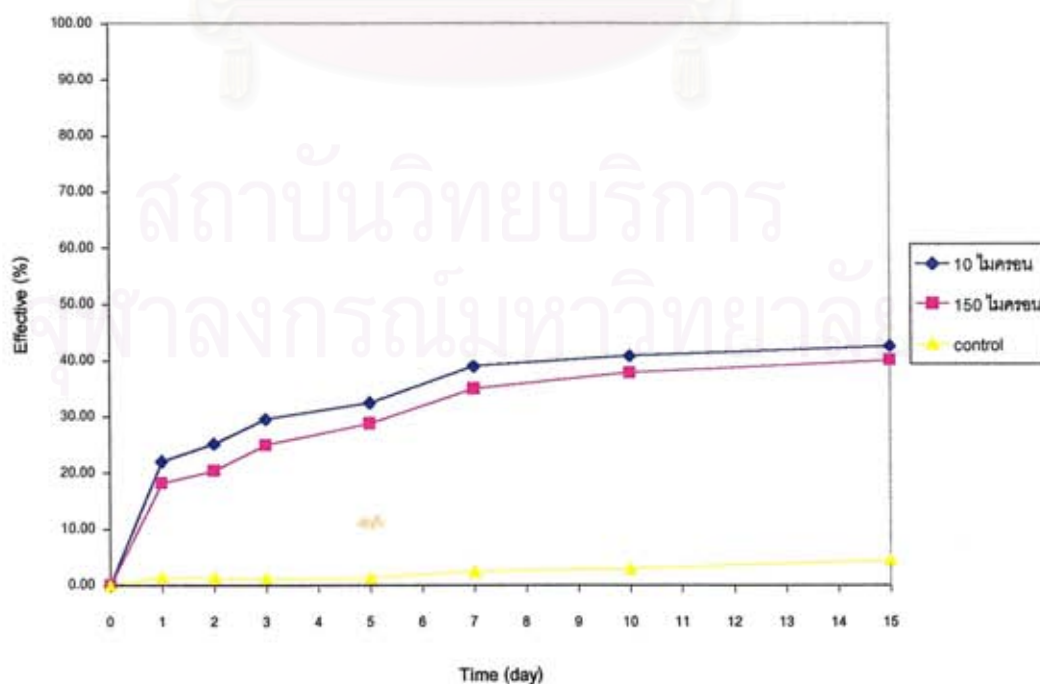


- การกำจัดคลอโรเบนซินในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน แสดงดังภาพที่ ผ.31 – ผ.40

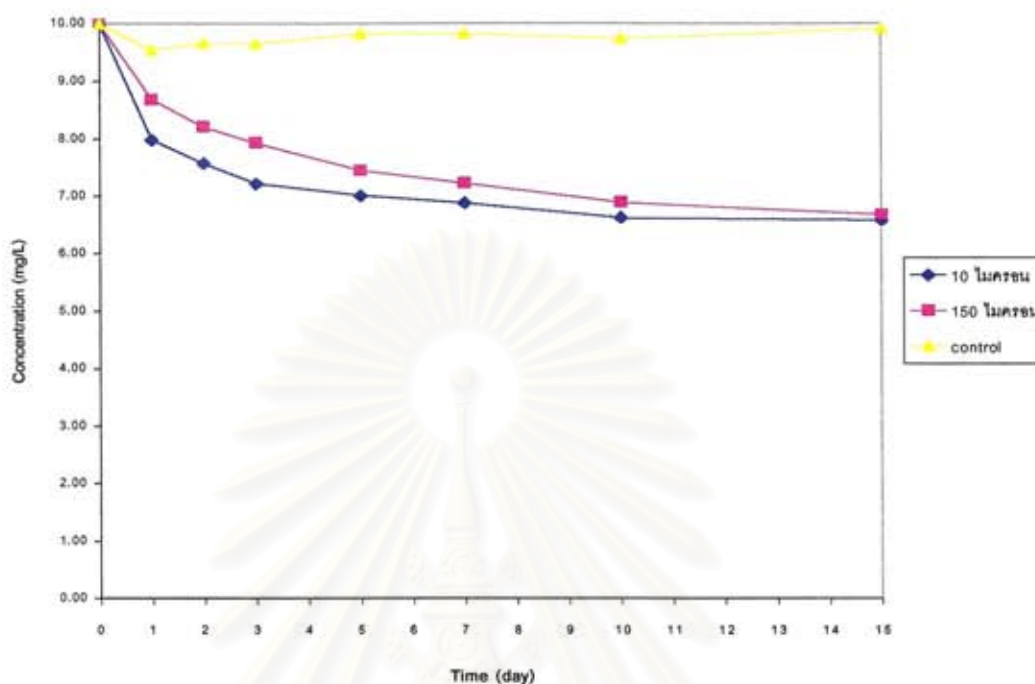
ภาพที่ ผ.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซินกับเวลา ที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



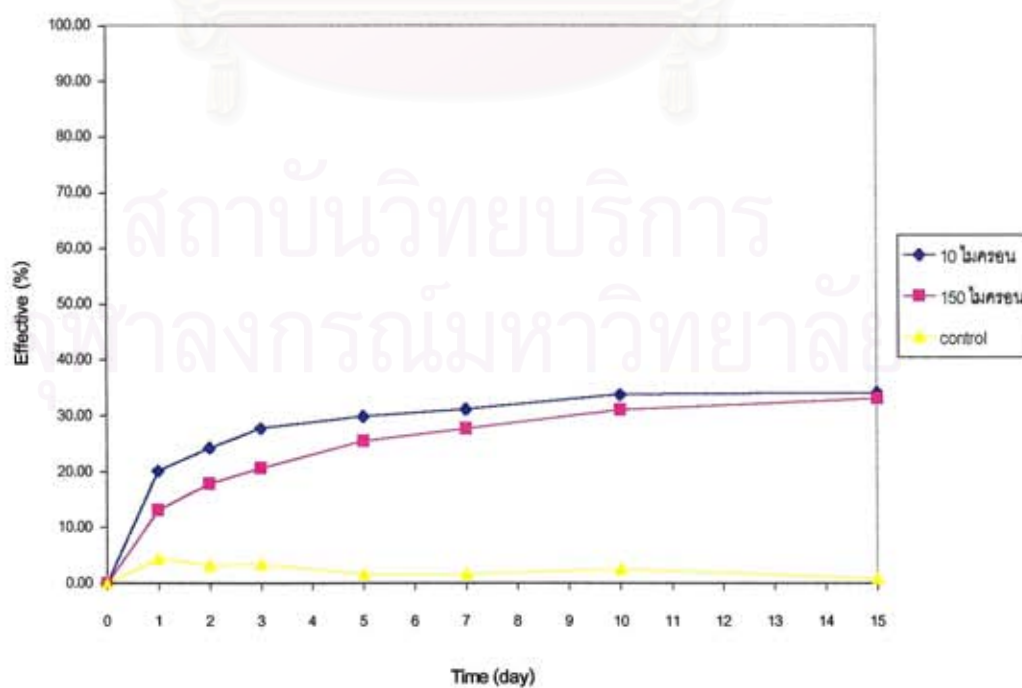
ภาพที่ ผ.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซินกับเวลา ที่ระดับ pH 4 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



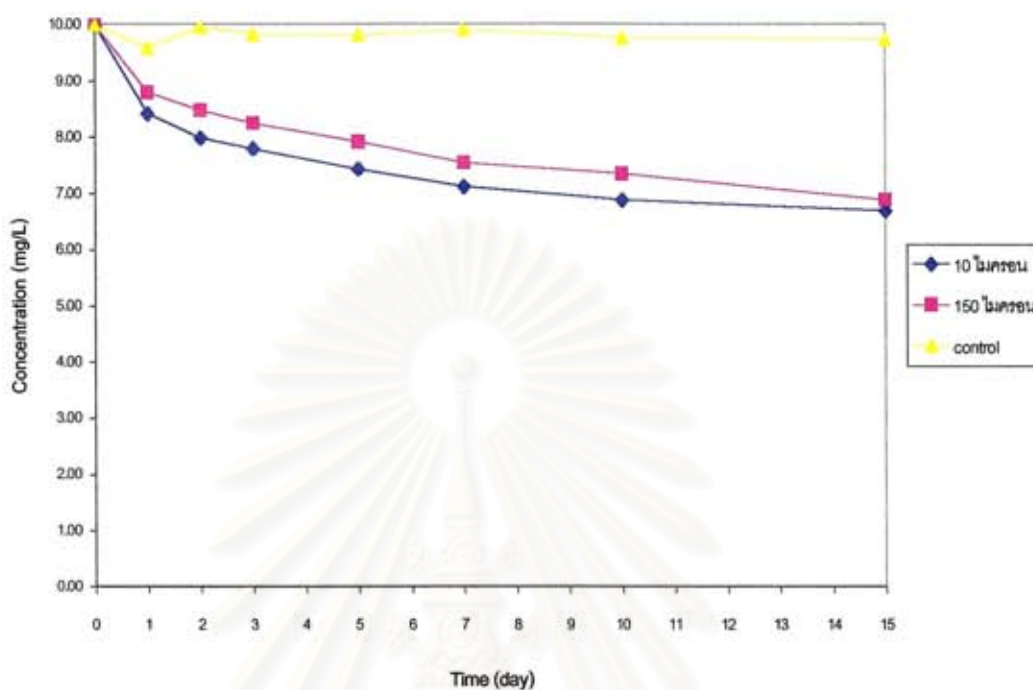
ภาพที่ ๘.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซินกับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



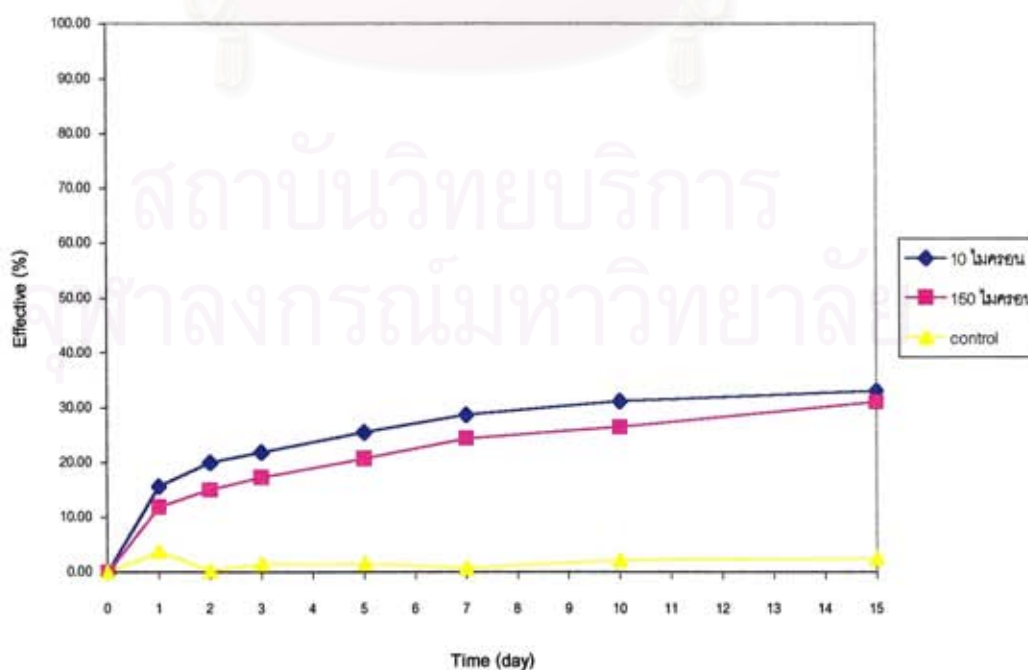
ภาพที่ ๘.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซินกับเวลา
ที่ระดับ pH 5 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



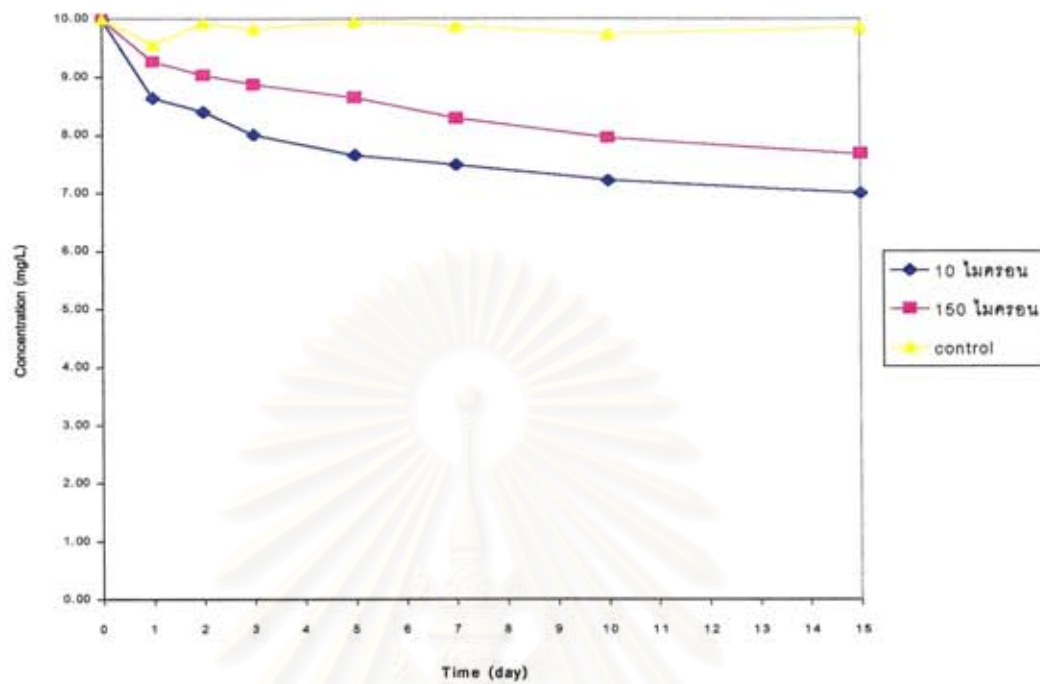
ภาพที่ ผ.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซินกับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



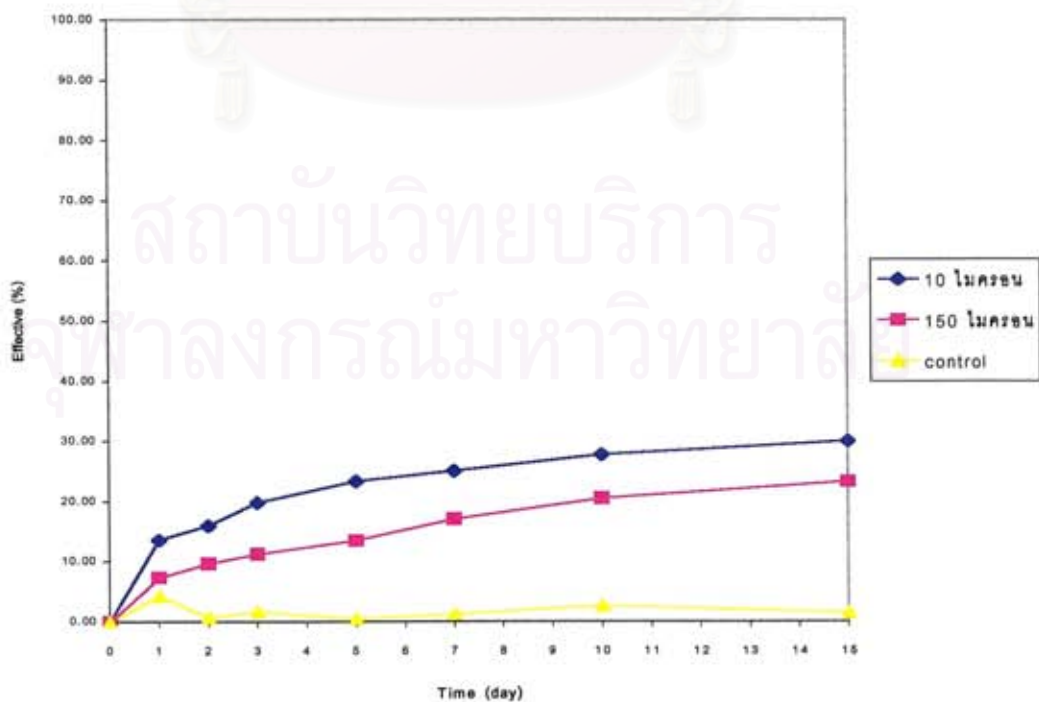
ภาพที่ ผ.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซินกับเวลา
ที่ระดับ pH 6 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



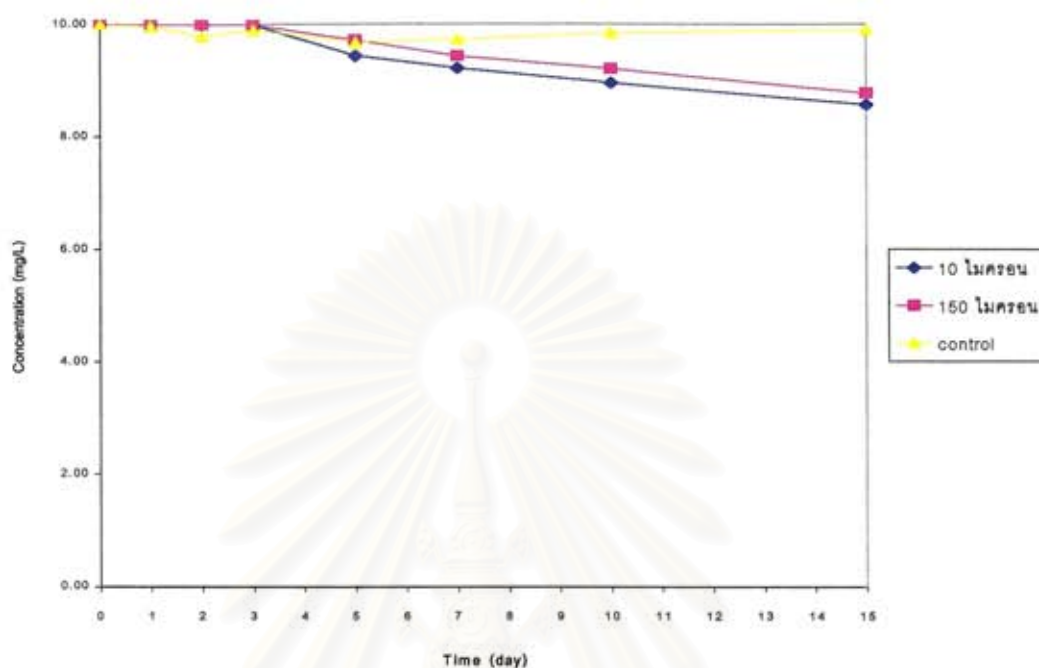
ภาพที่ ๘.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนกับเวลาที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



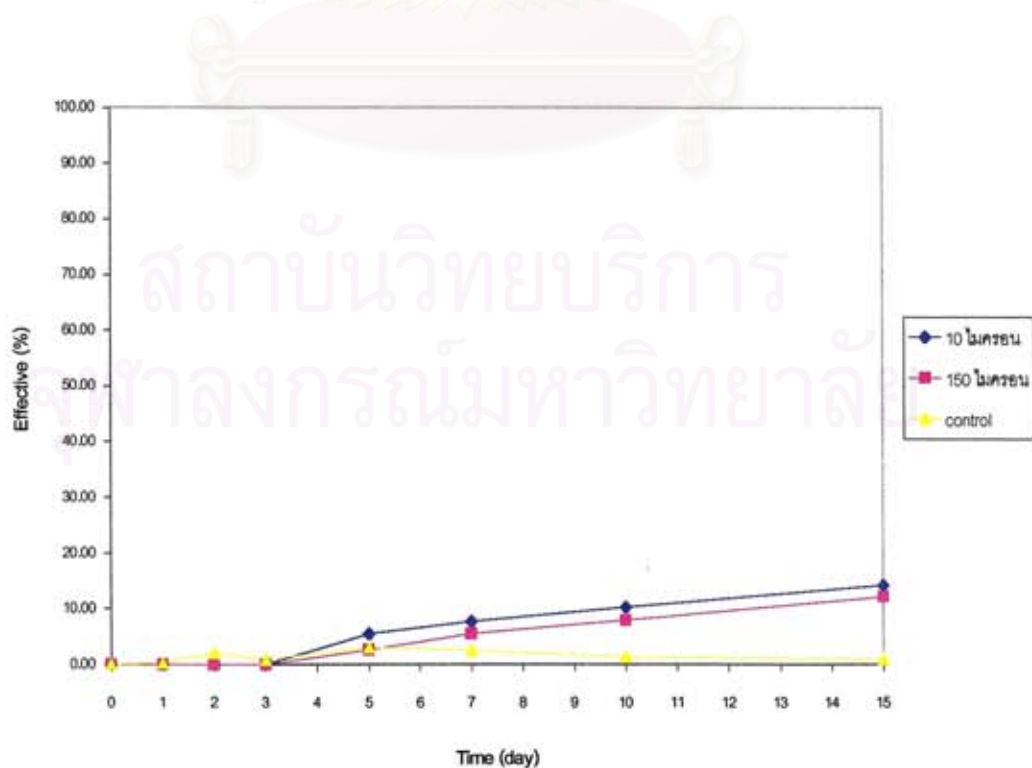
ภาพที่ ๘.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซีนกับเวลาที่ระดับ pH 7 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ภาพที่ ๘.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนกับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ภาพที่ ๘.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรเบนซีนกับเวลา
ที่ระดับ pH 8 โดยใช้ผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน และ 150 ไมครอน



ประวัติผู้เขียน

นางสาวแก้วตา กิตติกันกรรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2539 เข้าศึกษาหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย