

## บทที่ 4

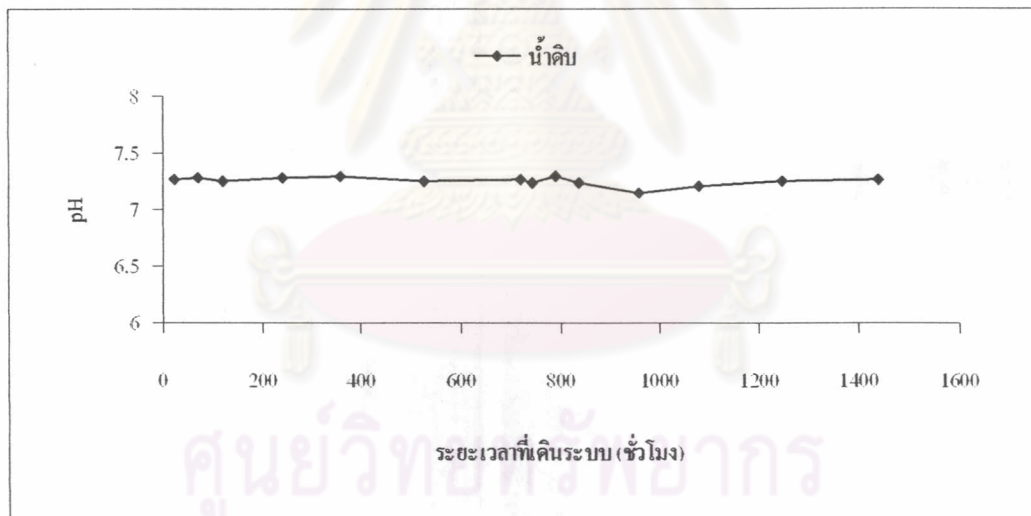
### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ลักษณะของน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำดิบเป็นน้ำประปา ซึ่งเป็นน้ำที่ไหลผ่านท่อจ่ายน้ำประปาของการประปานครหลวงมาพักที่บ่อเก็บพักน้ำบริเวณใต้ตึกเจริญวิศวกรรม ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อสูบจ่ายใช้ในอาคาร ในช่วงเดือนมิถุนายน 2547 ถึง สิงหาคม 2547

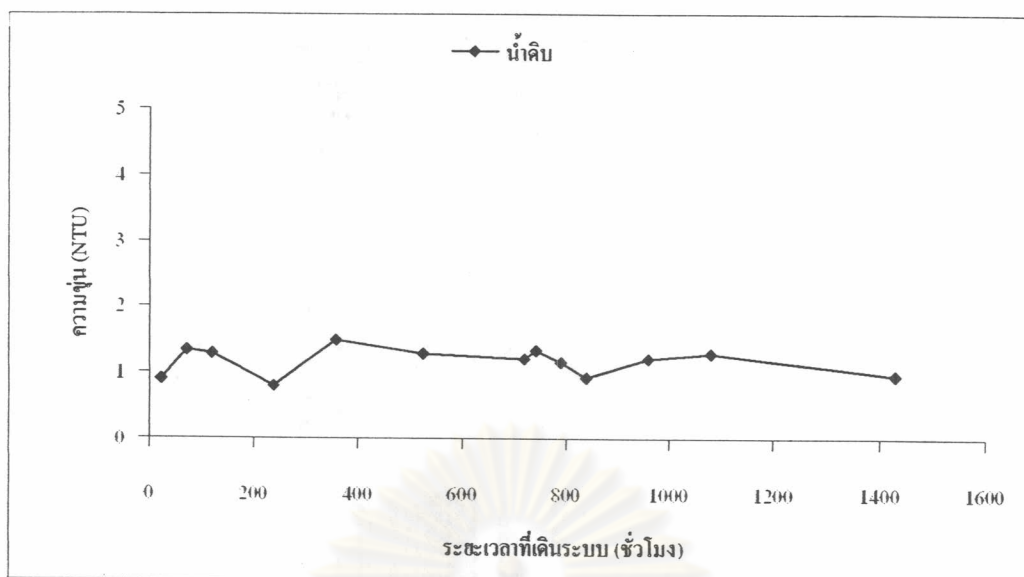
ในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำที่เข้าระบบ ตลอดระยะเวลาทดลองทั้งสิ้น 1,440 ชั่วโมง ซึ่งคุณสมบัติน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบแสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.4

ค่าพีเอชที่เข้าสู่ระบบทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 7.0 – 7.9 แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นช่วงที่ปกติ และไม่กระทบต่อการทำงานของตัวเมมเบรน ที่ควรอยู่ในช่วง 2 – 11



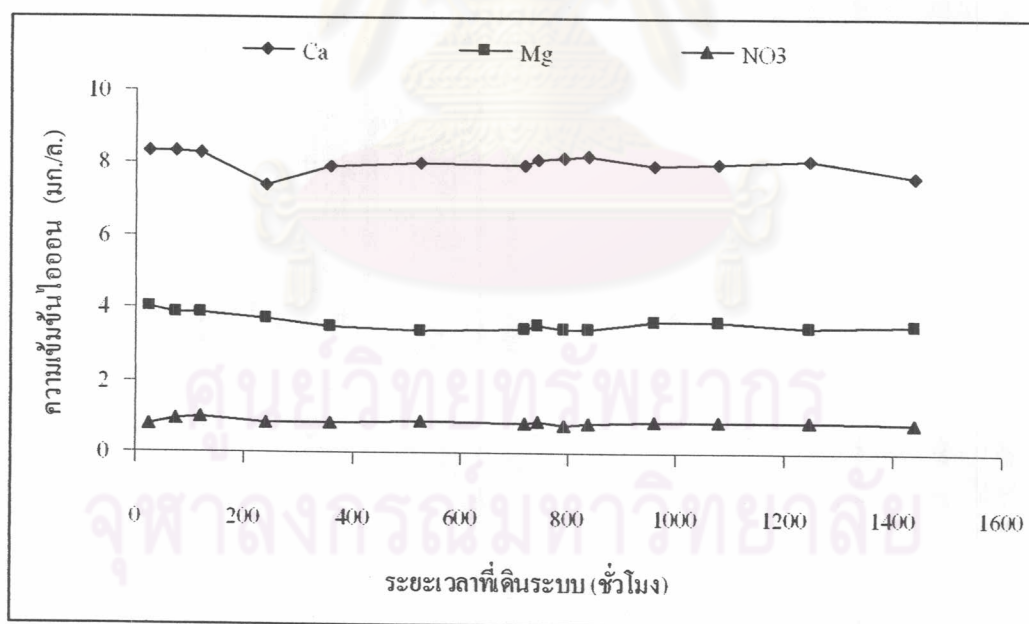
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำดิบ กับระยะเวลาที่เดินระบบ

ความขุ่นของน้ำจากถังพักก่อนเข้าระบบผลิตไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า มีค่าอยู่ในช่วง 1 – 2 NTU แสดงดังรูปที่ 4.2

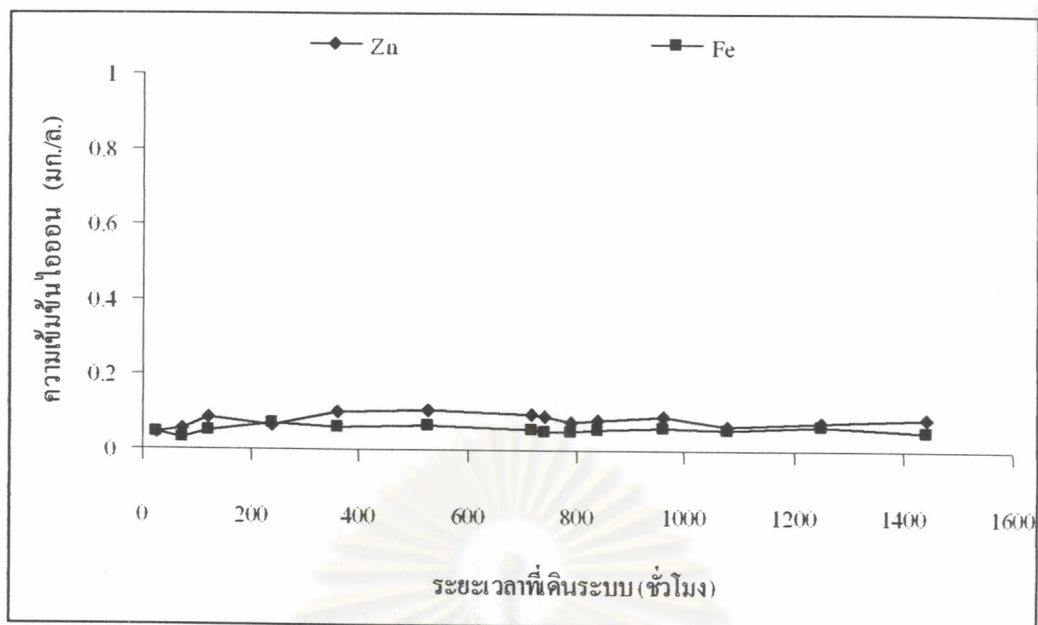


รูปที่ 4.2 ความขุ่นของน้ำดิบ กับระยะเวลาที่เดินระบบ

ปริมาณความเข้มข้นของไอออนของน้ำที่ออกจากถังพักน้ำก่อนเข้าระบบผลิต ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) ดังจะสังเกตได้ว่าไอออนแต่ละชนิดในน้ำดิบมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทดลอง

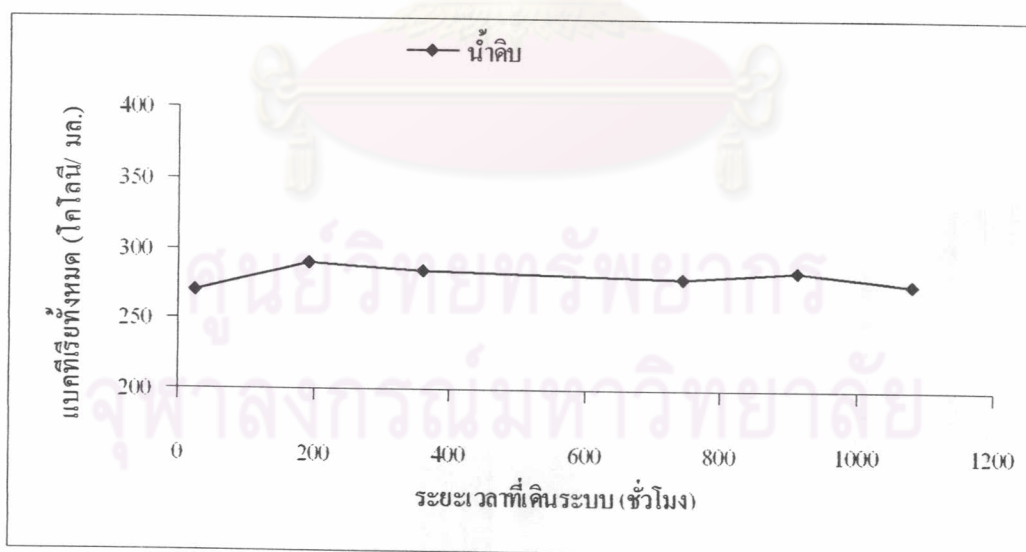


รูปที่ 4.3 (ก) ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และไนเตรตในน้ำดิบ  
กับระยะเวลาที่เดินระบบ



รูปที่ 4.3 (ข) ความเข้มข้น สังกะสี และ เหล็ก ในน้ำดิบ กับระยะเวลาที่เดินระบบ

ทางด้านคุณสมบัติทางชีววิทยา ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังพักน้ำก่อนเข้าระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 280 – 300 โคโลนี / น้ำ 100 มล. ตลอดระยะเวลาที่ทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังพัก กับเวลาที่เดินระบบ

ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดของน้ำที่ออกจากถังพักน้ำก่อนเข้าระบบมีค่าน้อยกว่า 2.2 ต่อ น้ำ 100 มล. และตรวจไม่พบเลยสำหรับ *E.Coli*

จากข้อมูลข้างต้นจะสังเกตได้ว่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำดิบมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำดิบเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดมาระดับหนึ่งแล้ว และการวิจัยนี้เก็บข้อมูลในช่วงที่ทำการ ทดลองเท่านั้นซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 เดือน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของน้ำก่อนเข้าระบบผลิตที่ใช้ในการทดลอง จาก ตารางแสดงผลจะสังเกตได้ว่าน้ำประปาที่นำมาใช้เป็นน้ำดิบในการทดลองที่มาจากถังพักน้ำ บริเวณใต้ตึกเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีคุณภาพอยู่ใน มาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA ยกเว้น ความขุ่น และสารไตรฮาโลมีเทน และเนื่องจากในปัจจุบัน ระบบท่อจ่ายน้ำที่มีใช้อยู่จำนวนมากมีอายุการใช้งานมานานและมีโอกาสชำรุดเสียหาย ตลอดเวลา ส่งผลให้สิ่งปนเปื้อนภายนอกมีโอกาสปนเปื้อนกับน้ำในท่อได้ โดยเฉพาะท่อที่มีความ ดันน้ำในเส้นท่อต่ำซึ่งเป็นลักษณะที่มักพบในท่อสาขาที่อยู่ในถนนสายเล็กหรือซอย ทำให้ผู้บริโภค จำนวนมากขาดความมั่นใจในการบริโภคน้ำประปาจากก๊อกที่บ้าน หรือแม้แต่การใช้ได้กรองต่างๆ ที่มีจำหน่ายมากมายในท้องตลาด หากผู้บริโภคไม่หมั่นดูแลรักษาและเปลี่ยนไส้กรองบ่อยๆซึ่ง จำเป็นต้องจ่ายเงินเป็นค่าใช้จ่ายเพื่อการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องแล้ว ไส้กรองที่ใช้ อาจเป็นแหล่ง เชื้อเพาะเชื้อแบคทีเรียได้ จึงมีผู้บริโภคจำนวนไม่น้อยหันไปบริโภคน้ำจากผลิตภัณฑ์บรรจุขวด ซึ่งมี ราคาสูงกว่าน้ำประปามากกว่า 100 เท่า อีกทั้งเป็นการเพิ่มขยะที่เป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกอีกด้วย ทำให้การมีระบบผลิตน้ำดื่มสำหรับชุมชนมีความเหมาะสม เพราะเป็นระบบที่ชุมชนใช้น้ำนี้บริโภค ร่วมกันและสามารถดูแลบำรุงรักษาได้เป็นระบบ น้ำจากระบบมีคุณภาพสูง ทำการตรวจวัด คุณภาพได้สะดวก ขณะที่ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดกว่าน้ำดื่มบรรจุขวด อีกทั้งเป็นการลดปริมาณขยะ ขวดพลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



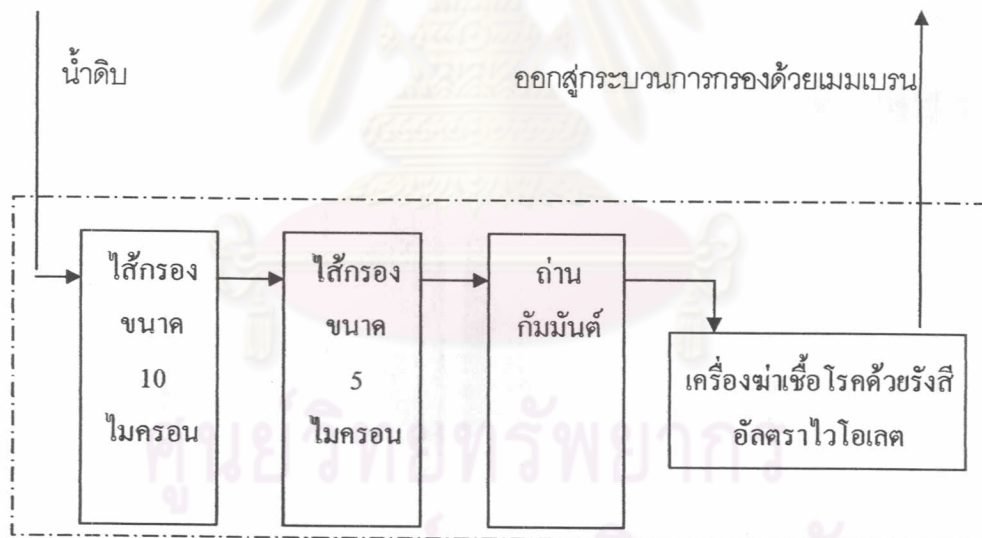
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของน้ำก่อนเข้าระบบผลิตที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	หน่วย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน น้ำดื่ม (USEPA)
พีเอช		7.2 – 7.3	7.3	6.5-8.5
ความขุ่น	NTU	0.8 – 1.5	1.2	<1
แคลเซียม	มก. / ล.	7.4 – 8.3	8.0	<75
แมกนีเซียม	มก. / ล.	4 – 3.4	3.6	<50
เหล็ก	มก. / ล.	0.03 – 0.07	0.06	<0.3
ทองแดง	มก. / ล.	ไม่พบ	ไม่พบ	<1
สังกะสี	มก. / ล.	0.05 - 0.11	0.08	<5
ไนเตรต	มก. / ล.	1.0 – 0.8	0.86	<50
Total Bacteria	โคโลนี / มล.	270 - 290	280	<500
Total Coliform	MPN ต่อน้ำ 100 มล.	< 2.2	< 2.2	<2.2
E.Coli	MPN ต่อน้ำ 100 มล.	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สารไตรฮาโลมีเทน	ไมโครกรัม / ลิตร	100 - 103	101	< 80

## 4.2 ระบบบำบัดเบื้องต้น

เมมเบรนที่ใช้ในการทดลองมีราคาสูง จึงไม่ควรที่จะใช้เมมเบรนในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนทั่วไปที่มีในน้ำที่สามารถกำจัดได้ง่ายโดยใช้วิธีการกรองผ่านไส้กรองธรรมดา เช่น สารแขวนลอยในน้ำ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระการทำงานและยืดอายุการใช้งานให้เมมเบรน จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน โดยในการทดลองนี้ระบบบำบัดเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 4.5 ประกอบไปด้วย

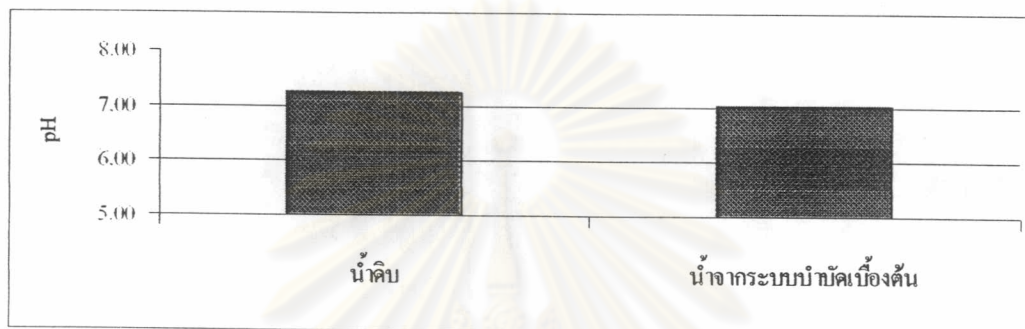
1. ไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ทำหน้าที่กำจัดสารแขวนลอยขนาดใหญ่ และลดสารแขวนลอยขนาดเล็กต่างๆที่จะเข้าสู่ระบบต่อไป
2. ถ่านกัมมันต์ ทำหน้าที่กำจัดคลอรีนในน้ำ เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองผลิตมาจากสารโพลีเมอร์กลุ่มโพลีเอไมด์ ซึ่งจะเกิดความเสียหายหากสัมผัสกับคลอรีน
3. เครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำหน้าที่ลดจำนวนแบคทีเรียในน้ำก่อนเข้าระบบเมมเบรน เพื่อลดโอกาสที่เชื้อแบคทีเรียจะเจริญเติบโตบนผิวเมมเบรน แล้วส่งผลให้เมมเบรนอุดตันและเสียหายได้



รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบของระบบบำบัดเบื้องต้น

#### 4.2.1 ผลของระบบบำบัดเบื้องต้นต่อค่าพีเอช

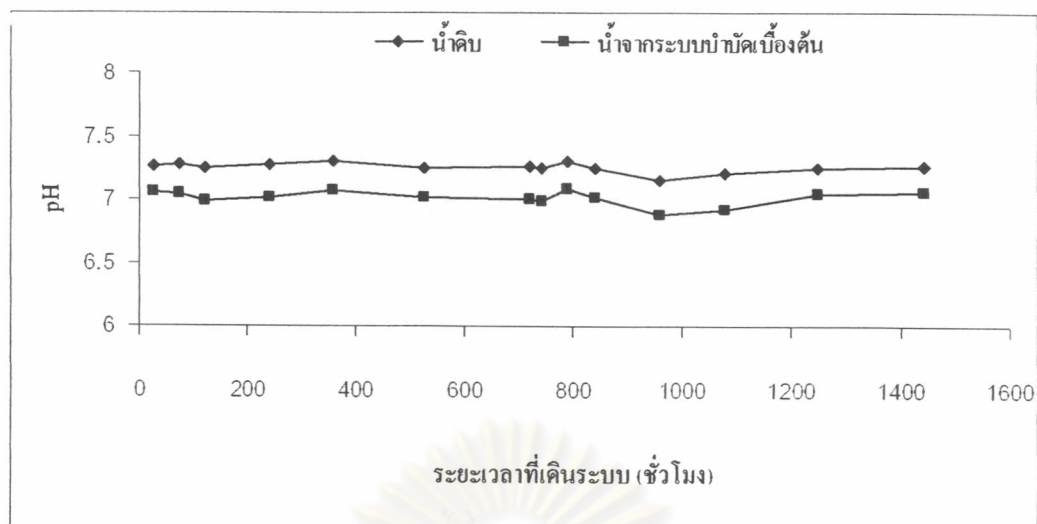
ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อค่าพีเอชเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.6 จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย สาเหตุเพราะการบำบัดเบื้องต้นสามารถกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพต่างในน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$   $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  ได้จำนวนหนึ่งซึ่งไม่มากนัก รวมถึงไอออนประจุบวกคือ  $\text{H}^+$  ซึ่งเป็นตัวแสดงสภาพกรดในน้ำนั้นไม่สามารถกำจัดได้ด้วยระบบบำบัดเบื้องต้นนี้ จึงมีผลทำให้ค่าพีเอชในน้ำลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.6 ค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

ค่าพีเอชในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 4.7 ผลของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นที่ใช้เป็นระยะเวลานานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชการในทดลองนี้ พบว่าการใช้ระบบบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยในสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาทดลอง สาเหตุเพราะไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพต่างในน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$   $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  มีปริมาณไม่มากนัก ทำให้ระยะเวลาไม่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดสภาพต่างในน้ำของระบบบำบัดเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองนี้

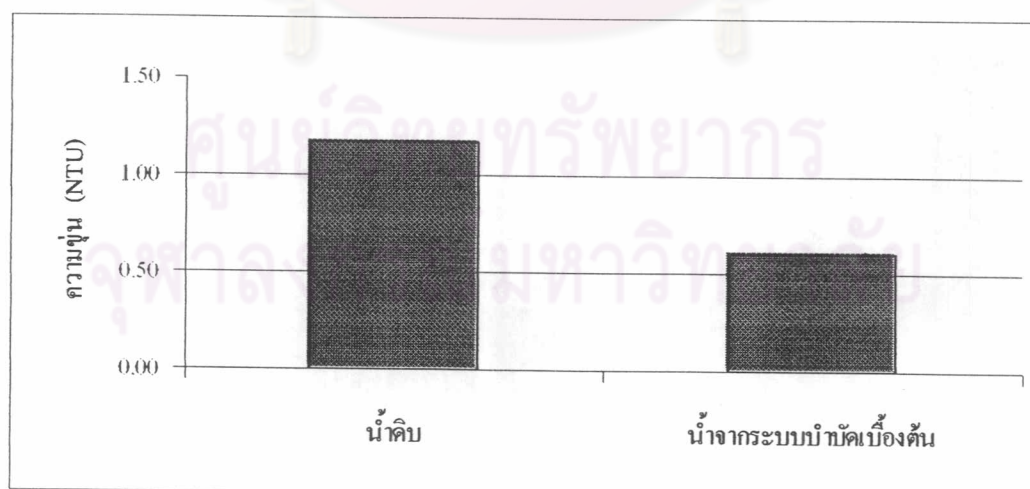
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบ

#### 4.2.2 ผลของระบบบำบัดเบื้องต้นต่อค่าความขุ่น

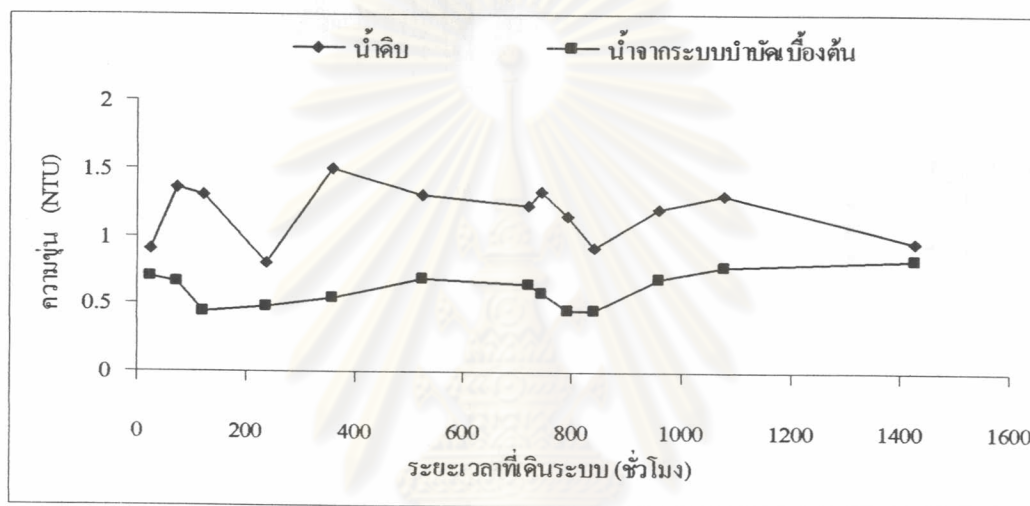
ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.8 จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเปลี่ยนแปลงลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 48 สาเหตุที่ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้วมีความขุ่นน้อยลง เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ที่เป็นสาเหตุของความขุ่นในน้ำ ถูกกำจัดด้วยวิธีการกรองติดค้างที่ผิวของไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอนที่ใช้ในระบบบำบัดเบื้องต้น เป็นการลดภาระการทำงานของอายุการใช้งานให้เมมเบรนได้อย่างดี



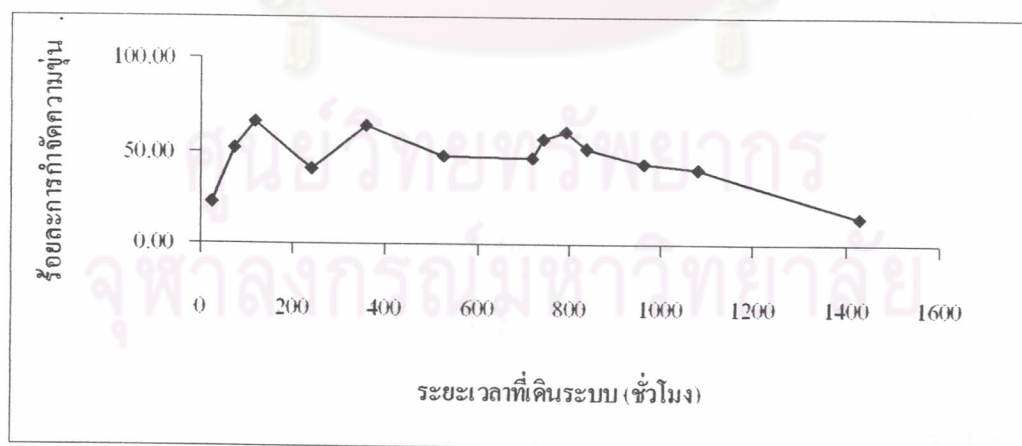
รูปที่ 4.8 ค่าความขุ่นเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ



ค่าความขุ่นในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 4.9 ผลของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นที่ใช้เป็นระยะเวลานานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในการทดลองนี้ พบว่าการใช้ระบบบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่ร้อยละในการกำจัดความขุ่นนั้นลดลงด้วยเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.9 สาเหตุเพราะไส้กรองมีความสามารถในการกรองสารแขวนลอยซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็กได้ระดับหนึ่งเท่านั้น เมื่อใช้ไส้กรองกำจัดความขุ่นไปถึงระยะเวลาหนึ่ง อนุภาคขนาดเล็กจำนวนมากเกาะติดสะสมเต็มพื้นที่ผิวหน้าของไส้กรอง ทำให้มีอนุภาคบางส่วนถูกดูดจากเครื่องสูบน้ำผ่านไส้กรองออกจากระบบบำบัดเบื้องต้นไปได้ ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดความขุ่นลดลง



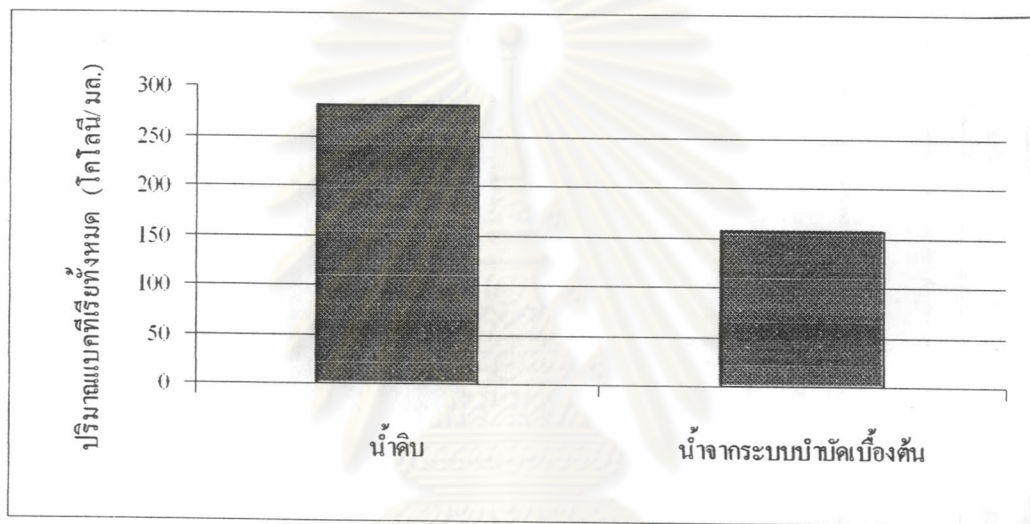
รูปที่ 4.9 ค่าความขุ่นในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ



รูปที่ 4.10 ร้อยละการกำจัดความขุ่น กับระยะเวลาที่เดินระบบ

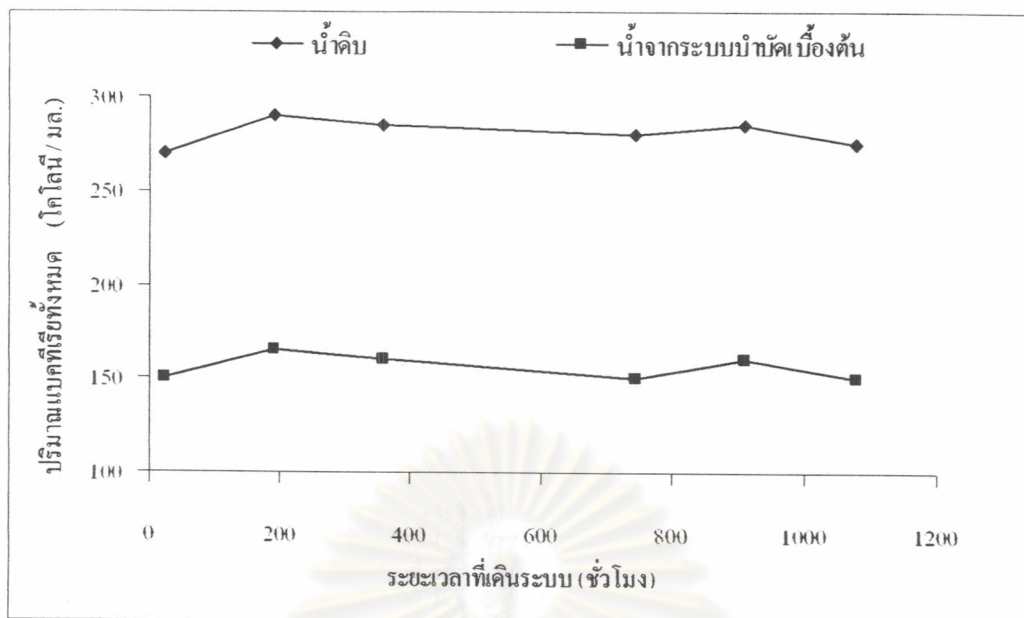
#### 4.2.3 ผลของระบบบำบัดเบื้องต้นต่อปริมาณแบคทีเรีย

รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการบำบัดเบื้องต้น จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ปริมาณ 114 มิลลิวัตต์-วินาที / ตร.ซม. สามารถลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 45 น้ำที่ผ่านได้กรองยังคงมีความขุ่นเนื่องจากสารแขวนลอยอยู่ สารแขวนลอยนี้จึงถูกใช้เป็นที่กำบังแสงของแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นไม่สูงนัก



รูปที่ 4.11 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการบำบัดเบื้องต้น

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำก็ระยะเวลาในการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 4.12 ผลของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นที่ใช้เป็นระยะเวลานานต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำในการทดลองนี้ พบว่าการใช้ระบบบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง และลดลงในสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่ สาเหตุเพราะในน้ำประปาที่นำมาใช้เป็นน้ำดิบในการทดลองนี้มีคุณสมบัติด้านปริมาณแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ และมีน้ำดิบใหม่ที่มียังคงมีคลอรีนหมุนเวียนอยู่ในระบบเกือบจะตลอดเวลา ทำให้แทบจะไม่มีแบคทีเรียสะสมเจริญเติบโตในส่วนต่างๆของระบบ

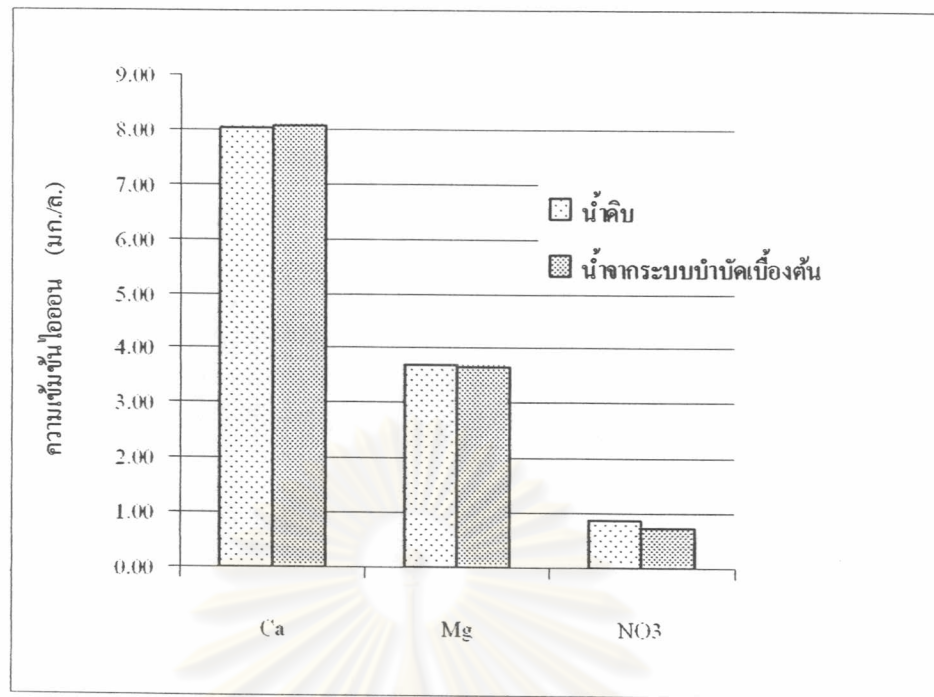


รูปที่ 4.12 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ

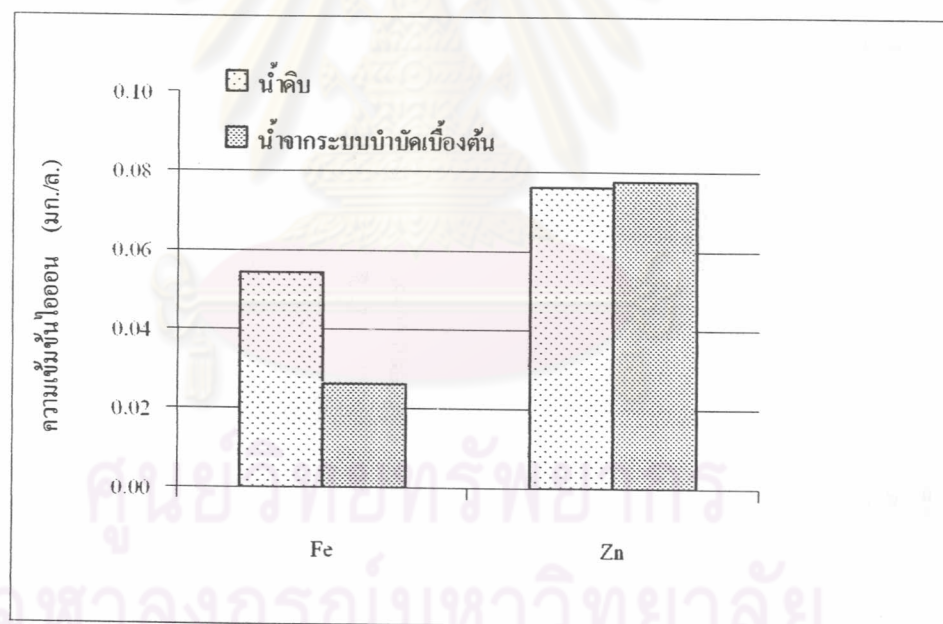
#### 4.2.4 ผลของระบบบำบัดเบื้องต้นต่อปริมาณของไอออน

รูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการบำบัดเบื้องต้น จากการทดลองพบว่า น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และ ริงส์อัลตราไวโอเล็ต ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของไอออนในน้ำดิบอย่างชัดเจน ยกเว้นเหล็กเพียงชนิดเดียวที่ถูกกำจัดได้ประมาณ 40 % ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการกำจัดเหล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



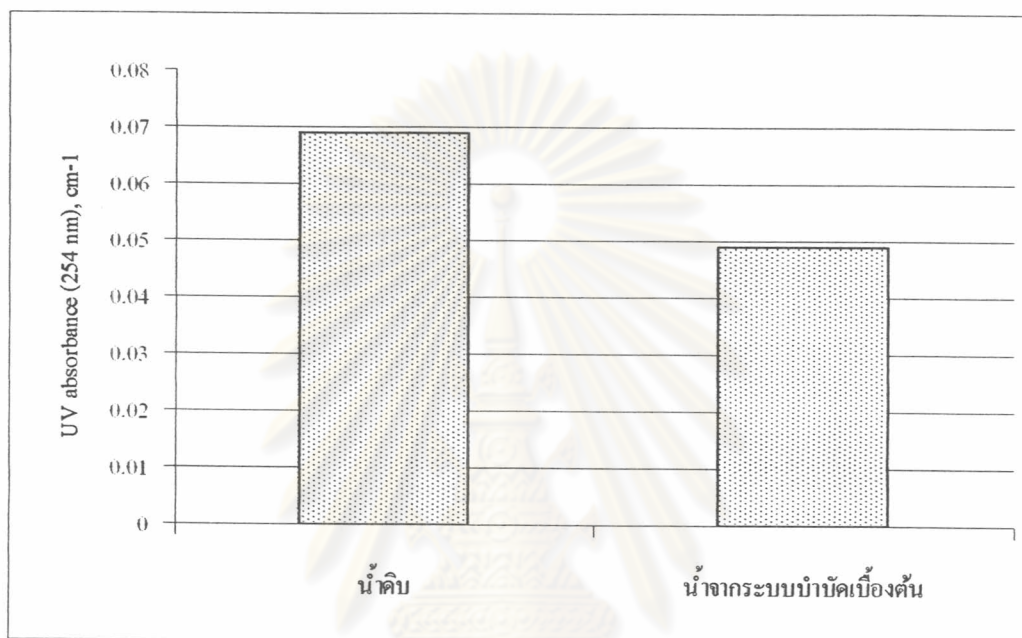
(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการบำบัดเบื้องต้น



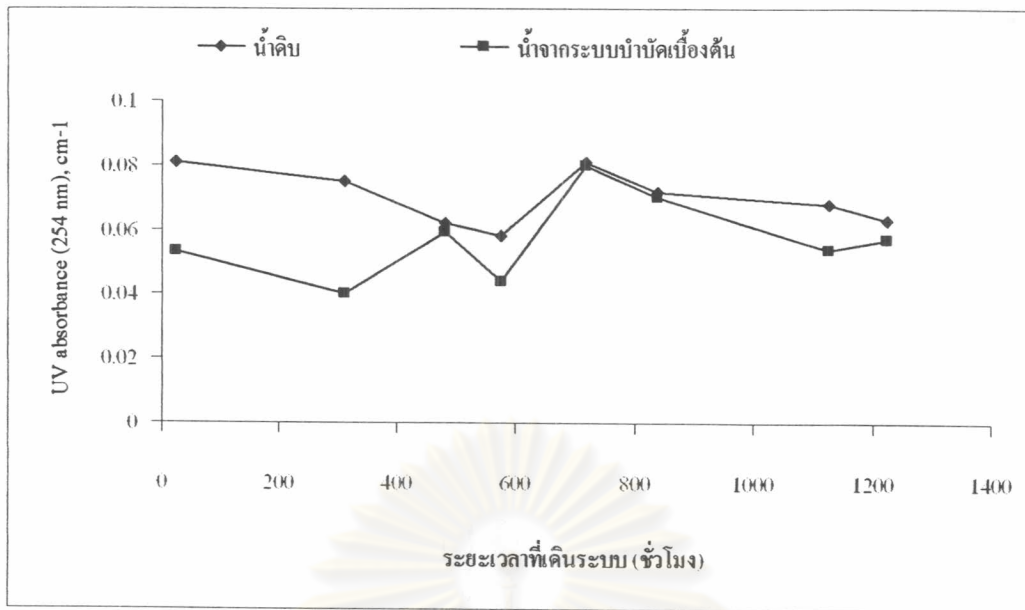
#### 4.2.5 ผลของระบบบำบัดเบื้องต้นต่อค่ายูวี 254

ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อการกำจัดค่ายูวี 254 แสดงดังรูปที่ 4.14 น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่ายูวี 254 ของน้ำเปลี่ยนแปลงลดลงประมาณร้อยละ 29 สาเหตุที่ทำให้การบำบัดเบื้องต้นสามารถลดค่ายูวี 254 ได้ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านไส้กรอง และถ่านกัมมันต์ออกไปได้ จึงเหลือเพียงสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

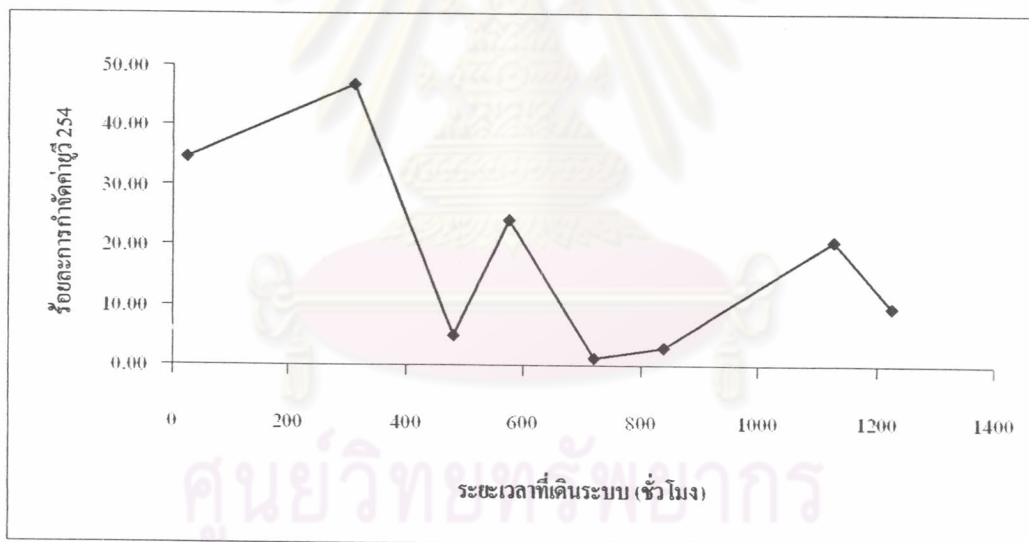


รูปที่ 4.14 ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อการกำจัดค่ายูวี 254

ค่ายูวี 254 ในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 4.15 ผลของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นที่ใช้เป็นระยะเวลานานต่อการเปลี่ยนแปลงค่ายูวี 254 ในการทดลองนี้ พบว่าการใช้ระบบบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน และ ถ่านกัมมันต์ ทำให้ค่ายูวี 254 ของน้ำลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่ร้อยละในการกำจัดค่ายูวี 254 นั้นลดลงด้วยเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 4.16 สาเหตุเพราะไส้กรองมีความสามารถในการกรองสารอินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ได้ระดับหนึ่งเท่านั้น เมื่อใช้ไส้กรองกำจัดค่ายูวี 254 ไปถึงระยะเวลาหนึ่ง สารอินทรีย์จำนวนมากเกาะติดสะสมเต็มพื้นที่ผิวหน้าของไส้กรอง ทำให้มีสารอินทรีย์บางส่วนถูกดูดจากเครื่องสูบน้ำผ่านไส้กรองออกจากระบบบำบัดเบื้องต้นไปได้ ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดยูวี 254 ลดลง



รูปที่ 4.15 ค่ายูวี 254 ในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบ



รูปที่ 4.16 ร้อยละในการกำจัดค่ายูวี 254 กับระยะเวลาที่เดินระบบ

### 4.3 กระบวนการกรองด้วยเมมเบรน

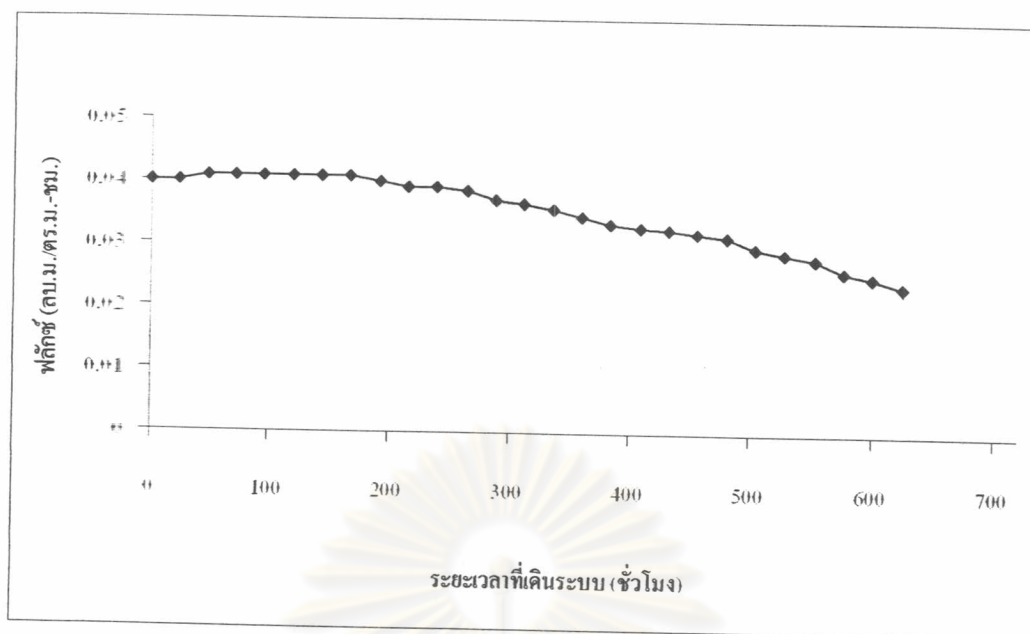
จากผลการทดลองของระบบบำบัดเบื้องต้น พบว่าร้อยละการกำจัดของการบำบัดเบื้องต้น ลดลงตามเวลาที่ใช้งาน และไม่สามารถกำจัดไฮออนในน้ำได้ ซึ่งในกรณีที่น้ำมีความกระด้างสูง ระบบบำบัดที่ประกอบไปด้วยไส้กรอง ถ่านกัมมันต์ และเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่เหมาะสำหรับผลิตน้ำเพื่อบริโภค อีกทั้งความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่สามารถกำจัดได้เพียงประมาณร้อยละ 40 เพราะน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นยังคงมีความขุ่น ซึ่งเกิดจากอนุภาคแขวนลอยในน้ำ ทำให้เชื้อแบคทีเรียใช้เป็นที่ยึดเกาะและกำบังตัวจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### 4.3.1 ผลของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาด

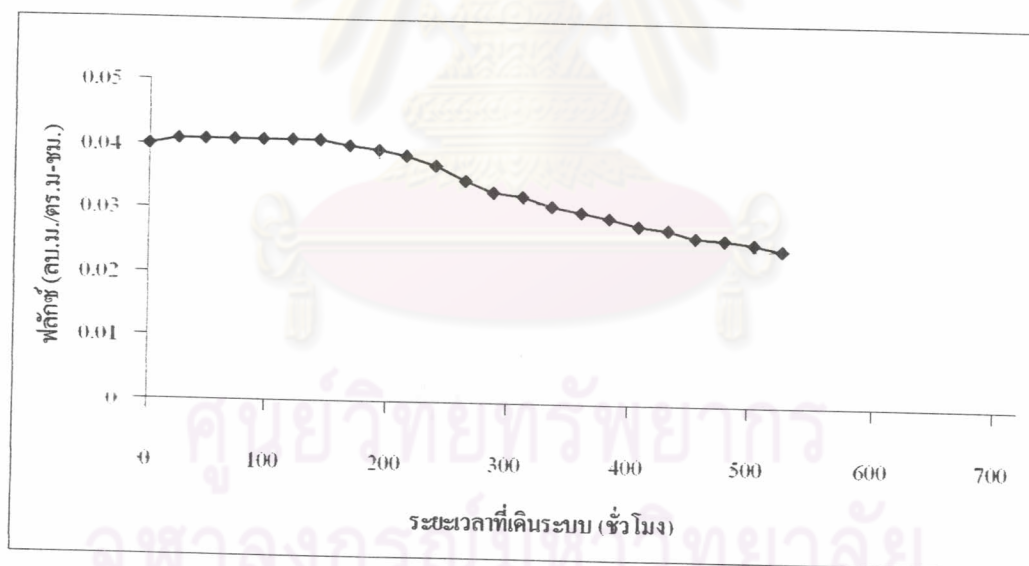
##### 4.3.1.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

รูปที่ 4.17 แสดงค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดของระบบนาโน กับระยะเวลาในการเดินระบบจากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ Recovery 50 % อัตราการผลิตน้ำสะอาดจะลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกๆของการเดินระบบ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากมีฟองอากาศอยู่ตามส่วนต่างๆของระบบ ทำให้ช่วง 48 ชั่วโมงแรกของการเดินระบบค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก แต่ระยะเวลาต่อมาเมื่ออากาศและสิ่งอุดตันในระบบถูกไล่ออกไปจนหมดแล้วค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเดินระบบถึงประมาณ ชั่วโมงที่ 168 และลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงประมาณ 40 % เมื่อถึงที่ประมาณชั่วโมงที่ 624 จึงทำความสะอาดเมมเบรน

ต่อมาหลังจากทำความสะอาดเมมเบรนด้วยการใช้ NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 แช่ไว้เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง แล้วเดินระบบที่ Recovery 60 % แสดงดังรูปที่ 4.18 จากการทดลองพบว่า ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงขึ้นมาเทียบเท่ากับค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดเดิมและมีลักษณะคงที่จนถึงประมาณชั่วโมงที่ 144 นับจากเริ่มการเดินระบบใหม่ จึงมีแนวโน้มลดลง และลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงประมาณ 40 % เมื่อถึงที่ประมาณชั่วโมงที่ 528 นับจากเริ่มการเดินระบบใหม่ จึงหยุดการเดินระบบ แล้วทำความสะอาดเมมเบรนอีกครั้ง



รูปที่ 4.17 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของกระบวนการกรองแบบนาโนต่อระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.18 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของกระบวนการกรองแบบนาโนต่อระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 60 %



จากการทดลองพบว่า หลังจากทำความสะอาดเมมเบรนแล้วเดินระบบที่ Recovery 60 % ต่อจากการทดลองที่ Recovery 50 % พบว่า ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงขึ้นมาเทียบเท่ากับค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดเดิมก่อนการอุดตัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการอุดตันที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสารแขวนลอยที่สามารถกำจัดได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สามารถล้างทำความสะอาดได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มการทดลอง

รูปที่ 4.19 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตน้ำสะอาดต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงสุดของระบบนาโน กับระยะเวลาในการเดินระบบจากการทดลอง จากรูปแบ่งเป็นสองช่วงเวลา คือ ช่วงแรกอัตราการผลิตน้ำสะอาดต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงสุด ( $Jt/J_0$ ) มีค่าคงที่ได้สมการ (4.1) เป็นระยะเวลาตามสมการ (4.2) และช่วงที่สอง ค่า  $Jt/J_0$  ลดลงอย่างคงที่เมื่อระยะเวลาเดินระบบมากกว่าค่า  $t$  ในสมการ (4.2) ได้สมการ (4.3)

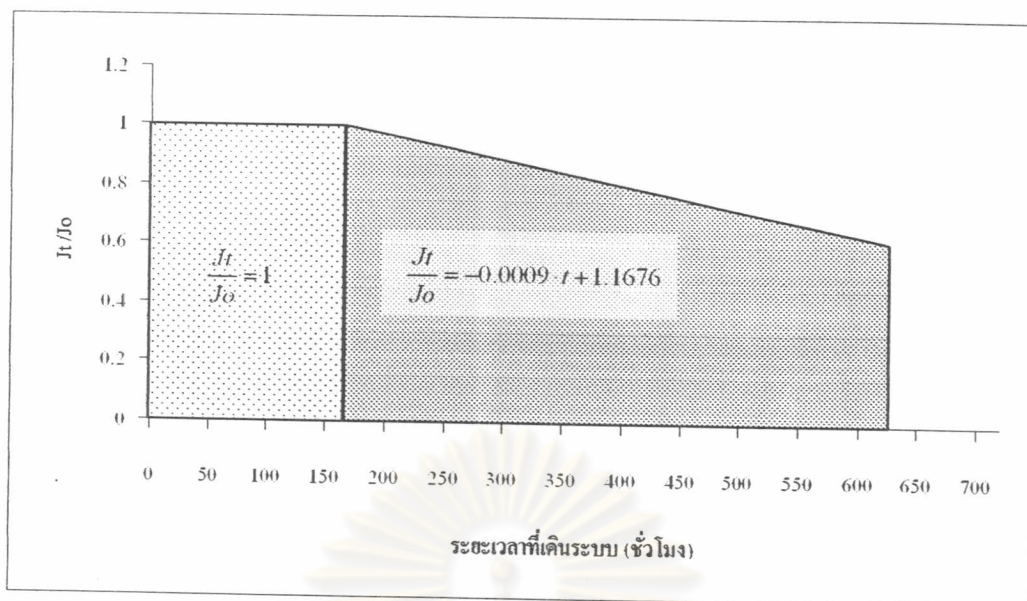
$$Jt = J_0 \quad (4.1)$$

$$t = \frac{1-c}{k} \quad (4.2)$$

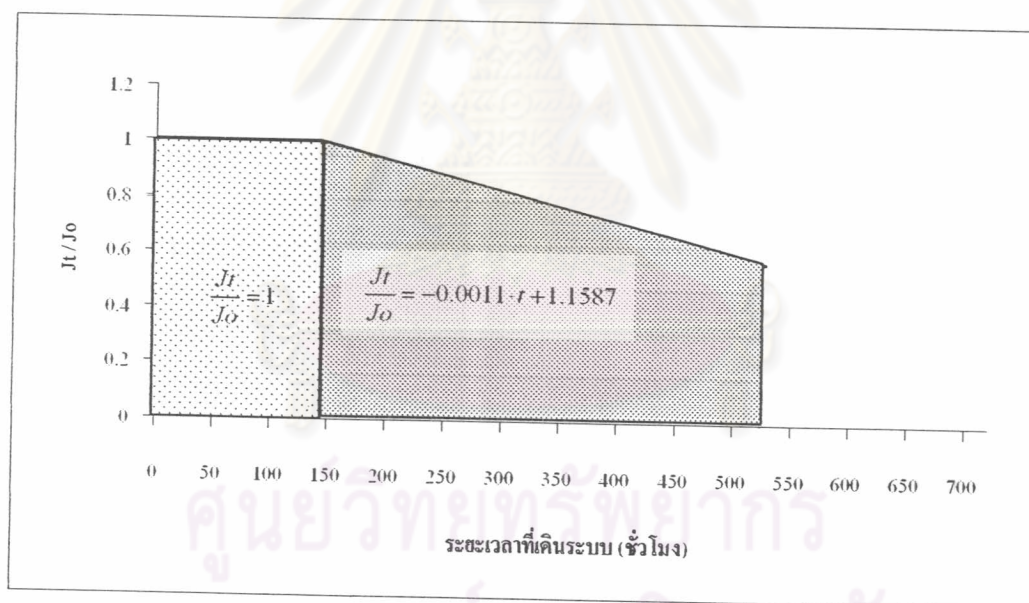
$$Jt = J_0 \times (k \cdot t + c) \quad (4.3)$$

จะเห็นได้ว่าที่ Recovery 60 % อัตราการผลิตน้ำสะอาดจะลดลงด้วยอัตราที่เร็วกว่าการเดินระบบที่ Recovery 50 % มีสาเหตุเนื่องจากการเพิ่ม % Recovery เพื่อลดการใช้น้ำในระบบผลิต จะมีการทิ้งน้ำเข้มข้นน้อยลง แต่จะนำน้ำเข้มข้นนั้นเวียนกลับเข้าสู่ระบบมากขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ในระบบมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆบริเวณผิวหน้าของเมมเบรนสูงมากขึ้น เกิด CP ( Concentration polarization ) ทำให้เมมเบรนเกิดการอุดตัน อัตราการผลิตน้ำเมื่อใช้ไปมีค่าลดลงเร็วยิ่งขึ้น ทำให้ต้องหยุดเดินระบบและทำการล้างเมมเบรนเร็วยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) กระบวนการกรองแบบนาโนที่ Recovery 50 %



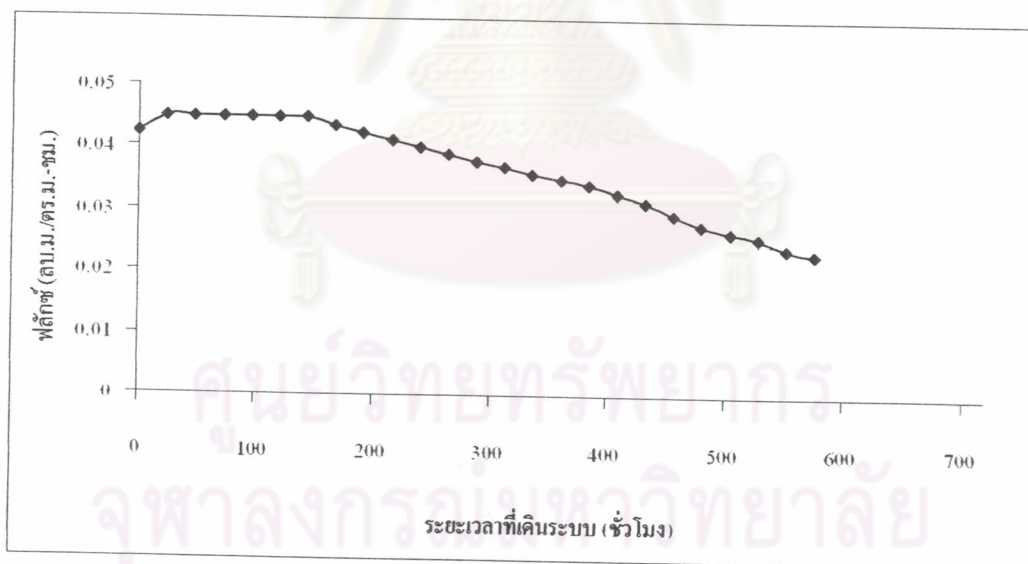
(ข) กระบวนการกรองแบบนาโนที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตน้ำสะอาดต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงสุดของกระบวนการกรองแบบนาโนที่ Recovery 50 % และ 60 % กับระยะเวลาในการเดินระบบ

#### 4.3.1.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

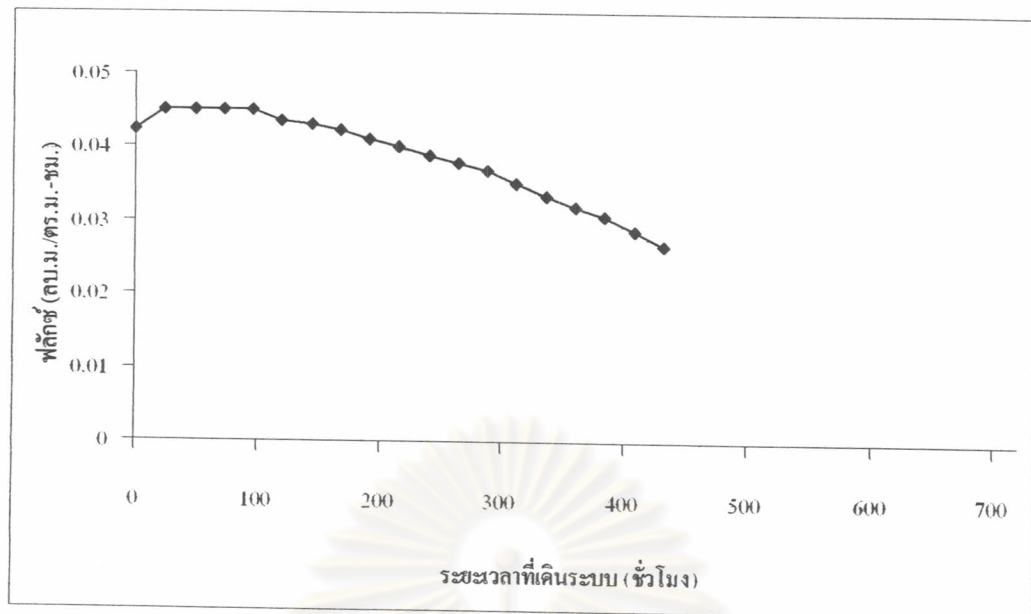
รูปที่ 4.20 แสดงค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดของระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 % กับระยะเวลาในการเดินระบบ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ Recovery 50 % อัตราการผลิตน้ำสะอาดจะลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกๆของการเดินระบบ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากมีฟองอากาศอยู่ตามส่วนต่างๆของระบบ ทำให้ช่วง 48 ชั่วโมงแรกของการเดินระบบค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก แต่ระยะเวลาต่อมาเมื่ออากาศและสิ่งอุดตันในระบบถูกไล่ออกไปจนหมดแล้วค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเดินระบบถึงประมาณชั่วโมงที่ 144 และลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงประมาณ 40 % เมื่อถึงที่ประมาณชั่วโมงที่ 576 จึงทำความสะอาดเมมเบรน

ต่อมาหลังจากทำความสะอาดเมมเบรนด้วยการใช้ NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 แช่ไว้เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง แล้วเดินระบบที่ Recovery 60 % แสดงดังรูปที่ 4.21 จากการทดลองพบว่า ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงขึ้นมาเทียบเท่ากับค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดเดิมและมีลักษณะคงที่จนถึงประมาณชั่วโมงที่ 96 นับจากเริ่มการเดินระบบใหม่ จึงมีแนวโน้มลดลง และลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงประมาณ 40 % เมื่อถึงที่ประมาณชั่วโมงที่ 432 นับจากเริ่มการเดินระบบใหม่ จึงทำความสะอาดเมมเบรนอีกครั้ง



รูปที่ 4.20 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของกระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสต่อระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 %





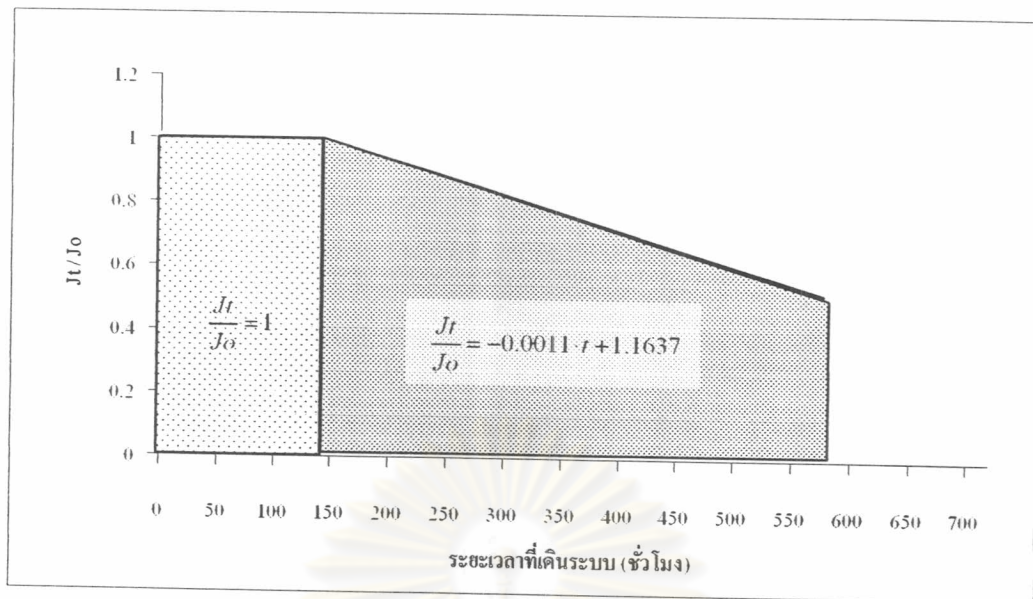
รูปที่ 4.21 อัตราการผลิตน้ำสะอาดของกระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสต่อระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 60 %

จากการทดลองพบว่า หลังจากทำความสะอาดเมมเบรนแล้วเดินระบบที่ Recovery 60 % ต่อจากการทดลองที่ Recovery 50 % พบว่า ค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงขึ้นมาเทียบเท่ากับค่าอัตราการผลิตน้ำสะอาดเดิม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการอุดตันที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสารแขวนลอยที่สามารถกำจัดได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สามารถล้างทำความสะอาดได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มการทดลอง

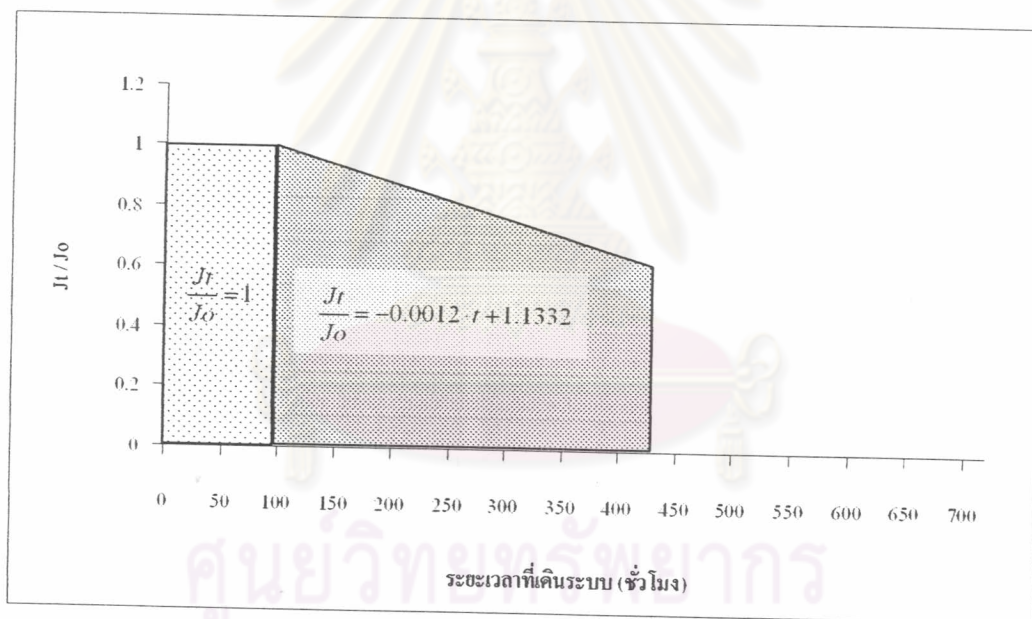
รูปที่ 4.22 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตน้ำสะอาด ต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาดสูงสุดของระบบรีเวอร์สออสโมซิส กับระยะเวลาในการเดินระบบจากการทดลองจากรูปแบ่งเป็นสองช่วงเวลา ดังสมการ (4.1) – (4.3)

จะเห็นได้ว่าที่ Recovery 60 % อัตราการผลิตน้ำสะอาดจะลดลงด้วยอัตราที่เร็วกว่าการเดินระบบที่ Recovery 50 % มีสาเหตุเนื่องจากการเพิ่ม % Recovery เพื่อลดการใช้น้ำในระบบผลิต จะมีการทิ้งน้ำเข้มข้นน้อยลง แต่จะนำน้ำเข้มข้นนั้นเวียนกลับเข้าสู่ระบบมากขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ในระบบมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆบริเวณผิวหน้าของเมมเบรนสูงมากขึ้น เกิด CP ( Concentration polarization ) ทำให้เมมเบรนเกิดการอุดตัน อัตราการผลิตน้ำเมื่อใช้ไปมีค่าลดลงเร็วยิ่งขึ้น ทำให้ต้องหยุดเดินระบบและทำการล้างเมมเบรนเร็วยิ่งขึ้น





(ก) กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %



(ข) กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตน้ำสะอาดต่ออัตราการผลิตผลิตน้ำสะอาดสูงสุดของกระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส ที่ Recovery 50 % และ 60 % กับระยะเวลาในการเดินระบบ

#### 4.3.1.3 เปรียบเทียบผลของอัตราการผลิตน้ำสะอาดต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

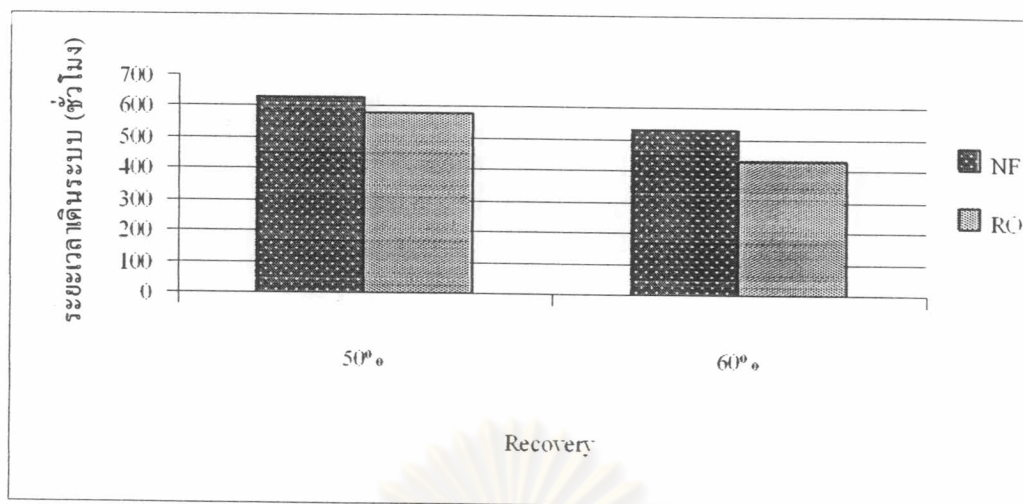
จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรนทั้งสองชนิดพบว่ามีความสูงที่สุดใกล้เคียงกันคือ 0.041 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. สำหรับเมมเบรนแบบนาโน และ 0.045 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. สำหรับเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส

ผลของการใช้วิธีการกรองผ่านเมมเบรน และ % Recovery ที่แตกต่างกัน ต่อระยะเวลาเดินระบบ และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ แสดงดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ พบว่าระยะเวลาที่สามารถเดินระบบได้นั้นไม่เท่ากัน เนื่องจากเมื่อทดลองเดินระบบไปสักระยะหนึ่งอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงไม่เท่ากัน

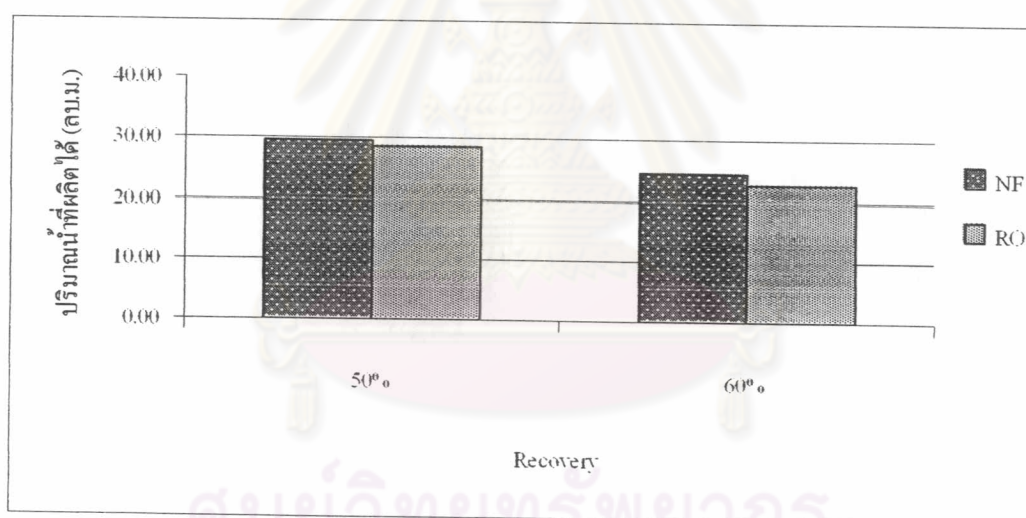
ที่ Recovery 50 % พบว่า เมมเบรนแบบนาโนสามารถผลิตน้ำสะอาดได้รวม 29.60 ลบ.ม. เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 624 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการผลิตน้ำจะลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตน้ำเมื่อเริ่มต้นเดินระบบ ในขณะที่เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสสามารถผลิตน้ำได้รวม 28.68 ลบ.ม. เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 576 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการผลิตน้ำจะลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตน้ำเมื่อเริ่มต้นเดินระบบเช่นกัน

และเมื่อทดลองที่ Recovery 60 % พบว่า เมมเบรนแบบนาโนสามารถผลิตน้ำสะอาดได้รวม 23.60 ลบ.ม. เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 528 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการผลิตน้ำจะลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตน้ำเมื่อเริ่มต้นเดินระบบ ในขณะที่เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสสามารถผลิตน้ำได้รวม 22.82 ลบ.ม. เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 432 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการผลิตน้ำจะลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตน้ำเมื่อเริ่มต้นเดินระบบเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ผลของการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน และ % Recovery ที่แตกต่างกัน ต่อระยะเวลาเดินระบบก่อนหยุดเดินระบบเมื่ออัตราการผลิตน้ำลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตเมื่อเริ่มเดินระบบ



รูปที่ 4.24 ผลของการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน และ % Recovery ที่แตกต่างกัน ต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้ก่อนหยุดเดินระบบเมื่ออัตราการผลิตน้ำลดลงร้อยละ 40 ของอัตราการผลิตเมื่อเริ่มเดินระบบ

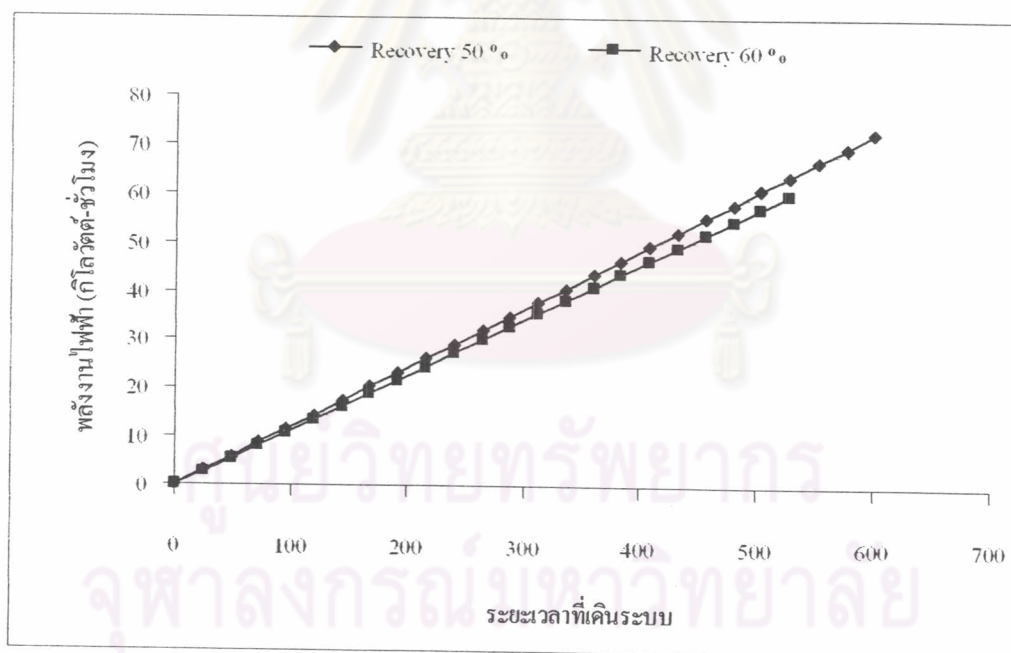
สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนแบบนาโนสามารถผลิตน้ำสะอาดได้มากกว่าเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสเนื่องจากเมมเบรนแบบนาโนสามารถผลิตน้ำสะอาดได้นานกว่าเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส เพราะผิวหน้าของเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสมีขนาดรูพรุนเล็กกว่า

เมมเบรนแบบนาโน ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ เช่นสารแขวนลอย ติดค้างอยู่บนผิวหน้าได้ง่ายมากกว่า ทำให้เกิดการอุดตันขัดขวางการไหลของน้ำที่จะผ่านเมมเบรนไปได้ สังเกตจากเมื่อใช้เมมเบรนไปสักระยะแล้วอัตราการผลิตน้ำสะอาดลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังการผลิตสูงสุดในระบบการผลิตน้ำด้วยวิธีการกรองผ่านเมมเบรนนี้ จึงควรใช้เมมเบรนแบบนาโนที่ Recovery 50 %

#### 4.3.2 ผลของระบบการกรองเมมเบรนต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

##### 4.3.2.1 ระบบการกรองแบบนาโน

ผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อระยะเวลาทั้งหมด แสดงดังรูป 4.25 จากการทดลองพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบซึ่งประกอบด้วยเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต 14 วัตต์ จำนวน 2 ชุด และ มอเตอร์ขนาด 400 วัตต์ ของระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % มีค่าเท่ากับ 0.2420 และ 0.2272 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อ 1 รอบการทำงานของระบบผลิตน้ำ ตามลำดับ



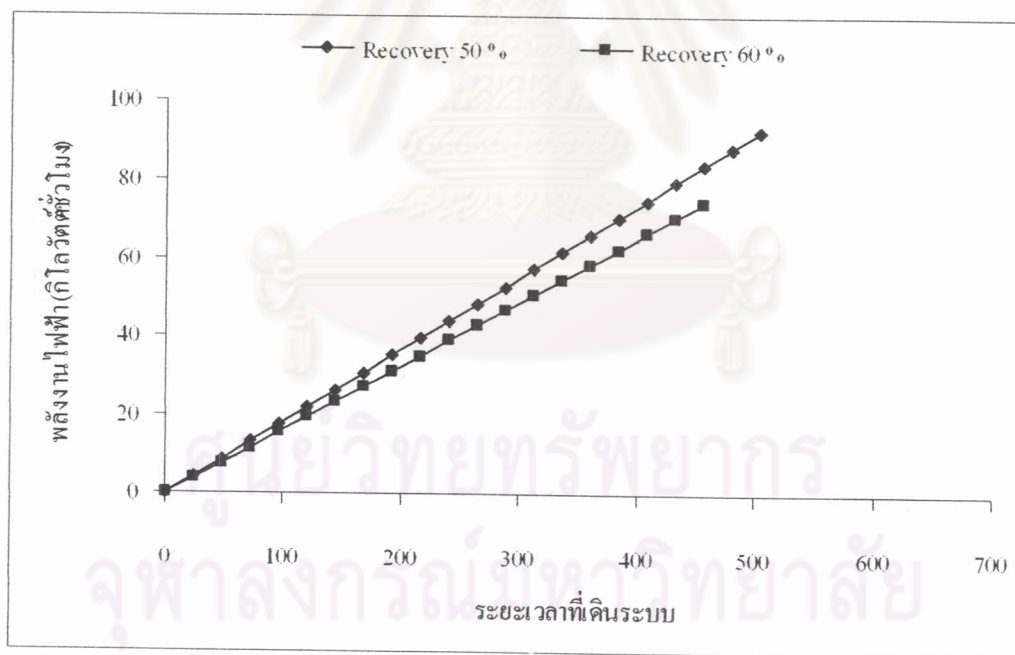
รูปที่ 4.25 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ กับระยะเวลาที่เดินระบบการกรองแบบนาโน



ทั้งนี้ที่ปริมาณการใช้พลังงานของการทดลองที่ Recovery 60 % มีค่าน้อยกว่าที่ Recovery 50 % เนื่องจากน้ำหมุนเวียนที่ถูกสูบผ่านระบบแล้วนำกลับมาผสมกับน้ำดิบใหม่เพื่อเข้าสู่ระบบยังคงมีแรงดันเหลือเนื่องจากเครื่องสูบน้ำอยู่ ทำให้ลดภาระของเครื่องสูบน้ำในการดูดน้ำเพื่อจ่ายเข้าระบบ โดยที่ Recovery 60 % มีการเวียนน้ำกลับมาปริมาณมากกว่าที่ Recovery 50 % ทำให้สามารถลดภาระการดูดน้ำเข้าเครื่องสูบน้ำได้มากกว่า ส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยกว่า

#### 4.3.2.2 ระบบการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

ผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อระยะเวลาทั้งหมด แสดงดังรูป 4.26 จากการทดลองพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบซึ่งประกอบด้วยเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต 14 วัตต์ จำนวน 2 ชุด และ มอเตอร์ขนาด 400 วัตต์ ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำที่ความดัน 10 บาร์ ทำงาน 30 นาที หยุด 30 นาที ตลอดการทดลอง ของระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % มีค่าเท่ากับ 0.3667 และ 0.3248 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อ 1 รอบการทำงานของระบบผลิตน้ำ ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ กับระยะเวลาที่เดินระบบการกรองแบบเวอร์สออสโมซิส

ทั้งนี้ที่ปริมาณการใช้พลังงานของการทดลองที่ Recovery 60 % มีค่าน้อยกว่าที่ Recovery 50 % เนื่องจากน้ำหมุนเวียนที่ถูกสูบผ่านระบบแล้วนำกลับมาผสมกับน้ำดิบใหม่เพื่อ

เข้าสู่ระบบยังคงมีแรงดันเหลือเนื่องจากเครื่องสูบน้ำอยู่ ทำให้ลดภาระของเครื่องสูบน้ำในการดูดน้ำเพื่อจ่ายเข้าระบบ โดยที่ Recovery 60 % มีการเวียนน้ำกลับมาปริมาณมากกว่าที่ Recovery 50 % ทำให้สามารถลดภาระการดูดน้ำเข้าเครื่องสูบน้ำได้มากกว่า ส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่น้อยกว่า

#### 4.3.2.3 เปรียบเทียบผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

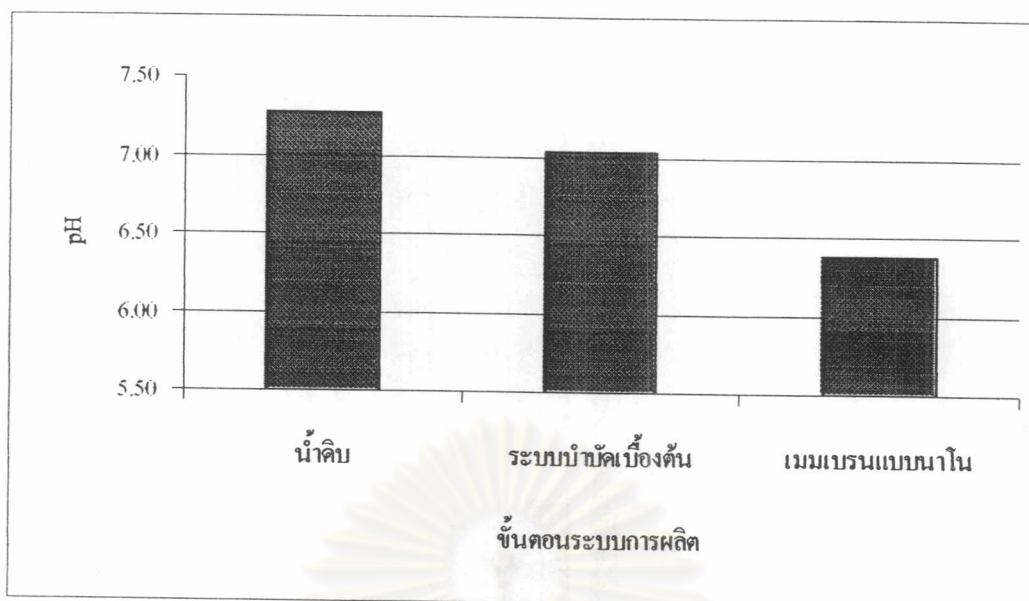
จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรนทั้งสองชนิดพบว่าที่ Recovery เท่ากัน ระบบเมมเบรนแบบนาโนใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสร้อยละ 66 และ 70 สำหรับ Recovery ร้อยละ 50 และ 60 ตามลำดับ

สาเหตุที่ทำให้ระบบเมมเบรนแบบนาโนใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเนื่องมาจากความต้องการแรงดันในการผลักดันน้ำให้ผ่านเมมเบรนมีค่าน้อยกว่าในระบบเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส กล่าวคือระบบเมมเบรนแบบนาโนใช้แรงดันเพียง 5 บาร์ ในขณะที่ระบบเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสใช้แรงดัน 10 บาร์ เพื่อให้ได้อัตราการผลิตน้ำเริ่มต้นเท่ากัน

#### 4.3.3 ผลของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนต่อพีเอช

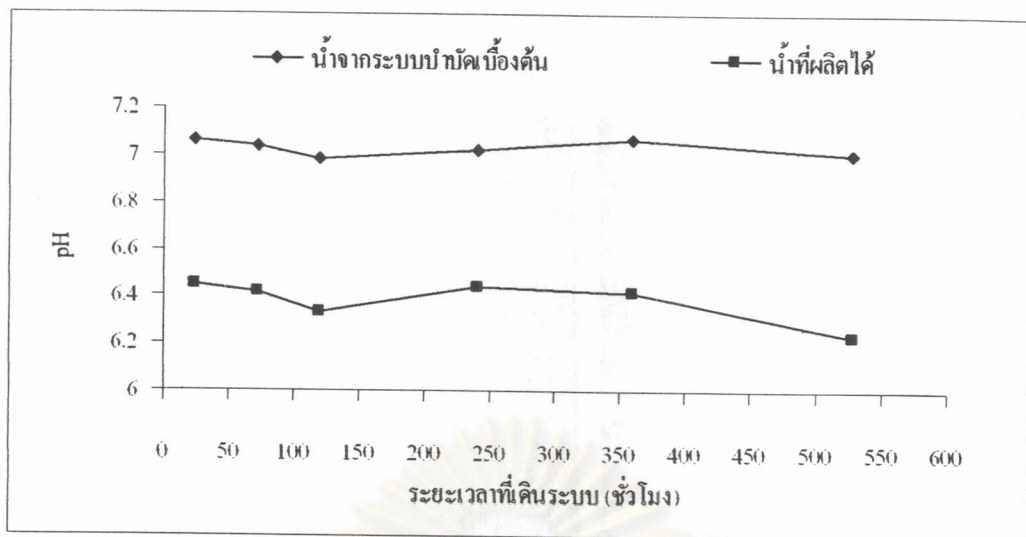
##### 4.3.3.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

ผลของการบำบัดน้ำในขั้นตอนต่างๆ ที่มีต่อค่าพีเอช แสดงดังรูปที่ 4.27 จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับน้ำที่ผ่าน เมมเบรน เพราะการบำบัดเบื้องต้นไม่สามารถกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพต่างในน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  รวมถึงไอออนประจุบวกคือ  $\text{H}^+$  ซึ่งเป็นตัวแสดงสภาพกรดในน้ำด้วย จึงไม่มีผลต่อค่าพีเอชในน้ำ

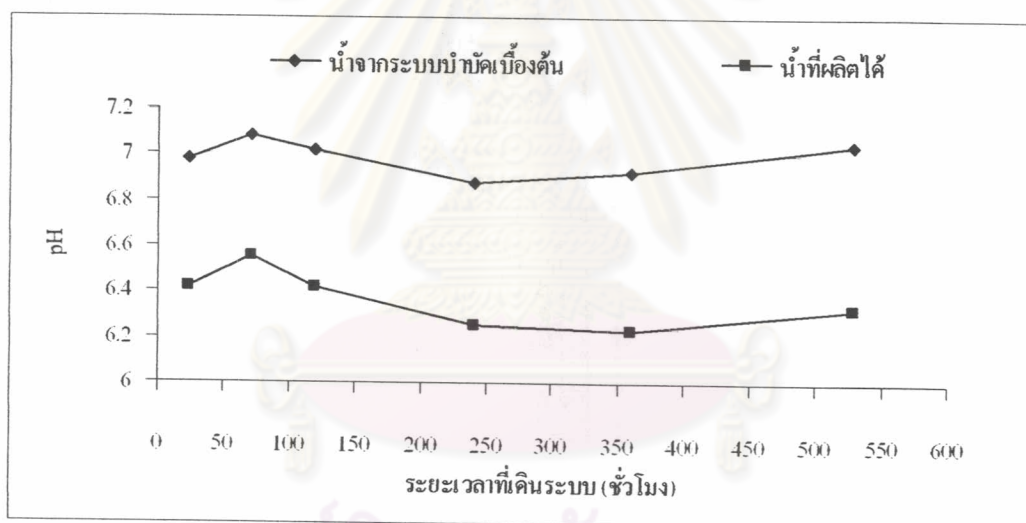


รูปที่ 4.27 ค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

ผลของ Recovery ต่อค่าพีเอช จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จะมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำที่เข้าระบบ โดยพีเอชของน้ำที่เข้าระบบอยู่ที่ระหว่าง 6.9 – 7.1 พีเอชของน้ำดื่มที่ผลิตได้อยู่ที่ระหว่าง 6.2 – 6.5 สาเหตุที่ทำให้ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านเมมเบรนมีค่าต่ำกว่าน้ำดิบที่เข้าระบบนี้เนื่องมาจากที่ผิวหน้าของเมมเบรนแบบนาโนมีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นประจุลบ จึงทำให้สามารถกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพด่างในน้ำ และมีผลต่อค่าพีเอชซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  ได้มากกว่า  $\text{H}^+$  ที่มีประจุบวก รูปที่ 4.28 และ 4.29 แสดงค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ และพบว่าพีเอชของน้ำดื่มที่ผลิตได้จากการทดลองที่ Recovery 50 % และ 60% มีค่าไม่ต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไอออนอิสระที่เป็นตัวแสดงสภาพกรดและด่างในน้ำดิบที่ใช้ในการวิจัยมีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณไม่มากนัก สังเกตได้จากค่าพีเอชที่วัดได้มีค่าใกล้กับ 7 ทำให้ไม่สามารถวัดความแตกต่างของการกำจัดปริมาณไอออนอิสระในน้ำได้อย่างชัดเจน การเวียนน้ำกลับมามากขึ้นจึงไม่ส่งผลให้น้ำที่เข้าระบบเมมเบรนมีไอออนอิสระที่เป็นตัวแสดงสภาพกรดและด่างมากกว่าการทดลองที่มี Recovery ต่ำกว่า



รูปที่ 4.28 ค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50 %



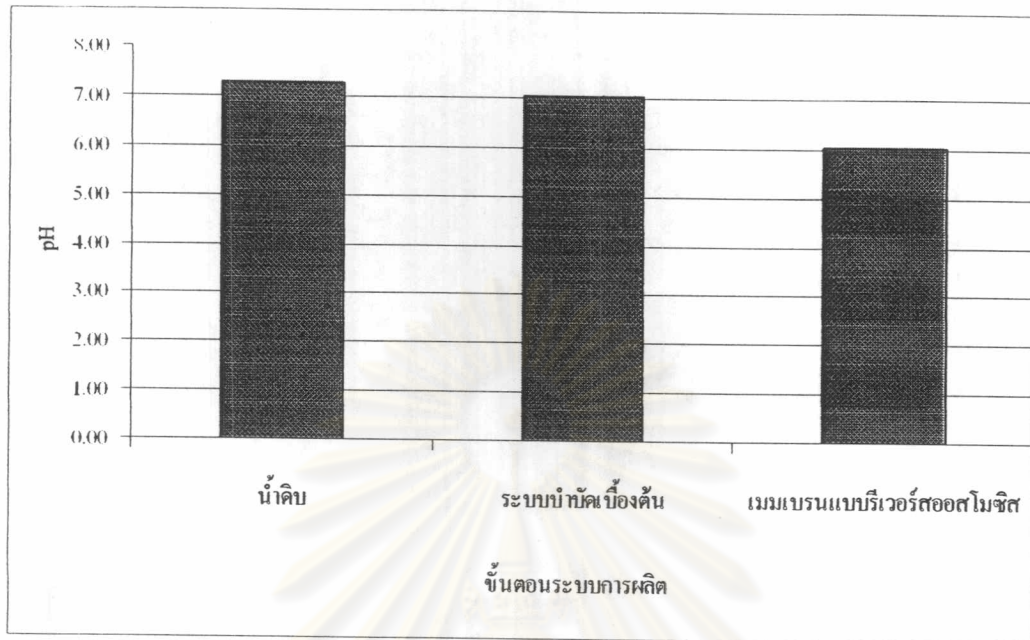
รูปที่ 4.29 ค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 60 %

#### 4.3.3.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

ผลของการบำบัดน้ำในขั้นตอนต่างๆที่มีต่อค่าพีเอช แสดงดังรูป 4.30 จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่าน

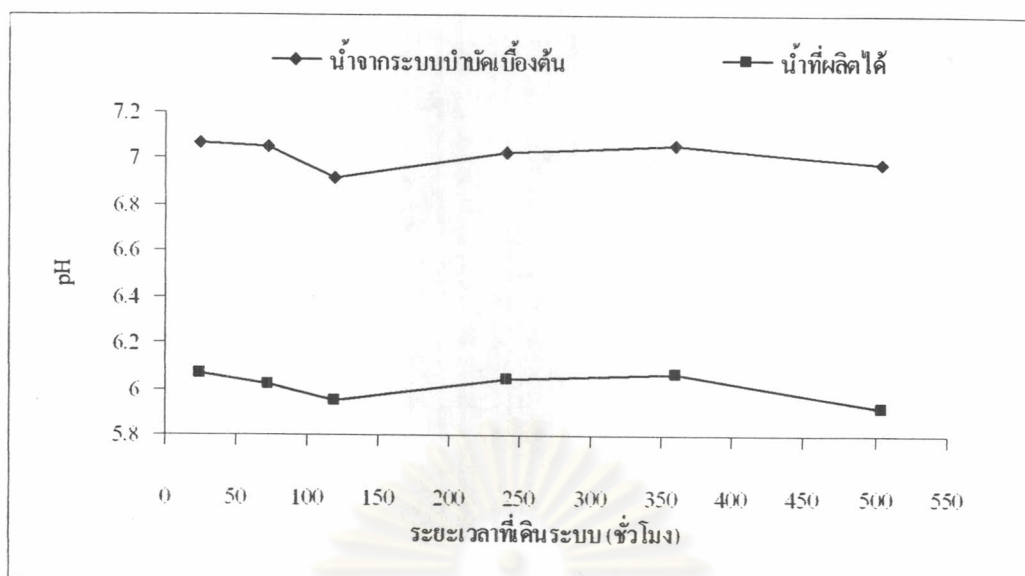


กัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับน้ำที่ผ่านเมมเบรน

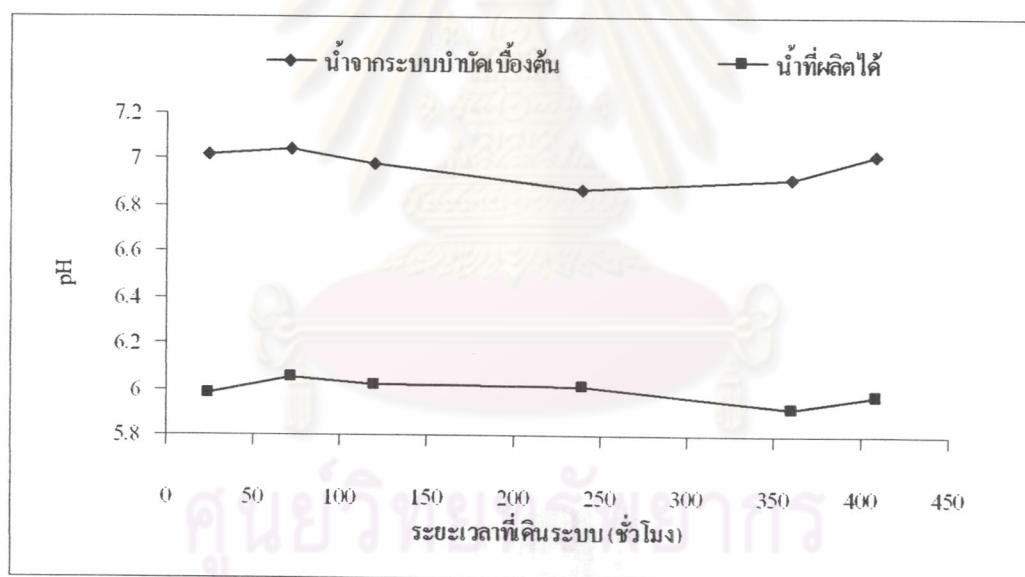


รูปที่ 4.30 ค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

ผลของ Recovery ต่อค่าพีเอช จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชของน้ำดื่มที่ผลิตได้จากเมมเบรนจะมีค่าต่ำกว่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น โดยพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นอยู่ที่ระหว่าง 6.92 – 7.07 ขณะที่พีเอชของน้ำดื่มที่ผลิตได้อยู่ที่ระหว่าง 5.95 – 6.07 สาเหตุที่ทำให้ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านเมมเบรนมีค่าต่ำกว่าน้ำดิบที่เข้าระบบนั้นเนื่องจากความสามารถของเมมเบรนในการกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพด่างในน้ำ และมีผลต่อค่าพีเอชซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  ได้มากกว่า  $\text{H}^+$  ที่มีประจุบวก รูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ และพบว่าพีเอชของน้ำดื่มที่ผลิตได้จากการทดลองที่ Recovery 50 % และ 60% มีค่าไม่ต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไอออนอิสระที่เป็นตัวแสดงสภาพกรดและด่างในน้ำดิบที่ใช้ในการวิจัยมีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณไม่มากนัก สังเกตได้จากค่าพีเอชที่วัดได้มีค่าใกล้กับ 7 ทำให้ไม่สามารถวัดความแตกต่างของการกำจัดปริมาณไอออนอิสระในน้ำได้อย่างชัดเจน การเวียนน้ำกลับมามากขึ้นจึงไม่ส่งผลให้น้ำที่เข้าระบบเมมเบรนมีไอออนอิสระที่เป็นตัวแสดงสภาพกรดและด่างมากกว่าการทดลองที่มี Recovery ต่ำกว่า



รูปที่ 4.31 ค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.32 ค่าพีเอชในน้ำ กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

#### 4.3.3.3 เปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำสะอาดต่อการใช้วิธีการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

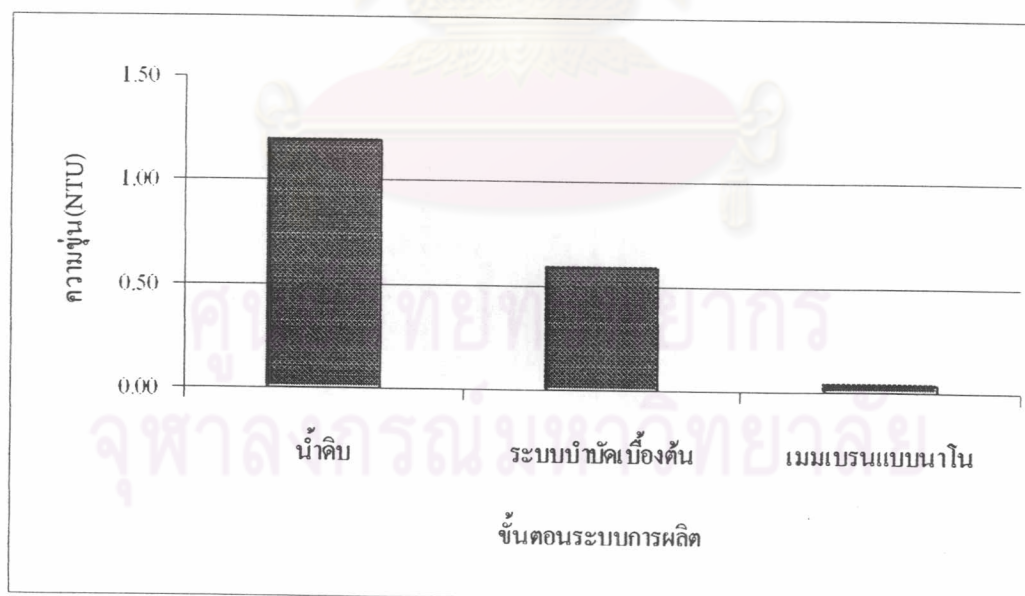
จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองระบบ และที่ Recovery ต่างกันพบว่า ค่าพีเอชที่วัดได้ในน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบเมมเบรนแบบนาโนนั้น มีค่าสูงกว่าที่วัดได้จากระบบเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส ตลอดจนการทดลอง

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความสามารถในการกำจัดไอออนประจุลบที่เป็นตัวแสดงสภาพด่างในน้ำซึ่งประกอบไปด้วย  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  และ  $\text{OH}^-$  ของเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสมีมากกว่าระบบเมมเบรนแบบนาโน จึงส่งผลให้มีผลต่อค่าพีเอชในน้ำสะอาดที่ผลิตได้

#### 4.3.4 ผลของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนต่อความขุ่น

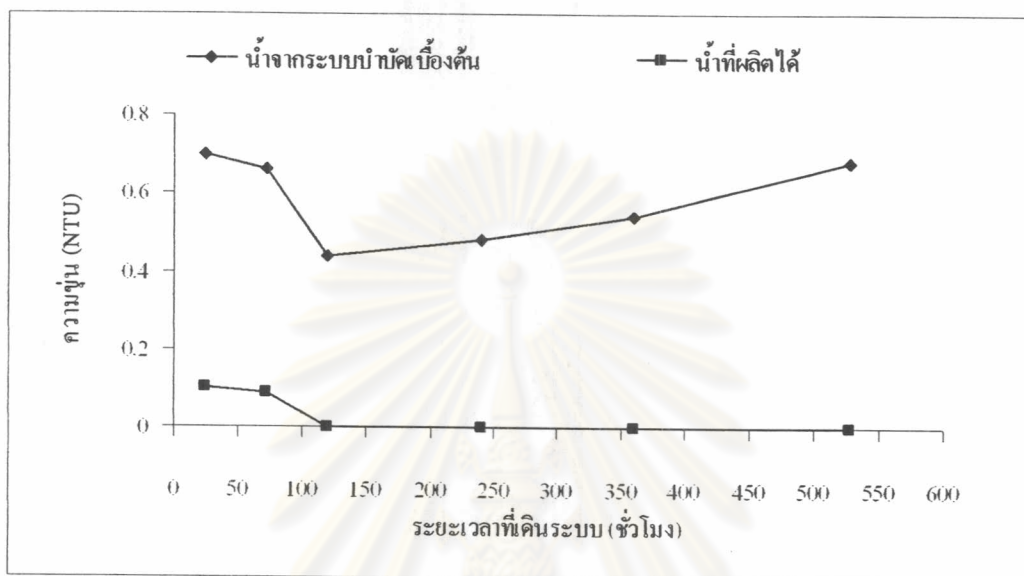
##### 4.3.4.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

ผลของการบำบัดน้ำในขั้นตอนต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดความขุ่นแสดงดังรูปที่ 4.33 จากการทดลองพบว่า น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเปลี่ยนแปลงประมาณร้อยละ 48 ขณะที่ความขุ่นของน้ำที่ผ่านเมมเบรนแทบจะวัดไม่พบเลย สาเหตุที่ทำให้น้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วมีความขุ่นน้อยมากเนื่องจากผิวหน้าของเมมเบรนมีรูพรุนเล็กมาก อนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านไปได้

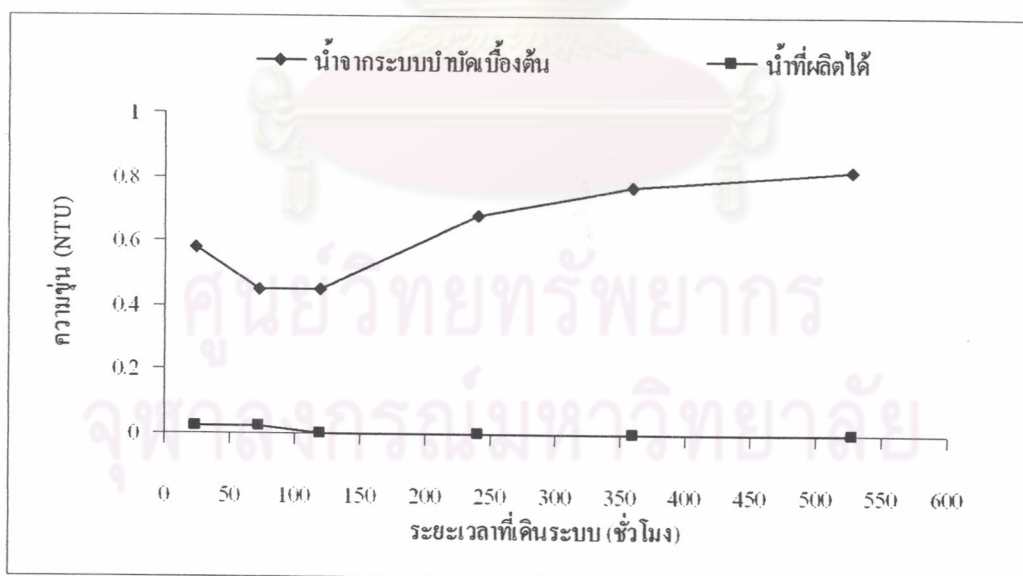


รูปที่ 4.33 ค่าความขุ่นเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.34 และ 4.35 แสดงค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ การเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีอนุภาคสารแขวนลอยอยู่ในระบบมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดความขุ่นเพราะอนุภาคแขวนลอยที่เป็นสาเหตุของความขุ่นมีขนาดใหญ่มากว่ารูพรุนบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้อนุภาคแขวนลอยในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้างเกือบทั้งหมด



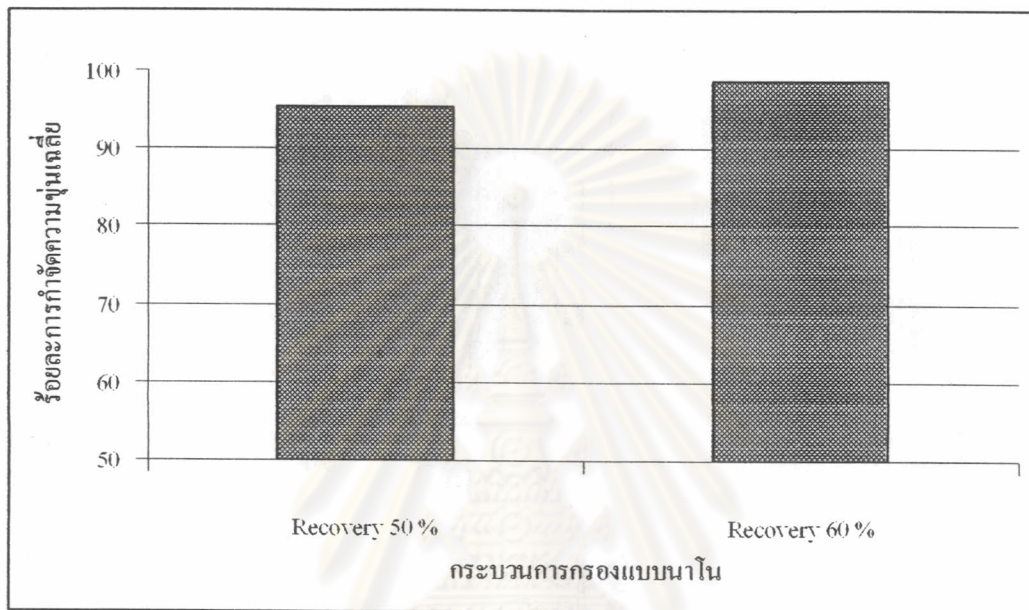
รูปที่ 4.34 ค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.35 ค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 60 %



รูปที่ 4.36 แสดงร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50% และ 60% พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของเมมเบรนค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 85 – 100 ตลอดช่วงการทดลอง แม้ว่า Recovery จะมีค่าค่อนข้างสูง คือ 50% และ 60% เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยได้ถูกกำจัดในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นจนเหลือปริมาณค่อนข้างน้อย ก่อนเข้าระบบเมมเบรน และผิวหน้าของเมมเบรนมีขนาดรูพรุนเล็กมาก อนุภาคแขวนลอยไม่สามารถผ่านไปได้อีก



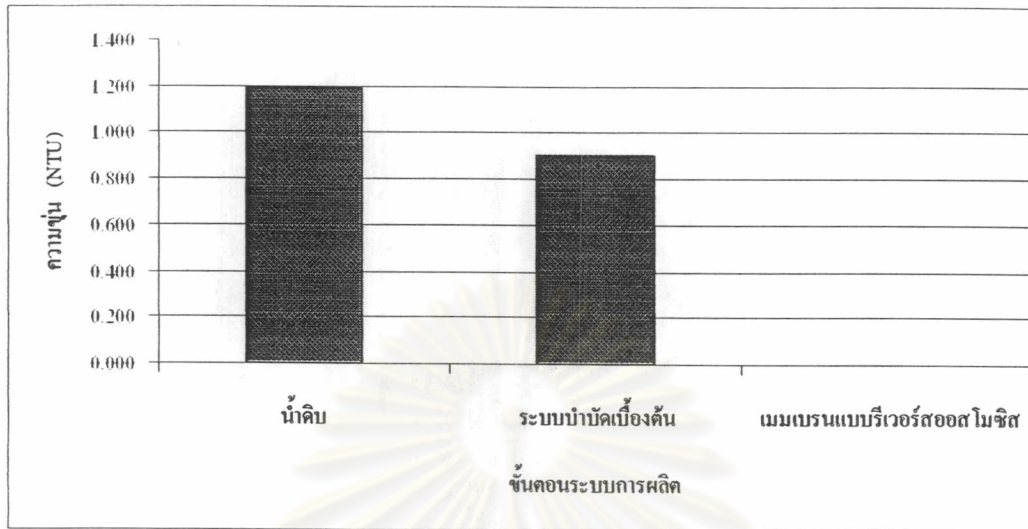
รูปที่ 4.36 ร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยของการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50% และ 60%

สาเหตุที่ทำให้ช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบมีค่าร้อยละการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าช่วงอื่นๆ ของการทดลอง เนื่องจากมีสิ่งอุดตันและสารเคมีที่ใช้ในการล้างเหลือค้างอยู่ในระบบ ต่อมาเมื่อเดินระบบไปสักระยะสารเคมีใช้ล้างและสิ่งอุดตันในระบบถูกไล่ออกไปหมดแล้ว ความสามารถในการกำจัดความขุ่นจึงมีค่าสูงขึ้นและคงที่ตลอดระยะเวลาทดลอง

#### 4.3.4.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

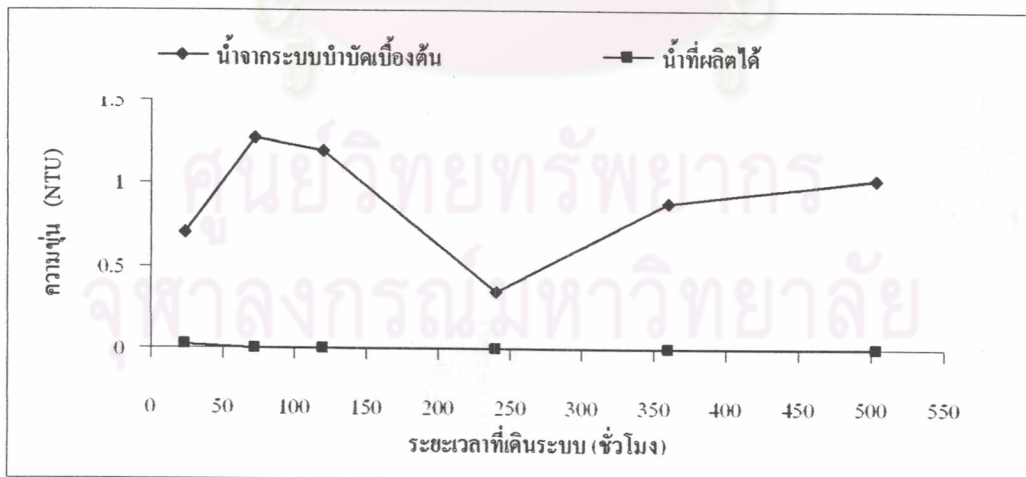
ผลของการบำบัดน้ำในขั้นตอนต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดความขุ่น แสดงดังรูป 4.37 น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเปลี่ยนแปลงประมาณร้อยละ 24 ขณะที่ความขุ่นของน้ำที่ผ่านเมมเบรนแทบจะวัดไม่พบเลย สาเหตุที่ทำให้น้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วมีความขุ่นน้อยมาก

เนื่องจากผิวหน้าของเมมเบรนมีความที่บสูงมาก อนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านไปได้

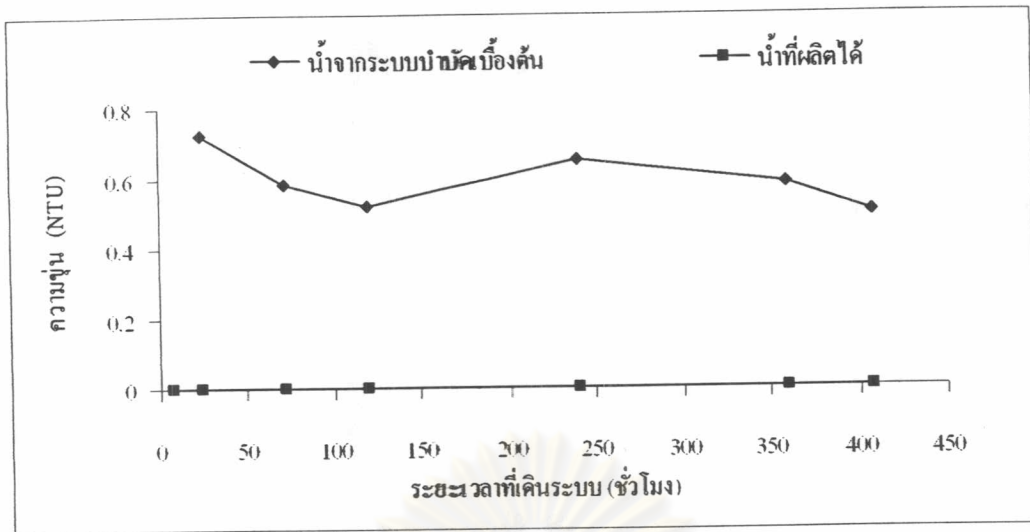


รูปที่ 4.37 ค่าความขุ่นเฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.38 และ 4.39 แสดงค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ การเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีอนุภาคสารแขวนลอยอยู่ในระบบมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดความขุ่นเพราะอนุภาคแขวนลอยที่เป็นสาเหตุของความขุ่นมีขนาดใหญ่กว่าช่องบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้อนุภาคแขวนลอยในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้างเกือบทั้งหมด

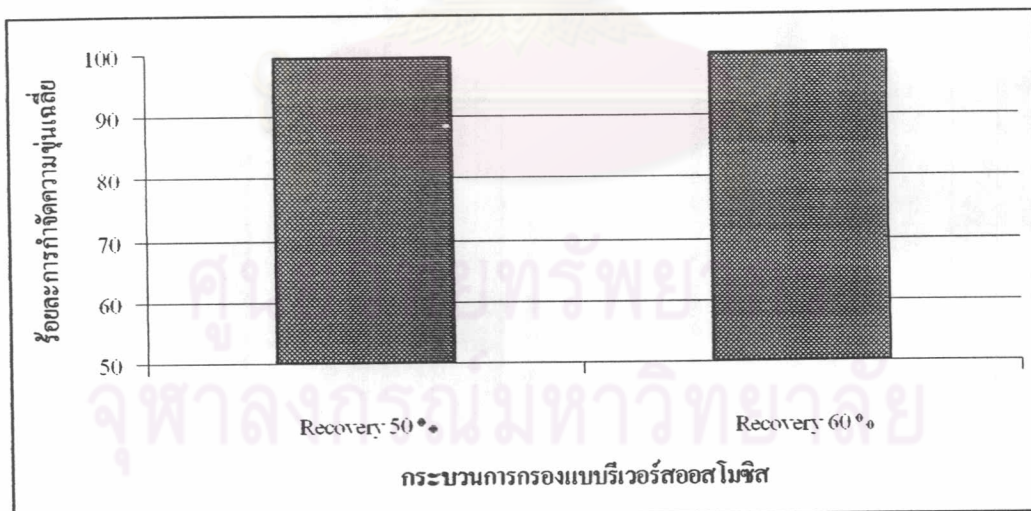


รูปที่ 4.38 ค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.39 ค่าความขุ่น กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.40 แสดงร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50% และ 60% พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของเมมเบรนค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 97 - 100 ตลอดช่วงการทดลอง แม้ว่า % Recovery จะมีค่าค่อนข้างสูง คือ 50 และ 60 เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยได้ถูกกำจัดในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นจนเหลือปริมาณค่อนข้างน้อย ก่อนเข้าระบบเมมเบรน และผิวหน้าของเมมเบรนมีรูพรุนเล็กมาก อนุภาคแขวนลอยไม่สามารถผ่านไปได้



รูปที่ 4.40 ร้อยละการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยของการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 % และ 60%



สาเหตุที่ทำให้ช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบที่ Recovery 50 % มีค่าร้อยละการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าช่วงอื่นๆของการทดลอง เนื่องจากแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ในการทดลองเป็นแผ่นเยื่อกรองใหม่ มีการอบน้ำยาเพื่อรักษาสภาพในระหว่างการขนส่งและจัดเก็บ ต่อมาเมื่อเดินระบบไปสักระยะ น้ำยาและสิ่งอุดตันในระบบถูกไล่ออกไปหมดแล้ว ความสามารถในการกำจัดความขุ่นจึงมีค่าสูงขึ้นและคงที่ตลอดระยะเวลาทดลอง

#### 4.3.4.3 เปรียบเทียบค่าความขุ่นในน้ำสะอาดต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองระบบพบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้เกือบทั้งหมดตลอดการทดลอง และทั้งสอง Recovery

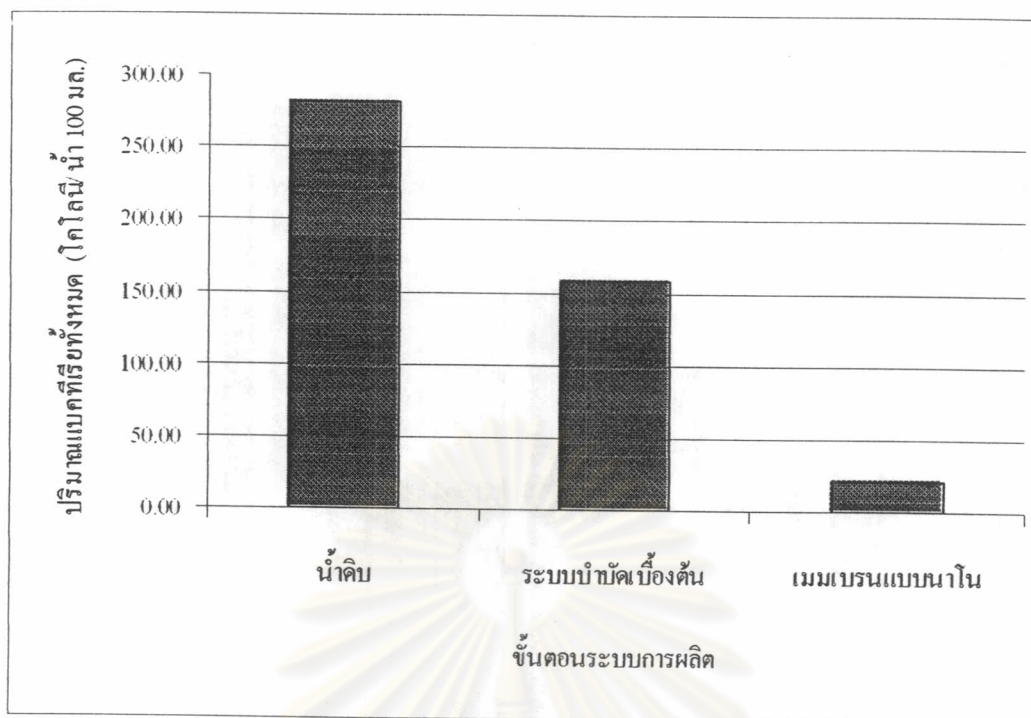
สาเหตุเนื่องมาจากผิวหน้าของเมมเบรนทั้งสองชนิดมีความทึบสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สารแขวนลอยที่เป็นสาเหตุของความขุ่นถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้างเกือบทั้งหมดไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้

#### 4.3.5 ผลของกระบวนการกรองผ่านเมมเบรนต่อปริมาณแบคทีเรีย

##### 4.3.5.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

รูปที่ 4.41 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 40 ขณะที่หลังจากผ่านการกรองด้วยเมมเบรนแล้วสามารถกำจัดได้อีกประมาณร้อยละ 87 ซึ่งเป็นที่ชัดเจนว่าเมมเบรนแบบนาโนไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกจากน้ำได้ทั้งหมด ทำให้ยังคงมีแบคทีเรียอยู่ในน้ำที่ผ่านเมมเบรนแบบนาโนแล้วเฉลี่ยประมาณ 20 โคโลนี / น้ำ 100 มล. จากที่มีแบคทีเรียในน้ำดิบเฉลี่ยประมาณ 280 โคโลนี / น้ำ 100 มล.



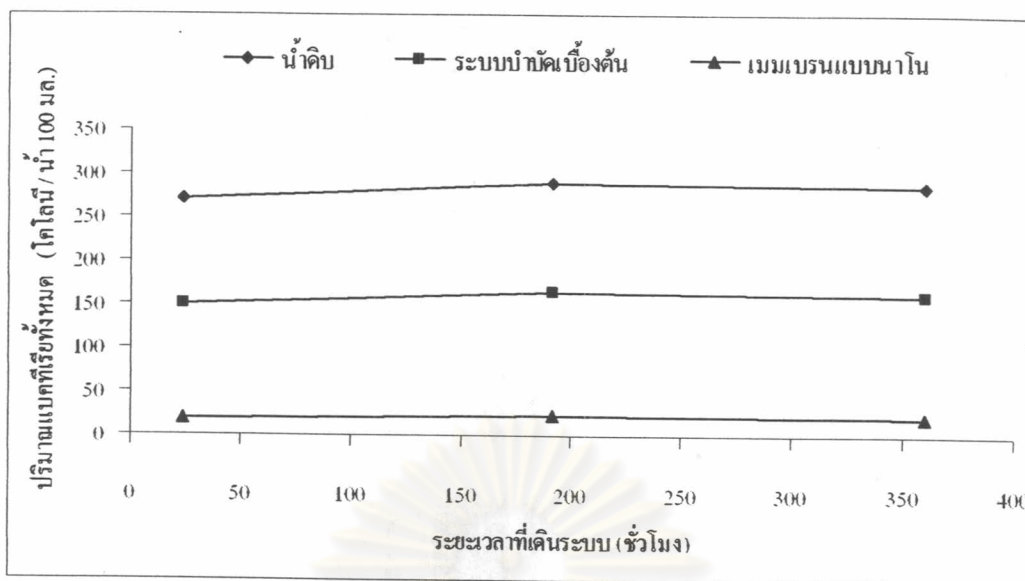


รูปที่ 4.41 ปริมาณแบริดที่เรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

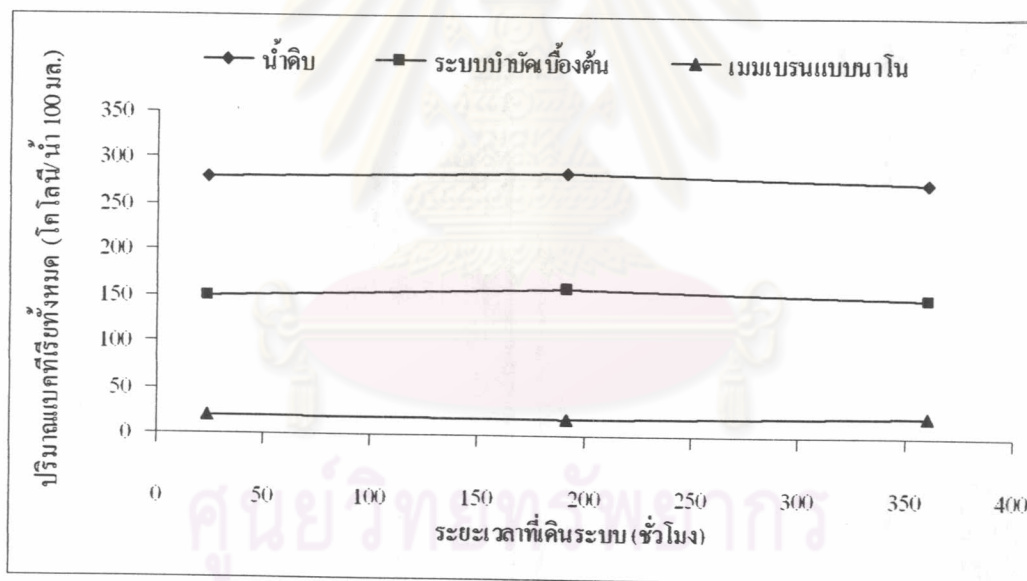
โดยปกติแล้วแบริดที่เรียส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างบนผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ถูกกำจัดด้วยกระบวนการกรองติดค้าง หากมีแบริดที่เรียเข้าสู่ระบบจำนวนมากอาจส่งผลให้ผิวหน้าเมมเบรนเสียหายหรืออุดตันเนื่องจากการสะสมและเจริญเติบโตของแบริดที่เรียบนผิวหน้าเมมเบรนได้ ดังนั้นต้องมีขั้นตอนการกำจัดแบริดที่เรียในน้ำก่อนเข้าระบบ

เมื่อพิจารณาแยกเป็นส่วนต่างๆของระบบพบว่าสาเหตุที่ระบบบำบัดเบื้องต้นกำจัดแบริดที่เรียได้เพียงร้อยละ 40 เนื่องจากระบบประกอบไปด้วยไส้กรองที่ทำหน้าที่กำจัดสารแขวนลอยเป็นหลักซึ่งไม่สามารถกำจัดแบริดที่เรียได้ จึงมีการฆ่าแบริดที่เรียในน้ำด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตก่อนเข้าระบบเมมเบรนเพื่อลดการสะสมและเติบโตของแบริดที่เรียบนผิวหน้าของเมมเบรนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการอุดตัน แต่น้ำที่ผ่านไส้กรองยังคงมีความขุ่นเนื่องจากสารแขวนลอยอยู่ สารแขวนลอยนี้จึงถูกใช้เป็นที่กำบังแสงของแบริดที่เรีย

รูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงปริมาณแบริดที่เรียทั้งหมด กับกับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ การเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีแบริดที่เรียอยู่ในระบบมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดแบริดที่เรียเพราะแบริดที่เรียมีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้แบริดที่เรียในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้าง มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถผ่านออกไปได้



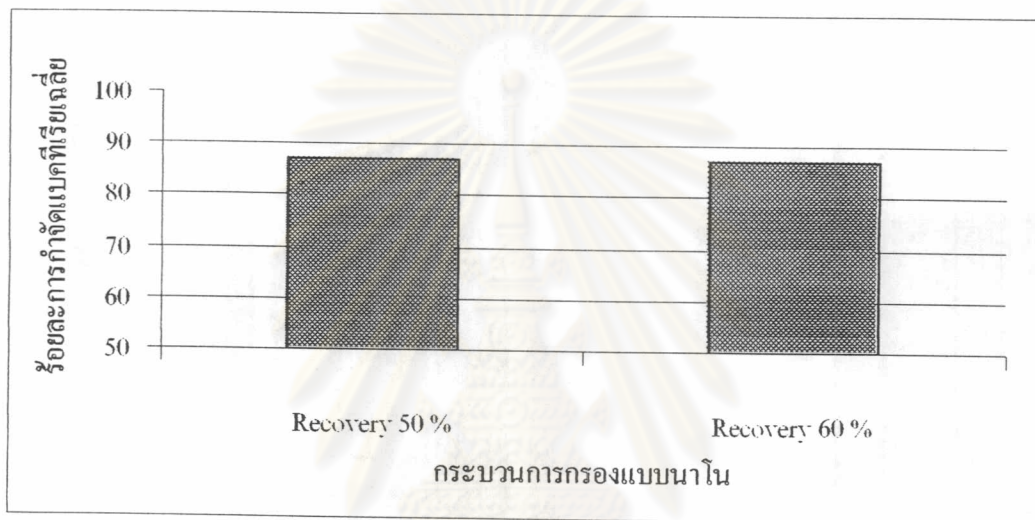
รูปที่ 4.42 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด กับกับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.43 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด กับกับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.44 แสดงร้อยละการกำจัดปริมาณแบคทีเรียเฉื่อยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % จากการทดลองพบว่ายังคงมีเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้หลังจากผ่านระบบเมมเบรนแบบนาโน ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 92 ในขณะที่มี Total Coliform

น้อยกว่า 2.2 โคโลนี ต่อ น้ำ 100 มล. และตรวจไม่พบ *E.Coli* ตลอดระยะเวลาทดลอง โดยพบว่า ปริมาณแบคทีเรียในน้ำของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เวลา ไม่ยาวนานมากนัก คุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการวิจัยจึงค่อนข้างคงที่ ทำให้ความสามารถในการกำจัด แบคทีเรียไม่แตกต่างกันตามเวลามากนัก เชื้อแบคทีเรียในน้ำดิบไม่สามารถใช้ไส้กรองเป็นแหล่งเพาะ เชื้อได้ ดังสังเกตได้จากปริมาณแบคทีเรียที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นมีจำนวนค่อนข้างคงที่ เพราะ ระบบมีการหมุนเวียนน้ำที่ยังคงมีคลอรีนทำหน้าที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำอยู่คงที่ตลอดระยะเวลา ทดลอง ทำให้น้ำดิบไม่ถูกเก็บขังให้อยู่ในไส้กรองเป็นเวลานาน อันเป็นสาเหตุของการเติบโตของ แบคทีเรียในไส้กรองน้ำทั่วไป

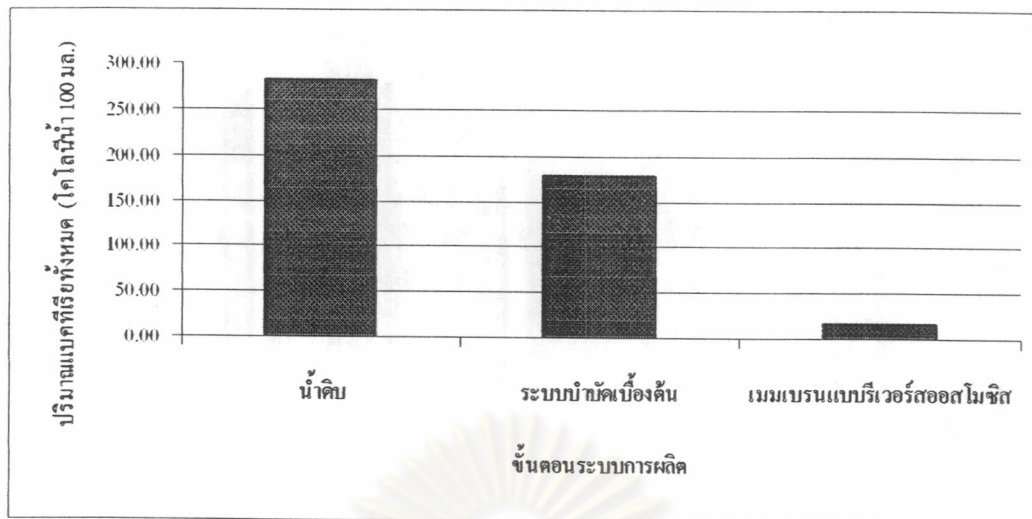


รูปที่ 4.44 ร้อยละการกำจัดแบคทีเรียเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50% และ 60 %

#### 4.3.5.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

รูปที่ 4.45 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิต ต่างๆตามลำดับ จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถลดปริมาณแบคทีเรียในน้ำได้ ประมาณร้อยละ 37 ขณะที่หลังจากผ่านการกรองด้วยเมมเบรนแล้วสามารถกำจัดได้อีกประมาณ ร้อยละ 92 ซึ่งเป็นที่ชัดเจนว่าเมมเบรนไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกจากน้ำได้ทั้งหมด ทำให้ ยังคงมีแบคทีเรียอยู่ในน้ำที่ผ่านเมมเบรนแบบนาโนแล้วเฉลี่ยประมาณ 16 โคโลนี / น้ำ 100 มล. จากที่มีแบคทีเรียในน้ำดิบเฉลี่ยประมาณ 280 โคโลนี / น้ำ 100 มล.





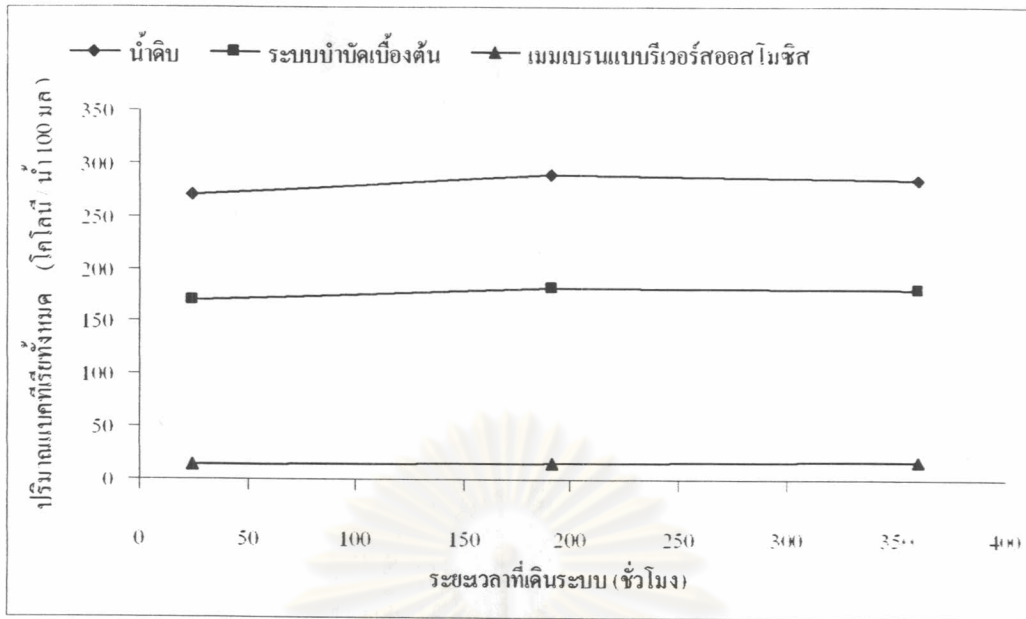
รูปที่ 4.45 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังจากผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

โดยปกติแล้วแบคทีเรียส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างบนผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ถูกกำจัดด้วยกระบวนการกรองติดค้าง หากมีแบคทีเรียเข้าสู่ระบบจำนวนมากอาจส่งผลให้ผิวหน้าเมมเบรนเสียหายหรืออุดตันเนื่องจากการสะสมและเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนผิวหน้าเมมเบรนได้ ดังนั้นต้องมีขั้นตอนการกำจัดแบคทีเรียในน้ำก่อนเข้าระบบ

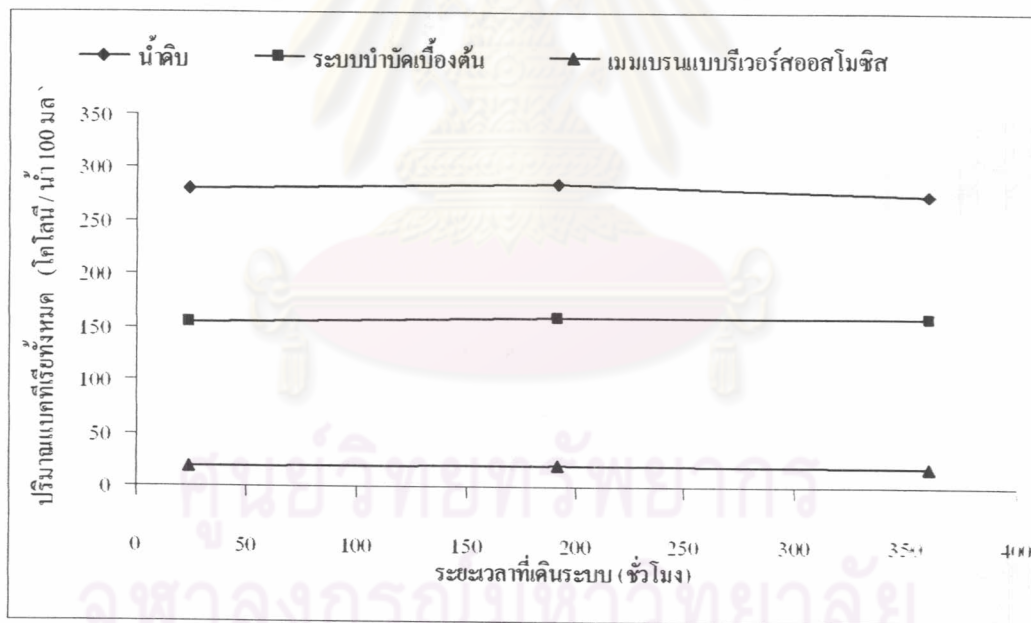
เมื่อพิจารณาแยกเป็นส่วนต่างๆของระบบพบว่าสาเหตุที่ระบบบำบัดเบื้องต้นกำจัดแบคทีเรียได้เพียงร้อยละ 37 เนื่องจากระบบประกอบไปด้วยไส้กรองที่ทำหน้าที่กำจัดสารแขวนลอยเป็นหลักซึ่งไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียได้ จึงมีการฆ่าแบคทีเรียในน้ำด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตก่อนเข้าระบบเมมเบรนเพื่อลดการสะสมและเติบโตของแบคทีเรียบนผิวหน้าของเมมเบรนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการอุดตัน แต่น้ำที่ผ่านไส้กรองยังคงมีความขุ่นเนื่องจากสารแขวนลอยอยู่ สารแขวนลอยนี้จึงถูกใช้เป็นที่กำบังแสงของแบคทีเรีย

รูปที่ 4.46 และ 4.47 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 และ 60 % ตามลำดับ ตามลำดับ การเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีแบคทีเรียอยู่ในระบบมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดแบคทีเรียเพราะแบคทีเรียมีขนาดใหญ่กว่าช่องบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้แบคทีเรียในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้าง มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถผ่านออกไปได้



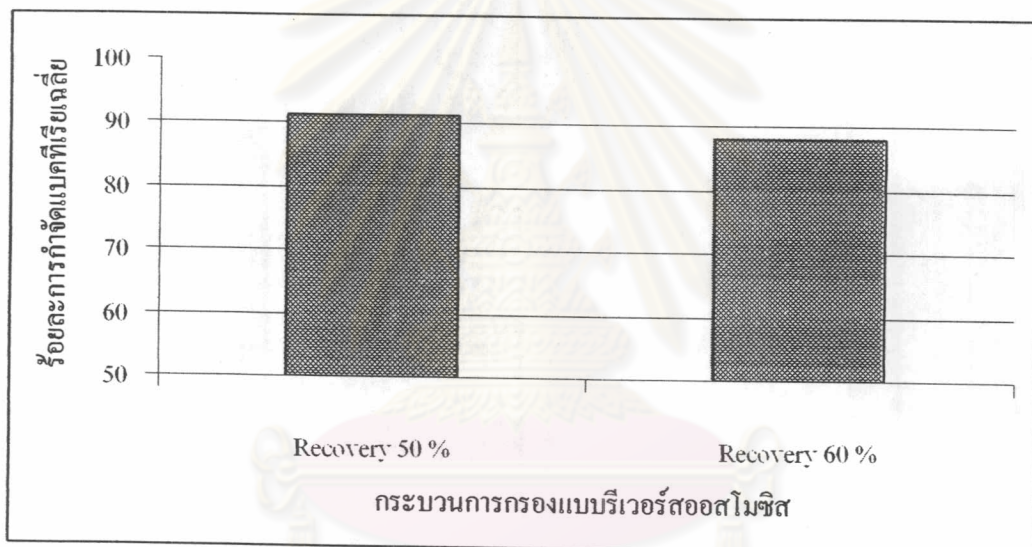


รูปที่ 4.46 ปริมาณแวกที่เรียทั้งหมดกับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.47 ปริมาณแวกที่เรียทั้งหมด กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.48 แสดงร้อยละการกำจัดแบคทีเรียเฉื่อยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % จากการทดลองพบว่ายังคงมีเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้หลังจากผ่านระบบเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 93 ในขณะที่มี Total Coliform น้อยกว่า 2.2 โคโลนี ต่อน้ำ 100 มล. และตรวจไม่พบ *E.Coli* ตลอดระยะเวลาทดลอง โดยพบว่าปริมาณแบคทีเรียในน้ำของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เวลาไม่ยาวนานมากนัก คุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการวิจัยจึงค่อนข้างคงที่ ทำให้ความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียไม่แตกต่างกันตามเวลามากนัก เชื้อแบคทีเรียในน้ำดิบไม่สามารถใช้ได้กรองเป็นแหล่งเพาะเชื้อได้ ดังสังเกตได้จากปริมาณแบคทีเรียที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นมีจำนวนค่อนข้างคงที่ เพราะระบบมีการหมุนเวียนน้ำที่ยังคงมีคลอรีนทำหน้าที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำอยู่คงที่ตลอดระยะเวลาทดลอง ทำให้น้ำดิบไม่ถูกเก็บขังให้อยู่ในไส้กรองเป็นเวลานาน อันเป็นสาเหตุของการเติบโตของแบคทีเรียในไส้กรองน้ำทั่วไป



รูปที่ 4.48 ร้อยละการกำจัดแบคทีเรียเฉื่อยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 %

#### 4.3.4.3 เปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในน้ำสะอาดต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

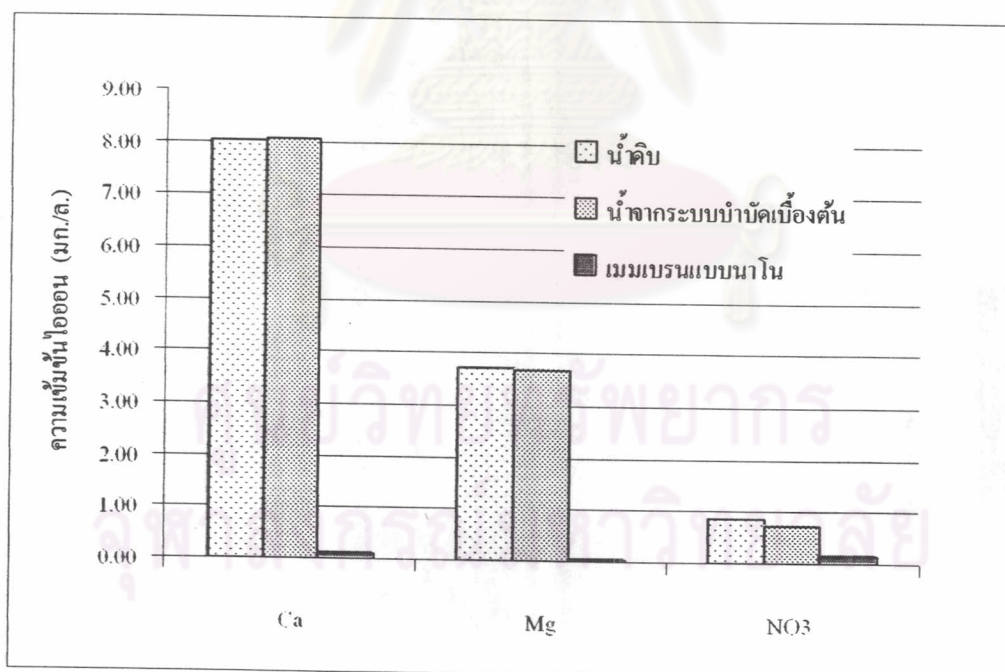
จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองระบบพบว่าเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสสามารถกำจัดแบคทีเรียในน้ำได้มากกว่าเมมเบรนแบบนาโน แต่ในสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

สาเหตุเนื่องมาจากแบคทีเรียในน้ำมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างบนผิวหน้าของเมมเบรนทั้งสองชนิดมาก มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถเล็ดรอดไปได้เพราะการผลิตเมมเบรนในปัจจุบันยังไม่สมบูรณ์ถึงขั้นอุดมคติจึงอาจมีการรั่ว อีกทั้งจำนวนแบคทีเรียในน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นนั้นมีปริมาณน้อยอยู่แล้วคือประมาณ 150 โคโลนี / น้ำ 100 มล. ทำให้ช่วยลดปริมาณแบคทีเรียที่อาจเจริญเติบโตบนผิวหน้าของเมมเบรนอันอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เมมเบรนเสียหายและเป็นช่องทางให้แบคทีเรียผ่านไปได้

#### 4.3.6 ผลของกระบวนการกรองผ่านเมมเบรนต่อปริมาณของไอออน

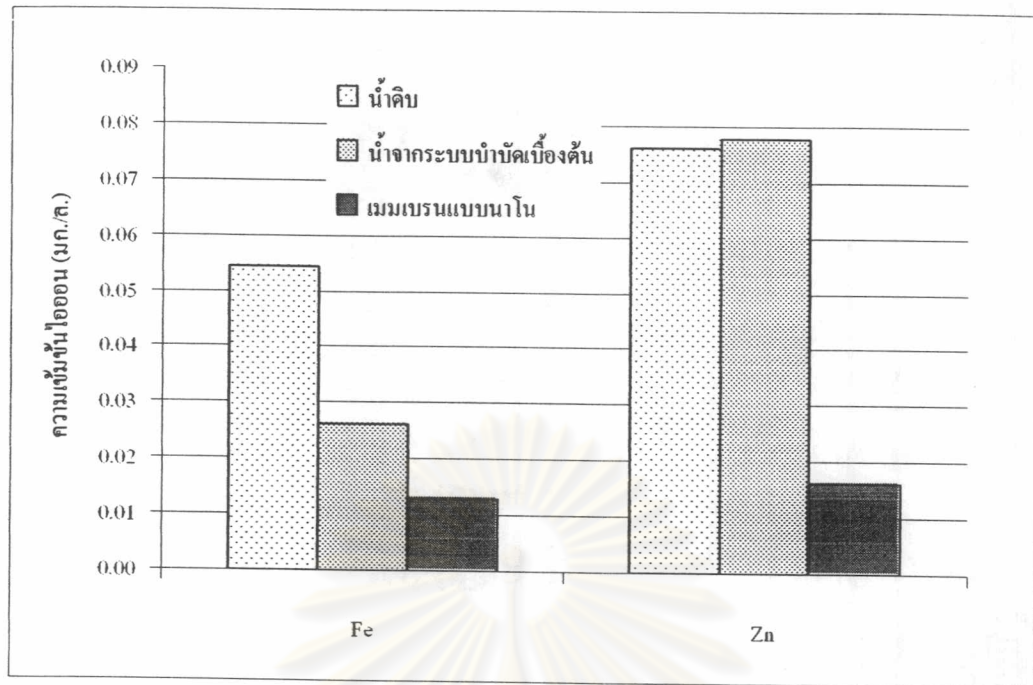
##### 4.3.6.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

รูปที่ 4.49 (ก) และ (ข) แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ จากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของไอออนในน้ำดิบอย่างชัดเจน ยกเว้นเหล็กเพียงชนิดเดียวที่ถูกกำจัดได้ประมาณ 40 % ทั้งนี้เนื่องมาจากถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการกำจัดเหล็ก



รูปที่ 4.49 (ก) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม และไนเตรต ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ



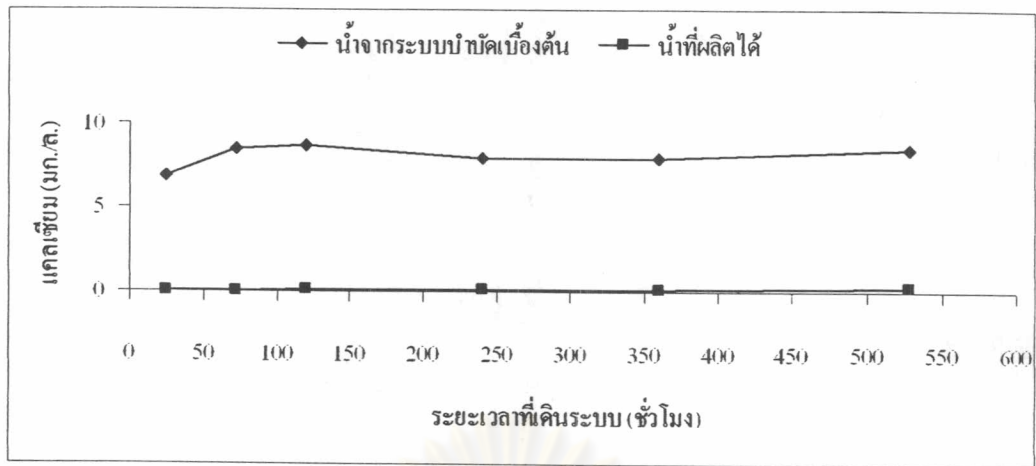


(ข)

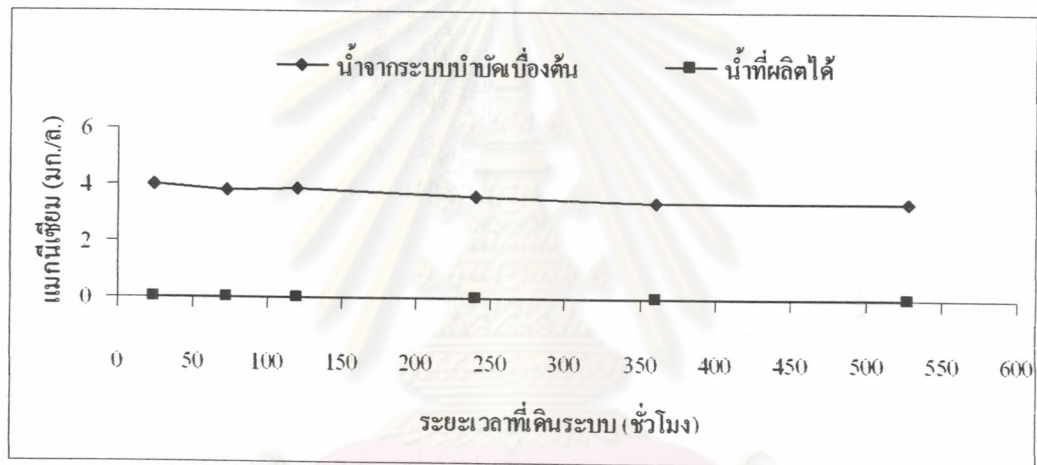
รูปที่ 4.49 (ข) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน เหล็ก และสังกะสี ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.50 (ก) - (จ) แสดงค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % ตามลำดับ รูปที่ 4.51 (ก) - (จ) แสดงค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 60 % ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการกำจัดไอออนในน้ำของเมมเบรนแบบนาโนอาศัยกลไกการผลักทางไฟฟ้า กล่าวคือที่ผิวหน้าของเมมเบรนแบบนาโนนี้จะมีประจุลบเนื่องจากการแตกตัวของโพลีเมอร์ของเมมเบรนชั้น Active Layer ที่พีเอชน้ำช่วงเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ดังนั้นไอออนลบในน้ำจะถูกผลักทางไฟฟ้าของประจุลบที่ผิวหน้าของเมมเบรน ในขณะที่ไอออนบวกในน้ำถูกกำจัดด้วยกลไกหลักสมดุลย์ทางไฟฟ้าที่เป็นกลาง กล่าวคือเมื่อไอออนลบถูกกลไกการผลักทางไฟฟ้าที่ประจุลบผิวหน้าของเมมเบรนผลักออกมา ประจุลบของไอออนลบในน้ำมีแรงดึงดูดกับประจุบวกของไอออนบวกในน้ำ ทำให้ไอออนประจุบวกในน้ำไม่สามารถผ่านผิวหน้าของเมมเบรนแบบนาโนไปได้





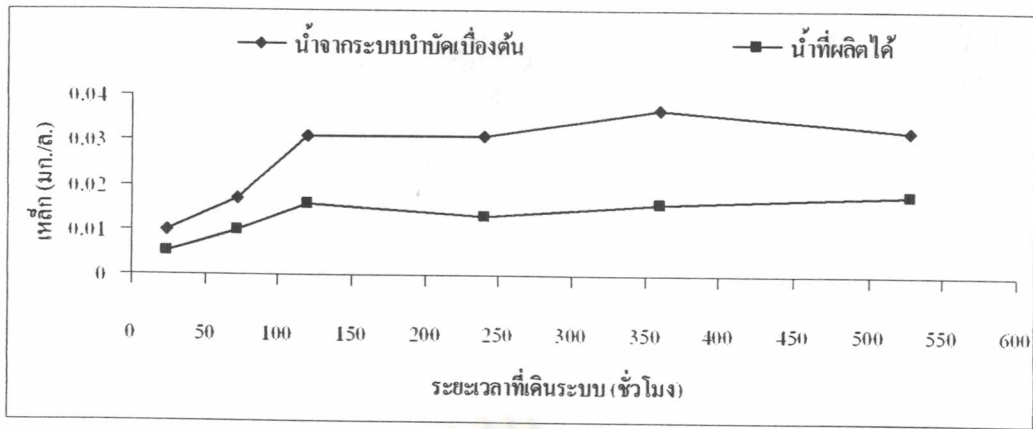
(ก)



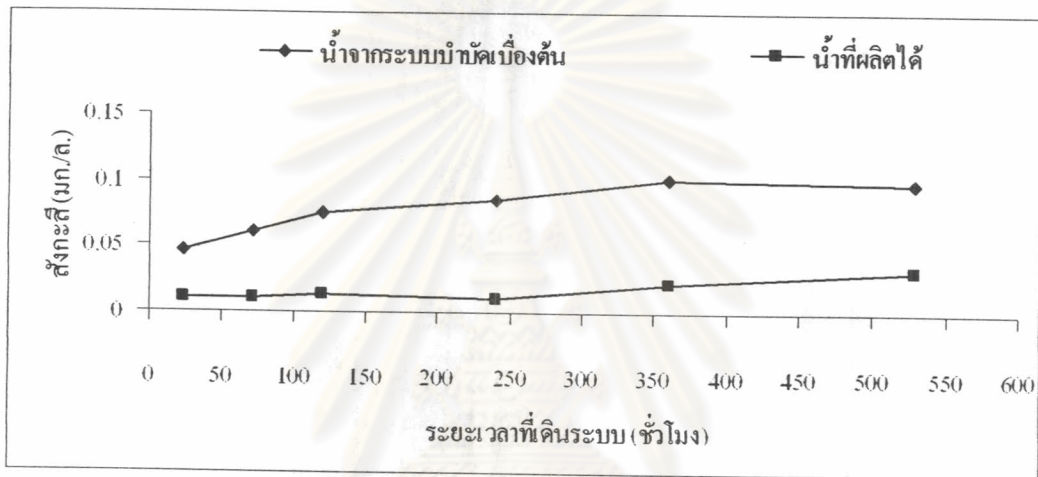
(ข)

รูปที่ 4.50 (ก) และ (ข) ค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม และแอมโมเนียเทียบกับระยะเวลาในการเดินระบบกรองแบบนาโนที่ Recovery 50 %

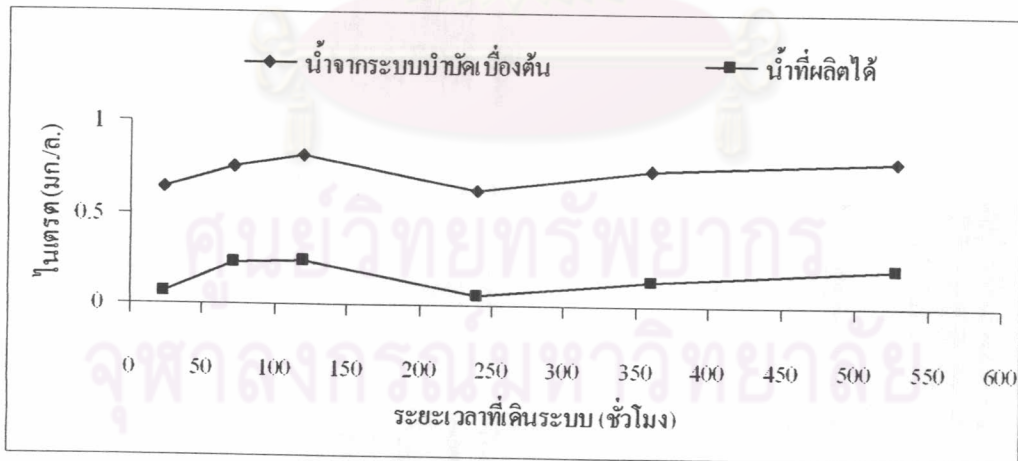
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค)

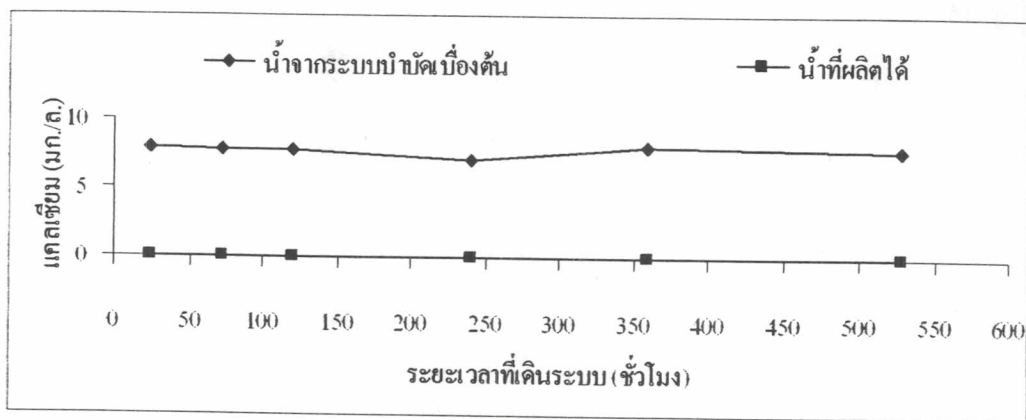


(ง)

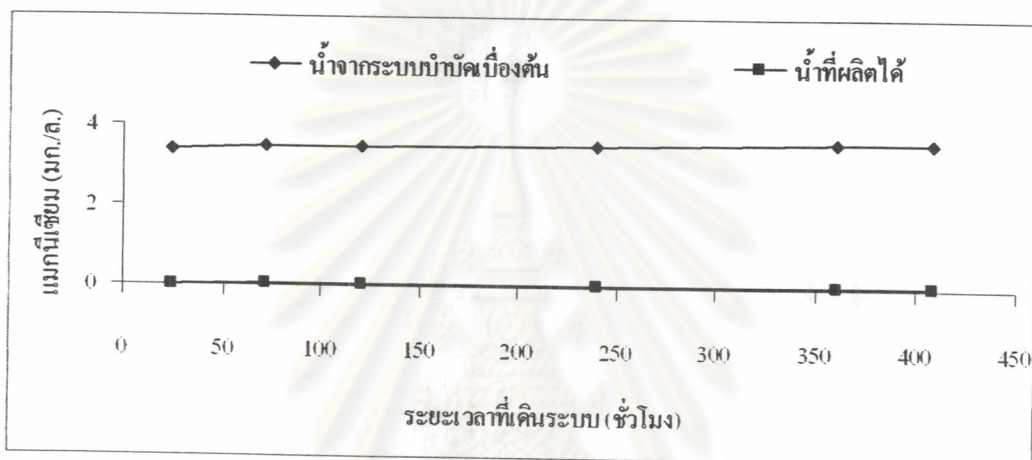


(จ)

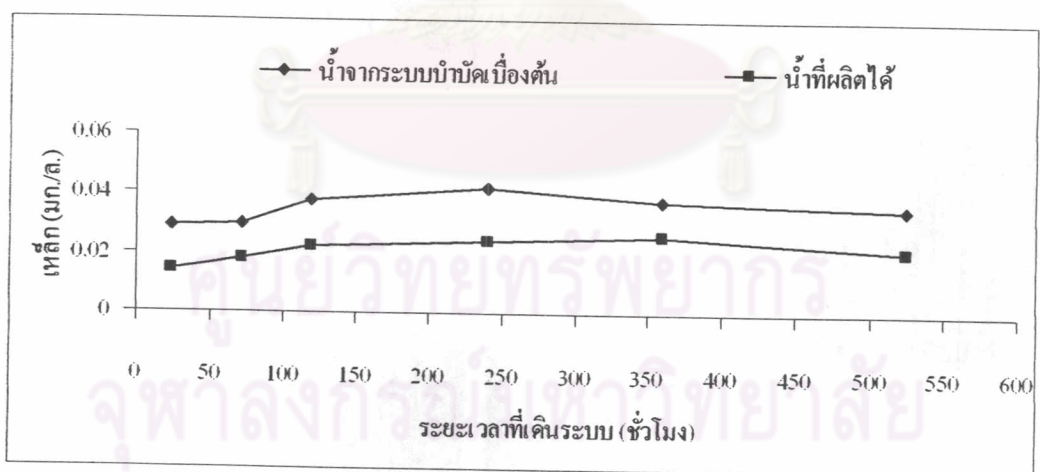
รูปที่ 4.50 (ค) - (จ) ค่าความเข้มข้นของไอออน เหล็ก สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบกรองแบบนาโนที่ Recovery 50 %



(ก)

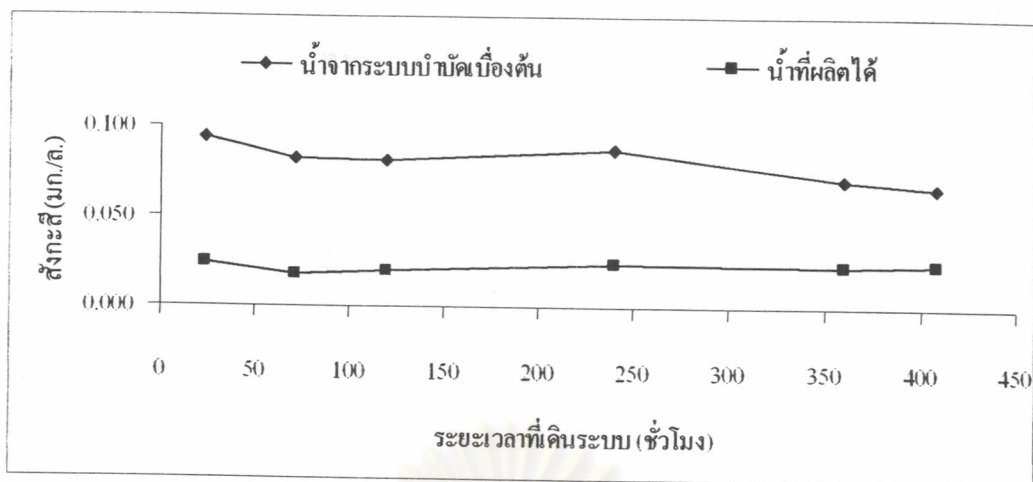


(ข)

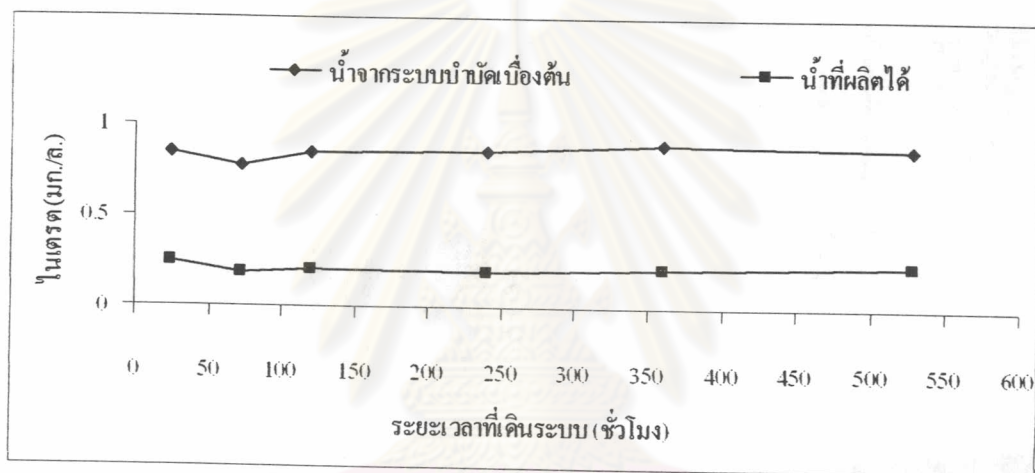


(ค)

รูปที่ 4.51 (ก) - (ค) ค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก กับระยะเวลาในการเดินระบบกรองแบบนาโนที่ Recovery 60 %



(ง)



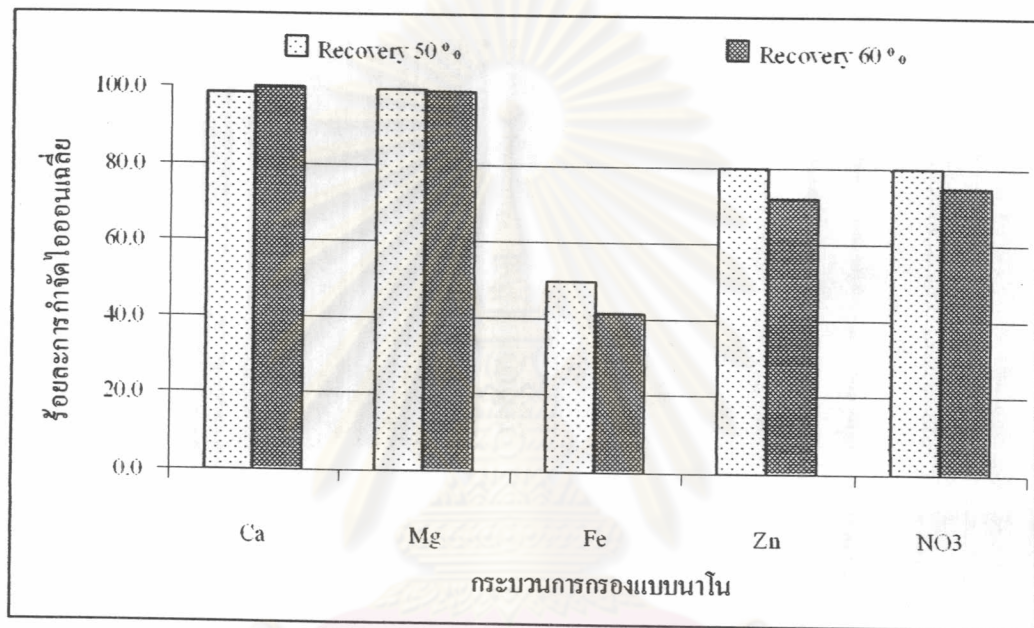
(จ)

รูปที่ 4.51 (ง) และ (จ) ค่าความเข้มข้นของ สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบ กรองแบบนาโนที่ Recovery 60 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



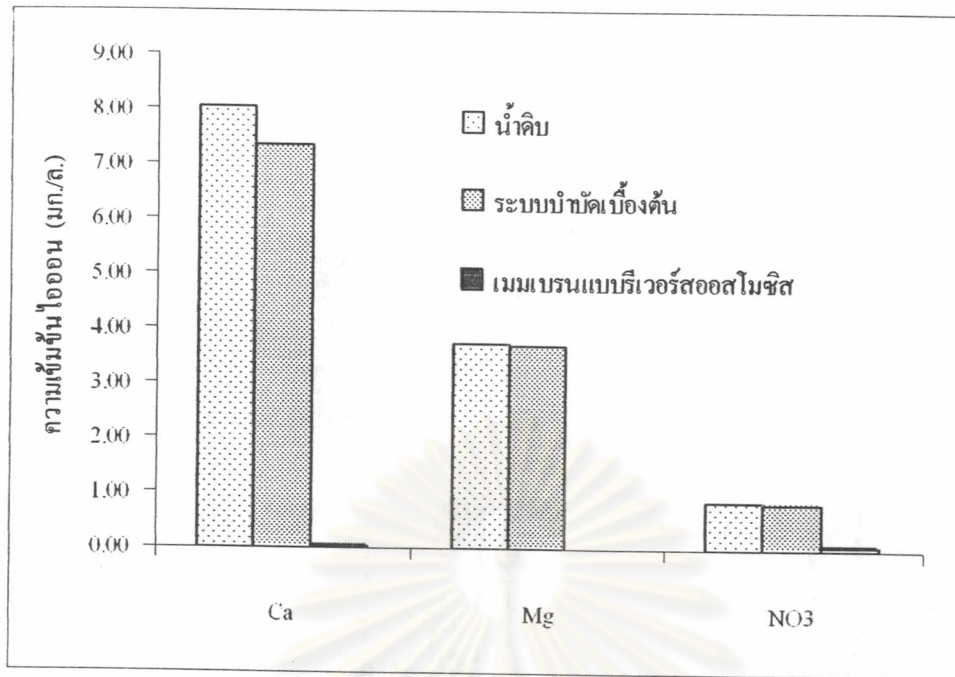
รูปที่ 4.52 แสดงร้อยละการกำจัดไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรด กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออน แตกต่างกันไปตามแต่คุณสมบัติของไอออนธาตุต่างๆที่มีต่อเมมเบรน แต่ร้อยละของการกำจัดของทุกไอออนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 - 100 ใกล้เคียงกัน ยกเว้นเหล็กที่กำจัดได้ร้อยละ 30 - 50 ทั้งที่ Recovery 50 % และ 60 % เนื่องจากในน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่น้อยมาก ทำให้ไม่สามารถสังเกตความสามารถในการกำจัดได้ชัดเจนนัก



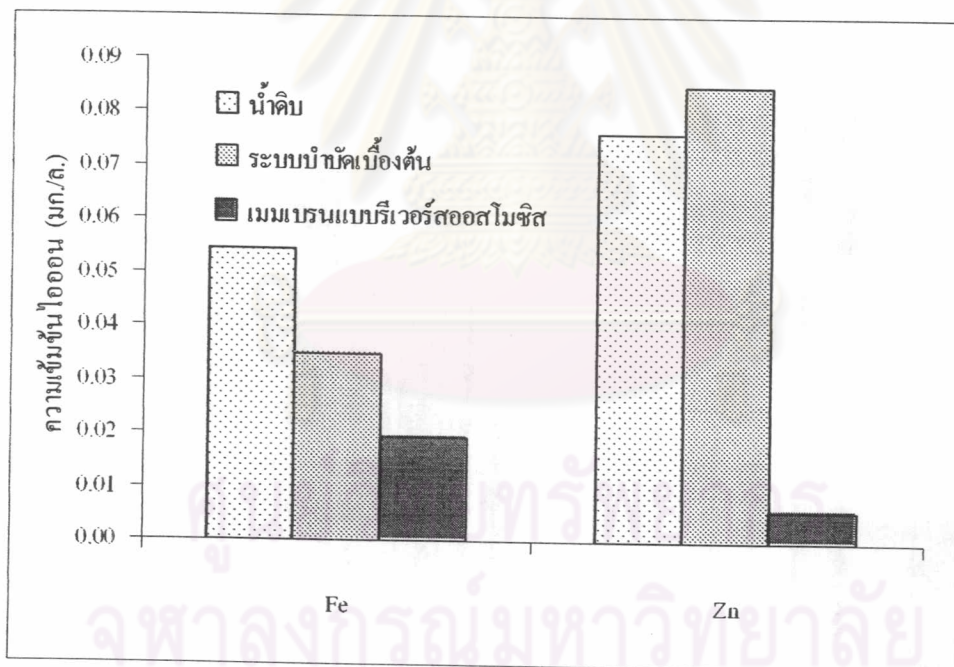
รูปที่ 4.52 ร้อยละการกำจัดไอออนเฉลี่ยของการเดินระบบกรองแบบนาโนที่ Recovery 50% และ 60%

#### 4.3.6.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

รูปที่ 4.53 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรด ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับจากการทดลองพบว่าน้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของไอออนในน้ำดิบอย่างชัดเจน ยกเว้นเหล็กเพียงชนิดเดียวที่ถูกกำจัดได้ประมาณ 40 %



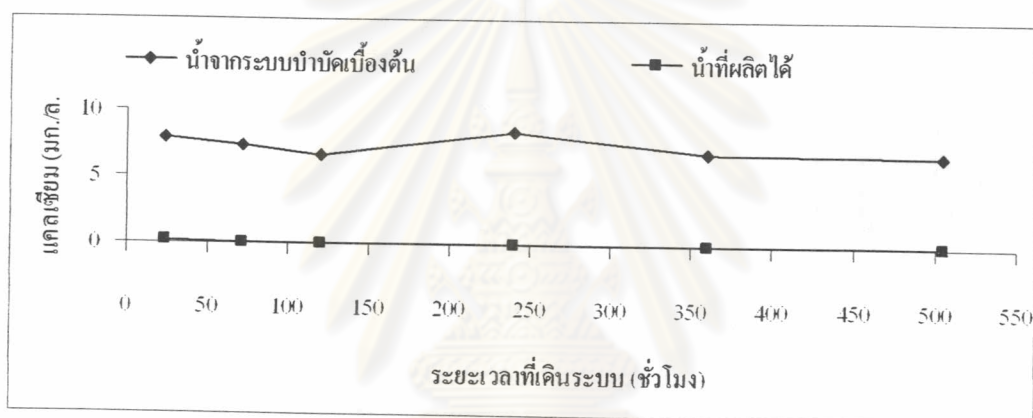
(ก)



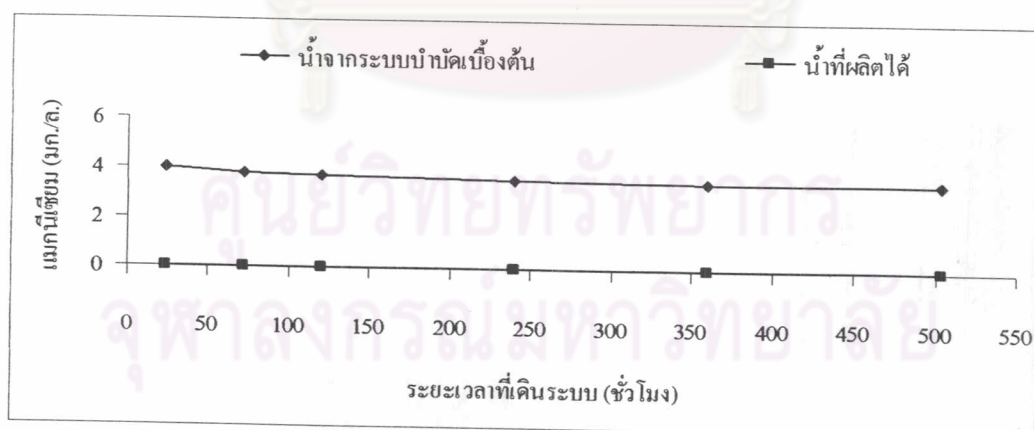
(ข)

รูปที่ 4.53(ก) และ (ข) ความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต ในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.54 (ก) - (จ) แสดงค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % ตามลำดับ รูปที่ 4.55 (ก) - (จ) แสดงค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 60 % ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การกำจัดไอออนในน้ำของเมมเบรนแบรีเวอร์สออสโมซิสอาศัยกลไกกำจัดเกลือแร่โดยขึ้นอยู่กับจำนวนวาเลนซ์ของไอออนต่างๆ กล่าวคือไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกเมมเบรนผลักได้ไกลกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ แรงผลักดันนี้เชื่อว่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากมี Dielectric Interaction ไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะถูกผลักให้ห่างจากเมมเบรนประมาณ 1 ไมครอน ซึ่งห่างเท่ากับน้ำ 2 โมเลกุลต่อกัน แรงผลักดันระหว่างเกลือกับเมมเบรนทำให้เกิดชั้นน้ำบริสุทธิ์ปกคลุมผิวหน้าเมมเบรนและเข้าไปถึงช่องว่างของเมมเบรน ด้วย น้ำไหลผ่านเมมเบรนที่ละโมเลกุล โดยซึมเข้าไปในช่องว่างของโครงสร้างสามมิติของสารอินทรีย์ที่ใช้ทำเมมเบรน



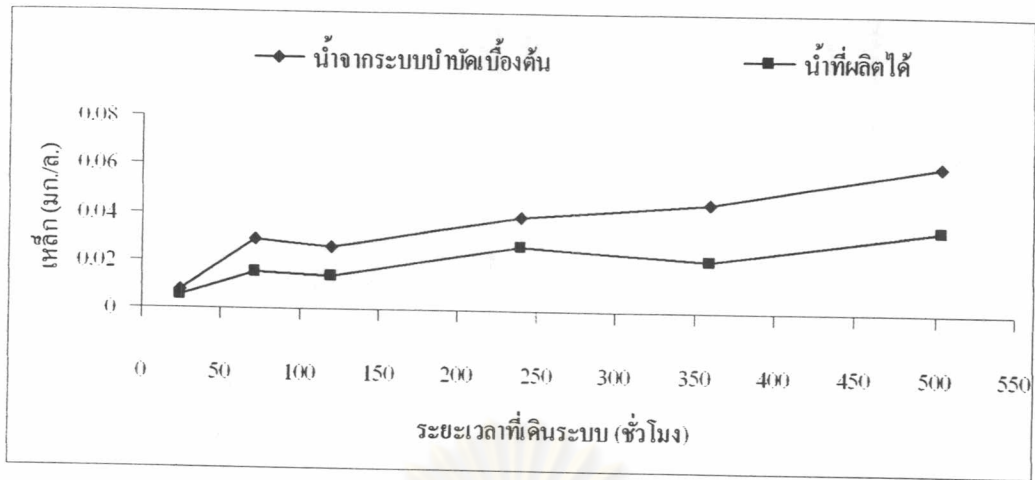
(ก)



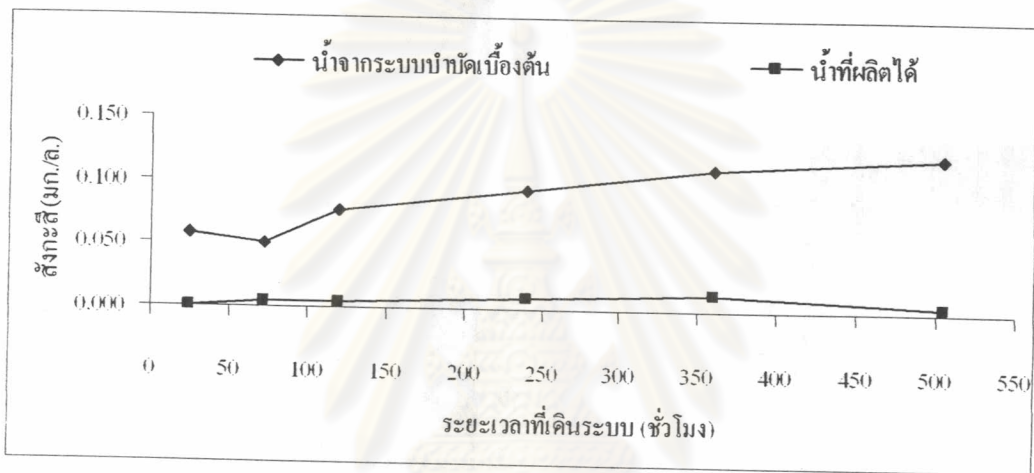
(ข)

รูปที่ 4.54 (ก) และ (ข) ค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม และแมกนีเซียม กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %

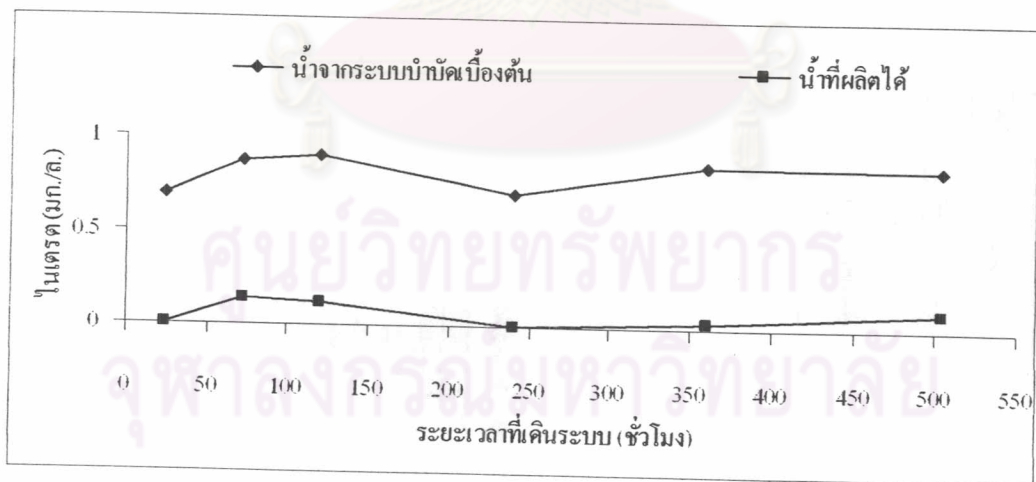




(ค)



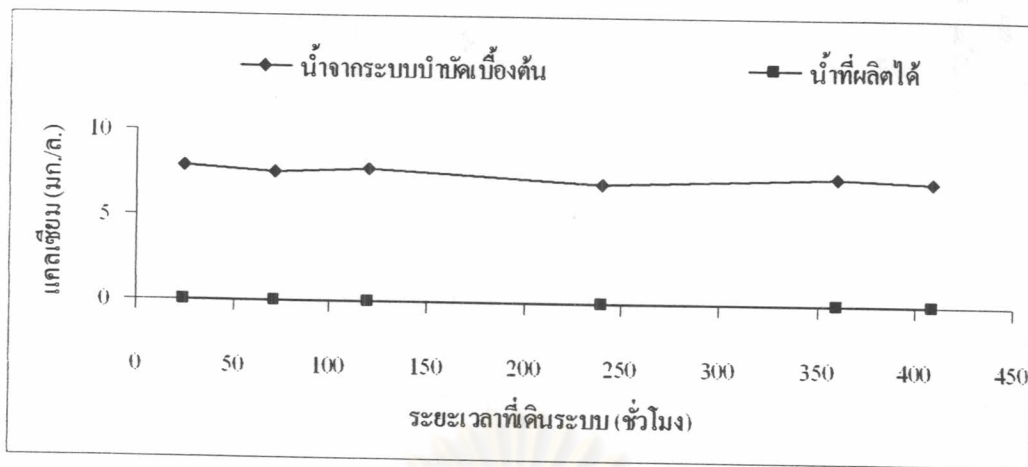
(ง)



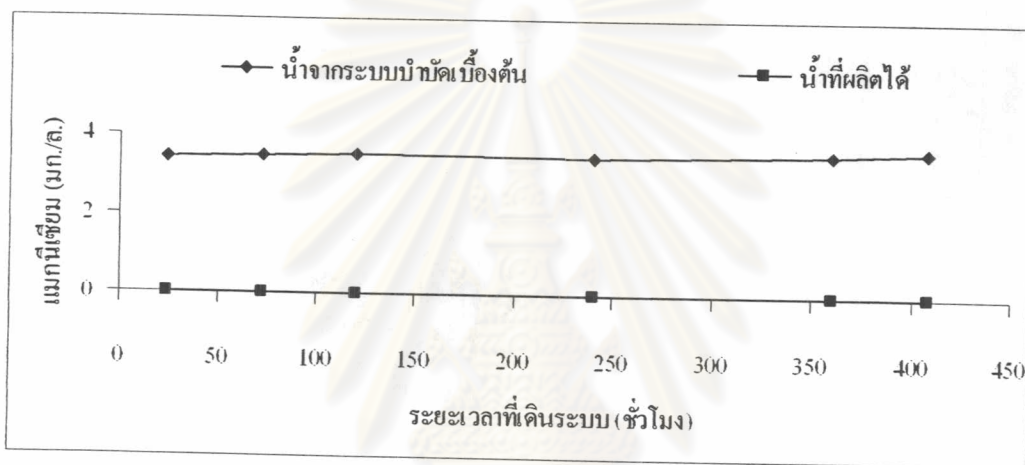
(จ)

รูปที่ 4.54 (ค) - (จ) ค่าความเข้มข้นของไอออน เหล็ก สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %

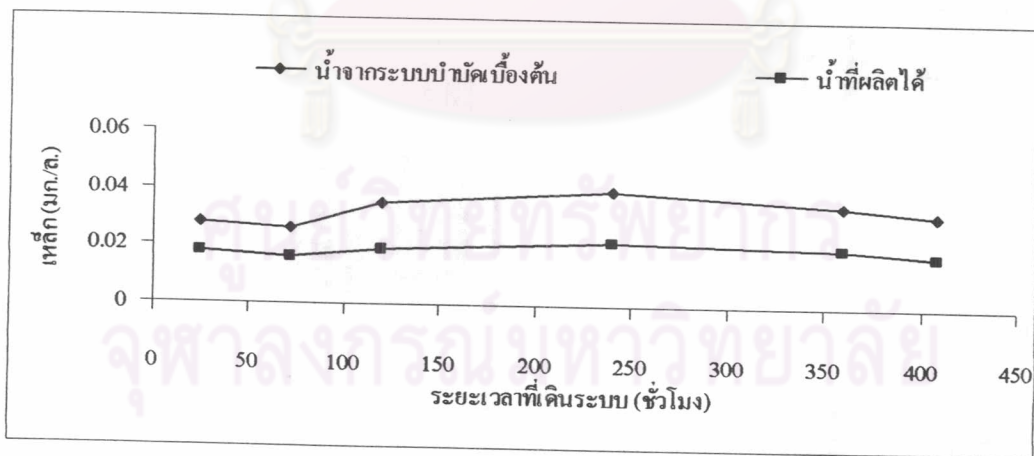




(ก)

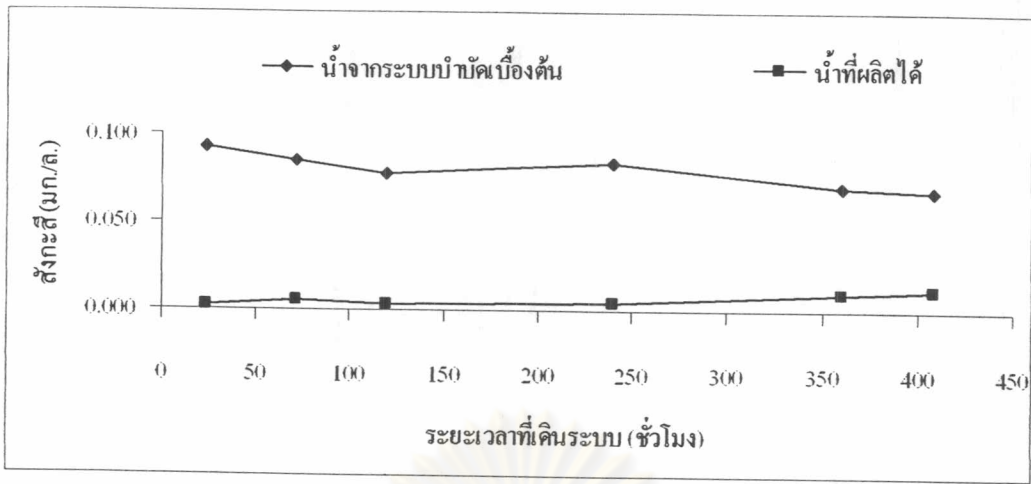


(ข)

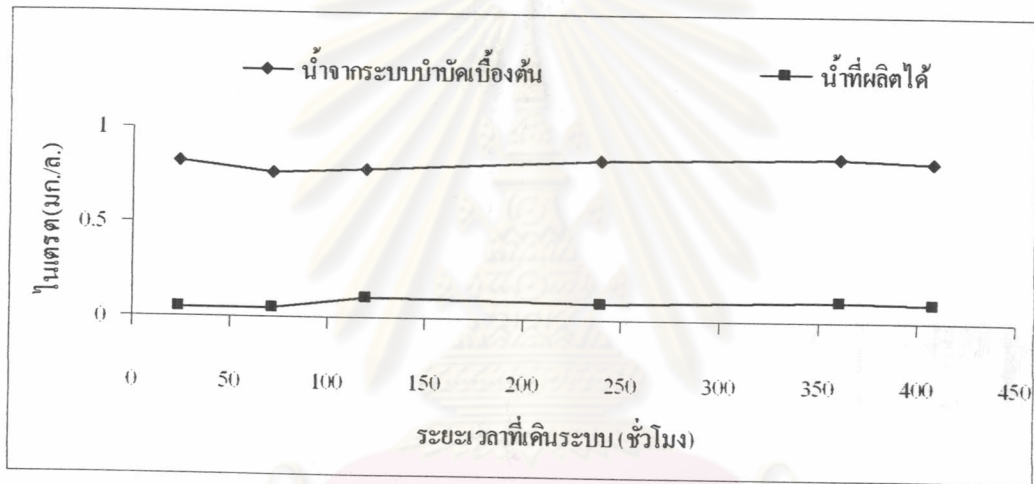


(ค)

รูปที่ 4.55 (ก) - (ค) ค่าความเข้มข้นของไอออน แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก กับระยะเวลาในการเดินระบบ รีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %



(ง)

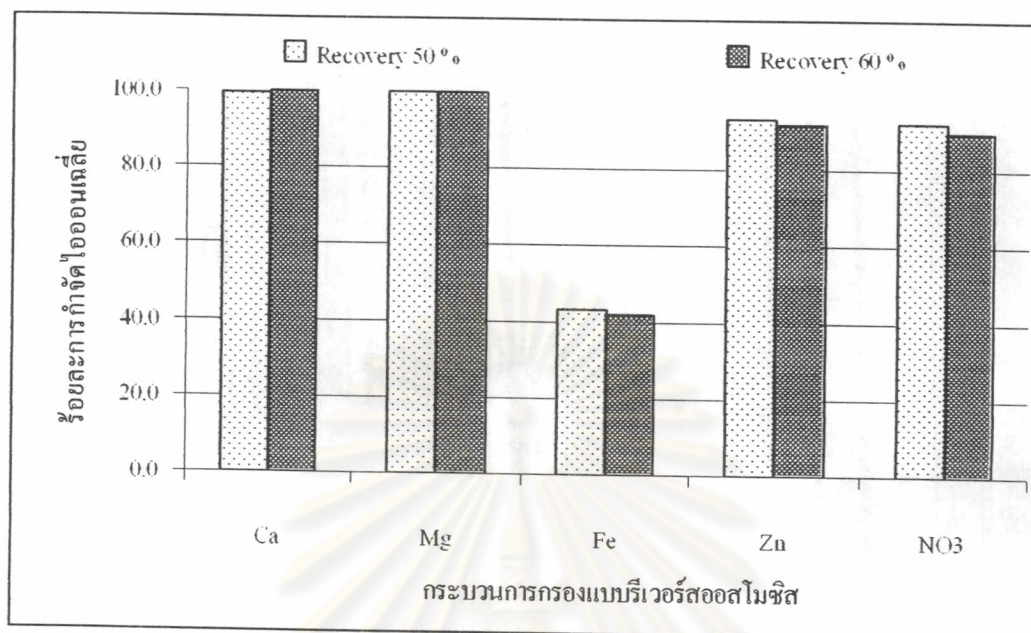


(จ)

รูปที่ 4.55 (ง) และ (จ) ค่าความเข้มข้นของไอออน สังกะสี และไนเตรต กับระยะเวลาในการเดินระบบ รีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.56 แสดงร้อยละการกำจัดไอออนเฉลี่ยในการเดินระบบที่ Recovery 50% และ 60 % ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนของเมมเบรนแตกต่างกันไปตามแต่คุณสมบัติของไอออนธาตุต่างๆ แต่ร้อยละของการกำจัดของทุกไอออนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 - 100 ใกล้เคียงกัน ยกเว้นเหล็กที่สามารถกำจัดได้ร้อยละ 30 -57 ทั้งที่ Recovery 50 % และ 60 % เนื่องจากปริมาณไอออนของธาตุต่างๆที่เข้าระบบมีปริมาณค่อนข้าง

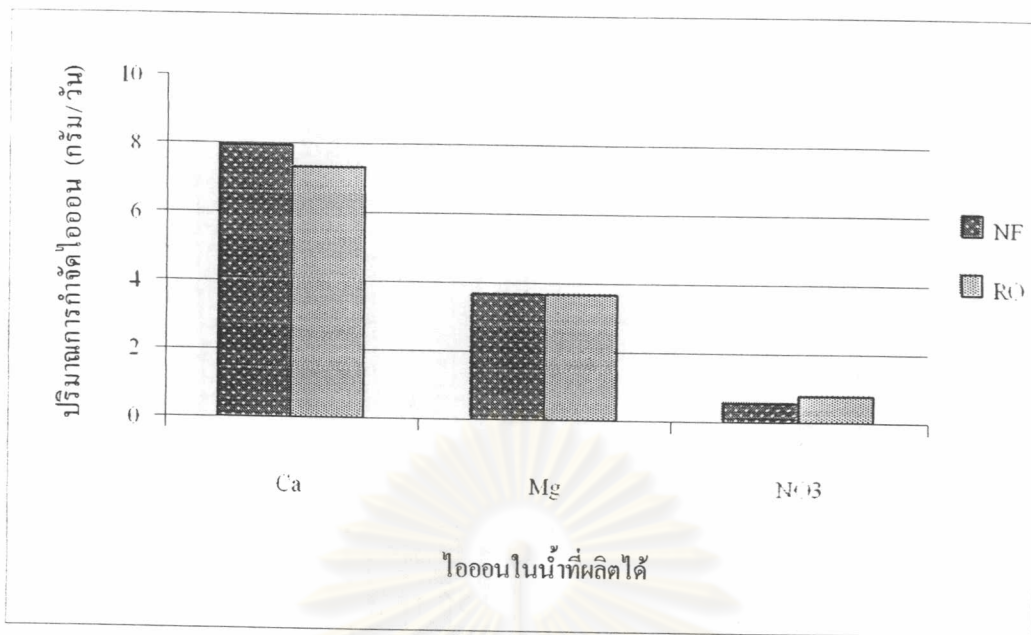
น้อย และ กลไกการกำจัดเกลือแร่ทำให้ไอออนที่มีประจุถูกผลักออกไปจากผิวหน้าของเมมเบรน โดยเฉพาะไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกผลักออกไปไกลกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ



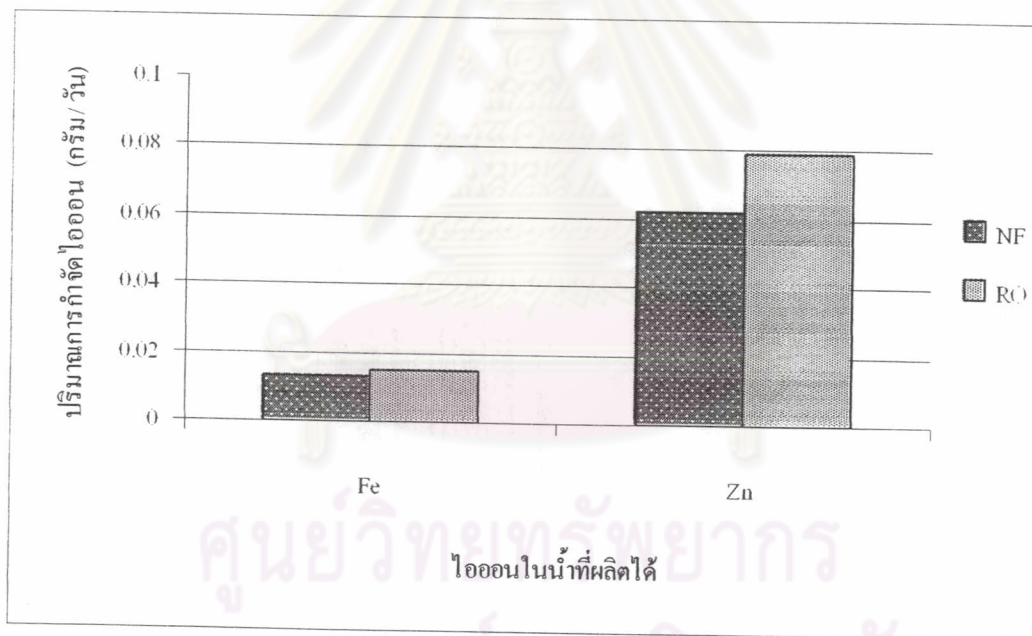
รูปที่ 4.56 ร้อยละการกำจัดไอออนเฉลี่ยของการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50% และ 60%

#### 4.3.6.3 เปรียบเทียบปริมาณของไอออนในน้ำสะอาดต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

รูปที่ 4.57 (ก) และ (ข) แสดงความสามารถในการกำจัดไอออนในน้ำของเมมเบรนที่ใช้ทดลอง จากการเปรียบเทียบทั้งสองระบบพบว่าเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสสามารถกำจัดปริมาณไอออนแต่ละชนิดในน้ำได้ไม่ต่างกับเมมเบรนแบบนาโน เนื่องจากไอออนแต่ละชนิดในน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว จึงทำให้ความสามารถในการกำจัดไม่สามารถถูกสังเกตได้ชัดเจนนัก ในขณะที่เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสใช้แรงดันสูงกว่าเมมเบรนแบบนาโนมาก ผลของการใช้แรงดันน้ำที่มีต่อการกำจัดไอออนในน้ำแสดงดังรูปที่ 4.58 (ก) และ (ข)



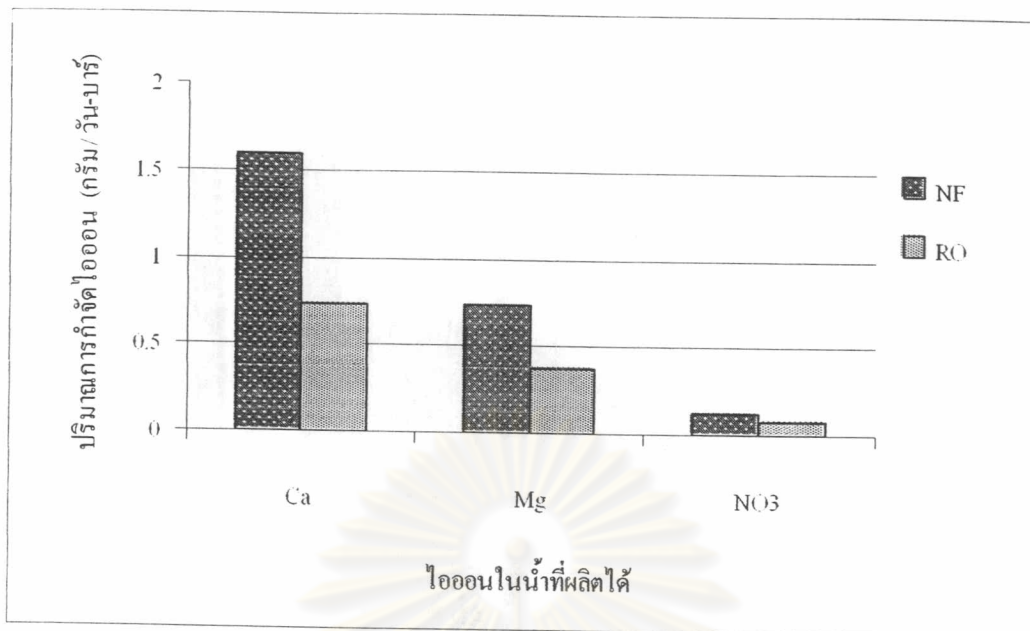
(ก)



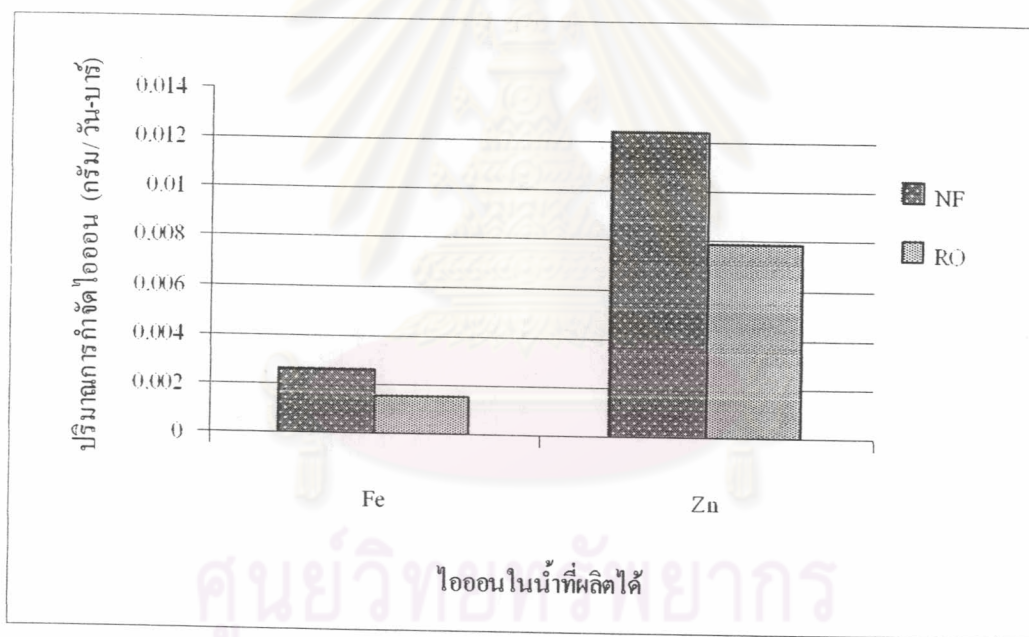
(ข)

รูปที่ 4.57 ปริมาณการกำจัดไอออนในน้ำต่อวันของระบบเมมเบรน





(ก)



(ข)

รูปที่ 4.58 ปริมาณการกำจัดไอออนในน้ำต่อวัน-แรงดัน ของระบบเมมเบรน

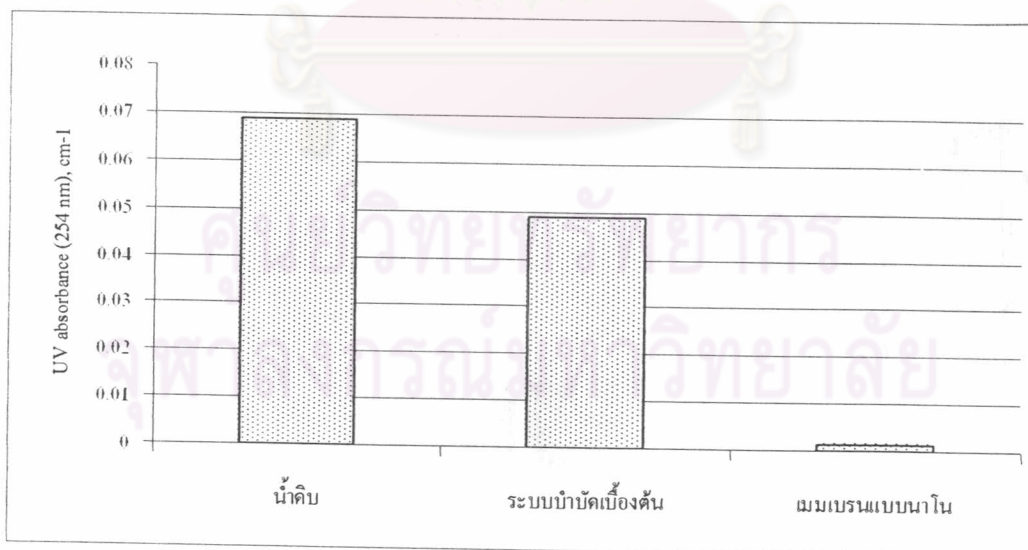
สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนแบบนาโนที่ใช้แรงดันน้อยกว่า สามารถกำจัดไอออนได้ปริมาณไม่ต่างจากเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิส เนื่องจากเมมเบรนแบบนาโนที่มีโครงสร้างเปิดมากกว่า

อาศัยกลไกการละลาย-การแพร่ ร่วมกับประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้าเมมเบรนในการกำจัดไอออน ทำให้มีสภาพการซึมผ่านที่มากกว่าจึงสามารถทำให้ใช้แรงดันน้ำที่น้อยกว่าในการเดินระบบ ในขณะที่เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสกำจัดไอออนโดยอาศัยเพียงกลไกการละลาย-การแพร่ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวถูกละลายขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย-การแพร่ผ่านเมมเบรนของตัวถูกละลาย จึงทำให้เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสมีความทึบสูง ทำให้มีความสามารถในการซึมผ่านได้น้อย ดังนั้นจึงต้องอาศัยแรงดันในการเดินระบบสูงกว่าเมมเบรนแบบนาโน

#### 4.3.7 ผลของกระบวนการกรองผ่านเมมเบรนต่อค่ายูวี 254

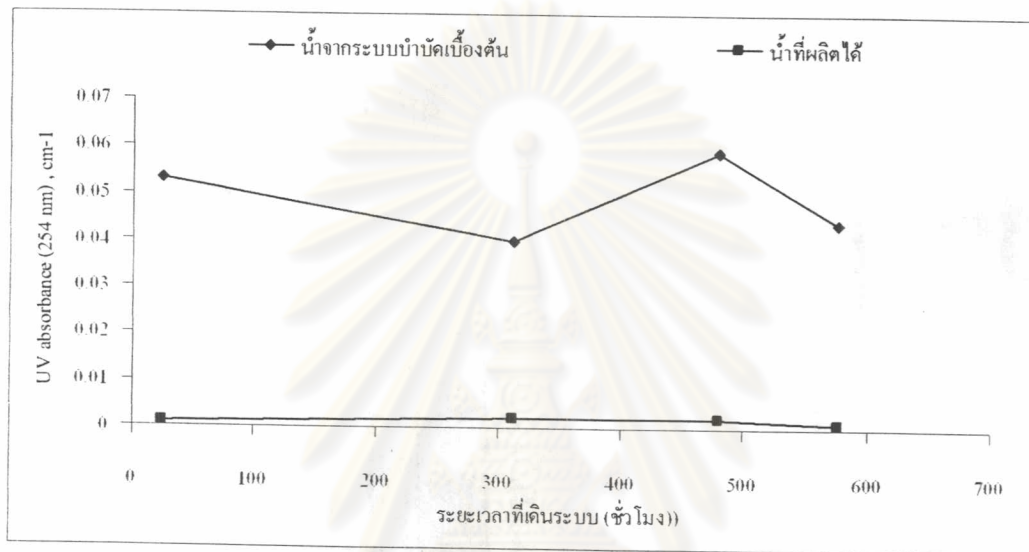
##### 4.3.7.1 กระบวนการกรองแบบนาโน

ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อการกำจัดค่ายูวี 254 ซึ่งเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.59 น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่ายูวี 254 ของน้ำเปลี่ยนแปลงลดลงประมาณร้อยละ 36 ขณะที่ค่ายูวี 254 ของน้ำที่ผ่านเมมเบรนมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 97 สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนสามารถลดค่ายูวี 254 ได้มาก เนื่องจากผิวหน้าของเมมเบรนมีความทึบสูงมาก สารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านไป

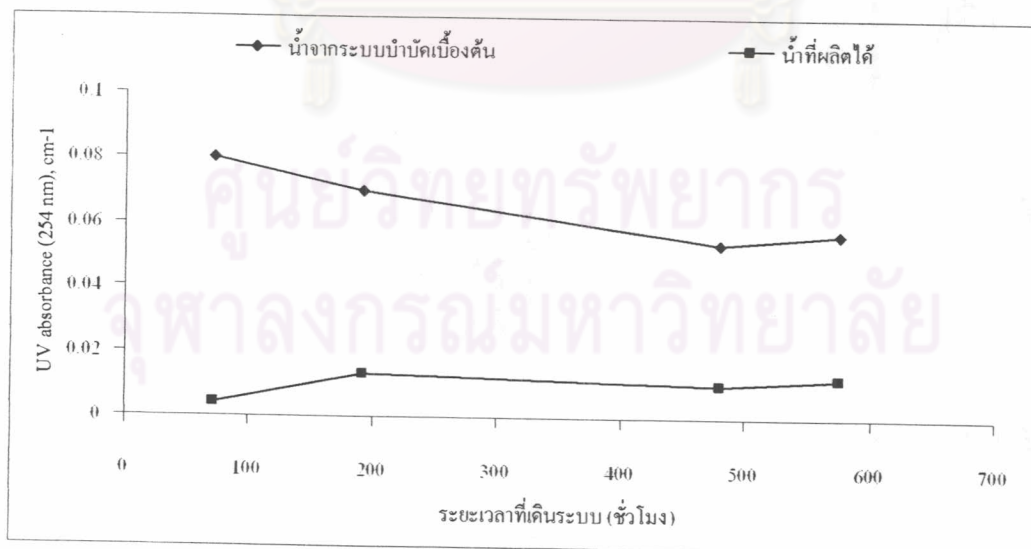


รูปที่ 4.59 ค่ายูวี 254 เหลือในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.60 และ 4.61 แสดงค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ การเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบมากขึ้นแต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดค่ายูวี 254 เพราะสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่เป็นสาเหตุหลักของค่ายูวี 254 มีขนาดใหญ่กว่าช่องบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้สารอินทรีย์ขนาดใหญ่ในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้างเกือบทั้งหมด ในขณะที่สารอินทรีย์ขนาดเล็กยังคงสามารถผ่านเมมเบรนไปได้



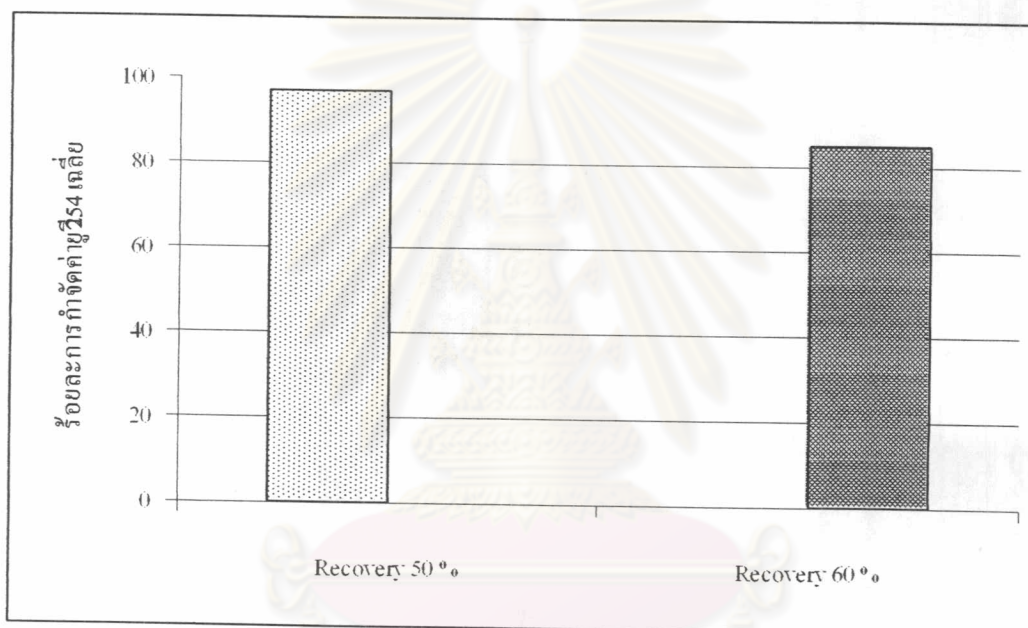
รูปที่ 4.60 ค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.61 ค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 60 %



รูปที่ 4.62 แสดงร้อยละการกำจัดค่ายูวี 254 เฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่ายูวี 254 ค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 – 98 ตลอดช่วงการทดลอง แม้ว่า % Recovery จะมีค่าค่อนข้างสูง คือ 50 และ 60 เนื่องจากน้ำดิบมีคุณสมบัติค่อนข้างคงที่และค่ายูวี 254 ในน้ำที่ทำการทดลองประกอบไปด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน ซึ่งเมมเบรนแบบ นาโนทั่วไปสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 500 ได้เกือบทั้งหมด โดยใช้กลไกกรองแบบติดค้างในการกำจัด ทำให้สามารถกำจัดได้เฉพาะค่ายูวี 254 ที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง ในขณะที่ค่ายูวี 254 ที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอर्मัลดีไฮด์ ซึ่งมีมวลโมเลกุลเพียง 30 สามารถผ่านเมมเบรนออกไปได้ จึงทำให้ยังคงมีค่ายูวี 254 อยู่ในน้ำที่ผ่าน เมมเบรน

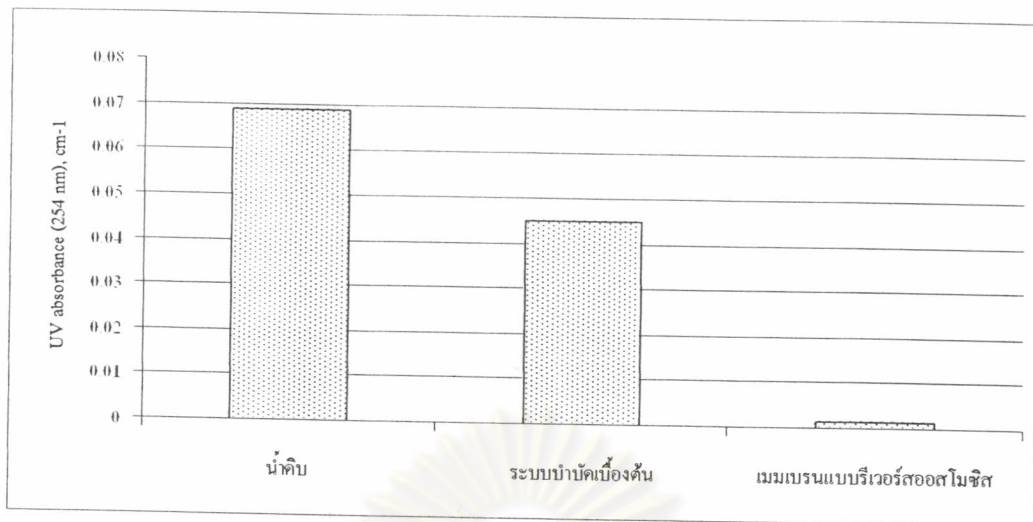


รูปที่ 4.62 ร้อยละการกำจัดค่ายูวี 254 เฉลี่ยของการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50% และ 60%

#### 4.3.7.2 กระบวนการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

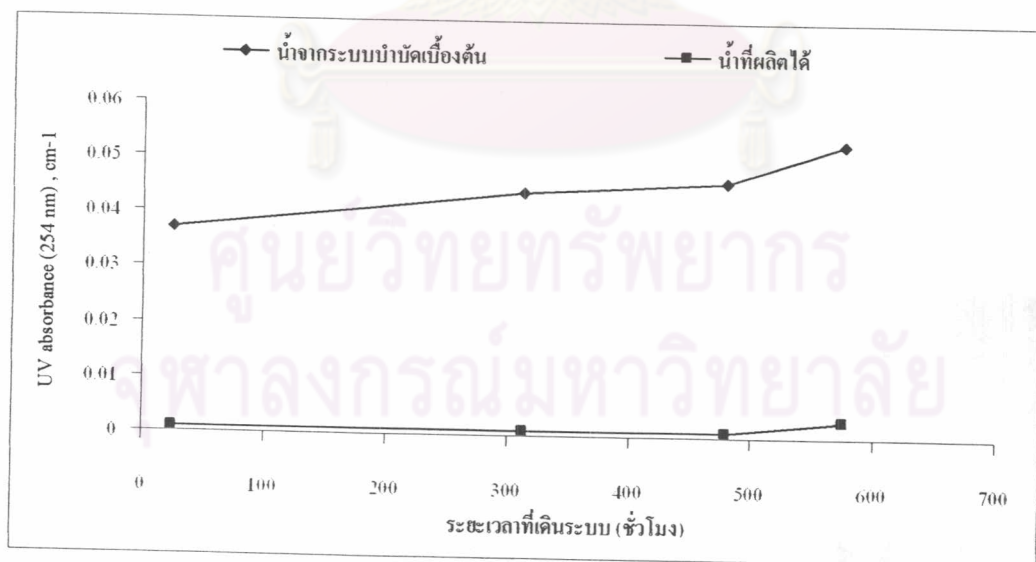
ผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อการกำจัดค่ายูวี 254 ซึ่งเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ แสดงดังรูป 4.63 น้ำดิบที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้ค่ายูวี 254 ของน้ำเปลี่ยนแปลงประมาณร้อยละ 50 ขณะที่ค่ายูวี 254 ของน้ำที่ผ่านเมมเบรนมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 97 สาเหตุที่ทำให้น้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วมีค่า ยูวี 254 น้อยมากเนื่องจากผิวหน้าของเมมเบรนมีรูพรุนเล็กมาก สารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านไป



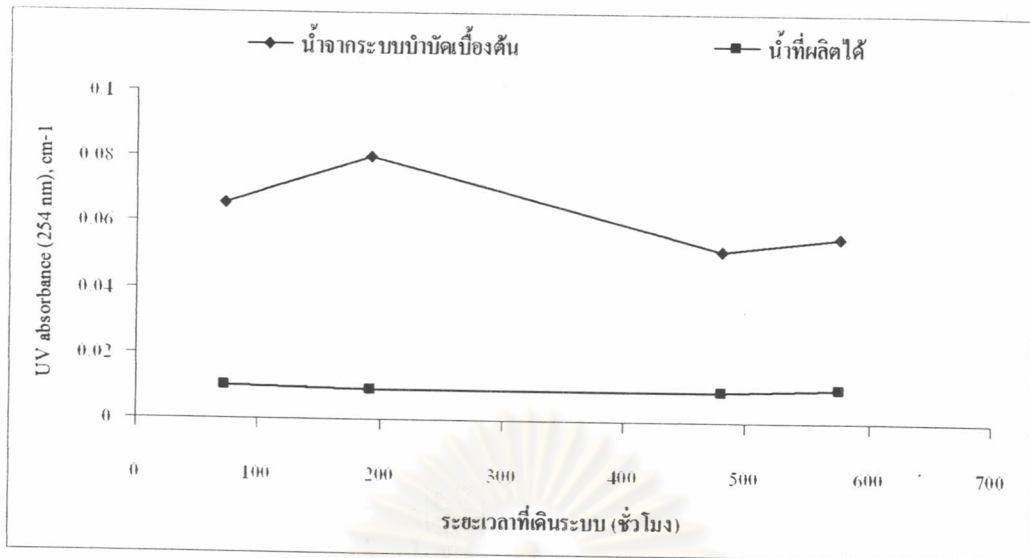


รูปที่ 4.63 ค่ายูวี 254 เฉลี่ยในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

รูปที่ 4.64 และ 4.65 แสดงค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ พบว่าการเพิ่ม Recovery แม้จะส่งผลให้มีสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบมากขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อการกำจัดค่ายูวี 254 เพราะสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่เป็นสาเหตุของค่ายูวี 254 มีขนาดใหญ่กว่าช่องบนผิวหน้าของเมมเบรนมาก ทำให้สารอินทรีย์ขนาดใหญ่ในน้ำถูกกำจัดในลักษณะการกรองแบบติดค้างเกือบทั้งหมด



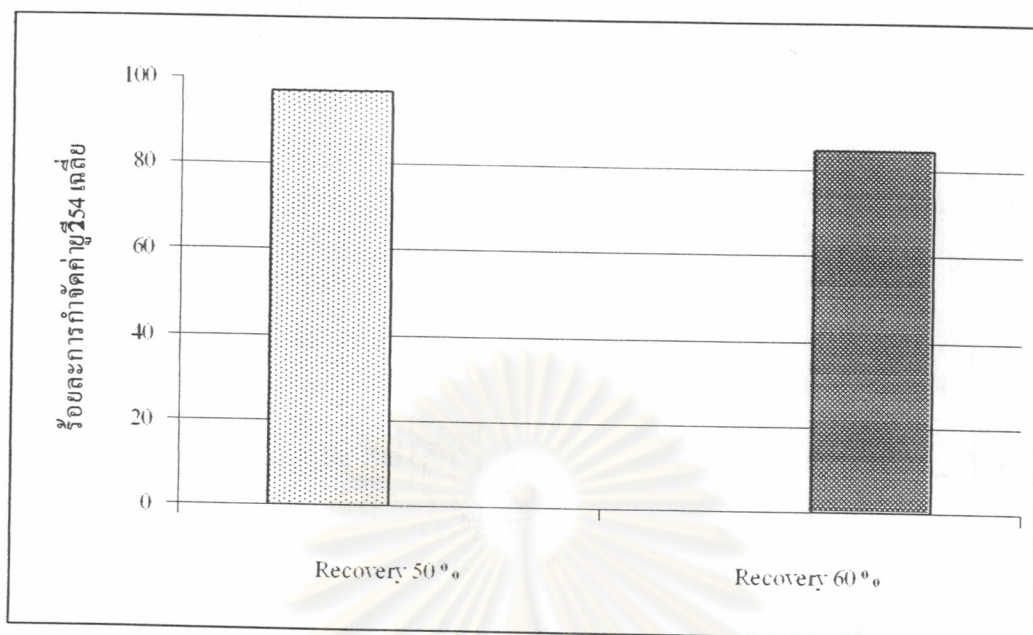
รูปที่ 4.64 ค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์ออสโมซิสที่ Recovery 50 %



รูปที่ 4.65 ค่ายูวี 254 กับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์ออสโมซิสที่ Recovery 60 %

รูปที่ 4.66 แสดงร้อยละการกำจัดค่ายูวี 254 เฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่ายูวี 254 ก่อนช่วงคองที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 85 - 100 ตลอดช่วงการทดลอง แม้ว่า % Recovery จะมีค่าค่อนข้างสูง คือ 50 และ 60 เนื่องจากน้ำดิบมีคุณสมบัติค่อนข้างคองที่และค่ายูวี 254 ในน้ำที่ทำการทดลองประกอบไปด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันซึ่งเมมเบรนแบบรีเวอร์ออสโมซิสสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 200 ได้เกือบทั้งหมด โดยใช้กลไกกรองแบบติดค้างในการกำจัด ทำให้สามารถกำจัดได้เฉพาะค่ายูวี 254 ที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง ในขณะที่ค่ายูวี 254 ที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอर्मัลดีไฮด์ ซึ่งมีมวลโมเลกุลเพียง 30 สามารถผ่านเมมเบรนออกไปได้ จึงทำให้ยังคงมีค่า ยูวี 254 อยู่ในน้ำที่ผ่านเมมเบรน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.66 ร้อยละการกำจัดค่ายูวี 254 เหลือของการเดินระบบรีเวอร์ออสโมซิสที่ Recovery 50 % และ 60%

#### 4.3.7.3 เปรียบเทียบค่ายูวี 254 ในน้ำสะอาดต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองระบบพบว่าเมมเบรนแบบรีเวอร์ออสโมซิสสามารถกำจัดค่า UV 254 ที่เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ในน้ำได้มากใกล้เคียงกับเมมเบรน แบบนาโน

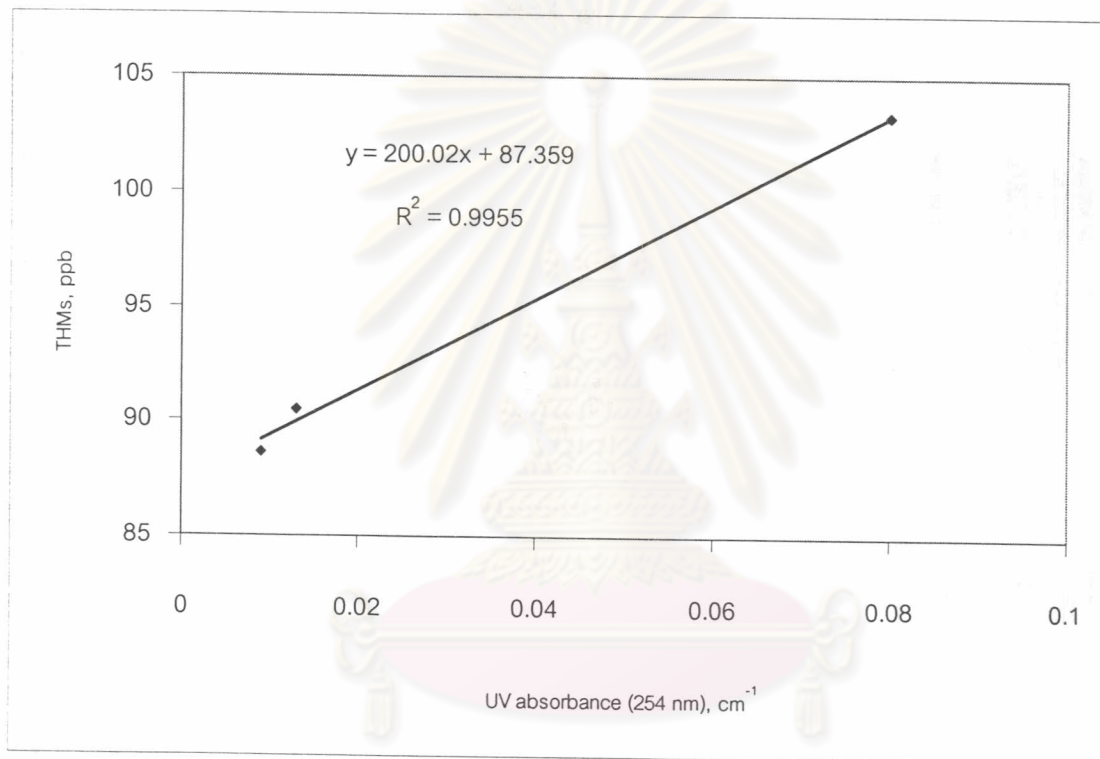
เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำที่ถูกวัดออกมาเป็นค่ายูวี 254 ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างบนผิวเมมเบรนทั้งสองแบบมาก ส่งผลให้ค่ายูวี 254 ถูกกำจัดออกไปมากกว่าร้อยละ 80 เหลือเพียงสารอินทรีย์ขนาดเล็กบางชนิดเท่านั้นที่สามารถผ่านเมมเบรนออกไปได้

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับปริมาณไตรฮาโลมีเทน

รูปที่ 4.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารไตรฮาโลมีเทน พบว่าเนื่องจากสารไตรฮาโลมีเทนเป็นสารอินทรีย์กลุ่มหนึ่งจึงสามารถดูดกลืนยูวี 254 ได้ ประกอบกับปริมาณสาร

ต่างๆในน้ำดิบมีค่าค่อนข้างคงที่ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนประมาณได้เป็นสมการเส้นตรง

สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นประกอบด้วยสาร 4 ชนิดคือ คลอโรฟอร์ม(Chloroform) ไบรโมไดคลอโรมีเทน(BDCM) ไดโบรโมคลอโรมีเทน(DBCM) และ ไบรโมฟอร์ม(Bromoform) โดยในการทดลองนี้พบว่ามีส่วนเหล่านี้มีสัดส่วน 90.5 : 0.9 : 8.6 : 0 ตามลำดับ



รูปที่ 4.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 กับสารไตรฮาโลมีเทน

เมื่อพิจารณาค่า Regression พบว่ามีค่า  $R^2 = 0.9955$  ซึ่งสามารถแบ่งระดับความสัมพันธ์ได้อยู่ในระดับความสัมพันธ์ที่ดี สามารถใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายูวี 254 และ สารไตรฮาโลมีเทนได้ และจากความสัมพันธ์นี้ไปสู่การทำนายปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำโดยการวัดค่ายูวี 254



ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณจากการวัดค่ายูวี 254 ของน้ำดิบก่อนเข้าระบบผลิตที่ใช้ในการทดลอง จากตารางแสดงผลจะสังเกตได้ว่าน้ำประปาที่นำมาใช้เป็นน้ำดิบในการทดลองมีความเข้มข้นสารไตรฮาโลมีเทนอยู่ในมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกซึ่งคำนวณจากผลบวกของสัดส่วนของสารแต่ละชนิดในกลุ่มสาร ไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นกับค่าความเข้มข้นที่แนะนำของสารที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดโดยพิจารณาจากความเป็นอันตรายของสารนั้นๆ แต่หากเทียบกับมาตรฐานของ US.EPA พบว่าในน้ำดิบมีความเข้มข้นสารไตรฮาโลมีเทนสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณจากการวัดค่ายูวี 254 ของน้ำดิบก่อนเข้าระบบผลิตที่ใช้ในการทดลอง

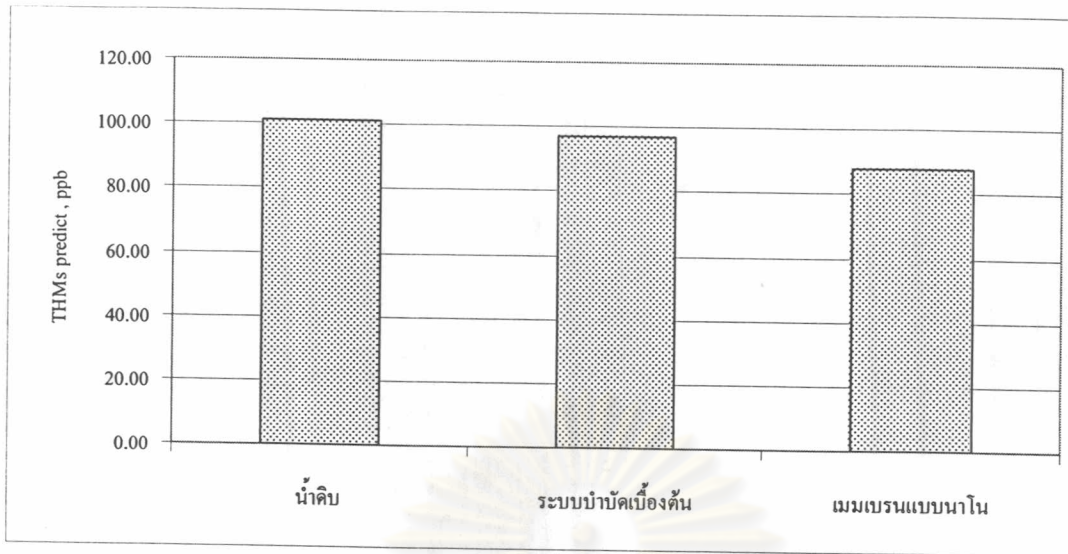
คุณสมบัติ	หน่วย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม
สารไตรฮาโลมีเทน	ไมโครกรัม / ลิตร	99.76 – 103.56	101.36	80*
		0.40 – 0.42	0.41	≤ 1**

\* USEPA

\*\* Guidelines for Drinking-water Quality 2<sup>nd</sup> Edition (WHO, 1993)

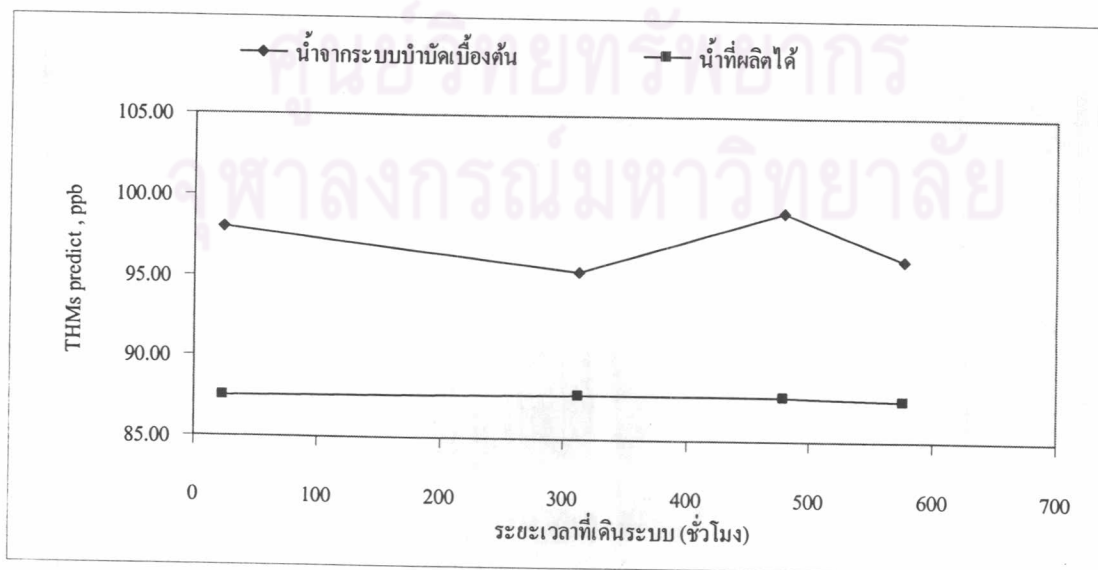
#### 4.4.1 ผลของกระบวนการกรองแบบนาโนต่อปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณได้

รูปที่ 4.68 แสดงปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์กับค่ายูวี 254 หลังจากผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับจากการทดลองพบว่าการบำบัดเบื้องต้นไม่สามารถกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนได้ โดยสังเกตจากค่ายูวี 254 ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับที่วัดได้ในน้ำดิบ

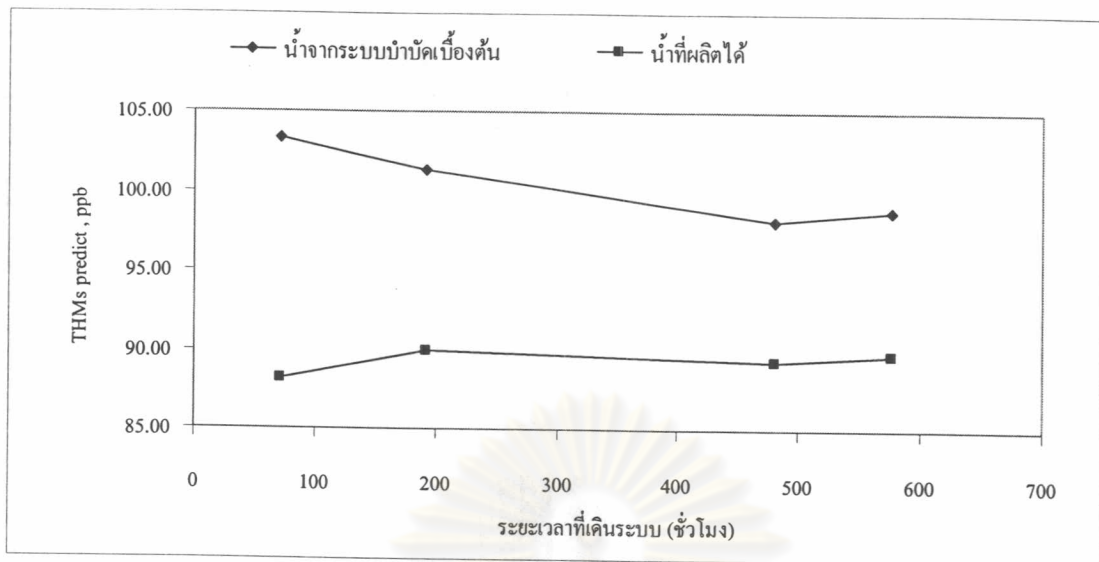


รูปที่ 4.68 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์กับค่ายูวี 254 หลังจากผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนแบบนาโนไม่สามารถกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนได้ดีนักเนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่มไตรฮาโลมีเทนมีขนาดค่อนข้างเล็ก โดยสารคลอโรฟอร์มเป็นสารที่มีสัดส่วนมากที่สุดในการกลุ่มไตรฮาโลมีเทนคือประมาณร้อยละ 90 มีมวลโมเลกุลเพียง 119.38 จึงสามารถผ่านผิวของเมมเบรนแบบนาโนได้ อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bodzek และ คณะ (2002) ที่กล่าวว่า ฟาวลิงที่ผิวหน้าเมมเบรนแบบนาโนเป็นกลไกหนึ่งในการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนต่างๆในน้ำ เพราะในการทดลองนี้พบว่าเกิดการฟาวลิงที่ผิวหน้าของเมมเบรนน้อยมาก สังเกตได้จากอัตราการผลิตน้ำสะอาดที่ค่อนข้างคงที่ และหลังจากการล้างทำความสะอาดแล้วยังคงสามารถผลิตน้ำสะอาดได้ปริมาณใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มการทดลอง



รูปที่ 4.69 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 50 %

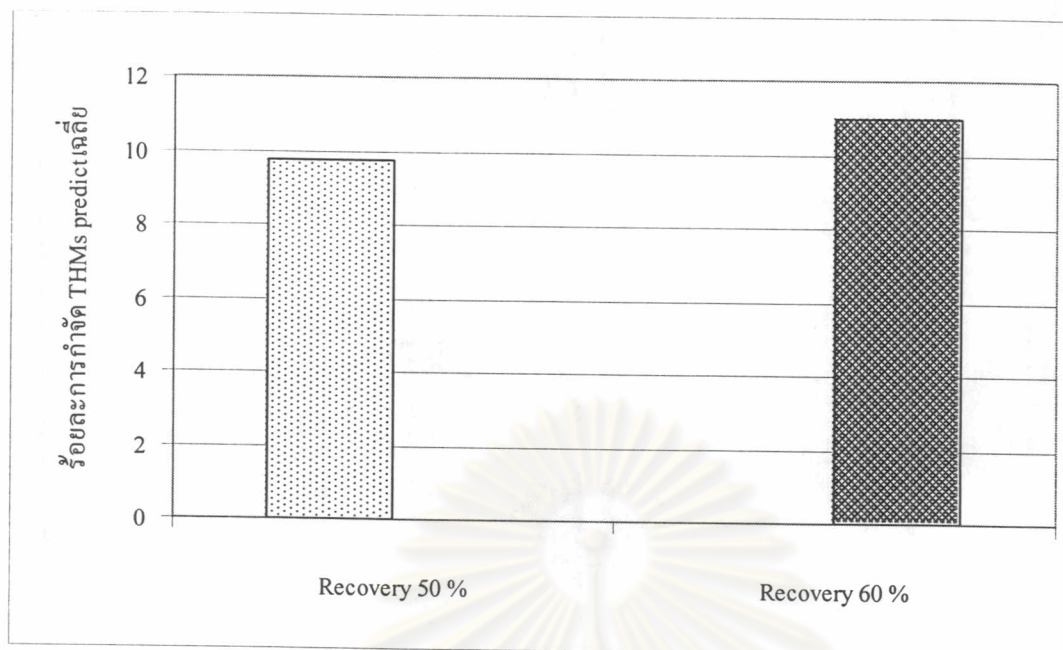


รูปที่ 4.70 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบนาโนที่ Recovery 60 %

ปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณได้ในน้ำสะอาดที่ผ่านเมมเบรนแบบนาโนค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 87 - 89 ppb ตลอดช่วงการทดลอง รูปที่ 4.71 แสดงปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยในน้ำของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % เนื่องจากสารไตรฮาโลมีเทนมีมวลโมเลกุลน้อย และเมมเบรนแบบนาโนต้องอาศัยการมีฟาวลิงที่ผิวหน้าเป็นกลไกในการกำจัด ทำให้เมมเบรนแบบนาโนที่ผลิตขึ้นมาจาก Cellulose ซึ่งเป็นวัสดุแบบ Hydrophilic มีสมบัติเกิดฟาวลิงได้น้อย ทำให้ไม่มีกลไกสำคัญในการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทน และ Recovery ไม่ส่งผลต่อการกำจัดเพราะสารไตรฮาโลมีเทนส่วนใหญ่สามารถผ่านเมมเบรนแบบนาโนออกไปได้ รูปที่ 4.71 แสดงร้อยละการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

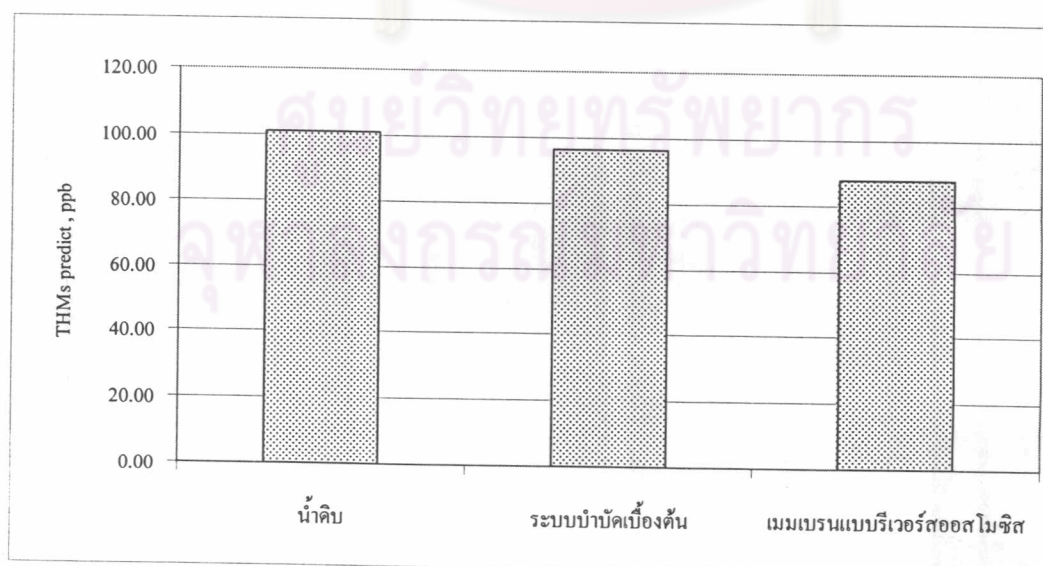




รูปที่ 4.71 ร้อยละการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยของการดินระบบนาในที่ Recovery 50% และ 60%

#### 4.4.2 ผลของระบบการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสต่อปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณได้

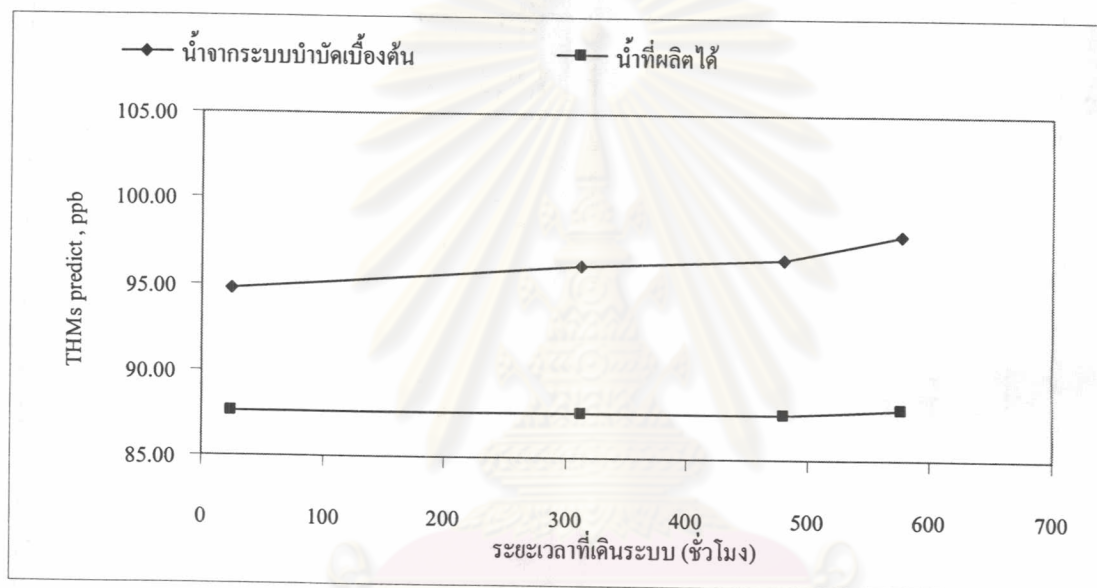
รูปที่ 4.72 แสดงปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์กับค่ายูวี 254 หลังจากผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ จากการทดลองพบว่ากระบวนการบำบัดเบื้องต้นไม่สามารถกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนได้ โดยสังเกตจากค่ายูวี 254 ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับที่วัดได้ในน้ำดิบ



รูปที่ 4.72 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์กับค่ายูวี 254 หลังจากผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

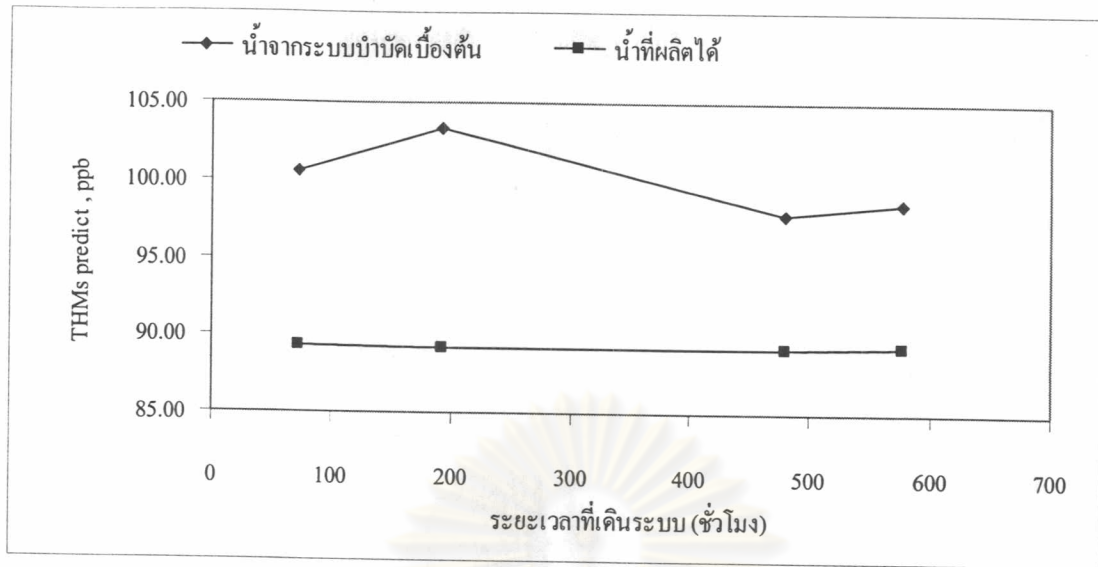


สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสไม่สามารถกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนได้ดีนัก เนื่องจากสารอินทรีย์กลุ่มไตรฮาโลมีเทนมีขนาดค่อนข้างเล็ก โดยสารคลอโรฟอร์มเป็นสารที่มีสัดส่วนมากที่สุดในสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนคือประมาณร้อยละ 90 มีมวลโมเลกุลเพียง 119.38 จึงสามารถผ่านผิวของเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสได้ อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bodzek และคณะ (2002) ที่กล่าวว่าฟาวลิงที่ผิวหน้าเมมเบรนแบบนาโนเป็นกลไกหนึ่งในการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนต่างๆในน้ำ เพราะในการทดลองนี้พบว่าเกิดการฟาวลิงที่ผิวหน้าของเมมเบรนน้อยมาก สังเกตได้จากอัตราการผลิตน้ำสะอาดที่ค่อนข้างคงที่ และหลังจากการล้างทำความสะอาดแล้วยังคงสามารถผลิตน้ำสะอาดได้ปริมาณใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มการทดลอง



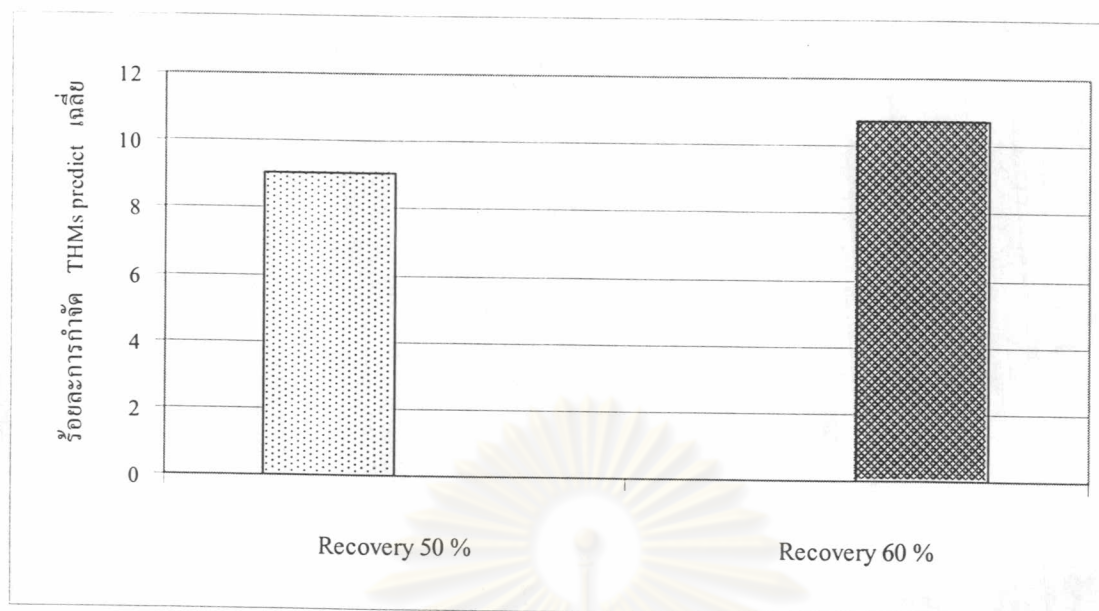
รูปที่ 4.73 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำกับระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.74 ปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่ระยะเวลาในการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 60 %

ปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนที่คำนวณได้ในน้ำสะอาดที่ผ่านเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 87 - 89 ppb ตลอดช่วงการทดลอง รูปที่ 4.73 และ 4.74 แสดงปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่ระยะเวลาในการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % ตามลำดับ เนื่องจากสารไตรฮาโลมีเทนมีมวลโมเลกุลน้อย และเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสต้องอาศัยการมีฟาวลิงที่ผิวหน้าเป็นกลไกในการกำจัด ทำให้เมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ผลิตขึ้นมาจาก Cellulose ซึ่งเป็นวัสดุแบบ Hydrophilic มีสมบัติเกิดฟาวลิงได้น้อย ทำให้ไม่มีกลไกสำคัญในการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทน ทำให้ Recovery ไม่ส่งผลต่อการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนที่ส่วนใหญ่สามารถผ่านเมมเบรนแบบนาโนออกไปได้ รูปที่ 4.75 แสดงร้อยละการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 %



รูปที่ 4.75 ร้อยละการกำจัดสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ยของการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ Recovery 50 % และ 60 %

#### 4.4.3 เปรียบเทียบปริมาณไตรฮาโลมีเทน ในน้ำสะอาดที่คำนวณได้ต่อการใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรนที่ต่างกัน

จากการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองระบบพบว่าทั้งเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสและเมมเบรนแบบนาโนสามารถกำจัด ไตรฮาโลมีเทน ได้เพียงประมาณร้อยละ 10 ตลอดการทดลอง

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ไตรฮาโลมีเทน เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก โดยคลอโรฟอร์มซึ่งมีส่วนประมาณร้อยละ 90 ใน ไตรฮาโลมีเทน มีน้ำหนักโมเลกุลเพียง 119.38 ทำให้สามารถผ่านเมมเบรนทั้งสองชนิดไปได้ และช่วงทำของการทดลองเมื่อเมมเบรนทั้งสองเริ่มมีการอุดตัน ไตรฮาโลมีเทน ยังคงสามารถผ่านเมมเบรนไปได้โดยฟาวลิงที่ผิวหน้าเมมเบรนทั้งสองไม่สามารถช่วยกำจัด ไตรฮาโลมีเทน ได้ เนื่องจากการอุดตันที่เกิดขึ้นเกิดจากสารแขวนลอยที่สามารถกำจัดได้ง่ายเท่านั้นไม่ใช่ฟาวลิง สังเกตได้จากเมื่อล้างเมมเบรนแล้วอัตราการผลิตน้ำสูงขึ้นเกือบเท่ากับเมื่อเริ่มการทดลอง ทำให้ไม่มีกลไกในการกำจัด ไตรฮาโลมีเทน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.5 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนในน้ำที่ผลิตได้และในน้ำที่เข้ากระบวนการกรองผ่านเมมเบรนแบบนาโน

จาก Solution-Diffusion Model ใช้อธิบายเมมเบรนที่มีการแพร่เกิดขึ้นเป็นตัวควบคุมการทำงานของเมมเบรน โมเดลนี้ไม่พิจารณาถึงผลของ Concentration Polarization และการไหลแบบ Coupling ผ่านเมมเบรน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_p$  และ  $C_f$  เมื่อทำให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรงโดยใช้ Least Square Linear Regression จะทำให้ได้ค่าความชัน ซึ่งแทนด้วย  $Z$  โดยที่  $Z$  เป็นเทอมที่รวมผลของทั้งสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ และตัวถูกละลาย ความดันที่ใช้ และ Recovery ดังนั้นจึงสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์

$$C_p = ZC_f \quad (4.4)$$

โดยที่

$$Z = \frac{K_s}{K_w(\Delta P - \pi) \left[ \frac{(2-2R)}{2-R} \right] + K_s} \quad (4.5)$$

หรือ

$$Z = \frac{K_s}{F_w \left[ \frac{(2-2R)}{2-R} \right] + K_s} \quad (4.6)$$

จากสมการที่ 4.6 เมื่อทราบค่า  $F_w$   $R$  และ  $Z$  แล้วสามารถหาค่า  $K_s$  ได้ และสามารถหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายแต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 4.3

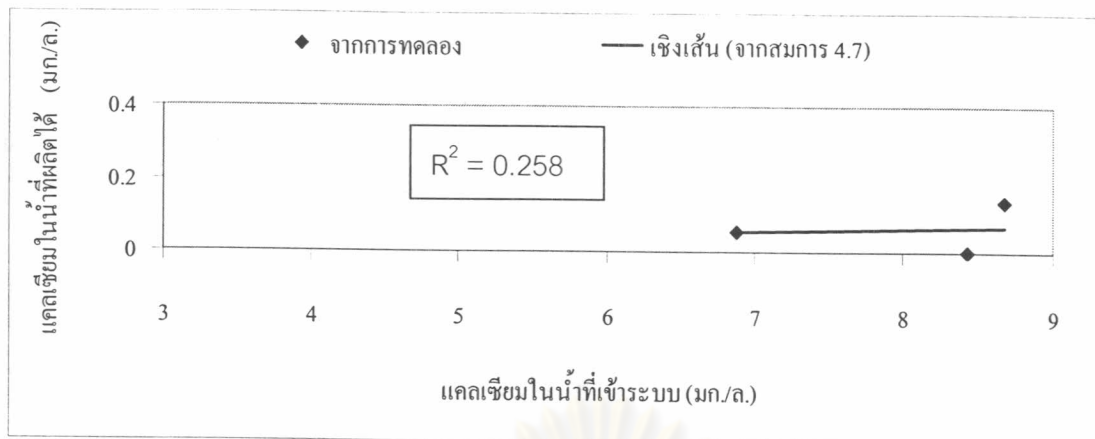
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



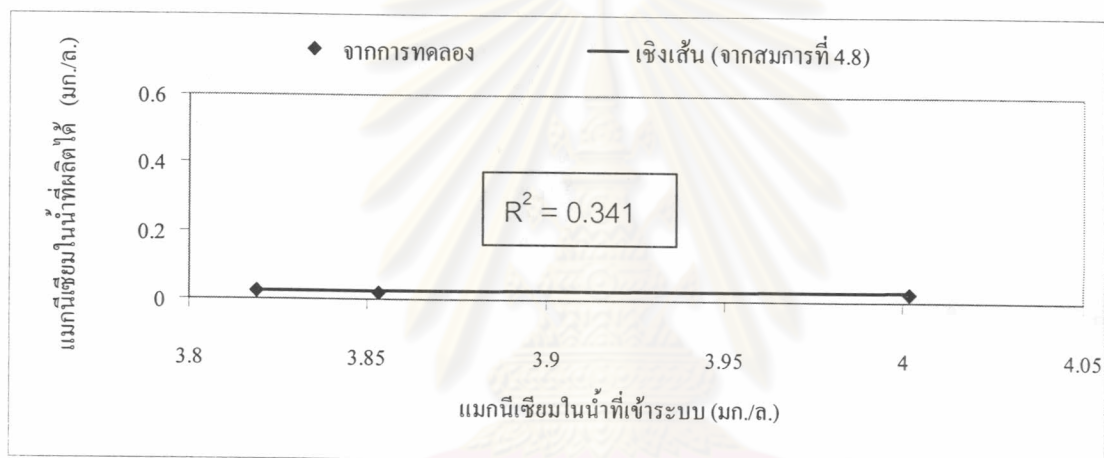
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของสารแต่ละชนิดในน้ำที่ผลิตได้และน้ำที่เข้าสู่ระบบการกรองนาโนที่ Recovery 50 %

ชนิดของสารละลาย	แบบจำลองการละลาย – การแพร่
แคลเซียม	$Cap = \frac{5.99 \times 10^{-8} Caf}{Fw \left[ \frac{2-2R}{2-R} \right] + 5.99 \times 10^{-8}} \quad (4.7)$
แมกนีเซียม	$Mgp = \frac{4.95 \times 10^{-8} Mgf}{Fw \left[ \frac{2-2R}{2-R} \right] + 4.95 \times 10^{-8}} \quad (4.8)$
เหล็ก	$Fep = \frac{8.29 \times 10^{-6} Fef}{Fw \left[ \frac{2-2R}{2-R} \right] + 8.29 \times 10^{-6}} \quad (4.9)$
สังกะสี	$Znp = \frac{1.59 \times 10^{-6} Znf}{Fw \left[ \frac{2-2R}{2-R} \right] + 1.59 \times 10^{-6}} \quad (4.10)$
ไนเตรต	$NO_3p = \frac{2.46 \times 10^{-6} NO_3f}{Fw \left[ \frac{2-2R}{2-R} \right] + 2.46 \times 10^{-6}} \quad (4.11)$

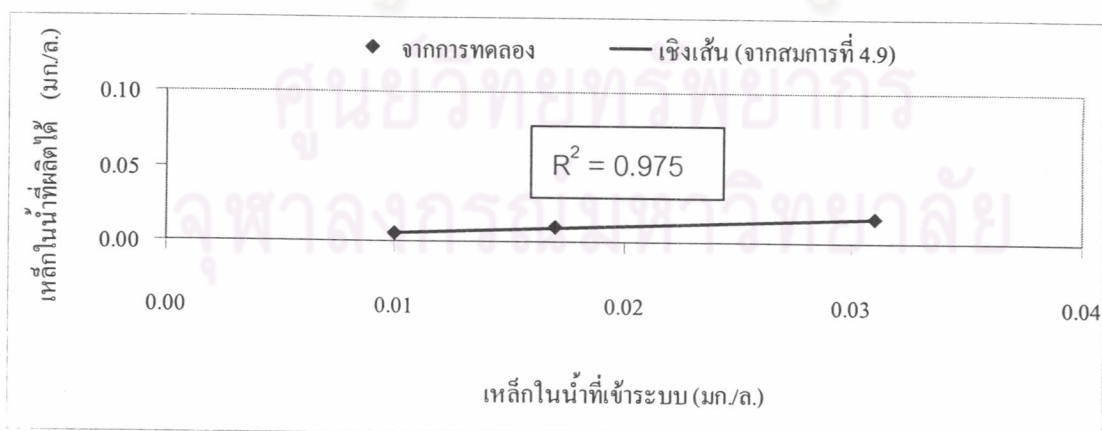
จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า เมื่อทราบค่า  $Cf$   $Fw$  และ  $R$  จะสามารถคำนวณหาค่า  $Cp$  ได้ หรือกล่าวคือเมื่อทราบความเข้มข้นของสารละลายในส่วนของน้ำที่เข้าสู่ระบบแล้วจะสามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายในส่วนของน้ำที่ผลิตได้ รูปที่ 4.76 – 4.80 แสดงถึงค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการในตารางที่ 4.3 สำหรับการประเมินปริมาณความสัมพันธ์ของสารละลายแต่ละชนิดในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ กับปริมาณของสารละลายต่างๆในน้ำที่เข้าสู่ระบบ



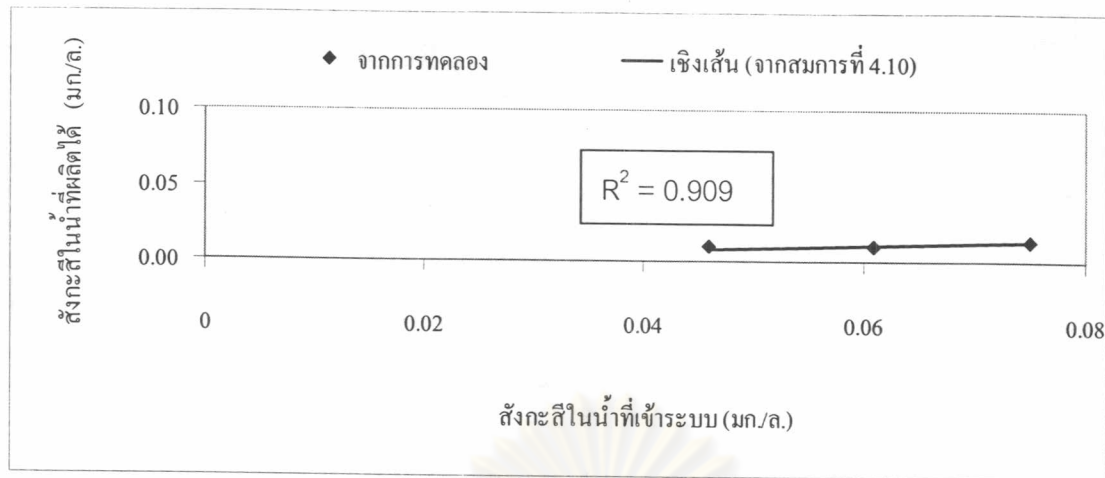
รูปที่ 4.76 ความสัมพันธ์แคลเซียมในน้ำที่ผลิตได้ กับน้ำที่เข้าระบบกรองแบบนาโน



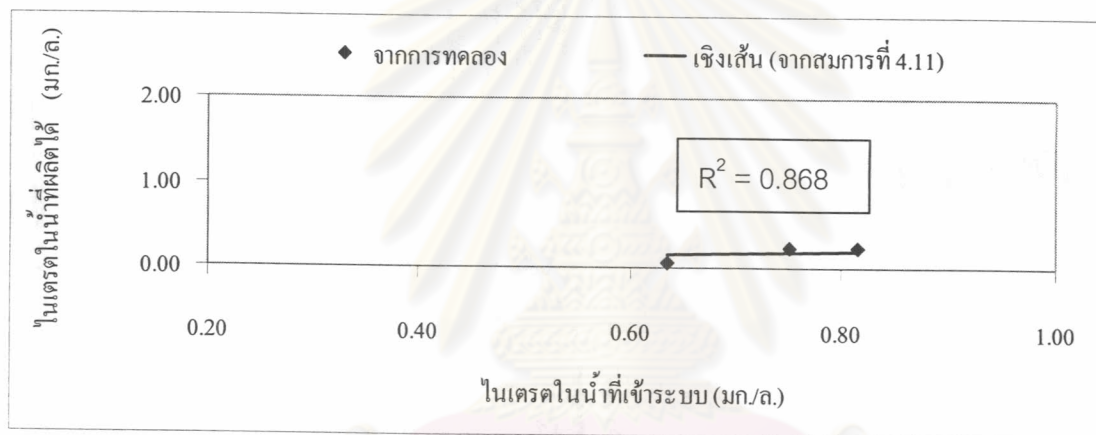
รูปที่ 4.77 ความสัมพันธ์แมกนีเซียมในน้ำที่ผลิตได้ กับน้ำที่เข้าระบบกรองแบบนาโน



รูปที่ 4.78 ความสัมพันธ์เหล็กในน้ำที่ผลิตได้ กับน้ำที่เข้าระบบกรองแบบนาโน



รูปที่ 4.79 ความสัมพันธ์ตั้งกะสีในน้ำที่ผลิตได้ กับน้ำที่เข้าระบบกรองแบบนาโน



รูปที่ 4.80 ความสัมพันธ์ไนเตรตในน้ำที่ผลิตได้ กับน้ำที่เข้าระบบกรองแบบนาโน

จากความสัมพันธ์ระหว่างเชิงเส้นของค่าที่ได้จากแบบจำลอง กับผลจากการทดลองที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.76 - 4.80 จะพบว่า เหล็ก และตั้งกะสี มีค่าความสัมพันธ์ระดับดี ( $R^2 > 0.9$ ) ไนเตรต มีค่าความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ( $0.7 < R^2 < 0.9$ ) ดังนั้นจากสมการดังกล่าวซึ่งได้รวมผลของทั้งสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ และตัวถูกละลาย ความดันที่ใช้ และ Recovery จึงสามารถนำไปใช้สำหรับการประเมินปริมาณความสัมพันธ์ของสารละลายแต่ละชนิดในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ เมื่อทราบปริมาณของสารละลายต่างๆในน้ำที่เข้าระบบ ในขณะที่แคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าความสัมพันธ์ระดับต่ำ ( $R^2 < 0.5$ ) ทั้งนี้เนื่องจากเมมเบรนแบบนาโนที่ใช้ทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่น้อยมาก อีกทั้งความเข้มข้นของไอออนทั้งสองชนิดในน้ำมีค่าน้อยเช่นกัน ทำให้ความเข้มข้นของไอออนในน้ำที่ผลิตได้มีค่าเกือบคงที่เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไอออนในน้ำที่เข้าระบบ ส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์มีค่าต่ำ

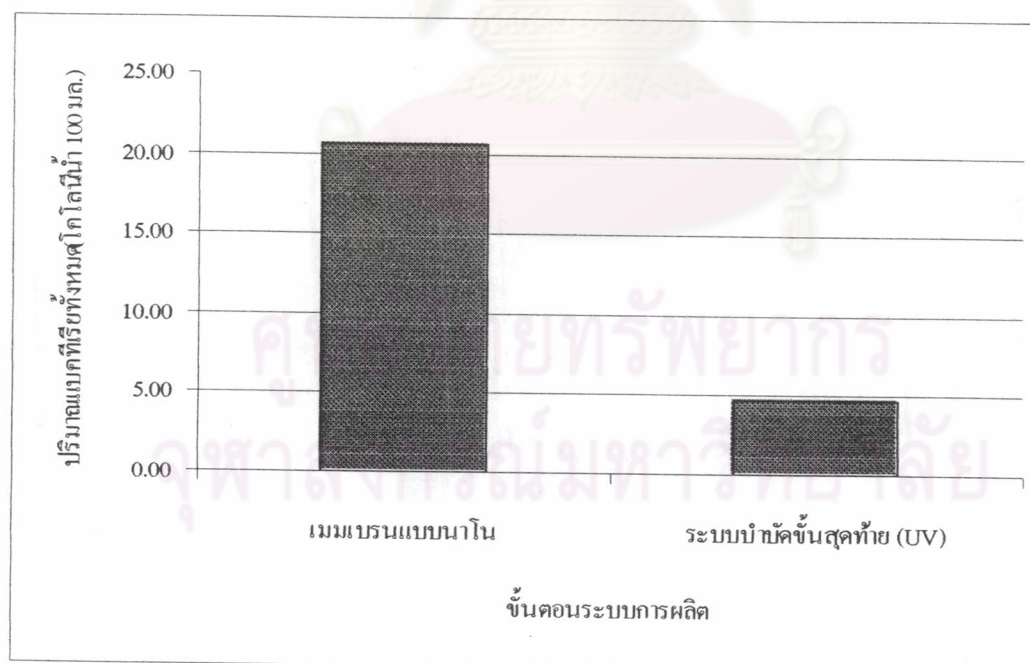
#### 4.6 การบำบัดขั้นสุดท้ายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

จากทดลองพบว่าเมมเบรนไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกจากน้ำได้ทั้งหมด จึงควรมีการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งการนำน้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วไปบริโภค

ในการทดลองนี้ใช้หลอดยูวีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. ยาว 38 ซม. ขนาด 14 วัตต์ อยู่ในกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่มีจำหน่ายทั่วไป ในระบบมีน้ำที่ผลิตได้ไหลผ่าน 1.4 ลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาณการให้รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Dosage) เท่ากับ 720 มิลลิวัตต์-วินาที/ตร.ซม.

##### 4.6.1 ระบบการกรองแบบนาโนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รูปที่ 4.81 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆ ตามลำดับ การฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้สามารถกำจัดแบคทีเรียที่เหลือผ่านเมมเบรนแบบนาโนได้อีกประมาณร้อยละ 80 ทำให้ความสามารถของทั้งระบบผลิตในการกำจัดปริมาณแบคทีเรียมีค่าประมาณร้อยละ 98 กล่าวคือจากการทดลองนี้ มีปริมาณแบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้เฉลี่ยประมาณ 5 โคโลนี / น้ำ 100 มล. จากปริมาณแบคทีเรียที่มีในน้ำดิบที่วัดได้เฉลี่ยประมาณ 280 โคโลนี / น้ำ 100 มล.

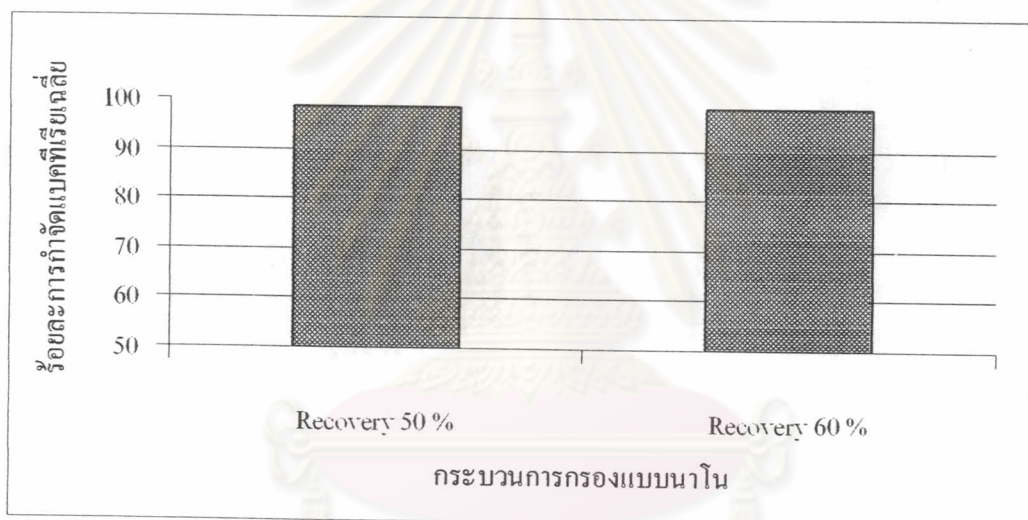


รูปที่ 4.81 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ



ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นไม่สูงเท่ากับการกำจัดในน้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้ว จากการทดลองวัดความขุ่นพบว่าน้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วแทบไม่มีความขุ่นเลย ดังนั้นเมื่อนำน้ำนี้มาผ่านการฆ่าแบคทีเรียด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตอีกครั้งทำให้สามารถกำจัดแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 80 สูงกว่าการกำจัดแบคทีเรียของน้ำที่ผ่านเพียงระบบบำบัดเบื้องต้น ที่สามารถกำจัดกำจัดแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 40

รูปที่ 4.82 แสดงร้อยละการกำจัดปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % จากการทดลองพบว่ายังคงมีเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้หลังจากผ่านระบบเมมเบรนแบบนาโน ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 92 แต่หลังจากผ่านการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้ความสามารถของทั้งระบบในการกำจัดแบคทีเรียมีค่าประมาณร้อยละ 98 ในขณะที่มี Total Coliform น้อยกว่า 2.2 โคโลนี ต่อน้ำ 100 มล. และตรวจไม่พบ *E.Coli* ตลอดระยะเวลาทดลอง

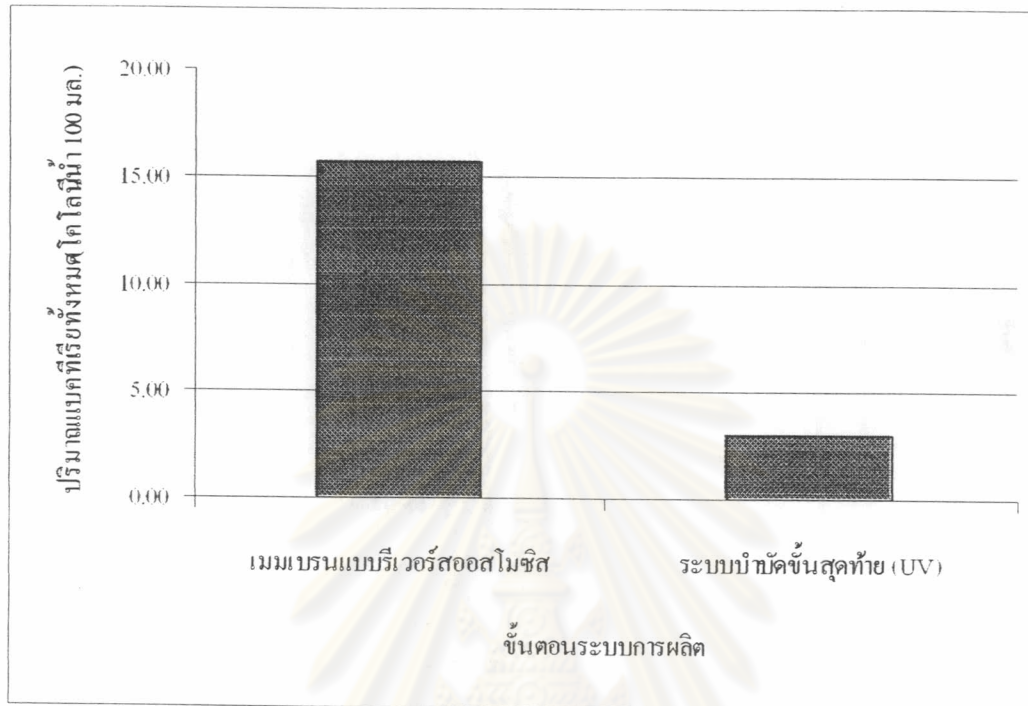


รูปที่ 4.82 ร้อยละการกำจัดปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยของการเดินระบบนาโนทั้งระบบที่ Recovery 50 % และ 60 %

#### 4.6.2 ระบบการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิสร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รูปที่ 4.83 แสดงปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆ ตามลำดับ การฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้สามารถกำจัดแบคทีเรียที่เหลือผ่านเมมเบรนแบบรีเวอร์สออสโมซิสได้อีกประมาณร้อยละ 92 ทำให้ความสามารถของทั้งระบบผลิตในการกำจัดปริมาณแบคทีเรียมีค่าประมาณร้อยละ 99 กล่าวคือจากการทดลองนี้ มีปริมาณ

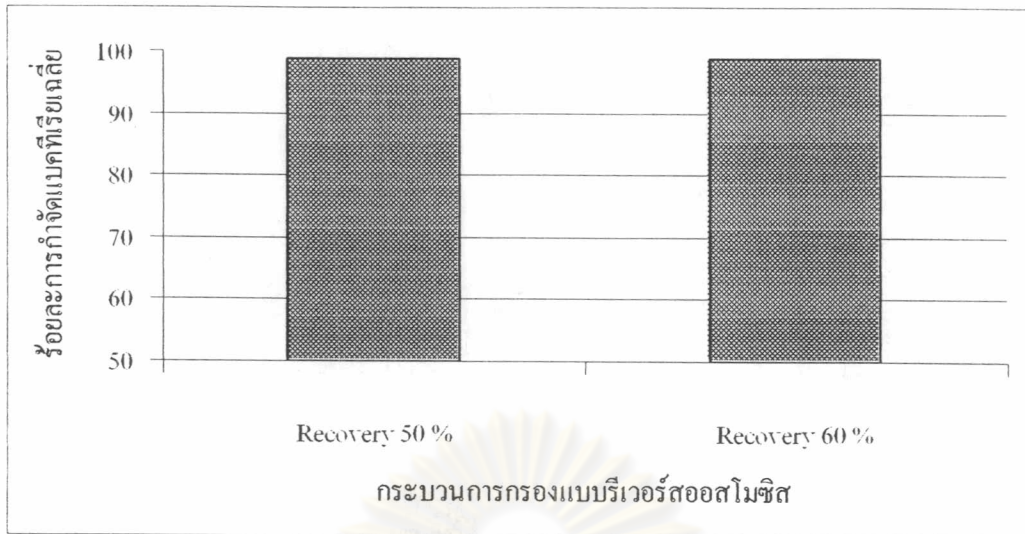
แบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้เฉลี่ยประมาณ 3 โคโลนี / น้ำ 100 มล. จากปริมาณแบคทีเรียที่มีในน้ำดิบที่วัดได้เฉลี่ยประมาณ 280 โคโลนี / น้ำ 100 มล.



รูปที่ 4.83 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำหลังผ่านขั้นตอนระบบการผลิตต่างๆตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นไม่สูงเท่ากับการกำจัดในน้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้ว จากการทดลองวัดความขุ่นพบว่าน้ำที่ผ่านเมมเบรนแล้วแทบไม่มีความขุ่นเลย ดังนั้นเมื่อนำน้ำนี้มาผ่านการฆ่าแบคทีเรียด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตอีกครั้งทำให้สามารถกำจัดแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 85 สูงกว่าการกำจัดแบคทีเรียของน้ำที่ผ่านเพียงระบบบำบัดเบื้องต้น ที่สามารถกำจัดกำจัดแบคทีเรียในน้ำได้ประมาณร้อยละ 37

รูปที่ 4.84 แสดงร้อยละการกำจัดปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยของการเดินระบบที่ Recovery 50 % และ 60 % จากการทดลองพบว่ายังคงมีเชื้อแบคทีเรียในน้ำที่ผลิตได้หลังจากผ่านระบบเมมเบรนแบรริเออร์สออสโมซิส ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 92 แต่หลังจากผ่านการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้ความสามารถของทั้งระบบในการกำจัดแบคทีเรียมีค่าประมาณร้อยละ 99 ในขณะที่มี Total Coliform น้อยกว่า 2.2 โคโลนี ต่อน้ำ 100 มล. และตรวจไม่พบ *E.Coli* ตลอดระยะเวลาทดลอง



รูปที่ 4.84 ร้อยละการกำจัดปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยของการเดินระบบรีเวอร์สออสโมซิสทั้งระบบที่ Recovery 50 % และ 60 %

#### 4.7 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและลงทุนในการเดินระบบ

สำหรับการวิเคราะห์ด้านการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างระบบรีเวอร์สออสโมซิส และระบบนาโนฟิลเตรชันในงานวิจัยนี้จะพิจารณาโดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

การดำเนินการของระบบ จะทำงาน 240 วันต่อปี (20 วันต่อเดือน) และทำงานวันละ 12 ชั่วโมง

ใช้ % อัตราการเวียนน้ำ ที่ 50 ทั้งสองระบบ และใช้ความดัน 10 และ 5 บาร์ สำหรับระบบรีเวอร์สออสโมซิส และระบบนาโนฟิลเตรชันตามลำดับ

ระบบสามารถผลิตน้ำได้ ปีละ 240 ลบ.ม. (1 ลบ.ม. ต่อวัน)

อายุการทำงานของระบบ เท่ากับ 6 ปี

อายุการทำงานของเมมเบรน เท่ากับ 3 ปี

อายุการทำงานของไส้กรองและถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 4 เดือน

อายุการทำงานของหลอดไฟยูวี เท่ากับ 6 เดือน



#### 4.7.1 เงินลงทุนเริ่มต้น

เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบปริเวอร์สออกซิเจนและระบบนาโนฟิลเตรชั่นประกอบไปด้วย

1. ระบบบำบัดเบื้องต้น ประกอบด้วยไส้กรองขนาด 10 และ 5 ไมครอน ถ่านกัมมันต์ และเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. ระบบบำบัดขั้นสุดท้าย เป็นเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต
3. โครงสร้างและอุปกรณ์ที่ประกอบระบบ
4. เครื่องสูบน้ำ
5. เมมเบรน

มีรายละเอียดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบปริเวอร์สออกซิเจน และระบบนาโนฟิลเตรชั่น

รายการ	ระบบปริเวอร์สออกซิเจน	ระบบนาโนฟิลเตรชั่น
ระบบบำบัดเบื้องต้น	10,000	10,000
ระบบบำบัดขั้นสุดท้าย	3,000	3,000
โครงสร้าง และอุปกรณ์ที่ประกอบระบบ	15,000	12,000
เครื่องสูบน้ำ	10,000	8,000
เมมเบรน	14,000	28,000
รวม (บาท)	52,000	61,000



คิดรวมเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดสำหรับน้ำสะอาดระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ผลิตได้ 1440 ลบ.ม. เท่ากับ 52,000 บาท โครงการมีอายุ 6 ปี และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับร้อยละ 7.5 จะคิดเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นเท่ากับ 46.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

คิดรวมเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดสำหรับน้ำสะอาดระบบนาโนฟิลเตรชันที่ผลิตได้ 1440 ลบ.ม. เท่ากับ 63,000 บาท โครงการมีอายุ 6 ปี และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับร้อยละ 7.5 จะคิดเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นเท่ากับ 54.15 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

#### 4.7.2 ต้นทุนด้านการดำเนินงาน

สำหรับต้นทุนด้านการดำเนินงานจะประกอบไปด้วย

1. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ระบบรีเวอร์สออสโมซิสใช้พลังงานเท่ากับ 0.3667 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ การทำงาน 30 นาที ผลิตน้ำได้ 42 ลิตร คิดเป็น 8.73 กิโลวัตต์ / ลบ.ม. คำนวณโดยใช้ อัตราค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย

ขณะที่ระบบนาโนฟิลเตรชันใช้พลังงานเท่ากับ 0.242 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อ การทำงาน 30 นาที ผลิตน้ำได้ 42 ลิตร คิดเป็น 5.76 กิโลวัตต์ / ลบ.ม.

2. ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี ประกอบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับล้างเป็นหลัก คิดเป็นเงินประมาณ 17 บาท/ครั้ง โดยทำการล้างทุก 1 เดือน

3. ค่าซ่อมบำรุงรักษา คิดเป็นร้อยละ 10 ของค่าอุปกรณ์ท่อ และเครื่องสูบน้ำ ต่อปี

ค่าดำเนินการของระบบผลิตน้ำสะอาดแบบรีเวอร์สออสโมซิส และระบบนาโนฟิลเตรชันมีรายละเอียดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.5

ศูนย์ทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดของเงินค่าดำเนินงานของระบบรีเวอร์สออสโมซิส  
และระบบนาโนฟิลเตรชันตลอดอายุโครงการ

รายการ	ระบบรีเวอร์สออสโมซิส	ระบบนาโนฟิลเตรชัน
พลังงานไฟฟ้า	37,714	24,883
สารเคมี	1,224	1,224
ซ่อมบำรุงรักษา	15,000	12,000
รวม (บาท)	53,938	38,107

คิดรวมเป็นเงินค่าดำเนินการทั้งหมดสำหรับน้ำสะอาดระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ผลิตได้  
1440 ลบ.ม. เท่ากับ 53,938 บาท คิดเป็นเงินค่าดำเนินการเท่ากับ 37.46 บาทต่อลบ.ม.

คิดรวมเป็นเงินค่าดำเนินการทั้งหมดสำหรับน้ำสะอาดระบบนาโนฟิลเตรชันที่ผลิตได้  
1440 ลบ.ม. เท่ากับ 38,107 บาท คิดเป็นเงินค่าดำเนินการเท่ากับ 26.46 บาทต่อลบ.ม.

#### 4.7.3 ต้นทุนต่อหน่วยการผลิต

จากการคำนวณต้นทุนต่างๆต่อหน่วย สามารถสรุปต้นทุนในการผลิตน้ำดื่มระบบ  
รีเวอร์สออสโมซิสได้เท่ากับ 83.62 บาทต่อลบ.ม. ดังรายละเอียดตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สรุปต้นทุนในการใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิสผลิตน้ำดื่ม

รายการ	จำนวนเงิน (บาท ต่อ ลบ.ม.)	ร้อยละของต้นทุนรวม
ต้นทุนเงินลงทุน	46.16	55.20
ต้นทุนด้านพลังงาน	26.19	31.32
ต้นทุนด้านสารเคมี	0.85	1.02
ต้นทุนด้านการบำรุงรักษา	10.42	12.46
รวม	83.62	100

ขณะที่ต้นทุนในการผลิตน้ำดื่มระบบนาโนฟิลเตรชั่นเท่ากับ 80.61 บาทต่อลบ.ม. ดังรายละเอียดตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปต้นทุนในการใช้ระบบนาโนฟิลเตรชั่นผลิตน้ำดื่ม

รายการ	จำนวนเงิน (บาท ต่อ ลบ.ม.)	ร้อยละของต้นทุนรวม
ต้นทุนเงินลงทุน	54.15	67.17
ต้นทุนด้านพลังงาน	17.28	21.44
ต้นทุนด้านสารเคมี	0.85	1.05
ต้นทุนด้านการบำรุงรักษา	8.33	10.34
รวม	80.61	100

#### 4.8 เปรียบเทียบการผลิตน้ำดื่มระหว่างระบบการกรองแบบนาโนกับรีเวอร์สออสโมซิส

จากการทดลองพบว่า ระบบการกรองแบบนาโนสามารถที่จะผลิตน้ำดื่มที่มีความสะอาดสูงได้ใกล้เคียงกับระบบการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.8 คุณภาพน้ำที่ผลิตได้จากระบบการกรองแบบนาโนและการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผลิตได้จากระบบการกรองแบบนาโน

และการกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่า มาตรฐาน น้ำดื่ม (USEPA)	น้ำดิบ	ผลการทดลอง	
				กรองแบบ นาโน	กรองแบบ รีเวอร์สออสโมซิส
พีเอช		6.5 - 8.5	7.2-7.3 (7.3)	6.6-6.2 (6.4)	5.9-6.1 (6.0)
ความขุ่น	NTU	<1	0.8-1.5 (1.2)	0-0.02 (0.02)	0-0.02 (0)
แคลเซียม	มก. / ล.	<75	7.4-8.3 (8.0)	0-0.17 (0.05)	0-0.09 (0)
แมกนีเซียม	มก. / ล.	<50	4.0-3.4 (3.6)	0.02-0.03 (0.03)	0-0 (0)
เหล็ก	มก. / ล.	<0.3	0.03-0.07 (0.06)	0.01-0.02 (0.02)	0.01-0.03 (0.02)
สังกะสี	มก. / ล.	<5	0.05-0.11 (0.08)	0.01-0.03 (0.02)	0-0 (0)
ไนเตรต	มก. / ล.	<50	1.0-0.9 (0.86)	0.05-0.24 (0.17)	0-0.14 (0.07)
Total Bacteria	โคโลนี / มล.	<500	270-290 (280)	4-5 (5)	2-4 (3)
Total Coliform	MPN ต่อ น้ำ 100 มล.	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2
<i>E.Coli</i>	MPN ต่อ น้ำ 100 มล.	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สารไตรฮาโลมีเทน	ไมโครกรัม / ลิตร	< 80	100-103 (101)	87-89 (88.48)	87-89 (88.46)



คุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากเมมเบรนทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นแต่เพียงค่าพีเอชที่ต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด ทำให้ต้องมีการปรับปรุงค่าพีเอชอีกครั้ง ก่อนนำไปบริโภค

คุณภาพของน้ำที่ได้จากการกรองแบบนาโนมีคุณภาพสูงมากในด้าน การกำจัดความขุ่น ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำ และไฮออนสามารถทำได้ใกล้เคียงกับระบบ รีเวอร์สออสโมซิสใน ขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบต่ำกว่าค่อนข้างมาก ถึงแม้ว่าขณะนี้ค่าลงทุนเริ่มต้น ของระบบเมมเบรนแบบนาโนจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 54.15 บาทต่อลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าระบบ เมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิสที่มีค่าใช้จ่ายประมาณ 46.16 บาทต่อลบ.ม. แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่า ดำเนินการแล้วพบว่า ระบบเมมเบรนแบบนาโนจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 80.61 บาท ต่อ ลบ.ม. ซึ่ง ต่ำกว่าระบบเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิสที่มีค่าใช้จ่ายประมาณ 83.62 บาท ต่อ ลบ.ม. และใน อนาคตเมื่อมีการใช้เมมเบรนแบบนาโนแพร่หลายมากยิ่งขึ้นจะทำให้ต้นทุนของระบบมีแนวโน้ม ลดลง และค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มสูงขึ้นจะเป็นแรงผลักดันทำให้ระบบการกรองแบบนาโนมีแนวโน้ม ที่จะเป็ระบบที่มีความเหมาะสมมากกว่ายิ่งขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย