

การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด



นาย ต่อตระกูล วัฒนวรกิจกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

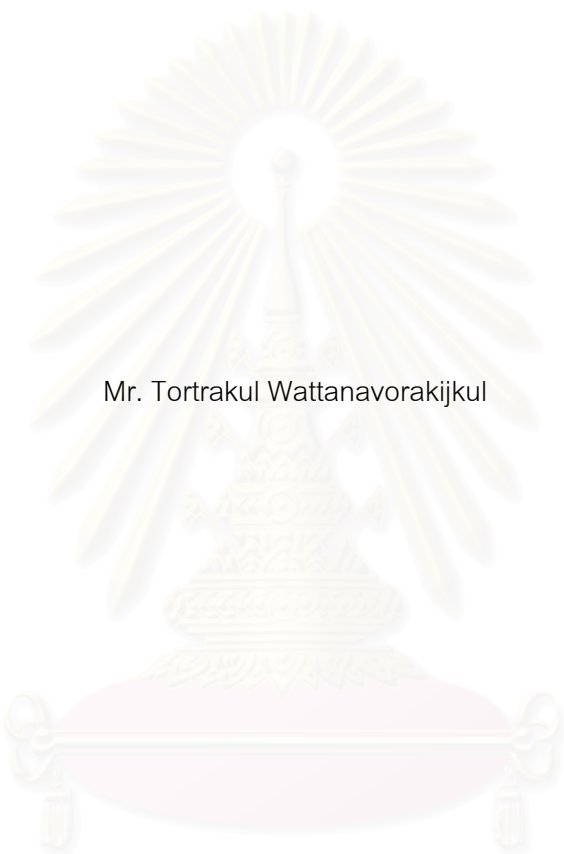
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2395-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISSOLVED ORGANIC MATTER REMOVAL USING GRANULAR ACTIVATED CARBON



Mr. Tortrakul Wattanavorakijkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2395-4

ต่อตระกูล วัฒนวรภิกขกุล : การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด.
(DISSOLVED ORGANIC MATTER REMOVAL USING GRANULAR ACTIVATED
CARBON) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 152 หน้า, ISBN
974-17-2395-4

สารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบการผลิตน้ำประปา ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเช่นความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค ตลอดจนเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในน้ำประปา งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด โดยพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ และเวลาสัมผัสต่อการทำงานของระบบต้นแบบ โดยใช้น้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทรายเป็นน้ำเข้าระบบ

ในการศึกษาเลือกถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทยรุ่น CGC-11 เหมาะสมที่จะใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในต่างประเทศรุ่น BG-816 เพราะค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำต่ำกว่า ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำแตกต่างกันเล็กน้อย จากการศึกษาถึงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีไม่แตกต่างจาก 30 นาที เพราะว่าเวลาสัมผัส 20 นาทีเพียงพอที่จะทำให้กลไกในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์เกิดได้ และเมื่อพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยต่ำกว่า จากการเดินระบบพบว่าสามารถลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ประมาณร้อยละ 25 ของความต้องการคลอรีนก่อนที่จะกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค และยังสามารถลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นได้สูงสุดประมาณร้อยละ 65 เพราะว่าระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไตรฮาโลมีเทน สารอินทรีย์ละลายน้ำ พบว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในการตรวจสอบติดตามปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนได้

ภาควิชา ...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545.....

4370303021: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: Dissolved Organic Matter Removal/Granular Activated Carbon/Adsorption

TORTRAKUL WATTANAVORAKIJKUL: DISSOLVED ORGANIC MATTER

REMOVAL USING GRANULAR ACTIVATED CARBON. THESIS ADVISOR:

ASSIST. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 152 pp. ISBN 974-17-2395-4

In the process of producing water supply, it is required chemical substance such as chlorine for disinfection. The more dissolved organic matter in water, the more chlorine is required. This process can also generate trihalomethane, the carcinogen. The purpose of this research, thus, is to study an effective way to remove dissolved organic matter using granular activated carbon (GAC). Considering the effectiveness of different types of GAC and empty bed contact times (EBCTs) on performance of a pilot plant, the experiment was conducted using sand-filtered water as influent water.

The study compared two activated carbon—model CGC-11 produced in Thailand and model BG-816 produced abroad— for their effectiveness in removing dissolved organic matter. As a result, there is little difference in their efficiency. Considering cost per unit, the research suggests that the model CGC-11 is more appropriate to use in eliminating dissolved organic matter in water supply. Furthermore, the study found that there is no difference between 20-minute empty bed contact times (EBCTs) and 30-minute EBCTs in removing dissolved organic matter. It concludes that the 20-minute EBCTs is enough for adsorption to occur. In the 20-minute EBCTs experiment, the pilot plant required chlorine for disinfection approximately 25 percent less than that of conventional processes of water supply treatment, thus, reducing cost of chlorine demand. Moreover, it can decrease concentration of trihalomethane formation potential (THMFP) by 65 percent. Finally this research concludes that as the relationship between the concentration of trihalomethane and dissolved organic matter is significant, we can use dissolved organic matter for monitor trihalomethane.

Department Environmental Engineering Student's signature

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒนกรรมกร รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร ที่ตรวจสอบ และให้คำแนะนำ วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ การประสานครหลวง ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน ในส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมการผลิตน้ำ และส่วนวิจัยและพัฒนาคุณภาพน้ำ ฝ่ายวางแผนการผลิตและควบคุมคุณภาพ

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณความดีทั้งหมดของงานวิจัยชิ้นนี้ให้กับ พ่อและแม่
ของผู้เขียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	3
2.1.1 สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา	3
2.1.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา.....	4
2.1.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์.....	5
2.2 ไตรฮาโลมีเทน.....	6
2.2.1 ไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา	6
2.2.2 การควบคุมไตรฮาโลมีเทน.....	10
2.3 ถ่านกัมมันต์.....	14
2.3.1 ลักษณะและประวัติความเป็นมาของถ่านกัมมันต์.....	14
2.3.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด.....	16
2.3.3 การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์.....	16
2.4 การดูดติดผิว.....	18
2.4.1 กระบวนการดูดติดผิว.....	18
2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว.....	19
2.4.3 การดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล.....	20
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 แผนการวิจัย.....	23
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	24
3.3 ตัวแปรในการทดลอง.....	25
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	33
3.5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวัด.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	35
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ใช้ในการวิจัย.....	35
4.2 ผลการศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุลในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	37
4.2.1 ผลการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านตามเวลาสัมผัส.....	37
4.2.2 ผลการหาไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	41
4.3 ผลการทดลองการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยและผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ.....	48
4.3.1 การกำจัดความขุ่น.....	48
4.3.2 การกำจัด UV254.....	51
4.3.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	54
4.4 ผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของ ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ.....	62
4.4.1 การกำจัดความขุ่น.....	62
4.4.2 การกำจัด UV254.....	65
4.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	68
4.5 ผลการศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่าง น้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ	
ค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทน.....	80
4.6.1 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเข้าระบบ.....	80
4.6.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำกับค่ายูวี 254.....	81
4.6.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไตรฮาโลมีเทนกับสารอินทรีย์ละลายน้ำ	
และค่ายูวี 254.....	83
4.6.4 การศึกษาถึงการทำนายค่า THMFP.....	89
4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและเกณฑ์ในการออกแบบ.....	91
4.7.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการเดินระบบขนาดต้นแบบ.....	91
4.7.2 เกณฑ์การออกแบบระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วย	
การกรองด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด.....	94
4.7.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำ สารไตรฮาโลมีเทน	
และค่า ยูวี 254.....	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	96
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบของผลการทดลองทำไอโซเทอม.....	103
ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบของผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1.....	106
ภาคผนวก ค. ข้อมูลดิบของผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2.....	113
ภาคผนวก ง. ข้อมูลดิบของผลการทดลองหาความต้องการคลอรีน.....	124
ภาคผนวก จ. ข้อมูลดิบผลการวิเคราะห์สารไตรฮาโลมีเทน.....	128
ภาคผนวก ฉ. แสดงการออกแบบระบบและประมาณค่าใช้จ่ายการเดินระบบ.....	144
ภาคผนวก ช. แสดงการคำนวณประมาณขนาดตัวอย่าง.....	147
ภาคผนวก ซ. ผลวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์.....	149
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	152

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสารก่อมะเร็งที่เป็นผลพลอยได้ของการฆ่าเชื้อโรค.....	7
ตารางที่ 2.2 ชื่อ Nonfluorinated Halomethanes.....	8
ตารางที่ 2.3 สรุปผลจากงานวิจัยการกำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการต่างๆ.....	13
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ใช้.....	24
ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของน้ำที่ผ่านถึงกรองทราย.....	25
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิดต่างๆ ในระบบแบ็คท์.....	26
ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทย และผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ.....	27
ตารางที่ 3.5 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ.....	29
ตารางที่ 3.6 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ.....	30
ตารางที่ 3.7 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ละลายน้ำ ค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทนโดยการทำการเทียบเทียบ (Calibration curve).....	31
ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการวัดและวิธีวิเคราะห์.....	33
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง.....	41
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (k) ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ.....	46
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อทำให้น้ำมีค่าคลอรีนอิสระเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	74
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการจำลองระบบผลิตน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน.....	92
ตารางที่ 4.5 สรุปเกณฑ์การออกแบบ.....	94
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าที่ใช้ในการตรวจติดตามสารไตรฮาโลมีเทน.....	95

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน.....	17
รูปที่ 2.2 กราฟสำหรับสมการเส้นตรงของสมการ Freundlich	20
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย.....	24
รูปที่ 3.2 Flow Diagram ของชุดการทดลองในระบบขนาดต้นแบบ (Pilot scale System).....	32
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่ายูวี 254.....	34
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความขุ่น.....	34
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า.....	34
รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทรายของ โรงผลิตน้ำประปา บางเขน ในปี พ.ศ. 2544-2545.....	36
รูปที่ 4.2 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ BG-816 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	38
รูปที่ 4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-11 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	39
รูปที่ 4.4 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-12 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	40
รูปที่ 4.5 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่างๆ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง.....	42
รูปที่ 4.6 การทำไอโซเทอมแบบพหุนดลิกเปรียบเทียบความสามารถของ ถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง.....	42
รูปที่ 4.7 การทำไอโซเทอมแบบพหุนดลิกของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง.....	43
รูปที่ 4.8 การหาค่าอัตราการเกิดการดูดติดผิวเทียบกับเวลาของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ.....	45
รูปที่ 4.9 แสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ.....	46
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ.....	47
รูปที่ 4.11 ชุดทดลองการเดินระบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ.....	48
รูปที่ 4.12 การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	49
รูปที่ 4.13 ร้อยละการกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	50
รูปที่ 4.14 การกำจัดค่า UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	52
รูปที่ 4.15 ร้อยละการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	53
รูปที่ 4.16 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	55
รูปที่ 4.17 ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	56
รูปที่ 4.18 อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำขาออกกับขาเข้าของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.19 สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์.....	58
รูปที่ 4.20 Mass Balance ในของถ่านกัมมันต์ในระบบขนาดต้นแบบในการทดลองชุดที่ 1.....	59
รูปที่ 4.21 แสดงค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์.....	61
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดต่อ ความเข้มข้นถ่านกับเวลาที่ Breakthrough.....	61
รูปที่ 4.23 การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.24 ร้อยละการกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.25 การกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	66
รูปที่ 4.26 ร้อยละการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.27 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	69
รูปที่ 4.28 ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	70
รูปที่ 4.29 อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำขาออกกับขาเข้าของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 10 นาที.....	71
รูปที่ 4.30 สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.31 Mass Balance ในระบบขนาดต้นแบบในการทดลองชุดที่ 2.....	73
รูปที่ 4.32 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 14 วัน.....	75
รูปที่ 4.33 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 29 วัน.....	76
รูปที่ 4.34 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 44 วัน.....	77
รูปที่ 4.35 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 60 วัน.....	78
รูปที่ 4.36 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 90 วัน.....	79
รูปที่ 4.37 ค่าการดูดกลืนแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 200-330 nm ของน้ำเข้าระบบ.....	80
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในการทดลองเดินระบบชุดที่ 1.....	81
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารอินทรีย์ละลายน้ำ ในการทดลองเดินระบบชุดที่ 2.....	82
รูปที่ 4.40 แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่เวลาต่างๆ.....	84
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำกับไตรฮาโลมีเทน.....	85
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำกับคลอโรฟอร์ม.....	86
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทนกับค่ายูวี 254.....	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด.....	88
รูปที่ 4.45 แสดงการทำนายค่าไตรฮาโลมีเทน.....	89
รูปที่ 4.46 แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนตามมาตรฐานองค์การอนามัยโลก.....	90
รูปที่ 4.47 แสดงค่ามวลของสารถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	93
รูปที่ 4.48 แสดงค่าใช้จ่ายในการจำลองเดินระบบ.....	94



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัญหาของการมีสารอินทรีย์ละลายน้ำ อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา เป็นที่ทราบมาตั้งแต่ก่อน ค.ศ. 1970 โดยในช่วงแรก งานวิจัยที่ทำเพื่อศึกษาวิธีการที่จะใช้ในการกำจัดสารนี้ออกจากน้ำ เนื่องจากสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นสารที่ก่อให้เกิดสีในแหล่งน้ำ กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน หรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้นไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำได้อย่างเพียงพอที่จะสามารถควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาหลายๆ อย่าง อย่างเช่น สารก่อมะเร็ง หรือ Disinfection By-products (DBPs) ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องกำจัดสารอินทรีย์ออกจากระบบการผลิตน้ำประปา

เนื่องจากน้ำประปาที่ผ่านกระบวนการกรองทรายแล้วยังมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดเป็นสารที่มีพิษ เช่น สารก่อมะเร็ง ก็ย่อมจะมีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของผู้บริโภคถึงแม้จะมีปริมาณหลงเหลือในน้ำไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์หลงเหลือในน้ำประปาโดยการกรองแบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด (Granular Activated Carbon: GAC) ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรศึกษาเนื่องจากวิธีนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้จริง เพราะความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีสูง และถ้าหากสามารถเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เองในประเทศไทย ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการบำบัดมีราคาถูกลงก็จะเป็นประโยชน์ในการเป็นข้อมูลในการผลิตน้ำประปาต่อไป

การศึกษาทางด้านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบผลิตน้ำประปาโดยวิธีการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์ยังมีน้อยมากในประเทศไทย ทำให้ไม่มีข้อมูลพื้นฐานที่เพียงพอในการนำมาใช้ ออกแบบระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถให้ข้อมูลพื้นฐานจากผลการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงในระบบผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยหาการดูดติดผิวสารอินทรีย์ละลายน้ำที่สภาวะสมดุล
2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยกับที่ผลิตในต่างประเทศ สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำประปา
3. ศึกษาสภาวะการดำเนินการระบบในด้านเวลาสัมผัส ความสามารถในการดูดติดผิว และการเสื่อมสภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด
4. ศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ
5. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ค่ายูวี 254 และไตรฮาโลมีเทนโดยการถ่ายภาพเปรียบเทียบ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาทดลองในระบบขนาดต้นแบบซึ่งจะติดตั้งที่การประปานครหลวง บางเขน

1. งานวิจัยศึกษาถึงชนิดของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำประปา ที่ผ่านกระบวนการกรองทรายแล้วด้วยการทำ Isotherm test ก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิจัยขั้นตอนต่อไป
2. งานวิจัยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยกับที่ผลิตในต่างประเทศ สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำประปาที่สภาวะเดียวกัน
3. งานวิจัยศึกษาการดำเนินการระบบในด้านเวลาสัมผัสที่เหมาะสม และผลที่มีต่อความสามารถในการดูดติดผิวและการเสื่อมสภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด
4. งานวิจัยศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ
5. งานวิจัยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทนโดยการถ่ายภาพเปรียบเทียบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

2.1.1 สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ ในการผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืช และกระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆ โดยแหล่งที่มาของ NOM มีผลต่อส่วนประกอบของสารอินทรีย์ละลายน้ำ

สารอินทรีย์ในน้ำอาจจะอยู่ในรูปของอนุภาค คอลลอยด์ หรือในรูปสารละลาย โดยทั่วไปอนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน (Conventional Process) เหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ สารอินทรีย์ละลายน้ำคือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ส่วนสารอินทรีย์ที่เป็นคอลลอยด์จะแตกต่างจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ ตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันแบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes และคณะ, 1995)

สารอินทรีย์ละลายน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นฮิวมิก และส่วนที่ไม่ใช่ฮิวมิก สารอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดฮิวมิก กรดฟัลวิก และฮิวมิน ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophobic น้อยกว่าฮิวมิก โดยประกอบด้วย Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรต (Owen และคณะ, 1995) โดยทั่วไปสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นสารฮิวมิกจะมีประมาณร้อยละ 45-65 และส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีประมาณร้อยละ 35-55

2.1.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมีสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นที่ทราบกันมาตั้งแต่ก่อน ค.ศ. 1970 โดยงานวิจัยในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1970 จะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดื่ม และวิธีการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่สารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นปัญหา และมีความต้องการที่กำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นสาเหตุในการเกิดสีในแหล่งน้ำ ต่อมาจึงพบปัญหาอื่นๆ ที่เกิดจากการมีสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่ในแหล่งน้ำ เช่น การทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปา ความสามารถในการจับโลหะ และสารอินทรีย์เกลียดน้ำ (Hydrophobic Organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การก่อให้เกิดการกัดกร่อน และการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้สารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีน หรือ โอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ แนวโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ในน้ำ และการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากในปัจจุบัน

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน หรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย การบวกรวมการโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั่น ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้อย่างเพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกัน อาจยังเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรคโดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคค้ำนึ่งถึงเพียงแต่ปริมาณคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำประปา (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane: THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตรายมาก

โดยปริมาณของสารอินทรีย์ละลายน้ำในแหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมืองและการใช้น้ำในภาคการเกษตรมีแนวโน้มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.1.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์

ค่า TOC และค่า UV254 เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ การวัดค่า TOC เป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอนซึ่งประกอบด้วย สารคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon: DOC) ซึ่งเป็น TOC ส่วนที่ผ่านสารกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง $0.45 \mu\text{m}$ อนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน (Particulate Organic Carbon: POC) คือสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่ละลายน้ำ และถูกกักโดยสารกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง $0.45 \mu\text{m}$ สารคาร์บอนอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Carbon: VOC) คือสารอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวได้และถูกกำจัดออกโดย Gas Stripping ภายใต้สภาวะจำเพาะ และ สารคาร์บอนอินทรีย์คงตัว (Nonpurgeable Organic Carbon: NPOC) คือ ส่วนของ TOC ที่ไม่ถูกกำจัดออกโดยวิธี Gas Stripping

Edzwald และคณะ (1985) พบว่า UV254 เป็นตัวแทนที่ดีมากในการวัดปริมาณ Nonpurgeable TOC (NPOTOC) และสารที่ทำให้เกิดไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane Precursors: THMP)

การวัดค่า UV254 อาศัยหลักการที่ว่า สารอินทรีย์เป็นสารอะโรมาติกหรือเป็นสารที่มีพันธะทางเคมีเป็นพันธะคู่ จะสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น 254 nm จึงทำให้การวัดค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นวิธีการที่ดีและเหมาะสมในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น สารฮิวมิก เพราะประกอบไปด้วยสารอะโรมาติกและมีปริมาณมากในน้ำธรรมชาติ

Eaton (1995) ได้สรุปผลจากการใช้ค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อใช้เป็นวิธีมาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน สี THMP และสารที่ทำให้เกิดสาร DBPs ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้ค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตในการตรวจสอบน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม และประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยการดูดติดผิวโดยคาร์บอนแบบเกร็ด กระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการบำบัดน้ำแบบอื่นๆ

2.2 ไตรฮาโลมีเทน

2.2.1 ไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา

ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) เกิดจากการรวมตัวของสารอินทรีย์หลงเหลือในน้ำโดยทั่วไปแล้วคือกรดฮิวมิก และกรดฟัลวิก (Humic acid and Fulvic acid) ที่มีอยู่ปกติในน้ำธรรมชาติกับคลอรีนหรือโบรมีน ที่มาจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งปัจจุบันจัดเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic organic substance) ในน้ำประปา การเกิดของไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาพบว่ามาจากสารฮิวมิกในน้ำธรรมชาติ (Aquatic Humic materials) อัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทน นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการสูญเสียของสารฮิวมิก เป็นที่ยอมรับกันว่าอัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคลอรีน ระดับไตรฮาโลมีเทน จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค เช่นเดียวกันเมื่อสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Soluble organic content) เพิ่มขึ้นสารไตรฮาโลมีเทนก็เพิ่มขึ้นด้วย

ไตรฮาโลมีเทนจัดอยู่ในกลุ่มของ Haloform โดยไตรฮาโลมีเทน ประกอบด้วยสารประกอบ 4 ชนิดได้แก่ Chloroform, Bromodichloromethane, Dibromochloromethane, Bromoform มีรายงานความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากสาร Haloform ในน้ำดื่ม เกิดขึ้นครั้งแรกใน ค.ศ. 1974 โดยมีข้อมูลว่าการดื่มน้ำที่มีสาร Haloform ในระยะยาวอาจก่อมะเร็งได้ เนื่องจากมีอัตราการป่วยด้วยโรคมะเร็งลำไส้ (Gastrointestinal tract) และระบบปัสสาวะ (Urinary Tract) เพิ่มขึ้น อีกการศึกษาหนึ่งพบว่าการดื่มน้ำที่มี Chloroform สูง จะก่อให้เกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (Rectal-intestinal) และมะเร็งในไต (Bladder Cancer) จากการทดสอบหนูพบว่า Chloroform ทำให้หนูเป็นเนื้องอกในตับและไตเมื่อให้หนูดื่มน้ำประปาที่มี Chloroform ซึ่งทำให้คาดคะเนว่า Chloroform ในน้ำดื่มมีผลต่อการเป็นมะเร็งในมนุษย์ได้ สารประกอบไตรฮาโลมีเทน อีกสองชนิดคือ Bromodichloromethane กับ Dibromochloromethane ก็มีรายงานว่า เป็นสารก่อมะเร็ง โดยสารแรกทำให้หนูทดลองป่วยด้วยอาการ Hepatic adenofibrosis และ Neoplastic nodules นอกจากนี้ยังทำให้เกิดเนื้องอกในอวัยวะหลายส่วนเช่น ลำไส้และไต

การประปานครหลวงได้ใช้มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกจาก Guidelines for Drinking-water Quality 2nd Edition (WHO, 1993) ที่กำหนดมาตรฐานของไตรฮาโลมีเทนไว้ให้ผลรวมของอัตราส่วนความเข้มข้นของสารประกอบทั้งสี่ที่รวมเป็นสารไตรฮาโลมีเทนกับค่าแนะนำที่ทางองค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ไม่เกิน 1 โดยที่ค่าแนะนำแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสารก่อมะเร็งที่เป็นผลพลอยได้ของการฆ่าเชื้อโรค (WHO, 1993)

Disinfectant	Guideline value	Remarks
By-products	($\mu\text{g}/\text{litre}$)	
Bromate	25 ^b (P)	for 7×10^{-5} excess risk
Chlorate		NAD
Chlorite	200 (P)	
Chlorophenols		
2-chlorophenol		NAD
2,4-dichlorophenol		NAD
2,4,6-trichlorophenol	200 ^b	for excess risk of 10^{-5} , ATO
Formaldehyde	900	
MX		NAD
Trihalomethanes		The sum of the ratio of the concentration of each to its respective guideline value should not exceed 1
Bromoform	100	
Dibromochloromethane	100	
Bromodichloromethane	60 ^b	for excess risk of 10^{-5}
Chloroform	200 ^b	for excess risk of 10^{-5}
Chlorinated acetic acids		
monochloroacetic acid		NAD
dichloroacetic acid	50 (P)	
trichloroacetic acid	100 (P)	
Chloral hydrate		
(trichloroacetaldehyde)	10 (P)	
chloroacetone		NAD

ตารางที่ 2.2 ชื่อ Nonfluorinated Halomethanes (National Research Council (U.S.), 1978)

Common Name	Formula	Synonyms
Chlorinated Methanes		
Methyl chloride	CH ₃ Cl	Chloromethane, monochloromethane
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	Dichloromethane, methane dichloride, methylene dichloride, methylene bichloride
Chloroform	CHCl ₃	Trichloromethane, methane trichloride, methyltrichloride, methenyl trichloride, trichloroform, "formyl trichloride"(improper),
Carbon tetrachloride	CCl ₄	Tetrachloromethane, methane tetrachloride, perchloromethane, benzineoform
Brominated Methanes		
Methyl bromide	CH ₃ Br	Bromomethane
Methylene bromide	CH ₂ Br ₂	Dibromomethane, methylene dibromide
Bromoform	CHBr ₃	Tribromomethane, methenyl tribromide
Carbon tetrabromide	CBr ₄	Tetrabromomethane, carbon bromide
Iodinated Methanes		
Methyl iodide	CH ₃ I	Iodomethane
Mythylene iodide	CH ₂ I ₂	Diiodomethane
Iodoform	CHI ₃	Triiodomethane
Carbon tetraiodide	CI ₄	Tetraiodomethane
Mixed Halogenated Methane (selected)		
Bromodichloromethane	BrCHCl ₂	-
Dibromochloromethane	Br ₂ CHCl ₂	-
Dichloriodomethane	Cl ₂ CHI	-

นอกจากมาตรฐานของการประปานครหลวงแล้วยังมีมาตรฐานของ U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA ที่มีความเข้มงวดมากกว่าได้กำหนดมาตรฐานของไตรฮาโลมีเทนให้มีค่าการปนเปื้อนสูงสุด (Maximum Contaminant Levels, MCLs) ของไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพื่อที่จะได้เข้าใจ ข้อบังคับเกี่ยวกับการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนสูงสุดของไตรฮาโลมีเทน จึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคำจำกัดความพื้นฐาน 4 อย่าง ได้แก่

1. ไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้น คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดในน้ำ ซึ่งใช้ในการกำหนดค่า MCLs
2. ไตรฮาโลมีเทนสิ้นสุด คือ ความเข้มข้นทั้งหมดของไตรฮาโลมีเทนมากที่สุดที่สามารถเกิดได้ ในระบบสูบน้ำประปาในการประเมินค่าไตรฮาโลมีเทนสิ้นสุดควรจะกำหนดเวลาสัมผัสคลอรีน (Chlorine contact time) และเวลาในระบบสูบน้ำประปา รวมทั้งอุณหภูมิและ pH ของน้ำตัวอย่าง
3. ศักยภาพในการเกิดไตรฮาโลมีเทน คือ ความเข้มข้นทั้งหมดของไตรฮาโลมีเทนมากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (THMs สิ้นสุด ลบด้วย THMs เริ่มต้น)
4. ไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้ คือ ระดับความเข้มข้นของไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เพื่อให้เกิดไตรฮาโลมีเทนมากที่สุด

อัตราการเกิด THMs และ THMs สิ้นสุด ขึ้นกับปัจจัยหลัก 6 ปัจจัย ได้แก่

1. ปริมาณของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่มีอยู่ก่อน ปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำกล่าวคือ ถ้าสามารถกำจัดไม่ให้มีสารอินทรีย์ละลายน้ำก็จะทำให้ไม่มีไตรฮาโลมีเทนเกิดขึ้นในน้ำ
2. ระดับของคลอรีนอิสระ เนื่องจากไตรฮาโลมีเทนเกิดจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน เพราะฉะนั้น ความเข้มข้นของคลอรีนจึงมีผลต่ออัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทน
3. อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น มีผลต่อ จำนวนไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นด้วย
4. pH ของน้ำ pH ในน้ำสูงทำให้อัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทน และ ไตรฮาโลมีเทนสิ้นสุดมีค่ามากขึ้นด้วย เชื่อว่า pH เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน ของสารอินทรีย์ในน้ำ

5. ความเข้มข้นของโบรไมด์ ในน้ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโบรไมด์และสารอินทรีย์ละลายน้ำเร็วกว่าเมื่อเทียบกับ ระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ละลายน้ำ ถ้าความเข้มข้นของโบรไมด์ในน้ำสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทนมีค่าน้อยลง
6. เวลาสัมผัสคลอรีน ปริมาณไตรฮาโลมีเทนขึ้นกับเวลาสัมผัสคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค

2.2.2 การควบคุมไตรฮาโลมีเทน

U.S. EPA ได้วางมาตรการเพื่อให้การควบคุมสารไตรฮาโลมีเทนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานโดยมีมาตรการที่พิจารณาใช้ 3 ลักษณะคือ

1. ใช้สารฆ่าเชื้อโรค (Disinfectant) ที่ไม่ทำให้เกิดไตรฮาโลมีเทน

สารฆ่าเชื้อโรคหรือผลพลอยได้ที่เกิดจากใช้อาจทำให้น้ำประปามีลักษณะสมบัติที่ไม่น่าพึงใจ หลักการเบื้องต้นของการใช้สารเคมีฆ่าเชื้อโรคก็คือต้องทำให้น้ำที่ผลิตได้มีคุณสมบัติสูงและมีสารเคมีเจือปนต่ำ การใช้สารอื่นควบคู่การใช้คลอรีนคงเหลือ (Residual chlorine) ที่ไม่ใช่คลอรีนอิสระ เช่น โอโซนจะสามารถลดไตรฮาโลมีเทนลงได้มาก การควบคุมการเติมคลอรีนอย่างใกล้ชิดจะช่วยป้องกันการเกิดไตรฮาโลมีเทนได้ เช่น การใช้คลอรีนคงเหลือในรูปที่ไม่ทำปฏิกิริยารุนแรง เช่น คลอรามิน (คลอรีนกับแอมโมเนีย) จะลดไตรฮาโลมีเทนได้ดี แต่คลอรามินนั้นฆ่าเชื้อโรคได้ช้ากว่าคลอรีนอิสระ และต้องใช้ระยะเวลาสัมผัสนานกว่าถึง 100 เท่า ในการยับยั้งโคลิฟอร์มและเชื้อโรคอื่นๆ เมื่อเทียบกับคลอรีนอิสระ ดังนั้นคลอรามินจึงใช้เพียงการควบคุมเชื้อโรคในระบบท่อจ่ายน้ำเท่านั้น การฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีอื่นได้แก่ การใช้โอโซน คลอรีนไดออกไซด์ โบรมีนคลอไรด์ และอูลตราไวโอเล็ต เป็นต้น แต่สาเหตุที่การประปานครหลวงยังไม่สามารถเปลี่ยนไปใช้สารฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่นและยังต้องใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคอยู่เป็นเพราะการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีอื่นยังราคาสูงและส่วนใหญ่ไม่มี ฤทธิ์ตกค้างสำหรับฆ่าเชื้อโรคในระบบท่อจ่ายน้ำ ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับระบบท่อจ่ายน้ำในกรุงเทพมหานคร

2. การกำจัดไตรฮาโลมีเทน

การลดปริมาณ THMs ในน้ำประปาหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (Chlorination) แล้วใช้วิธีการดูดติด (Adsorption), ออกซิเดชัน (Oxidation), การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) และการเติมอากาศ (Aeration) โดยกระบวนการเหล่านี้จะต้องมีการประเมินผลในการฆ่าเชื้อโรคและปริมาณสารเคมีที่เหลืออยู่ในน้ำ วิธีออกซิเดชันอาจใช้โอโซนกับอูลตราไวโอเล็ตประกอบกัน แต่ก็ต้องคำนึงถึงผลผลิตอื่นที่เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่แพงมาก

การใช้วิธีดูดติดผิว (Adsorption) ได้แก่การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Exchange resin) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมากกว่าการกำจัดประเภทคลอรีน ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติจำเพาะของเรซินแต่ละชนิด ส่วนการใช้ถ่านกัมมันต์จะมีปัญหาเมื่อถ่านหมดสภาพสารที่ถูกดูดติดไว้จะถูกปล่อยออกมา ดังนั้นบางครั้งจึงพบว่าน้ำที่ผ่านถังถ่าน (Effluent) จะมีไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าน้ำเข้า (influent) วิธีดูดติดผิวจึงไม่อาจใช้ได้ ทุกกรณี ยกเว้นถ้าหากมีไฮโดรคาร์บอนเพียงตัวใดตัวหนึ่งในน้ำ การใช้วิธีดูดติดผิวจึงจะมีประสิทธิภาพ

3. การกำจัดสารตั้งต้น

โดยการลดปริมาณสารตั้งต้นก่อนผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น่าจะเป็นวิธีการลดไฮโดรคาร์บอนที่ได้ผลมากที่สุด โดยการกำจัดสารตั้งต้นที่เป็นตัวการเกิดไฮโดรคาร์บอน มีหลักการทั่วไปคือกำจัดกรดฮิวมิกและฟัลวิกในน้ำดิบ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีการ เช่น การตกตะกอน (Sedimentation), การเติมอากาศ (Aeration), การออกซิเดชัน (Oxidation) และการดูดติดผิว (Adsorption)

การตกตะกอนจะใช้สารเคมี (Coagulant) เช่นสารส้ม (Alum) หรือสารประกอบเฟอริกซึ่งสามารถลดกรดทั้งสองลงได้ดี ทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบด้วยแต่ก็ยังมีพบว่ามีโอกาสกำจัดกรดฟัลวิกได้หมด โดยกำจัดได้ดีเฉพาะสารที่มีโมเลกุลหนักเท่านั้น

การออกซิเดชันโดยทั่วไปใช้โอโซนกับคลอรีนไดออกไซด์เพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์ก่อนจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน อย่างไรก็ตามการใช้คลอรีนไดออกไซด์จะมีขีดจำกัดเนื่องจากประจุคลอรีนและคลอรีนที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันมีสภาพเป็นสารพิษ

การดูดติดเป็นการกำจัดสารตั้งต้นได้ดีกว่าวิธีเบื้องต้น การศึกษาพบว่าชนิดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้จะเป็นปัจจัยสำคัญในประสิทธิภาพของการดูดติดการปรับพีเอช และใช้สารตกตะกอนก่อนก็ช่วยให้การกำจัดเป็นไปได้ดี การเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของโรงผลิตน้ำประปาแต่ละแห่ง หรือบางแห่งอาจจะใช้สามวิธีประกอบกัน แต่การลดสารอินทรีย์หรือสารตั้งต้นน่าจะเป็นวิธีการที่น่าจะดีที่สุด

การศึกษาถึงวิธีการกำจัดสารอินทรีย์หรือสารตั้งต้นในระบบการผลิตน้ำประปา เพื่อที่จะลดปริมาณการเกิดไตรฮาโลมีเทน นักวิจัยได้ศึกษาวิธีที่เป็นไปได้ต่างๆ ซึ่งอาจจะพอสรุปได้ดังนี้

1. การกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน

มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาถึงการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน การสำรวจโดยหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกาภายใต้ชื่อ The National Organic Reconnaissance Survey: NORS ระบุว่ากำจัดสาร NPTOC โดยการใช้กระบวนการ Conventional Treatment สามารถทำได้ 30% โดยการใช้สารส้มตามด้วยการกรองด้วยทรายสามารถกำจัดสาร THMP ได้ประมาณ 2 ใน 3 (Symons และคณะ, 1975; Oliver และ Lawrence, 1979)

2. การกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้กระบวนการเติมโอโซน

ได้มีการทดลองใช้กระบวนการเติมโอโซนเพื่อลดสารอินทรีย์ตั้งต้นสำหรับโรงผลิตน้ำประปาระดับ Pilot-scale ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาถึงการลดสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดเมื่อใช้เวลาสัมผัสของคลอรีนประมาณ 24 ชั่วโมง Trussell และ Umphres (1978) สรุปว่ามีปัจจัย 5 ประการที่อาจมีผลต่อความไม่แน่นอนในการกำจัดสารที่ทำให้เกิด สำหรับการทดลองที่แตกต่างกัน คือ

- ความเข้มข้นและคุณสมบัติจำเพาะของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
- คุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำ
- ประสิทธิภาพในการถ่ายโอโซน
- ความแตกต่างของเวลาสัมผัสหลังจากการเติมคลอรีน
- ความล่าช้าระหว่างเวลาในการเติมโอโซนกับเวลาในการเติมคลอรีน

อย่างไรก็ตามการเติมโอโซนก็สามารถเกิด DBPs ได้เช่นกันโดย Najm และ Krasner (1995) ทำการศึกษาผลของ Br^- และสารอินทรีย์หลงเหลือ ต่อการเกิด Ozonation By-Products พบว่าในแหล่งน้ำที่มี Br^- ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดโบรเมต (Bromate) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงด้วยภายหลังจากการเติมโอโซน และถ้ามีค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงก็จะเพิ่มปริมาณความต้องการโอโซน ซึ่งทำให้เพิ่มปริมาณการผลิตโบรเมตด้วยเช่นกัน

3. การกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้กระบวนการเมมเบรน

Taylor และคณะ (1987) ใช้กระบวนการเมมเบรน 3 ชนิด คือ RO NF และ UF ในการกำจัดสาร THMP ออกจากน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน พบว่าต้องการเมมเบรนที่มีค่า MWCO น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 ในสภาวะปกติ เพื่อควบคุม THMP และสรุปว่ากระบวนการเมมเบรนให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง

Mulford และคณะ (1999) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาว่าผลของการดำเนินระบบ NF ในระดับ Pilot-plant จากผลการพบว่า น้ำที่ผลิตได้มีค่า TOC 0.4 mg/L THMF 35 $\mu\text{g/L}$ และ HAAFP 28 $\mu\text{g/L}$

4. การกำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

Jeffrey และ Benjamin (1991) ได้สรุปผลจากการสัมมนาที่จัดโดย American Water Work Association Research Foundation (AWWARF) และ U.S. Environmental Protecting Agency (USEPA) ในระหว่างวันที่ 9-10 พฤษภาคม ค.ศ. 1989 ได้สรุปว่าการใช้ ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด (Granular Activated Carbon: GAC) เป็นวิธีการที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ในการกำจัดสารอินทรีย์หลายชนิด (Best Available Technology: BET) เนื่องจากในปัจจุบันข้อกำหนดด้านคุณภาพมาตรฐานน้ำประปาหรือที่เรียกว่าค่าระดับความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminant Levels: MCLs) ของสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำประปาโดย U.S. Environmental Protecting Agency (US.EPA) ได้กำหนดให้ค่า MCLs ของสารอินทรีย์หลายชนิดต่ำกว่าจากแต่ก่อนมาก

ตารางที่ 2.3 สรุปผลจากงานวิจัยการกำจัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการต่างๆ (Jacangelo, 1995)

กระบวนการที่ใช้	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์	ความซับซ้อนของกระบวนการ	ค่าใช้จ่ายของกระบวนการ
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโคแอกกูเลชัน	พอใช้	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง
การใช้โอโซน	ดี	สูง	สูง
ใช้กระบวนการเมมเบรน	ดีที่สุด	สูง	สูง
การดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์	ดีมาก	ปานกลาง	ปานกลาง

2.3 ถ่านกัมมันต์

2.3.1 ลักษณะและประวัติความเป็นมาของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) มีลักษณะเหมือนแกรไฟต์ (Graphite) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของหัวดินสอ และเพชร เพราะต่างก็มีคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน แต่สิ่งที่แตกต่างจากแกรไฟต์ และเพชรคือการที่มันมีรูปร่างแบบ random imperfect structure ซึ่งมีรูพรุนมากมาย รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าไปจนถึงเล็กขนาดระดับโมเลกุล โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่วุ่นวายนี้ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวจำนวนมากและมีความสามารถสูงในการดูดซับสิ่งสกปรก ถ่านกัมมันต์เป็นสารที่มีความสามารถและพื้นที่ในการดูดซับสิ่งสกปรกมากที่สุดเท่าที่มนุษย์เคยรู้จักมา ถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวมากกว่า $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ นั้นหมายความว่า 5 กรัมของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ประมาณสนามฟุตบอล นั่นแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมาก

เริ่มมีการกล่าวถึงการดูดซับสิ่งสกปรกของธาตุคาร์บอน ครั้งแรกซึ่งเป็นสารดูดซับ (adsorbent) ตั้งแต่ 1550 ปีก่อนคริสตกาล โดยชาวอียิปต์โบราณ ซึ่งใช้กอกาไพร์สเป็นวัตถุดิบต่อมาก็มีการใช้โดยชาวกรีกชื่อ Hippocrates ซึ่งเป็นบิดาแห่งแพทยศาสตร์ และปราชญ์ชาวโรมันชื่อ Pliny โดยวัตถุดิบหลักด้านการแพทย์ หลังจากนั้นในศตวรรษที่ 18 ถ่านก็ถูกนำมาใช้อีกครั้งอย่างแพร่หลายในวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยเริ่มจาก

- ในปี ค.ศ. 1773 ความสามารถในการดูดซับสิ่งสกปรกของถ่านได้ถูกรื้อฟื้นอีกครั้งโดย Scheels และในปีเดียวกันเอง Kehl ได้ใช้ถ่านเพื่อกำจัดกลิ่นเหม็นจากผลเน่าเปื่อย

- ในปี ค.ศ. 1811 มีการค้นพบที่สำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการขจัดสีของถ่านกระดูก (Bone char) ซึ่งนำไปสู่การนำไปใช้ในการฟอกสีน้ำตาล ในช่วงแรกผงของถ่านกระดูกเมื่อใช้เสร็จแล้วก็ทิ้งไป แต่การที่วัตถุดิบมีจำกัด จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการนำกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration) วิธีการนำกลับมาใช้ใหม่จึงมีการพัฒนาต่อมา

- ในปี ค.ศ. 1822 Bussy ใช้ Potash (K_2O) ในมาผลิต Blood Char ซึ่งในสภาวะห้องทดลอง Blood char ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับสิ่งสกปรกสูงมาก สามารถใช้ได้ Blood char ได้นานนับปี

- ในปี ค.ศ. 1862 Lipscombe เตรียมคาร์บอนเพื่อใช้ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด แต่ที่สำคัญคือ ต้องมีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก ตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์เช่น ไม้ กะลามะพร้าว ยางพารา เปลือกถั่ว ถ่านพีช หรือ กากของผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม

ถ่านกัมมันต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายกิจกรรมสมบัติทั่วไปของถ่านกัมมันต์ที่สำคัญสำหรับกำหนดการใช้งาน (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) คือ

- พื้นที่ผิว (Surface area): กำหนดขีดความสามารถในการดูดติด
- ความหนาแน่นประจักษ์(Apparent density): บอกถึงโอกาสสูญเสียจากการใช้งาน
- ความหนาแน่นก้อน(Bulk density): กำหนดประมาณที่ใช้
- ขนาดประสิทธิผล(Effective size): กำหนดสภาพทางพลศาสตร์
- ปริมาตรรูพรุน(Pore volume): กำหนดการดูดติดผิวของโมเลกุล
- การวิเคราะห์ค่าผ่านตะแกรง(Sieve analysis): ใช้ตรวจสอบควบคุมระบบบำบัด
- อะบราชัน นัมเบอร์(Abrasion number): ระบุถึงความคงทนต่อการขัดสี
- ร้อยละของเถ้า(Ash percent): ระบุปริมาณกากของถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการเผา
- ความชื้น (Humidity): ระบุปริมาณน้ำในถ่านกัมมันต์จากการผลิต
- ไอโอดีน นัมเบอร์(Iodine number): กำหนดความจุการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- โมลาส นัมเบอร์(Molasses number): กำหนดความจุการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- ฟีนอล นัมเบอร์(Phenol number): กำหนดความจุการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์
- ขนาดรูพรุน(Pore size): กำหนดขีดจำกัดในการดูดติดโมเลกุลจำเพาะบางชนิดควบคุมระบบบำบัด

โดยถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็นหลายประเภทขึ้นกับลักษณะและการใช้งานได้แก่

1. Granular Activated Carbon: GAC โดยปกติขนาดอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 5 มิลลิเมตร ใช้ทั้งของเหลว (Liquid) และ ก๊าซ (Gas)
2. Powder Activated carbon: PAC บด เพื่อให้มีอำนาจเพิ่มขึ้นโดยมีขนาดเล็กกว่า 0.18 มิลลิเมตร (US Mesh 80) โดยส่วนใหญ่ใช้กับของเหลว

2.3.2 ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด (Granular Activated Carbon: GAC) สามารถใช้เป็นสารกรองในบ่อกรองได้ อาจจะใช้เป็นตัวกลางในบ่อกรองทรายแบบประเภทบ่อกรองแบบ 2 ตัวกลาง (Dual Media Sand Filter) หรือหลายตัวกลาง (Multi Media Sand Filter) ก็ได้ ซึ่งอาจจะใช้แทนถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite Coal) ในบ่อกรองแบบ 2 ตัวกลางที่ประกอบด้วย ทรายแม่น้ำ และถ่านหินแอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดไม่เพียงแต่ความสามารถของการปฏิบัติงานในลักษณะที่เหมือนตัวกลางในบ่อกรองน้ำธรรมดา ที่สามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ คอลลอยด์ หรือที่สามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ คอลลอยด์ หรือความขุ่น แต่ยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Compound), สารอินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic Organic Compound), ผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection By-product), กลิ่น, สี, รส, ยาฆ่าแมลง, หรือแม้กระทั่งสารพิษต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในระบบผลิตน้ำประปา นอกจากจะผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติแล้ว ยังอาจจะผลิตจากถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous Coal) หรือ ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite Coal) โดยกระตุ้นถ่านเหล่านี้ในเตาภายใต้สภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 °C ทำให้สารที่ติดอยู่ในช่องรูพรุนของถ่าน หรือน้ำมันดิน (Tar) และความชื้นระเหยออกมา ในสหรัฐอเมริกาการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดได้รับความสนใจอย่างมากสำหรับงานผลิตน้ำประปาเนื่องจากปี ค.ศ. 1986 ได้มีการปรับปรุงระดับค่าความปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (MCLs) สำหรับน้ำดื่มให้ต่ำลง โดยควบคุมสารอินทรีย์ (Organic Compounds) มากกว่า 50 ชนิด และสารอินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic Organic Compounds) อีก 26 ชนิด

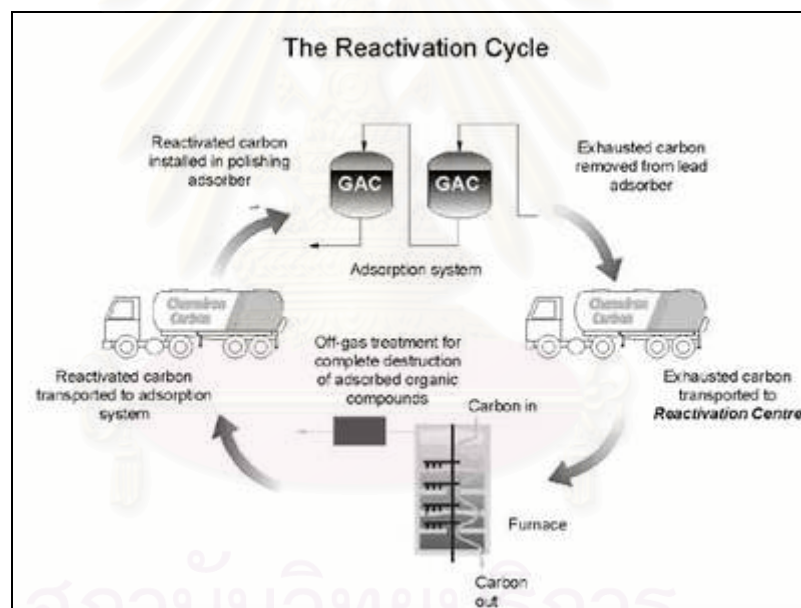
2.3.3 การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์

การนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้จนหมดประสิทธิภาพแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีก จะช่วยลดต้นทุนที่จะต้องซื้อถ่านกัมมันต์ใหม่มาเพิ่มเติม การฟื้นฟูสภาพของถ่านดูดติดผิวอาศัยวิธีการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่ถูกดูดติดผิวไว้ที่พื้นผิวถ่านออกไป ถ่านกัมมันต์ก็จะกลับมามีประสิทธิภาพขึ้นใหม่แล้วนำมาใช้ได้

กรรมวิธีที่สามารถฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์นั้นทำได้หลายวิธี ได้แก่ กรรมวิธีทางความร้อน กรรมวิธีทางเคมี และกรรมวิธีทางชีวภาพ กรรมวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายคือกรรมวิธีทางความร้อน โดยอาศัยเตาเผาความร้อนดังที่แสดงในภาพที่ 2.1 กรรมวิธีทางความร้อนอาจจะพอสรุปแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ Cheremisinoff

- ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะถูกรวบรวมกับน้ำเป็นของเหลวข้น (Slurry) แล้วถูกนำเข้าสู่ระบบฟื้นฟูสภาพโดยใช้ปั๊มสูบ
- นำถ่านกัมมันต์ที่แยกน้ำแล้วส่งเข้าเตาเผาซึ่งควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิประมาณ 1600-1800 °F (หรือประมาณ 800-900 °C)
- เมื่อถ่านกัมมันต์ออกจากเตาเผาในขณะร้อนตัด จะทำให้เย็นโดยการจุ่มลงในน้ำ (Water Quenching)
- เมื่อถ่านกัมมันต์ที่ทำให้เย็นในถังจุ่ม (Quench tank) เย็นตัวลงแล้วนำไปแยกแล้วเตรียมใช้งาน

ขั้นตอนทั้งหมดของการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์จะใช้เวลารวมทั้งสิ้น 30 นาทีโดยประมาณ และมีอัตราการสูญเสียถ่านกัมมันต์เนื่องจากกระบวนการฟื้นฟูสภาพ 2-10%



รูปที่ 2.1 แสดงการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน

2.4 การดูดติดผิว

2.4.1 กระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิวโดยปกติแล้วเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ที่สารหนึ่งติดอยู่บนพื้นผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง การดูดติดผิวแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978) คือการดูดติดทางฟิสิกส์ (Physisorption) และการดูดติดทางเคมี (Chemisorption) กล่าวคือเมื่อโมเลกุลของสารใดๆในของเหลวหรือก๊าซเคลื่อนที่มาสัมผัสบริเวณผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดของสารดูดติดผิวที่มีต่อโมเลกุลนั้นมากกว่าพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ของโมเลกุลของสารนั้น โมเลกุลของสารนั้นๆ จะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force) อันเป็นขั้นตอนการดูดติดทางฟิสิกส์ ซึ่งมีการเกาะตัวของโมเลกุลของของเหลวเป็นชั้นๆ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดติดผิวและสารถูกดูดติดผิว การเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้นขั้นตอนนี้เป็น การดูดติดทางเคมี ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปได้ (Irreversible) ตรงข้ามกับการดูดติดทางฟิสิกส์สามารถแปรสภาพกลับไปมาได้ (Reversible)

กระบวนการดูดติดผิวมีกลไกที่เกิดขึ้นอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาสารดูดติดผิว
2. การแพร่ภายนอก (External Diffusion or Film Diffusion) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงสารดูดติดผิวหรืออาจเรียกว่า การขนถ่ายใหญ่ (Macro Transport) ซึ่งตามปกติจะมีฟิล์มของของเหลวหุ้มไว้โดยรอบผิวของสารดูดติดผิว
3. การแพร่ภายใน (Internal Diffusion or Pore Diffusion) เนื่องจากสารดูดติดผิวมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยูที่โพรง หรือช่องว่างภายใน โมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกเข้าไปให้ถึงช่องว่างภายในของสารดูดติดผิว จึงจะมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น
4. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดติดผิว (Sorption) ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละเลยได้

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดติดผิว

อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ พิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนามากเนื่องจากไม่ถูกรบกวน ซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดติดผิว ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้ โมเลกุลสารเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาสารดูดติดผิวได้รวดเร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้ Pore Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ด้วยเหตุนี้ในกรณีความปั่นป่วนสูงอัตราเร็วในการดูดติดผิวจะขึ้นอยู่กับ Pore Diffusion และในกรณีความปั่นป่วนต่ำอัตราเร็วในการดูดติดผิวจะขึ้นอยู่กับ Film Diffusion
2. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดติดผิว ส่วนพื้นที่ผิวนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดติดผิว (Adsorptive Capacity)
3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดผิว เมื่อมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบน ผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างหนาแน่น จึงเป็นสารที่ยากต่อการถูกดูดติดผิว สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวของสารดูดติดผิวได้ดี อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ข้อต้นนี้ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวได้ยากเช่นกัน แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจจะเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า มีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ ระหว่างความสามารถในการดูดติดผิวและความสามารถในการละลายน้ำ
4. ขนาดของสารที่ถูกดูดติดผิว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดติดผิว จากการวิจัยพบว่า การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารและสารดูดติดผิวจะมีค่ามากที่สุดโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง
5. พีเอช การแตกตัวเป็นไอออนและความสามารถการละลายน้ำของของสารละลายต่างๆ จะขึ้นอยู่กับค่า พีเอช ดังนั้นพีเอชจึงมีผลต่อการดูดติดผิวด้วย

6. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ในทางกลับกันขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน
7. ระยะเวลาในการดูดติด เวลาสัมผัสจะต้องมีมากพอที่จะเกิดการดูดติดจะเข้าสู่สภาวะสมดุล

2.4.3 การดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล

การดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) ศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์การเกิดกระบวนการดูดติดผิว ณ จุดสมดุลความสามารถของสารดูดติดผิว(Adsorption Capacity) สมการที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์นี้มีอยู่ หลายสมการ แต่นิยมใช้ในงานที่สารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำหรืองานที่เกี่ยวข้องกับน้ำประปา คือ Freundlich Isotherm

Freundlich ได้ศึกษาปรากฏการณ์การดูดติดและได้แสดงสมการดังสมการที่ 3.1

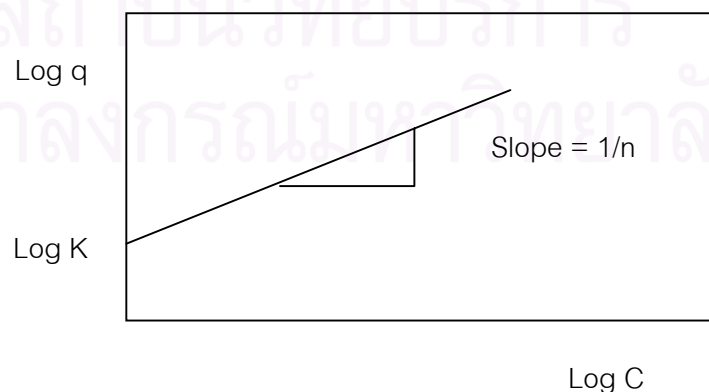
$$Q = KC^{1/n} \quad (3.1)$$

โดย Q = มวลของสารที่ถูกดูดติดต่อน้ำหนักของผงถ่านกัมมันต์, w/w
 C = ความเข้มข้นของสารละลายหลังจากการดูดติด, mg/L
 K, n = ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า K, n ได้ด้วยวิธีกราฟ สมการของ Freundlich Isotherm จึงมักจะแสดงในรูปลอกการิทึม ดังสมการ 3.2

$$\text{Log } Q = \text{Log } K + (1/n) \text{Log } C \quad (3.2)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถวาดกราฟเส้นตรงได้ดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 2.2 กราฟสำหรับสมการเส้นตรงของสมการ Freundlich

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดติด

กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์ (2539) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแยกทิวเด็คสไลด์จ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงาน เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของผงถ่านกัมมันต์ ที่มีต่อระบบแยกทิวเด็คสไลด์จ์ จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ผงถ่านกัมมันต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบได้อย่างชัดเจน

วณิสิร ประยูรพรหม (2539) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการกำจัดสี โดยใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน 4 ค่าเป็นตัวดูดติด ผลจากฟรอนดิชไอโซเทอร์มแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ขนาดรูพรุนใหญ่สุดให้ผลดีที่สุดในการกำจัดสี

- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบผลิตน้ำประปา

Taylor และคณะ (1987) ใช้กระบวนการเมมเบรน 3 ชนิด คือ RO NF และ UF ในการกำจัดสาร THMP ออกจากน้ำบาดาล และน้ำผิวดิน พบว่าต้องการเมมเบรนที่มีค่า MWCO น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 ในสภาวะปกติในการดำเนินระบบ เพื่อควบคุม THMP และสรุปผลการวิจัยว่ากระบวนการเมมเบรนให้ผลดีในการควบคุม THMs ในแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง

Thierry Boulance และคณะ (1999) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟลอคคูเลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิดคือ เฟอริกคลอไรด์, อะลูมินัมซัลเฟต และ อะลูมินัม โพลีคลอไรด์เฟต สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันฟลอคคูเลชัน ขึ้นกับค่า พีเอช โดย เฟอริกคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงสุดที่พีเอช 5.5 และพีเอช 7.0 สำหรับสารโคแอกกูแลนต์ที่มีอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ

Mulford และคณะ (1999) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาว่าผลของการดำเนินระบบ NF ในระดับ Pilot plant จะสามารถแสดงถึงผลของการดำเนินระบบ NF ในระดับ Full-scale ได้อย่างถูกต้องหรือไม่ โดยการทดลองพบว่าอัตราการผลิต และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้จากโรงผลิตน้ำจริงถูกจำลองโดยการดำเนินระบบ Pilot-plant ในช่วงเวลา 4 เดือนของการทดลองได้อย่างถูกต้อง จากผลการทดลองพบว่า น้ำที่ผลิตได้มีค่า TOC 0.4 mg/L THMFP 35 $\mu\text{g/L}$ และ HAAFP 28 $\mu\text{g/L}$

- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

Oxenford และ Lykins (1991) ได้สรุปการประชุมที่ว่าด้วยการออกแบบและการใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด โดยที่ประชุมได้สรุปว่าการใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดขณะนี้ในการกำจัดสารอินทรีย์ ผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค อนุภาครังสี และสารอินทรีย์

Adam และ Clark (1991) ได้ประเมินราคาทั้งในด้านการก่อสร้าง วิธีการเดินระบบทางด้านเวลาสัมผัสด และวิธีการใช้ถ่านกัมมันต์ ได้สรุปว่าในการกำจัดสารอินทรีย์ทั่วไปควรใช้เวลาสัมผัสประมาณ 10 – 20 นาที ส่วนสารอินทรีย์ที่ถูกดูดติดยากควรใช้เวลาสัมผัสนานขึ้นตัวอย่างเช่น 30 –40 นาที

McGuire และ คณะ (1991) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไตรฮาโลมีเทนด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด โดยใช้ชุดการทดลองระบบกรองน้ำแบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ในระดับระบบขนาดต้นแบบ พบว่า สามารถลดความเข้มข้นของไตรฮาโลมีเทนได้เท่ากับ $10 \mu\text{g/L}$ โดยน้ำที่ยังไม่ได้บำบัดมีความเข้มข้นของไตรฮาโลมีเทนประมาณ 60-80 $\mu\text{g/L}$

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยโดยติดตั้งถังชุดการทดลองระบบกรองน้ำแบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ในระดับระบบขนาดต้นแบบที่โรงผลิตน้ำการประปานครหลวง ซึ่งรับน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทราย และสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ กระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้น้ำจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน แผนการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 3.1

การเตรียมการวิจัย

2. การเตรียมอุปกรณ์และการติดตั้งเครื่องมือ
3. การเตรียมเดินระบบทดลอง
4. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลองและสารที่ใช้ในการล้างอุปกรณ์



การดำเนินการทดลอง

1. ทำการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย
2. การเก็บตัวอย่างและวัดค่าพารามิเตอร์
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

รูปที่ 4.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย

3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิจัยศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิดต่างๆ ในระบบเบตซ์ (สมบัติของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.1)

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยและผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทนโดยการทำการกราฟเปรียบเทียบ (Calibration curve)

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ใช้

ชนิดถ่านกัมมันต์	C.Gigantic CGC-11*	C.Gigantic CGC-12*	Calgon BG-816**
Specifications			
Iodine Number (mg/g) MIN	1050	1150	1000
Surface Area (m ² /g)	1000	1100	1000
Ash % MAX	5	5	12
Moisture (%as packed) MAX	5	5	5
Raw Material	Coconut Shell	Palm shell	Bituminous
Mesh Size	12x40		

* ผลิตโดยบริษัท C.Gigantic Carban Co.,LTD. (Thailand)

**ผลิตโดยบริษัท Calgon Carbon Corporation. (U.S.A)

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของน้ำที่ผ่านถังกรองทราย

ลักษณะของน้ำหลังจากผ่านถังกรองทราย	ค่าพารามิเตอร์
PH	6.5-7.5
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	50-80
Turbidity (NTU)	0.2-1
Conductivity (micromhos/cm)	200-350
DOC (mg/L)	2-6

3.3 ตัวแปรในการทดลอง

ค่าตัวแปรต่างๆ ในแต่ละขั้นตอนการวิจัยแสดงในตารางที่ 3.3-3.7

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ของถ่านกัมมันต์แบบแกร็ดชนิดต่างๆ ในระบบเบ็ดซ์ ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น
 - ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
 - ปริมาณน้ำ
2. รอบการเขย่า

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ชนิดของถ่านกัมมันต์
2. อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำ 5 ค่า

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่างๆ
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุล (Adsorption Isotherm) ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิดต่างๆ ในระบบเบ็ดซ์

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ตัวแปรคงที่	
1. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น	
- ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (mg/L)	2.52
- ปริมาณน้ำ (ml)	100
2. รอบการเขย่า (rpm)	125
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของถ่านกัมมันต์ (ชนิด)	3
2. อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อน้ำ 5 ค่า (mg/L)	40, 80, 160, 240, 360
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง	
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่างๆ	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ	-

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยและผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.4

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบขนาดต้นแบบ
2. ความสูงของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่บรรจุในระบบขนาดต้นแบบ
3. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น
 - ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
4. อัตราการไหลของน้ำ
5. เวลาสัมผัสของน้ำ

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ชนิดของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด 2 ชนิด
 - ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทย
 - ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตจากต่างประเทศ

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่างๆ
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านทั้ง 2 ชนิดที่เวลาต่างๆ
3. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำจนถึงจุดยุติของถ่านทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบแกริตที่ผลิตในประเทศไทยและผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบขนาดต้นแบบ (เมตร)	0.4
2. ความสูงของถ่านกัมมันต์แบบแกริตที่บรรจุในระบบขนาดต้นแบบ (เมตร)	1
3. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น	
- ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2-6
4. อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	18
5. เวลาสัมผัสของน้ำ (นาที)	10
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของถ่านกัมมันต์	2
	- CGC-11
	- BG-816
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง	
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่างๆ	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ	-
3. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำจนถึงจุดยุติ	-

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.5

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบขนาดต้นแบบ
2. ความสูงของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่บรรจุในระบบขนาดต้นแบบ
3. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น
 - ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
4. ชนิดของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. อัตราการไหลของน้ำ
2. เวลาสัมผัสของน้ำ

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง
 - ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่างๆ
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านที่เวลาสัมผัสต่างกันที่เวลาต่างๆ
3. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำจนถึงจุดยุติของถ่านที่เวลาสัมผัสต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของ ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองต่อแบบเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ตัวแปรคงที่	
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบขนาดต้นแบบ (เมตร)	0.4
2. ความสูงของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่บรรจุในระบบขนาดต้นแบบ (เมตร)	1
3. ลักษณะของน้ำเริ่มต้น	
- ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2-6
4. ชนิดของถ่านกัมมันต์	CGC-11
ตัวแปรอิสระ	
1. อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	9,6
2. เวลาสัมผัสของน้ำ (นาที)	20, 30
ตัวแปรตาม	
1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำการทดลอง	
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือที่เวลาต่าง ๆ	-
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ	-
3. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำจนถึงจุดยุติ	-

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.6

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง
2. ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ปริมาณของสารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้
2. ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบ ตารางที่ 3.6 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบ

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ตัวแปรคงที่	
1. ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง (ml)	100
2. ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	NaOCl
ตัวแปรอิสระ	
1. ลักษณะของน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง	
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ	
2. ที่มาของน้ำที่นำมาทำการทดลอง (แหล่ง)	3
	1. น้ำก่อนผ่านชุดทดลอง
	2. น้ำที่ผ่านชุดทดลองที่เวลาสัมผัส 20 นาที
	3. น้ำที่ผ่านชุดทดลองที่เวลาสัมผัส 30 นาที
ตัวแปรตาม	
1. ปริมาณของสารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้	-
2. ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ	-

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทนโดยการทำการกราฟเปรียบเทียบ (Calibration curve) ดังที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.7

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง
2. ที่มาของน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง
3. ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

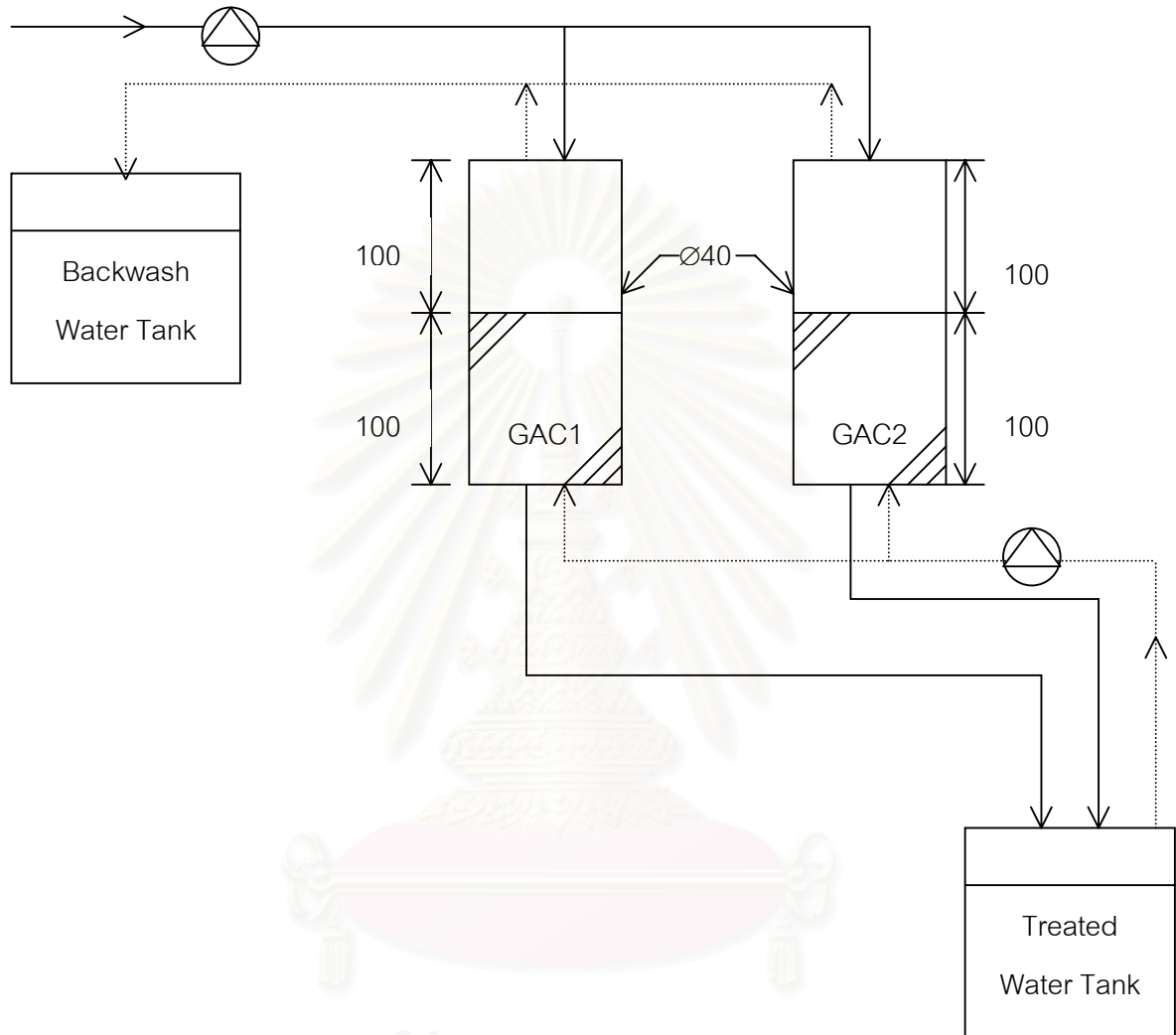
1. ลักษณะของน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำหลังจากทำการทดลอง

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทนโดยการทำการกราฟเปรียบเทียบ (Calibration curve)

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ตัวแปรคงที่	
1. ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง (ml)	100
2. ที่มาของน้ำที่นำมาทำการทดลอง (แหล่ง)	1
3. ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (ชนิด)	1
ตัวแปรอิสระ	
1. ลักษณะของน้ำเริ่มต้นที่นำมาทำการทดลอง	
- ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ	-
ตัวแปรตาม	
1. ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำหลังจากทำการทดลอง	-



Unit : เป็น cm

รูปที่ 3.2 Flow Diagram ของชุดการทดลองในระบบขนาดต้นแบบ (Pilot-scale System)

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่อง Shaker
2. เครื่องวิเคราะห์ค่า DOC
3. เครื่อง UV Spectrophotometer
4. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
5. เครื่องวัดความขุ่น
6. เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า
7. ชุดเครื่องแก้วต่างๆ เช่น บีกเกอร์
8. ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

3.5 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวัด

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่	อ้างอิงจาก
DOC	เครื่องวิเคราะห์ค่า TOC	ทุกวัน	*Standard Method
UV-254	เครื่อง UV Spectrophotometer	ทุกวัน	*Standard Method
พีเอช	Electrometric Method	ทุกวัน	*Standard Method
ความขุ่น	Nephelometric Method	ทุกวัน	*Standard Method
สภาพนำไฟฟ้า	เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า	ทุกวัน	*Standard Method
ค่าความเป็นด่าง	Indicator Method	ทุกวัน	*Standard Method
คลอรีนอิสระ	DPD Ferrous Titrametric Method	ทุกเดือน	*Standard Method
THMs	Gas Chromatography-MS	ชั้นตอนที่ 5	*Standard Method

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition 1995



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่ายูวี 254



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความขุ่น



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

บทที่ 4

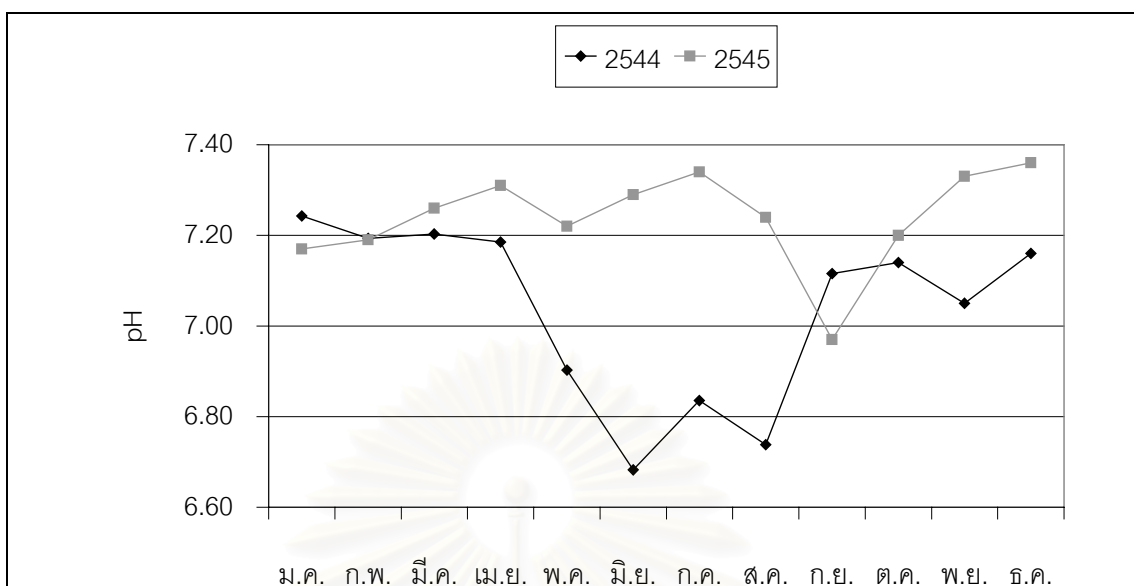
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำที่ใช้ในการวิจัย

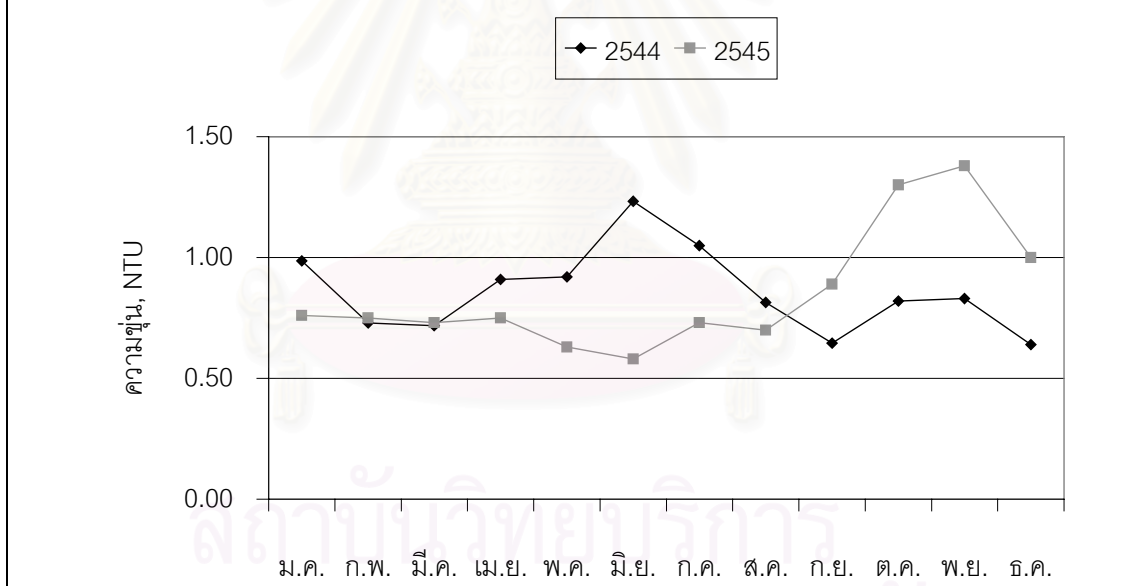
งานวิจัยนี้ศึกษาถึงกระบวนการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดโดยใช้น้ำเข้าระบบ จากน้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองทรายในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงผลิตน้ำบางเขนผลิตน้ำวันละประมาณ 3,200,000 ม³ หรือประมาณร้อยละ 75 ของการผลิตน้ำประปาทั้งหมดของการประปานครหลวง ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล โรงงานผลิตน้ำบางเขนใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยสูบน้ำดิบจากโรงสูบน้ำสำแล อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

จากผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองโดยถังกรองทรายในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำบางเขนโดย ส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิตฝ่ายโรงงานผลิตน้ำบางเขนตามรายงานประจำปี 2544-2545 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะใช้น้ำเข้าระบบทดลองขนาดต้นแบบตลอดการวิจัยนี้ พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ควบคุมคุณภาพน้ำของการประปานครหลวง จากรูปที่ 4.1ก ซึ่งแสดง ค่า pH ของน้ำเข้าระบบในปี 2544-2545 จะเห็นได้ว่าน้ำเข้าระบบมีค่า pH ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยปี 2544 มีค่าอยู่ในช่วง 7.24-6.68 และในปี 2545 มีค่าอยู่ในช่วง 6.97-7.34 จากรูปที่ 4.2ข แสดงค่าความขุ่นของน้ำเข้าระบบ จะเห็นได้ว่าค่าความขุ่นของน้ำเข้าระบบ มีค่าค่อนข้างต่ำเกือบตลอดทั้งปี กล่าวคือในปี 2544 ความขุ่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.64-1.23 NTU โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 NTU และในปี 2545 ความขุ่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.58-1.38NTU โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 NTU เมื่อพิจารณาถึงค่าความขุ่นสูงสุดของน้ำเข้าระบบในเดือนพฤศจิกายน ปี 2545 เท่ากับ 1.38 NTU ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำและสามารถใช้กับระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1ก แสดงค่า pH ของน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทรายในปี พ.ศ. 2544-2545



รูปที่ 4.1ข แสดงค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทรายในปี พ.ศ. 2544-2545

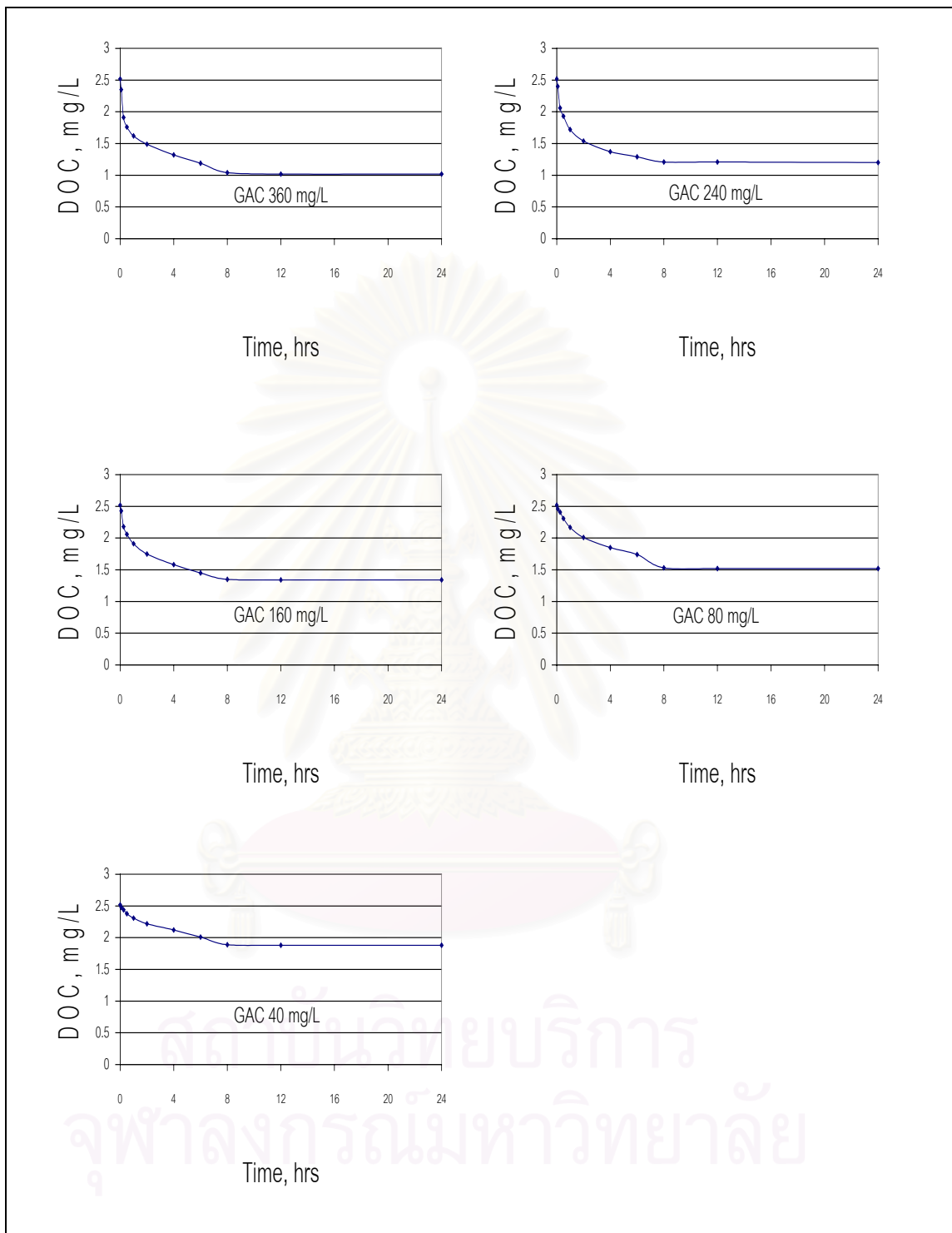
รูปที่ 4.1 พารามิเตอร์แสดงคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองทรายของโรงผลิตน้ำประปา บางเขน ในปี พ.ศ. 2544-2545

แหล่งข้อมูล: รายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำระบบผลิต ฝ่ายควบคุมการผลิตน้ำ สำนักการผลิตน้ำ บางเขน

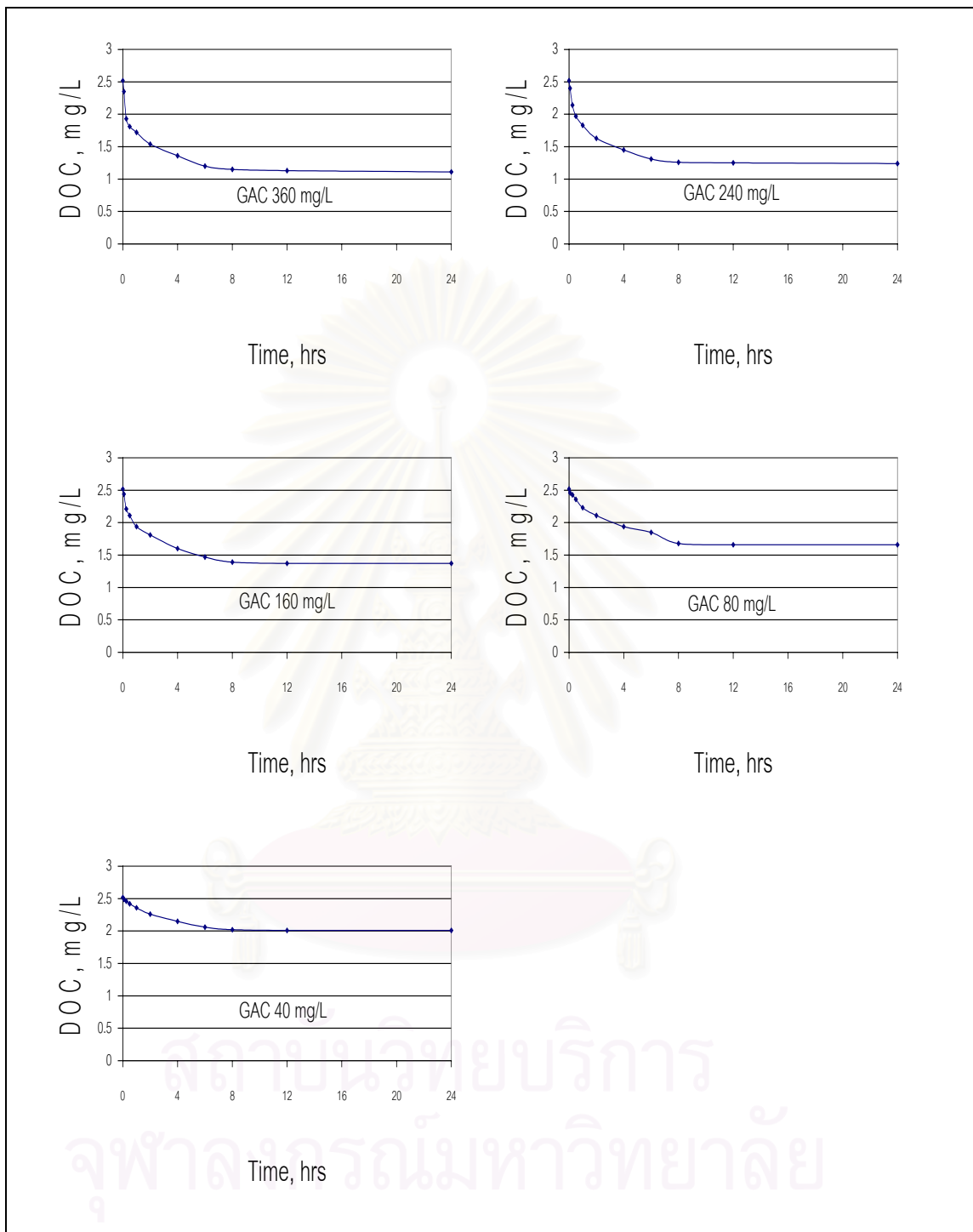
4.2 ผลการศึกษาการดูดติดผิวที่สภาวะสมดุลในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

4.2.1 ผลการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านตามเวลาสัมผัส

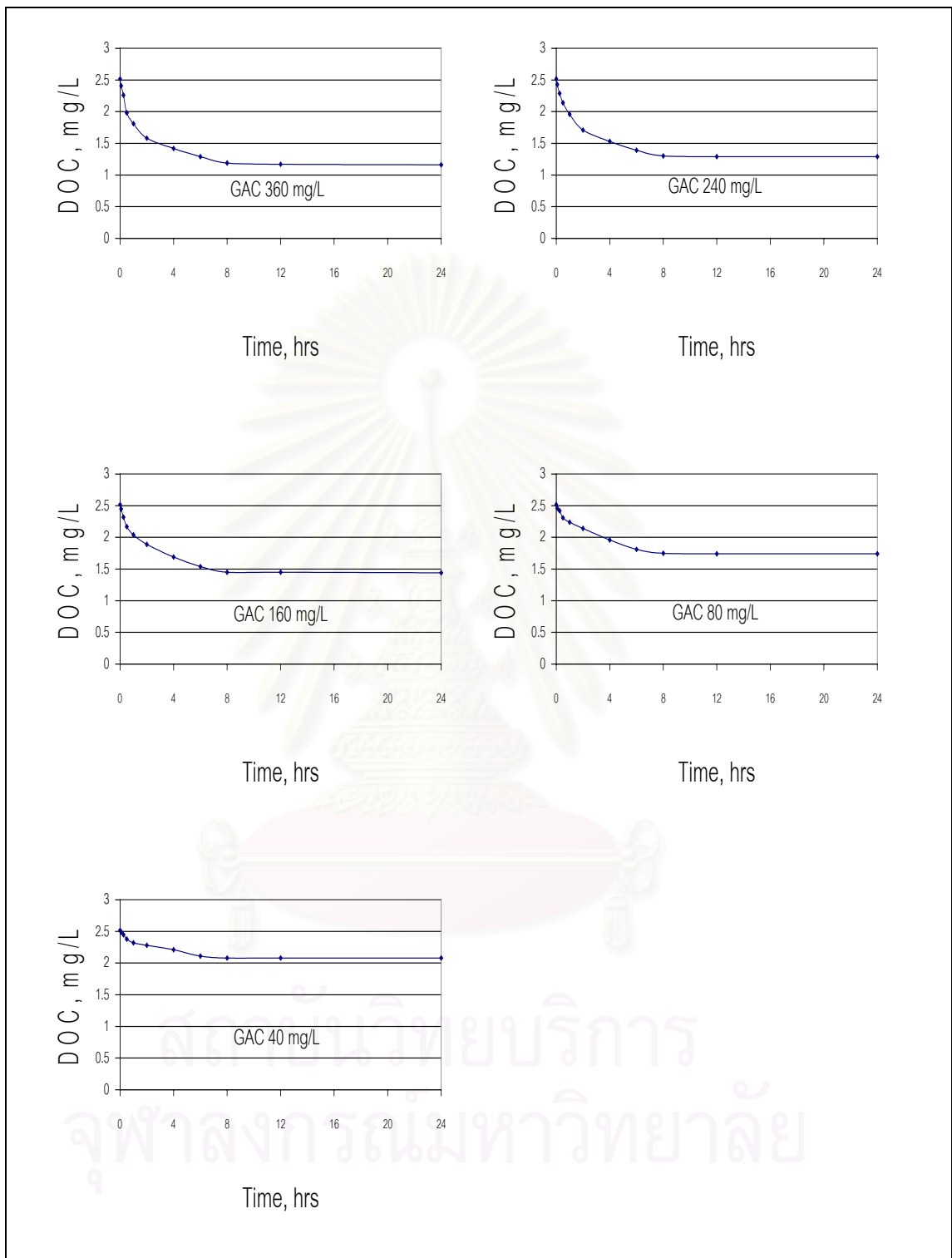
การทดลองทำโดยใช้น้ำที่เก็บจากน้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองในกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นน้ำตัวอย่าง ในการทดสอบการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่แตกต่างๆ กัน 3 ชนิด ตามตารางที่ 3.1 ได้แก่ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทย 2 ชนิด และถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในต่างประเทศ 1 ชนิด โดยกำหนดให้ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 3 ชนิดให้ความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ค่า ดังนี้ 40, 80, 160, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2 - 4.4 จากรูปที่ 4.2 แสดงการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านตามเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์ชนิดที่ผลิตในต่างประเทศพบว่าที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 160, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชั่วโมงแรก และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 แต่ภายหลังจาก 8 ชั่วโมงแรกผ่านไปแล้ว ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำจึงลดลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงอย่างช้าๆ ตลอดเวลาการทดลอง 24 ชั่วโมง อาจจะเป็นได้ว่าการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นค่อนข้างต่ำนี้จะต้องใช้เวลาสัมผัสมากกว่านี้ จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านตามเวลาสัมผัสของถ่านกัมมันต์ชนิดที่ผลิตในประเทศไทย 2 รุ่นคือ CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 160, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 ชั่วโมงแรกและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 แต่ภายหลังจาก 8 ชั่วโมงแรกผ่านไปแล้ว ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำจึงลดลงเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับถ่านที่ผลิตในต่างประเทศ แต่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำลดลงน้อยกว่าถ่านที่ผลิตในต่างประเทศ



รูปที่ 4.2 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ BG-816 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-11 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.4 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-12 ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

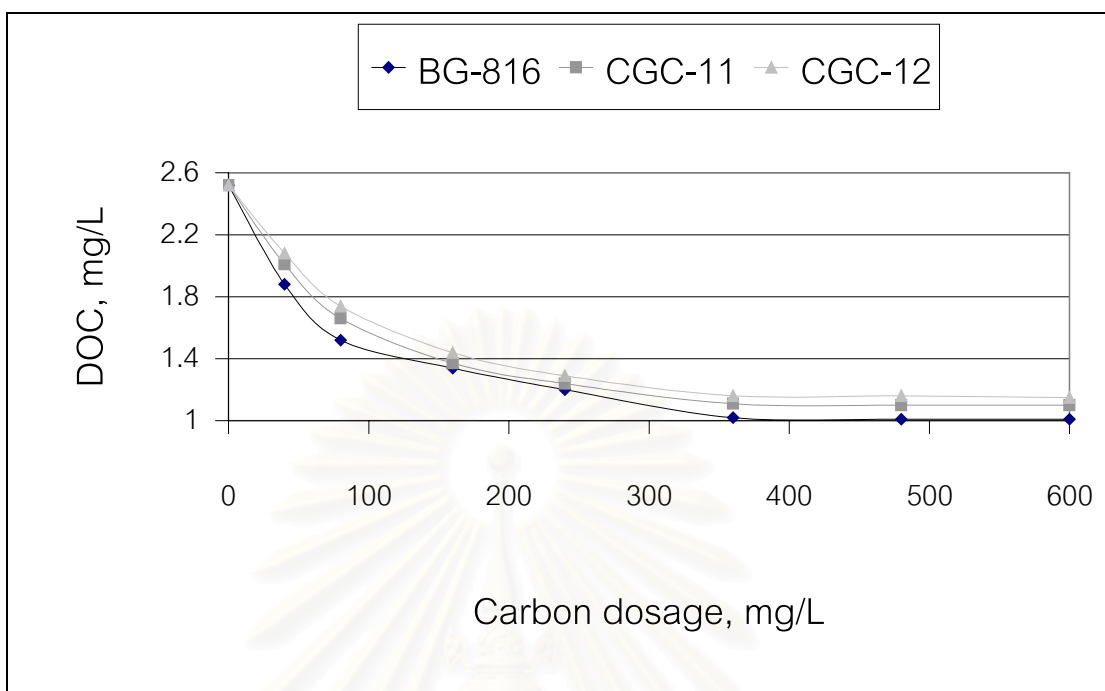
4.2.2 ผลการหาไอโซเทอมแบบพรุนดลิชในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

จากผลการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของตามเวลาสัมผัส เมื่อนำเอาค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 มาทำกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบพรุนดลิชจะได้ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะที่เป็นเส้นตรงแบบต่อเนื่องที่มีความชันเดียว ตลอดช่วงความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 40, 80, 160, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง แสดงว่ามีสารที่ถูกดูดติดอยู่เพียงชนิดเดียว

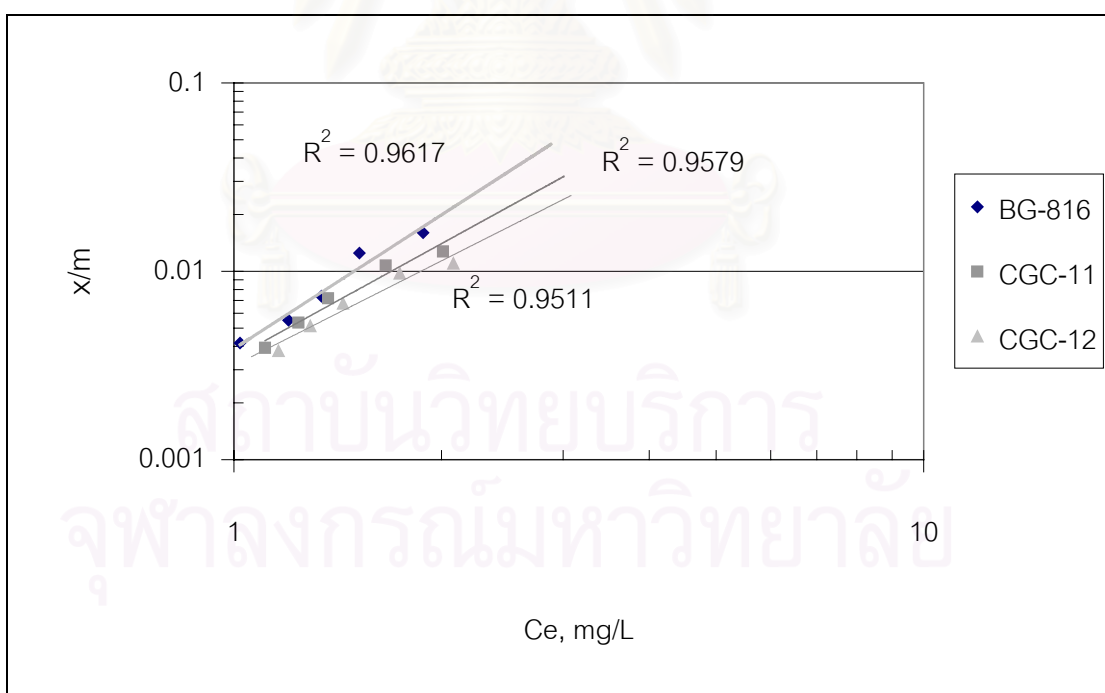
เมื่อมาพิจารณาหาความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าในทุกช่วงความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 40, 80, 160, 240 และ 360 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ BG-816 มีค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นถ่าน (x/m หรือ q) สูงกว่าถ่านกัมมันต์ CGC-11 และถ่าน CGC-12 แสดงว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวที่ดีที่สุดคือ BG-816, CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

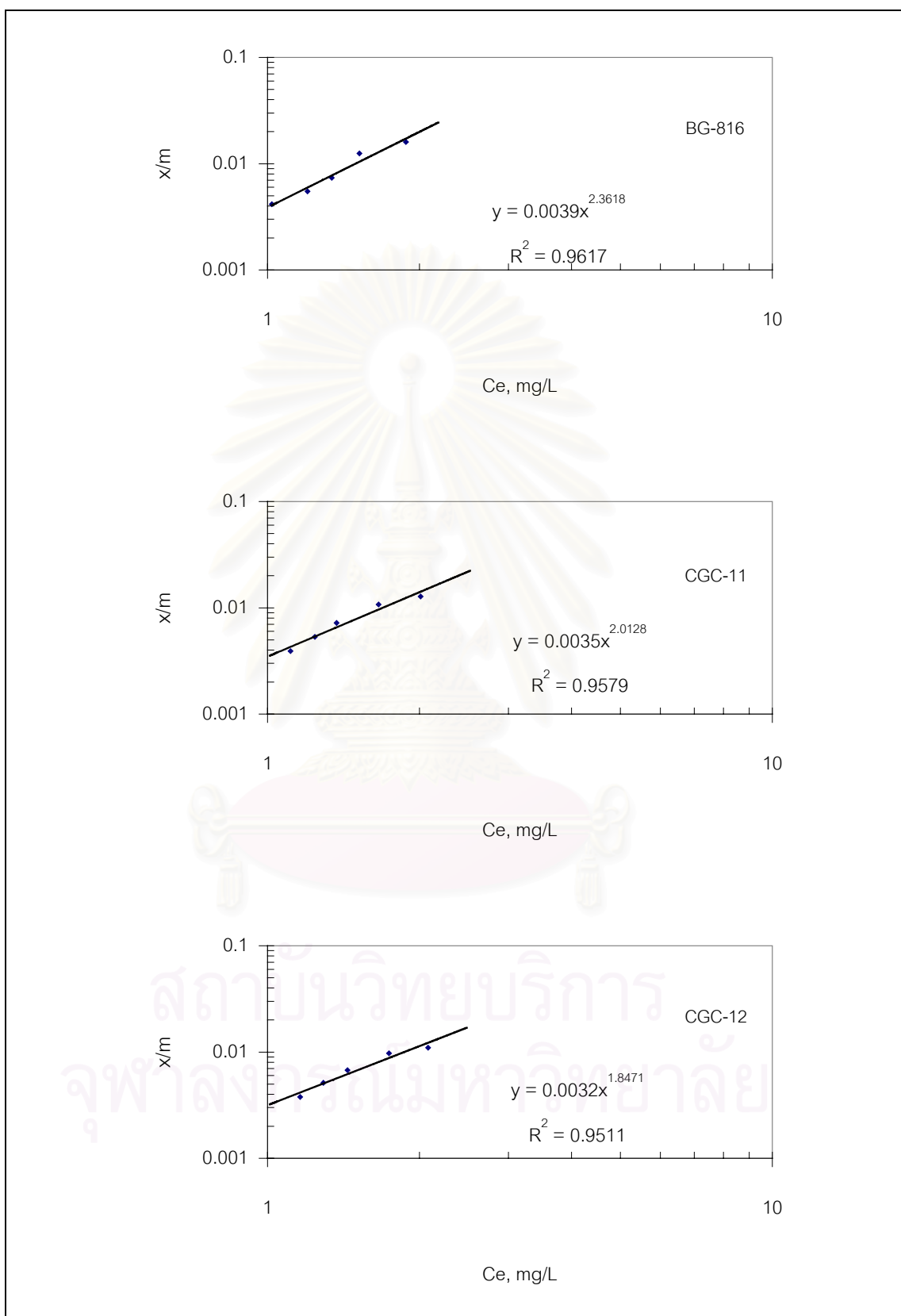
ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ มก/ล.น้ำตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือ		
	BG-816	CGC-11	CGC-12
0	2.52	2.52	2.52
40	1.88	2.01	2.08
80	1.52	1.66	1.74
160	1.34	1.37	1.44
240	1.20	1.24	1.29
360	1.02	1.11	1.16



รูปที่ 4.5 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่างๆ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 การทำไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเปรียบเทียบความสามารถของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 การทำไอโซเทอมแบบพหุนคติซของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.7 แสดงไอโซเทอมก่าจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดในการทดลองนี้เป็นดังสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช โดยไอโซเทอมก่าจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ BG-816 ในการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$x/m = 0.0039Ce^{2.3618}$$

มีค่า $1/n = 2.3618$ และ มีค่า Regression = 0.9617

ส่วนไอโซเทอมก่าจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-11 ในการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$x/m = 0.0035Ce^{2.0128}$$

มีค่า $1/n = 2.0128$ และ มีค่า Regression = 0.9579

และไอโซเทอมก่าจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-12 ในการทดลองนี้เป็นดังสมการ

$$x/m = 0.0032Ce^{1.8471}$$

มีค่า $1/n = 1.8471$ และ มีค่า Regression = 0.9511

เมื่อพิจารณาค่า $1/n$ ของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด มีอยู่ในระหว่างช่วง 1 ถึง 10 แสดงว่าการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดนั้นสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี

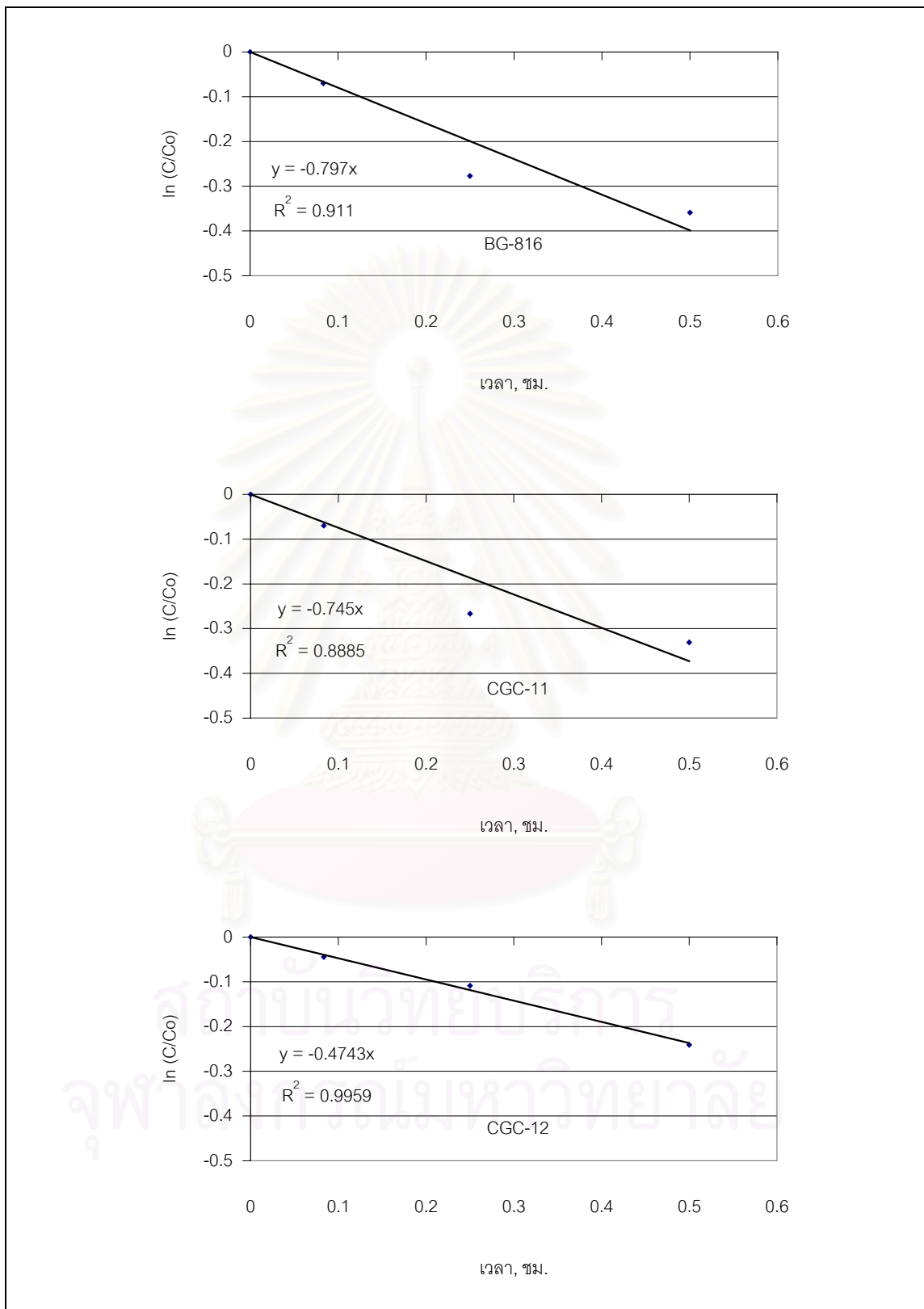
เมื่อทำการหาค่าอัตราการเกิดการดูดติดผิวเทียบกับเวลา จากสมการ

$$C_t/C_o = e^{-kt}$$

หรือ

$$\ln(C_t/C_o) = -kt$$

โดยที่ C_t คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาใดๆ
 C_o คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เริ่มต้น
 t คือ เวลาสัมผัส
 k คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดการปฏิกิริยาเริ่มต้น



รูปที่ 4.8 การหาค่าอัตราการเกิดการดูดติดผิวเทียบกับเวลาของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ทำได้โดยการสร้างกราฟระหว่างค่า $\ln(C/C_0)$ กับ เวลา จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-k$ ผลที่ได้ดังที่แสดงในตาราง 4.2

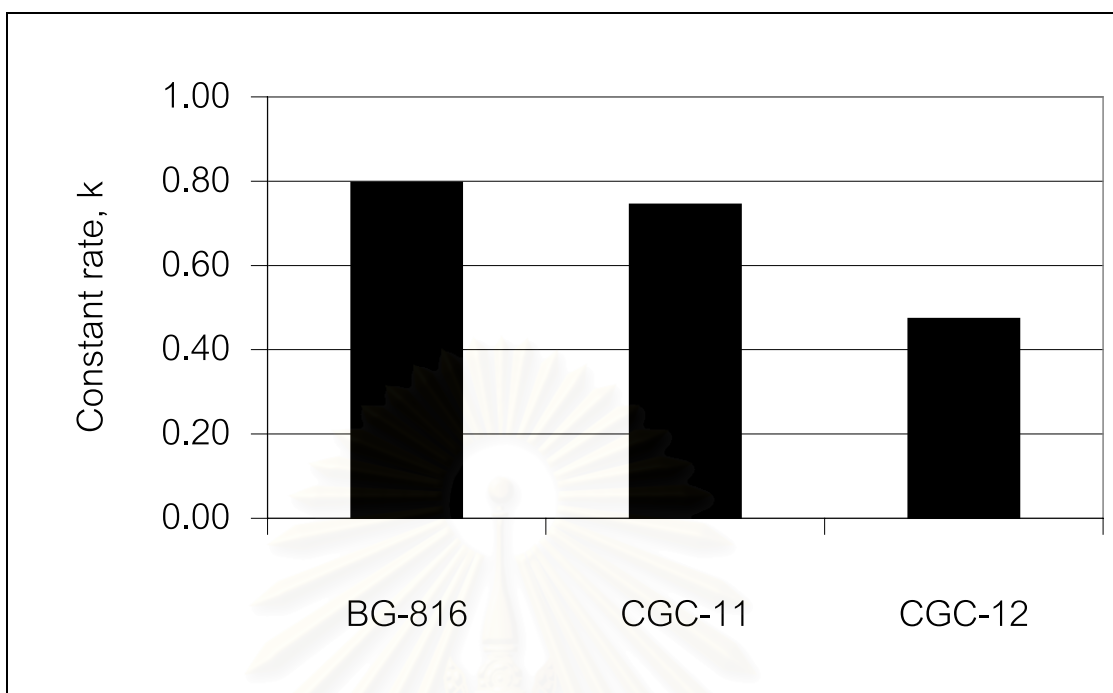
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (k) ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของถ่านกัมมันต์	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (k)	ค่า Regression
BG-816	0.7970	0.9110
CGC-11	0.7450	0.8885
CGC-12	0.4743	0.9959

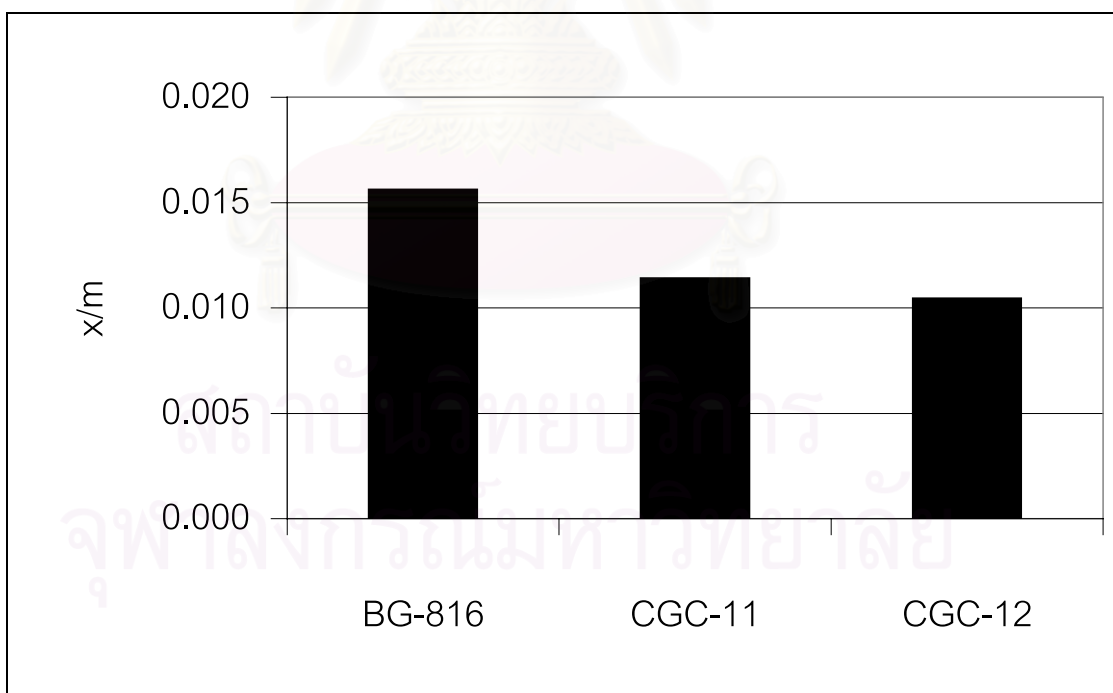
เมื่อพิจารณาค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิดแล้ว ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของถ่าน BG-816 มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยถ่าน CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ โดยที่ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของถ่าน BG-816 กับถ่าน CGC-11 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงค่าถ่านทั้ง 2 ชนิดสามารถดูดติดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้เร็วใกล้เคียงกัน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเพราะจะทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น

จากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นของถ่าน ซึ่งคำนวณได้จากสมการไอโซเทอมกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นของถ่าน BG-816 มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยถ่าน CGC-11 และ CGC-12 ซึ่งเท่ากับ 0.0156, 0.0114 และ 0.0105 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถ่านที่มีความสามารถดูดติดผิวที่ดีที่สุดคือถ่าน BG-816, CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดในด้านความสามารถดูดติดผิว ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วทางผู้วิจัยจึงได้เลือกถ่าน BG-816 และถ่าน CGC-11 เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบขนาดต้นแบบของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศ และที่ผลิตในต่างประเทศในขั้นต่อไป



รูปที่ 4.9 แสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.10 แสดงค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

4.3 ผลการทดลองการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่าน กัมมันต์แบบ เกล็ดที่ผลิตในประเทศไทยและผลิตจากต่างประเทศ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

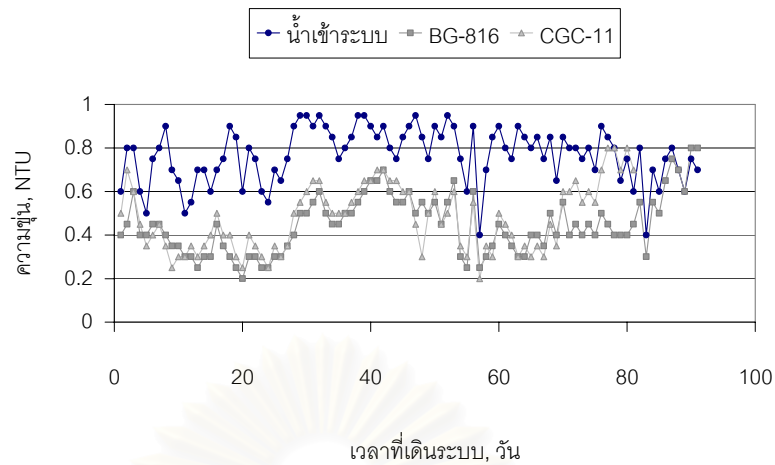
การทดลองชุดนี้ทำโดยใช้ระบบขนาดต้นแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตรจำนวน 2 คอลัมน์ ภายในบรรจุถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทย 1 คอลัมน์ และบรรจุถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตจากต่างประเทศอีก 1 คอลัมน์ ทั้ง 2 คอลัมน์มีความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด 1 เมตร ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองด้วยทรายแล้วมาเป็นน้ำเข้าระบบ และกำหนดเวลาสัมผัส 10 นาทีสามารถเดินระบบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน



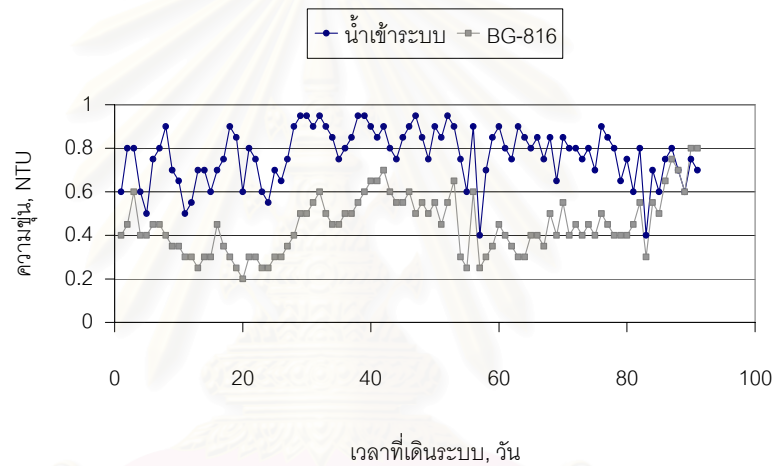
รูปที่ 4.11 ชุดทดลองการเดินระบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

4.3.1 การกำจัดความขุ่น

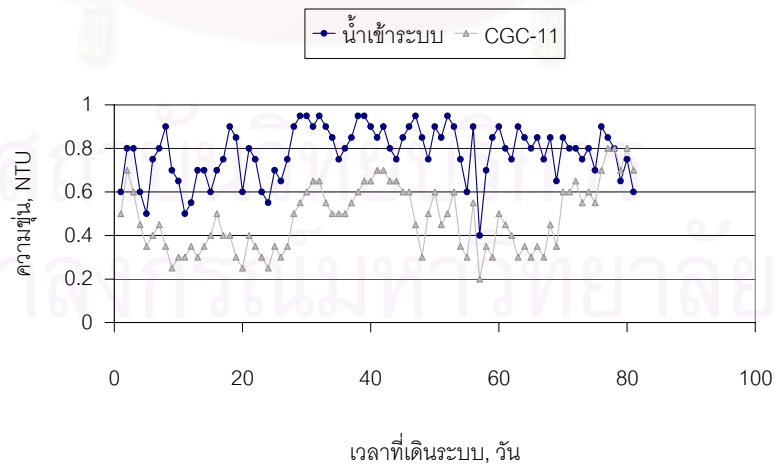
ดังที่กล่าวมาแล้วน้ำเข้าระบบเป็นน้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองด้วยทรายแล้วมาเป็นน้ำเข้าระบบ จึงทำให้น้ำมีความขุ่นอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมากนัก จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้งสองชนิดมีความสามารถในการกรองดักอนุภาคแขวนลอยในน้ำได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันเกือบตลอดการเดินระบบ โดยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 2 ชนิดมีร้อยละการกำจัดความขุ่นประมาณ 30-60 ซึ่งเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาให้มีอนุภาคแขวนลอยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาสัมผัสค่อนข้างสั้นเพียง 10 นาทีเท่านั้น



รูปที่ 4.12ก การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์

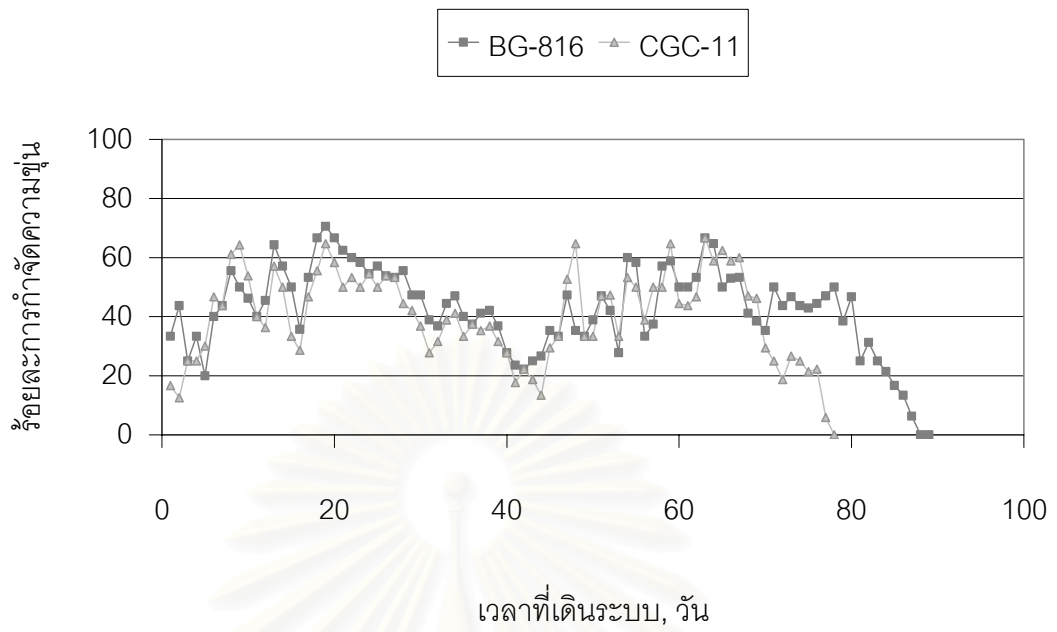


รูปที่ 4.12ข การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ BG-816

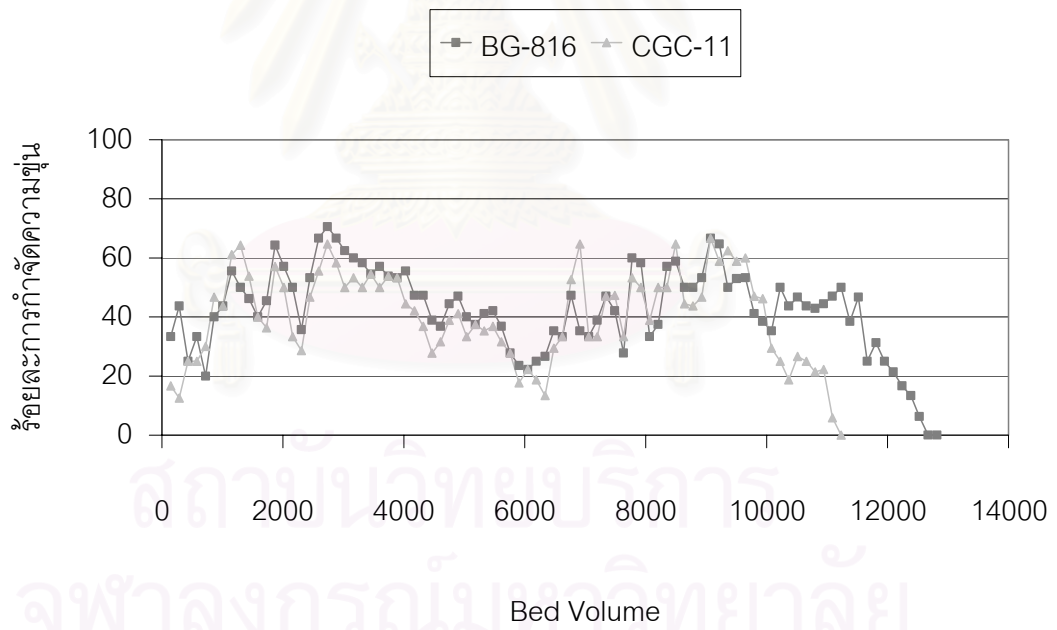


รูปที่ 4.12ค การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ CGC-11

รูปที่ 4.12 การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที



รูปที่ 4.13ก ร้อยละการกำจัดความขุ่นกับวันที่เดินระบบ

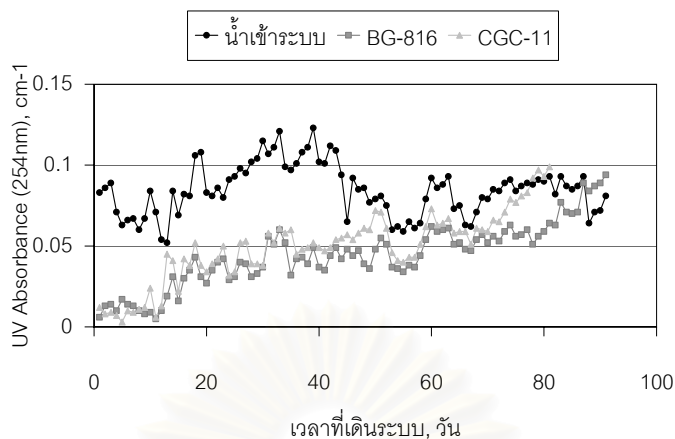


รูปที่ 4.13ข ร้อยละการกำจัดความขุ่นกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ

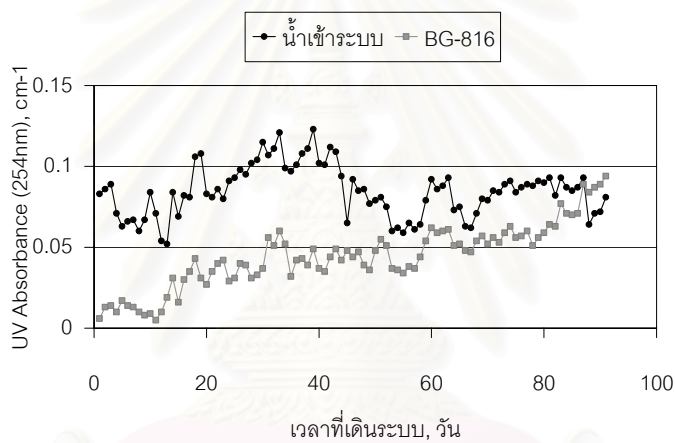
รูปที่ 4.13 ร้อยละการกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที

4.3.2 การกำจัด UV254

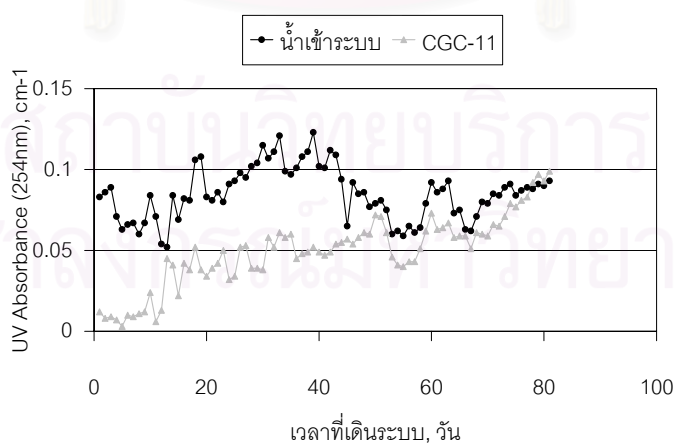
UV254 เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากค่า UV254 เป็นตัวแทนที่ดีมากในการวัดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ และสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane Precursors: THMP) Eaton (1995) ได้สรุปผลจากการใช้ค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตของสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อใช้เป็นวิธีมาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำ สารตั้งต้นที่ทำให้เกิดไตรฮาโลมีเทน และ สารที่ทำให้เกิดสาร DBPs ชนิดอื่นๆ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 2 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูป 4.15 แต่ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด BG-816 มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด CGC-11 พอสมควร กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด BG-816 มีค่าค่อนข้างสูง ในระยะเวลา 50 วันแรก มีร้อยละการกำจัด UV254 สูงกว่าร้อยละ 50 แต่พอผ่านช่วงวันที่ 50 ไปแล้วร้อยละการกำจัด UV254 ของถ่านจึงต่ำกว่าร้อยละ 50 ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดลดลงอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30-40 ไปจนถึงวันที่ 80 และไม่สามารถกำจัด UV254 ได้ในวันที่ 88 แนวโน้มใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ CGC-11 แต่แตกต่างกันตรงที่ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 ในช่วงระยะเวลา 40 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 มีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 แต่หลังจาก 40 วันไปแล้ว ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20-30 ไปจนถึงวันที่ 73 และไม่สามารถกำจัด UV254 ได้ในวันที่ 78 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำที่ผ่านกับค่า UV254 ของน้ำขาออกเท่ากับน้ำขาเข้า ดูได้จากรูปที่ 4.15 พบว่า ปริมาตรน้ำเข้าระบบที่ไหลผ่านจนกระทั่งไม่สามารถกำจัด UV254 ได้ของถ่านกัมมันต์ BG-816 และ CGC-11 เท่ากับ 12528 และ 11088 BV ตามลำดับ



รูปที่ 4.14ก การกำจัดค่า UV254 ของถ่านกัมมันต์

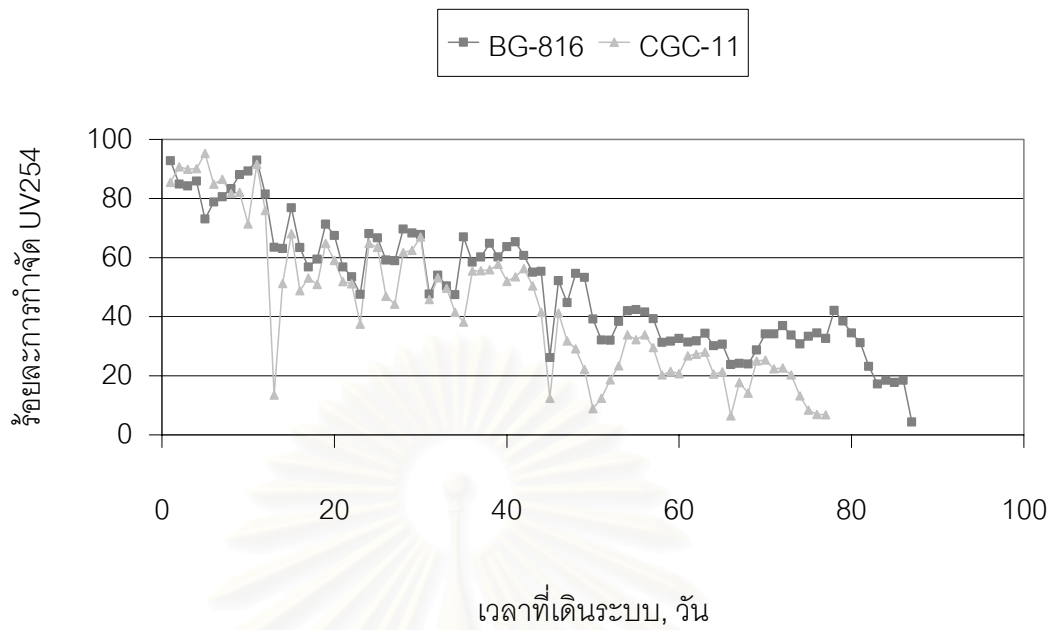


รูปที่ 4.14ข การกำจัดค่า UV254 ของถ่านกัมมันต์ BG-816

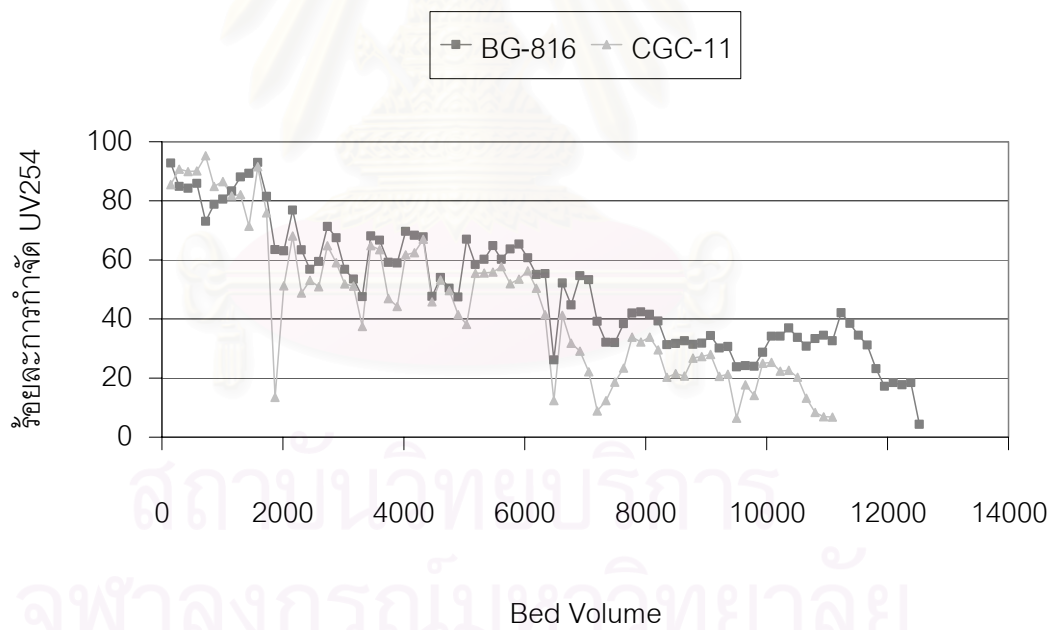


รูปที่ 4.14ค การกำจัดค่า UV254 ของถ่านกัมมันต์ CGC-11

รูปที่ 4.14 การกำจัดค่า UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที



รูปที่ 4.15ก ร้อยละการกำจัด UV254 กับวันที่เดินระบบ

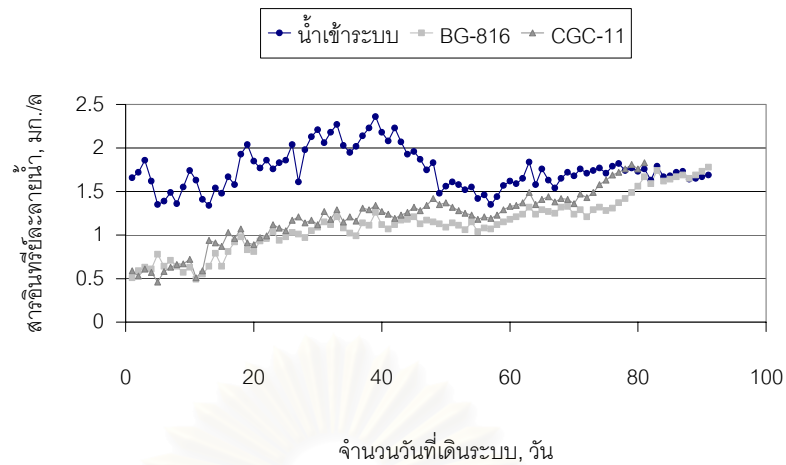


รูปที่ 4.15ข ร้อยละการกำจัด UV254 กับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ

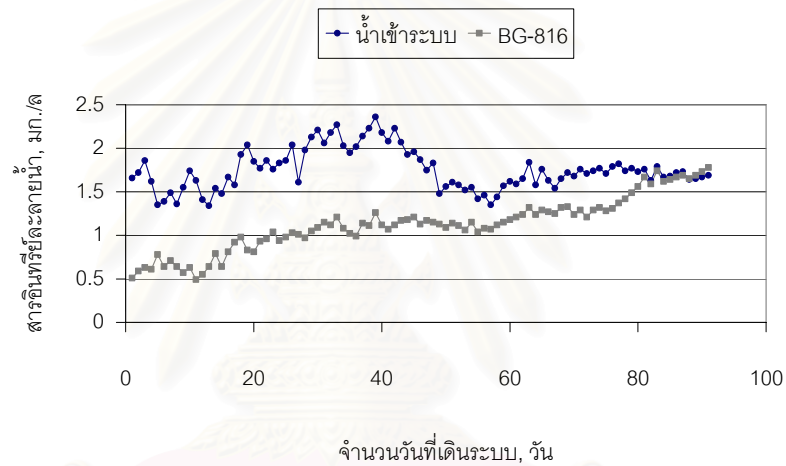
รูปที่ 4.15 ร้อยละการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที

4.3.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

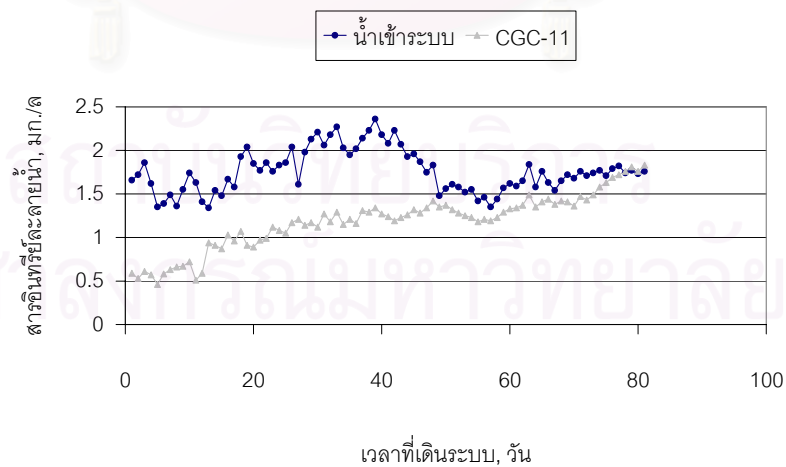
จากการทดลองพบว่าที่เวลาสัมผัส 10 นาที สามารถเดินระบบจนกระทั่งความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำจากออกเท่ากับน้ำขาเข้า ($C/Co = 1$) สำหรับถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด CGC-11 ที่ผลิตในประเทศไทย และถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด BG-816 ที่ผลิตในต่างประเทศเป็นระยะเวลา 78 และ 88 วันตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 2 ชนิดดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 พบว่า ในช่วงระยะเวลา 40 วันแรกถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด BG-816 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 ซึ่งมีค่าร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 เล็กน้อย แต่หลังจากผ่านวันที่ 40 ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดทั้ง 2 ชนิด ลดต่ำกว่าร้อยละ 40 และเมื่อผ่านช่วง 50 วันไปแล้ว ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 มีค่าร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเพียง 20-30 และลดต่ำลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ในวันที่ 78 ส่วนถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด BG-816 มีค่าร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเท่ากับ 30-40 และค่อยๆ ลดลง จนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ในวันที่ 88 ผลการเดินระบบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีของ UV254 แสดงให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำกับ UV254 ตามช่วงเวลาในการบำบัดซึ่งจะนำมาศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำกับ UV254 ในหัวข้อต่อไป จากรูปที่ 4.19 แสดงค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ BG-816 และ CGC-11 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1032.48 และ 842.76 กรัม โดยที่ปริมาณน้ำเข้าระบบที่ไหลผ่านระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ BG-816 และ CGC-11 จนกระทั่งไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้เท่ากับ 12528 และ 11088 BV ตามลำดับตามลำดับ



รูปที่ 4.16ก การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์

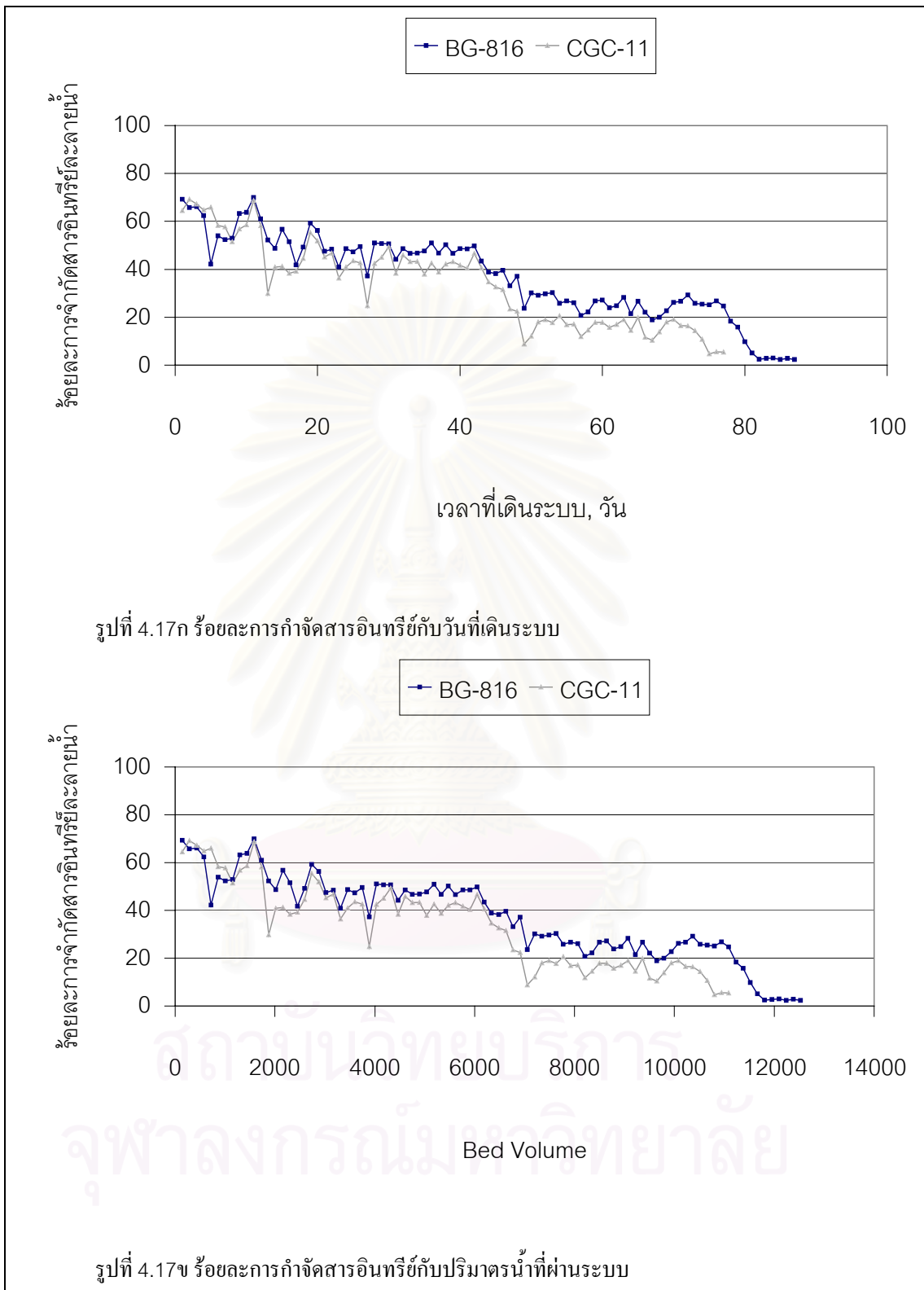


รูปที่ 4.16ข การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ BG-816

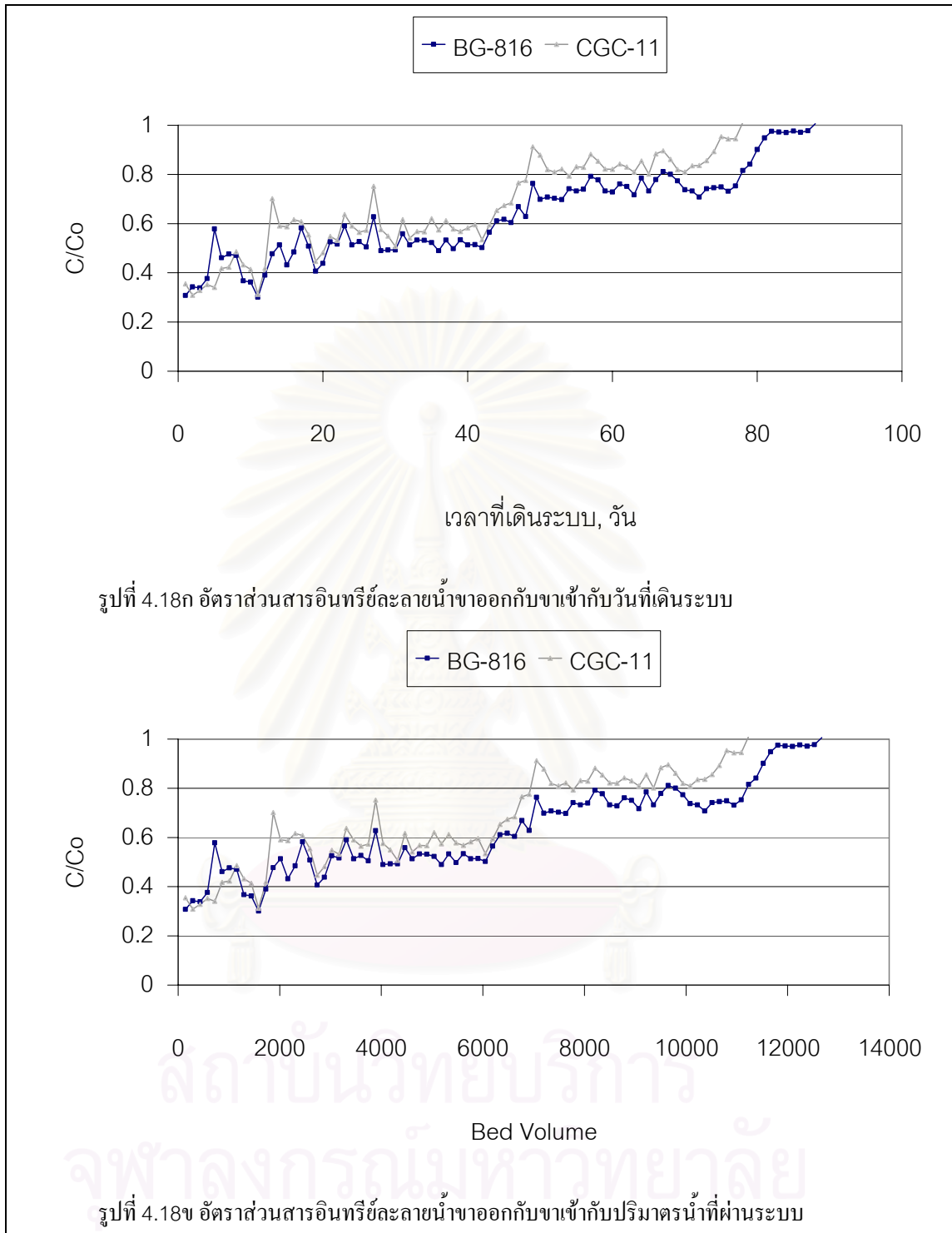


รูปที่ 4.16ค การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ CGC-11

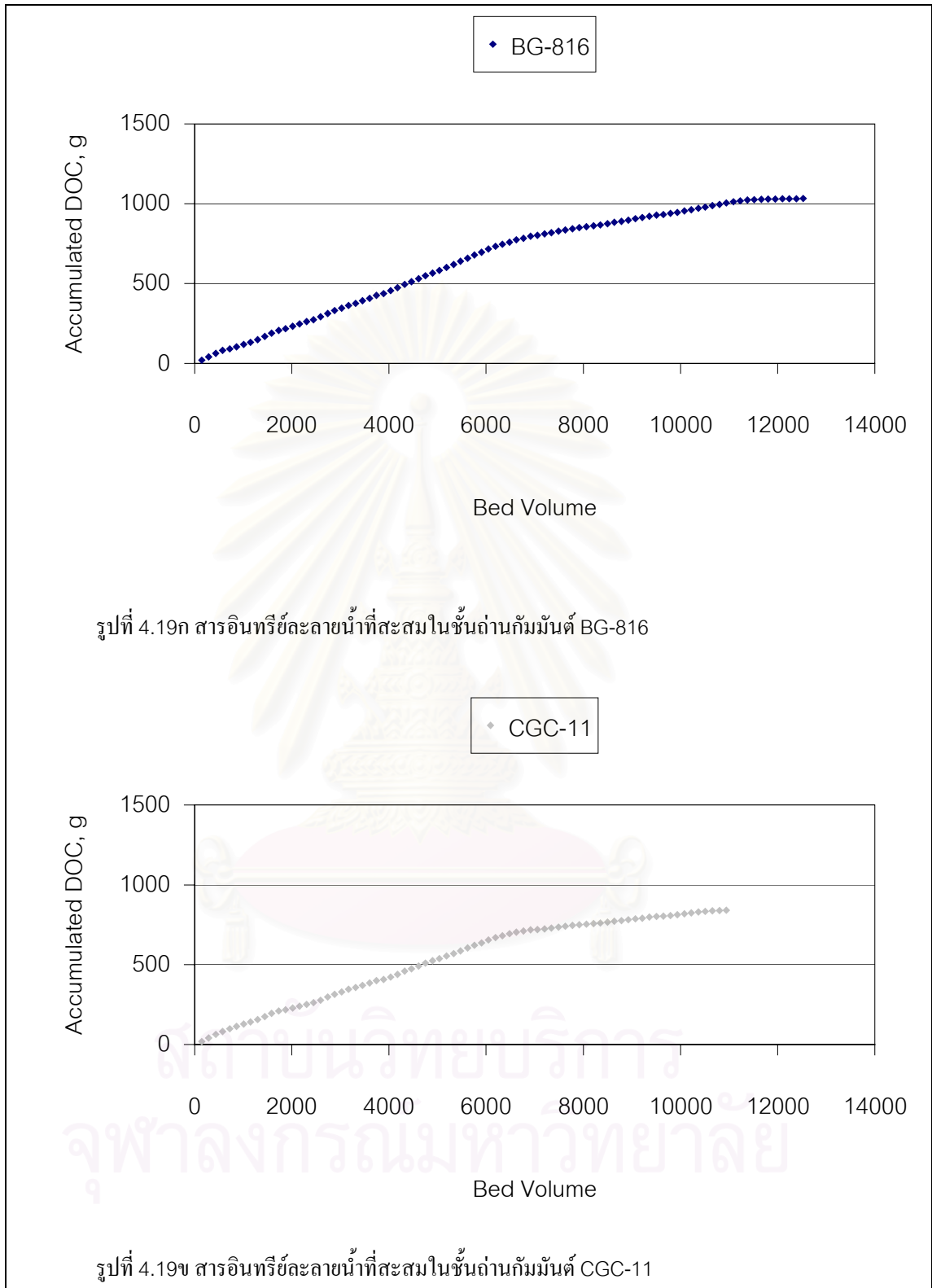
รูปที่ 4.16 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที



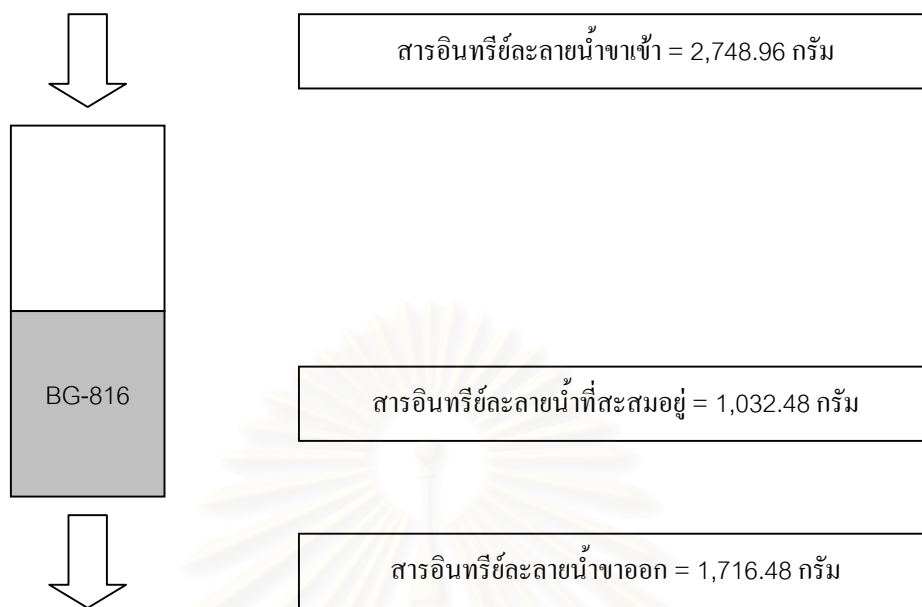
รูปที่ 4.17 ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที



รูปที่ 4.18 อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำจากอกกับขาเข้าของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที



รูปที่ 4.19 สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.20ก Mass Balance ในระบบของถ่านกัมมันต์ BG-816



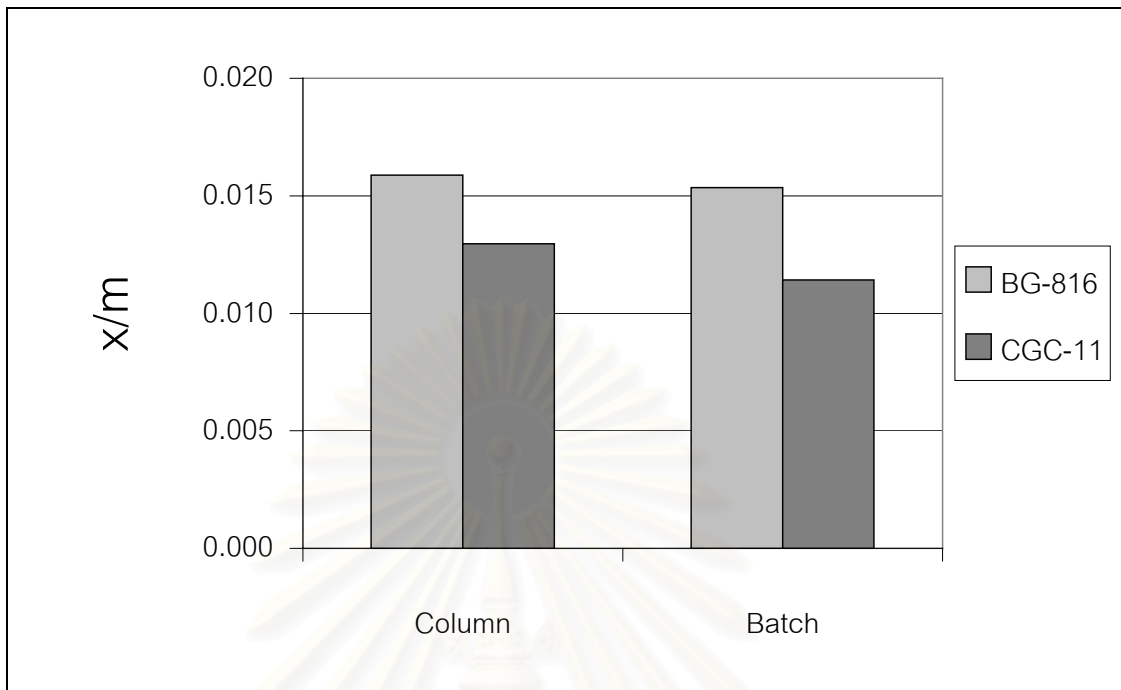
รูปที่ 4.20ข Mass Balance ในระบบของถ่านกัมมันต์ CGC-11

รูปที่ 4.20 Mass Balance ในของถ่านกัมมันต์ในระบบขนาดต้นแบบในการทดลองชุดที่ 1

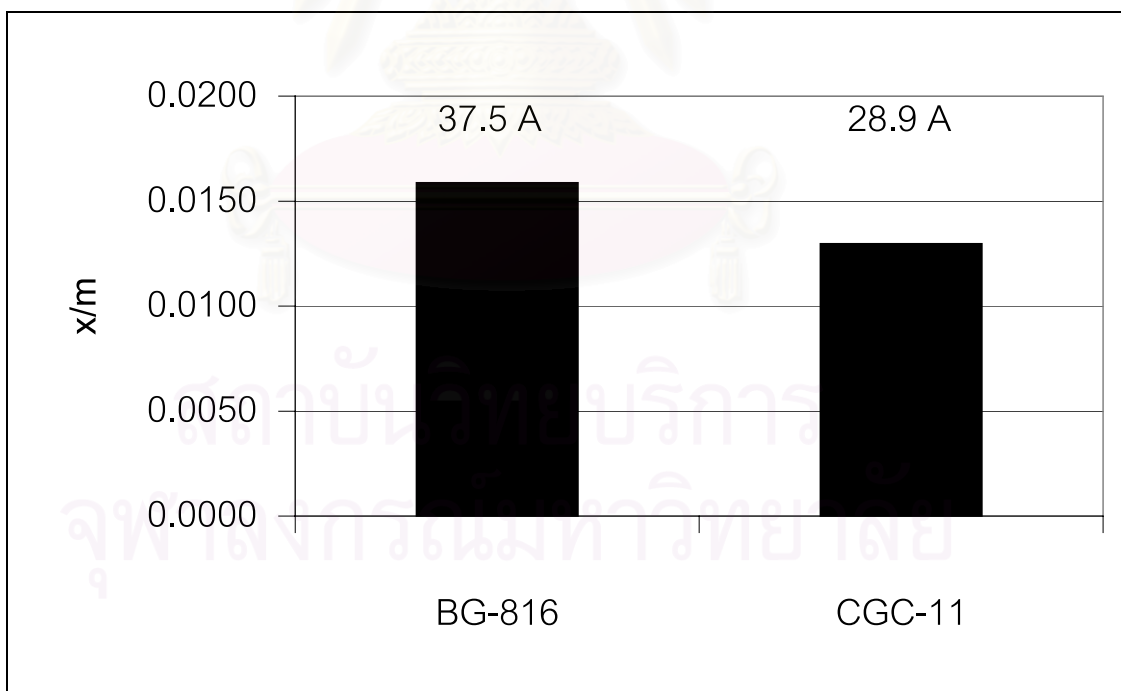
จากรูปที่ 4.21 แสดงถึงค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ พบว่าค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในการเดินระบบขนาดต้นแบบมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองทำไอโซเทอมเล็กน้อย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะความแตกต่างกันในกลไกการดูดซับ คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารอินทรีย์ละลายน้ำ และความปั่นป่วน กล่าวคือ กลไกการดูดซับในการเดินระบบขนาดต้นแบบการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นแบบเดียวกับการกรองโดยโมเลกุลเคลื่อนที่แพร่กระจายแบบบราวเนียน (Brownian Diffusion) ต่างจากกลไกการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในการทดลองทำไอโซเทอมซึ่งเกิดขึ้นจากการกวนทำให้เกิดความปั่นป่วน ซึ่งความปั่นป่วนนี้มีผลต่อการเคลื่อนตัวของโมเลกุลสารอินทรีย์ละลายน้ำแทรกผ่านฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบถ่านกัมมันต์ (Film Diffusion) และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารอินทรีย์ละลายน้ำแทรกเข้าไปในช่องว่างภายในของถ่านกัมมันต์ (Pore Diffusion) อาจเป็นไปได้ว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดซึ่งโดยทั่วไปออกแบบให้ใช้งานด้านการกรอง และอาจจะเป็นเพราะว่าการทดลองทำไอโซเทอมความเข้มข้นของสารถูกดูดซับมีค่าจำกัดซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์มีค่าไม่สูงมากนักแตกต่างกับการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบซึ่งปริมาณสารถูกดูดซับเข้าสู่ระบบมากทำให้ไม่เป็นข้อจำกัดค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์จึงมีค่ามากกว่า และถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในระบบที่ให้น้ำไหลผ่านมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดพบว่าค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ BG-816 สูงกว่า CGC-11 ทั้ง 2 การทดลองพอสมควร และเมื่อพิจารณาความสามารถ และประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดในแง่ การกำจัดความขุ่น การกำจัดค่า UV254 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ปริมาณน้ำที่สามารถบำบัดได้ และ ค่าสารอินทรีย์ละลายที่สะสมในชั้นถ่าน จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ BG-816 มีประสิทธิภาพดีกว่า CGC-11 เพียงเล็กน้อย เพราะฉะนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศเพราะราคาถูกกว่าและประสิทธิภาพใกล้เคียงกับของที่ผลิตในต่างประเทศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.22 แสดงค่าความเข้มข้นของสารถูกดูดซับต่อความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในการเดินระบบขนาดต้นแบบเทียบกับ Pore size ของถ่านกัมมันต์

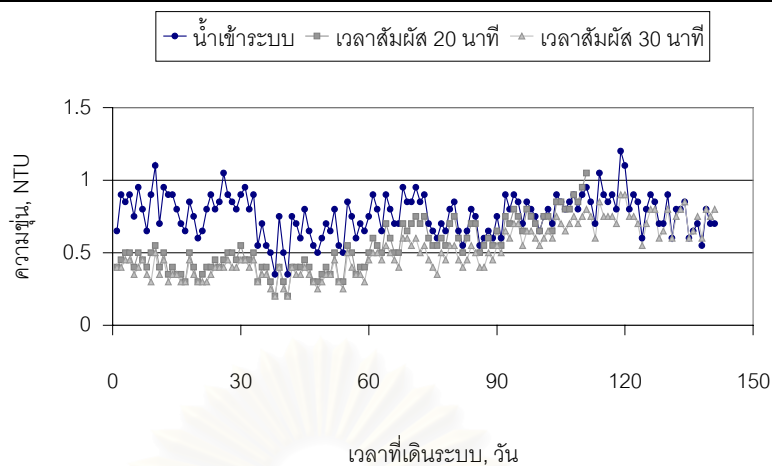
4.4 ผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดด้วยเวลาสัมผัสต่างๆ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในระบบขนาดต้นแบบ

การทดลองชุดนี้ทำโดยใช้ระบบขนาดต้นแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร จำนวน 2 คอลัมน์ ภายในบรรจุถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ผลิตในประเทศไทยชนิด CGC-11 ทั้ง 2 คอลัมน์ มีความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด 1 เมตร ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองด้วยทรายแล้วมาเป็นน้ำเข้าระบบ และกำหนดเวลาสัมผัสแตกต่างกัน 2 ค่าคือ 20 นาที และ 30 นาที สามารถเดินระบบเป็นระยะเวลาประมาณ 4 เดือน

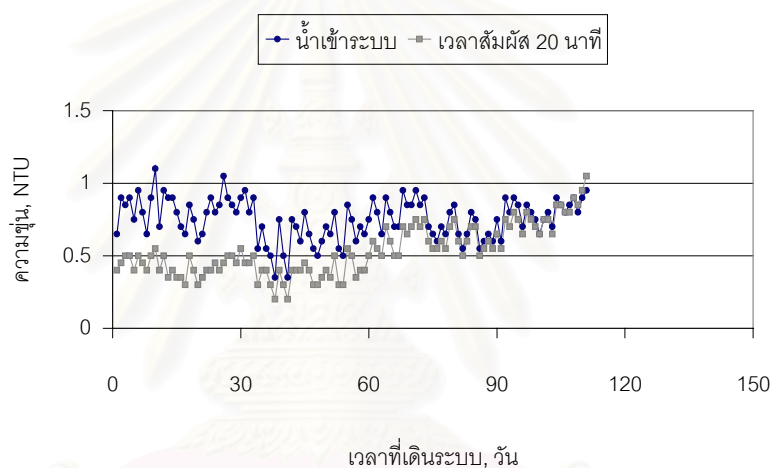
4.4.1 การกำจัดความขุ่น

จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 มีความสามารถในการกรองดักอนุภาคแขวนลอยในน้ำได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.23 และจากรูปที่ 4.24ก แสดงถึงความสามารถในการกำจัดความขุ่นที่เวลาสัมผัสทั้งสองมีความใกล้เคียงกันมากในช่วงระยะเวลา 60 วันแรกของการเดินระบบ โดยมีความสามารถกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วงร้อยละ 30-60 แต่หลังจากวันที่ 60 ไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาทีลดลงอย่างรวดเร็ว จนไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้อีกในวันที่ 108 แตกต่างกับระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากผ่าน 60 วันแรกไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ อยู่ในช่วงร้อยละ 30-40 จนถึงประมาณช่วงวันที่ 90 ของการเดินระบบ และอยู่ในช่วงร้อยละ 20-30 จนถึงประมาณช่วงวันที่ 120 ของการเดินระบบและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 30 นาทีลดลงจนไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้อีกในวันที่ 136

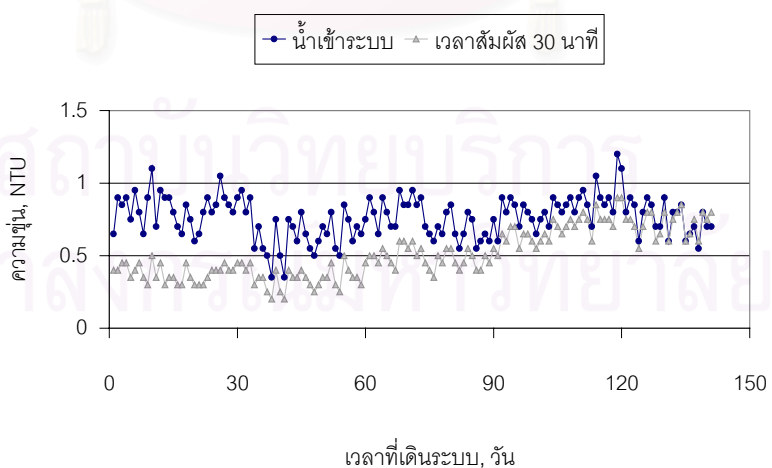
แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.24ข แสดงถึงความสามารถในการกำจัดความขุ่นเทียบกับปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบที่เวลาสัมผัสทั้งสอง พบว่าความสามารถในการกำจัดความขุ่นที่เวลาสัมผัส 20 นาที และเวลาสัมผัส 30 นาทีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พอหลังจากผ่านช่วง 4000 BV ไปแล้วที่เวลาสัมผัส 20 นาทีมีความสามารถในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าเล็กน้อย และปริมาตรน้ำเข้าระบบที่ไหลผ่านระบบที่เวลาสัมผัส 20 จนกระทั่งไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าที่เวลาสัมผัส 30 นาทีโดยเท่ากับ 7776 และ 6528 BV ตามลำดับ



รูปที่ 4.23ก การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์

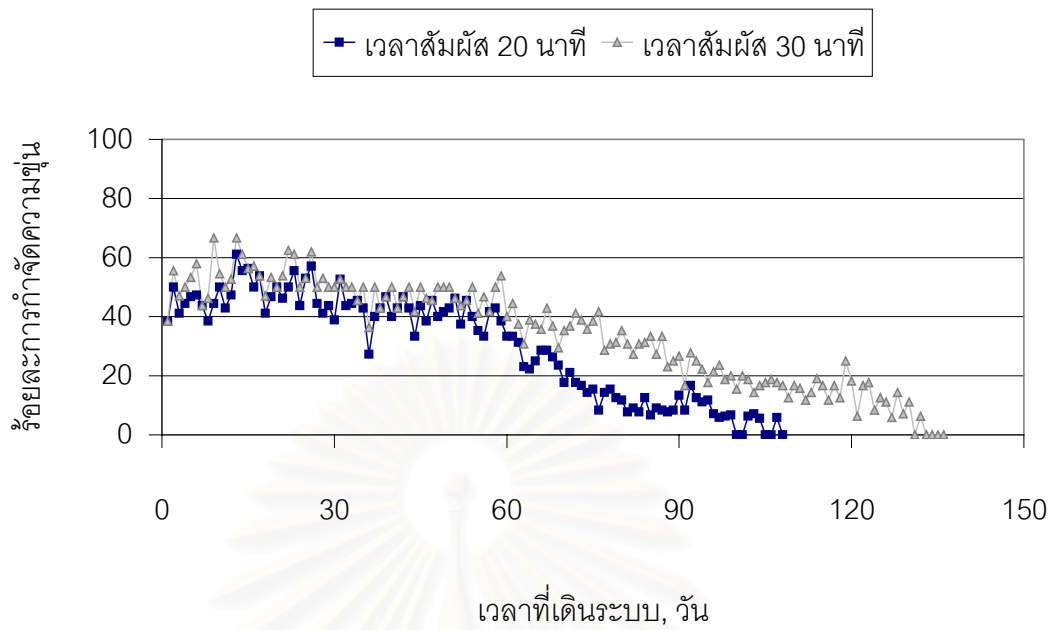


รูปที่ 4.23ข การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 20 นาที

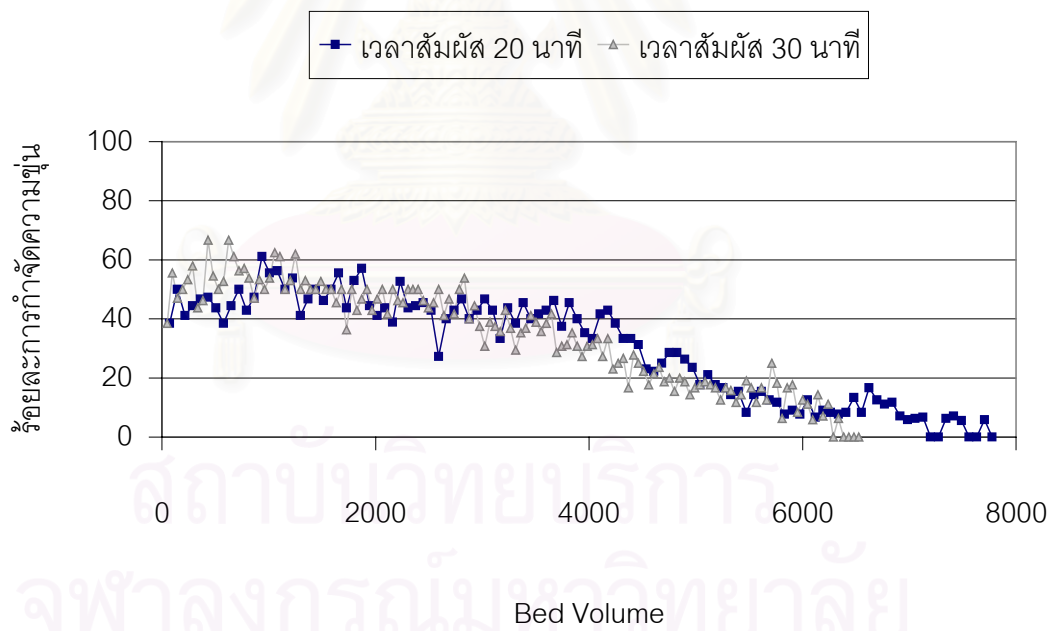


รูปที่ 4.23ค การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 30 นาที

รูปที่ 4.23 การกำจัดความขุ่นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.24ก ร้อยละการกำจัดความชุ่มชื้นกับวันที่เดินระบบ



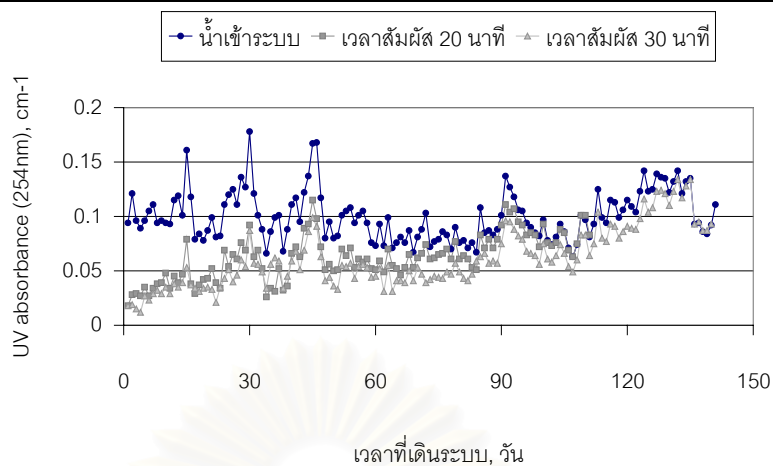
รูปที่ 4.24ข ร้อยละการกำจัดความชุ่มชื้นกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ

รูปที่ 4.24 ร้อยละการกำจัดความชุ่มชื้นของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

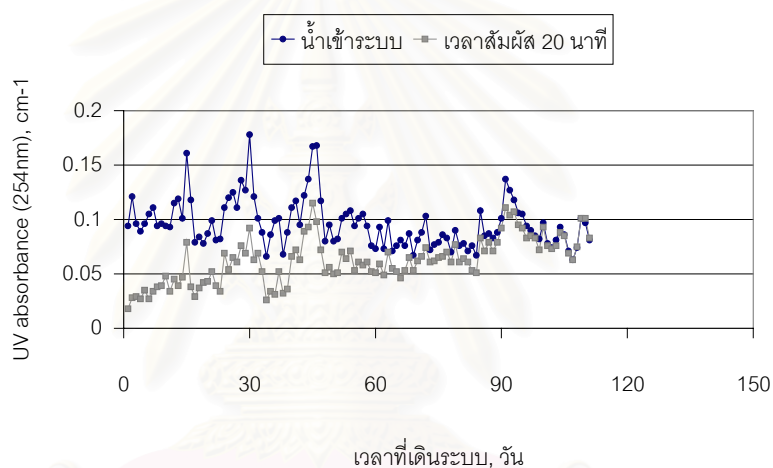
4.4.2 การกำจัด UV254

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 เทียบกับเวลาที่เดินระบบของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 และเวลาสัมผัส 30 นาทีที่มีค่าใกล้เคียงกัน ดังที่แสดงในรูป 4.25 และ 4.26 โดยระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 30 นาทีมีประสิทธิภาพการกำจัด UV254 สูงกว่าระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาทีเล็กน้อย โดยในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ 30 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีที่มีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 50 แต่พอหลังจากวันที่ 30 ไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาทีก็ค่อยๆ ลดลงจนไม่สามารถกำจัด UV254 ได้ในวันที่ 107 หลังจากเดินระบบ แตกต่างกับระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 30 นาทีที่ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 หลังจาก 30 วันแรกไปแล้วยังอยู่ในช่วงร้อยละการกำจัดที่ 40-50 ไปจนถึงวันที่ 90 และอยู่ในช่วงร้อยละการกำจัดที่ 40-50 ไปจนถึงวันที่ 120 และหลังจากวันที่ 120 ไปแล้วประสิทธิภาพลดลงจนไม่สามารถกำจัด UV254 ได้ในวันที่ 136 หลังจากเดินระบบ

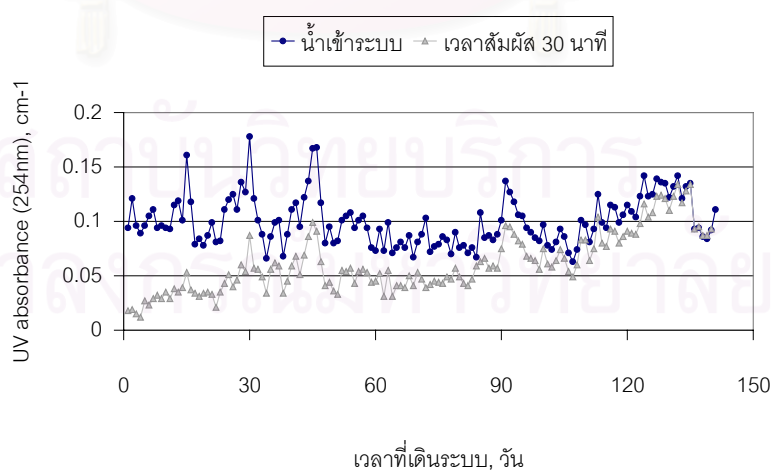
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.26 แสดงถึงความสามารถในการกำจัด UV254 เทียบกับปริมาณน้ำที่ผ่านเข้าระบบที่เวลาสัมผัสทั้งสองค่า พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV254 ที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่ามีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเดินระบบ กล่าวคือในช่วงที่ปริมาณน้ำเข้าระบบไม่เกิน 1500 BV ประสิทธิภาพการกำจัด UV254 อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 แต่เมื่อผ่านช่วงที่ปริมาณน้ำเข้าระบบเกิน 4000 BV ไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 20-40 ไปจนช่วงที่ปริมาณน้ำเข้าระบบยังไม่เกิน 6000 BV และเมื่อเดินระบบผ่านช่วงที่ 6000 BV ไปแล้วความสามารถการกำจัด UV254 ลดลงจนไม่สามารถกำจัด UV254 ได้อีก โดยที่ปริมาณน้ำเข้าระบบที่ไหลผ่านระบบที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีจนกระทั่งไม่สามารถกำจัด UV254 ได้เท่ากับ 7704 และ 6528 BV ตามลำดับ



รูปที่ 4.25ก การกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์

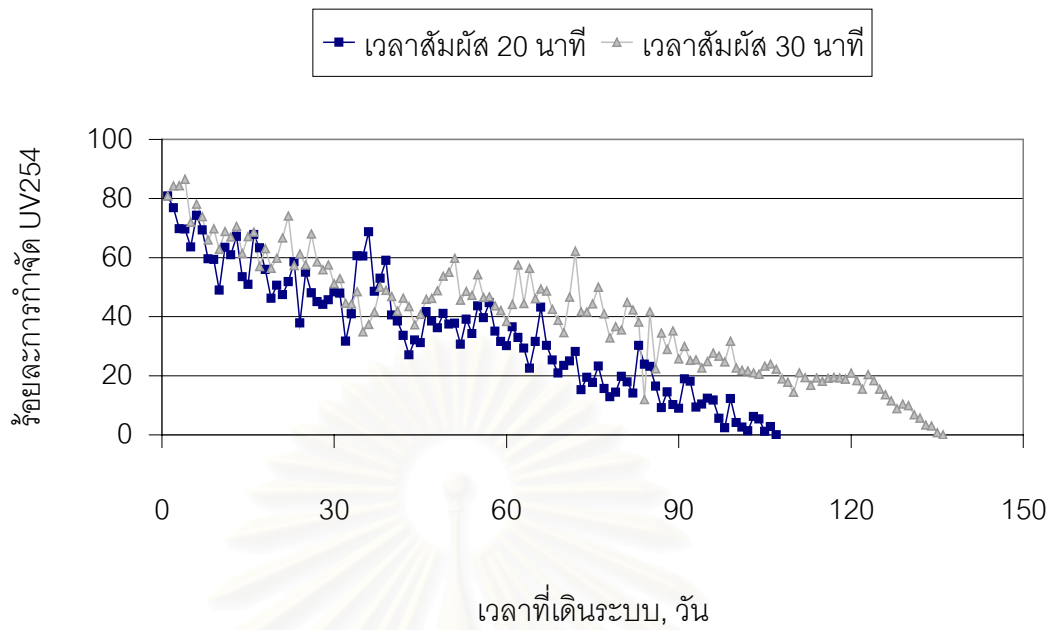


รูปที่ 4.25ข การกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 20 นาที

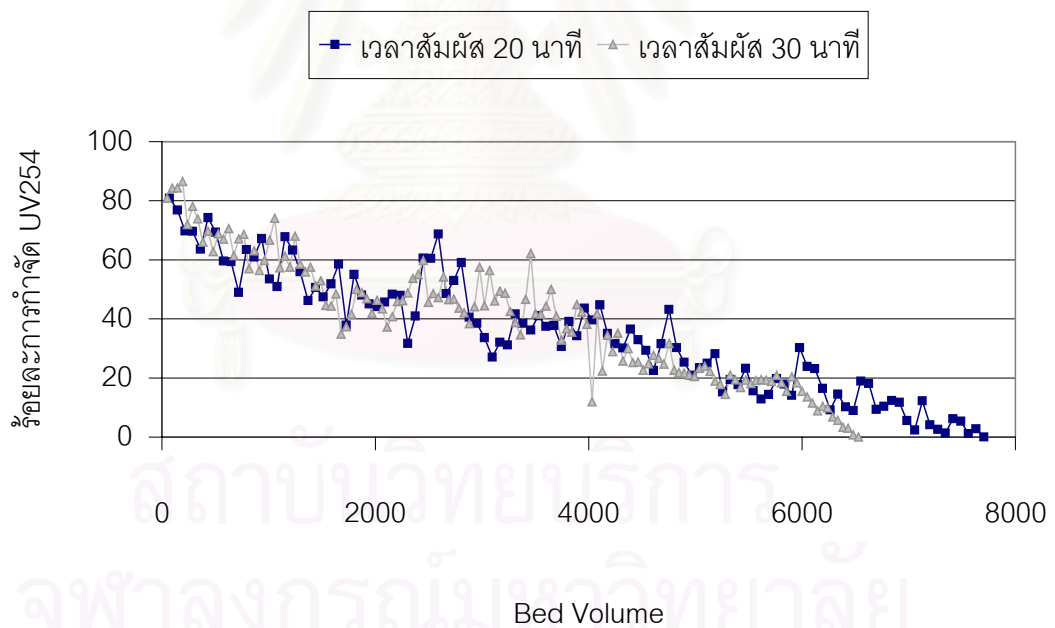


รูปที่ 4.25ค การกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ ที่เวลาสัมผัส 30 นาที

รูปที่ 4.25 การกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.26ก ร้อยละการกำจัด UV254 กับวันที่เดินระบบ



รูปที่ 4.26ข ร้อยละการกำจัด UV254 กับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ

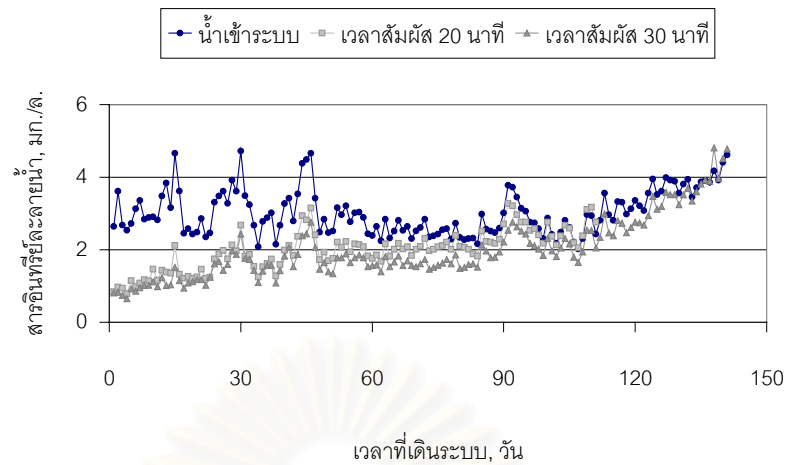
รูปที่ 4.26 ร้อยละการกำจัด UV254 ของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

4.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

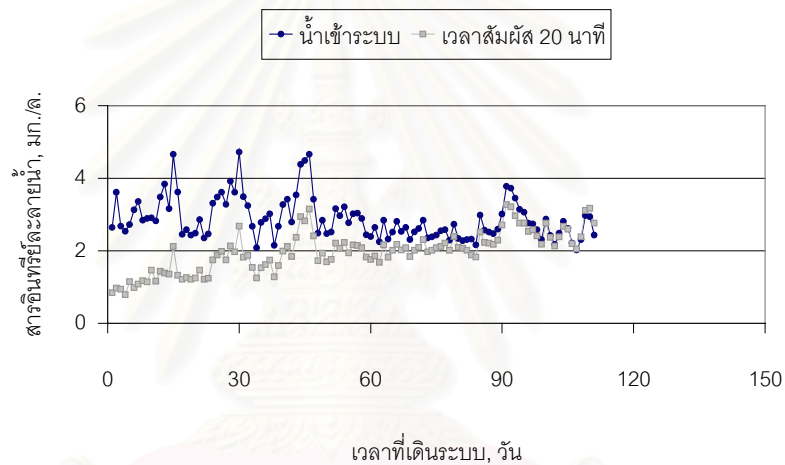
จากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดชนิด CGC-11 ที่ผลิตในประเทศไทยสามารถเดินระบบจนกระทั่งความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำขาออกเท่ากับน้ำขาเข้า ($C/C_0 = 1$) ที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีเป็นระยะเวลา 106 และ 135 วันตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.29g และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่าดังที่แสดงในรูปที่ 4.28g พบว่า ในช่วง 40 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่เวลาสัมผัส 30 นาทีมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าเล็กน้อยแต่พอหลังจาก 40 วันแรกไปแล้วประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่ามีค่าแตกต่างกันมากขึ้นโดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกลับลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยประมาณ และลดลงจนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้อีกในวันที่ 106 ของการเดินระบบ ส่วนที่เวลาสัมผัส 30 นาทีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20-40 ไปจนถึงวันที่ 100 ของการเดินระบบและ ลดลงจนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้อีกในวันที่ 135 ของการเดินระบบ

เมื่อพิจารณาในด้านปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบจากรูปที่ 4.28x แสดงร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์เทียบกับปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของระบบที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่ามีค่าใกล้เคียงกันกล่าวคือในช่วงปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบไม่เกิน 1000 BV มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำสูงกว่าร้อยละ 50 และลดลงเหลืออยู่ที่ประมาณร้อยละ 30-40 เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบเกิน 3000 BV ไปแล้วและลดต่ำกว่าร้อยละ 20 เมื่อเดินระบบผ่านช่วง 5000 BV ไปแล้วและระบบไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้อีกเมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบเท่ากับ 6480 BV และ 7632 BV สำหรับระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 และเวลาสัมผัส 30 นาทีตามลำดับ

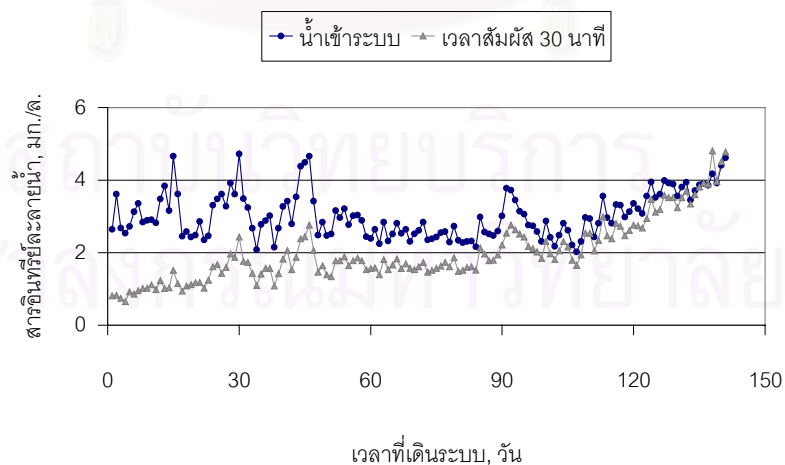
จากผลการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์โดยดูจากค่ามวลของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านของเวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีเท่ากับ 0.0139 และ 0.0134 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำที่ผ่านเข้าระบบจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะที่เวลาสัมผัส 20 นาทีเพียงพอที่จะทำให้เกิดกลไกการดูดติดผิว ดังที่แสดงในรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าร้อยละการกำจัดของเวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันเกือบตลอดเวลาที่เดินระบบ



รูปที่ 4.27ก การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์

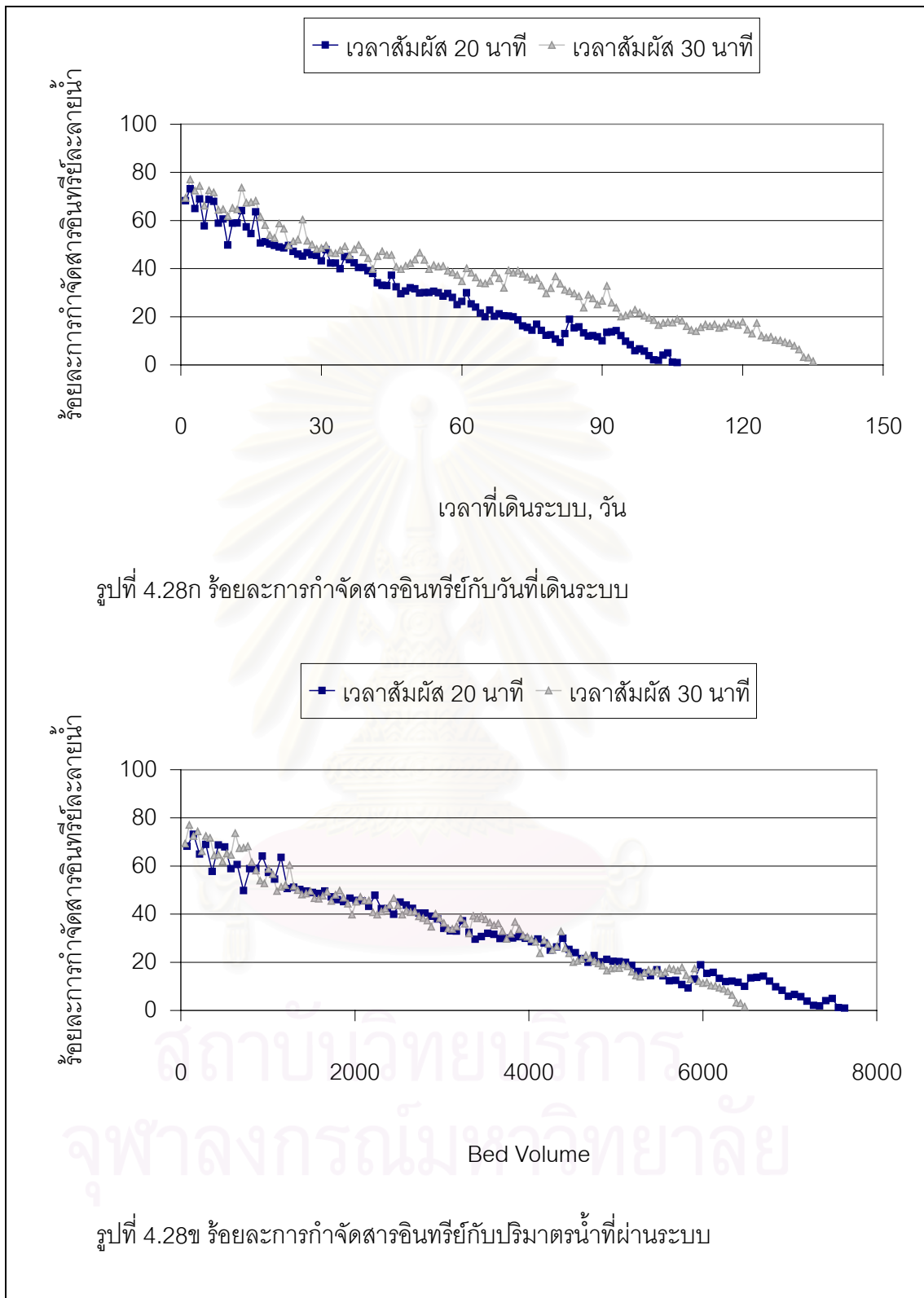


รูปที่ 4.27ข การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสด 20 นาที



รูปที่ 4.27ค การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสด 30 นาที

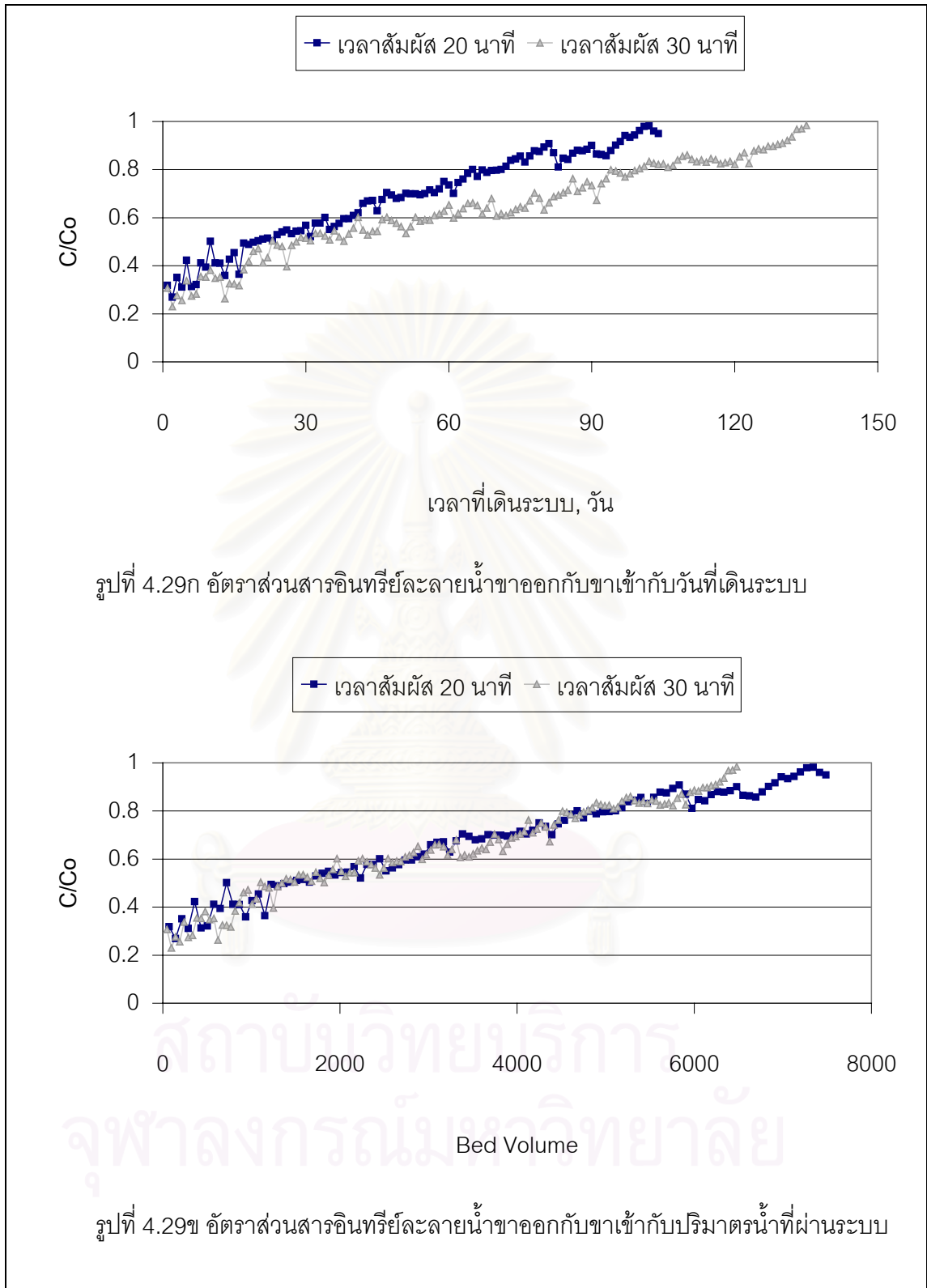
รูปที่ 4.27 การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสดต่างๆ



รูปที่ 4.28ก ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์กับวันที่เดินระบบ

รูปที่ 4.28ข ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์กับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ

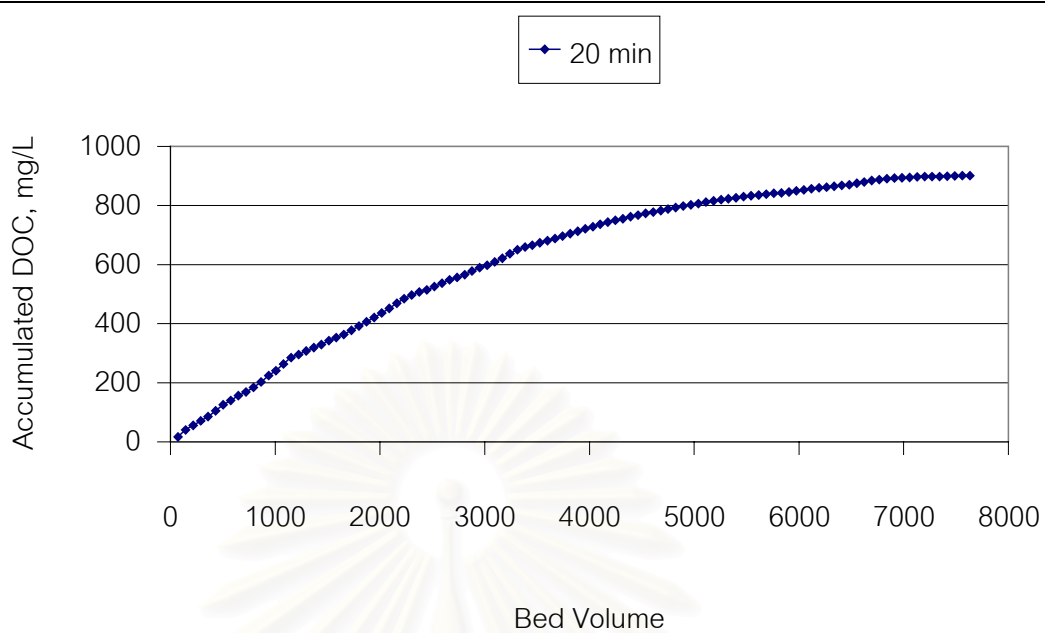
รูปที่ 4.28 ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



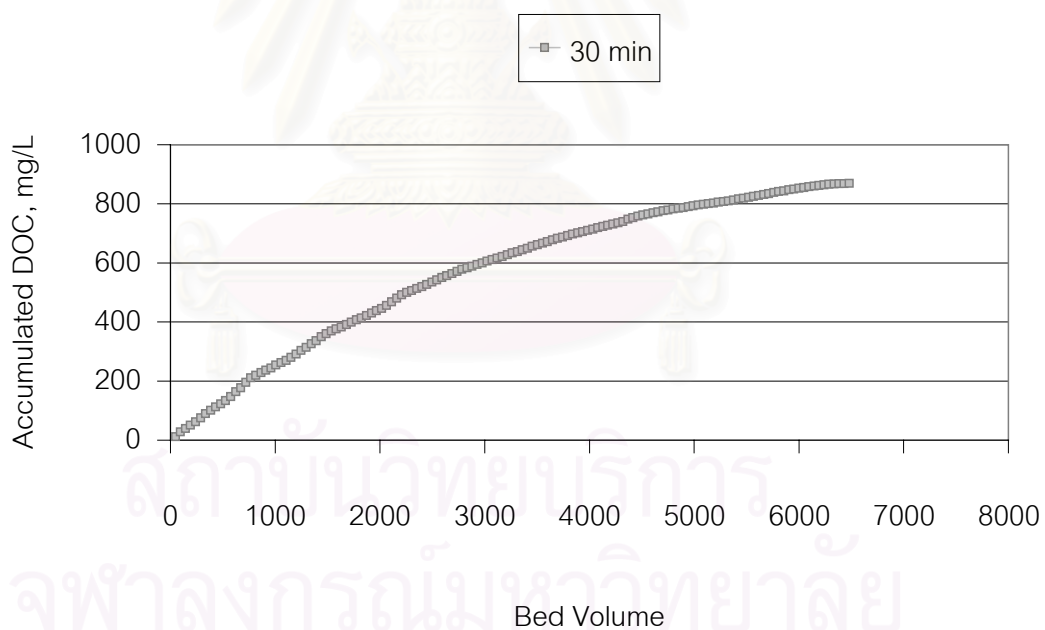
รูปที่ 4.29ก อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ออกกับขาเข้ากับวันที่เดินระบบ

รูปที่ 4.29ข อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ออกกับขาเข้ากับปริมาตรน้ำที่ผ่านระบบ

รูปที่ 4.29 อัตราส่วนสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ออกกับขาเข้าของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 10 นาที

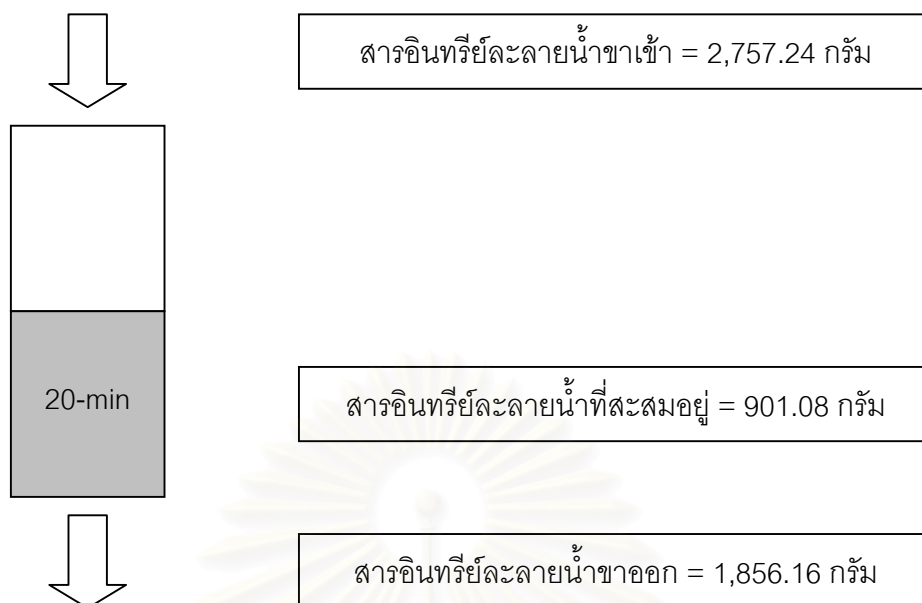


รูปที่ 4.30ก สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 20 นาที

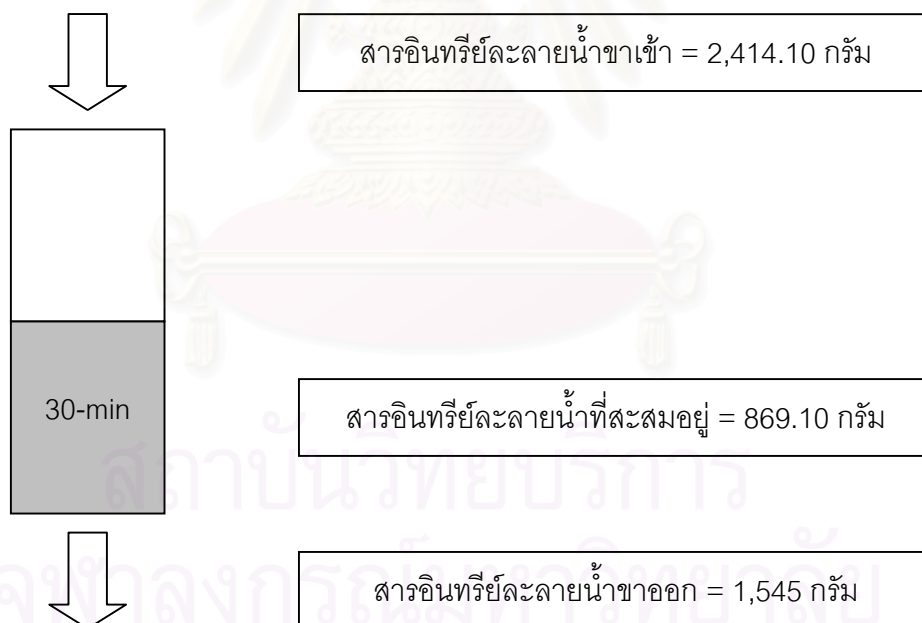


รูปที่ 4.30ข สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัส 30 นาที

รูปที่ 4.30 สารอินทรีย์ละลายน้ำที่สะสมในชั้นถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.31ก Mass Balance ในระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาที



รูปที่ 4.31ข Mass Balance ในระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 30 นาที

รูปที่ 4.31 Mass Balance ในระบบขนาดต้นแบบในการทดลองชุดที่ 2

4.5 ผลการศึกษาการลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคเปรียบเทียบระหว่างน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ

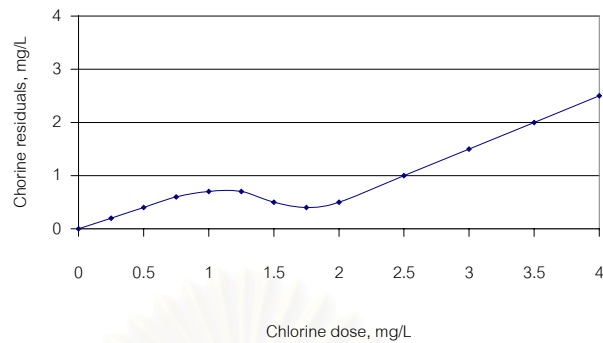
ทำการทดลองโดยนำน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัสแตกต่างกัน 2 ค่าคือ 20 และ 30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodiumhypochlorites) เป็นสารฆ่าเชื้อโรค

ผลจากการทดลองเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านระบบแล้ว 14, 29, 44, 60 และ 90 วัน ผลที่ได้คือน้ำที่ผ่านระบบสามารถลดความต้องการคลอรีนได้พอสมควร ดังที่แสดงในตารางที่ 4.5 โดยที่ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อทำให้น้ำมีค่าคลอรีนอิสระเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สาเหตุที่ต้องควบคุมค่าคลอรีนอิสระไว้เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะว่าเป็นค่าที่การประปาควบคุมให้น้ำมีค่าคลอรีนอิสระไว้เพื่อให้มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะเข้ามาในระบบท่อจ่ายน้ำประปាក่อนที่จะถึงบ้านเรือนผู้ใช้น้ำประปา

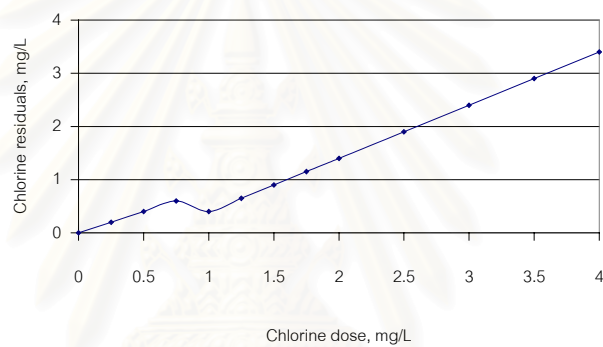
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อทำให้น้ำมีค่าคลอรีนอิสระเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

วันที่	ปริมาณคลอรีนที่ใช้, มิลลิกรัมต่อลิตร		
	น้ำเข้าระบบ	เวลาสัมผัส 20 นาที	เวลาสัมผัส 30 นาที
14	2.90	2.00	2.00
29	3.10	2.25	2.05
44	3.50	2.60	2.50
60	2.80	2.20	2.10
90	2.90	2.80	2.60

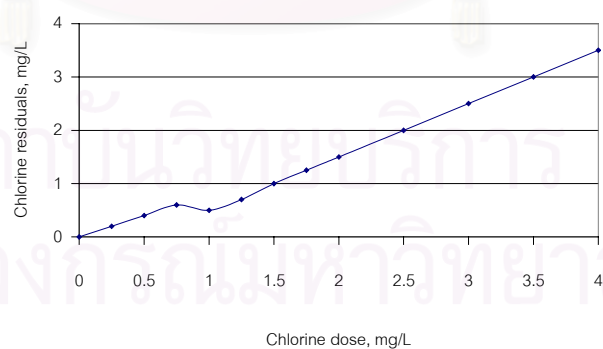
จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่เวลาสัมผัสทั้ง 2 ค่าสามารถลดความต้องการคลอรีนได้โดยที่ในช่วงวันแรกๆ ของการเดินระบบสามารถลดความต้องการคลอรีนได้ประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เป็นเพราะระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำมีผลต่อปริมาณคลอรีนที่ใช้ ในรูปที่ 4.32-4.36 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำหลังจากเดินระบบไปแล้วที่เวลาต่างๆกัน



รูปที่ 4.32ก แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 14 วัน

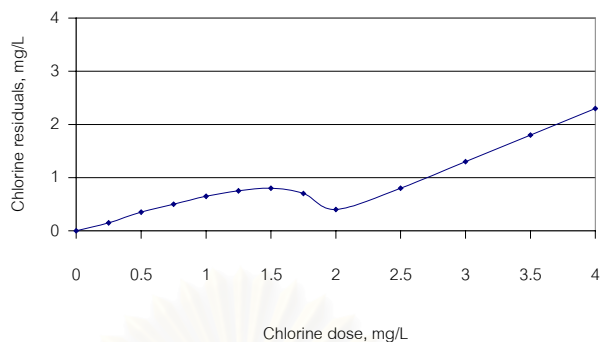


รูปที่ 4.32ข แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 14 วัน

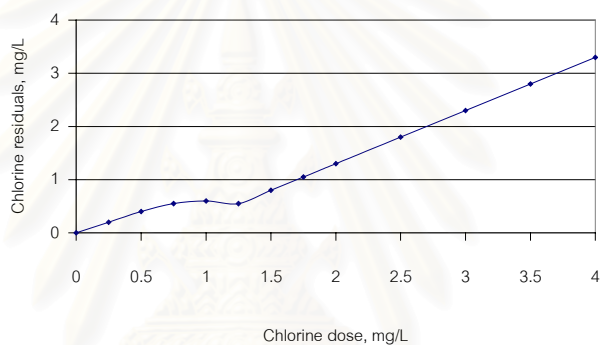


รูปที่ 4.32ค แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 14 วัน

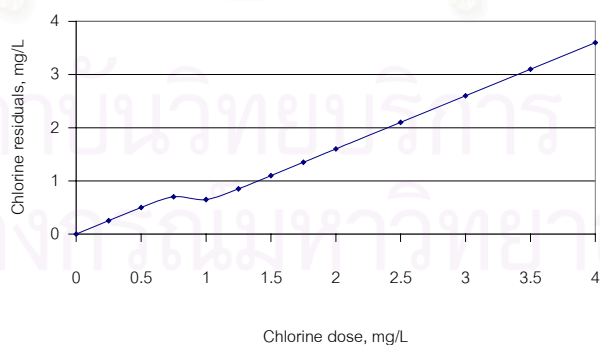
รูปที่ 4.32 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 14 วัน



รูปที่ 4.33ก แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 29 วัน

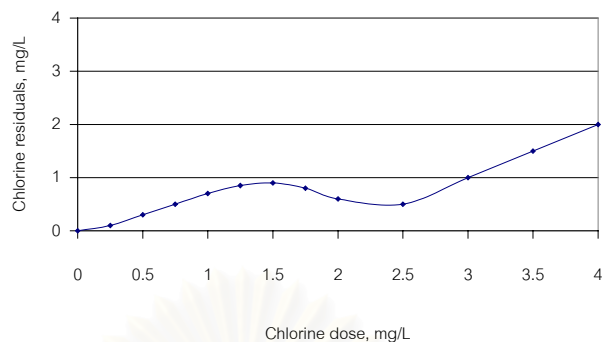


รูปที่ 4.33ข แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 29 วัน

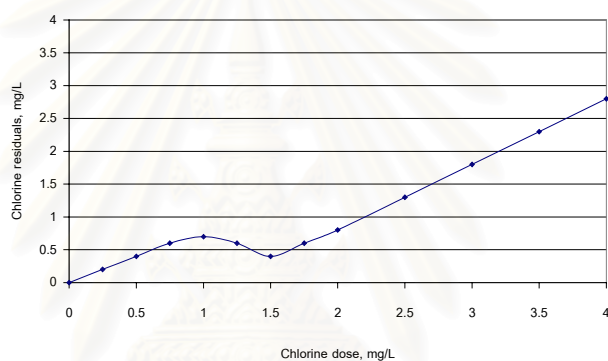


รูปที่ 4.33ค แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 29 วัน

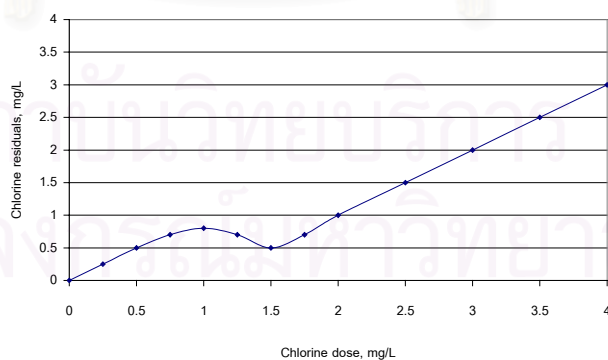
รูปที่ 4.33 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 29 วัน



รูปที่ 4.34ก แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 44 วัน

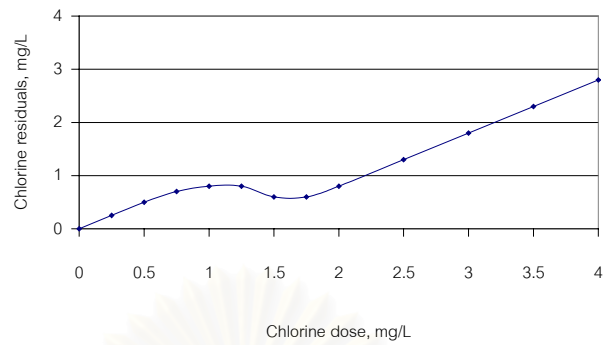


รูปที่ 4.34ข แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 44 วัน

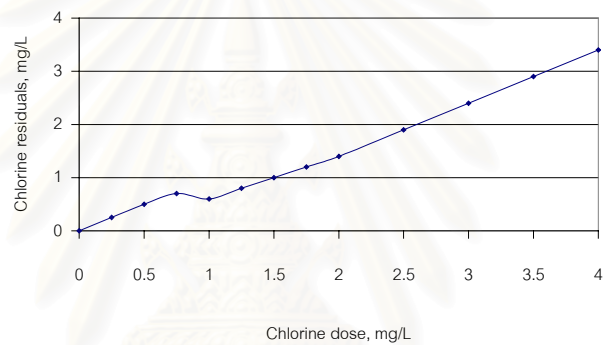


รูปที่ 4.34ค แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 44 วัน

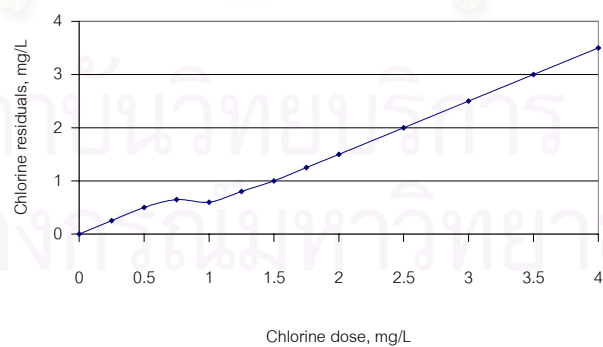
รูปที่ 4.34 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 44 วัน



รูปที่ 4.35ก แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 60 วัน

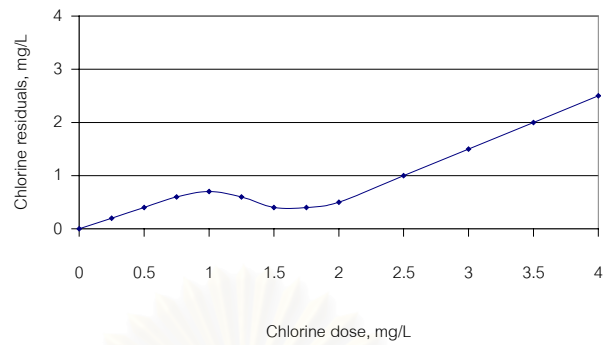


รูปที่ 4.35ข แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 60 วัน

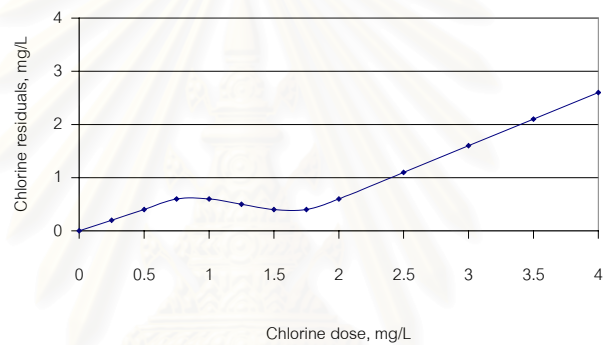


รูปที่ 4.35ค แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 60 วัน

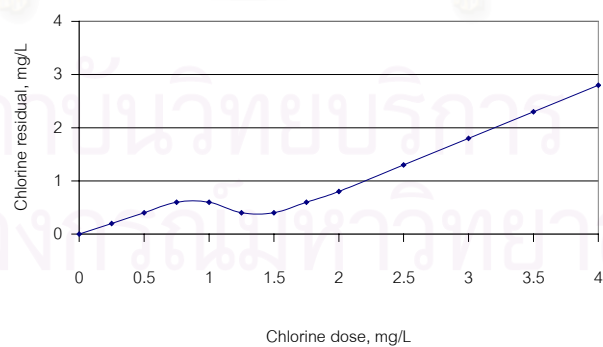
รูปที่ 4.35 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 60 วัน



รูปที่ 4.36ก แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 90 วัน



รูปที่ 4.36ข แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 90 วัน



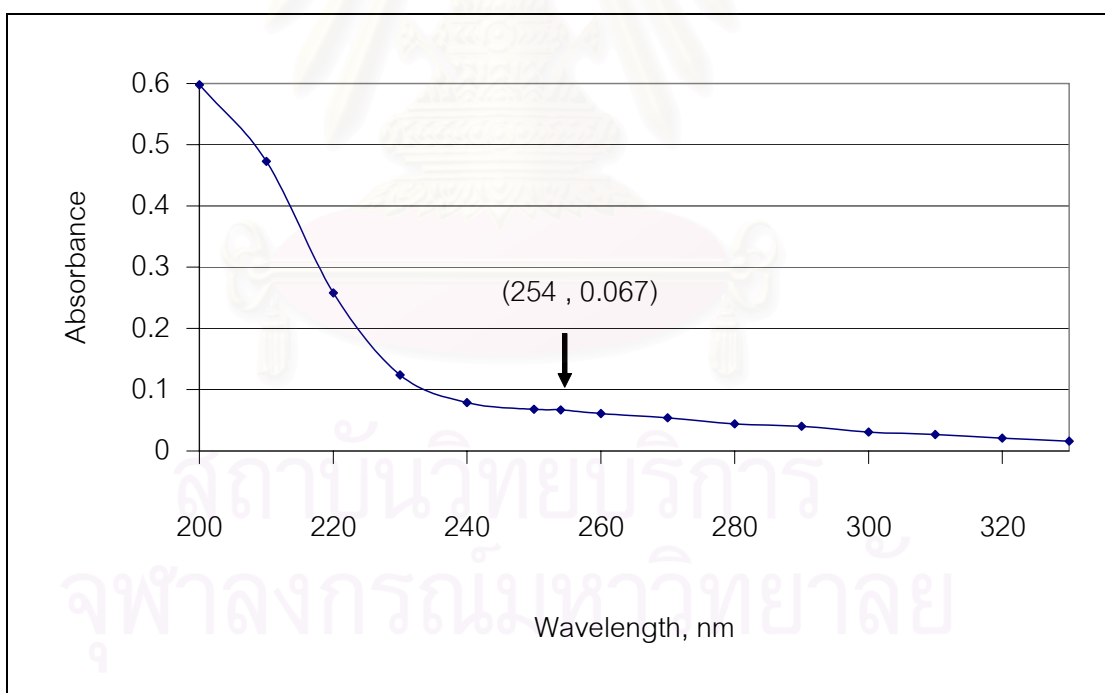
รูปที่ 4.36ค แสดงกราฟการเติมคลอรีนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีหลังจากเดินระบบไปแล้ว 90 วัน

รูปที่ 4.36 แสดงกราฟการเติมคลอรีนให้กับน้ำเข้าระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 90 วัน

4.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ค่ายูวี 254 และสารไตรฮาโลมีเทน

4.6.1 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงยูวีของน้ำเข้าระบบ

ผลการตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 200-330 นาโนเมตร ของน้ำเข้าระบบ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบหาสารรบกวน (APHA, AWWA, WPCF (1995)) แสดงในรูปที่ 4.37 จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าการดูดกลืนแสงยูวีของน้ำเข้าน้ำตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อความยาวคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น โดยไม่มีค่าความยาวคลื่นใดที่ค่าการดูดกลืนแสงยูวีมีแนวโน้มผิดปกติไปจากนี้ แสดงให้เห็นว่าในน้ำเข้าระบบ ไม่มีสารที่เป็นตัวรบกวนการดูดกลืนแสง ยูวี 254 ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า ยูวี 254 เป็นตัวแทนปริมาณของสารอินทรีย์ละลายน้ำได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 4.37 ค่าการดูดกลืนแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 200-330 nm ของน้ำเข้าระบบ

4.6.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำกับค่ายูวี 254

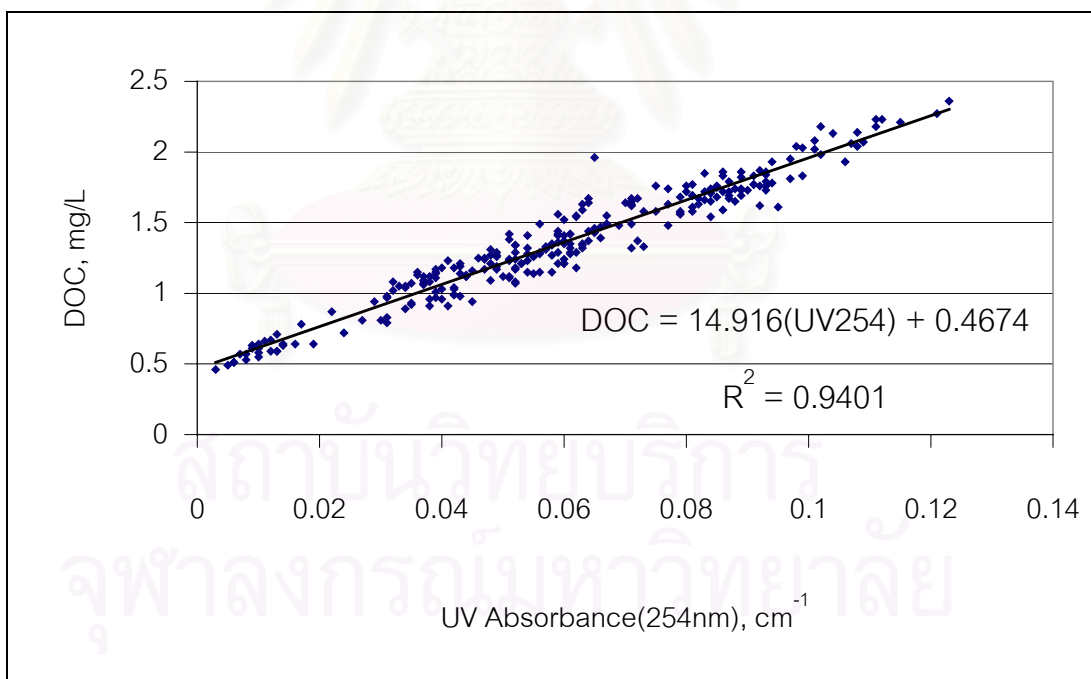
จากการวิเคราะห์ค่ายูวี 254 กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนประมาณได้เป็นสมการเส้นตรง ดังที่แสดงในรูป 4.38

$$\text{DOC} = 14.916(\text{UV}254) + 0.4674$$

เมื่อ UV254 คือค่า ยูวี 254 หน่วยเป็น (cm^{-1})

DOC คือค่า สารอินทรีย์ละลายน้ำ หน่วยเป็น มก./ล.

พิจารณาค่า Regression ที่ได้ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับ 1 คือเท่ากับ 0.9401 ซึ่งพอแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำได้บ้างในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 นี้



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1

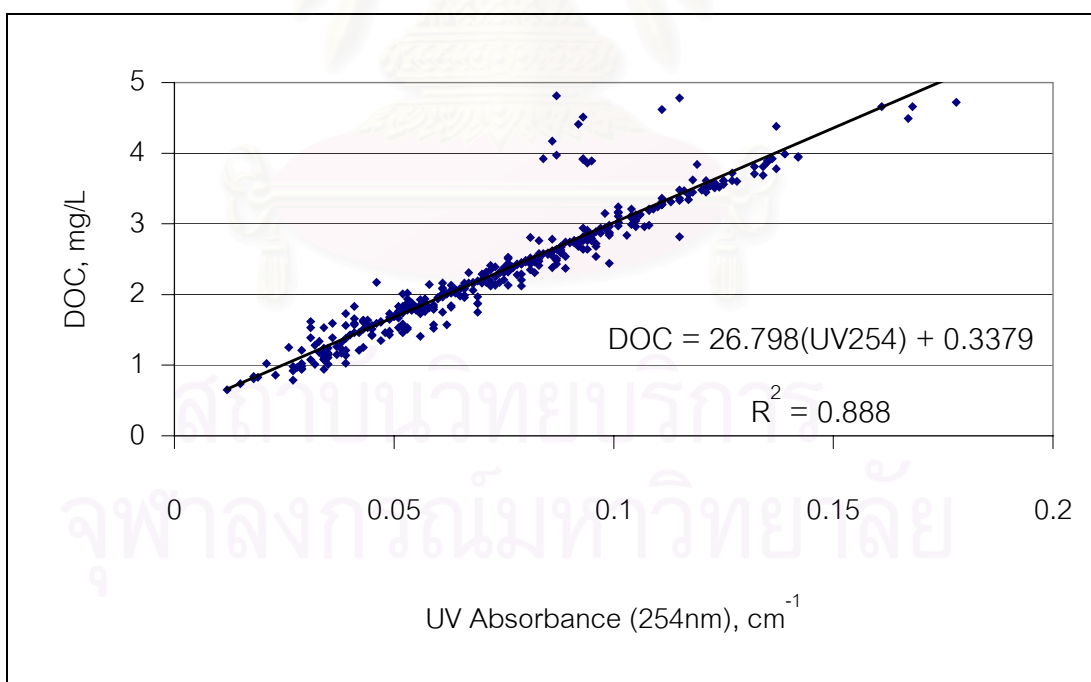
จากการวิเคราะห์ค่ายูวี 254 กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบ ขนาดต้นแบบชุดที่ 2 และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียน ประมวลได้เป็นสมการเส้นตรง ดังที่แสดงในรูป 4.39

$$\text{DOC} = 26.798(\text{UV}254) + 0.3379$$

เมื่อ DOC คือค่า ยูวี 254 หน่วยเป็น (cm^{-1})

UV254 คือค่า สารอินทรีย์ละลายน้ำ หน่วยเป็น มก./ล.

พิจารณาค่า Regression ที่ได้ค่อนข้างสูงพอสมควร คือเท่ากับ 0.888 ซึ่งพอ แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำได้บ้าง ถึงแม้ว่าจะไม่ สูงเท่ากับการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 แต่ในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 นี้ค่า Regression ที่ได้ก็มีค่าไม่ต่ำมากนัก



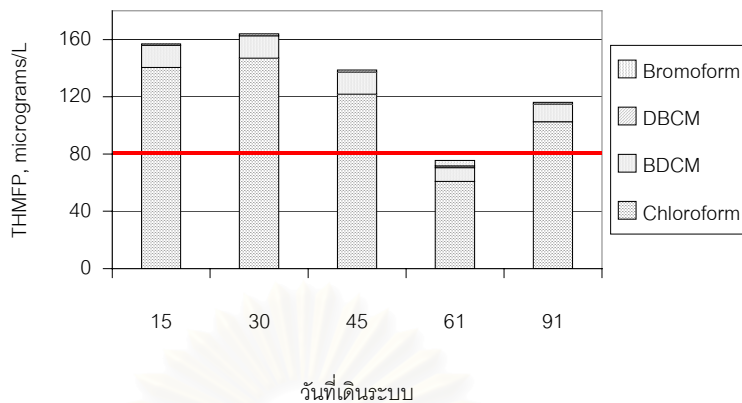
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2

4.6.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไตรฮาโลมีเทนกับสารอินทรีย์ละลายน้ำ และค่ายูวี 254

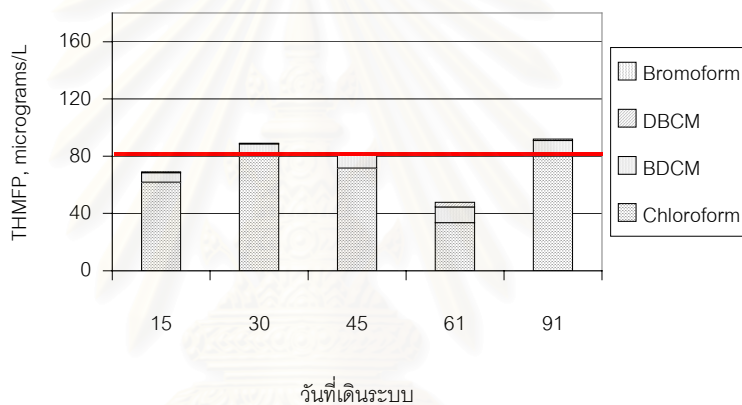
ค่าไตรฮาโลมีเทนในการวิจัยนี้ทั้งหมดเป็นค่า THMFP ซึ่งเป็นค่าไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้นได้โดยที่ใช้เวลาสัมผัสเท่ากับ 48 ชั่วโมง สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกเวลาสัมผัสเท่ากับ 48 ชั่วโมงนั้นเป็นเพราะว่าจากข้อมูลของส่วนวิจัยและพัฒนาคุณภาพน้ำ กองควบคุมคุณภาพแหล่งน้ำ ฝ่ายวางแผนการผลิตและควบคุมคุณภาพ การประปานครหลวงที่ว่าน้ำประปาสามารถจะอยู่ในระบบท่อจ่ายน้ำประปาของการประปานครหลวงได้นานที่สุดเท่ากับ 48 ชั่วโมงหรือ 2 วัน ทางผู้วิจัยจึงดูโอกาสของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนให้ได้มากที่สุด ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะกับระบบท่อจ่ายน้ำของการประปานครหลวงเท่านั้น

จากการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนดังที่แสดงในรูปที่ 4.40 พบว่าค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบ (น้ำที่ยังไม่ได้กำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ) มีค่ามากกว่าค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำแล้วที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาที แสดงว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของสารที่รวมเป็นสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดได้แก่ Chloroform, Bromodichloromethane, Dibromochloromethane และ Bromoform จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าสัดส่วนของค่าคลอโรฟอร์ม (Chloroform) เป็นพารามิเตอร์ที่มีมากที่สุดเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่นของไตรฮาโลมีเทน โดยในทุกตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนจะมีค่าคลอโรฟอร์มมากกว่าร้อยละ 90 ของสัดส่วนทั้งหมด สาเหตุที่สารคลอโรฟอร์มเป็นค่าที่มีมากที่สุดและมีความมากกว่าร้อยละ 90 ของสัดส่วนทั้งหมดเป็นเพราะว่าทางการประปานครหลวงใช้วิธีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน จึงทำให้สารที่เกิดมากที่สุดเป็นคลอโรฟอร์มที่มีเป็นสารประกอบเป็นคลอรีน

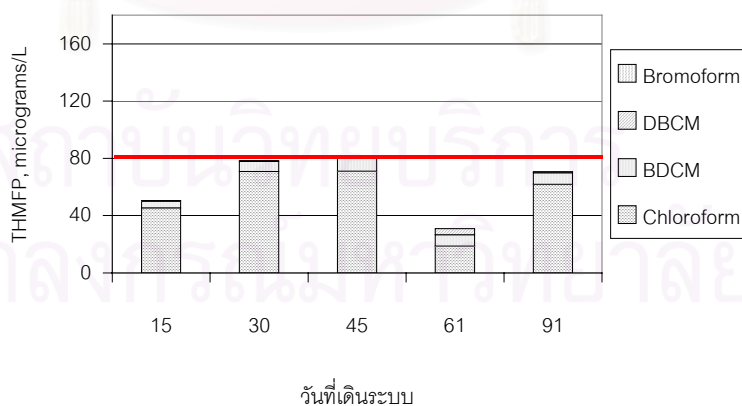
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.40ก แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบ



รูปที่ 4.40ข แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่กำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที



รูปที่ 4.40ค แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่กำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที

รูปที่ 4.40 แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่เวลาต่างๆ

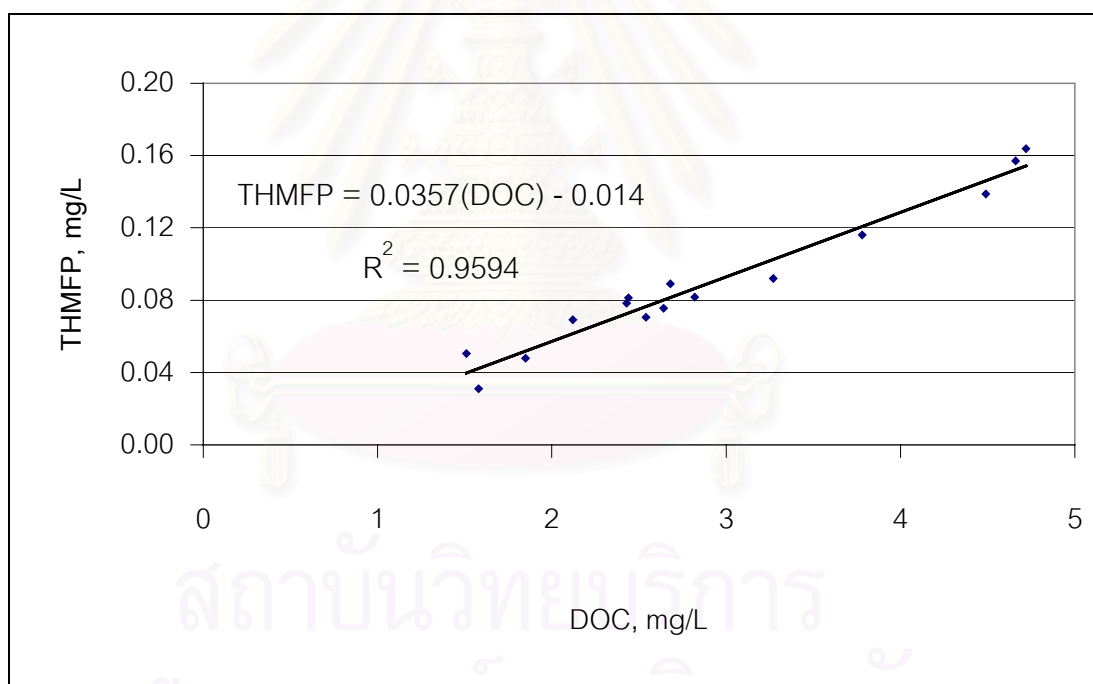
จากการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทน กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนประมาณได้เป็นสมการเส้นตรง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.41

$$\text{THMFP} = 0.0357(\text{DOC}) - 0.014$$

เมื่อ DOC คือค่า สารอินทรีย์ละลายน้ำ หน่วยเป็น มก./ล.

THMFP คือค่า สารไตรฮาโลมีเทน หน่วยเป็น มก./ล.

พิจารณาค่า Regression ที่ได้ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับ 1 คือเท่ากับ 0.9594 ซึ่งแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทน กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดี



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำกับไตรฮาโลมีเทน

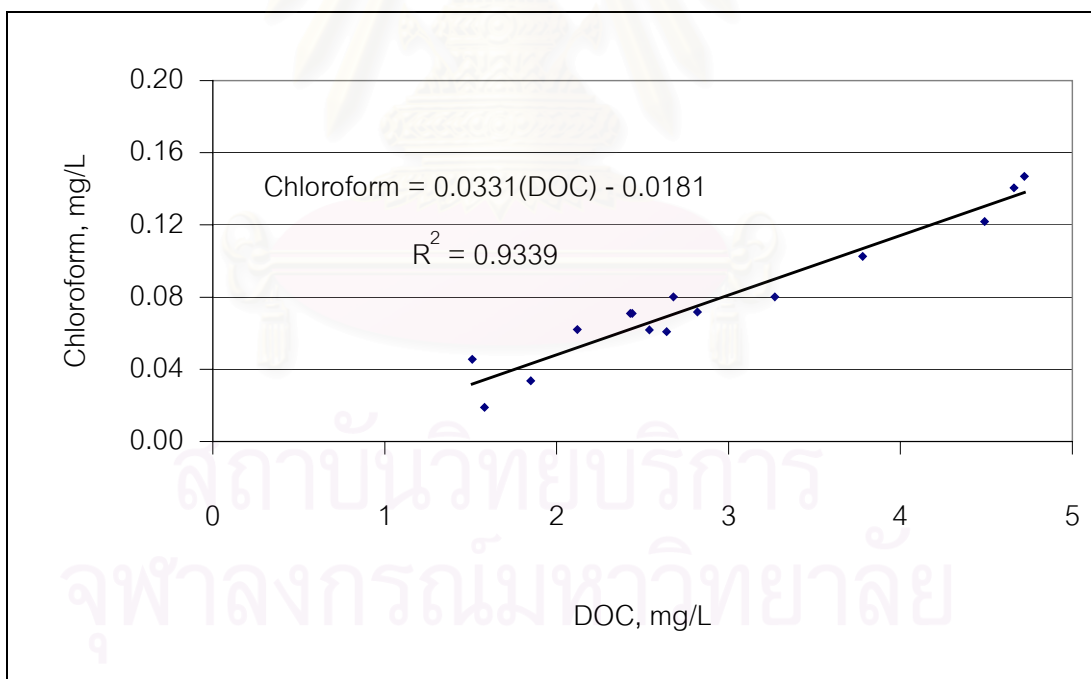
ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่าคลอโรฟอร์มเป็นพารามิเตอร์ที่มีมากที่สุดเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์ทั้งสี่ของไตรฮาโลมีเทน จากการวิเคราะห์ค่าคลอโรฟอร์ม กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนประมาณได้เป็นสมการเส้นตรง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.42

$$\text{Chloroform} = 0.0331(\text{DOC}) - 0.0181$$

เมื่อ DOC คือค่า สารอินทรีย์ละลายน้ำ หน่วยเป็น มก./ล.

Chloroform คือค่า คลอโรฟอร์ม หน่วยเป็น มก./ล.

พิจารณาค่า Regression ที่ได้มีค่าสูงใกล้เคียงกับ 1 คือเท่ากับ 0.9339 ซึ่งพอแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอโรฟอร์ม กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำได้ดีพอสมควร ถึงแม้ว่าจะไม่ดีเท่ากับการเปรียบเทียบกับค่าไตรฮาโลมีเทน



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำกับคลอโรฟอร์ม

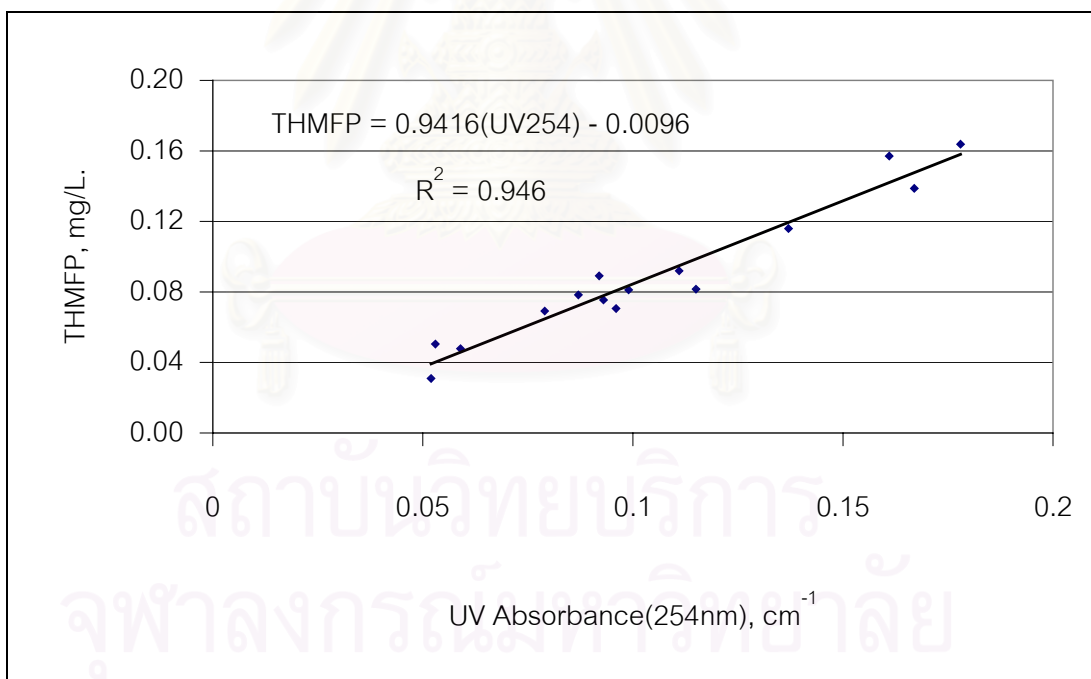
จากการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนกับค่ายูวี 254 ในการเดินระบบขนาดต้นแบบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนประมาณได้เป็นสมการเส้นตรง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.43

$$\text{THMFP} = 0.9416(\text{UV}254) - 0.0096$$

เมื่อ UV254 คือค่า ยูวี 254 หน่วยเป็น (cm^{-1})

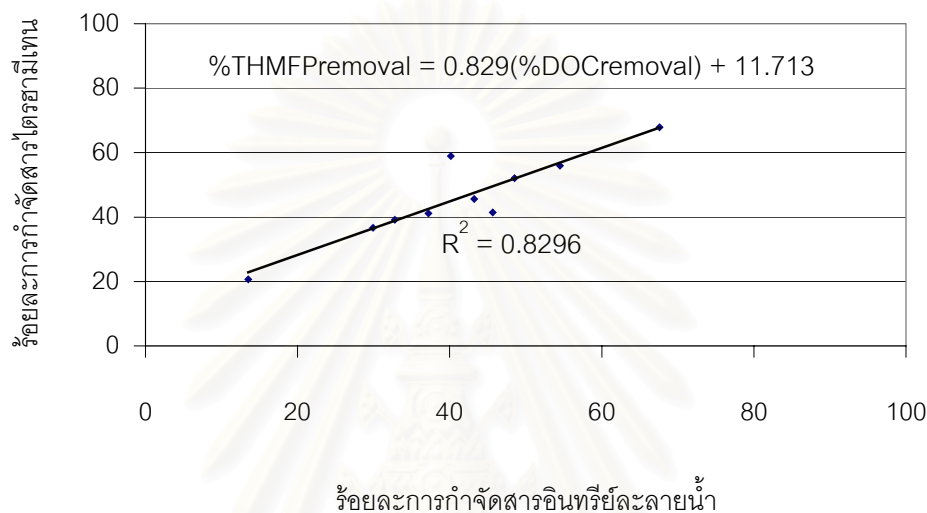
THMFP คือค่า ไตรฮาโลมีเทน หน่วยเป็น มก./ล.

พิจารณาค่า Regression ที่ได้ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับ 1 คือเท่ากับ 0.946 ซึ่งพอแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทนกับค่ายูวี 254 ได้ดีพอสมควรแต่ไม่ได้มากเท่ากับความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทนกับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ

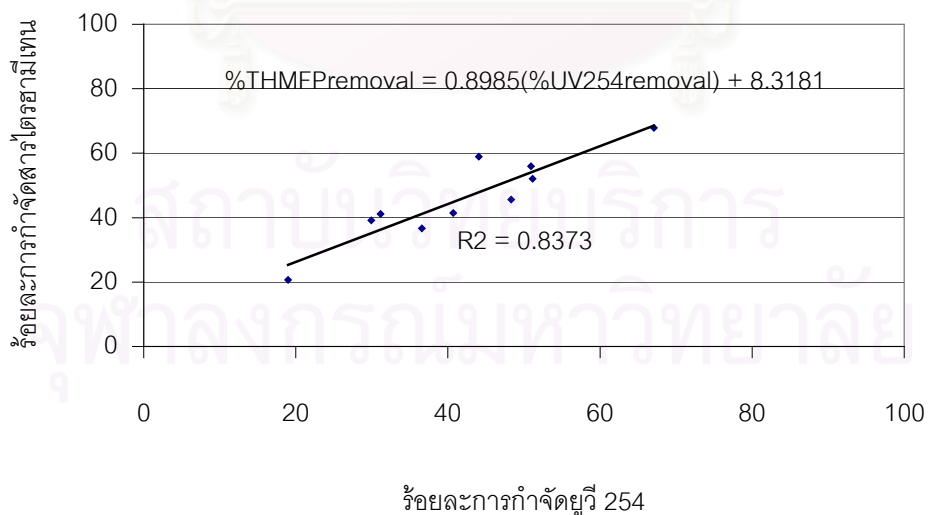


รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทนกับค่ายูวี 254

จากรูปที่ 4.44 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดไตรฮาโลมีเทนกับสารอินทรีย์ละลายน้ำและยูวี 254 พบว่ามีความสัมพันธ์ดีพอใช้โดยมีค่า Regression เท่ากับ 0.8296 และ 0.8373 ตามลำดับ แสดงว่าการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำและยูวี 254 มีผลทำให้สารไตรฮาโลมีเทนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หรืออาจกล่าวได้ว่าเราสามารถลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนด้วยการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ



รูปที่ 4.44ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับไตรฮาโลมีเทน

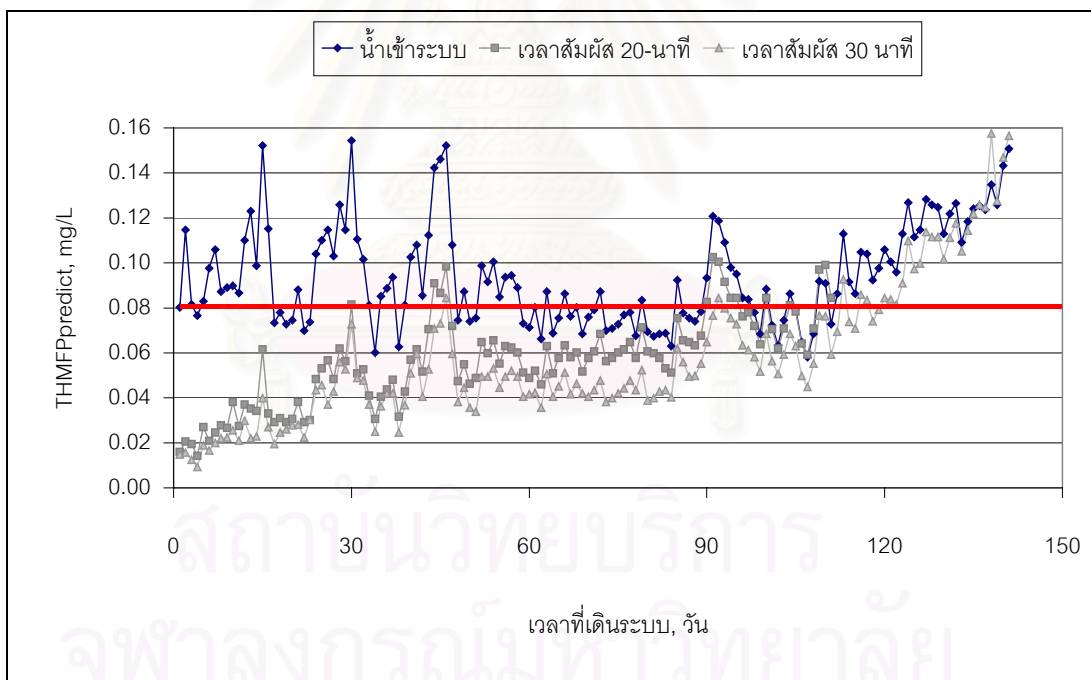


รูปที่ 4.44ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดยูวี 254 กับไตรฮาโลมีเทน

รูปที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด

4.6.4 การศึกษาถึงการทำนายค่า THMFP

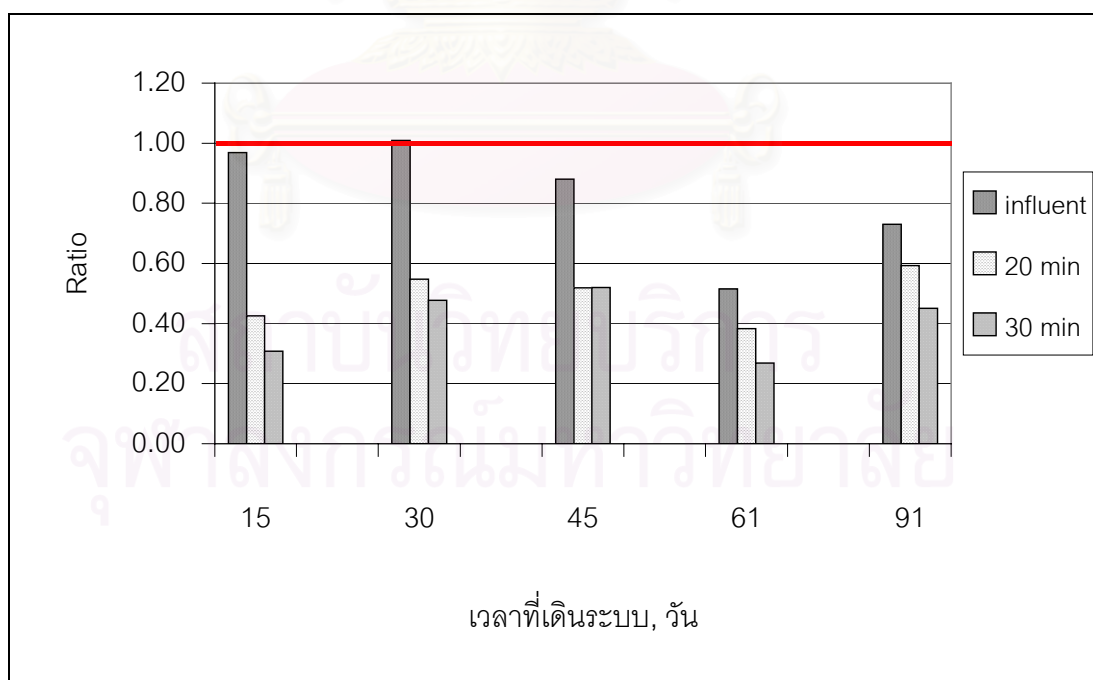
จากการวิเคราะห์แล้วได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไตรฮาโลมีเทน กับค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ นำมาวาดกราฟ ได้เป็นดังในรูปที่ 4.43 พบว่าน้ำเข้าระบบให้ค่าไตรฮาโลมีเทน (THMFP) ที่ทำนายได้สูงกว่า 0.08 มก./ล. ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของ US.EPA อยู่หลายช่วงตลอดการทดลองเดินระบบโดยที่ในช่วงต่างๆ ที่กล่าวมานี้ น้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาที สามารถลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ทำนายได้ (THMFPpredict) ให้ต่ำกว่า 0.08 มก./ล. โดยระบบขนาดต้นแบบสามารถลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่ทำนายได้ ให้ต่ำกว่ามาตรฐานได้ถึงวันที่ 100 และ 120 ของการเดินระบบสำหรับที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดไกล์ที่จะเสื่อมสภาพแล้ว



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการทำนายค่าไตรฮาโลมีเทน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นที่พบว่าการวิเคราะห์โอกาสค่าไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นได้ (THMFP) จากน้ำเข้าระบบ (น้ำที่ยังไม่ได้กำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ) ในช่วงการทดลองเดินระบบมีค่าเกินมาตรฐานของ US.EPA ซึ่งกำหนดมาตรฐานไว้ที่ 0.08 มก./ล. อยู่หลายตัวอย่าง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.40 โดยค่าไตรฮาโลมีเทนที่จากน้ำเข้าระบบเกิดขึ้นนี้มีเพียงน้ำตัวอย่างวันที่ 61 ของการเดินระบบเท่านั้นที่อยู่ในมาตรฐานของ US.EPA ซึ่งแสดงได้ว่าน้ำที่ยังไม่ได้กำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำมีโอกาสก่อให้เกิดค่าไตรฮาโลมีเทนที่เกินมาตรฐานของ US.EPA ได้ และอาจจะ มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้

แต่เมื่อมาพิจารณามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก จาก Guidelines for Drinking-water Quality 2nd Edition (WHO, 1993) ที่การประปานครหลวงใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมปริมาณไตรฮาโลมีเทนของน้ำในระบบจ่ายน้ำประปา องค์การอนามัยโลกได้กำหนดมาตรฐานสำหรับไตรฮาโลมีเทนไว้ให้ผลรวมของอัตราส่วนความเข้มข้นของสารประกอบทั้งสี่ที่รวมเป็นสารไตรฮาโลมีเทนกับค่าแนะนำที่ทางองค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ไม่เกิน 1 เมื่อพิจารณา ค่าผลรวมของอัตราส่วนดังกล่าวดังที่แสดงในรูปที่ 4.46 แล้วพบว่า มีเพียงน้ำตัวอย่างวันที่ 30 ของการเดินระบบเท่านั้นที่ผลรวมของอัตราส่วนของสารประกอบทั้งสี่ที่รวมเป็นสารไตรฮาโลมีเทนเกินมาตรฐาน โดยที่เท่ากับ 1.009 ซึ่งเกินมาตรฐานมาเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.46 แสดงค่าไตรฮาโลมีเทนตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและเกณฑ์ในการออกแบบ

4.7.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการเดินระบบขนาดต้นแบบ

ในการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาค่ามวลของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ซึ่งแสดงความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดพบว่าค่ามวลของสารถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ในการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 10 นาทีของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทย CGC-11 และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในต่างประเทศ BG-816 เท่ากับ 0.0130 และ 0.0158 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ BG-816 จะสูงกว่าดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3 แต่เมื่อเปรียบเทียบด้านราคาแล้วพบว่าค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์ BG-816 สูงกว่า CGC-11 มาก

สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกถ่าน BG-816 เป็นเพราะว่าถ่านกัมมันต์รุ่นนี้ได้รับความยอมรับทั่วไปในระดับสากลเพื่อนำมาใช้ในระบบผลิตน้ำประปาทั่วโลก ด้วยเหตุนี้การเลือกถ่านรุ่นดังกล่าวจึงเป็นตัวเปรียบเทียบที่ดี เห็นได้ชัดเจนว่าถ่านกัมมันต์ BG-816 มีประสิทธิภาพดีกว่าเพียงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาในด้านราคาแล้วถ่านกัมมันต์และค่าใช้จ่ายพบว่าถ่านกัมมันต์ CGC-11 เหมาะสมกว่า อีกทั้งยังเป็นการใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทยและยังมีเสถียรภาพมากกว่าทั้งในด้านราคาและในด้านสินค้าในกรณีที่เราไม่สามารถนำเข้าจากต่างประเทศได้ และยังเป็น การลดการพึ่งพาจากต่างประเทศด้วย การที่ประสิทธิภาพของถ่านต่างประเทศดีกว่าน่าจะเป็น เพราะขนาดของ Pore size ที่มีความเหมาะสมมากกว่า

ในการเปรียบเทียบเวลาสัมผัสที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาค่ามวลของสารถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านที่ใช้ซึ่งใช้แสดงความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัสต่างๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.47 จะพบว่าที่เวลาสัมผัส 10, 20 และ 30 นาทีที่มีค่ามวลของสารถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ เท่ากับ 0.0130, 0.0139 และ 0.0134 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเทียบกับปริมาณน้ำที่เข้าระบบแล้วที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งนี้เป็นเพราะที่เวลาสัมผัส 20 นาทีเพียงพอที่จะทำให้กลไกดูดติดผิวเกิดขึ้นได้ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.4 โดยที่เมื่อเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินระบบแล้วที่เวลาสัมผัส 20 นาทีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า 30 นาทีมากทั้งในด้านการลงทุนเริ่มต้น (initial cost) และค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์ดังที่แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งการเลือกเวลาสัมผัสที่เหมาะสมมีความสำคัญมากทั้งในด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์กล่าวคือ เวลาสัมผัสมีผลต่อทั้งประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ และในด้านราคาก่อสร้างและการเดินระบบ

แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาสัมผัส 10 และ 20 นาที จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์ใกล้เคียงกันโดยที่เวลาสัมผัส 20 นาทีมีค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์น้อยกว่าเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพ เสถียรภาพของระบบ และความปลอดภัยแล้วผู้วิจัยเสนอให้ใช้เวลาสัมผัส 20 นาทีมากกว่า

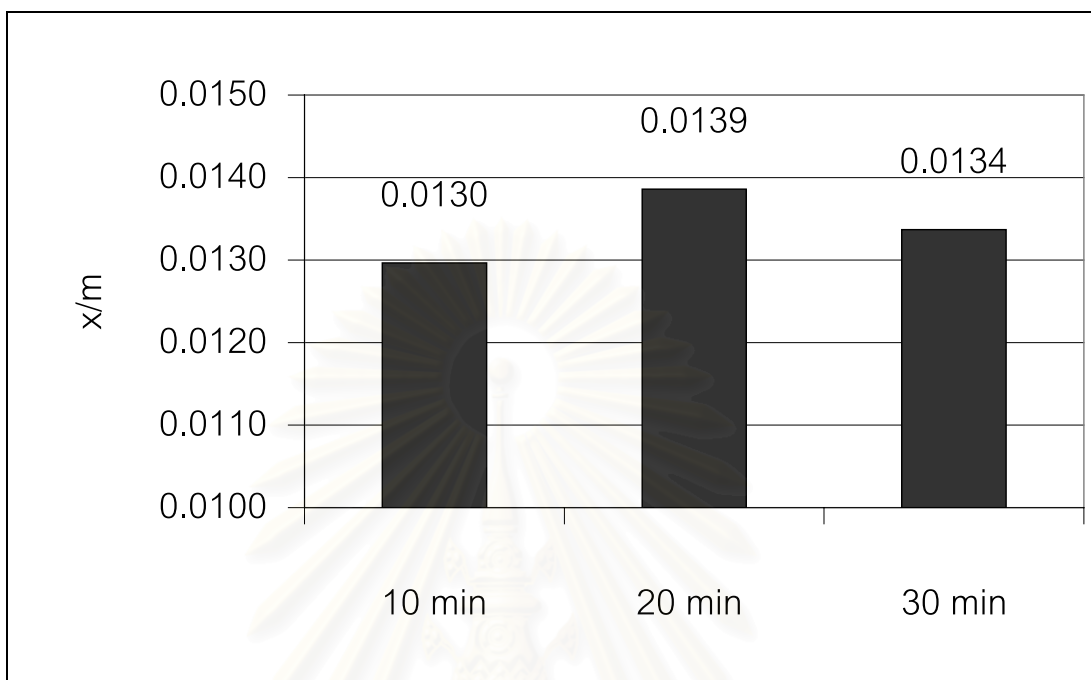
จากการทดลองหาความต้องการคลอรีนดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.5 พบว่าการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำสามารถลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ประมาณ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือร้อยละ 25 ของความต้องการคลอรีนเดิมก่อนการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ เป็นเพราะว่าปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ลดลงทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา การที่จะให้คลอรีนคงฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค (มีคลอรีนอิสระในน้ำ) จำเป็นจะต้องให้คลอรีนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ละลายน้ำให้หมดเสียก่อน การลดความต้องการคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคนั้นถือเป็นผลประโยชน์ที่สามารถประเมินค่าได้จากการเดินระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ สำหรับการประปานครหลวงที่ผลิตน้ำประปาวันละ 3.2 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อคลอรีนได้ปีละ 11,200,000 บาท

อย่างไรก็ตามยังมีผลประโยชน์ที่ไม่สามารถประเมินค่าได้อีกคือการลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำโดยตรง จากการที่ลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำและปริมาณความต้องการคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค เพราะทั้งปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำและปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปมีผลโดยตรงต่อปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นในน้ำประปา โดยระบบสามารถลดปริมาณไตรฮาโลมีเทนได้สูงสุดถึงร้อยละ 65 ซึ่งเป็นผลที่น่าพอใจ สามารถสรุปได้ว่าระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกรดเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการที่จะควบคุมไตรฮาโลมีเทน ที่มีแนวโน้มที่จะมากขึ้นในอนาคต

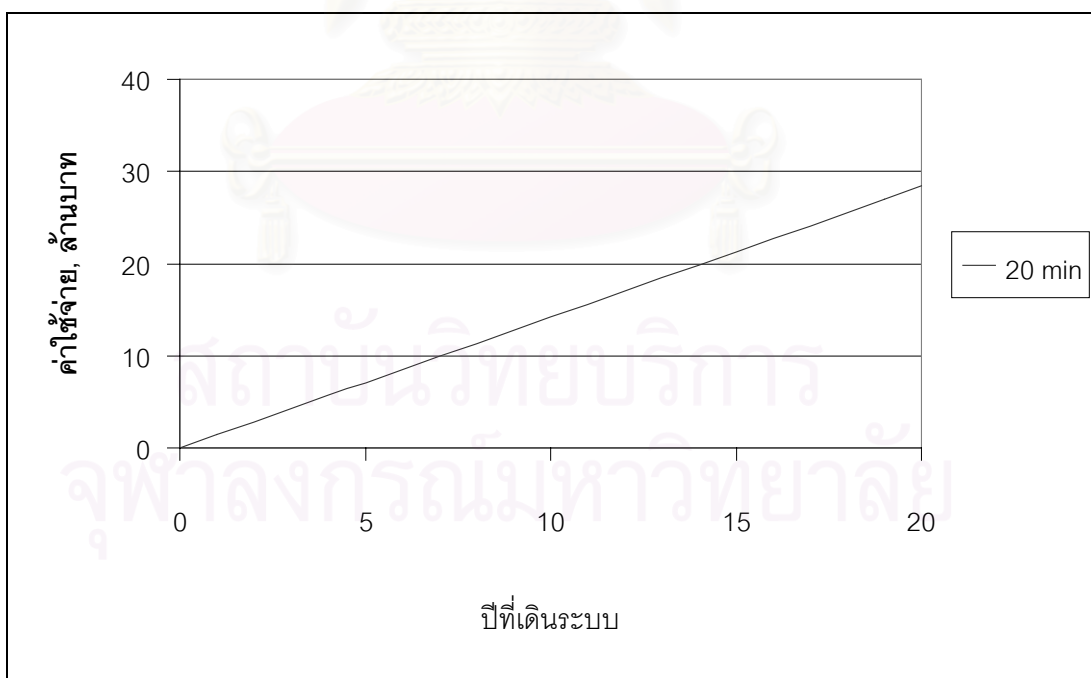
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการจำลองระบบผลิตน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

รายการ	ถ่านกัมมันต์			
	BG-816	CGC-11		
	10 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
ราคาถ่านกัมมันต์ต่อตัน, ล้านบาท	0.1	0.05	0.05	0.05
ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้แต่ละปี, ตัน	12.00	12.75	10.20	13.00
ราคาถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในแต่ละปี, ล้านบาท	1.2	0.64	0.51	0.68
ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย, บาท/ลูกบาศก์เมตร/วัน	3.29	1.75	1.39	1.86

*ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์ยังไม่ได้คิดค่ากำจัดถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.47 แสดงค่ามวลของสารที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ที่เวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.48 แสดงค่าใช้จ่ายในการจำลองเดินระบบ

4.7.2 เกณฑ์การออกแบบระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยการกรองด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด

ผลจากการทดลองเดินระบบขนาดต้นแบบ (Pilot plant) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พอที่จะสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 สรุปเกณฑ์การออกแบบ

รายการ	ค่าที่แนะนำ
ความลึกชั้นถ่าน, เมตร	1
พื้นที่ผิวชั้นถ่าน, ตารางเมตร	0.125
ปริมาตรชั้นถ่าน, ลูกบาศก์เมตร	0.125
เวลาสัมผัส, นาที	20
อัตราการกรองน้ำ, เมตรต่อชั่วโมง	3
ปริมาตรน้ำที่กรองได้, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	9
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ละลายน้ำ, มิลลิกรัมต่อลิตร	
- ค่าเฉลี่ย	3
- ค่าสูงสุด	4.5
ภาระสารอินทรีย์ละลายน้ำ, กรัมต่อวัน	
- ค่าเฉลี่ย	27
- ค่าสูงสุด	40.5
ความขุ่น, Ntu	
- ค่าเฉลี่ย	0.75
- ค่าสูงสุด	1.2

ค่าต่างๆที่แสดงในตารางที่ 4.7 เป็นค่าที่ได้จากการทดลองเดินระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำขนาดต้นแบบ การติดตั้งระบบติดตั้งอยู่ต่อจากระบบกรองน้ำด้วยทรายแบบกรองเร็ว น้ำที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำที่ผ่านการกรองด้วยทราย ดังนั้นจึงเป็นน้ำมีความขุ่นค่อนข้างต่ำ โดยที่ความขุ่นสูงสุดเท่ากับ 1.2 Ntu ซึ่งเป็นความขุ่นที่ต่ำมาก ระบบขนาดต้นแบบยังไม่เคยรับความขุ่นที่สูงมากๆ

4.7.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำ สารไตรฮาโลมีเทน และค่ายูวี 254

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำ สารไตรฮาโลมีเทน และค่ายูวี 254 ดังที่ผ่านมาแล้วในหัวข้อที่ 4.6 พบว่าค่าทั้งสามมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทนมีค่า Regression เท่ากับ 0.9594 และความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารไตรฮาโลมีเทนมีค่า Regression เท่ากับ 0.9460 จะเห็นได้ว่าค่า Regression จากความสัมพันธ์ทั้งสองที่ได้เป็นค่าที่สูงพอสมควร อีกทั้งความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทน และระหว่างร้อยละการกำจัดค่ายูวี 254 กับสารไตรฮาโลมีเทนมีค่า Regression เท่ากับ 0.8296 และ 0.8373 ตามลำดับ ซึ่งค่า Regression ทั้งสองสูงเพียงพอที่จะยอมรับได้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอาจจะพอสรุปได้ค่าทั้งสามความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ และสามารถใช้ค่ายูวี 254 และสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นดัชนีในการชี้วัดสารไตรฮาโลมีเทนได้ เพราะว่าการตรวจสอบติดตามค่าไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนมีความสำคัญ การตรวจสอบติดตามค่าไตรฮาโลมีเทนนั้นทำได้ลำบาก เพราะที่ต้องใช้เวลาในการเตรียมเครื่องมือนานและต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญอย่างสูง จำเป็นต้องมีการฝึกฝน อีกทั้งราคาของเครื่องที่วิเคราะห์สารไตรฮาโลมีเทนก็มีราคาสูง การที่สามารถใช้ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งสามารถติดตามตรวจสอบได้สะดวกและรวดเร็ว บุคลากรที่ตรวจสอบก็ไม่จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนมากเหมือนกับสารไตรฮาโลมีเทน และ ราคาของเครื่องมือที่วิเคราะห์ก็ไม่สูงมากนัก ส่วนการใช้ค่ายูวีเป็นดัชนีในการชี้วัดและตรวจสอบติดตามสารไตรฮาโลมีเทนมีความสะดวกและรวดเร็วมากกว่าการใช้สารอินทรีย์ละลายน้ำในการตรวจสอบ ถึงแม้ว่าจะมีความสะดวกมากกว่าใช้ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ แต่การใช้ค่ายูวีเป็นดัชนีนั้นมีความเชื่อมั่นน้อยกว่าใช้ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ โดยตารางที่ 4.8 แสดงค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำและยูวี 254 ที่เทียบเท่ากับสารไตรฮาโลมีเทนที่ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นมาตรฐานของ US.EPA ที่ได้จากการสมการความสัมพันธ์ในหัวข้อ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าที่ใช้ในการตรวจติดตามสารไตรฮาโลมีเทน

สารที่ใช้เป็นตัวแทนในการตรวจติดตาม	ค่าเทียบเท่ากับไตรฮาโลมีเทน 0.08 มล/ก.
สารอินทรีย์ละลายน้ำ, มิลลิกรัมต่อลิตร	2.63
ค่ายูวี 254, cm^{-1}	0.095

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด ออกจากน้ำที่ผ่านขั้นตอนการกรองโดยถังกรองทรายในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน ของการประปานครหลวง ที่ทำในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่สภาวะสมดุล (Isotherm) ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่นำมาทำการทดลอง ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ BG-816 ดีที่สุดตามด้วยถ่านกัมมันต์ CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ รวมทั้งถ่านกัมมันต์ทั้งสามชนิดมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นเท่ากับ 0.7970, 0.7450 และ 0.4743 สำหรับถ่านกัมมันต์ BG-816, CGC-11 และ CGC-12 ตามลำดับ

2. การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในการเดินระบบขนาดต้นแบบของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่เวลาสัมผัส 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในต่างประเทศรุ่น BG-816 สูงกว่าของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศรุ่น CGC-11 พอสมควรตลอดช่วงการเดินระบบ และความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ BG-816 มีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ CGC-11 โดยพิจารณาจากค่ามวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ (x/m) ค่ามวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์ของถ่านทั้งสองเท่ากับ 0.0158 และ 0.0130 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในต่างประเทศจะมีประสิทธิภาพและความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำได้สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาในด้านราคา ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตน้ำ ความมั่นใจในด้านคุณภาพแล้ว ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำมากกว่า

3. การกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในการเดินระบบขนาดต้นแบบของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในการเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัสทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันตลอดช่วงการเดินระบบ และความสามารถในการดูดติดผิวของระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาทีมีค่าสูงกว่า โดยค่ามวลของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ถูกดูดติดผิวต่อมวลของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.0139 และ 0.0134 สำหรับการเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาทีตามลำดับ อีกทั้งค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการ

ผลิตน้ำของการเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาทีที่มีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการเดินระบบขนาดต้นแบบที่เวลาสัมผัส 20 นาที เพียงพอที่จะทำให้กลไกในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดเกิดได้สมบูรณ์

4. ค่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการเดินระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำคือ 20 นาที เพราะวาระบบจะมีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพสูงกว่าการเดินระบบที่เวลาสัมผัส 10 นาที โดยไม่มีความแตกต่างทางด้านประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับที่เวลาสัมผัส 20 และ 30 นาที

5. ระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดสามารถลดปริมาณความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ประมาณ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะว่าการมีสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่ในน้ำทำให้ต้องสิ้นเปลืองคลอรีนในการทำปฏิกิริยา ก่อนที่จะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค สำหรับโรงงานผลิตน้ำประปาขนาดใหญ่ อย่างเช่นโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ของการประปานครหลวงที่ผลิตน้ำประปา 3.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับการลดความต้องการคลอรีนทุก ๆ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร การประปานครหลวงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อคลอรีนได้ประมาณ 2.5 ล้านบาทต่อวัน และการที่ระบบสามารถลดความต้องการคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคได้ เป็นประโยชน์ในการลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาต่อหน่วย และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตน้ำประปาให้กับการประปานครหลวงได้อย่างมหาศาล

6. ระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำด้วยถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดสามารถลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นได้ เพราะวาระบบกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนมีปริมาณลดลง โดยค่า Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำกับร้อยละการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.8296 เป็นค่าที่สูงเพียงพอที่จะยอมรับได้ ถึงแม้ว่าในขณะนี้สารไตรฮาโลมีเทนในตัวอย่างที่ทำการวัดยังอยู่ในมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก แต่พบว่าในหลายตัวอย่างที่ทำการวัดสารไตรฮาโลมีเทนยังเกินมาตรฐานถ้าเทียบกับมาตรฐานที่มีความเข้มงวดมากกว่าของ US.EPA ที่กำหนดไว้ไม่ให้เกิน 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นการควบคุมสารไตรฮาโลมีเทนโดยการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำมีความจำเป็นอย่างมาก

7. การศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไตรฮาโลมีเทน สารอินทรีย์ละลายน้ำ และยูวี 254 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างไตรฮาโลมีเทน กับสารอินทรีย์ละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 0.9594 และค่า Regression ของความสัมพันธ์ระหว่างไตรฮาโลมีเทน กับยูวี 254 มีค่าเท่ากับ 0.946 ค่า Regression ของความสัมพันธ์ทั้งสองมีค่าสูงมากเพียงพอที่จะยอมรับได้ สามารถใช้สารอินทรีย์ละลายน้ำและยูวี 254 ในการตรวจติดตามปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป

1. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับการนำระบบการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำมาใช้จริง โดยศึกษาในด้านการก่อสร้าง ราคาค่าก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ค่าใช้จ่ายในด้านบำรุงรักษาระบบ และจุดคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพราะว่าการวิจัยนี้ศึกษาถึงในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในด้านเทคนิค ค่าใช้จ่ายที่นำมาแสดงเป็นเพียงคำนวณปริมาณ ราคา และค่าใช้จ่ายในการซื้อถ่านกัมมันต์ แต่ไม่ได้รวมถึงค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ค่าบำรุงรักษาระบบ และค่ากำจัดถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพแล้ว

2. ควรมีการศึกษาถึงปริมาณไตรฮาโลมีเทนมากที่สุดที่สามารถปนเปื้อนได้ (Maximum Contaminant Levels: MCLs) ทั้งนี้ขึ้นกับผลกระทบที่มีต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำประปา เพื่อที่จะได้มากำหนดเป็นมาตรฐานของสารไตรฮาโลมีเทนในประเทศไทย เพราะในขณะนี้ประเทศไทยใช้มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ซึ่งมีความเข้มงวดน้อยกว่ามาตรฐานของ US.EPA ถ้าเราสามารถควบคุมปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนให้มีความเข้มข้นน้อย ก็จะสามารถกำหนดมาตรฐานให้มีความเข้มงวดมากขึ้นได้ ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำประปา

3. ควรมีการศึกษาถึงการฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วหรือวิธีการกำจัดถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว เพราะว่าการศึกษาด้านนี้ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2539. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแอกติเวเต็ดสแต็คซ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดัชนีเทศน์. 2527. วิศวกรรมกรรมประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วจน์ศิริ ประยูรพรหม. 2539. ขนาดรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ดสำหรับการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Adam, Q.J., Clark, M.R. 1991. Evaluating the Costs of Packed-Tower Aeration and GAC for Controlling Selected Organics. Journal AWWA. Vol. 83: No 1: pp. 49-57.
- APHA, AWWA, WPCF 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: American Public Health Association.
- Cheremisinoff, P.N. and Ellerbusch, F. 1978. Carbon Adsorption Handbook. Michigan: Ann Arbor Science Publisher
- Crozes, G. , White, P. , and Marshall, M. 1995. Enhanced coagulation: its effect on NOM Removal and chemical costs. Journal AWWA. Vol. 87: No. 1: pp. 78-89.
- Dilling, W.L., Tefertiller, N.B., and Kallos, G.J. 1975. Evapotarion rates and reactivities of methylene chloride, chloroform, 1,1,1-trichloroethane, trichloroethylene, tetrachloroethylene, and other chlorinated compounds in dilute aqueous solutions. Environmental Science and Technology. Vol 9: pp 75-77.
- Eaton, A. 1995. Measuring UV-absorbing organics: a standard method. Journal AWWA. Vol. 87: No. 2: pp. 86-90.
- Edzwald, J.K., Becker, W.C., and Wattier, K.L. 1985. Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors. Journal AWWA. Vol. 77: No. 4: pp. 122-132.

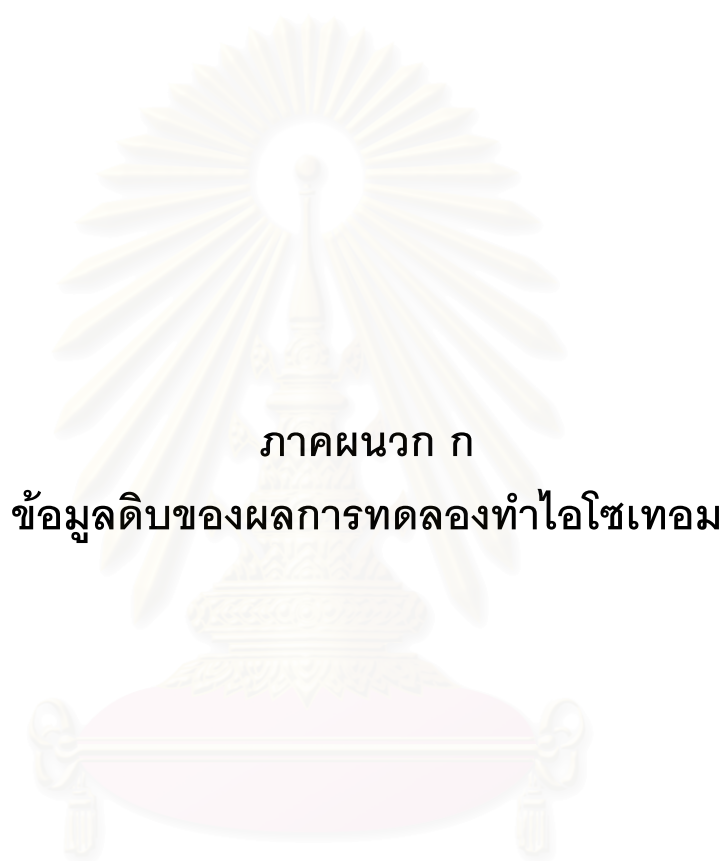
- Goel, S., Hozalski, R.M., and Bouwer, E.J. 1995. Biodegradation of NOM: effect of NOM source and ozone dose. Journal AWWA. Vol. 87: No. 1: pp. 90-105.
- Gordon, J. 1976. Air Pollution Assessment of Methylene Chloride. Miter Technical Report MTR-7334. Mclean, Va.: Miter Corp.
- Hanra, A.M., Allgeier, S.C., and Summers, R.S. Assessment of nanofiltration membranes for NOM and bromide removal from surface waters. USA. (Unpublished Manuscript).
- Jacangelo, J.G., DeMarco, J., Owen, D.M., and Randtke, S.J. 1995. Selected processes for removing NOM: and overview. Journal AWWA. Vol. 87: No. 1: pp. 64-77.
- Jarurat, U. 1998. Trihalomethane: Carcinogen in water supply. Journal of Thai Environmental Engineering. Vol.12: No. 14: pp. 18-21.
- Johns, R. 1976. Air Pollution Assessment of Carbon Tetrachloride, Mitre Technical Report MTR-7144. McLean, Va.: Mitre Corp.
- Kavanaugh, M.C. 1978. Modified coagulation for improved removal of Trihalomethane Precursors. Journal AWWA. Vol. 70: No. 11: pp. 613-620.
- Kawamura, S. 1991. Integrated Design of water treatment facilities. New York: Wiley-Interscience.
- Mabey, W.R. and Mill, T. 1976. Kinetics of Hydrolysis and Oxidation of Organic Pollutants in the Aquatic Environment. Gaithersburg, Md.: National Bureau of Standards.
- McGuire, J.M., Davis, K.M., Tate, H.C., Aieta, M.E., Howe, W.E., and Crittenden, C.J. 1991. Evaluating GAC for Trihalomethane Control. Journal AWWA. Vol 83: No 1: pp. 38-48
- Moelwyn-Hughes, E.A. 1957. Physical Chemistry. New York: Pergamon Press.
- Mulford, L.A., Taylor, J.S., Nickerson, D.M., and Chen, S.S. 1999. NF performance at full and pilot scale. Journal AWWA. Vol. 91: No. 6: pp. 64-75.
- National Research Council (U.S.), Panel on Low Molecular Weight Halogenated Hydrocarbons. 1978. Chloroform, carbon tetrachloride, and other halomethanes : an environmental assessment. Washington: National Academy of Sciences.
- Oliver, B.G. and Lawrence, J. 1979. Haloforms in drinking water: A study of precursors and precursors removal. Journal AWWA. Vol. 71: No. 3: pp. 161-163.

- Onodera, S., Tabucanon, M., Uvanichkul, S., and Siriwong, C. 1984. Seminar on Trihalomethane in Drinking Water in Bangkok Metropolitan Area. Bangkok: Laboratory and Research Section Environment Quality Standard Division Office of the National Environment Board, Thailand.
- Owen, D.M., Amy, G.L., Chowdhury, Z.K., Paode, R., McCoy, G., and Viscosil, K. 1995. NOM characterization and treatability. Journal AWWA. Vol. 87: No. 1: pp. 46-63.
- Oxenford, L.J., and Lykins, W.B. 1991. Conference Summary: Practical Aspects of the Design and Use of GAC. Journal AWWA. Vol 83: No. 1: pp. 58-64.
- Schnitzer, M., and Khan, S.U. 1972. Humic Substances in Environment. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Schulz, C. R. and Okun, D. A. 1984. Surface Water Treatment for Community in Developing Countries. New York: Wiley-Interscience.
- Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry : Genesis, Composition, Reactions. New York: Wiley-Interscience.
- Symons, J.M., Bellar, T.A., Arswell, K., Demarco, J., Kropp, K.L., Robeck, G.G., Seeger, D.R., Slocum, C.J., Smith, B.L., and Stevents, A.A. 1975. National Organics Reconnaissance survey for Halogenated organics. Journal AWWA. Vol. 67: No. 11: pp. 634-647.
- Taylor, J.S., Thompson, D.M., and Carswell, J.K. 1987. Applying Membrane Processes to Groundwater Sources for Trihalomethane Precursor Control. Journal AWWA. Vol. 79: No. 8: pp. 72-82.
- Thierry, B., Astride, V., Masion, A., Rybacki, D. and Bottero, J. 1999. Removal of Natural Organic Matter by Coagulation-Flocculation: A Pyrolysis-GC-MS Study. Environ Sci. Technol. Vol 33: No 17: pp 3027-3032
- Trussell, R.R. and Umphres, M.D. 1978. The Formation of Trihalomethane. Journal AWWA. Vol. 70: No. 11: pp. 604-612.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1973. Process Design Manual for Carbon Adsorption. Washington: U.S. Environmental Protection Agency Technology Transfer.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบของผลการทดลองทำไอโซเทอม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 ผลการทดลองทำไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ BG-816

BG-816	ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์, มก./ล.					
เวลา, ชม.	0	40	80	160	240	360
00:00	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
00:05	2.52	2.48	2.46	2.43	2.40	2.35
00:15	2.52	2.44	2.41	2.18	2.06	1.91
00:30	2.52	2.38	2.31	2.06	1.93	1.76
01:00	2.52	2.31	2.17	1.91	1.72	1.62
02:00	2.52	2.22	2.01	1.75	1.54	1.49
04:00	2.52	2.12	1.85	1.58	1.37	1.32
06:00	2.52	2.01	1.74	1.45	1.29	1.19
08:00	2.52	1.89	1.53	1.35	1.21	1.04
12:00	2.52	1.88	1.52	1.34	1.21	1.02
24:00	2.52	1.88	1.52	1.34	1.20	1.02

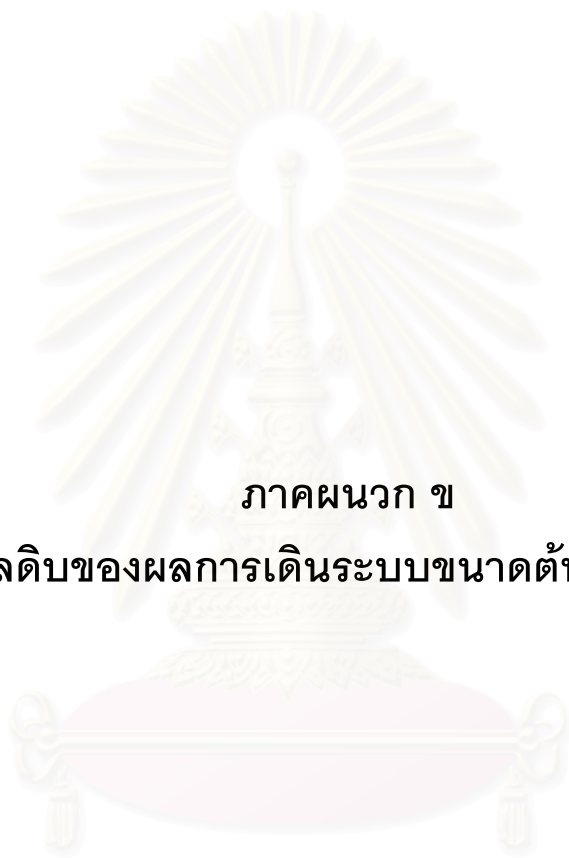
ตารางที่ ก2 ผลการทดลองทำไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ CGC-11

CGC-11	ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์, มก./ล.					
เวลา, ชม.	0	40	80	160	240	360
00:00	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
00:05	2.52	2.49	2.46	2.44	2.40	2.35
00:15	2.52	2.46	2.43	2.21	2.14	1.93
00:30	2.52	2.42	2.36	2.11	1.97	1.81
01:00	2.52	2.36	2.23	1.94	1.83	1.72
02:00	2.52	2.26	2.11	1.81	1.63	1.54
04:00	2.52	2.15	1.94	1.60	1.45	1.36
06:00	2.52	2.06	1.85	1.47	1.31	1.2
08:00	2.52	2.02	1.68	1.39	1.26	1.15
12:00	2.52	2.01	1.66	1.37	1.25	1.13
24:00	2.52	2.01	1.66	1.37	1.24	1.11

ตารางที่ ก1 ผลการทดลองทำไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ BG-816

BG-816	ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์, มก./ล.					
เวลา, ชม.	0	40	80	160	240	360
00:00	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
00:05	2.52	2.48	2.46	2.43	2.40	2.35
00:15	2.52	2.44	2.41	2.18	2.06	1.91
00:30	2.52	2.38	2.31	2.06	1.93	1.76
01:00	2.52	2.31	2.17	1.91	1.72	1.62
02:00	2.52	2.22	2.01	1.75	1.54	1.49
04:00	2.52	2.12	1.85	1.58	1.37	1.32
06:00	2.52	2.01	1.74	1.45	1.29	1.19
08:00	2.52	1.89	1.53	1.35	1.21	1.04
12:00	2.52	1.88	1.52	1.34	1.21	1.02
24:00	2.52	1.88	1.52	1.34	1.20	1.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบของผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
1	0.60	0.40	0.50	60	74	76	241	178	193	7.30	8.50	8.60	0.083	0.006	0.012	1.66	0.51	0.59
2	0.80	0.45	0.40	64	76	78	290	184	230	7.20	8.60	8.80	0.086	0.013	0.008	1.72	0.59	0.53
3	0.80	0.60	0.60	62	60	60	233	197	185	7.10	7.10	7.15	0.089	0.014	0.009	1.86	0.63	0.61
4	0.60	0.40	0.35	66	68	70	243	230	207	7.20	7.20	7.30	0.071	0.010	0.007	1.62	0.61	0.57
5	0.50	0.40	0.30	64	54	58	287	185	187	7.10	6.80	6.70	0.063	0.017	0.003	1.35	0.78	0.46
6	0.75	0.45	0.40	62	60	62	254	180	177	7.20	7.10	7.20	0.066	0.014	0.010	1.39	0.64	0.58
7	0.80	0.45	0.45	66	68	68	325	182	180	7.30	7.45	7.40	0.067	0.013	0.009	1.49	0.71	0.63
8	0.90	0.40	0.35	68	64	64	286	180	182	7.20	7.10	7.10	0.060	0.010	0.011	1.36	0.64	0.66
9	0.70	0.35	0.25	64	62	62	263	178	177	7.30	7.20	7.20	0.067	0.008	0.012	1.55	0.57	0.67
10	0.65	0.35	0.30	58	54	54	257	186	184	7.20	7.10	7.10	0.084	0.009	0.024	1.74	0.63	0.72
11	0.50	0.30	0.30	56	52	54	271	183	180	7.20	7.10	7.15	0.071	0.005	0.006	1.63	0.49	0.51
12	0.55	0.30	0.35	58	54	52	263	176	182	7.25	7.20	7.10	0.054	0.010	0.013	1.41	0.55	0.59
13	0.70	0.25	0.30	52	54	52	258	178	181	7.20	7.20	7.10	0.052	0.019	0.045	1.34	0.64	0.94
14	0.70	0.30	0.35	54	52	50	227	174	186	7.10	7.10	7.05	0.084	0.031	0.041	1.54	0.79	0.91
15	0.60	0.30	0.40	54	52	50	214	170	177	7.10	7.20	7.10	0.069	0.016	0.022	1.48	0.64	0.87

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
16	0.70	0.45	0.50	50	48	46	193	167	169	7.05	6.80	6.90	0.082	0.030	0.042	1.67	0.81	1.03
17	0.75	0.35	0.40	52	50	46	164	152	156	7.10	6.90	7.00	0.081	0.035	0.038	1.58	0.92	0.96
18	0.90	0.30	0.40	48	38	40	175	159	161	7.10	6.70	6.80	0.106	0.043	0.052	1.93	0.98	1.07
19	0.85	0.25	0.30	46	44	46	171	167	163	7.10	6.80	6.90	0.108	0.031	0.038	2.04	0.83	0.91
20	0.60	0.20	0.25	48	46	46	170	164	163	7.25	7.00	7.05	0.083	0.027	0.034	1.85	0.81	0.89
21	0.80	0.30	0.40	50	46	48	164	150	153	7.05	7.00	7.00	0.081	0.035	0.039	1.77	0.93	0.97
22	0.75	0.30	0.35	48	46	46	166	152	151	7.00	6.90	7.00	0.086	0.040	0.042	1.86	0.96	0.99
23	0.60	0.25	0.30	56	50	52	167	154	155	7.20	7.10	7.1	0.080	0.042	0.050	1.76	1.04	1.12
24	0.55	0.25	0.25	54	52	52	172	158	157	7.25	7.10	7.00	0.091	0.029	0.032	1.83	0.94	1.08
25	0.70	0.30	0.35	58	50	52	172	160	159	7.15	7.00	7.10	0.093	0.031	0.034	1.86	0.98	1.05
26	0.65	0.30	0.30	54	48	50	175	161	163	7.20	7.05	7.10	0.098	0.040	0.052	2.04	1.03	1.17
27	0.75	0.35	0.35	60	56	58	170	156	159	7.30	7.20	7.20	0.095	0.039	0.053	1.61	1.01	1.21
28	0.90	0.40	0.50	60	58	58	173	160	162	7.40	7.20	7.20	0.102	0.031	0.039	1.98	0.97	1.14
29	0.95	0.50	0.55	64	60	62	179	169	170	7.20	7.10	7.15	0.104	0.033	0.039	2.13	1.05	1.17
30	0.95	0.50	0.60	60	56	58	188	176	179	7.20	7.10	7.20	0.115	0.037	0.038	2.21	1.09	1.12

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
31	0.90	0.55	0.65	62	58	60	224	189	186	7.25	7.10	7.10	0.107	0.056	0.058	2.06	1.15	1.27
32	0.95	0.60	0.65	64	62	62	262	182	181	7.40	7.20	7.20	0.111	0.051	0.052	2.18	1.12	1.18
33	0.90	0.50	0.55	66	62	62	217	181	178	7.25	7.20	7.20	0.121	0.060	0.061	2.27	1.21	1.29
34	0.85	0.45	0.50	62	58	60	198	180	177	7.20	7.10	7.15	0.099	0.052	0.058	2.03	1.08	1.15
35	0.75	0.45	0.50	60	56	58	180	172	173	7.40	7.10	7.20	0.097	0.032	0.060	1.95	1.02	1.21
36	0.80	0.50	0.50	62	58	60	183	175	172	7.20	7.10	7.15	0.101	0.042	0.045	2.02	0.99	1.16
37	0.85	0.50	0.55	58	54	54	188	179	175	7.10	6.90	7.00	0.108	0.043	0.048	2.14	1.14	1.31
38	0.95	0.55	0.60	62	58	60	178	171	174	7.40	7.20	7.30	0.111	0.039	0.049	2.23	1.11	1.29
39	0.95	0.60	0.65	60	58	58	183	177	178	7.20	7.20	7.20	0.123	0.049	0.052	2.36	1.26	1.34
40	0.90	0.65	0.65	64	62	60	190	187	182	7.10	7.05	7.00	0.102	0.037	0.049	2.18	1.12	1.27
41	0.85	0.65	0.70	68	64	62	202	182	191	7.50	7.20	7.20	0.101	0.035	0.047	2.08	1.07	1.24
42	0.90	0.70	0.70	62	58	60	193	187	185	7.40	7.20	7.30	0.112	0.044	0.049	2.23	1.12	1.19
43	0.80	0.60	0.65	66	62	62	189	181	182	7.20	7.10	7.10	0.109	0.049	0.054	2.07	1.17	1.23
44	0.75	0.55	0.65	64	60	62	188	180	179	7.30	7.00	7.05	0.094	0.042	0.055	1.93	1.18	1.26
45	0.85	0.55	0.60	68	66	66	191	179	182	7.20	7.10	7.10	0.065	0.048	0.057	1.96	1.21	1.32

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

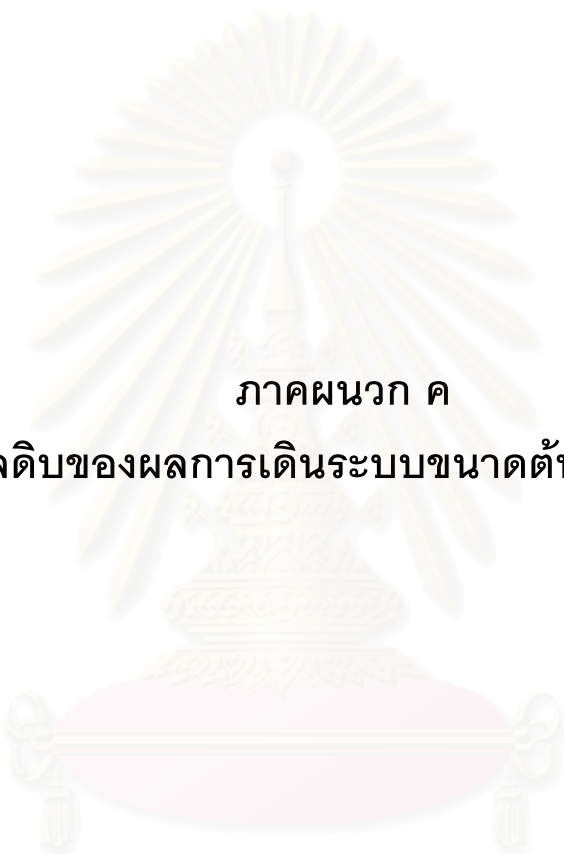
Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
46	0.90	0.60	0.60	66	62	64	193	186	184	7.30	7.15	7.20	0.092	0.044	0.054	1.87	1.13	1.28
47	0.95	0.50	0.45	68	66	64	194	175	178	7.30	7.20	7.15	0.085	0.047	0.058	1.75	1.17	1.34
48	0.85	0.55	0.30	64	58	60	195	165	173	7.20	7.10	7.10	0.086	0.039	0.061	1.83	1.15	1.42
49	0.75	0.50	0.50	54	52	52	188	175	173	6.90	6.80	6.80	0.077	0.036	0.060	1.48	1.13	1.35
50	0.90	0.55	0.60	50	48	50	184	174	171	7.00	6.90	7.00	0.079	0.048	0.072	1.56	1.09	1.37
51	0.85	0.45	0.45	58	56	56	196	167	166	7.10	6.90	7.00	0.081	0.055	0.071	1.61	1.14	1.32
52	0.95	0.55	0.50	62	60	62	176	156	164	7.10	7.00	7.10	0.075	0.051	0.061	1.58	1.11	1.28
53	0.90	0.65	0.60	66	64	62	185	156	164	7.20	7.10	7.10	0.060	0.037	0.046	1.52	1.06	1.25
54	0.75	0.30	0.35	56	52	54	180	170	173	6.90	6.80	6.80	0.062	0.036	0.041	1.55	1.15	1.23
55	0.60	0.25	0.30	54	52	52	175	164	165	7.00	7.00	6.90	0.059	0.034	0.040	1.42	1.04	1.18
56	0.90	0.60	0.55	60	56	54	169	160	162	7.20	7.10	7.05	0.065	0.038	0.043	1.46	1.08	1.21
57	0.40	0.25	0.20	52	50	50	187	170	176	7.10	6.90	6.95	0.061	0.037	0.043	1.35	1.07	1.19
58	0.70	0.30	0.35	54	50	52	185	173	174	7.00	6.90	7.00	0.064	0.044	0.051	1.44	1.12	1.23
59	0.85	0.35	0.30	66	60	62	190	176	177	7.20	7.05	7.10	0.079	0.054	0.062	1.57	1.15	1.29
60	0.90	0.45	0.50	64	60	60	190	180	182	7.10	7.00	7.05	0.092	0.062	0.073	1.62	1.18	1.33

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
61	0.80	0.40	0.45	60	58	60	181	174	177	7.00	6.90	7.00	0.086	0.059	0.063	1.59	1.21	1.34
62	0.75	0.35	0.40	64	60	62	186	169	172	7.10	7.00	7.10	0.088	0.060	0.064	1.65	1.24	1.37
63	0.90	0.30	0.30	64	62	60	192	188	186	7.30	7.25	7.20	0.093	0.061	0.067	1.84	1.32	1.49
64	0.85	0.30	0.35	66	64	64	204	191	188	7.20	7.10	7.10	0.073	0.051	0.058	1.58	1.24	1.35
65	0.80	0.40	0.30	70	66	64	201	187	190	7.10	7.05	6.90	0.075	0.052	0.059	1.76	1.29	1.41
66	0.85	0.40	0.35	62	60	62	209	196	194	7.20	7.10	7.20	0.063	0.048	0.059	1.63	1.27	1.44
67	0.75	0.35	0.30	64	62	60	196	184	187	7.10	7.05	7.00	0.062	0.047	0.051	1.54	1.25	1.38
68	0.85	0.50	0.45	66	64	64	198	186	188	7.20	7.10	7.10	0.071	0.054	0.061	1.65	1.32	1.42
69	0.65	0.40	0.35	68	66	64	215	202	207	7.20	7.10	7.10	0.080	0.057	0.060	1.72	1.33	1.41
70	0.85	0.55	0.60	66	64	66	203	195	192	7.10	6.90	7.00	0.079	0.052	0.059	1.68	1.24	1.36
71	0.80	0.40	0.60	68	62	64	206	189	193	7.20	7.00	7.10	0.085	0.056	0.066	1.76	1.29	1.47
72	0.80	0.45	0.65	72	70	68	207	204	202	7.20	7.15	7.10	0.084	0.053	0.065	1.71	1.21	1.43
73	0.75	0.40	0.55	68	66	66	214	208	210	7.10	7.00	7.00	0.089	0.059	0.071	1.74	1.29	1.49
74	0.80	0.45	0.60	64	60	62	207	198	199	7.20	7.00	7.10	0.091	0.063	0.079	1.77	1.32	1.58
75	0.70	0.40	0.55	70	66	68	213	206	208	7.20	7.10	7.10	0.084	0.056	0.077	1.71	1.28	1.63

ตารางที่ ข1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11	Influent	BG-816	CGC-11
76	0.90	0.50	0.70	72	70	70	210	201	203	7.15	7.00	7.10	0.087	0.057	0.081	1.79	1.31	1.69
77	0.85	0.45	0.80	76	74	74	211	207	205	7.30	7.20	7.20	0.089	0.060	0.083	1.82	1.37	1.72
78	0.80	0.40	0.80	68	66	68	218	209	211	7.10	7.00	7.00	0.088	0.051	0.092	1.74	1.42	1.76
79	0.65	0.40	0.70	70	68	68	214	210	212	7.00	7.00	6.90	0.091	0.056	0.097	1.77	1.49	1.81
80	0.75	0.40	0.80	70	68	66	216	211	215	7.10	7.05	7.00	0.090	0.059	0.093	1.73	1.56	1.76
81	0.60	0.45	0.70	74	72	72	219	214	220	7.10	7.00	7.00	0.093	0.064	0.099	1.76	1.67	1.83
82	0.80	0.55	-	66	64	-	225	223	-	7.15	7.10	-	0.082	0.063	-	1.63	1.59	-
83	0.40	0.30	-	76	74	-	228	227	-	7.20	7.10	-	0.093	0.077	-	1.79	1.74	-
84	0.70	0.55	-	82	80	-	230	228	-	7.20	7.05	-	0.087	0.071	-	1.67	1.62	-
85	0.60	0.50	-	78	78	-	231	230	-	7.10	7.00	-	0.085	0.070	-	1.68	1.64	-
86	0.75	0.65	-	74	72	-	233	231	-	7.15	7.05	-	0.087	0.071	-	1.72	1.67	-
87	0.80	0.75	-	78	74	-	235	234	-	7.10	7.00	-	0.093	0.089	-	1.73	1.69	-
88	0.70	0.70	-	74	72	-	240	241	-	7.20	7.10	-	0.064	0.084	-	1.64	1.65	-
89	0.60	0.60	-	80	78	-	236	234	-	7.00	6.90	-	0.071	0.087	-	1.65	1.69	-
90	0.75	0.80	-	76	74	-	234	235	-	7.15	7.00	-	0.072	0.089	-	1.67	1.73	-
91	0.70	0.80	-	78	74	-	233	233	-	7.20	7.05	-	0.081	0.094	-	1.69	1.78	-



ภาคผนวก ค
ข้อมูลดิบของผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
1	0.65	0.40	0.40	80	84	84	241	178	193	7.30	8.20	8.20	0.094	0.018	0.018	2.64	0.84	0.81
2	0.90	0.45	0.40	78	86	84	290	184	230	7.20	7.90	8.10	0.121	0.028	0.019	3.61	0.97	0.83
3	0.85	0.50	0.45	80	84	86	233	197	185	7.10	7.30	7.70	0.096	0.029	0.015	2.68	0.94	0.74
4	0.90	0.50	0.45	82	84	84	243	230	207	7.20	7.20	7.30	0.089	0.027	0.012	2.54	0.79	0.65
5	0.75	0.40	0.35	86	88	88	287	185	187	7.10	6.80	6.70	0.096	0.035	0.027	2.72	1.15	0.92
6	0.95	0.50	0.40	78	80	82	254	180	177	7.20	7.10	7.20	0.105	0.027	0.023	3.13	0.98	0.86
7	0.80	0.45	0.45	82	84	86	325	182	180	7.30	7.45	7.40	0.111	0.034	0.029	3.36	1.08	0.95
8	0.65	0.40	0.35	82	82	84	286	180	182	7.20	7.10	7.10	0.094	0.038	0.032	2.84	1.17	1.01
9	0.90	0.50	0.30	78	74	80	263	178	177	7.30	7.20	7.20	0.096	0.039	0.029	2.89	1.14	1.02
10	1.10	0.55	0.50	80	78	82	257	186	184	7.20	7.10	7.10	0.094	0.048	0.035	2.91	1.46	1.11
11	0.70	0.40	0.35	74	74	78	271	183	180	7.20	7.10	7.15	0.093	0.034	0.029	2.82	1.16	0.98
12	0.95	0.50	0.45	82	80	82	263	176	182	7.25	7.20	7.10	0.115	0.045	0.038	3.48	1.43	1.23
13	0.90	0.35	0.30	76	74	74	258	178	181	7.20	7.20	7.10	0.119	0.039	0.035	3.84	1.38	1.01
14	0.90	0.40	0.35	74	70	72	227	174	186	7.10	7.10	7.05	0.101	0.047	0.039	3.16	1.35	1.03
15	0.80	0.35	0.35	78	74	74	214	170	177	7.10	7.20	7.10	0.161	0.079	0.053	4.66	2.12	1.51

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
16	0.70	0.35	0.30	80	76	78	242	193	188	7.40	7.30	7.30	0.118	0.038	0.037	3.62	1.32	1.15
17	0.65	0.30	0.30	72	70	70	215	184	162	7.30	7.30	7.20	0.079	0.029	0.034	2.45	1.21	0.94
18	0.85	0.50	0.45	80	76	76	246	221	218	7.40	7.30	7.30	0.084	0.037	0.031	2.58	1.26	1.08
19	0.75	0.40	0.35	78	76	74	274	238	242	7.50	7.40	7.40	0.078	0.042	0.034	2.43	1.21	1.12
20	0.60	0.30	0.30	82	80	80	252	225	227	7.30	7.30	7.25	0.087	0.043	0.035	2.48	1.25	1.17
21	0.65	0.35	0.30	82	82	80	254	241	236	7.30	7.30	7.30	0.099	0.052	0.033	2.86	1.46	1.18
22	0.80	0.40	0.30	79	80	79	248	224	231	7.50	7.50	7.45	0.081	0.039	0.021	2.35	1.21	1.02
23	0.90	0.40	0.35	84	82	80	238	229	217	7.30	7.30	7.20	0.082	0.034	0.035	2.46	1.24	1.24
24	0.80	0.45	0.40	78	78	78	251	237	233	7.35	7.35	7.30	0.111	0.069	0.043	3.31	1.75	1.61
25	0.85	0.40	0.40	76	74	74	249	239	232	7.40	7.40	7.40	0.120	0.054	0.051	3.48	1.88	1.67
26	1.05	0.45	0.40	74	74	74	245	221	228	7.30	7.25	7.30	0.125	0.065	0.040	3.61	1.98	1.43
27	0.90	0.50	0.45	80	78	78	246	231	226	7.40	7.35	7.40	0.111	0.061	0.046	3.28	1.75	1.59
28	0.85	0.50	0.40	76	76	74	245	221	226	7.20	7.15	7.10	0.136	0.076	0.060	3.92	2.13	1.96
29	0.80	0.45	0.40	74	74	74	242	231	228	7.15	7.10	7.10	0.127	0.069	0.054	3.61	1.97	1.87
30	0.90	0.55	0.45	74	72	72	235	228	227	7.20	7.20	7.15	0.178	0.092	0.087	4.72	2.68	2.43

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
31	0.95	0.45	0.45	76	76	76	227	215	218	7.15	7.15	7.10	0.121	0.063	0.057	3.49	1.82	1.76
32	0.80	0.45	0.40	76	74	74	242	231	235	7.30	7.25	7.30	0.101	0.069	0.056	3.24	1.87	1.73
33	0.90	0.50	0.45	74	74	74	241	231	229	7.25	7.20	7.20	0.088	0.052	0.049	2.67	1.54	1.43
34	0.55	0.30	0.30	76	74	74	245	235	232	7.30	7.25	7.25	0.066	0.026	0.034	2.08	1.25	1.09
35	0.70	0.40	0.35	74	74	74	243	228	225	7.20	7.15	7.15	0.086	0.034	0.056	2.78	1.53	1.41
36	0.55	0.40	0.35	80	78	78	248	236	224	7.20	7.20	7.20	0.099	0.031	0.062	2.88	1.62	1.57
37	0.50	0.30	0.25	76	74	74	251	235	237	7.25	7.20	7.20	0.101	0.052	0.059	3.02	1.74	1.57
38	0.35	0.20	0.20	72	70	70	255	243	244	7.15	7.10	7.15	0.068	0.032	0.034	2.15	1.28	1.08
39	0.75	0.40	0.40	78	76	76	248	242	238	7.25	7.20	7.25	0.088	0.036	0.045	2.67	1.59	1.42
40	0.50	0.30	0.25	78	76	78	272	261	258	7.20	7.15	7.15	0.111	0.066	0.059	3.27	1.99	1.82
41	0.35	0.20	0.20	76	74	74	264	252	248	7.15	7.10	7.15	0.117	0.072	0.068	3.42	2.12	2.06
42	0.75	0.40	0.40	80	78	78	261	251	248	7.20	7.15	7.20	0.095	0.063	0.051	2.79	1.84	1.53
43	0.70	0.40	0.35	82	80	80	254	246	242	7.25	7.20	7.20	0.122	0.089	0.069	3.54	2.37	1.87
44	0.60	0.40	0.35	80	80	82	258	247	246	7.25	7.30	7.30	0.137	0.093	0.086	4.38	2.94	2.38
45	0.80	0.45	0.40	78	80	78	257	242	239	7.15	7.15	7.20	0.167	0.115	0.099	4.49	2.82	2.44

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
46	0.65	0.40	0.35	84	82	82	261	249	253	7.30	7.25	7.20	0.168	0.098	0.091	4.66	3.15	2.76
47	0.55	0.30	0.30	78	80	78	262	254	252	7.15	7.20	7.20	0.117	0.072	0.063	3.42	2.41	2.06
48	0.50	0.30	0.25	82	80	78	261	238	246	7.20	7.15	7.15	0.08	0.051	0.041	2.48	1.72	1.46
49	0.60	0.35	0.30	80	82	82	268	259	257	7.25	7.25	7.30	0.095	0.056	0.044	2.84	1.93	1.64
50	0.70	0.40	0.35	78	78	76	253	241	237	7.30	7.25	7.25	0.080	0.050	0.036	2.47	1.69	1.39
51	0.65	0.35	0.35	80	76	76	248	239	231	7.25	7.20	7.10	0.082	0.051	0.033	2.51	1.76	1.34
52	0.80	0.50	0.45	82	74	76	253	237	234	7.15	7.05	7.10	0.101	0.070	0.055	3.16	2.21	1.78
53	0.55	0.30	0.30	76	76	74	238	229	227	7.15	7.20	7.10	0.105	0.064	0.054	2.96	2.07	1.78
54	0.50	0.30	0.25	78	74	74	264	237	235	7.40	7.35	7.35	0.108	0.071	0.057	3.21	2.23	1.88
55	0.85	0.55	0.50	80	76	78	247	234	228	7.25	7.15	7.20	0.094	0.053	0.043	2.77	1.94	1.64
56	0.75	0.50	0.40	76	72	74	235	221	227	7.10	7.05	7.00	0.101	0.061	0.054	3.02	2.16	1.78
57	0.60	0.35	0.35	78	76	76	237	228	225	7.25	7.20	7.20	0.105	0.058	0.056	3.04	2.14	1.85
58	0.70	0.40	0.35	82	76	78	245	238	236	7.30	7.20	7.25	0.094	0.061	0.053	2.89	2.08	1.78
59	0.65	0.40	0.30	74	76	76	278	267	256	7.15	7.20	7.15	0.076	0.052	0.044	2.44	1.83	1.53
60	0.75	0.50	0.45	78	76	78	264	252	257	7.35	7.30	7.30	0.073	0.051	0.045	2.39	1.76	1.56

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
61	0.90	0.60	0.50	76	74	76	267	259	254	7.25	7.25	7.20	0.093	0.059	0.052	2.64	1.85	1.58
62	0.80	0.55	0.50	74	72	72	258	251	252	7.25	7.20	7.20	0.073	0.049	0.031	2.25	1.68	1.39
63	0.65	0.50	0.45	76	74	72	268	261	259	7.30	7.10	7.10	0.099	0.07	0.055	2.84	2.16	1.81
64	0.90	0.70	0.55	78	74	76	262	254	255	7.20	7.10	7.15	0.071	0.055	0.031	2.32	1.82	1.53
65	0.80	0.60	0.50	72	68	68	264	252	248	7.20	7.05	7.00	0.076	0.052	0.041	2.51	2.01	1.66
66	0.70	0.50	0.45	74	72	70	267	2536	256	7.40	7.20	7.25	0.081	0.046	0.041	2.81	2.17	1.83
67	0.70	0.50	0.40	76	72	72	245	238	234	7.40	7.30	7.20	0.076	0.053	0.039	2.53	2.02	1.56
68	0.95	0.70	0.60	74	70	70	252	248	246	7.20	7.10	7.10	0.087	0.065	0.050	2.64	2.08	1.69
69	0.85	0.65	0.60	74	72	72	254	246	241	7.35	7.20	7.20	0.067	0.053	0.041	2.31	1.84	1.57
70	0.85	0.70	0.55	76	74	74	252	244	242	7.50	7.20	7.25	0.081	0.062	0.053	2.52	2.01	1.53
71	0.95	0.75	0.60	74	74	72	256	248	246	7.20	7.10	7.10	0.088	0.066	0.047	2.61	2.09	1.61
72	0.85	0.70	0.50	76	72	72	258	249	251	7.20	7.00	7.00	0.103	0.074	0.039	2.84	2.31	1.73
73	0.90	0.75	0.55	76	74	74	263	254	253	7.25	7.20	7.10	0.072	0.061	0.042	2.35	1.97	1.46
74	0.70	0.60	0.45	74	74	72	261	256	254	7.20	7.10	7.00	0.077	0.062	0.045	2.38	2.01	1.51
75	0.65	0.55	0.40	74	72	74	249	238	241	7.30	7.20	7.20	0.079	0.065	0.044	2.43	2.08	1.57

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
76	0.60	0.55	0.35	78	74	76	245	234	232	7.25	7.10	7.20	0.086	0.066	0.043	2.55	2.12	1.63
77	0.70	0.60	0.50	76	74	76	248	235	234	7.30	7.25	7.30	0.083	0.07	0.049	2.58	2.21	1.73
78	0.65	0.55	0.45	76	76	74	239	228	231	7.50	7.30	7.30	0.070	0.061	0.047	2.29	2.01	1.61
79	0.80	0.70	0.55	78	76	76	248	234	229	7.20	7.20	7.30	0.090	0.077	0.057	2.73	2.39	1.86
80	0.85	0.75	0.55	80	78	78	256	227	233	7.10	7.10	7.20	0.076	0.061	0.049	2.34	2.09	1.48
81	0.65	0.60	0.45	74	74	76	252	243	247	7.15	7.10	7.20	0.078	0.064	0.043	2.28	2.07	1.51
82	0.55	0.50	0.40	76	76	74	254	251	248	7.55	7.30	7.35	0.071	0.061	0.041	2.31	2.01	1.59
83	0.65	0.60	0.45	78	76	76	249	243	241	7.10	7.10	7.00	0.076	0.053	0.047	2.32	1.88	1.61
84	0.80	0.70	0.55	80	78	76	251	244	242	7.20	7.10	7.20	0.067	0.051	0.059	2.16	1.83	1.52
85	0.75	0.70	0.50	74	72	74	247	234	237	7.50	7.40	7.30	0.108	0.083	0.063	2.98	2.51	2.13
86	0.55	0.50	0.40	72	72	72	246	239	236	7.30	7.20	7.40	0.085	0.071	0.066	2.57	2.23	1.96
87	0.60	0.55	0.40	76	74	74	243	236	234	7.40	7.40	7.40	0.087	0.079	0.057	2.51	2.21	1.78
88	0.65	0.60	0.50	74	70	70	239	231	228	7.35	7.20	7.20	0.083	0.071	0.059	2.47	2.17	1.79
89	0.60	0.55	0.45	74	72	72	248	236	224	7.45	7.35	7.40	0.088	0.079	0.057	2.59	2.29	1.94
90	0.75	0.65	0.55	76	72	70	251	229	232	7.45	7.40	7.40	0.101	0.092	0.075	3.01	2.71	2.21

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
91	0.60	0.55	0.50	70	68	66	268	252	247	7.30	7.20	7.20	0.137	0.111	0.096	3.78	3.27	2.54
92	0.90	0.75	0.65	74	74	72	275	263	254	7.35	7.30	7.30	0.127	0.104	0.095	3.72	3.21	2.76
93	0.80	0.70	0.60	76	74	76	257	242	235	7.30	7.25	7.30	0.118	0.107	0.088	3.45	2.96	2.63
94	0.90	0.80	0.70	70	70	72	246	231	234	7.20	7.20	7.20	0.106	0.095	0.082	3.14	2.76	2.51
95	0.85	0.75	0.70	66	66	68	238	223	218	7.25	7.30	7.30	0.105	0.092	0.079	3.06	2.76	2.43
96	0.70	0.65	0.55	66	64	66	225	221	217	7.45	7.40	7.40	0.094	0.083	0.068	2.76	2.53	2.17
97	0.85	0.80	0.65	68	66	66	227	225	213	7.25	7.20	7.20	0.090	0.085	0.066	2.74	2.58	2.11
98	0.80	0.75	0.65	62	64	62	231	227	229	7.50	7.50	7.45	0.085	0.083	0.064	2.58	2.41	2.02
99	0.75	0.70	0.60	62	64	64	239	235	221	7.30	7.30	7.30	0.082	0.072	0.056	2.31	2.18	1.84
100	0.65	0.65	0.55	62	62	62	243	238	231	7.50	7.50	7.40	0.097	0.093	0.075	2.87	2.76	2.31
101	0.75	0.75	0.60	64	64	64	245	242	232	7.30	7.20	7.30	0.078	0.076	0.061	2.42	2.37	1.97
102	0.80	0.75	0.65	64	66	66	256	243	241	7.20	7.20	7.30	0.074	0.073	0.058	2.17	2.13	1.81
103	0.70	0.65	0.60	68	68	68	249	241	242	7.55	7.50	7.50	0.081	0.076	0.064	2.48	2.38	2.05
104	0.90	0.85	0.75	66	66	68	262	251	248	7.50	7.45	7.50	0.093	0.088	0.074	2.81	2.67	2.31
105	0.85	0.85	0.70	64	66	64	268	262	252	7.25	7.30	7.30	0.086	0.085	0.066	2.62	2.59	2.16

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
106	0.80	0.80	0.65	66	64	64	259	256	255	7.50	7.40	7.40	0.071	0.069	0.054	2.21	2.19	1.79
107	0.85	0.80	0.70	68	66	66	252	249	243	7.20	7.20	7.10	0.063	0.063	0.049	2.02	2.05	1.65
108	0.90	0.90	0.75	66	68	66	262	255	252	7.20	7.20	7.20	0.074	0.075	0.006	2.31	2.38	1.94
109	0.80	0.85	0.70	64	66	64	268	257	254	7.10	7.20	7.20	0.101	0.101	0.083	2.97	3.11	2.54
110	0.90	0.95	0.75	64	66	66	278	262	258	7.15	7.20	7.15	0.097	0.101	0.083	2.94	3.17	2.53
111	0.95	1.05	0.80	70	68	68	255	249	242	7.40	7.30	7.30	0.081	0.083	0.064	2.43	2.76	2.05
112	0.85	-	0.75	72	-	72	256	-	252	7.25	-	7.20	0.093	-	0.075	2.81	-	2.34
113	0.70	-	0.60	74	-	74	258	-	253	7.30	-	7.30	0.125	-	0.104	3.56	-	2.99
114	1.05	-	0.85	76	-	76	262	-	253	7.50	-	7.45	0.099	-	0.080	2.96	-	2.46
115	0.90	-	0.75	76	-	78	267	-	261	7.35	-	7.40	0.094	-	0.077	2.81	-	2.38
116	0.85	-	0.75	80	-	78	278	-	264	7.25	-	7.20	0.115	-	0.093	3.33	-	2.8
117	0.90	-	0.75	74	-	76	279	-	271	7.15	-	7.20	0.113	-	0.091	3.31	-	2.73
118	0.80	-	0.70	76	-	74	278	-	272	7.25	-	7.25	0.099	-	0.080	2.98	-	2.47
119	1.20	-	0.90	78	-	76	281	-	275	7.30	-	7.30	0.106	-	0.086	3.13	-	2.61
120	1.10	-	0.90	80	-	78	288	-	277	7.25	-	7.20	0.115	-	0.091	3.36	-	2.76

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 2 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
121	0.80	-	0.75	78	-	78	292	-	279	7.40	-	7.40	0.109	-	0.089	3.21	-	2.74
122	0.90	-	0.75	78	-	76	288	-	281	7.50	-	7.50	0.104	-	0.088	3.08	-	2.68
123	0.85	-	0.70	76	-	76	285	-	276	7.60	-	7.50	0.123	-	0.098	3.56	-	2.94
124	0.60	-	0.55	78	-	78	275	-	267	7.55	-	7.50	0.142	-	0.116	3.95	-	3.47
125	0.80	-	0.70	74	-	76	284	-	277	7.50	-	7.45	0.123	-	0.104	3.52	-	3.12
126	0.90	-	0.80	76	-	78	272	-	268	7.40	-	7.45	0.125	-	0.108	3.61	-	3.19
127	0.85	-	0.80	74	-	76	263	-	255	7.35	-	7.40	0.139	-	0.123	3.99	-	3.58
128	0.70	-	0.60	70	-	74	258	-	251	7.05	-	7.10	0.136	-	0.124	3.92	-	3.52
129	0.70	-	0.65	74	-	72	244	-	241	7.20	-	7.20	0.135	-	0.121	3.89	-	3.52
130	0.90	-	0.80	70	-	70	258	-	247	7.50	-	7.40	0.122	-	0.110	3.56	-	3.24
131	0.60	-	0.60	66	-	68	231	-	227	7.50	-	7.45	0.132	-	0.123	3.81	-	3.51
132	0.80	-	0.75	70	-	70	298	-	283	7.45	-	7.40	0.142	-	0.134	3.94	-	3.69
133	0.80	-	0.80	68	-	70	254	-	245	7.30	-	7.30	0.121	-	0.117	3.45	-	3.34
134	0.85	-	0.85	68	-	68	256	-	253	7.25	-	7.30	0.132	-	0.128	3.71	-	3.6
135	0.60	-	0.60	66	-	68	242	-	238	7.30	-	7.25	0.135	-	0.134	3.87	-	3.81

ตารางที่ ค1 แสดงผลการเดินระบบขนาดต้นแบบชุดที่ 1 (ต่อ)

Date	Turbidity			Alkalinity			Conductivity			pH			UV254			DOC		
	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min	Influent	20 min	30 min
136	0.65	-	0.65	70	-	70	251	-	247	7.30	-	7.30	0.093	-	0.093	3.91	-	3.92
137	0.70	-	0.75	64	-	68	243	-	244	7.30	-	7.35	0.094	-	0.095	3.86	-	3.89
138	0.55	-	0.60	68	-	70	255	-	253	7.10	-	7.10	0.086	-	0.087	4.17	-	4.81
139	0.80	-	0.80	66	-	68	272	-	267	7.20	-	7.20	0.084	-	0.087	3.92	-	3.97
140	0.70	-	0.75	68	-	68	224	-	224	7.20	-	7.20	0.092	-	0.093	4.41	-	4.51
141	0.70	-	0.80	70	-	70	237	-	235	7.40	-	7.40	0.111	-	0.115	4.62	-	4.78

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบของผลการทดลองหาความต้องการคลอรีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง1 ผลการทดลองหาความต้องการคลอรีนของน้ำวันที่ 14 ของการเดินระบบ

ปริมาณคลอรีนที่ใช้ มก/ล.	ปริมาณคลอรีนตกค้าง มก/ล.		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที	น้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที
0	0	0	0
0.25	0.20	0.20	0.20
0.50	0.40	0.40	0.40
0.75	0.60	0.60	0.60
1.00	0.70	0.40	0.50
1.25	0.70	0.65	0.70
1.50	0.50	0.90	1.00
1.75	0.40	1.15	1.25
2.00	0.50	1.40	1.50
2.50	1.00	1.90	2.00
3.00	1.50	2.40	2.50
3.50	2.00	2.90	3.00
4.00	2.50	3.40	3.50

ตารางที่ ง2 ผลการทดลองหาความต้องการคลอรีนของน้ำวันที่ 29 ของการเดินระบบ

ปริมาณคลอรีนที่ใช้ มก/ล.	ปริมาณคลอรีนตกค้าง มก/ล.		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที	น้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที
0	0	0	0
0.25	0.15	0.20	0.25
0.50	0.35	0.40	0.50
0.75	0.50	0.55	0.70
1.00	0.65	0.60	0.65
1.25	0.75	0.55	0.85
1.50	0.80	0.80	1.10
1.75	0.70	1.05	1.35
2.00	0.40	1.30	1.60
2.50	0.80	1.80	2.10
3.00	1.30	2.30	2.60
3.50	1.80	2.80	3.10
4.00	2.30	3.30	3.60

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหาความต้องการคลอรีนของน้ำวันที่ 44 ของการเดินระบบ


ปริมาณคลอรีนที่ใช้ มก/ล.	ปริมาณคลอรีนตกค้าง มก/ล.		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที	น้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที
0	0	0	0
0.25	0.10	0.20	0.25
0.50	0.30	0.40	0.50
0.75	0.50	0.60	0.70
1.00	0.70	0.70	0.80
1.25	0.85	0.60	0.70
1.50	0.90	0.40	0.50
1.75	0.80	0.60	0.70
2.00	0.60	0.80	1.00
2.50	0.50	1.30	1.50
3.00	1.00	1.80	2.00
3.50	1.50	2.30	2.50
4.00	2.00	2.80	3.00

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหาความต้องการคลอรีนของน้ำวันที่ 60 ของการเดินระบบ

ปริมาณคลอรีนที่ใช้ มก/ล.	ปริมาณคลอรีนตกค้าง มก/ล.		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที	น้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที
0	0	0	0
0.25	0.25	0.25	0.25
0.50	0.50	0.50	0.50
0.75	0.70	0.70	0.65
1.00	0.80	0.60	0.60
1.25	0.80	0.80	0.80
1.50	0.60	1.00	1.00
1.75	0.60	1.20	1.25
2.00	0.80	1.40	1.50
2.50	1.30	1.90	2.00
3.00	1.80	2.40	2.50
3.50	2.30	2.90	3.00
4.00	2.80	3.40	3.50

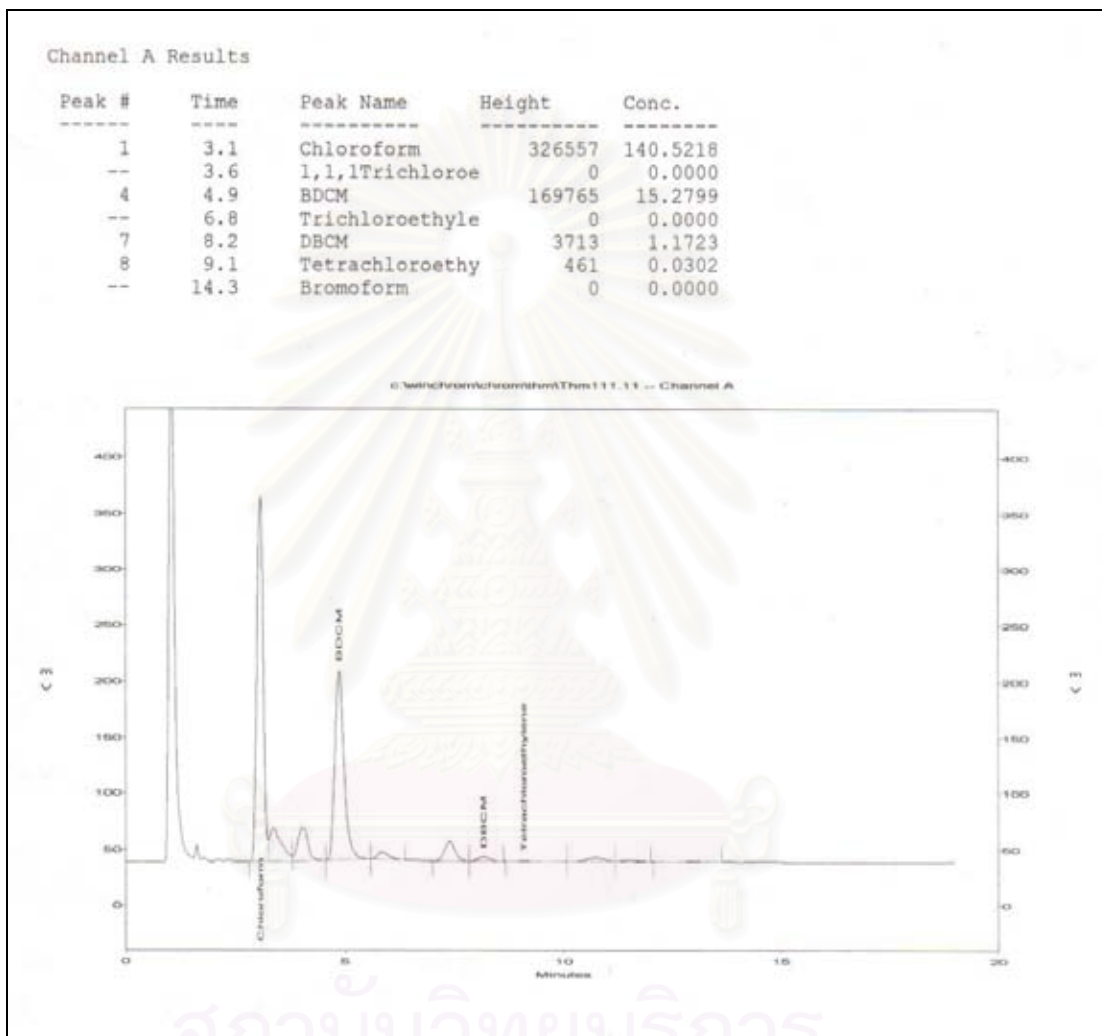
ตารางที่ 5 ผลการทดลองหาความต้องการคลอรีนของน้ำวันที่ 90 ของการเดินระบบ

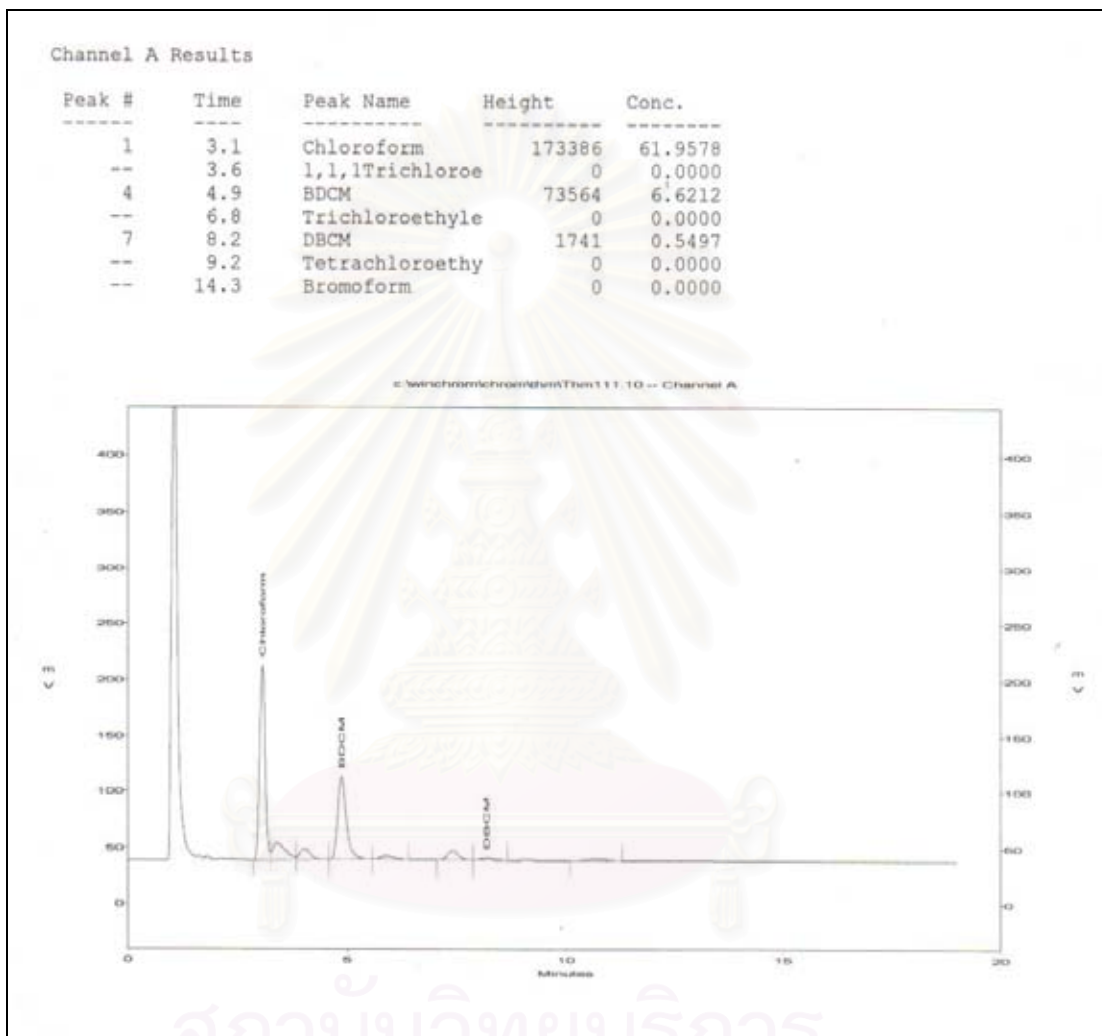
ปริมาณคลอรีนที่ใช้ มก/ล.	ปริมาณคลอรีนตกค้าง มก/ล.		
	น้ำเข้าระบบ	น้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาที	น้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาที
0	0	0	0
0.25	0.20	0.20	0.20
0.50	0.40	0.40	0.40
0.75	0.60	0.60	0.60
1.00	0.70	0.60	0.60
1.25	0.60	0.50	0.40
1.50	0.40	0.40	0.40
1.75	0.40	0.40	0.60
2.00	0.50	0.60	0.80
2.50	1.00	1.10	1.30
3.00	1.50	1.60	1.80
3.50	2.00	2.10	2.30
4.00	2.50	2.60	2.80



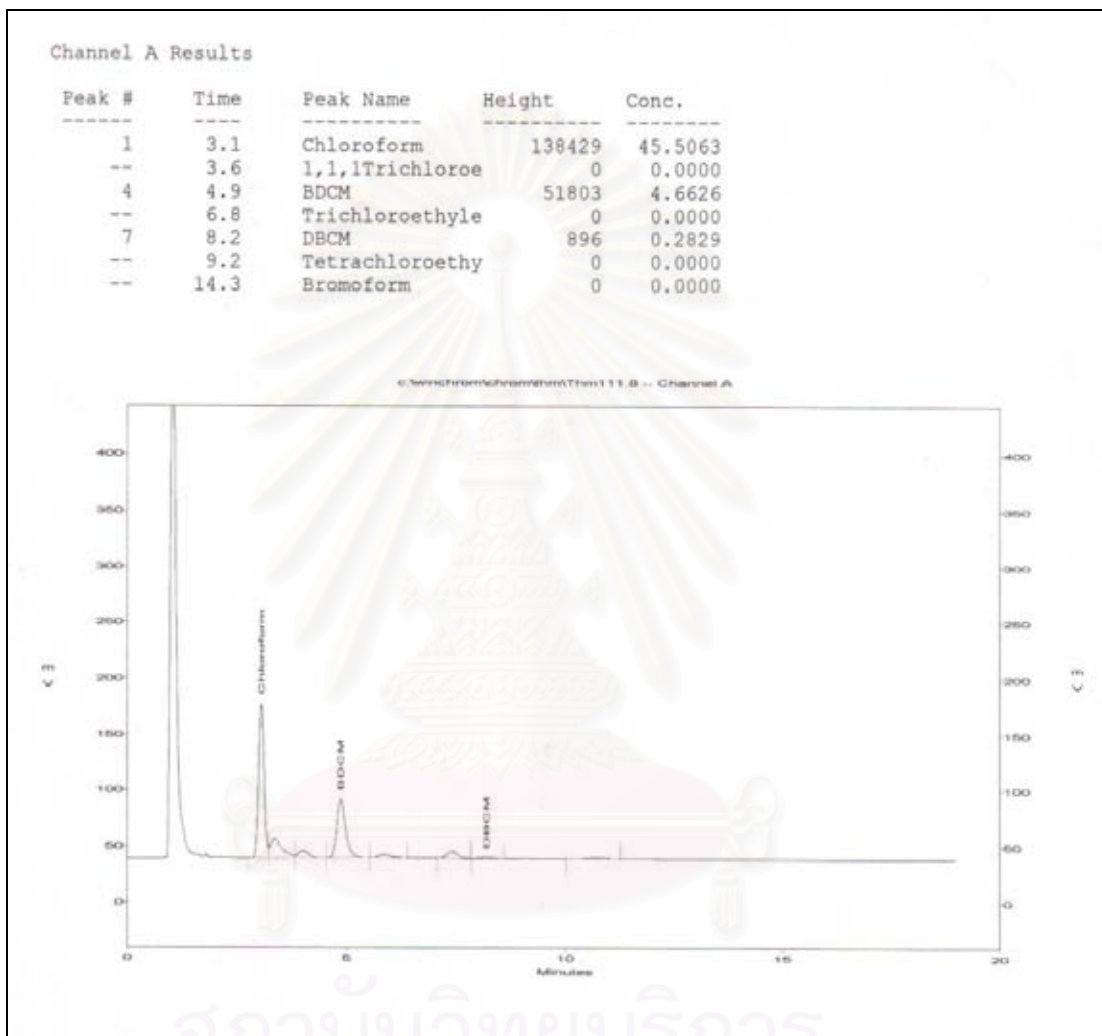
ภาคผนวก จ
ข้อมูลดิบของผลการวิเคราะห์สารไตรฮาโลมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

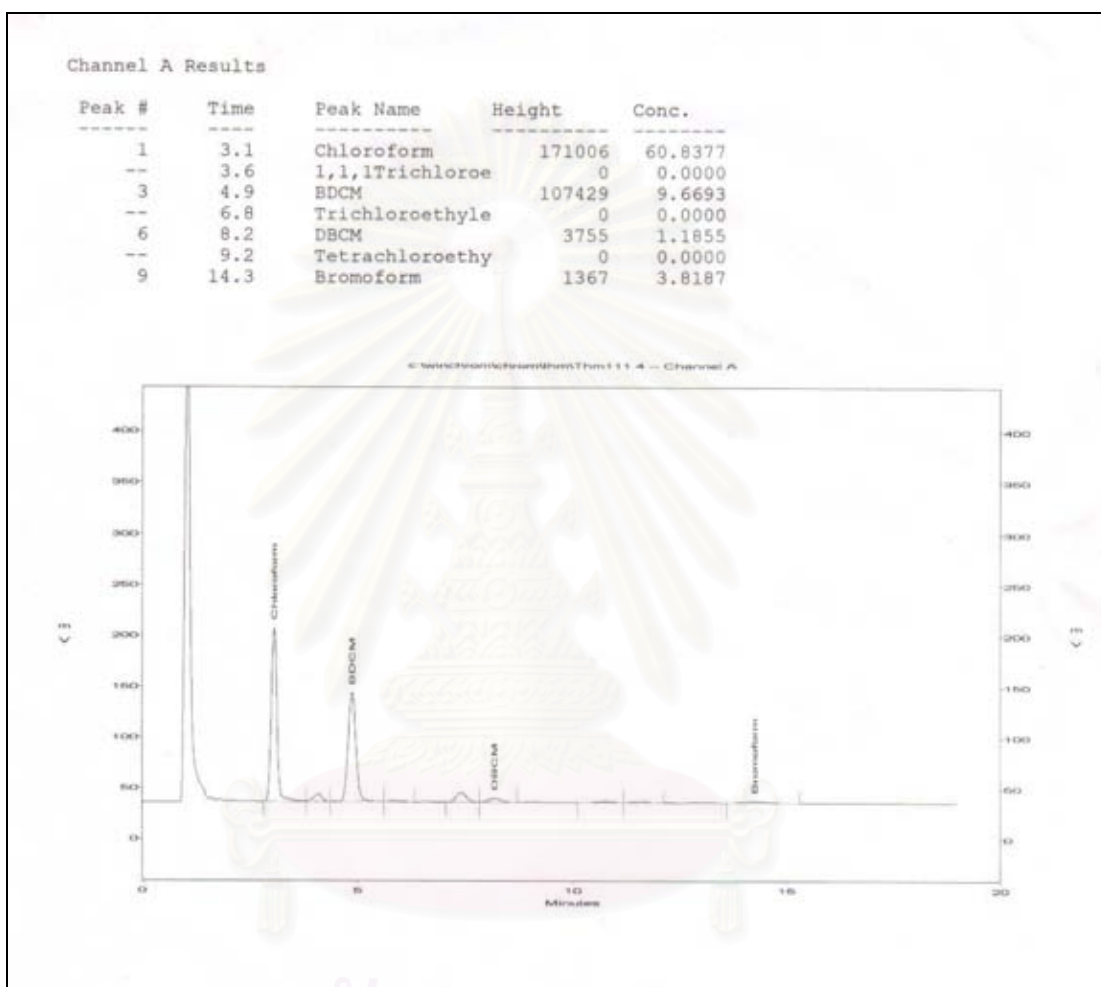




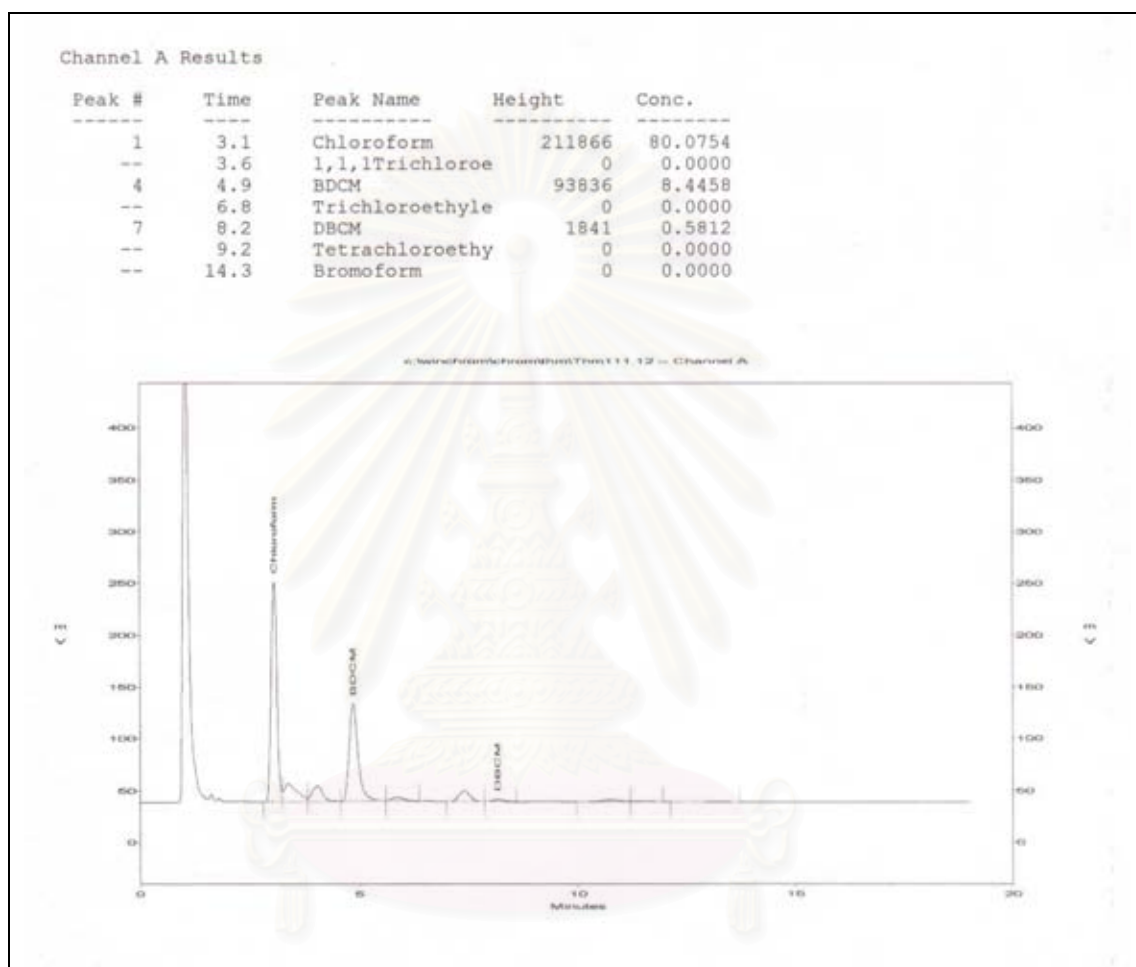
ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีในวันที่ 15 ของการเดินระบบ



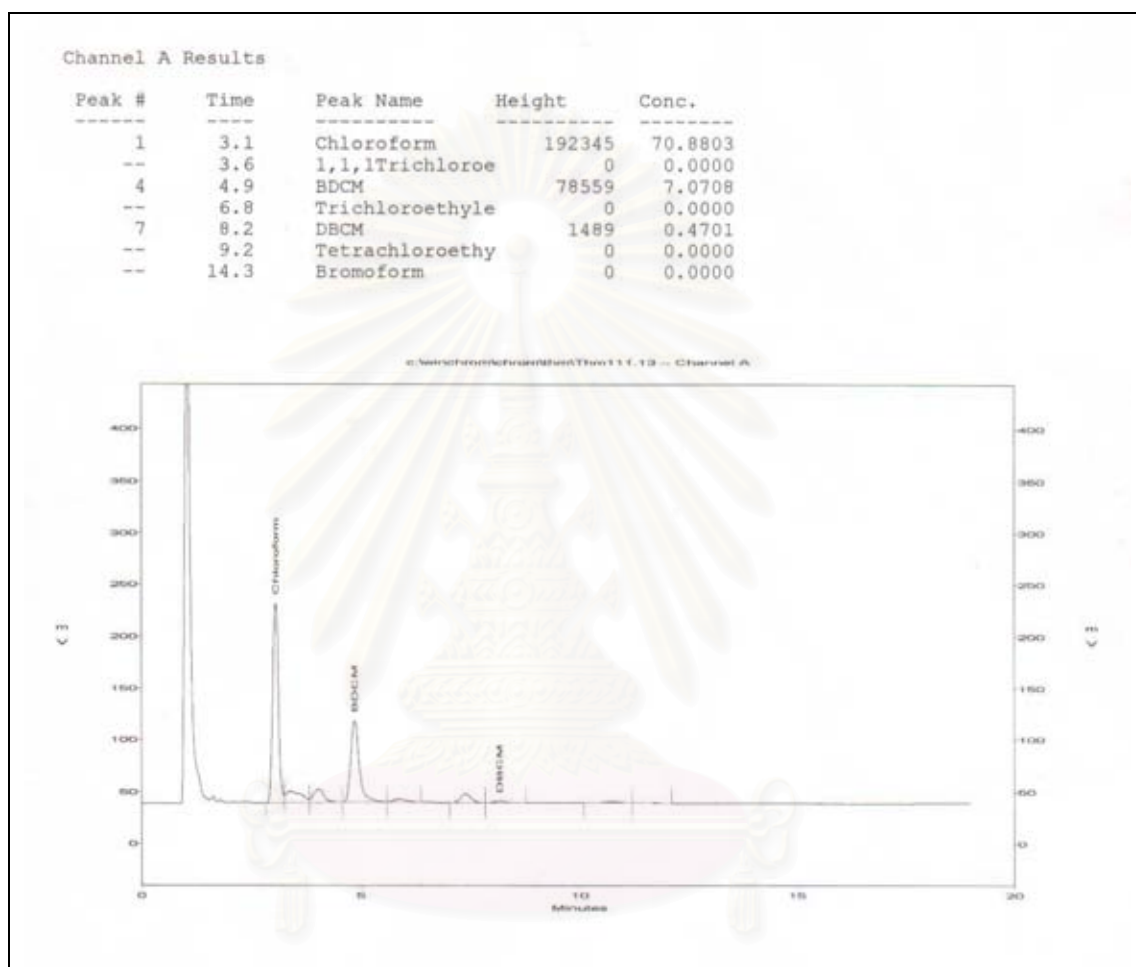
ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีในวันที่ 15 ของการเดินระบบ



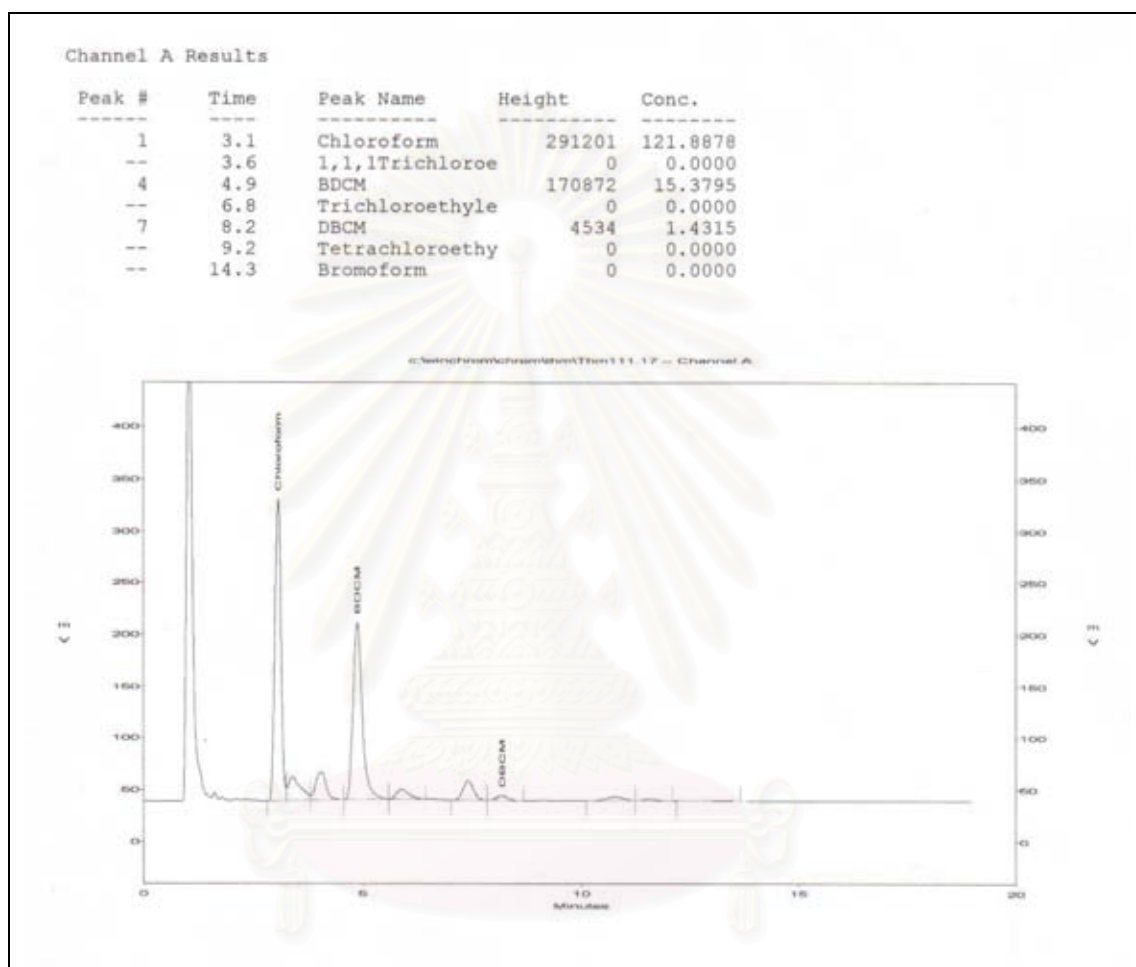
ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบในวันที่ 30 ของการเดินระบบ



ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีในวันที่ 30 ของการเดินระบบ

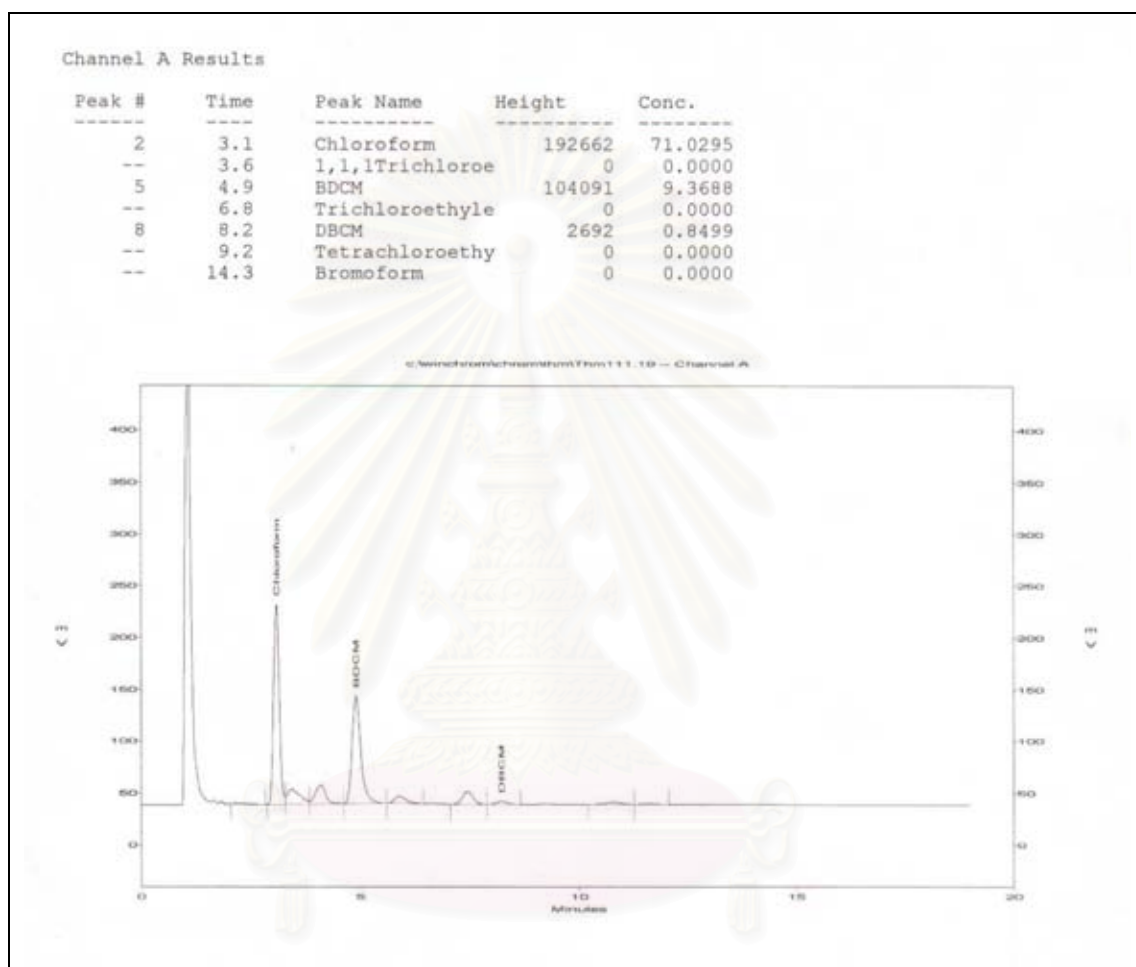


ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีในวันที่ 30 ของการเดินระบบ

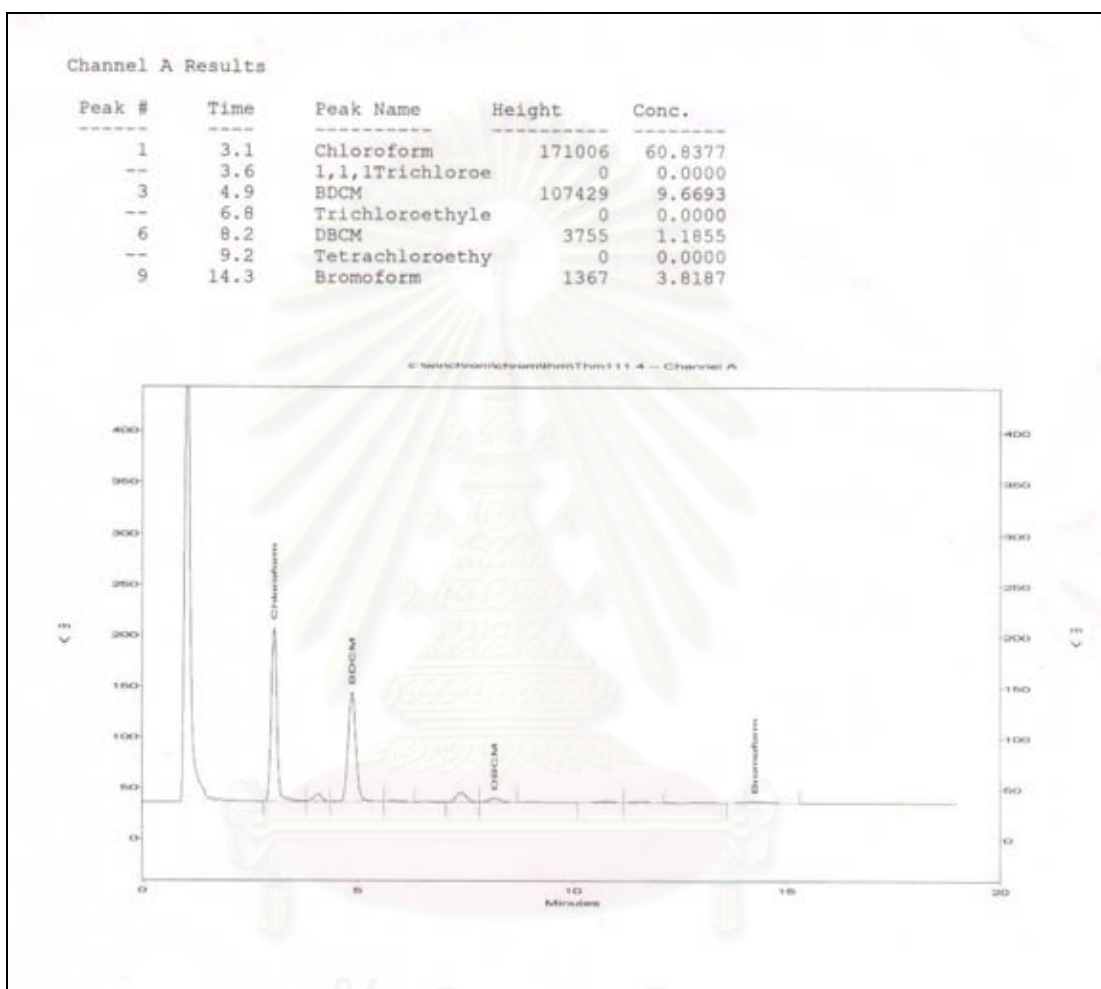


ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบในวันที่ 45 ของการเดินระบบ

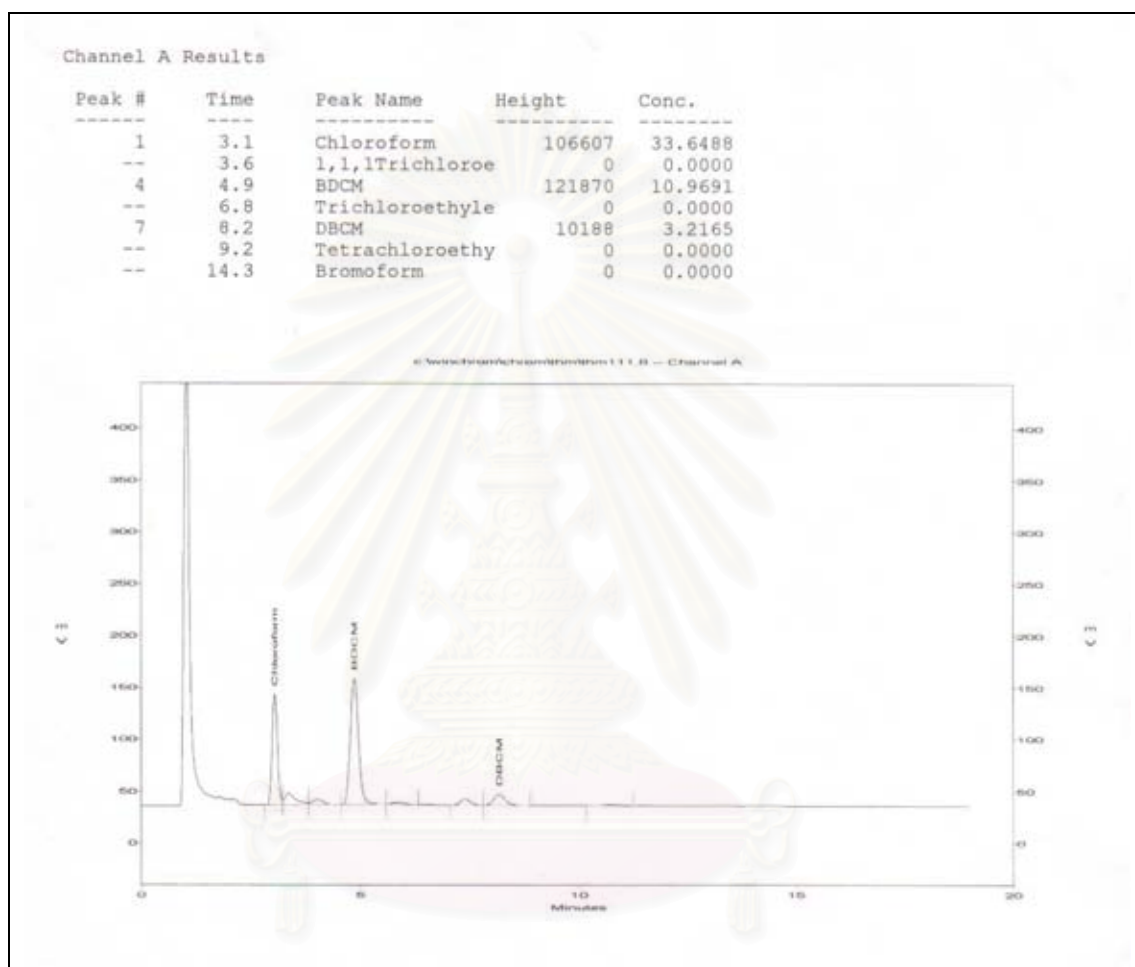
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



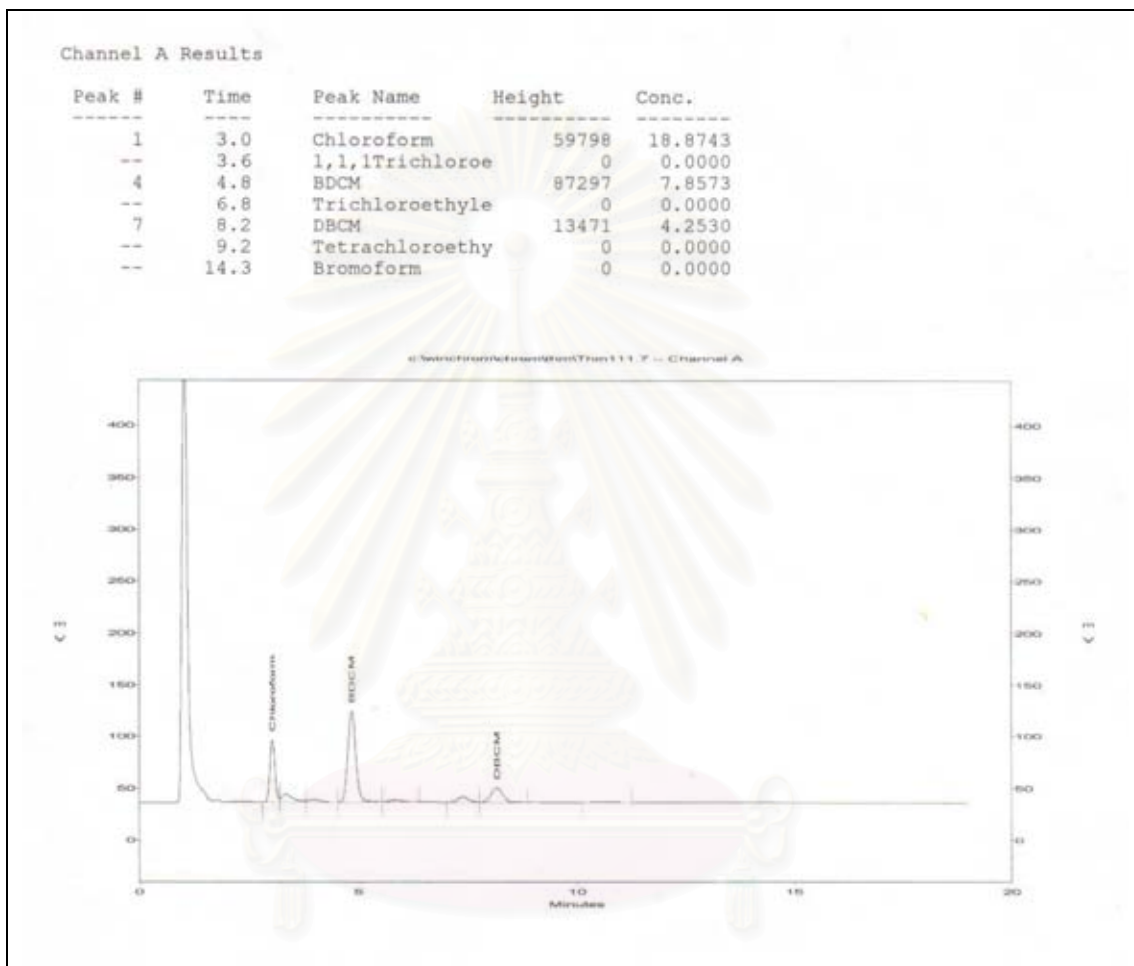
ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีในวันที่ 45 ของการเดินระบบ



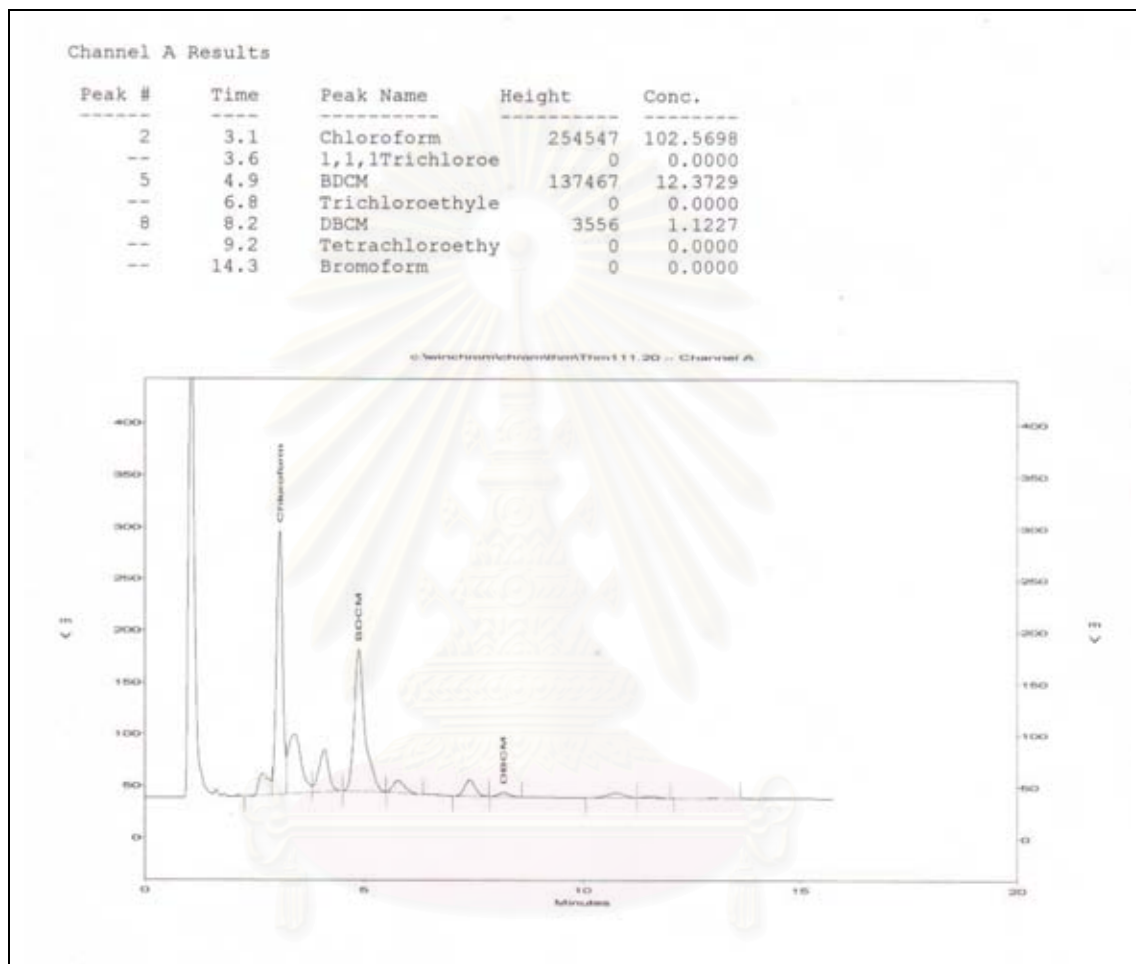
ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบในวันที่ 61 ของการเดินระบบ



ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีในวันที่ 61 ของการเดินระบบ

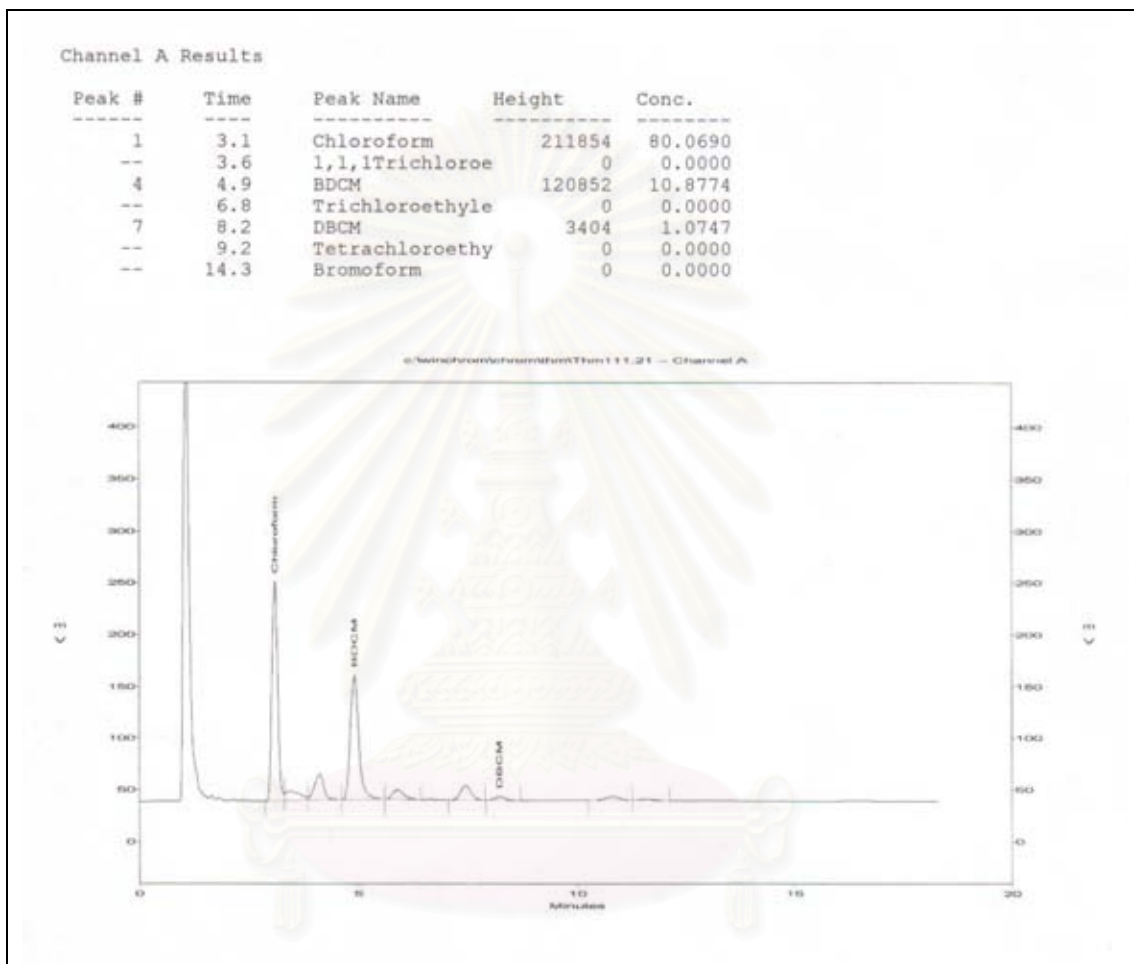


ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีในวันที่ 61 ของการเดินระบบ

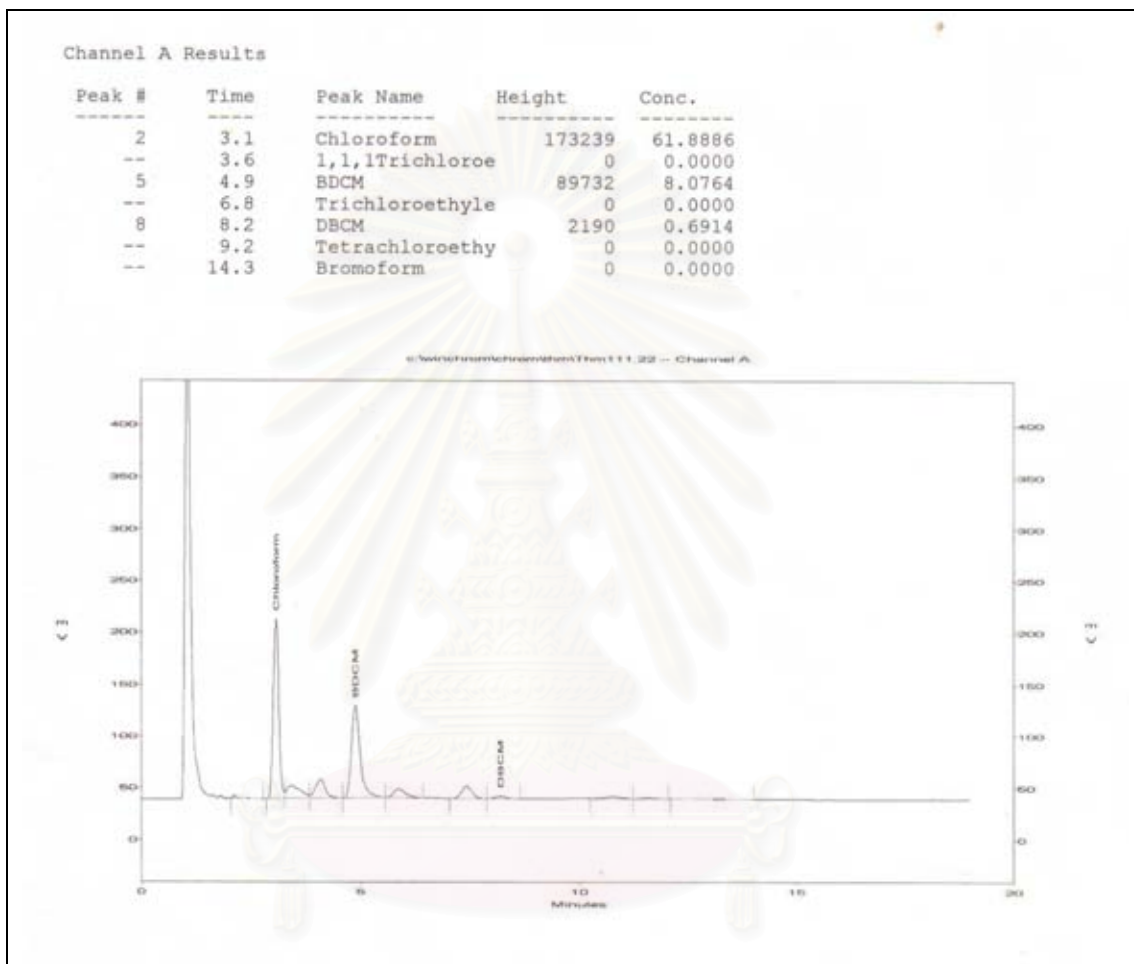


ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำเข้าระบบในวันที่ 91 ของการเดินระบบ


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 20 นาทีในวันที่ 91 ของการเดินระบบ



ผลการวิเคราะห์ค่าไตรฮาโลมีเทนของน้ำที่ผ่านการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำที่เวลาสัมผัส 30 นาทีในวันที่ 91 ของการเดินระบบ



ภาคผนวก ฉ
แสดงการออกแบบระบบและประมาณค่าใช้จ่าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดให้ต้องการระบบที่สามารถผลิตน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

กำหนดขนาดของ Unit

- เส้นผ่านศูนย์กลาง = 1 เมตร

- ความสูง = 2 เมตร

- ความลึกชั้นถ่าน = 1 เมตร

ปริมาตรของชั้นถ่าน = 3.14 ลูกบาศก์เมตร

กำหนดเวลาสัมผัส = 20 นาที

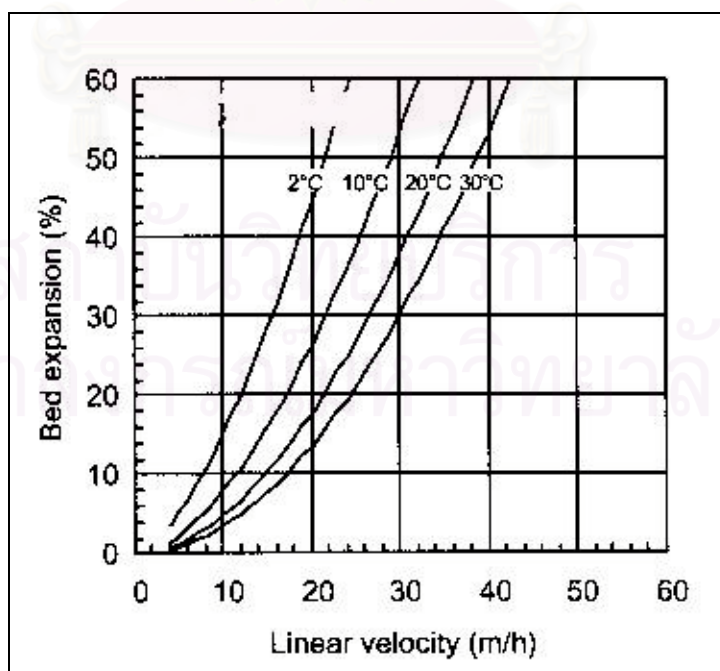
อัตราการผลิตน้ำ = 9.4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

= 225 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

สร้างจำนวน 5 Unit จะผลิตน้ำได้รวม = 1,125 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ถ้าระบบสามารถเดินได้ 4 Unit	ถ้าระบบสามารถเดินได้ 5 Unit
อัตราการผลิตน้ำแต่ละหน่วย 250 CMD 10.4 m ² /h	อัตราการผลิตน้ำแต่ละหน่วย 200 CMD 8.3 m ² /h
เวลาสัมผัส 18.2 นาที	เวลาสัมผัส 22 นาที

จากกราฟ Backwash ที่ความเร็ว 30 เมตรต่อชั่วโมง จะมี Expansion Bed เท่ากับ 40 %



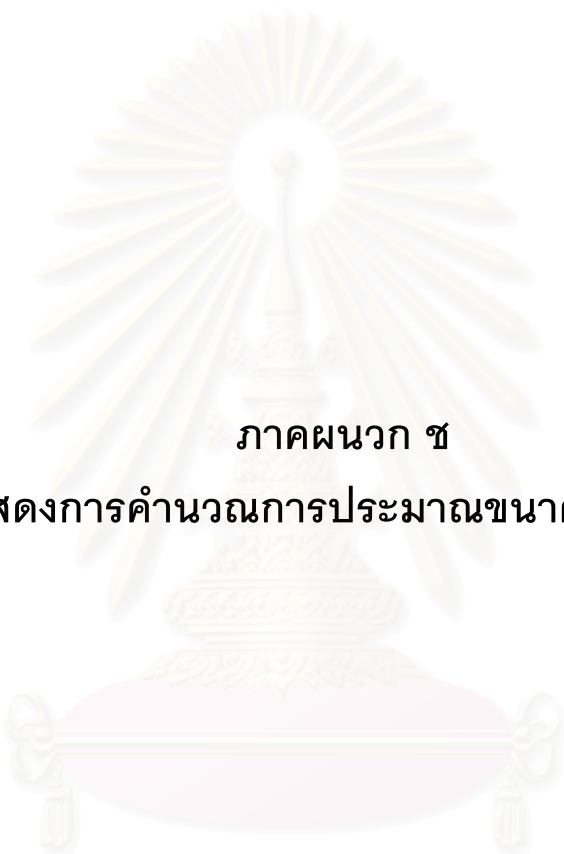
การประมาณค่าใช้จ่าย

รายการ	ราคา, บาท
ราคาค่าก่อสร้าง	
ค่าก่อสร้าง Unit	
ค่าก่อสร้างทั้งหมด 5 Unit	
ค่าติดตั้ง Pump ประมาณ 25 %	
ค่าก่อสร้างอื่นๆ ประมาณ 15 %	
รวมค่าก่อสร้างทั้งหมด	

รายการ	ราคา, บาท
ราคาก่อสร้างที่ใช้เริ่มต้น ต่อตัน	50,000
ราคาค่า Regeneration ต่อตัน	10,000
- ค่าแรงงาน	5,000
- ค่า Make up ถ่าน (สูญเสียถ่านประมาณ 8 %)	4,000
- อื่นๆ	1,000
ค่าถ่านที่ใช้เริ่มต้นต่อหน่วย	75,000
ค่าถ่านที่ต้องใช้ทั้งหมดต่อหน่วย ต่อปี	111,000
ค่าถ่านที่ต้องใช้ทั้งหมดต่อปี	555,000
ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบถ่าน - ค่าคนงาน 10 %	55,000
- ค่าไฟฟ้า 10 %	55,000
- อื่นๆ 20 %	111,000
รวมค่าที่ต้องใช้เดินระบบ	777,000

หมายเหตุ

- ต้องใช้ถ่าน 1,500 kg/unit
- ต้องเปลี่ยนถ่านทั้งหมด 3.6 ครั้งต่อปี
- ถ่านสูญเสียในการ Regenerate ประมาณ 8 %



ภาคผนวก ช
แสดงการคำนวณการประมาณขนาดตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงการคำนวณการประมาณขนาดตัวอย่าง

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทน โดยในการทดลองได้สุ่มตัวอย่างสารอินทรีย์ละลายน้ำมา 15 ตัวอย่าง จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 399 ตัวอย่าง การคำนวณการประมาณขนาดของตัวอย่างที่จะใช้ในการหาความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทน จากประชากรสารอินทรีย์ละลายน้ำทั้งหมด

จากข้อมูลการทดลองคำนวณค่าต่างๆทางสถิติได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของประชากรสารอินทรีย์ละลายน้ำ, μ	เท่ากับ	2.37 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความแปรปรวนของประชากร, σ^2	เท่ากับ	0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสารอินทรีย์ละลายน้ำ, X	เท่ากับ	2.90 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความแปรปรวนของตัวอย่าง, s^2	เท่ากับ	1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร

อันตรภาคแห่งความเชื่อมั่นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\alpha = 0.05$) ของ μ

$$\begin{aligned}
 &= X \pm ts \\
 &= 2.90 \pm 2.131 \times 1.07^{1/2} \\
 &= 2.90 \pm 2.2 \\
 &= 0.7, 5.1
 \end{aligned}$$

ในการประมาณขนาดของตัวอย่าง ถ้าต้องการให้ค่าของ X ผิดไปจาก μ เท่ากับ 0.6

$$\begin{aligned}
 n &= (t\sigma/d)^2 \\
 &= (2.131 \times 0.93 / 0.6)^2 \\
 &= 10.91 \text{ หรือประมาณ } 11
 \end{aligned}$$

เปิดตารางหาค่า t ที่องศาของควมอิสระ $15-1 = 14$ ที่ $\alpha = 0.05$ ได้ 2.131

จากการคำนวณประมาณขนาดของตัวอย่างข้างต้น ตัวอย่างที่ต้องใช้เป็น 11 แต่ในการหาความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทนสุ่มตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง แสดงว่ากราฟความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำกับสารไตรฮาโลมีเทนที่ได้จากตัวอย่าง 15 ตัวอย่างนี้มีความน่าเชื่อถือ ใช้ในการทำนายค่าไตรฮาโลมีเทนได้



ภาคผนวก ซ
ผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03

SAMPLE ID : BG-816

OPERATOR : ENV

ANALYSIS GAS : Nitrogen

SAMPLE WT : 0.2107 g

FREE SPACE : 48.8636 cc

EQUIL INTRVL : 10 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA :	933.4741 sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P / Po 0.2043 :	944.0635 sq. m/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	232.0614 sq. m/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	266.4401 sq. m/g
MICROPOROUS AREA :	637.0308 sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS THAN 1519.5149 A DIAMETER AT P / Po 0.9871 :	0.533665 cc/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	0.217801 cc/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	0.233853 cc/g
MICROPOROUS VOLUME :	0.289168 cc/g

PORE SIZE

AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A BY LANGMUIR) :	17.0462 A
BJH ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A) :	37.5419 A
BJH DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A) :	35.1077 A

Micromeritics Instrument Corporation

ASAP 2000 V3.03

SAMPLE ID : CGC-11

OPERATOR : ENV

ANALYSIS GAS : Nitrogen

SAMPLE WT : 0.1980 g

FREE SPACE : 49.0056 cc

EQUIL INTRVL : 10 sec

SUMMARY REPORT

AREA

BET SURFACE AREA :	1001.1279 sq. m/g
SINGLE POINT SURFACE AREA AT P / Po 0.2029 :	1027.7140 sq. m/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	87.7461 sq. m/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION SURFACE AREA OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	106.4597 sq. m/g
MICROPOROUS AREA :	780.9847 sq. m/g

VOLUME

SINGLE POINT TOTAL PORE VOLUME OF PORES LESS THAN 1519.5149 A DIAMETER AT P / Po 0.9856 :	0.481555 cc/g
BJH CUMULATIVE ADSORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	0.063499 cc/g
BJH CUMULATIVE DESORPTION PORE VOLUME OF PORES BETWEEN 17.0000 AND 3000.0000 A DIAMETER :	0.071741 cc/g
MICROPOROUS VOLUME :	0.362958 cc/g

PORE SIZE

AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A BY LANGMUIR) :	14.5383 A
BJH ADSORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A) :	28.9467 A
BJH DESORPTION AVERAGE PORE DIAMETER (4V / A) :	26.9552 A

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายต่อตระกูล วัฒนวรภิกกุล เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 5 สิงหาคม 2522 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย