สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ๒๕๔๗

# รายงานฉบับสมบูรณ์

# โครงการวิจัย

## การออกแบบเครื่องกรองน้ำในภาวะน้ำท่วมโดยกระบวนการดูดติดผิวที่ใช้เถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์เป็นตัวกลาง

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการย่อยในชุดโครงการ
การปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในภาวะน้ำท่วมของประชากรชนบท

ปีที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัย: 2545
วงเงินที่ได้รับ: 111,840 บาท

จัดทำโดย ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สิงหาคม 2547

1022/47

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย: อาจารย์ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร
อาจารย์ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร
รศ.เพ็ญรัตน์ หงษ์วิทยากร
ผศ.ดร.ฐปน ชื่นบาล
ผู้ช่วยนักวิจัย: นางสาวยุพาพรรณ วีระ

สิงหาคม พ.ศ. 2546

# บทคัดย่อ

การศึกษาการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วมด้วยกระบวนการกรองดูดติดผิว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วม สำหรับการอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซ้ำซ้อน ก่อนที่จะได้รับความช่วยเหลือจากทางราชการ ผลการศึกษาพบว่า กลไกในการทำความสะอาดตัวอย่างน้ำด้วยตัวกลาง 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ชนิดผง และเถ้าแกลบ เป็นกลไกของกระบวนการกรองทั้งหมด โดยไม่มีกระบวนการดูดติดผิว ซึ่งในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการใช้ตัวกลางแต่ละชนิด บรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซีขนาด 1.5 นิ้ว สูง 20 ซม. กรองทำความสะอาดตัวอย่างน้ำที่ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงไม่สามารถนำมาใช้กรองน้ำได้ เนื่องจากมีผงถ่านไหลปะปนออกมากับน้ำออก ในขณะที่เถ้าแกลบกรองน้ำได้ช้า ส่วนการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ภายหลังการกรองทิ้ง 20 นาที ค่าพารามิเตอร์ของน้ำออกส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานสำหรับการบริโภค คือ มีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ค่าสภาพการนำไฟฟ้า 220 ไมโครซีเมน/ซม. ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 110 พีพีเอ็ม ค่าของแข็งแขวนลอย 1.5 มก./ล. และค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 35 เอ็มพีเอ็น/100มล. สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 2.2 เอ็มพีเอ็น/100มล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยและโคลิฟอร์มแบคทีเรียเฉลี่ยร้อยละ 97.58 และ 59.30 ตามลำดับ สามารถกรองน้ำได้เฉลี่ย 120 ลิตร ในเวลา 24 ชั่วโมง

ในการศึกษาการกรองที่มีการทำงานร่วมกัน ของเถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า ภายหลังการกรองทิ้ง 20 นาที สามารถกรองน้ำได้เฉลี่ย 81 ลิตร ใช้เวลา 48 ชั่วโมง พารามิเตอร์ของน้ำออกส่วนใหญ่ยกเว้นค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งในการทำงานร่วมกันของตัวกลางเถ้าแกลบ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และชนิดเม็ด มีอัตราการกรองที่ช้ามาก และการทำงานร่วมกันของตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ด มีผงถ่านไหลออกมากับน้ำออกด้วย สำหรับการศึกษาในสภาพการทำงานจริงด้วยถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 3 นิ้ว ตัวกลางสูง 20 ซม. พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดกรองน้ำได้ 186 ลิตร ใช้เวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งกรองได้ปริมาณน้อยกว่าการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในถังปฏิกิริยา 1.5 นิ้ว ในเวลาที่เท่ากัน และในการศึกษาเปรียบเทียบกับการกรองด้วยทรายละเอียด พบว่า การกรองด้วยทรายละเอียดให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำออกใกล้เคียงกัน ทรายละเอียดจึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นตัวกลางกรองน้ำท่วมในพื้นที่ที่ไม่สามารถจัดหาถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดได้

สรุปกรรมวิธีในการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วมด้วยกระบวนการกรองถ่านกัมมันต์ คือ นำน้ำท่วมมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองผ่านถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่บรรจุในท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว สูง 20 ซม. ภายหลังจากกรองทิ้ง 20 นาที ระบบกรองจะให้น้ำสะอาดประมาณ 80 ลิตร (ค่าความปลอดภัย 1.5) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการกรองสามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้ภายหลังการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งหนึ่ง โดยที่อุปกรณ์กรองน้ำ 1 ชุดมีราคาไม่เกิน 1,000 บาท ข้อเสนอแนะของงานวิจัยคือ หน่วยงานองค์การบริหารส่วนจังหวัด องค์การบริหารส่วนตำบล หรือเทศบาลตำบล ควรจัดหางบประมาณเพื่อจัดเตรียมเครื่องกรองน้ำถ่านกัมมันต์ และแจกจ่ายให้แก่ประชาชนในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซ้ำซ้อน รวมทั้งให้ความรู้และฝึกอบรมวิธีการทำน้ำสะอาดและการฆ่าเชื้อโรคภายหลังการกรอง ซึ่งจะสามารถลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคระบาด ที่มีสาเหตุจากการขาดน้ำสะอาดสำหรับอุปโภคบริโภคได้

# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.3 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและสาระจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 สถานการณ์น้ำท่วมปี 2546 | 3 |
| 2.2 มาตรฐานน้ำดื่ม (Drinking Water Standards) | 4 |
| 2.3 ลักษณะสมบัติของน้ำท่วม | 7 |
| 2.4 การกรองน้ำ (Filtration) | 8 |
| 2.5 การกรองแบบสารกรองหลายชนิด (Multimedia Filtration) | 11 |
| 2.6 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) | 11 |
| 2.7 กลไกการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ | 14 |
| 2.8 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 การเตรียมน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา | 18 |
| 3.2 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา | 19 |
| 3.3 การวางแผนการทดลอง | 21 |
| 3.4 การเก็บข้อมูล | 24 |
| 3.5 สถานที่ดำเนินการ | 25 |
| 3.6 การดำเนินการทดลอง | 25 |

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 26
4.1 การทดลองที่ 1 26
4.1.1 การทดลองที่ 1.1 26
4.1.2 การทดลองที่ 1.2 33
4.1.3 การทดลองที่ 1.3 33
4.2 การทดลองที่ 2 40
4.2.1 การทดลองที่ 2.1 40
4.2.2 การทดลองที่ 2.2 40
4.2.3 การทดลองที่ 2.3 41
4.3 การทดลองที่ 3 48
4.3.1 การทดลองที่ 3.1 48
4.3.2 การทดลองที่ 3.2 54
4.4 การกรองน้ำด้วยทรายละเอียด 61

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 65
5.1 ข้อค้นพบและสรุปผลการศึกษา 65
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป 67

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก
ก ข้อมูลการทดลอง 69
ข ภาพการทดลอง 86

# บทที่ 1
# บทนำ

ภาวะน้ำท่วมในบางส่วนของประเทศไทยนั้น มักจะประสบอยู่เสมอทุกปี ในบางปีก็มีภาวะน้ำท่วมมากกว่าสองครั้ง แต่ละครั้งอาจกินเวลานานหลายวัน ปัญหาอย่างหนึ่งที่หน่วยงานบรรเทาสาธารณะภัยต้องประสบก็คือ การขนส่งและจัดหาน้ำอุปโภคบริโภคที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนให้แก่ประชาชนที่ได้รับความเดือดร้อน การแนะนำให้ใช้สารส้มแกว่งน้ำภายในภาชนะก่อนนำไปต้ม ร่วมกับการกรองและฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีอื่นเพื่อบรรเทาความเดือดร้อนก่อนได้รับความช่วยเหลือนั้น ยังไม่สามารถลดมลสารและสิ่งที่ปนเปื้อนมากับน้ำได้

ลักษณะสมบัติโดยทั่วไปของน้ำในภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วยสารแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ถูกน้ำพัดพามา และสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ละลายน้ำที่มาจากแหล่งที่ไม่สามารถกำหนดได้ (Non-Point Source) ซึ่งอาจจะมีความเป็นน้ำกระด้าง หรือมีสารโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ และเชื้อโรคต่าง ๆ ก็ได้ (Davis and Cornwell, 1991) ดังนั้น หากมีการศึกษาอุปกรณ์ที่สามารถกรองสารแขวนลอยและสารละลายจากน้ำท่วม ก่อนที่จะนำไปฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีอื่น ก็จะสามารถบรรเทาความเดือดร้อนไปได้ ผู้ประสบภัยสามารถมีน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ อุปกรณ์ดังกล่าวจึงอาจจะเป็นการรวมเข้าด้วยกันของกระบวนการกรอง (Filtration) และกระบวนการดูดติดผิว (Adsorption) ก็ได้

โดยทั่วไป มักใช้กระบวนการดูดติดผิวในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสารตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการดูดติดผิว สามารถดูดติดโมเลกุลของสารละลายได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลของสารโลหะหนัก และยังสามารถกำจัดสี กลิ่น รสที่เกิดจากสารอินทรีย์ในน้ำได้อีกด้วย (Samule and Osman, 1987) สารตัวกลางนี้เรียกว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ถูกทำขึ้นจากการเผาสารคาร์บอนชนิดต่าง ๆ เช่นถ่านลิกไนต์ กระดูกสัตว์ ด้วยความร้อนที่สูงจนสามารถไล่ความชื้นและทาร์ (Tar) ออก ทำให้มีโพรงเกิดขึ้นภายในตัวกลางและได้พื้นที่ผิวจำนวนมากสำหรับการดูดติดโมเลกุล ปัจจุบันมีการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุอื่นที่มีคาร์บอนสูง ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูกเช่น ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว ฟางข้าว แกลบ และยางรถยนต์เก่า เป็นต้น (Streat et al, 1995) แกลบเป็นวัสดุที่มีคาร์บอนสูงอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นทางเลือกได้อีกทางหนึ่ง ในการที่จะนำมาดัดแปลงเป็นถ่านกัมมันต์ เพราะมีราคาถูกหาได้ง่าย มีอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ มีการนำแกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐซึ่งเป็น

อุตสาหกรรมพื้นบ้านทั่วไป เถ้าแกลบที่ได้จากการเผานี้มักจะไม่ค่อยมีราคา มีการนำไปใช้เป็นเครื่องผสมดินปลูกพืชกับนำไปใช้กรองน้ำอุปโภคบริโภคบ้าง ดังนั้น หากสามารถนำเถ้าแกลบมาดัดแปลงใช้เป็นถ่านกัมมันต์ในการทำน้ำสะอาดได้ ก็จะเป็นการนำของเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ เมื่อเสื่อมสภาพก็สามารถทิ้งได้เลยไม่จำเป็นต้องมีการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) แต่เถ้าแกลบอาจให้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัสดุอื่น เพราะได้มาจากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงมากและไม่มีการควบคุมการผลิต ในบางครั้ง มีการออกแบบให้ใช้ถ่าน กัมมันต์ทำงานร่วมกับสารตัวกลางอื่น (Multimedia Filter) ในการกรองน้ำ (Filtration) เพื่อเพิ่มความลึกของการกรอง ทำให้การกรองมีประสิทธิภาพมากขึ้น และในขณะเดียวกันก็ยังสามารถกำจัดสารละลายในน้ำได้อีกด้วย (Reynolds and Richards, 1996)

ดังนั้น การศึกษากระบวนการกรองและกระบวนการดูดติดผิว ในการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วม โดยใช้ถ่านแกลบถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) และถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ทำงานร่วมกันในลักษณะ Multimedia Filter ก็อาจจะเป็นอีกทางเลือก ในการจัดหาน้ำสะอาดของประชาชน ข้อดีของการออกแบบเช่นนี้ คือ สารตัวกลางมีน้ำหนักเบา เปียกน้ำได้ มีราคาถูก หาได้ง่าย เมื่อเสื่อมคุณภาพสามารถเปลี่ยนทิ้งได้ ประชาชนสามารถกรองน้ำสะอาดและเปลี่ยนสารกรองได้ด้วยตัวเอง

**1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการ**

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์เป็นสารตัวกลางในการกรองน้ำในภาวะน้ำท่วมด้วยกระบวนการกรองร่วมกับกระบวนการดูดติดผิว

2. เพื่อศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพในการกรองและดูดติดผิวมลสาร ด้วยตัวกลางที่เป็นเถ้าแกลบทำงานร่วมกับถ่านกัมมันต์

3. ได้เครื่องกรองน้ำท่วมต้นแบบ ที่ใช้งานง่าย ราคาถูก ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนสารกรองได้ด้วยตัวเอง และนำอุปกรณ์มาใช้ซ้ำกับภาวะน้ำท่วมได้หลายครั้ง

**1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้ทางเลือกใหม่ในการกรองน้ำในช่วงภาวะน้ำท่วม ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ง่ายต่อการดำเนินการและการแจกจ่าย เป็นการป้องกันโรคระบาดของทางเดินอาหารที่มากับน้ำดื่ม

2. ได้เครื่องกรองน้ำต้นแบบเพื่อใช้กรองน้ำอุปโภคบริโภค

**1.3 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์**

กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงมหาดไทย และหน่วยงานบรรเทาสาธารณภัย

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและสาระจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 สถานการณ์น้ำท่วมปี 2546

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตใกล้ศูนย์สูตร ได้รับอิทธิพลจากมรสุมเป็นประจำทุกปีในทั่วทุกภาคของประเทศ บางพื้นที่ประสบปัญหาเกิดอุทกภัยซ้ำซ้อน ตัวอย่างเช่นกรณีของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดเพชรบุรี ดังนี้ (สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 7 สี, 2546)

ในวันที่ 16 ตุลาคม 2546 ฝนที่ตกติดต่อกัน 32 ชั่วโมง ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลาก ท่วมบ้านเรือนหลายสิบหมู่บ้านในอำเภอเมือง อำเภอปราณบุรี และอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ อำเภอแก่งกระจาน และอำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี อ่างเก็บน้ำ 3 แห่งในตำบลสามพี่น้องแตก น้ำทะลักท่วมหมู่บ้าน เจ้าหน้าที่และตำรวจ ตชด. ได้นำเรือออกไปช่วยเหลือชาวบ้านที่ติดอยู่บนหลังคาบ้าน เนื่องจากน้ำท่วมสูงเกือบ 2 เมตร มีผู้สูญหาย 2 คน เสียชีวิต 2 คน รถไฟต้องหยุดวิ่งชั่วคราว ในขณะที่ในอำเภอบ้านลาด น้ำท่วมที่เอ่อจากแม่น้ำเพชรบุรีได้ไหลเข้าท่วมทั้ง 9 ตำบล พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมถูกน้ำท่วมกว่า 5 หมื่นไร่ ชาวบ้าน 4,800 หลังคาเรือนได้รับความเดือดร้อน ระดับน้ำท่วมสูงตั้งแต่ 50 เซนติเมตรถึงกว่า 1 เมตร ส่วนจังหวัดนครราชสีมา พื้นที่อำเภอวังน้ำเขียว และอำเภอปักธงชัย มีน้ำท่วมขังบางพื้นที่ ระดับน้ำในเขื่อนลำพระเพลิง อำเภอปักธงชัยเกินระดับกักเก็บ เจ้าหน้าที่ต้องเร่งระบายน้ำออกจากเขื่อนและเตรียมอพยพชาวบ้านไปยังที่ปลอดภัย

วันที่ 25 ตุลาคม 2546 พายุดีเปรสชั่นที่พัดผ่านจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ ส่งผลให้เกิดฝนตกหนักต่อเนื่อง น้ำได้ท่วมในจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมีมากประกอบกับมีน้ำป่าไหลหลาก เขื่อนและฝายกั้นน้ำหลายแห่งไม่สามารถรองรับน้ำได้ จึงเร่งระบายน้ำออกถนนเพชรเกษม บริเวณสามแยกท่ายางระดับน้ำสูง 50 เซนติเมตรถึงเกือบ 1 เมตรเป็นระยะทางยาวเกือบ 4 กิโลเมตร รถเล็กไม่สามารถแล่นผ่านได้ ผู้ที่จะเดินทางไปยังจังหวัดทางภาคใต้ต้องเลี่ยงไปใช้เส้นทางสายบึกเตียน-ชะอำแทน จุดที่ถูกน้ำท่วมหนักที่สุดในจังหวัดเพชรบุรีมีทั้งอำเภอเมือง อำเภอบ้านลาด และอำเภอท่ายาง และที่หนักที่สุดอยู่ที่เขตเทศบาลอำเภอชะอำปริมาณน้ำสูงถึง 1 เมตร นักท่องเที่ยวและชาวบ้านได้รับความเดือดร้อนอย่างหนัก ส่วนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีน้ำท่วมสูงในอำเภอกุยบุรี ปราณบุรี และกิ่งอำเภอสามร้อยยอด พื้นที่เกษตรกรรม บ่อเลี้ยงกุ้ง และบ่อปลาของชาวบ้านเสียหายกว่า 5 หมื่นไร่

ในวันที่ 26 ตุลาคม 2546 เขื่อนปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีปริมาณน้ำในอ่างมากกว่าระดับเก็บกัก จนต้องปล่อยน้ำออกมา ทำให้พื้นที่ลุ่มต่ำบริเวณริมแม่น้ำปราณบุรี และพื้นที่ริมถนนเพชรเกษมในเขตอำเภอกุยบุรี อำเภอปราณบุรี และอำเภอหัวหินถูกน้ำท่วม โดยเฉพาะสี่แยกปราณบุรีน้ำท่วมสูง 60 เซนติเมตร รถเล็กผ่านไม่ได้ ถนนระหว่างอำเภอปราณบุรีและอำเภอหัวหินขาดเป็นช่วง ๆ ส่วนในเขตเทศบาลหัวหินมีน้ำสูง 30 เซนติเมตร น้ำที่ท่วมอย่างรวดเร็วทำให้หลายหมู่บ้านกลายเป็นหมู่บ้านร้าง ผู้คนขนของอพยพไปอยู่ตามบ้านญาติที่อื่น

จากที่เกิดอุทกภัยในท้องที่จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ สร้างความเดือดร้อนเสียหายแก่ราษฎรเป็นอย่างมาก พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าโปรดกระหม่อมให้มูลนิธิราชประชานุเคราะห์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จัดหน่วยสงเคราะห์ผู้ประสบภัยเคลื่อนที่นำข้าวสาร อาหารแห้ง และอาหารสำเร็จรูป ไปช่วยเหลือราษฎร ตั้งแต่วันที่ 17 ตุลาคม ในพื้นที่อำเภอท่ายาง บ้านลาด แก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และอำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ กว่า 4,500 ครอบครัว ซึ่งได้รับความร่วมมือจากอาสาสมัครในการบรรจุสิ่งของที่ได้รับการบริจาคและสิ่งของพระราชทาน ขณะที่มูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) ยามยาก ได้ให้ความช่วยเหลือราษฎรที่อำเภอปราณบุรี โดยหุงหาอาหารแจกจ่าย รวมทั้งแจกยารักษาโรคแก่ราษฎรที่ประสบอุทกภัยด้วย ส่วนมูลนิธิเพื่อการกุศลต่าง ๆ นำเรือท้องแบนออกไปแจกจ่ายสิ่งของช่วยเหลือราษฎรถึงหน้าบ้านที่จมอยู่กลางน้ำ โดยกองทัพบกให้การสนับสนุนขนย้ายสิ่งของของประชาชน รวมทั้งสนับสนุนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเร่งระบายน้ำ ส่วน ธกส. ได้ส่งเจ้าหน้าที่นำถุงยังชีพไปช่วยเหลือเกษตรกร โดยประเมินความเสียหาย 250 ล้านบาท

สรุปความเสียหายจากอุทกภัยในจังหวัดเพชรบุรี พื้นที่ถูกน้ำท่วมใน 8 อำเภอ พื้นที่เกษตรกรรมถูกน้ำท่วมกว่า 2 แสนไร่ สัตว์เลี้ยงล้มตาย 11,000 ตัว บ้านเรือนราษฎรถูกน้ำท่วมกว่า 1 หมื่นหลังคาเรือน และสรุปความเสียหายของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พื้นที่ถูกน้ำท่วมนับแสนไร่ บ้านเรือนราษฎรกว่า 2 หมื่นครอบครัวถูกน้ำท่วม ค่าเสียหายเบื้องต้นไม่น้อยกว่า 500 ล้านบาท ราษฎรส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร

### 2.2 มาตรฐานน้ำดื่ม (Drinking Water Standards)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคของประเทศไทย และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

| พารามิเตอร์ | เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด | เกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุด |
|---|---|---|
| ลักษณะสมบัติทางกายภาพ | | |
| สี (Pt-Co unit) | 5 | 15 |
| รส | ไม่เป็นที่รังเกียจ | ไม่เป็นที่รังเกียจ |
| กลิ่น | ไม่เป็นที่รังเกียจ | ไม่เป็นที่รังเกียจ |
| ความขุ่น (เอ็นทียู) | 5 | 20 |
| ความเป็นกรด-ด่าง | 6.5 - 8.5 | 9.2 |
| ลักษณะสมบัติทางเคมี (มก./ล.) | | |
| ของแข็งทั้งหมด | 500 | 1,500 |
| เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) | 0.5 | 1.0 |
| เหล็ก | 0.5 | 1.0 |
| แมงกานีส | 0.3 | 0.5 |
| ทองแดง (Cu) | 1.0 | 1.5 |
| สังกะสี (Zn) | 5.0 | 15 |
| คัลเซี่ยม (Ca) | 75 | 200 |
| มักเนเซี่ยม (Mg) | 50 | 150 |
| ซัลเฟต ($SO_4$) | 200 | 250 |
| คลอไรด์ (Cl) | 250 | 600 |
| ฟลูออไรด์ (F) | 0.7 | 1.0 |
| ไนเตรต ($NO_3$ as $NO_3$) | 45 | 45 |
| ปรอท (Hg) | 0.001 | - |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.05 | - |
| อาร์เซนิก (As) | 0.05 | - |
| เซเลเนียม (Se) | 0.01 | - |
| โครเมี่ยม (Cr hexavalent) | - | - |
| ไซยาไนด์ (CN) | 0.2 | - |
| แคดเมี่ยม (Cd) | 0.01 | - |
| แบเรียม (Ba) | 1.0 | - |
| ลักษณะสมบัติทางจุลชีววิทยา | | |
| แสตนดาร์ดเพลทเคานท์ (Colony/มล.) | 500 | - |
| โคลิฟอร์มทั้งหมด (เอ็มพีเอ็น/100มล.) | 2.2 | - |
| อี.โคไล (เอ็มพีเอ็น/100มล.) | - | - |

ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2547)

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

| พารามิเตอร์ | หน่วย | คำแนะนำ |
|---|---|---|
| คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality) | | |
| โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total coliform bacteria) | MPN/100 ml | ไม่พบ |
| แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli) | MPN/100 ml | ไม่พบ |
| คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ | | |
| สี ปรากฏ (Apperance color) | True colour unit | 15 |
| ความขุ่น (Turbidity) | NTU | 5 |
| รส และ กลิ่น (Taste and odor) | - | ไม่เป็นที่รังเกียจ |
| สารหนู (Arsenic) | mg/l | 0.01 |
| แคดเมี่ยม (Cadmium) | mg/l | 0.003 |
| โครเมี่ยม (Chromium) | mg/l | 0.05 |
| ไซอาไนด์ (Cyanide) | mg/l | 0.07 |
| ตะกั่ว (Lead) | mg/l | 0.01 |
| ปรอท (Mercury) | mg/l | 0.001 |
| เซเลเนี่ยม (Selenium) | mg/l | 0.01 |
| ฟลูออไรด์ (Fluoride) | mg/l | 1.5 |
| คลอไรด์ (Chloride) | mg/l | 250 |
| ทองแดง (Copper) | mg/l | 1 |
| เหล็ก (Iron) | mg/l | 0.3 |
| แมงกานีส (Manganese) | mg/l | 0.1 |
| อลูมิเนี่ยม (Aluminium) | mg/l | 0.2 |
| โซเดี่ยม (Sodium) | mg/l | 200 |
| ซัลเฟต (Sulfate) | mg/l | 250 |
| สังกะสี (Zinc) | mg/l | 3 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) | mg/l | 0.05 |
| ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids) | mg/l | 1,000 |
| ไนเตรทในรูปไนโตรเจน (Nitrate as N) | mg/l | 10 |
| แอมโมเนียในรูปไนโตรเจน (Ammonia as N) | mg/l | 1 5 |
| เบนซิน (Benzene) | mg/l | 10 |
| คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) | mg/l | 2 |
| ไดโครโรมีเทน (Dichloromethane) | mg/l | 20 |
| หนึ่ง, สอง-ไดโครโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) | mg/l | 30 |
| เบนโซไพรีน (Benzo[a]pyrene) | mg/l | 0 7 |

| | | |
|---|---|---|
| สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides) | | |
| อัลดรินและดิลดริน (Aldrin/Dieldrin) | mg/l | 0.03 |
| คลอเดน (Chlordane) | mg/l | 0.2 |
| ดีดีที (DDT) | mg/l | 2 |
| สอง,สี่-ดี (2,4-D) | mg/l | 30 |
| เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์(Heptachlor&Heptachlor epoxide) | mg/l | 0.03 |
| เฮกซะคลอโรเบนซิน (Hexachlorobenzene) | mg/l | 1 |
| ลินแดน (Lindane) | mg/l | 2 |
| เมททอกซิคลอ (Methoxychlor) | mg/l | 20 |
| เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) | mg/l | 9 |
| ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) | | |
| คลอโรฟอร์ม (Chloroform , $CHCl_3$) | mg/l | 200 |
| โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , $CHBrCl_2$) | mg/l | 60 |
| ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , $CHBr_2Cl$) | mg/l | 100 |
| โบรโมฟอร์ม (Bromoform , $CHBr_3$) | mg/l | 100 |
| กัมมันตภาพรังสี (Radioactive) | | |
| ความแรงรวมรังสีแอลฟา (Gross alpha activity) | Bq/l | 0.1 |
| ความแรงรวมรังสีเบต้า (Gross beta activity) | Bq/l | 1 |

**ที่มา:** กองควบคุมคุณภาพน้ำประปา (2547)

## 2.3 ลักษณะสมบัติของน้ำท่วม

ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแม่น้ำปิงบริเวณตำบลสันผีเสื้อ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จากฝายแม่แฝก ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำท่วมจากอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย เก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab) มีค่าพารามิเตอร์ดังแสดงตามตาราง 2.3

**ตารางที่ 2.3** พารามิเตอร์ของน้ำท่วม

| พารามิเตอร์ | น้ำแม่ปิง | น้ำฝายแม่แฝก | น้ำท่วมสุโขทัย |
|---|---|---|---|
| สี | น้ำตาลแดง | น้ำตาลแดง | น้ำตาลแดง |
| ความขุ่น | 66.7 เอ็นทียู | 75.30 เอ็นทียู | 72.45 เอ็นทียู |
| สภาพการนำไฟฟ้า | 230 ไมโครซีเมน/ซม. | 290 ไมโครซีเมน/ซม. | 280 ไมโครซีเมน/ซม. |
| ค่าความเป็นกรด - ด่าง | 7.6 | 7.4 | 7.3 |
| ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด | 130 พีพีเอ็ม | 140 พีพีเอ็ม | 140 พีพีเอ็ม |
| ค่าของแข็งแขวนลอย | 160 มก./ล. | 190 มก./ล. | 210 มก./ล. |
| โคลิฟอร์มแบคทีเรีย | 210 เอ็มพีเอ็น/100มล. | 200 เอ็มพีเอ็น/100มล. | 280 เอ็มพีเอ็น/100มล. |

**2.4 การกรองน้ำ (Filtration)**

การกรองน้ำเป็นกระบวนการทางกายภาพที่ใช้กำจัดสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ตะกอนเบาที่ไม่ตกตะกอน อนุภาคดิน และสาหร่าย เป็นต้น การกรองเป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่งของระบบการทำน้ำประปา โดยมีหลักของการกรองคือ อนุภาคตะกอนเล็กเหล่านี้จะแทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างของชั้นสารกรองที่ชั้นผิวหน้า ทำให้ตะกอนมาพอกพูนเกาะบนพื้นผิวส่วนบนของชั้นสารกรองมากขึ้น เมื่ออนุภาคและตะกอนเล็กเหล่านี้ไปอุดอยู่ในสารกรอง อัตราการไหลของน้ำผ่านสารกรองจะลดลง การอุดตันของสารกรองจะเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอทั้งผิวหน้า บริเวณไหนที่อุดตันน้อยกว่าน้ำจะไหลกรองผ่านได้มากกว่า อนุภาคและตะกอนจะแทรกเข้าไปในสารกรองได้ลึกไม่เกิน 2–3 นิ้ว เพราะฉะนั้นการกรองจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าลึกเพียง 1-2 นิ้วเท่านั้น (เกรียงศักดิ์, 2539) ตะกอนเล็ก ๆ ที่ไปเกาะอยู่ในช่องว่างของสารกรองจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองสำหรับอนุภาคอื่นต่อไปอีก จึงจำเป็นต้องคัดเลือกสารกรองที่มีขนาดโตพอเหมาะ เพื่อให้ตะกอนต่าง ๆ สามารถแทรกตัวลงไปในเนื้อสารกรองได้ ถ้าตะกอนแทรกตัวลงไปในสารกรองไม่ได้เลยจะตกค้างบนผิวหน้า ประสิทธิภาพในการกรองลดต่ำลง ทำให้แรงดันที่ต้องใช้ในการกรองเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการกรองน้ำจะลดลง

ในการออกแบบและควบคุมระบบกรองน้ำ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสามารถอธิบายได้เป็น 2 หัวข้อ ดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2539)

**1. ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบกรองน้ำ** ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกรองน้ำ คือ

1.1 ประจุของชั้นสารกรอง

1.2 ขนาด และความหนาแน่นของสารกรอง

1.3 ความพรุนของสารกรอง

1.4 ค่าสูญเสียความดันเนื่องจากสารกรอง

1.5 ประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ

1.6 ลักษณะสมบัติของน้ำ เช่น ความแข็งแรงของตะกอน หรือประจุในน้ำ เป็นต้น

1.7 อัตราการกรอง

1.8 ความลึกของชั้นสารกรอง

1.9 ค่าสูญเสียความดันที่ยอมให้มีได้ในระบบกรองน้ำ

**2. กลไกของการกรองน้ำ** กลไกของการกรองน้ำคือ วิธีการเคลื่อนที่ของตะกอนต่าง ๆ ในน้ำที่ผ่านเข้าไปหาสารกรอง และวิธีการจับตะกอนให้เกาะติดอยู่บนสารกรอง ภาพ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของตะกอนผ่านสารกรองในระบบกรองน้ำทั่วไป กลไกของการกรองน้ำที่มีอยู่ 3 กลไกด้วยกันคือ

**2.1 กลไกทางกายภาพ** กลไกของการกรองน้ำทางกายภาพ จะอาศัยหลักชลศาสตร์มาอธิบายซึ่งมีกลไกอยู่ 4 แบบ ดังนี้

2.1.1. การติดค้างอยู่บนสารกรอง (Straining) ตะกอนจะติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่ แบบที่มีขนาดของตะกอนใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างสารกรอง และแบบที่มีขนาดของตะกอนเล็กกว่าช่องว่างระหว่างสารกรอง

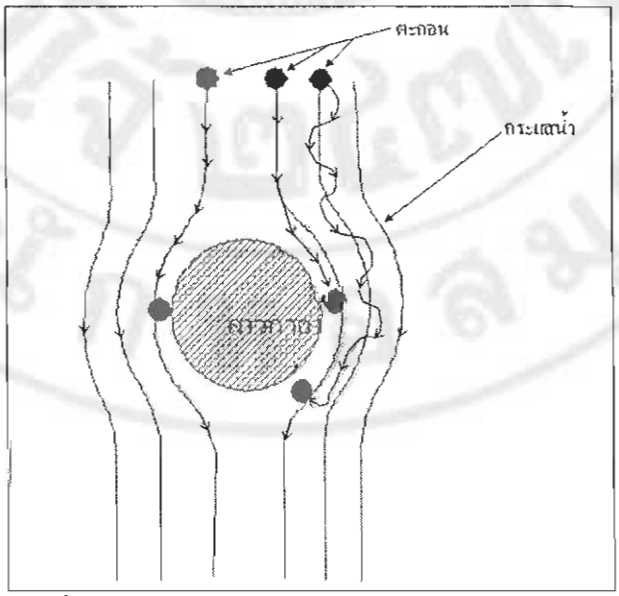
2.1.2. การตกตะกอน (Sedimentation) คือ การที่ตะกอนตกลงบนสารกรองภายในชั้นกรอง

2.1.3. การเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) คือ ตะกอนเคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแสน้ำ และเคลื่อนที่ไปพบผิวของสารกรอง

2.1.4. การชนจากความเฉื่อย (Inertial Impaction) คือ ตะกอนที่มีน้ำหนักมากจนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแสน้ำ จะตกลงบนสารกรองเสียก่อน

**2.2 กลไกทางกายภาพและเคมี** กลไกของการกรองน้ำที่เกิดจากทั้งทางกายภาพและเคมีจะมีการทำงานดีกว่ากลไกของการกรองน้ำที่เกิดจากทางกายภาพเพียงอย่างเดียว เพราะการกรองจะเกิดขึ้นได้เกือบทั่วทั้งชั้นกรอง ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้สารกรองมีมาก กลไกของการกรองน้ำแบบนี้ต้องอาศัยหลักฟิสิกส์มาอธิบาย โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

2.2.1. การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical Adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยการยึดเหนี่ยวทางเคมี โดยจะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในการดูดติดผิวระหว่างตะกอนกับสารกรอง การดูดติดผิวแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีอุณหภูมิสูง เพราะปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดได้เร็วขึ้น




**ภาพที่ 2.1** การเคลื่อนที่ของตะกอนผ่านสารกรอง
ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2539)

2.2.2. การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical Adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยแรงต่าง ๆ ยึดเหนี่ยว ไม่ให้หลุดออกจากกันระหว่างตะกอนกับสารกรอง การดูดติดผิวแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับการดูดติดผิวทางเคมี สำหรับการดูดติดผิวทางกายภาพจะประกอบด้วยแรง 3 ลักษณะ ได้แก่

- Electrostatic Forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดขึ้นบนสนามไฟฟ้าสถิตบริเวณสารกรอง

- Electrokinetic Forces คือ แรงที่เกิดขึ้นกับตะกอนที่มีประจุไฟฟ้า โดยตะกอนนี้จะเคลื่อนที่บนสารกรองอยู่ตลอดเวลา

- Van Der Waals Forces คือ แรงดึงดูดระหว่างตะกอนกับสารกรอง ซึ่งจะไม่เกาะติดบนผิวที่หนึ่งที่ใดโดยเฉพาะ แต่จะเกาะติดบนผิวโดยที่มีการเคลื่อนที่แบบอิสระอยู่ตลอดเวลาแต่ต้องอยู่ในขอบเขตของวัตถุทั้งสอง

2.2.3 แรงติดแน่น (Adhesion Forces) คือ แรงยึดติดแน่นให้ตะกอนประเภท Flocculants ติดแน่นกับผิวของสารกรอง แต่เนื่องจากแรงเฉาะน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านชั้นกรอง ได้เซาะพวกตะกอนบางส่วนก่อนที่ตะกอนส่วนนี้จะเกาะติดแน่นบนผิวสารกรอง ซึ่งทำให้น้ำได้ไหลพาตะกอนนี้เคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองลงไปลึกขึ้น จนอาจหลุดออกจากชั้นกรอง และไหลไปปนกับน้ำที่ผ่านระบบกรองน้ำแล้ว ซึ่งมีผลให้น้ำขาออกมีปริมาณตะกอนมากขึ้นได้

2.24. Coagulation–Flocculation คือ การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้ตะกอนในน้ำได้มีโอกาสเกาะตัวซึ่งกันและกัน ทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีผลให้เกิดการดักตะกอนในชั้นกรองได้ ซึ่งจะอาศัยกลไกการกรองน้ำแบบต่าง ๆ ได้แก่ Inertial Impaction, Sedimentation, Straining, Interception, และ Adhesion forces

**2.3. กลไกทางชีวเคมี** เป็นกลไกการกรองน้ำที่เกิดจากทางชีวเคมี คือ พวกจุลชีพเติบโตอยู่ภายในชั้นกรอง ซึ่งจะลดขนาดของช่องว่างที่อยู่ภายในชั้นกรอง และทำให้กรองตะกอนในชั้นกรองได้ อาศัยกลไกการกรองน้ำแบบต่าง ๆ ได้แก่ Inertial Impaction, Straining, Sedimentation, Interception, และ Adhesion forces

สารกรองที่มีคุณสมบัติในการกรองที่ดี ควรมีดังนี้

1. ป้องกันไม่ให้ตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอย ไหลผ่านสารกรองได้
2. ดักและจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยเหล่านี้ไว้อย่างเหมาะสม เพื่อที่จะง่ายในการล้างกลับ
3. สามารถดักจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไว้ได้มากที่สุด โดยไม่อุดตันได้ง่าย

**2.5 การกรองแบบสารกรองหลายชนิด (Multimedia Filtration)**

สารกรองที่นิยมใช้กันมากในการกรองน้ำมี 4 ชนิดคือ

1. ทรายละเอียด (Finc Sand) ทรายที่ใช้กรองน้ำส่วนใหญ่จะเป็นทรายซิลิกา กรวดและทรายที่ใช้สำหรับการกรองน้ำต้องไม่มีหินปูน ซึ่งมีเนื้ออ่อนและละลายน้ำได้ดีปะปนอยู่ เพราะเมื่อมีการใช้งาน มีการล้างและกวนมาก จะทำให้มีการสึกกร่อนและทำให้ขนาดเล็กลงได้ วิธีทดสอบว่าในกรวดและทรายมีหินปูนปนอยู่มากแค่ไหน ทำได้โดยแช่ในกรดเกลือเข้มข้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักควรจะหายไปไม่เกินร้อยละ 5

2. ถ่านแอนทราไซท์ (Anthracite) ใช้ในกรณีที่ใช้ทรายเป็นสารกรองไม่ได้เพราะจะทำให้ซิลิกาออกมา ในกรณีที่น้ำมีความร้อนหรือความเป็นกรดด่างสูง ถ่านแอนทราไซท์ที่มีขนาดเท่ากับทรายละเอียดจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน ถ่านแอนทราไซท์มีข้อดีคือ ดักจับตะกอนและอนุภาคต่าง ๆ ได้มากกว่าทราย เพราะมีเกลี้ยงกลมกว่า ใช้น้ำล้างในตอนล้างกลับน้อยกว่า ยืดอายุการใช้งานของเครื่องกรอง สามารถกรองได้ดีที่อัตราการกรองสูงขึ้น

3. หินปูน (Calcite or Calcium Carbonate) คือแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้กรองน้ำ ถ้าน้ำดิบมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.8 หินปูนจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกรองด้วยเช่นกัน

4. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ด้วยการดูดติดผิว ซึ่งเกิดขึ้นที่พื้นที่ผิวของถ่าน มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500–1,400 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดกลิ่น รส และสีในน้ำได้ดี เพราะบนพื้นที่ผิวจะมีรูพรุนอยู่มากมาย ซึ่งมีขนาดเท่ากับโมเลกุลของสารที่จะดูดติดผิวเหล่านี้ โมเลกุลสารต่าง ๆ จะแพร่กระจายเข้าไปอยู่ในรูเล็ก ๆ เหล่านี้ได้

**2.6 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)**

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีคุณสมบัติดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี มีชื่ออื่นคือ คาร์บอนก่อกัมมันต์ ถ่านไว และถ่านที่มีปฏิกิริยา มีสมบัติการดูดติดผิวได้ทั้งโมเลกุลของสารละลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เป็นเคมีภัณฑ์ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมหลายชนิด

การเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ อาจทำได้โดยการเคลือบถ่านกัมมันต์ด้วยสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ในหน้ากากป้องกันไอพิษของทางทหารตำรวจ จะมีไส้กรองอากาศซึ่ง

ประกอบด้วยถ่านกัมมันต์ที่เคลือบด้วยไอออนของโลหะปริมาณน้อยบางตัว ได้แก่ เงิน ทองแดง เหล็ก โครเมียม ซึ่งอยู่ในภาพของสารประกอบเชิงซ้อนทำหน้าที่ดูดติดผิวก๊าซพิษ หรือเปลี่ยนก๊าซพิษให้อยู่ในสภาพไม่มีพิษ ในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้น วัตถุดิบที่นำมาเตรียมควรเป็นสารที่มีคาร์บอนสูง มีเถ้าน้อยและราคาถูก วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้มีผู้ศึกษาและนำมาใช้แล้วดังนี้คือ

1. วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น กระดูกสัตว์
2. วัตถุดิบจากพืช เช่น ไม้ต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน แกลบ เมล็ดกาแฟ เมล็ดผลไม้ กะลามะพร้าว เป็นต้น
3. วัตถุดิบจากแร่ธาตุ เช่น ถ่านพีท ลิกไนต์ ถ่านหินชนิดอ่อนและแข็ง และสิ่งที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม
4. วัตถุดิบจากของเสีย เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิต ซึ่งจะแสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ

| Carbon | Source | Surface Area ($m^2/g$) |
|---|---|---|
| PCC SGL | Bituminous coal | 1,000 –1,200 |
| PCC BPL | Bituminous coal | 1,000 –1,200 |
| PCC RB | Bituminous coal | 1,200 –1,400 |
| PCC GW | Bituminous coal | 800 –1,000 |
| Columbia CXA/SXA | Coconut shell | 1,100 –1,300 |
| Columbia AC | Coconut shell | 1,200 –1,400 |
| Columbia G | Coconut shell | 1,100 –1,150 |
| Darco S 51 | Lignite | 500 – 550 |
| Darco G 60 | Lignite | 750 – 800 |
| Darco KB | Wood | 950 –1,000 |
| Hydro Darco | Lignite | 500 – 600 |
| Nuchar Aqua | Pulp mill residue | 550 – 650 |
| Nuchar C | Pulp mill residue | 1,050 –1,100 |
| Nuchar (Various) | Pulp mill residue | 300 – 1,400 |
| Nurit (Various) | Wood | 700 – 1,400 |

ที่มา: Samule and Osman (1987)

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกตามประเภทการใช้งานได้ 2 ชนิด คือ

**1. ชนิดผง (Powder)** อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มาใช้ ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว ได้แก่

1. ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลให้ขาว ทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์และทำให้ตกผลึกเร็วขึ้น

2. ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน โดยใช้ในการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ และดูดติดผิวสบู่หรือเปอร์ออกไซด์ ทำให้ได้น้ำมันบริสุทธิ์

3. ในอุตสาหกรรมสำเร็จรูป ใช้ในการปรับปรุงสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เจลลาติน ซุปสำเร็จภาพ และน้ำส้มสายชู เป็นต้น

4. ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ ใช้กำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ของวิสกี้หลังการกลั่น และช่วยทำให้วิสกี้ที่ทำใหม่มีคุณภาพดีขึ้นหลังการหมัก

5. อุตสาหกรรมสารเคมีและยา ใช้ในขบวนการผลิตสารเคมีต่าง ๆ เช่น กลีเซอรีน และคาเฟอีน เป็นต้น

6. ใช้ในการกำจัดตัวทำละลายบางชนิดที่ไม่ต้องการใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบด้วยไฟฟ้า

7. ใช้ในการกำจัดรสและกลิ่นน้ำตามธรรมชาติที่ไม่ต้องการ และใช้ในการกำจัดกลิ่นคลอรีนในน้ำประปาด้วย

8. ใช้ในกระบวนการแยกสารให้บริสุทธิ์ โดยดูดติดผิวสารไว้แล้วจึงทำการสกัดออกมาในภาพสารบริสุทธิ์ เช่น ในกระบวนการแยกทองคำในสินแร่

9. ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเคมีในหลาย ๆ กระบวนการ

**2. ชนิดเป็นเม็ดหรือเกล็ด (Granular)** เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ด เกล็ด หรือแผ่น มีความจุในการดูดติดผิวต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสูง มีกำลังในการดูดติดผิวสูง มีความต้านทานต่อการไหลของก๊าซต่ำ แข็งแรงและคงทน สามารถคายก๊าซหรือไอที่ดูดติดผิวไว้ได้หมด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือความดัน ประโยชน์ที่นำไปใช้คือในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น

1. อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจกรรมการทำน้ำประปา

2. ใช้ในการบำบัดน้ำให้สะอาดและมักใช้ในการบำบัดทางชีวภาพในขั้นตอนที่สามเพื่อดูดซึมสารแขวนลอยที่หลงเหลืออยู่

3. ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน และเพื่อบำบัดน้ำบาดาล

4. อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการดูดติดผิวก๊าซต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ใช้ในการปรับอากาศโดยใช้เป็นตัวดูดติดผิวกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ออกจากอากาศในห้องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน แอมโมเนีย และก๊าซต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรมได้ด้วย ซึ่งในปัจจุบันปัญหามลพิษในสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่ประชาชนส่วนใหญ่ตื่นตัวกันมาก ดังนั้น เครื่องกรองอากาศที่มีส่วนประกอบของถ่านกัมมันต์จึงมีบทบาทเพิ่มสูงมากขึ้น

5. อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดติดผิวไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง แล้วคายออกที่ความดันไอต่ำ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ และอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น

6. ใช้ในการนำตัวทำละลายที่ระเหยได้กลับมาใช้ใหม่ ที่ใช้มากที่สุดคือ ใช้แยกไอตัวทำละลายจากอากาศเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยที่ไอตัวทำละลายที่ถูกดูดติดผิวไว้ในถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิปกติ จะถูกคายออกมาเมื่อผ่านไอน้ำความดันต่ำลงไป

ถ่านกัมมันต์ที่นำไปใช้ย่อมหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว เพราะสิ่งสกปรกเข้าไปอุดตันในรูพรุนของถ่านเต็มไปหมด เมื่อเป็นเช่นนี้อาจนำถ่านไปฟื้นสภาพเพื่อกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งทำได้ด้วยกรรมวิธี 4 แบบ คือ

1. การล้างด้วยกรดหรือด่าง
2. การล้างและละลายด้วยตัวทำละลาย
3. การทำให้กลับคืนสภาพเดิมด้วยไอน้ำ
4. การทำให้กลับคืนสภาพเดิมด้วยความร้อน

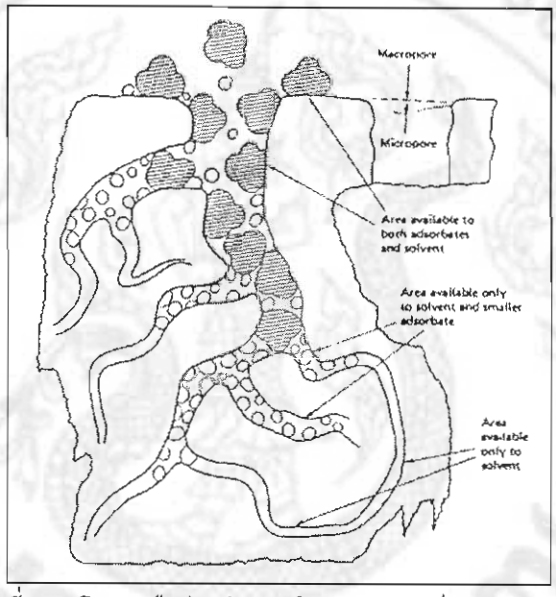
## 2.7 กลไกการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

การดูดติดผิว (Adsorption) หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดติดผิว (Adsorbent) และเป็นการลดความเข้มข้นที่ของสารที่ถูกดูดติดผิว (Adsorbate) บนพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำ (Low Surface Free Energy) จะถูกดูดติดผิวได้ดี ในขณะที่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงกว่าจะไม่ถูกดูดติดผิว ซึ่งพลังงานอิสระที่ผิวของสารถูกดูดติดผิวจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว

การดูดติดผิว เป็นกระบวนการที่ทำให้สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กมาเกาะจับหรือติดบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นการดูดติดผิวแบบระหว่างสถานะ (Phase) ทั้งสาม คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว–ของเหลว ก๊าซ–ของเหลว ก๊าซ–ของแข็ง และ

ของเหลว–ของแข็ง ในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบของเหลว–ของแข็ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่าสารที่ถูกดูดติดผิว ส่วนของแข็งที่มีผิวและโพรงช่องว่างเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดผิว เรียกว่าสารดูดติดผิว (ภาพที่ 2.2) การเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวมายังผิวของของแข็ง เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. การไม่ชอบของเหลวของตัวถูกละลาย (Lyophobicity of Solute) คือ ในกรณีที่ของเหลวเป็นน้ำ สารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะพยายามแทรกตัวอยู่ระหว่างน้ำกับของแข็งและดูดติดผิวที่ผิวของของแข็งในที่สุด




**ภาพที่ 2.4** โพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์
ที่มา: Calgon Coorporation (1982)

2. ความชอบของตัวถูกละลายที่จะไปเกาะติดที่ผิวของของแข็ง (High Affinity of Solute to Solid) คือ ความชอบของตัวละลาย (Solute) ที่จะไปเกาะติดที่ผิวของสารดูดติดผิว โดยในการเกาะติดจะมีแรงขับเคลื่อนอยู่ 3 แบบ ดังนี้

2.1 แรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrical Attraction Force) จะมีลักษณะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออน โดยไอออนจะมีประจุอยู่ซึ่งสามารถที่จะไปแลกติดอยู่กับโมเลกุลของสารอื่นได้ พวกที่มีประจุอิเล็กตรอน 2 หน่วย (Divalent) จะถูกดูดติดที่ผิวของวัตถุอื่นได้ดีกว่าพวกที่มีประจุอิเล็กตรอนเดี่ยว (Monovalent)

2.2 แรงดึงดูดวันเดอร์วาลล์ (Van Der Waals' Force) จะมีลักษณะเป็นการดูดติดผิวทางกายภาพ โดยตัวถูกละลายจะไม่เลือกเกาะติดที่ส่วนใดส่วนหนึ่ง แต่สามารถเกาะติดได้อย่าง

อิสระและเคลื่อนที่ได้ในระหว่างผิวของสารทั้งสอง บางครั้งเรียกได้ว่าเป็นการดูดติดผิวในอุดมคติ การดูดติดผิวแบบนี้เกิดขึ้นได้ดีในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ

2.3 แรงธรรมชาติทางเคมี (Chemical Nature) คือ สารถูกดูดติดผิวจะเกิดปฏิกิริยากับสารดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเรียกชื่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า Chemical Adsorption, Activated Adsorption หรือ Chemisorptions ซึ่งการดูดติดผิวในลักษณะนี้ สารถูกดูดติดผิวจะไม่สามารถดูดติดผิวได้อย่างอิสระ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในระหว่างผิวของสารทั้งสอง และเป็นได้เฉพาะการดูดติดผิวแบบชั้นเดียวเท่านั้น

มั่นสิน (2538) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ไว้ได้ดังนี้

**1. ความปั่นป่วน** อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับการแพร่เข้าไปในฟิล์มน้ำ หรือการแพร่เข้าไปในโพรงสารดูดติดผิว ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิลม์น้ำที่ล้อมรอบถ่านกัมมันต์จะมีความหนามากเพราะไม่ถูกรบกวน และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาถ่านกัมมันต์ ทำให้การแพร่เข้าไปในฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว โดยเฉพาะในกรณีของการกรองดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ซึ่งมีความปั่นป่วนของน้ำต่ำจะพบว่า ความหนาของฟิลม์น้ำจะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

**2. ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์** อัตราเร็วของการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของถ่านกัมมันต์ แต่ก็จะไม่มีผลมากเท่ากับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดติดผิว คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถดูดติดผิวสารแขวนลอยได้มากกว่าถ่านที่มีพื้นที่ผิวน้อย

**3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดผิวบนผิวของถ่านกัมมันต์** เมื่อมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น โมเลกุลของสารละลายก็จะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ สารที่ละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงยากต่อการดูดติดผิว ส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย ก็มักจะเกาะติดบนผิวถ่านกัมมันต์ได้เป็นอย่างดี

**4. ขนาดของสารที่ถูกดูดติดผิว** ขนาดโมเลกุลในสารละลาย จะมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งการดูดติดผิวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในโพรงของถ่านกัมมันต์ และโดยทั่วไปจะพบว่า การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อขนาดของสารละลายหรือขนาดของโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย เพราะจะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างสารกับถ่านกัมมันต์ที่มีค่ามากที่สุด โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน หลังจากนั้นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าก็จะถูกดูดตามเข้าไป

**5. ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย** ค่าความเป็นกรด-ด่างมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ จึงมีผลกระทบต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ด้วย นอกจากนี้ ไฮโดรเจนไอออนเองสามารถเกาะติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้เป็นอย่างดี ค่าความเป็นกรด–ด่างของสารละลายมีผลต่อความเป็นขั้วของผิวสารดูดติดผิว และโมเลกุลของตัวถูกละลายจะมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิวโมเลกุลต่าง ๆ

**6. อุณหภูมิ** อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว อัตราเร็วจะเพิ่มตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ

## 2.8 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Streat et al (1995) ทำการทดลองหาความสามารถในการดูดติดผิวของสารฟีนอลและพาราคลอโรฟีนอลโดยถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทั่วไปที่ทำจากถ่านหิน กะลามะพร้าว และไม้ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์แบบใหม่ที่ทำจากฟางข้าวและยางรถยนต์เก่า พบว่าสำหรับฟีนอลถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินและกะลามะพร้าวมีค่า k เท่ากับ 1.49 และ 1.21 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ทำจากฟางข้าว ยางรถยนต์เก่า และไม้มีค่า k เท่ากับ 1.03 0.97 และ 0.77 สำหรับพาราฟีนอลถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหิน กะลามะพร้าวและไม้มีค่า k เท่ากับ 1.5-2.0 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ทำจากฟางข้าวและยางรถยนต์เก่ามีค่า k เท่ากับ 1.0-1.3 เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการดูดติดเมื่อฟีนอลลดลงครึ่งหนึ่ง พบว่าถ่านกัมมันต์ทุกตัวมีค่า 1.5-3.9 นาที ส่วนถ่านจากกะลามะพร้าวมีค่า 15 นาที สำหรับพาราฟีนอลถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินและไม้มีค่า 2.4-5 นาทีและกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวมีค่า 18.5 นาที

นนทรัฐ อินยิ้ม (2541) ศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านแกลบในแบบจำลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.8 ซม.สูง 80 ซม. ด้วยอัตราการไหลในช่วง 37.67-150.68 ล./(ตร.ม.-ชม) พบว่าความยาวของ Mass Transfer Zone มีค่าเพิ่มจาก 20.81 เป็น 77.42 ซม. อายุการใช้งานมีค่าลดลงจาก 2,448 เป็น 24 ชม. ถ่านแกลบมีสมรรถนะสูงสุดที่อัตราการไหลไม่เกิน 75.34 ล./(ตร.ม.-ชม) หรือเวลาเก็บกักน้ำไม่น้อยกว่า 11.1 ชม.

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วมด้วยกระบวนการกรองและดูดติดผิว มีขั้นตอนและรายละเอียด ดังนี้

## 3.1 การเตรียมน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

1) น้ำจากน้ำแม่ปิงบริเวณตำบลสันผีเสื้อ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ในฤดูน้ำหลาก

2) น้ำจากฝายแม่แฝก ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย เชียงใหม่ เดือนกันยายน 2546

3) น้ำท่วมจากตำบลยางซ้าย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย เดือนกันยายน 2546

ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งในการเตรียมน้ำตัวอย่างได้กำจัดของแข็งแขวนลอย ด้วยการทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่แกว่งสารส้ม เนื่องจากจากการทดลองแกว่งสารส้มเพื่อให้ของแข็งแขวนลอยตกตะกอน พบว่า อลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากสารส้ม ทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำออกสูงกว่าของน้ำเข้ามาก

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

| พารามิเตร์ | สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง | | |
|---|---|---|---|
| | แม่น้ำปิง | ฝายแม่แฝก | น้ำท่วมสุโขทัย |
| <u>ทางกายภาพ</u> | | | |
| สี | น้ำตาลแดง | น้ำตาลแดง | น้ำตาลแดง |
| ความขุ่น (เอ็นทียู) | 66.7 | 75.30 | 72.45 |
| สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | 230 | 290 | 280 |
| <u>ทางเคมี</u> | | | |
| ค่าความเป็นกรด - ด่าง | 7.6 | 7.4 | 7.3 |
| ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | 130 | 140 | 140 |
| ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | 160 | 190 | 210 |
| <u>ทางชีววิทยา</u> | | | |
| โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (เอ็มพีเอ็น/100มล.) | 210 | 200 | 280 |

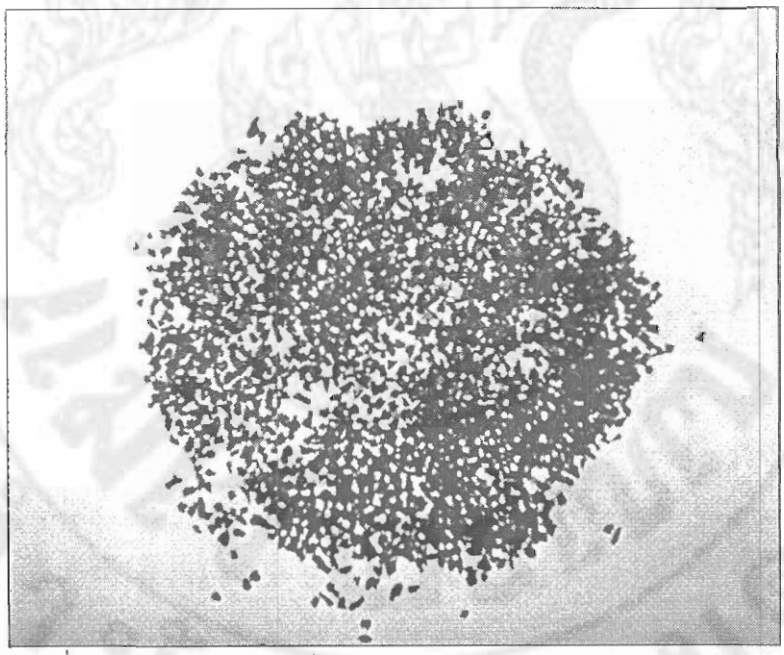
**3.2 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา**

การศึกษาครั้งนี้ใช้ถ่านกัมมันต์ทั้งชนิดเม็ดและชนิดผง ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าวจากบริษัทอุตสาหกรรมพรหมเทศ จำกัด จังหวัดลำพูน และเถ้าแกลบที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

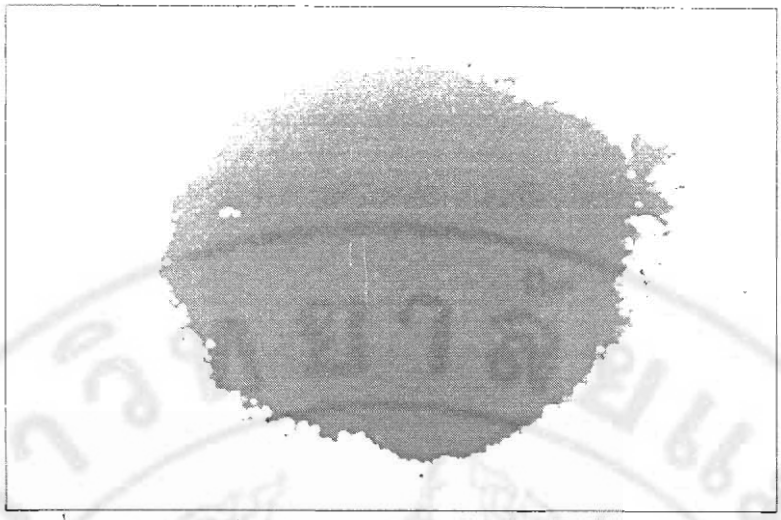
1. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด มีขนาดเฉลี่ย 8 x 16 Mesh หรือ 2.36 x 1.18 มม. สีเทา รูปร่างเหลี่ยม แบน และเปราะ มีความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 0.36 ก./ลบ.ซม. ดังแสดงในภาพที่ 3.1

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง มีขนาดเล็กละเอียด สีเทาดำ และมีค่าความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 0.2-0.75 ก./ลบ.ซม. ดังแสดงในภาพที่ 3.2

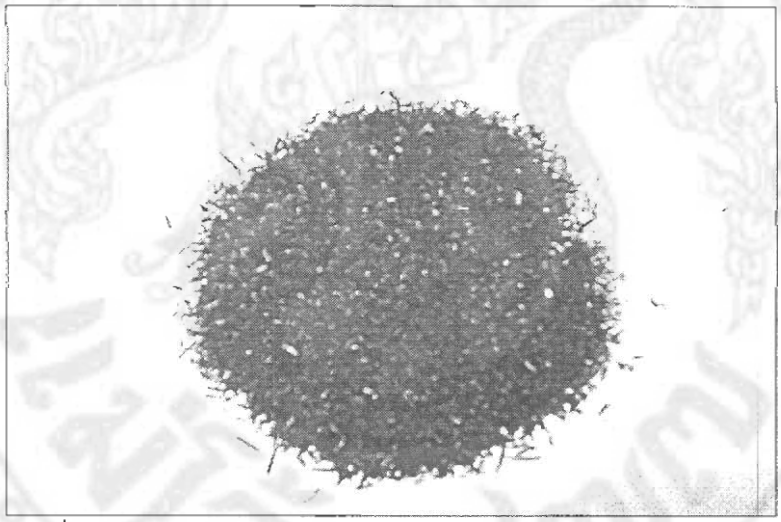
3. เถ้าแกลบ มีขนาดเล็กละเอียด สีดำ มีค่าความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 0.28 ก./ลบ.ซม. ดังแสดงในภาพที่ 3.3



**ภาพที่ 3.1** ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด



ภาพที่ 3.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง



ภาพที่ 3.3 เถ้าแกลบ

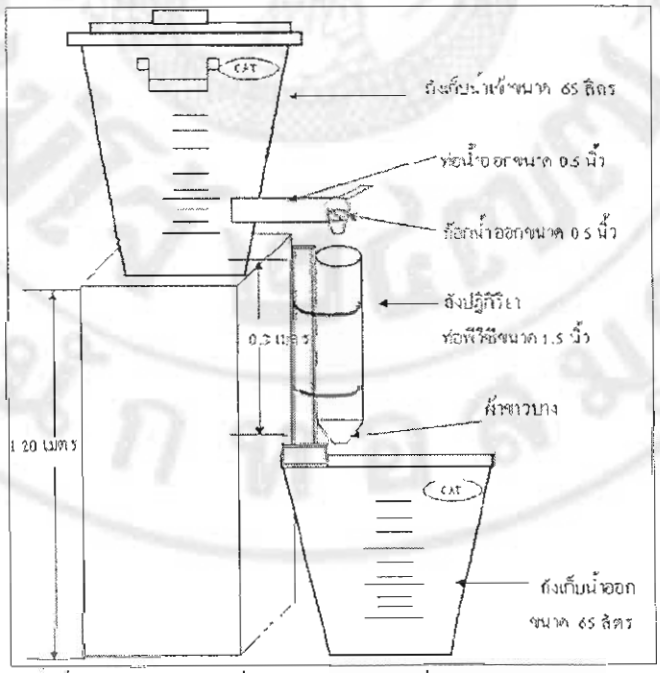
### 3.3 การวางแผนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

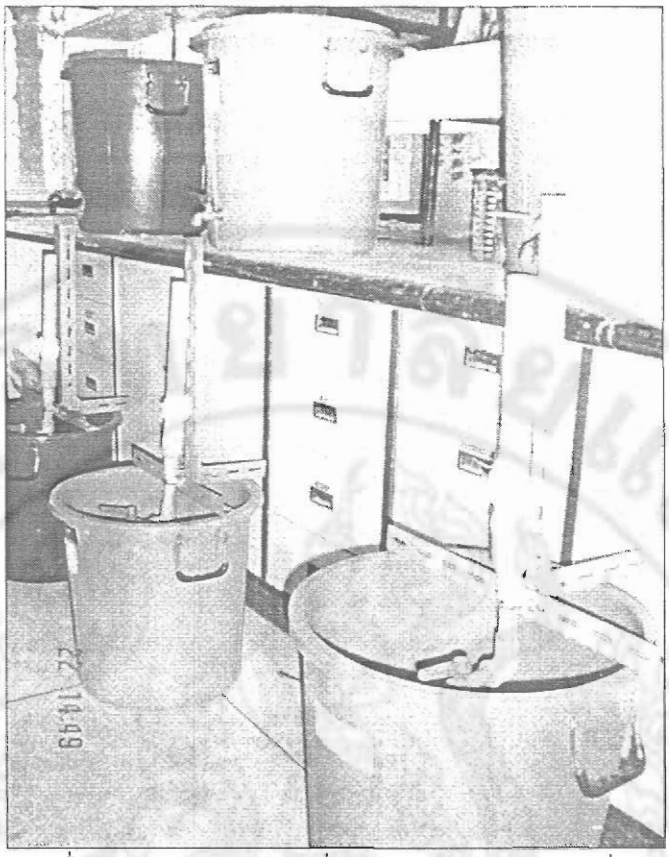
**การทดลองที่ 1** เป็นการศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดน้ำตัวอย่างของก่าม กัมมันต์แต่ละชนิดในระดับห้องปฏิบัติการ มีแผนการทดลองดังแสดงในตาราง 3.2 ใช้ถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว ดังแสดงในภาพ 3.4 การทดลองทำ 3 ซ้ำ ปล่อยให้น้ำไหลจากถังที่อยู่สูงลงสู่ที่ต่ำ ควบคุมการปิดเปิดการไหลของน้ำด้วยวาล์วให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง กำหนดความลึกของชั้นตัวกลาง 20 ซม. เท่ากัน ซึ่งเป็นความลึกที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง จนกระทั่งน้ำออกมีค่าความขุ่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคกำหนด (5 เอ็นทียู) ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ตัวกลางที่ใช้แล้วจะทิ้งโดยไม่มีการฟื้นคืนสภาพ รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างน้ำและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ แสดงในตาราง 3.5

**ตารางที่ 3.2** แผนการทดลองที่ 1

| การทดลองที่ 1 | ชนิดของตัวกลาง | ความลึกของชั้นตัวกลาง (ซม.) |
|---|---|---|
| 1.1 | ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด | 20 |
| 1.2 | ถ่านกัมมันต์ชนิดผง | 20 |
| 1.3 | เถ้าแกลบ | 20 |




**ภาพที่ 3.4** ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.5 ภาพถ่ายถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษา การทดลองที่ 1 และ 2

**การทดลองที่ 2** เป็นการศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดน้ำตัวอย่าง โดยการทำงานร่วมกันของตัวกลางแต่ละชนิด (Multimedia Filtration) ในระดับห้องปฏิบัติการ ดังแสดงแผนการทดลองในตารางที่ 3.3 การทดลองควบคุมสภาวะคล้ายกับการทดลองที่ 1 กำหนดความลึกแต่ละของชั้นตัวกลางเท่ากับ 20 ซม. เท่ากัน รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 3.5

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองที่ 2

| การทดลองที่ 2 | ชนิดของตัวกลาง | ความลึกของชั้นตัวกลาง (ซม.) | รวมความลึก (ซม.) |
|---|---|---|---|
| 2.1 | เถ้าแกลบ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถ่านชนิดเม็ด | 20 | 60 |
| 2 2 | ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด | 20 | 40 |
| 2.3 | เถ้าแกลบ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด | 20 | 40 |

หมายเหตุ · เรียงลำดับการจัดวางตัวกลางจากที่อยู่ด้านบนไปหาด้านล่าง

**การทดลองที่ 3** จากผลการทดลองที่ 1 และ 2 นำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาถึงสภาพการนำไปใช้งานจริงในสภาวะน้ำท่วม โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

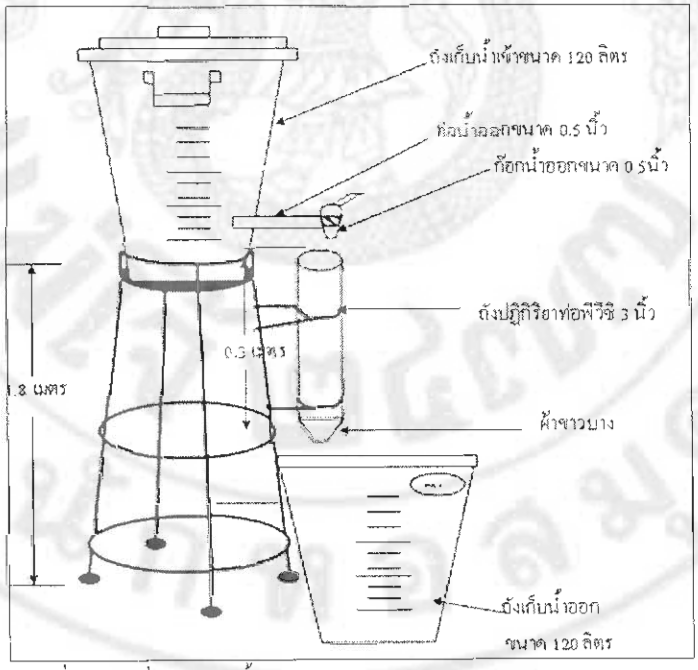
1) ออกแบบเครื่องกรองน้ำท่วมต้นแบบที่มีการทำงานร่วมกันของชั้นถ่านกัมมันต์ตามผลการทดลองที่ 1 และ 2 ถังปฏิกิริยาเป็นท่อพีวีซี 3 นิ้ว

2) ศึกษาความสามารถในการทำความสะอาดน้ำท่วมของเครื่องกรองน้ำต้นแบบ ในสภาพการนำไปใช้งานจริง ควบคุมการไหลของน้ำด้วยวาล์ว ให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง ซึ่งมีแผนการทดลองดังตาราง 3.4 โดยที่รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ดังแสดงในตาราง 3.5

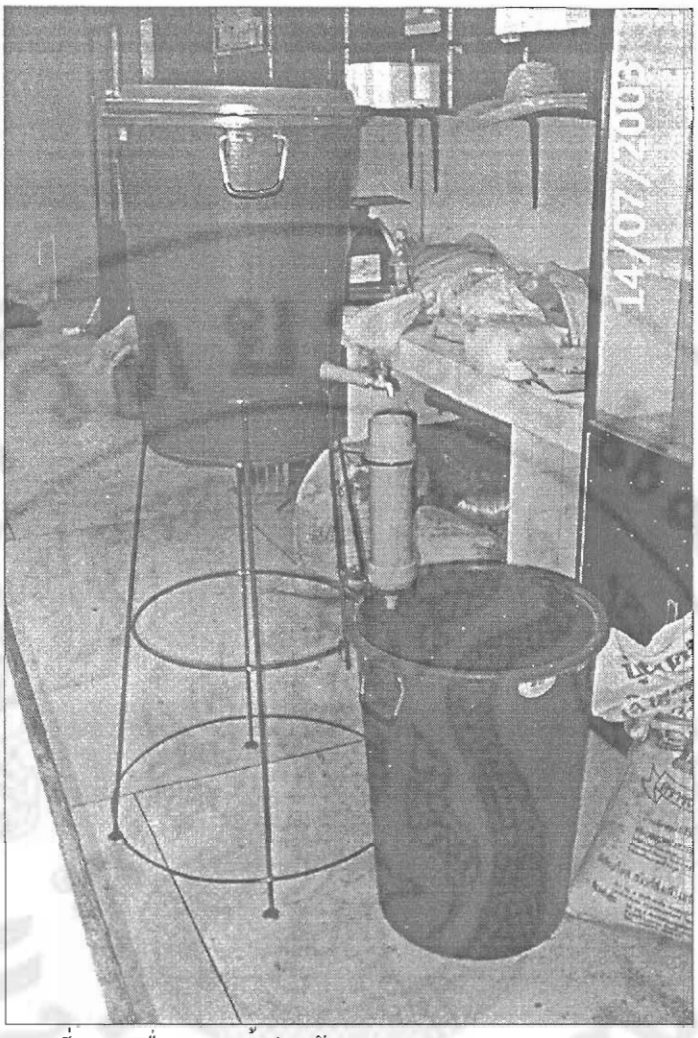
**ตารางที่ 3.4** แผนการทดลองที่ 3

| การทดลองที่ 3 | ชนิดของตัวกลาง | ความลึกของชั้นตัวกลาง (ซม.) |
|---|---|---|
| 3.1 | เถ้าแกลบ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด | 20 |
| 3.2 | ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด | 20 |

**หมายเหตุ** : เรียงลำดับการจัดวางสารตัวกลางจากที่อยู่ด้านบนไปหาด้านล่าง




**ภาพที่ 3.6** เครื่องกรองน้ำท่วมต้นแบบ



ภาพที่ 3.7 เครื่องกรองน้ำท่วมต้นแบบ

**3.4 การเก็บข้อมูล**

รายละเอียดของจุดเก็บน้ำตัวอย่าง ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตาราง 3.5 โดยมีรายละเอียดของความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่าง ดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำก่อนตกตะกอนและภายหลังที่ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. เก็บตัวอย่างน้ำขณะที่ทำการทดลองที่เวลา 5, 10, 20, 30 นาที และ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 30, 36, 42, 48, 60, 72. 84, 96, 108, 120, 144, 168 ชั่วโมง ที่วาล์วน้ำออก

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของจุดเก็บน้ำตัวอย่าง พารามิเตอร์ และอุปกรณ์ที่ใช้

| การทดลอง | จุดเก็บน้ำตัวอย่าง | พารามิเตอร์ | อุปกรณ์ |
|---|---|---|---|
| การทดลองที่ 1 - 3 | 1. ที่วาล์วน้ำเข้า<br>2 ที่วาล์วน้ำออก | - ปริมาตรน้ำสะสม | - บีกเกอร์, กระบอกตวง |
| | | - ของแข็งแขวนลอย | - อุปกรณ์วัดค่าของแข็งแขวนลอย |
| | | - ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด | - เครื่องวัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด รุ่น HI 9812 ยี่ห้อ HANNA |
| | | - สภาพการนำไฟฟ้า | - เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า รุ่น Chemtrix type 70 |
| | | - ความขุ่น | - เครื่องวัดความขุ่นรุ่น 6035 Turbidimeter ยี่ห้อ Jenway |
| | | - ความเป็นกรด – ด่าง | - เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง รุ่น Chemtrix type 70 |
| | | - โคลิฟอร์มแบคทีเรีย | - ตรวจหาโดยวิธี เอ็มพีเอ็น |

### 3.5 สถานที่ดำเนินการ

สถานที่ดำเนินการวิจัยใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

### 3.6 การดำเนินการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีนักศึกษาระดับปริญญาโท คือ นางสาว ยุภาพรรณ วีระ สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมดำเนินการทดลองในฐานะผู้ช่วยนักวิจัย

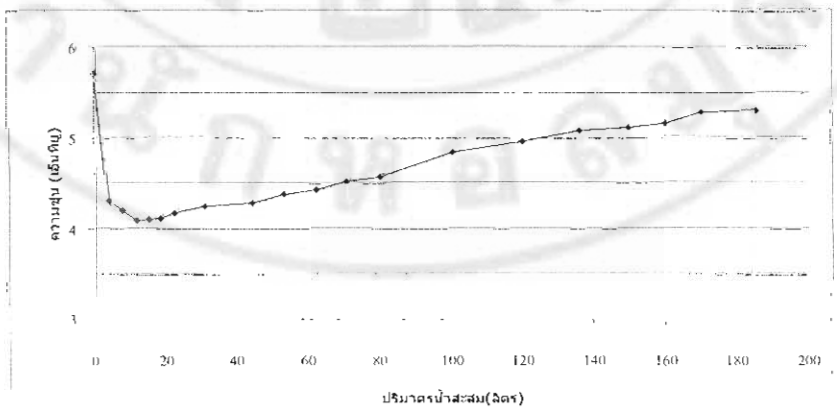
# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาการทำน้ำสะอาดจากน้ำตัวอย่าง โดยกระบวนการกรองและดูดติดผิว ด้วยสารตัวกลางที่เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดผง ผลิตจากถ่านกะลามะพร้าวของบริษัท อุตสาหกรรมพรหมเทศ จำกัด จังหวัดลำพูน และเถ้าแกลบ โดยใช้น้ำตัวอย่างจากแม่น้ำปิง ฝายแม่แฝก และน้ำท่วมที่เก็บจากบ้านวังโพธิ์ หมู่ 5 ตำบลยางซ้าย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย การศึกษาดำเนินการในช่วงเดือนมีนาคม 2545 - กุมภาพันธ์ 2547 แสดงผลการศึกษาและวิจารณ์ผล ดังต่อไปนี้

## 4.1 การทดลองที่ 1

### 4.1.1 การทดลองที่ 1.1

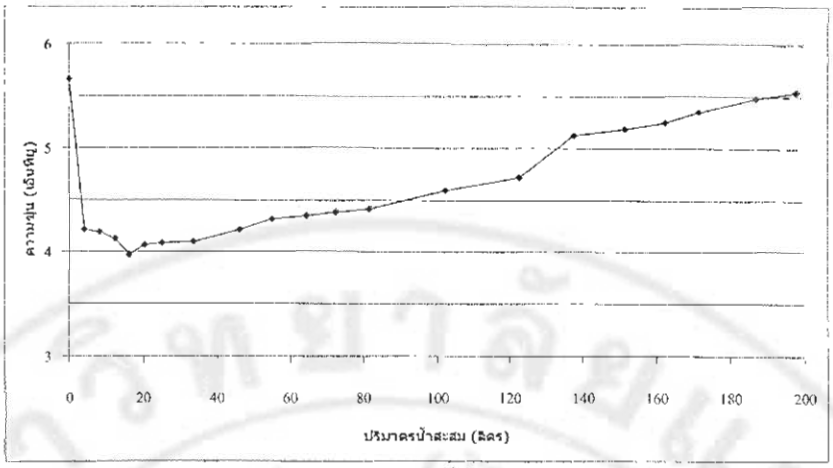
ก) ค่าความขุ่น การทดลองใช้ตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด บรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว สูง 20 ซม. การทดลองทำ 3 ซ้ำ น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างและภายหลังจากนำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่า 17.73, 17.53 และ 17.98 เอ็นทียู และ 5.70, 5.65 และ 5.72 เอ็นทียู สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก1-ก3 และภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองจะมีค่าความขุ่นค่อย ๆ ลดลงจนถึงเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ค่าความขุ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าความขุ่นที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคกำหนดคือ 5 เอ็นทียู ค่าความขุ่นต่ำที่สุดมีค่าเฉลี่ย 4.08 เอ็นทียู กลไกในการลดความขุ่นมาจากกระบวนการกรอง ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรน้ำสะสม 120.26, 122.40 และ 122.32 ลิตร ในเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับซ้ำที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ มีอัตราการกรองน้ำเฉลี่ย 0.12 ลิตร/นาที



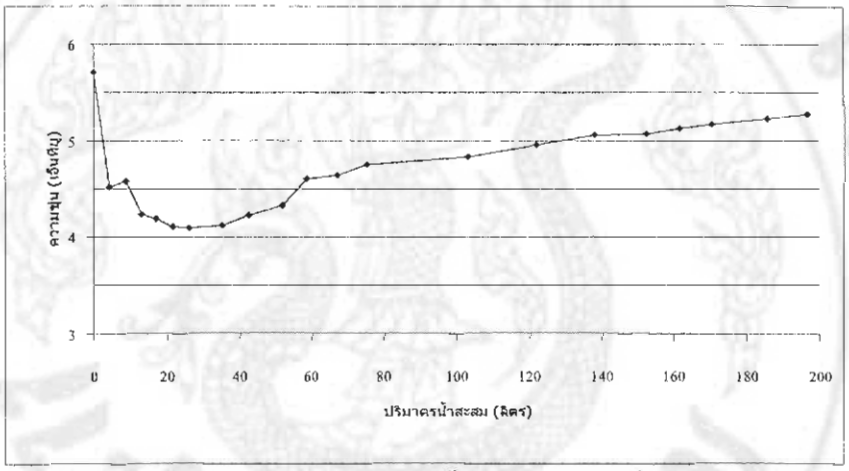

ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

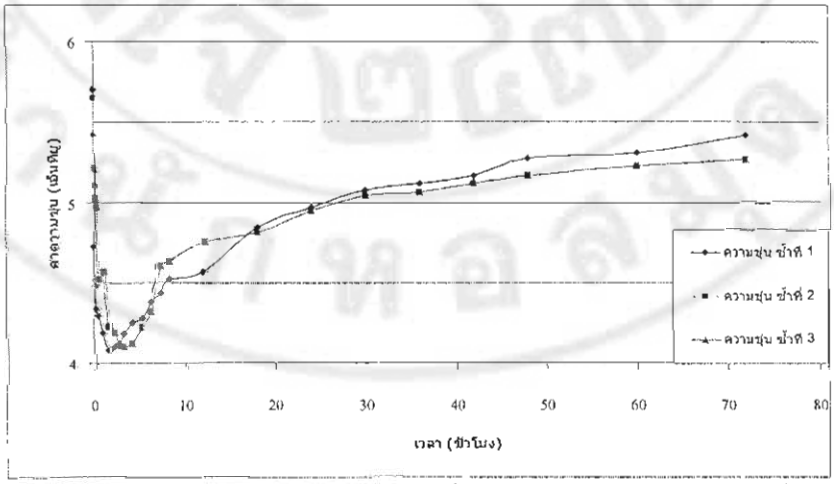





ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 2



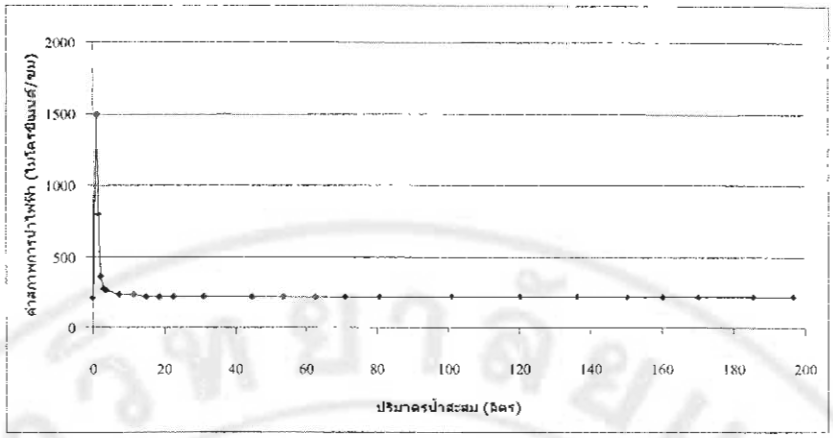

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 3



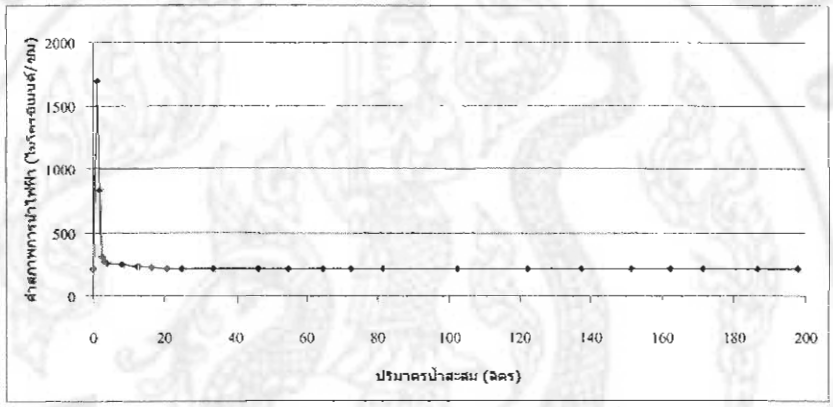

ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับเวลา การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1- 3

**ภาพที่ 4.5** น้ำตัวอย่าง, น้ำตัวอย่างทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, และน้ำผ่านการกรอง การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1

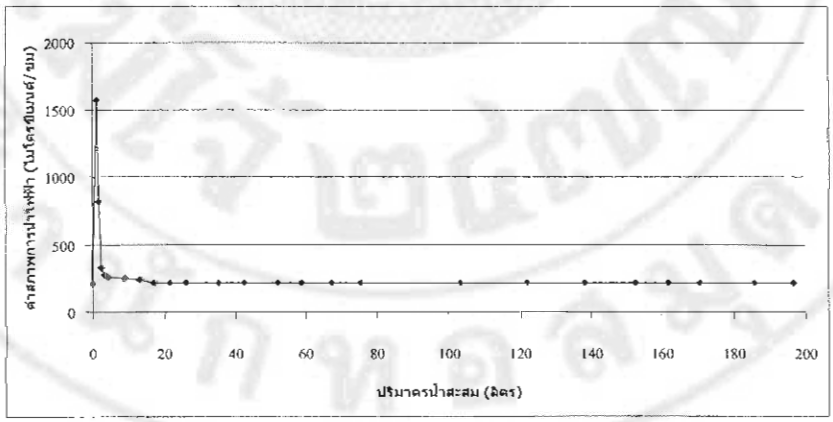
**ข) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า** สำหรับการพิจารณาค่าสภาพการนำไฟฟ้า ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะสารประกอบอนินทรีย์ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเข้ามีค่า 210 ไมโครซีเมน/ซม. เท่ากันทั้ง 3 ซ้ำ จากข้อมูลตามตารางที่ ก1–ก3 และภาพ 4.6, 4.7 และ 4.8 ในช่วงแรกน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูง มีค่ามากกว่า 800 ไมโครซีเมน/ซม. และลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าคงที่ มีค่า 220, 210 และ 220 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าไม่เกินค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำประปาของมลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้ (Secondary Maximum Contaminant Level) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 1,600 ไมโครซีเมน/ซม. (California Water Service Company, 2003) การที่ในช่วงแรกค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงอาจจะเนื่องมาจากมีการชะล้างค่าความเป็นด่างของผงถ่านจากการผลิต ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีออกมากับน้ำออก จึงส่งผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำออกมีค่าสูงด้วย และเมื่อการชะล้างถ่านกัมมันต์ลดลง จึงทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำออกลดลงด้วย จากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเข้าและของน้ำออก สามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างน้ำมีความเจือจางมาก หรือมีของสารละลายอนินทรีย์และสารอินทรีย์ปนเปื้อนในระดับที่ต่ำ จนไม่เกิดกระบวนการดูดติดผิวได้อย่างชัดเจน



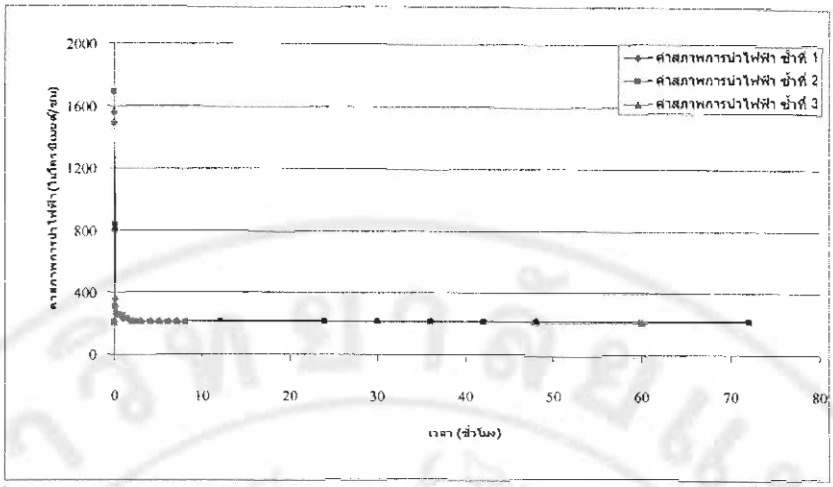

ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 2

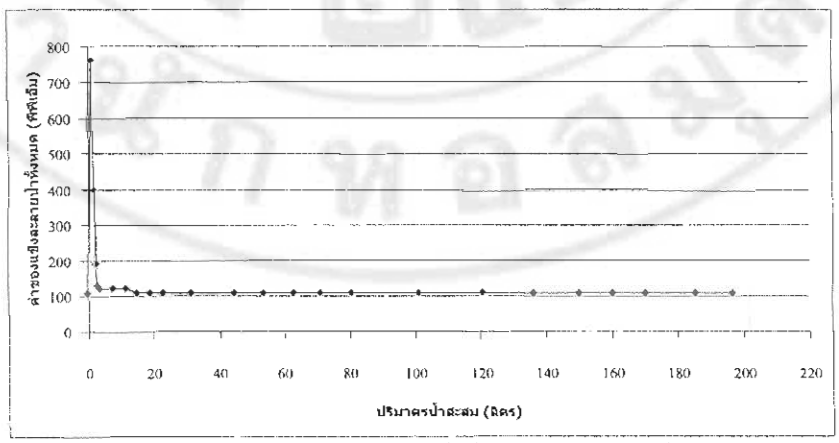



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 3

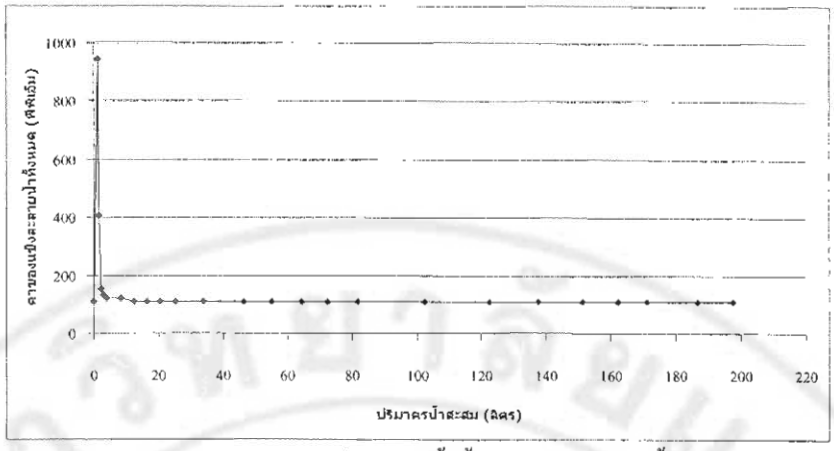



**ภาพที่ 4.9** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับเวลา การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1 - 3

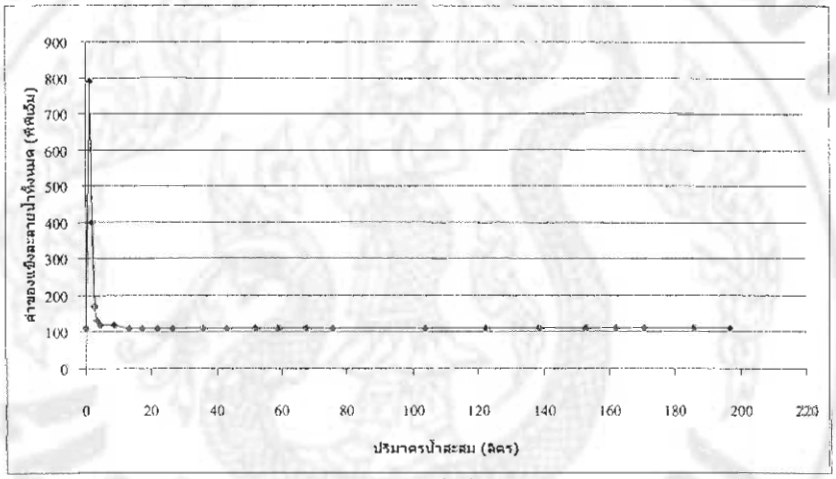
**ค) ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด** ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำตัวอย่างและน้ำที่ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากันคือมีค่าเฉลี่ย 110 พีพีเอ็ม จากข้อมูลตามตารางที่ ก1–ก3 และภาพ 4.10, 4.11 และ 4.12 ในช่วงแรกประมาณ 15 นาที น้ำที่ผ่านตัวกลางจะมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้น เนื่องจากฝุ่นของถ่านขนาดเล็กจากกระบวนการผลิตละลายออกมากับน้ำออกด้วย จึงมีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นในน้ำออกระยะแรก ซึ่งสอดคล้องกับค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำออกที่เพิ่มขึ้น โดยที่ไม่มีผลต่อความขุ่นของน้ำออกแต่อย่างใด และเมื่อทำการกรองผ่านไปช่วงหนึ่งค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะลดลง จนมีค่าคงที่เท่ากับ 110 พีพีเอ็ม เท่ากันทั้ง 3 ซ้ำ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวงกำหนด (1,000 มก./ล.) เมื่อพิจารณาค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าและของน้ำออกซึ่งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง สามารถยืนยันได้ว่าไม่เกิดกระบวนการดูดติดผิวในการทำความสะอาดน้ำตัวอย่าง



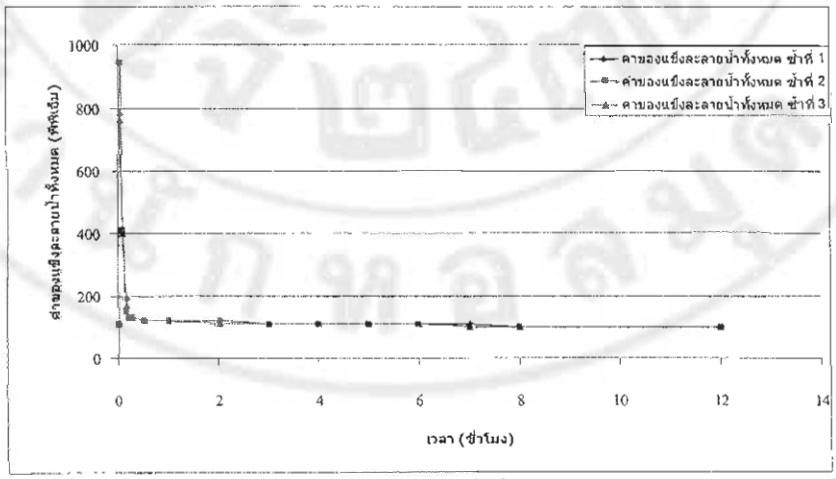

**ภาพที่ 4.10** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 2

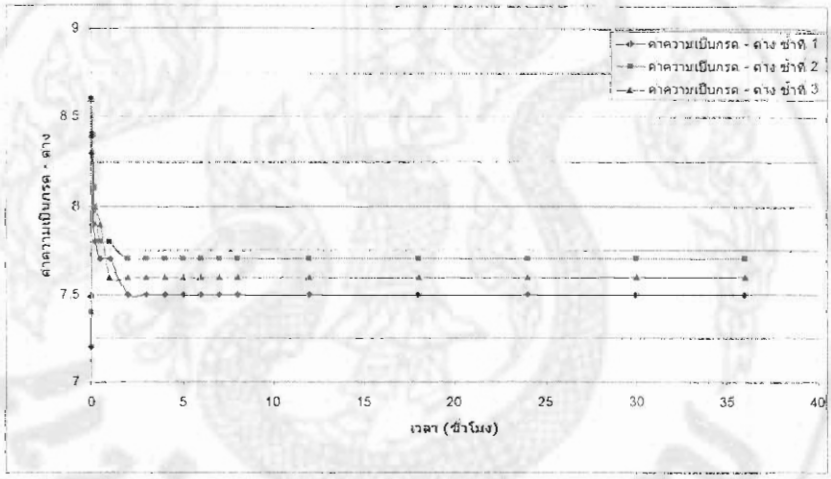



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 3




ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับเวลา การทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1– 3

**ง) ค่าความเป็นกรด-ด่าง** ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างและที่ทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากัน มีค่า 7.2, 7.4 และ 7.5 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ข้อมูลแสดงตามตารางที่ ก1–ก3 และภาพ 4.14 ในช่วงแรกประมาณ 10 นาที น้ำที่ผ่านตัวกลางจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจากในถ่านกัมมันต์มีเศษผงขนาดเล็กจากกระบวนการผลิตประกอบอยู่ เมื่อละลายในน้ำจะแตกตัวทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นในน้ำออกระยะแรก และเมื่อทำการกรองผ่านไปช่วงหนึ่ง ค่าจะลดลงจนมีค่าคงที่เท่ากับ 7.5, 7.7 และ 7.6 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำออก ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในระยะเดียวกัน โดยที่ไม่มีผลต่อความขุ่นของน้ำออกแต่อย่างใด และมีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคกำหนด คือ 6.5–8.5




**ภาพที่ 4.14** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด - ด่างกับเวลาการทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1 -3

**จ) ค่าของแข็งแขวนลอย** ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำตัวอย่างและที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงมีค่า 90.0, 85.0 และ 86.0 มก./ล. และ 62.5, 60.0 และ 63.0 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามตารางที่ ก1–ก3 เมื่อทำการกรองผ่านไปช่วงหนึ่ง ค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงจนคงที่และมีค่า 1.6, 1.4 และ 1.5 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 97.44, 97.67 และ 97.62 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ กลไกในการลดค่าของแข็งแขวนลอยมาจากกระบวนการกรอง

**ฉ) ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย** ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำตัวอย่างและของน้ำที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากันคือ 110, 70 และ 70 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อทำการกรองค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียมีค่า 40, 30 และ 30 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาอุปโภคบริโภคตาม

ฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (2.2 เอ็มพีเอ็น/100มล.) พบว่า ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำออกภายหลังการกรองประมาณ 1 ชั่วโมง มีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ ไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้โดยไม่ฆ่าเชื้อโรคก่อน ทั้งนี้เนื่องจากโคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ไม่สามารถกำจัดด้วยกระบวนการกรองและดูดติดผิวได้ โคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ลดลง เกิดจากการติดค้างอยู่บนตะกอนที่ติดอยู่กับสารกรอง (Straining) ของกระบวนการกรอง มีประสิทธิภาพในการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 63.63, 57.14 และ 57.14 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

### 4.1.2 การทดลองที่ 1.2

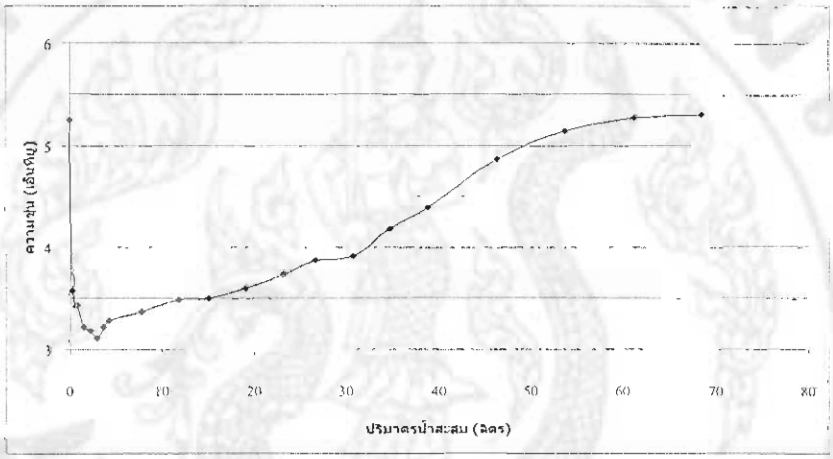
เป็นการทดลองใช้ตัวกลางเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผงกรองน้ำตัวอย่าง การทดลองทำ 3 ซ้ำ พบว่า น้ำที่ผ่านการกรองมีสีดำ เป็นสีของผงถ่านหลุดออกมาด้วย ไม่สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจึงไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการกรองน้ำ ภาพที่ 4.15 แสดงน้ำที่ผ่านถ่านกัมมันต์ชนิดผง สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

**ภาพที่ 4.15** น้ำที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดผง ซ้ำที่ 1 – 3

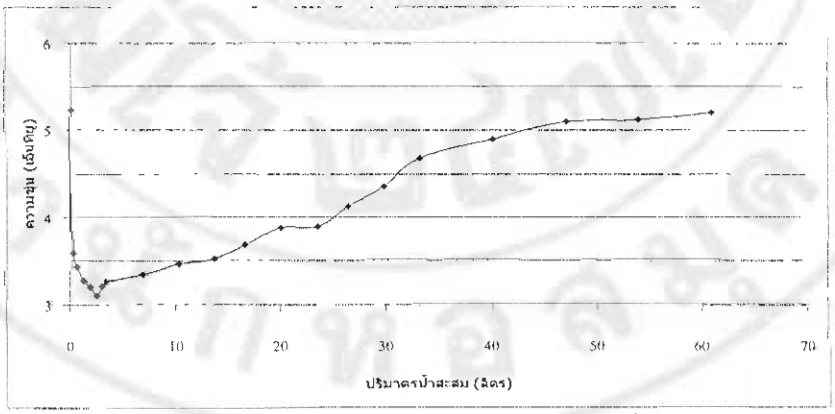
### 4.1.3 การทดลองที่ 1.3

ก) ค่าความขุ่น การทดลองนี้ใช้ตัวกลางเป็นเถ้าแกลบกรองน้ำตัวอย่าง บรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว สูง 20 ซม. การทดลองทำ 3 ซ้ำ ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างและภายหลังนำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่า 14.87, 14.98 และ 14.91 เอ็นทียู และ 5.25, 5.24 และ 5.45 เอ็นทียู สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก4–ก6 และภาพ 4.16, 4.17 และ 4.18 พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำออกมีค่าความขุ่นลดลงเมื่อผ่านการกรองและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ค่าความ

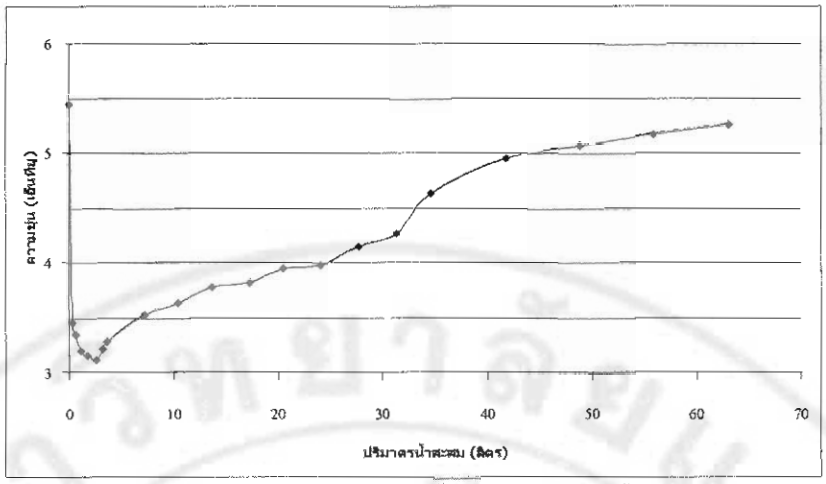
4.18 พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำออกมีค่าความขุ่นลดลงเมื่อผ่านการกรองและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ค่าความขุ่นต่ำที่สุดที่กรองได้มีค่าเฉลี่ย 3.1 เอ็นทียู ที่เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาอุปโภคบริโภคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (5 เอ็นทียู) พบว่า ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรน้ำสะสม 46.41, 40.24 และ 41.76 ลิตร โดยใช้เวลา 60 ชั่วโมง สำหรับซ้ำที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งปริมาตรน้ำสะสมที่กรองได้มีค่าน้อยกว่าการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในการทดลองที่ 1.1 สาเหตุเพราะเถ้าแกลบมีช่วงของขนาดคละ (Grading) สูง อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าจะแทรกเข้าไประหว่างช่องว่างของอนุภาคที่ใหญ่กว่า ประกอบกับเมื่อมีสารแขวนลอยเข้าไปอุดตันในช่องว่าง จึงทำให้อัตราการไหลของน้ำผ่านสารตัวกลางลดลง



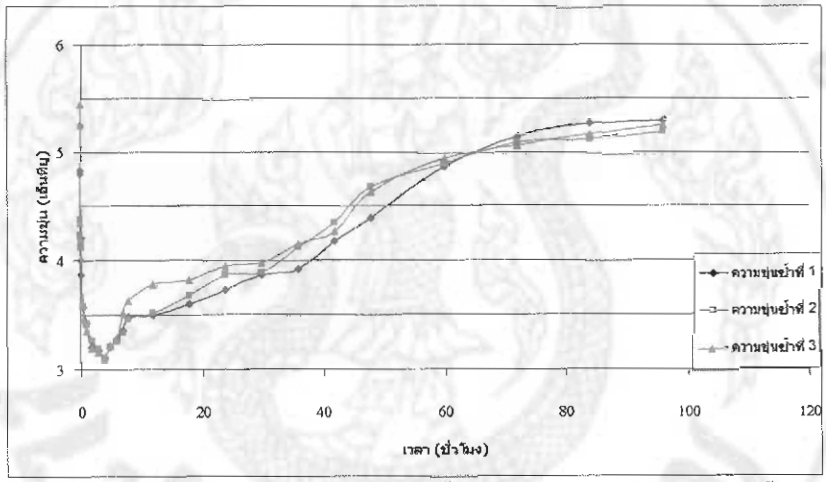

ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 2



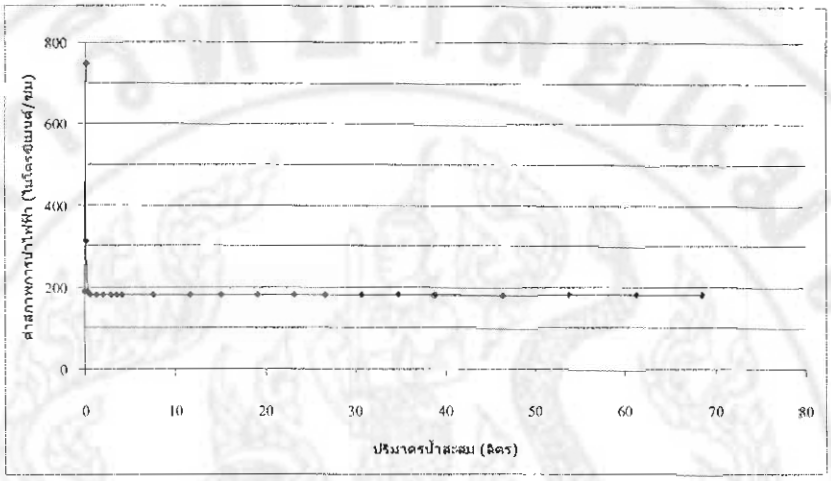

**ภาพที่ 4.18** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 3



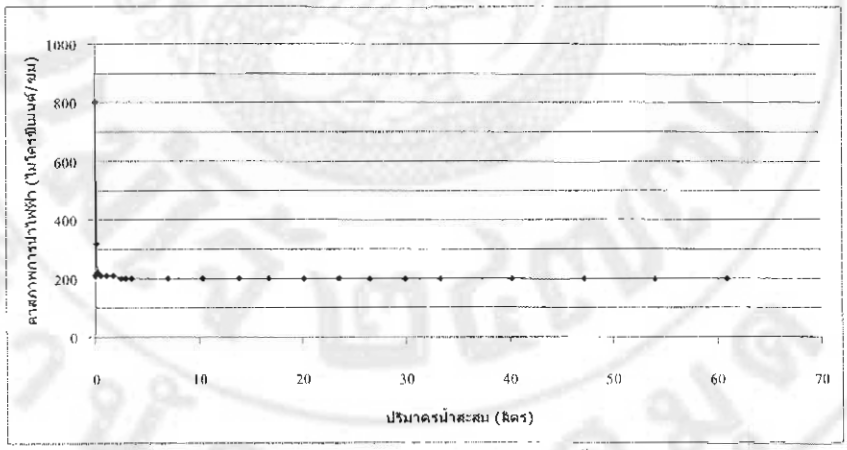

**ภาพที่ 4.19** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับเวลา การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1- 3

**ภาพที่ 4.20** น้ำตัวอย่าง น้ำตัวอย่างทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง และน้ำที่ผ่านการกรอง การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1

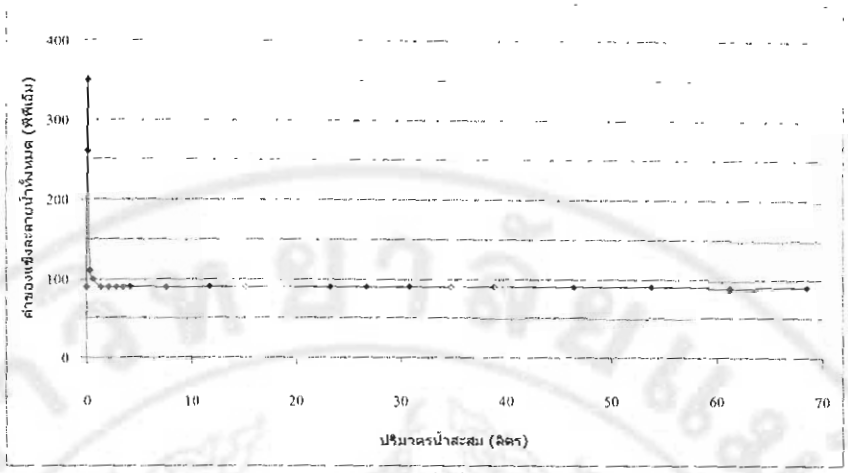
ข) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเข้ามีค่า 190, 210 และ 200 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก4–ก6 และภาพ 4.21, 4.22 และ 4.23 พบว่า ในช่วงแรกน้ำที่ผ่านเถ้าแกลบมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงขึ้นมาก และหลังจากเวลาประมาณ 20 นาที มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าคงที่เท่ากับ 180, 200 และ 180 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



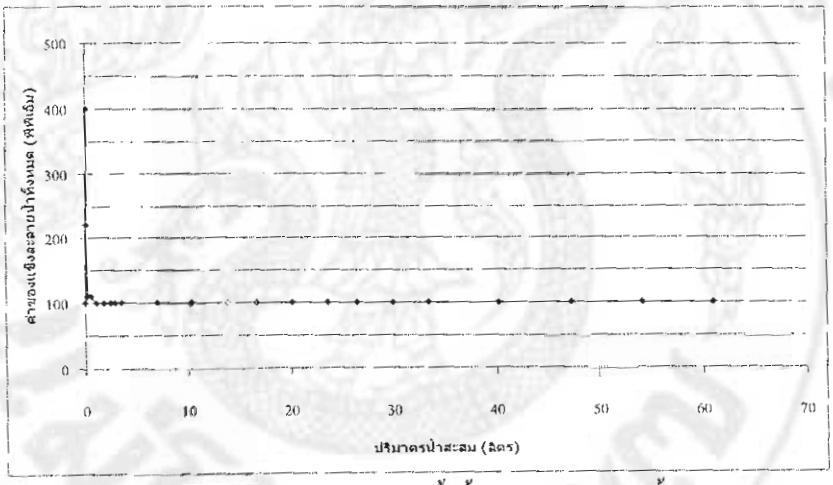

**ภาพที่ 4.21** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1



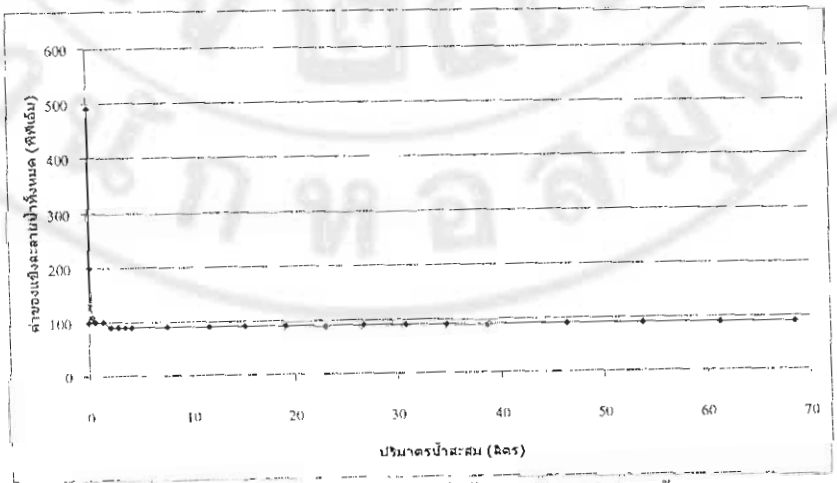

**ภาพที่4.22** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 2



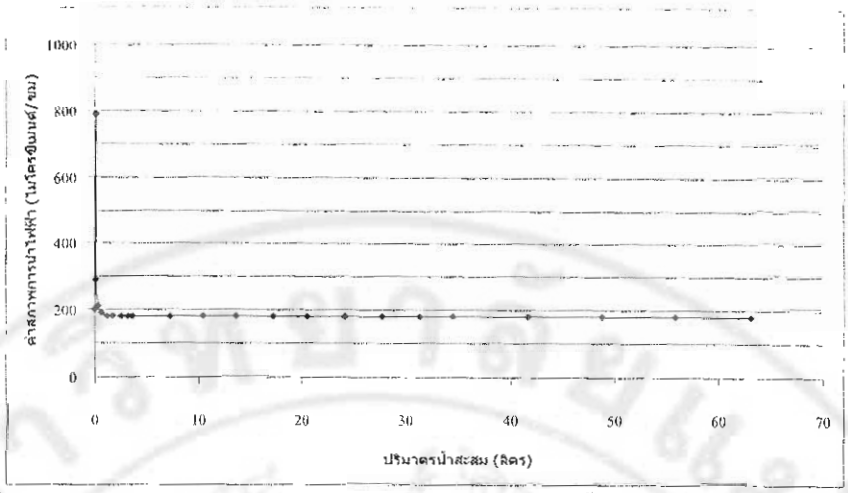

ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1



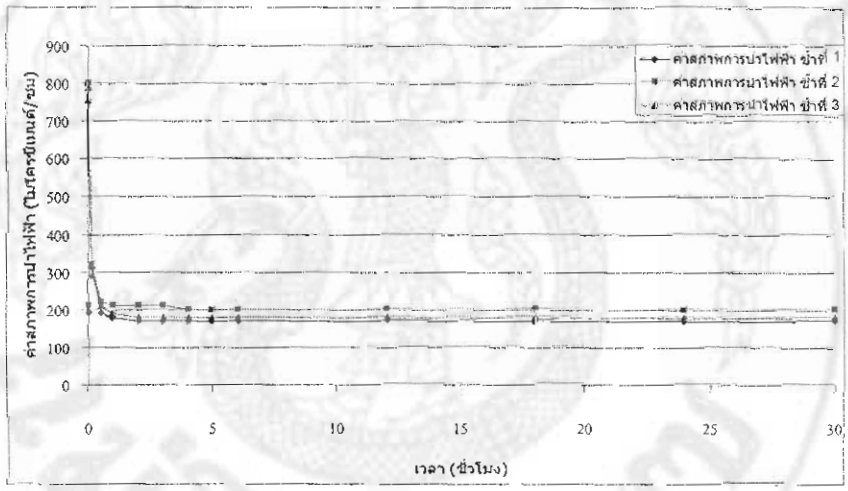

ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 2




ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 3

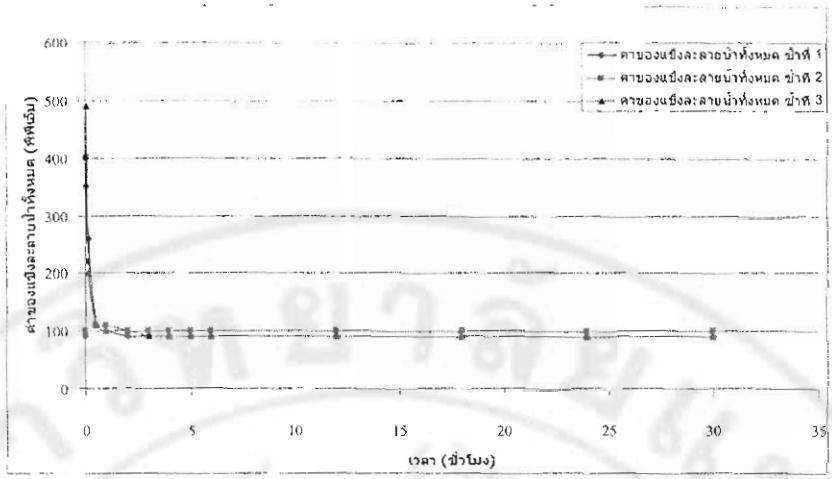



**ภาพที่ 4.23** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 3



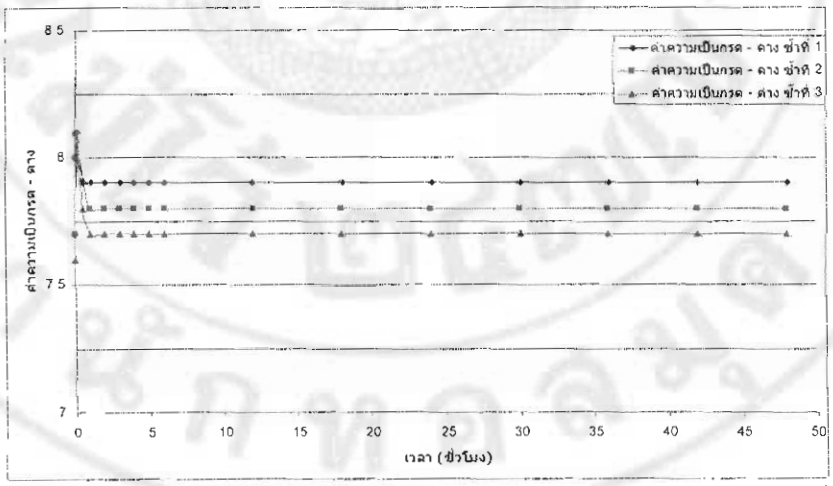

**ภาพที่ 4.24** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับเวลา การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1 - 3

ค) **ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด** จากการทดลองโดยใช้ตัวกลางเป็นเถ้าแกลบกรองน้ำตัวอย่าง ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากัน คือ 90, 100 และ 100 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก4–ก6 และภาพ 4.25, 4.26 และ 4.27 พบว่าในช่วง 10 นาทีแรกที่น้ำผ่านตัวกลางจะมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้นและหลังจากนั้นมีค่าลดลงจนคงที่เท่ากับ 90, 100 และ 90 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ




**ภาพที่ 4.28** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับเวลา การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1 - 3

ง) **ค่าความเป็นกรด-ด่าง** ในการทดลองใช้ตัวกลางเป็นเถ้าแกลบกรองน้ำตัวอย่าง มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้ามีค่า 7.7, 7.7 และ 7.6 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก4–ก6 และภาพ 4.29 พบว่าในช่วง 20 นาทีแรกที่น้ำผ่านตัวกลางจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นเล็กน้อย และหลังจากนั้นมีค่าลดลงจนคงที่เท่ากับ 7.9, 7.8 และ 7.7 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ




**ภาพที่ 4.29** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลา การทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1 - 3

จ) **ค่าของแข็งแขวนลอย** ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้าและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงมีค่า 72.0, 72.0 และ 68.0 มก./ล. และ 55.0, 50.0 และ 57.4 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก4–ก6 พบว่า น้ำผ่านตัวกลางจะมีค่าของแข็งแขวนลอยลดลงและหลังจากนั้นมีค่าลดลงจนคงที่เท่ากับ 1.2, 1.1 และ 1.4 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 97.82, 97.80 และ 97.56 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ฉ) **ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย** ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำเข้ามีค่า 110, 110 และ 70 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ตามตารางที่ ก4–ก6 พบว่า น้ำผ่านตัวกลางมีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียลดลงมีค่าเท่ากับ 40, 40 และ 30 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ ควรผ่านการฆ่าเชื้อโรคเสียก่อน มีประสิทธิภาพในการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 63.64, 63.64 และ 57.14 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

## 4.2 การทดลองที่ 2

### 4.2.1 การทดลองที่ 2.1

จากการทดลองที่ 1.1–1.3 สรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวกลางในการกรองน้ำท่วมมากกว่าถ้าแกลบ เนื่องจากสามารถกรองน้ำได้ปริมาณมากกว่า ใช้เวลาในการกรองน้อยกว่า ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผงไม่สามารถนำมากรองน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ผ่านการกรองมีสีดำของผงถ่าน ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้อุปโภคบริโภค สำหรับการทดลองที่ 2.1 เป็นการศึกษาการทำงานร่วมกันของตัวกลางที่เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ชนิดผง และถ้าแกลบแบบการกรองหลายตัวกลาง (Multimedia Filtration) บรรจุตัวกลางภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว ตัวกลางสูงชนิดละ 20 ซม. มีความสูงรวม 60 ซม. น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง การทดลองทำ 3 ซ้ำ พบว่า ระบบไม่สามารถกรองน้ำได้อย่างเหมาะสมเนื่องจากมีอัตราการกรองที่ช้ามาก คาดว่าเกิดจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงและถ้าแกลบเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดจนน้ำตัวอย่างไม่สามารถแทรกซึมผ่านได้อย่างสะดวก

### 4.2.2 การทดลองที่ 2.2

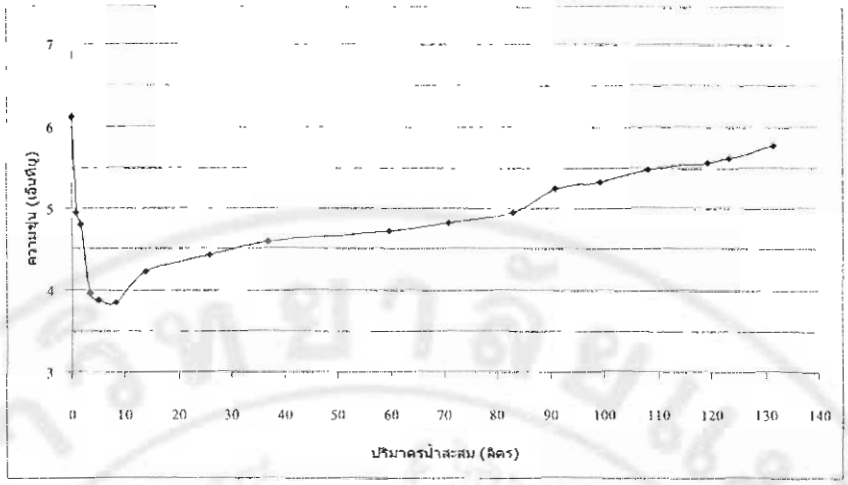
เป็นการทดลองการกรองแบบการทำงานร่วมกันของตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดผง บรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว ตัวกลางสูงชนิดละ 20 ซม. มีความสูงรวม 40 ซม. น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง การทดลองทำ 3 ซ้ำ พบว่า น้ำออกมีสีดำขุ่นของถ่าน ซึ่งเป็นเพราะขนาดของถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีลักษณะเล็กและละเอียด เมื่อนำมากรองน้ำผงถ่านจะไหล

ปะปนออกมากับน้ำออก และการกรองก็มีอัตราการไหลที่ช้ามาก ซึ่งเกิดจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดจนน้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านได้อย่างสะดวก

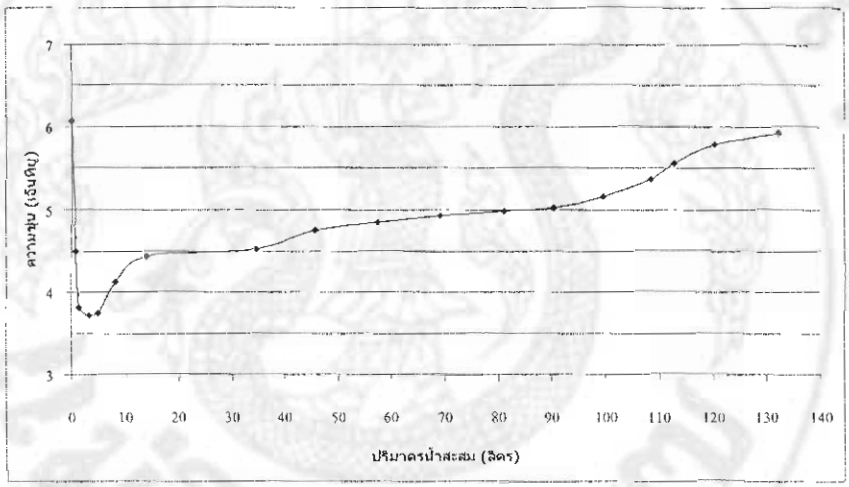
**4.2.3 การทดลองที่ 2.3**

การทดลองนี้เป็นการทดลองใช้ตัวกลางเถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด กรองน้ำตัวอย่าง บรรจุตัวกลางภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว มีความสูงของเถ้าแกลบ 5 ซม. และถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด 15 ซม. รวมเป็นความสูง 20 ซม. สาเหตุที่เลือกใช้ความสูงของถังปฏิกิริยา 20 ซม. แทนที่จะเป็น 40 ซม. ตามแผนการทดลองตามตารางที่ 3.3 ที่กำหนดไว้ เพราะจากผลการทดลองที่ 1.1, 1.3 และ 2.1 ทำให้ทราบว่า เถ้าแกลบจะใช้เวลานานในการกรอง การลดความสูงของเถ้าแกลบเหลือเพียง 5 ซม. น่าจะเป็นความสูงที่มีความเหมาะสมในการทำงานร่วมกันกับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด และยังสอดคล้องกับทฤษฎีการกรอง คือ การกรองจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของตัวกลางลึกเพียง 1–2 นิ้วเท่านั้น (เกรียงศักดิ์, 2539)

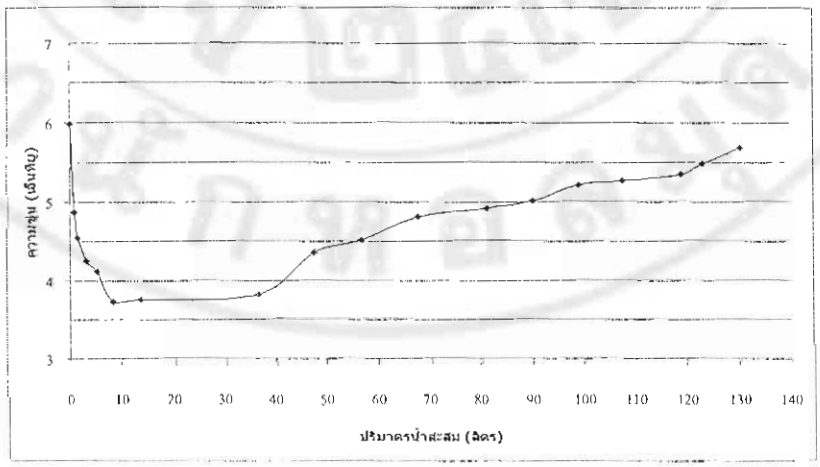
**ก) ค่าความขุ่น** น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง ค่าความขุ่นของน้ำและภายหลังนำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชม. มีค่า 19.71, 16.8 และ 17.62 เอ็นทียู และ 6.11, 6.07 และ 5.98 เอ็นทียู สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก7–ก9 และภาพ 4.30 4.31และ 4.32 พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อผ่านการกรอง และค่อย ๆ เพิ่มขึ้น มีค่าความขุ่นต่ำที่สุดเฉลี่ย 3.85 เอ็นทียู ที่เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาอุปโภคบริโภคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (5 เอ็นทียู) พบว่า ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรน้ำสะสม 82.95, 81.12 และ 80.20 ลิตร ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ การทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดอย่างเดียวของการทดลองที่ 1.1 พบว่า การกรองโดยการทำงานร่วมกันของเถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดให้ปริมาณน้ำสะสมน้อยกว่าและใช้เวลาในการกรองมากกว่า



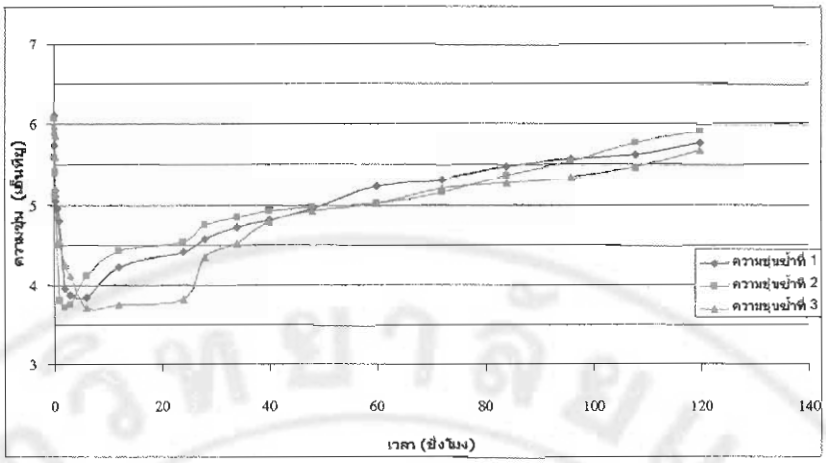

ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 2



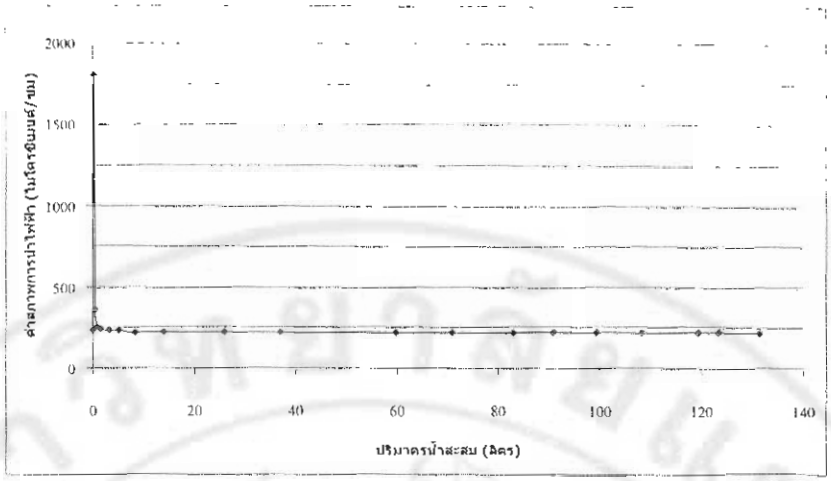

ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 3



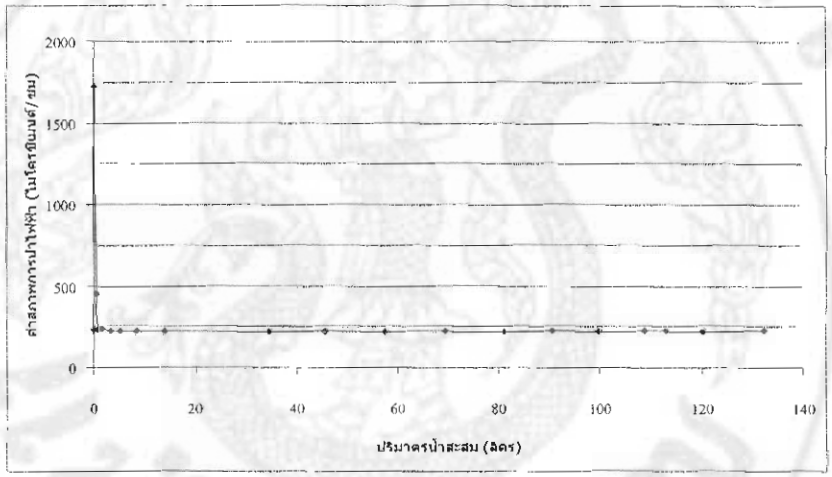

**ภาพที่ 4.33** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับเวลา การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1- 3

**ภาพที่ 4.34** น้ำตัวอย่าง, น้ำที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง, และน้ำที่ผ่านการกรองของการทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1

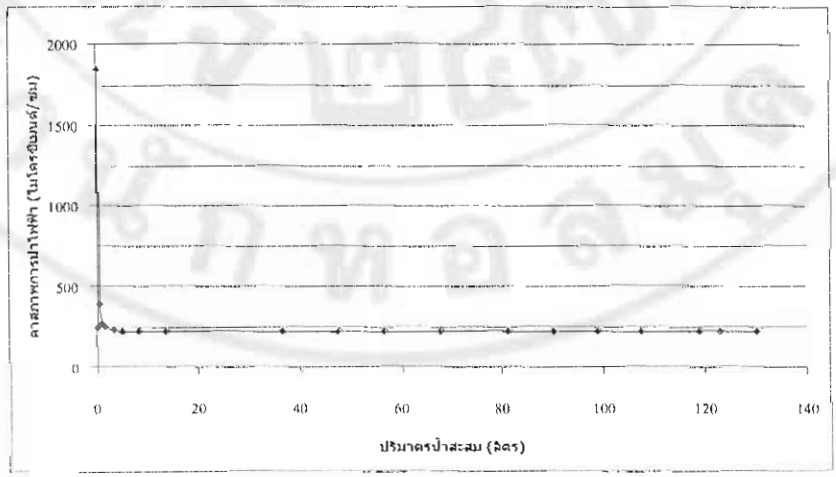
**ข) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า** เมื่อนำน้ำตัวอย่างมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเข้ามีค่า 230, 230 และ 240 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ การทดลองทำ 3 ซ้ำ จากข้อมูลตามตารางที่ ก7–ก9 และภาพ 4.35, 4.36 และ 4.37 พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในน้ำออกมีค่าสูงมากในช่วง 30 นาทีแรกของการกรอง แต่เมื่อเวลาผ่านไปมีค่าลดลงและคงที่ คือ 220, 220 และ 230 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



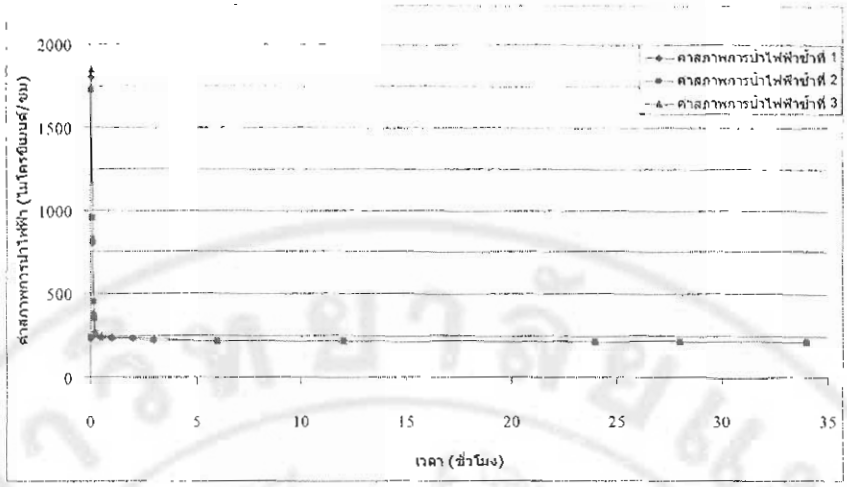

ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าในกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 2

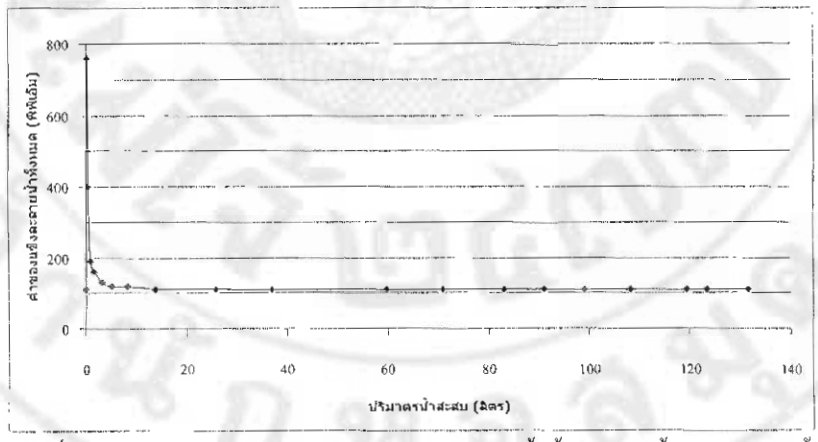



ภาพที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่กับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 3

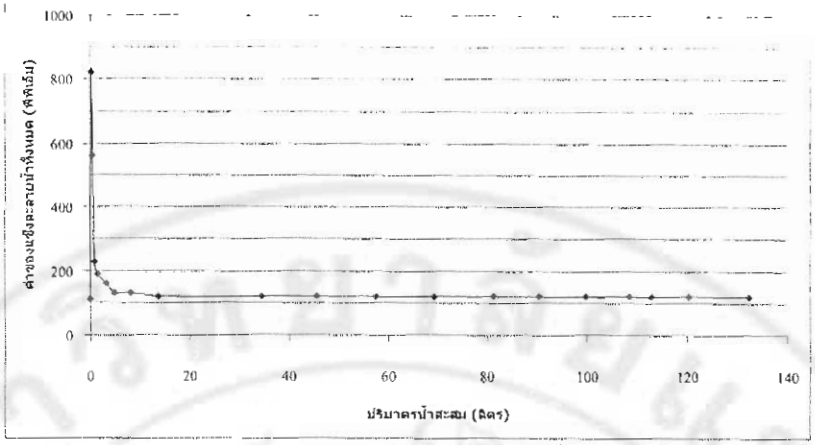



**ภาพที่ 4.38** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่กับเวลา การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1 - 3

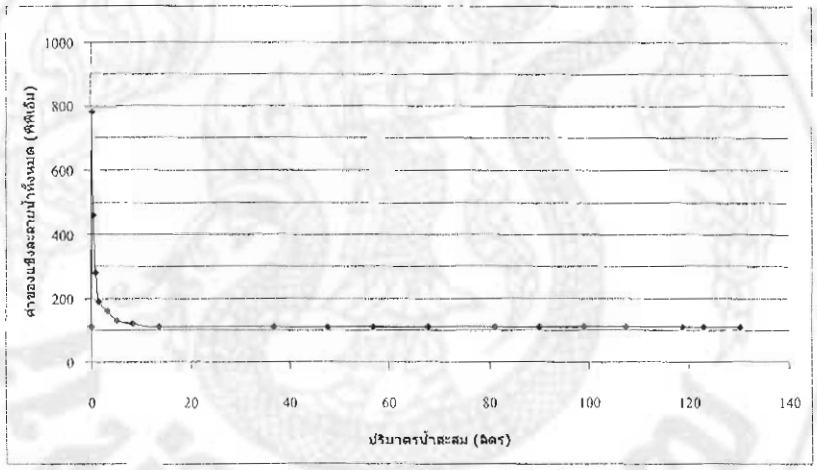
ค) **ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด** น้ำตัวอย่างมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 110, 110 และ 120 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก7–ก9 และภาพ 4.39 4.40 และ 4.41 พบว่า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำออกมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงในช่วง 20 นาทีแรก คาดว่าเกิดจากการละลายน้ำของผงถ่านกัมมันต์และเถ้าแกลบออกมา หลังจากนั้นลดลงจนมีค่าคงที่ มีค่าเท่ากับของน้ำเข้า ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้



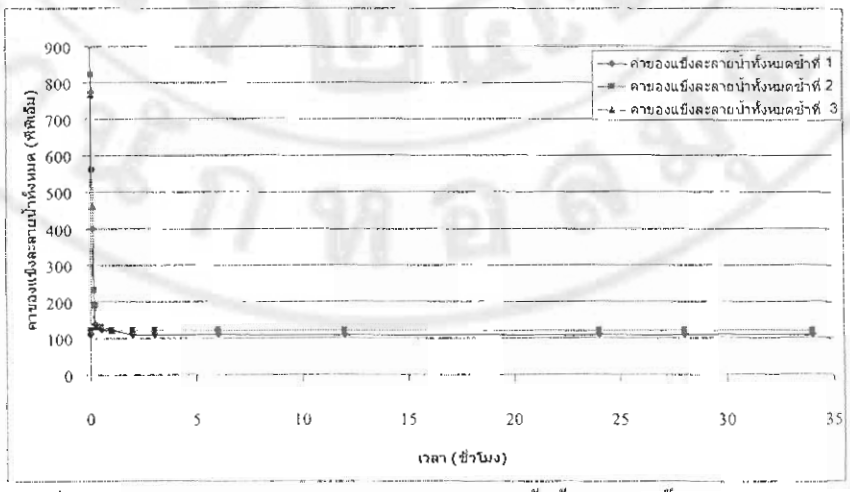

**ภาพที่ 4.39** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 2

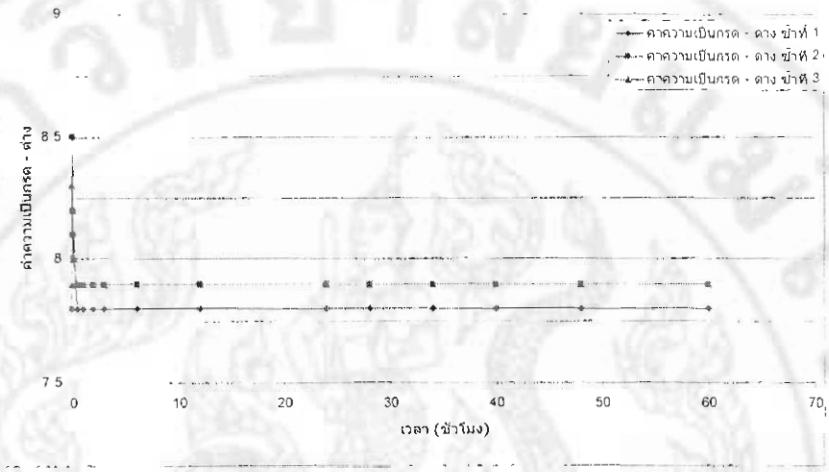



ภาพที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 3




ภาพที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำกับเวลา การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1 - 3

**ง) ค่าความเป็นกรด-ด่าง** น้ำเข้ามีค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.8, 7.8 และ 7.9 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก7–ก9 และภาพ 4.43 พบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่างในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วง 20 นาทีแรก คาดว่าเกิดจากเศษผงของฉนวนกัมมันต์และเถ้าแกลบละลายน้ำและทำให้ค่าความเป็นกรด–ด่างสูงขึ้น หลังจากนั้นลดลงจนมีค่าคงที่ คือมีค่าเท่ากับ 7.8, 7.9 และ 7.9 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้




**ภาพที่ 4.43** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด – ด่าง กับเวลา การทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1 – 3

**จ) ค่าของแข็งแขวนลอย** น้ำตัวอย่างมีค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้าเท่ากับ 77.5, 62.5 และ 70.0 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก7-ก9 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าคงที่ 2.8, 2.6 และ 2.5 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 96.39, 95.84 และ 96.43 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

**ฉ) ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย** ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียของน้ำเข้ามีค่า 90, 140 และ 150 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตามตารางที่ ก7–ก9 พบว่า ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำออกหลังจากการกรองมีค่าลดลง มีค่า 40, 70 และ 70 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด ควรผ่านการฆ่าเชื้อโรคก่อนนำมาใช้บริโภค ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 55.55, 50.00 และ 53.33 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

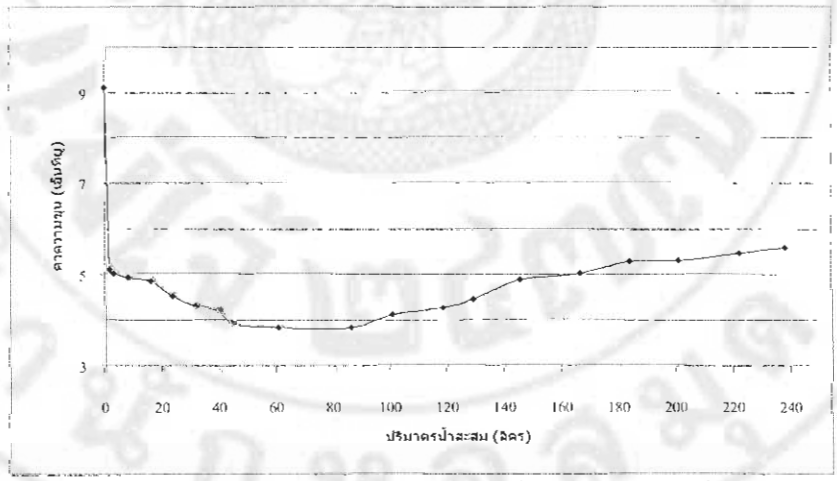
4.3 การทดลองที่ 3

จากผลการทดลองที่ 1 และ 2 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาในสภาพการทำงานจริง โดยศึกษาจากตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด และจากการทำงานร่วมกันของเถ้าแกลบกับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ภายในถังปฏิกิริยาต้นแบบท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว สูง 20 เซนติเมตร

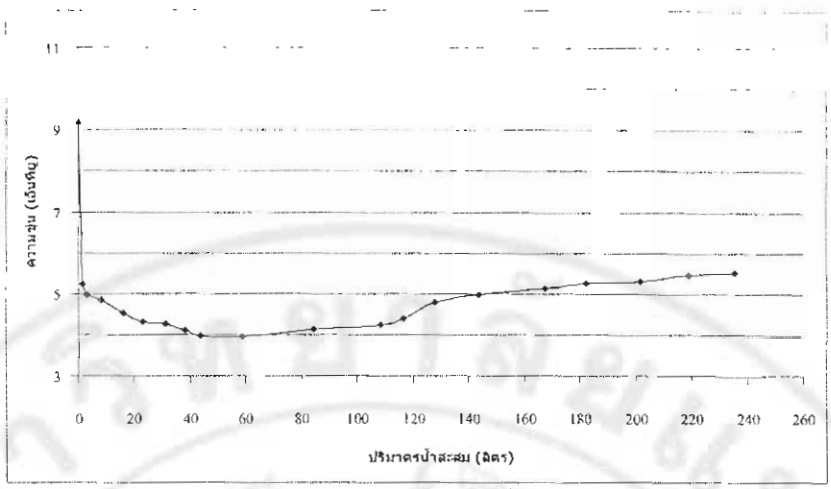
**4.3.1 การทดลองที่ 3.1**

เป็นการทดลองใช้ตัวกลางเถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดกรองน้ำตัวอย่าง มีความสูงของเถ้าแกลบ 5 ซม. และถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด 15 ซม. รวมเป็นความสูง 20 ซม.

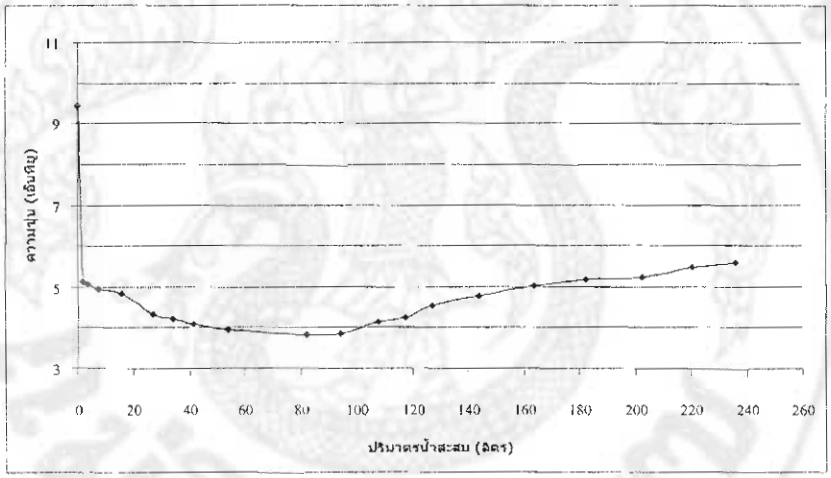
ก) **ค่าความขุ่น** การทดลองทำ 3 ซ้ำ โดยใช้น้ำตัวอย่างจากแม่น้ำปิง ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างและภายหลังทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่า 17.52, 16.25 และ 15.83 เอ็นทียู และ 9.13, 9.16 และ 9.43 เอ็นทียู สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 และภาพ 4.44, 4.45 และ 4.46 พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อผ่านการกรอง มีค่าต่ำที่สุดเฉลี่ย 4.10 เอ็นทียู ที่เวลาประมาณ 15 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (5 เอ็นทียู) พบว่า ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรสะสม 145.47, 143.47 และ 143.74 ลิตร สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยใช้เวลา 84 ชั่วโมง มีอัตราการกรองน้ำประมาณ 0.1 ลิตร/นาที



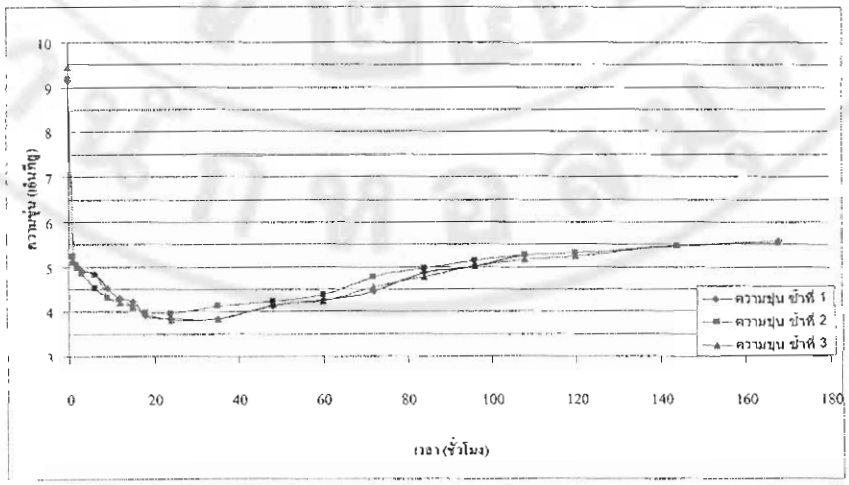

**ภาพที่ 4.44** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสมการ ทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 2



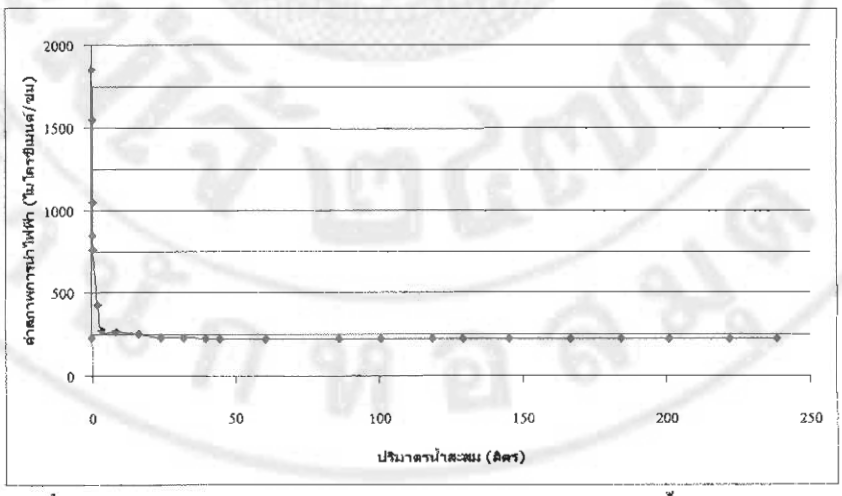

ภาพที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 3



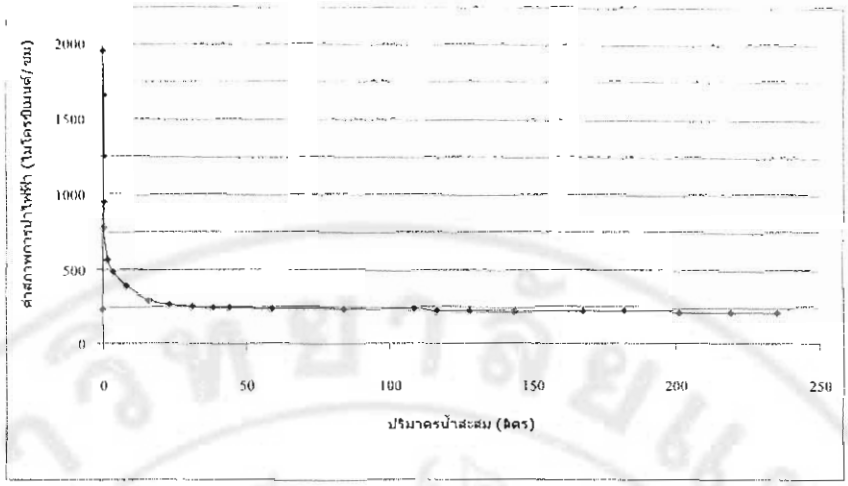

ภาพที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับเวลา การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1- 3

**ภาพที่ 4.48** น้ำตัวอย่าง น้ำที่ทิ้งตกตะกอน และน้ำผ่านการกรอง การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1

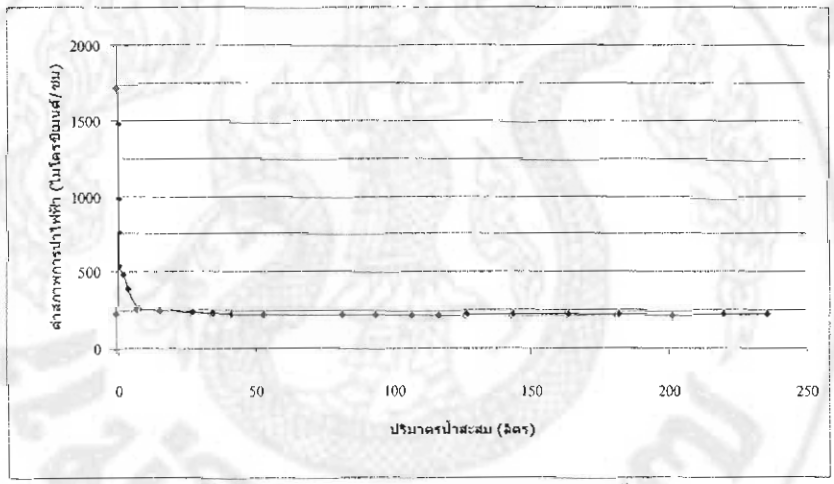
**ข) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า** น้ำตัวอย่างมีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 230, 240 และ 230 ไมโครซีเมนต์/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 และภาพ 4.49, 4.50 และ 4.51 พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในน้ำออกมีค่าสูงในระยะแรก แต่หลังจากนั้นมีค่าลดลงจนคงที่และมีค่า 220, 220 และ 210 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าไม่เกินค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำประปาของมลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้ (1,600 ไมโครซีเมน/ซม.)



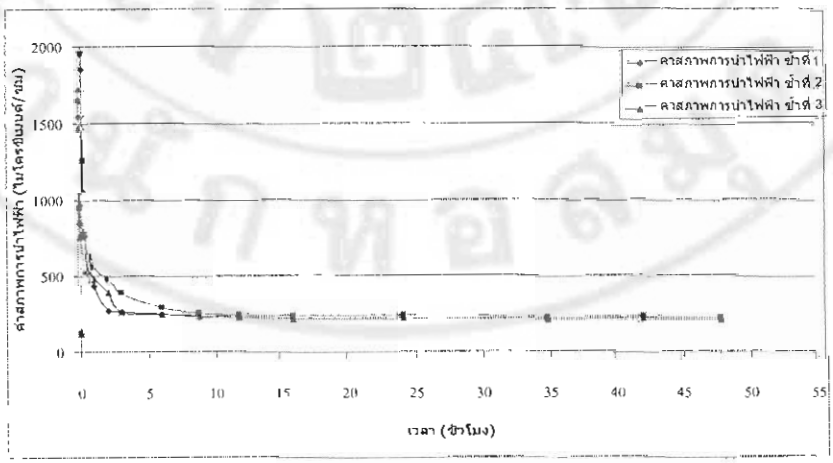

**ภาพที่ 4.49** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 2

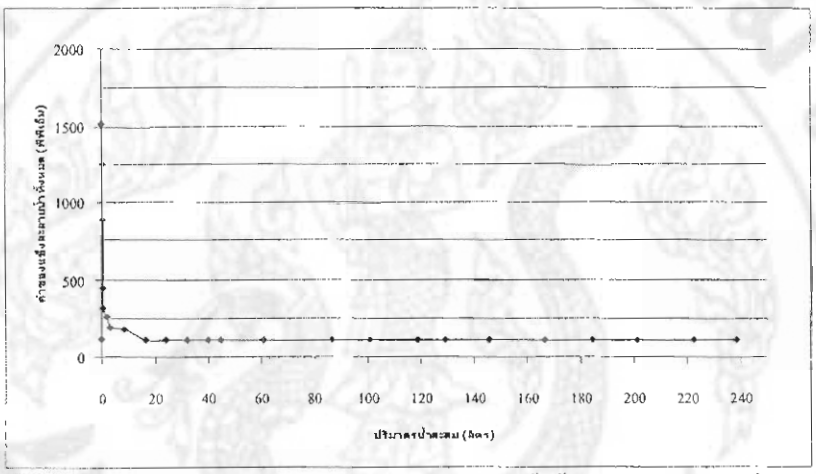



ภาพที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 3

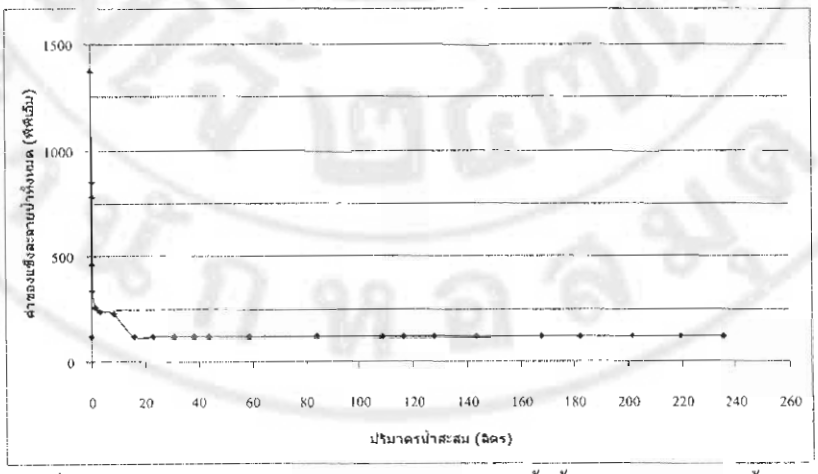



ภาพที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับเวลา การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1- 3

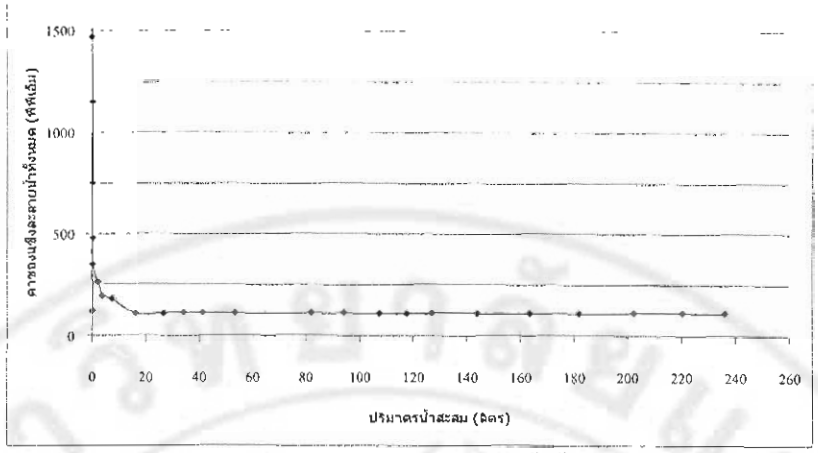
ค) ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด น้ำตัวอย่างที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 120 พีพีเอ็ม เท่ากันทั้ง 3 ซ้ำ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 และภาพ 4.53, 4.54 และ 4.55 พบว่า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำออกมีค่าสูงในช่วง 20 นาทีแรก ซึ่งเกิดจากการละลายน้ำของผงถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและเถ้าแกลบออกมา แต่พอเวลาผ่านไปน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดลดลงจนคงที่ มีค่า 110, 120 และ 110 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวงซึ่งกำหนดให้มีค่า 1,000 มก./ล. พบว่ามีค่าไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้



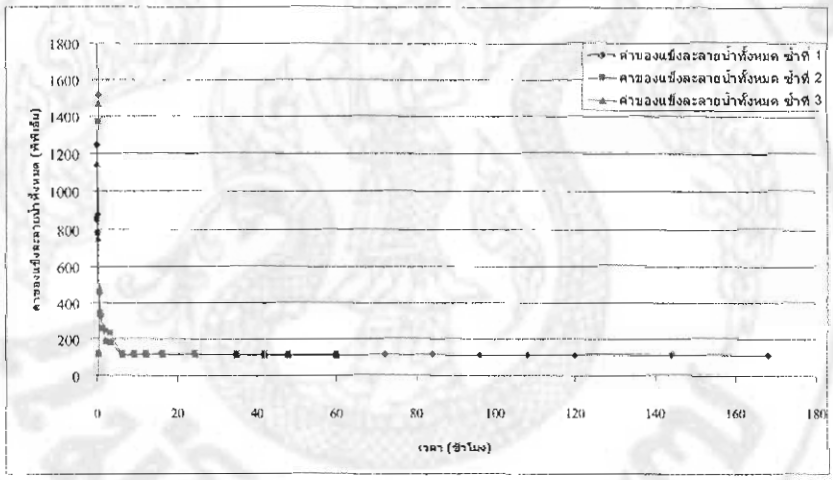

ภาพที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 2

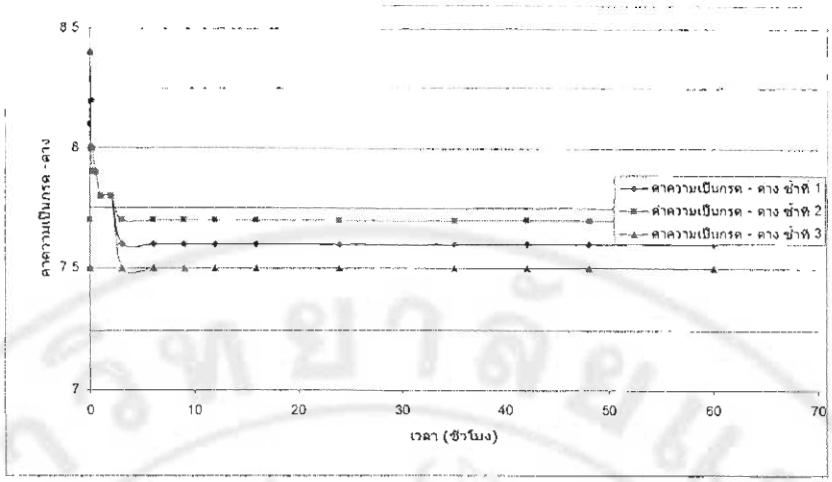



**ภาพที่ 4.55** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.1ซ้ำที่ 3




**ภาพที่ 4.56** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับเวลา การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1 – 3

**ง) ค่าความเป็นกรด-ด่าง** น้ำตัวอย่างและน้ำที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.5, 7.7 และ 7.5 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 และภาพ 4.57 พบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่างในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นในช่วง 20 นาทีแรก แต่พอเวลาผ่านไป น้ำออกมีค่าลดลงจนคงที่ และมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้า คือมีค่าเท่ากับ 7.6, 7.7 และ 7.5 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้




**ภาพที่ 4.57** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด–ด่างกับเวลา การทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1 - 3

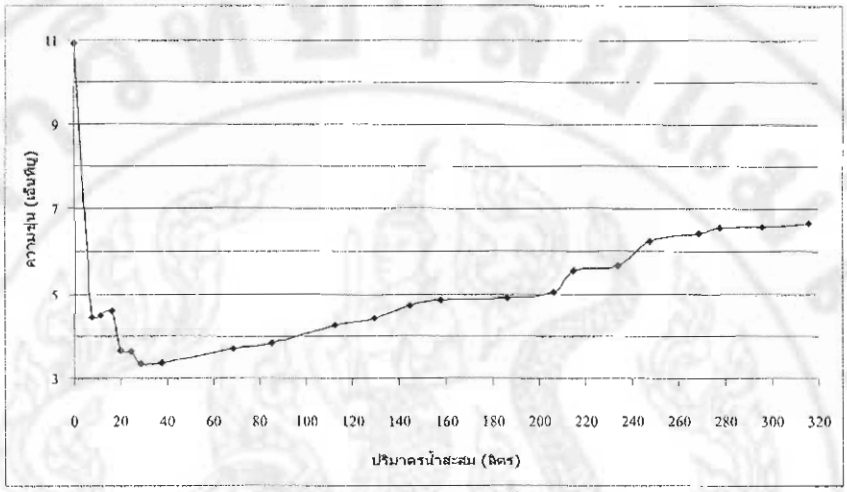
**จ) ค่าของแข็งแขวนลอย** น้ำตัวอย่างที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่าของแข็งแขวนลอย 130.0, 120.0 และ 120.0 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าลดลงและคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.9, 2.8 และ 2.8 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 97.77, 97.67 และ 97.67 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

**ฉ) ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย** น้ำตัวอย่างที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมงมีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 140,150 และ 150 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10–ก12 พบว่า ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำออกที่ผ่านการกรอง 1 ชั่วโมง มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 70, 70 และ 90 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานกำหนด ไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้โดยไม่ผ่านการฆ่าเชื้อโรค ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 50.00, 53.33 และ 40.00 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

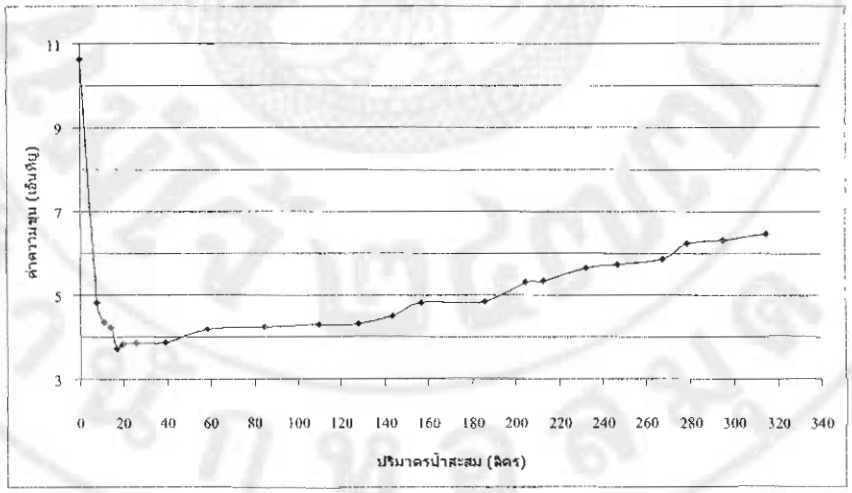
### 4.3.2 การทดลองที่ 3.2

การทดลองนี้ใช้ตัวกลางเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดกรองน้ำตัวอย่าง บรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว สูง 20 ซม. การทดลองทำ 3 ซ้ำ ซ้ำที่ 1 น้ำตัวอย่างเป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าความขุ่น 34.10 เอ็นทียู นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าความขุ่น 10.91 เอ็นทียู ซ้ำที่ 2 เป็นน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำปิง มีค่าความขุ่น 33.10 เอ็นทียู นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าความขุ่น 10.63 เอ็นทียู และซ้ำที่ 3 เป็นน้ำท่วมจากอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีค่าความขุ่น 32.35 เอ็นทียู นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง มีค่าความขุ่น 10.52 เอ็นทียู จากข้อมูลตามตารางที่ ก13–

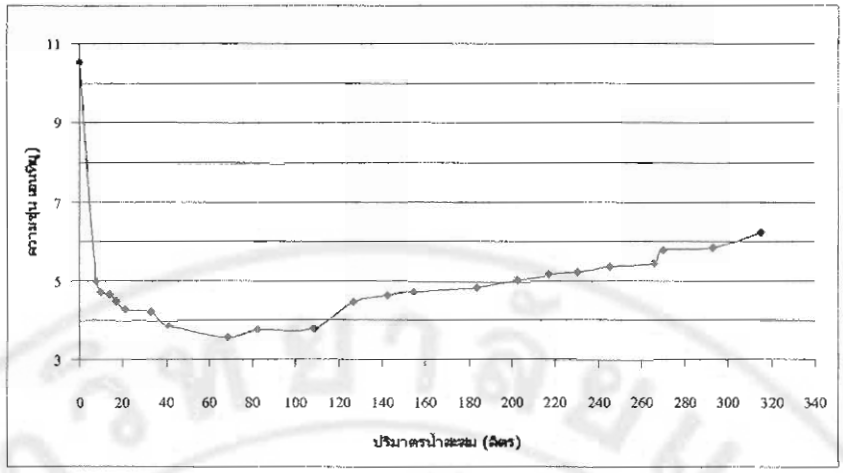
ก15 และภาพ 4.58, 4.59 และ 4.60 พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อผ่านการกรอง มีค่าต่ำที่สุดเฉลี่ย 3.8 เอ็นทียู ที่เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ค่าความขุ่นของน้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาอุปโภคบริโภคตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (5 เอ็นทียู) พบว่า ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรสะสม 186.30, 185.60 และ 183.60 ลิตร สำหรับซ้ำที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ โดยใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 48 ชั่วโมง มีค่าอัตราการกรองน้ำเฉลี่ย 0.15 ลิตร/นาที



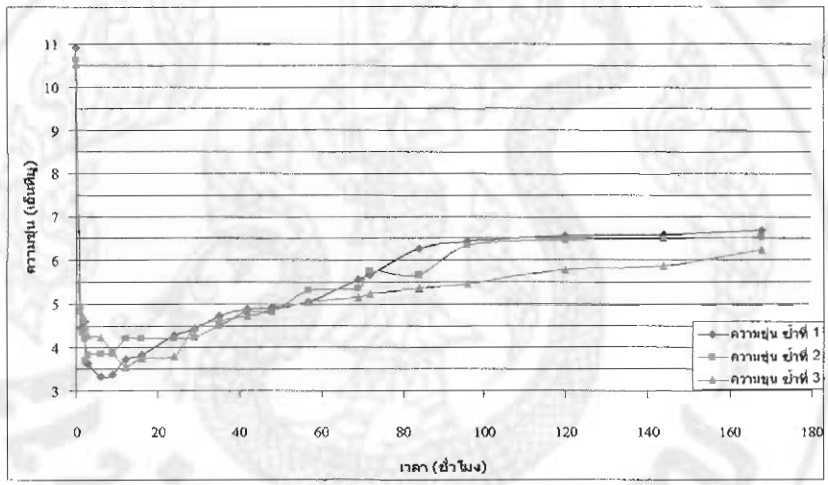

ภาพที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1



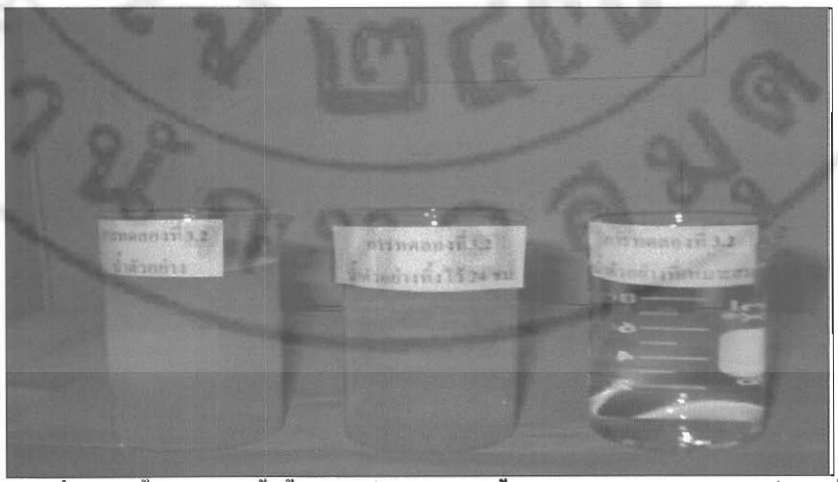

ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 2




**ภาพที่ 4.60** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 3

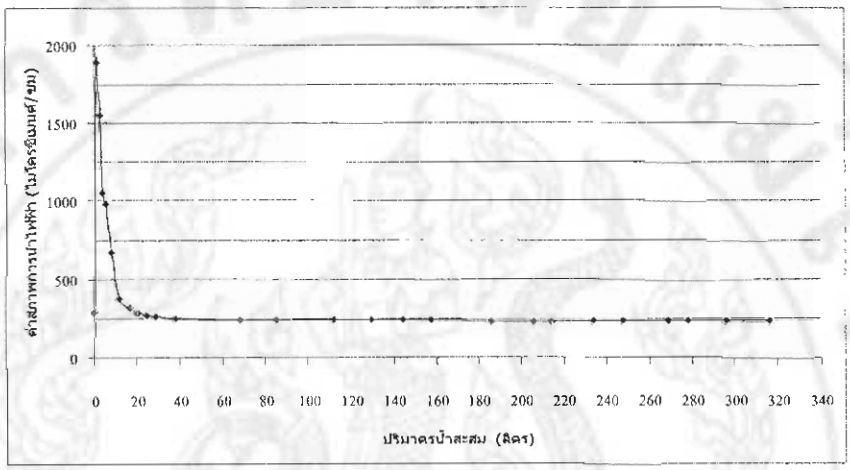



**ภาพที่ 4.61** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำออกกับเวลา การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1 – 3

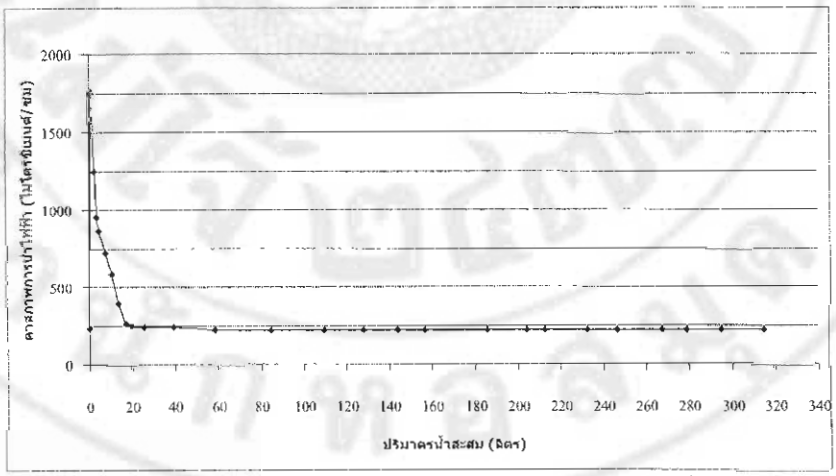


**ภาพที่ 4.62** น้ำตัวอย่าง น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และน้ำผ่านการกรอง การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1

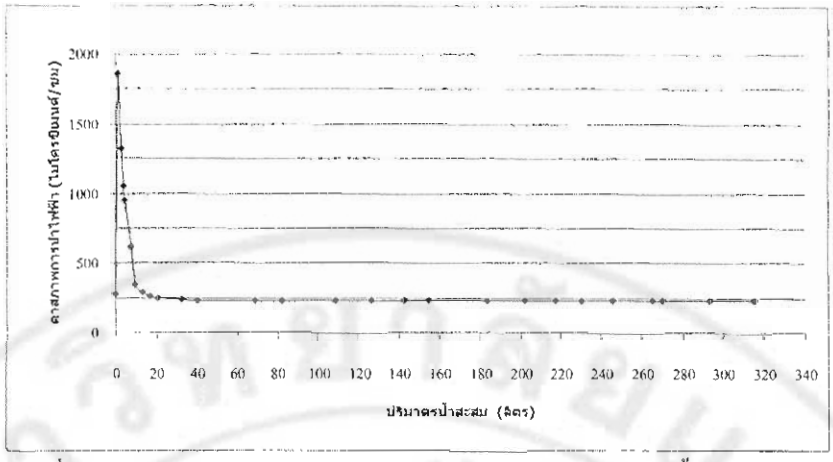
ข) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 290 ไมโครซีเมน/ซม. (ซ้ำที่ 1) น้ำจากแม่น้ำปิงมีค่า 230 ไมโครซีเมน/ซม. (ซ้ำที่ 2) และน้ำท่วม อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีค่า 280 ไมโครซีเมน/ซม. (ซ้ำที่ 3) นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง จากข้อมูลตามตารางที่ ก13–ก15 และภาพ 4.63, 4.64 และ 4.65 พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าสูงในช่วงแรก หลังจากนั้นมีค่าลดลงและมีค่าคงที่เท่ากับ 230, 220 และ 230 ไมโครซีเมน/ซม. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



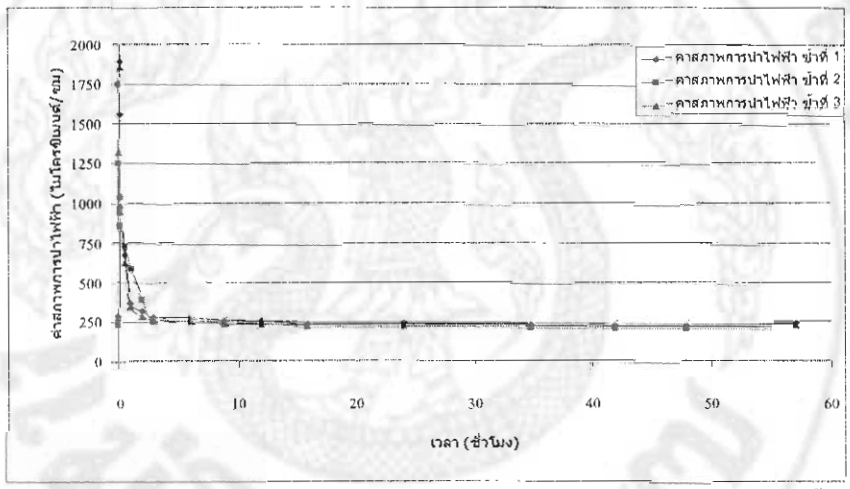

ภาพที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 2

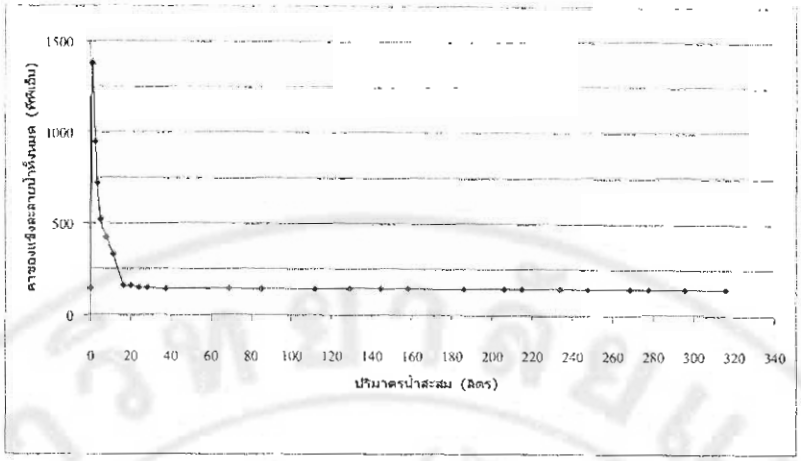



ภาพที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 3

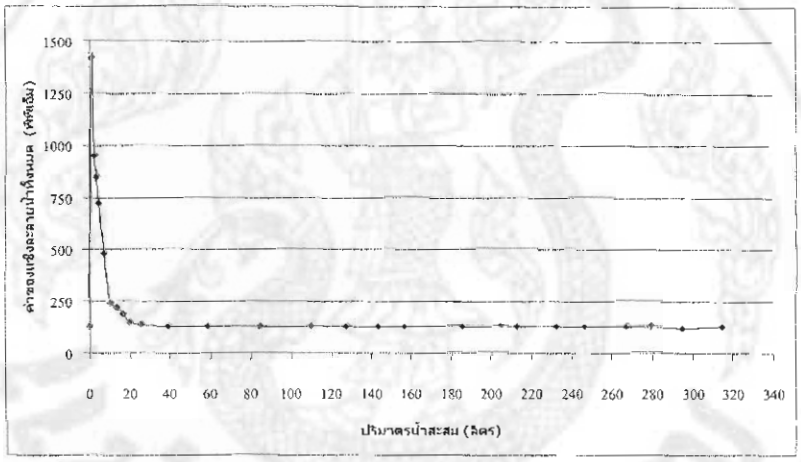



ภาพที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับเวลา การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1 - 3

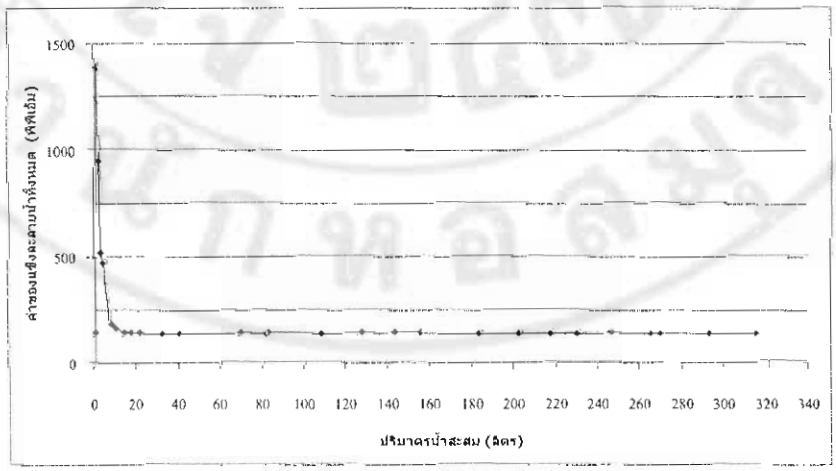
ค) **ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด** น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 140 พีพีเอ็มในซ้ำที่ 1 ส่วนซ้ำที่ 2 เป็นน้ำจากแม่น้ำปิงมีค่า 130 พีพีเอ็ม และซ้ำที่ 3 เป็นน้ำท่วมจากอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีค่า 140 พีพีเอ็ม นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำเข้ามีค่า 130, 120 และ 130 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตาราง ก10–ก12 และภาพ 4.67, 4.68 และ 4.69 พบว่า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำออกมีค่าสูงในช่วงแรก แต่พอเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการกรองจะมีค่าลดลงจนคงที่ และมีค่าเท่ากับ 140, 130 และ 140 พีพีเอ็ม สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (1,000 มก./ล.)



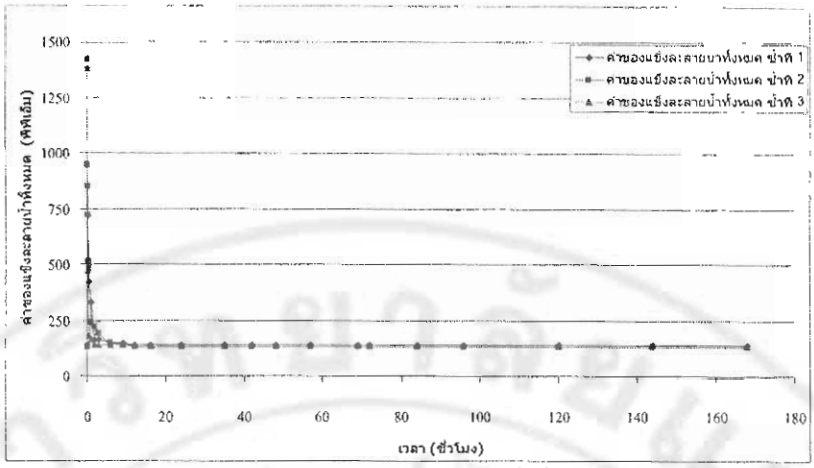

ภาพ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1




ภาพที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 2

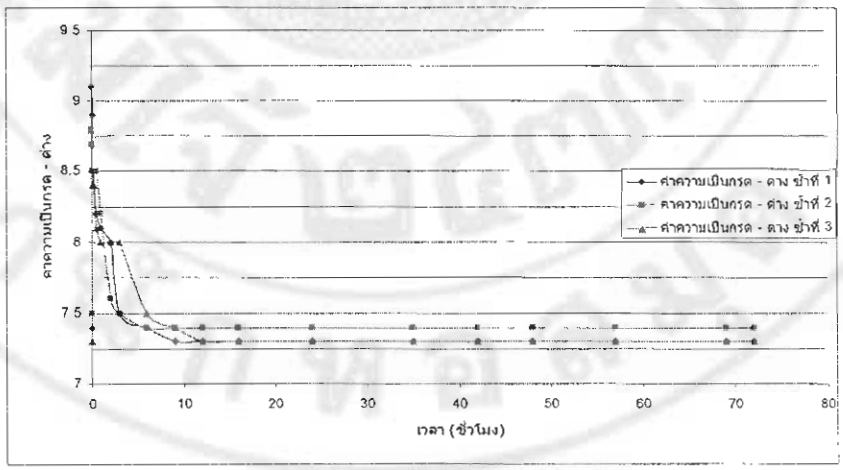



ภาพ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 3




**ภาพ 4.70** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับเวลา การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1 - 3

**ง) ค่าความเป็นกรด–ด่าง** น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าความเป็นกรด–ด่าง 7.4 ในซ้ำที่ 1 ซ้ำที่ 2 เป็นน้ำจากแม่น้ำปิงมีค่า 7.6 และซ้ำที่ 3 เป็นน้ำท่วมจากอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัยมีค่า 7.8 นำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด–ด่างของน้ำเข้ามีค่า 7.4, 7.5 และ 7.3 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก10 –ก12 และภาพ 4.71 พบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่าง ในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นในช่วงแรก แต่พอเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง มีค่าลดลงจนคงที่ และมีค่า 7.3, 7.4 และ 7.3 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



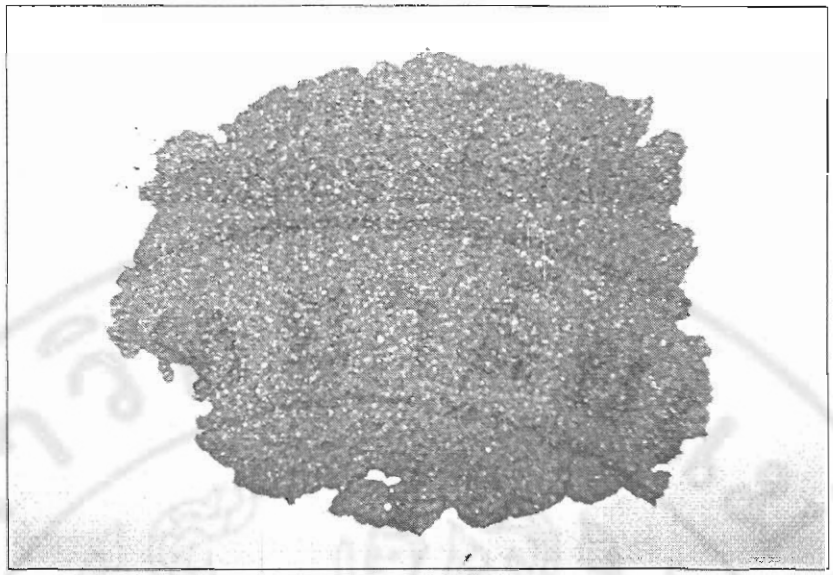

**ภาพที่ 4.71** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด–ด่าง กับเวลา การทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1 – 3

จ) ค่าของแข็งแขวนลอย น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าของแข็งแขวนลอย 190 มก./ล. ในซ้ำที่ 1 ซ้ำที่ 2 เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง มีค่า 160 มก./ล. และซ้ำที่ 3 เป็น น้ำท่วมจากอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัยเดือนกันยายน 2546 มีค่า 210 มก./ล. เมื่อนำมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้ามีค่า 110, 105 และ 140 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลตามตารางที่ ก13–ก15 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าลดลงจนคงที่ มีค่าเท่ากับ 1.6, 1.5 และ 1.8 มก./ล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพในการกรองค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 98.54, 98.57 และ 98.71 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ฉ) ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย น้ำตัวอย่างที่ใช้ในซ้ำที่ 1 เป็นน้ำจากฝายแม่แฝก มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 210 เอ็มพีเอ็น/100มล. ซ้ำที่ 2 เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง มีค่า 200 เอ็มพีเอ็น/100มล. และซ้ำที่ 3 เป็นน้ำท่วมจากจังหวัดสุโขทัย มีค่า 280 เอ็มพีเอ็น/100มล. พบว่า ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำออกมีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียลดลง มีค่าเท่ากับ 110, 90 และ 90 เอ็มพีเอ็น/100มล. สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคกำหนด (2.2 เอ็มพีเอ็น/100มล.) จึงไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ หากไม่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคเสียก่อน ระบบมีประสิทธิภาพในการกรองค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 47.62, 55.00 และ 67.85 สำหรับซ้ำที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

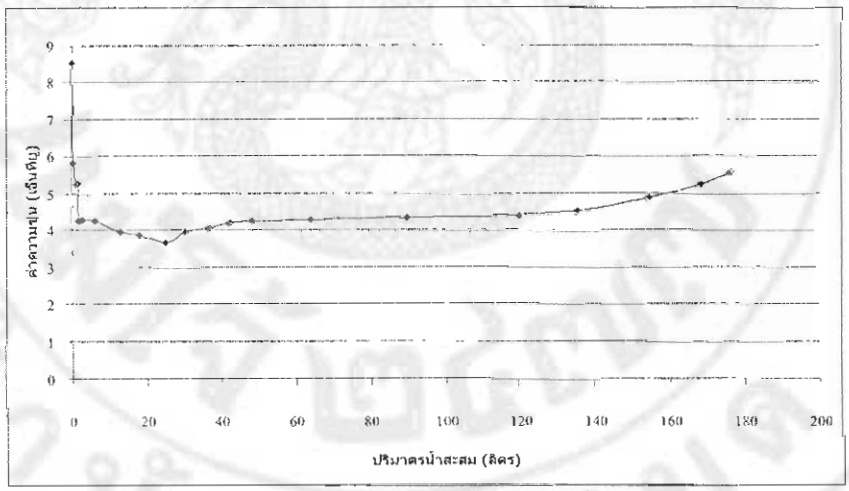
**4.4 การกรองน้ำด้วยทรายละเอียด**

เพื่อให้มีการเปรียบเทียบกับการกรองน้ำท่วมด้วยถ่านกัมมันต์ จึงได้ทดลองใช้ตัวกลางที่เป็นทรายละเอียดนำมากรองน้ำตัวอย่าง บรรจุตัวกลางภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว สูง 20 ซม. น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากแม่น้ำปิง การทดลองทำ 1 ซ้ำ โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวกลาง คือ นำทรายละเอียดมาล้างน้ำให้สะอาด 8–10 ครั้ง เพื่อล้างออกสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับทราย หลังจากนั้นนำมาบรรจุลงในถังปฏิกิริยา แล้วกรองน้ำตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอน 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ คือ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าความขุ่น ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ค่าของแข็งแขวนลอย และค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังแสดงค่าตามตารางที่ ก16



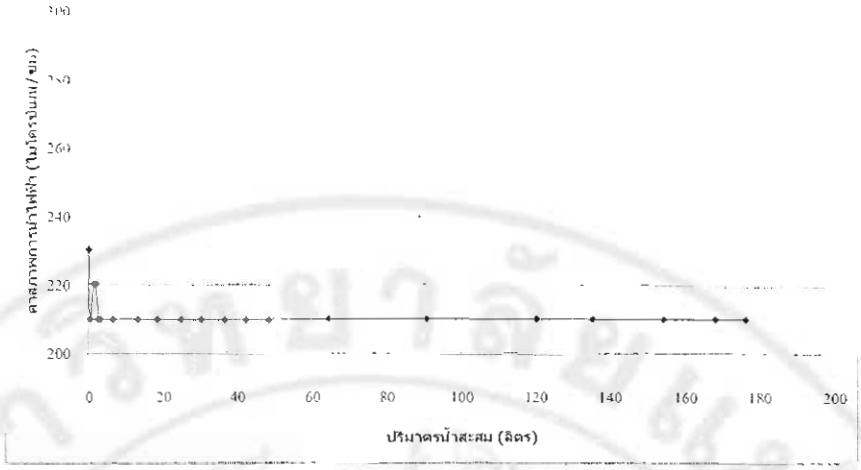
ภาพที่ 4.72 ตัวกลางทรายละเอียด

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นในน้ำออกที่ผ่านการกรองกับปริมาตรน้ำสะสม มีลักษณะดังภาพ 4.73 ระบบสามารถกรองน้ำได้ปริมาตรน้ำสะสม 154.45 ลิตร โดยใช้เวลา 36 ชั่วโมง



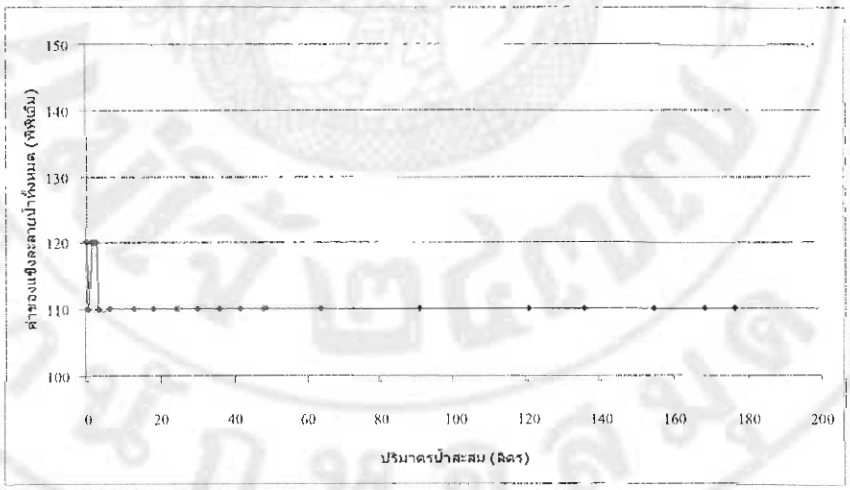

ภาพที่ 4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับปริมาตรน้ำสะสมของการกรองด้วยทราย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำออกกับเวลา ดังภาพที่ 4.74 พบว่า ค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงจนมีค่าคงที่ในที่สุด มีค่า 210 ไมโครซีเมน/ซม.




ภาพที่ 4.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาตรน้ำสะสมของการกรองด้วยทราย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสม ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะแรก แล้วลดลงจนเป็นเส้นตรง และมีค่าคงที่เท่ากับค่าของน้ำเข้าคือ 110 พีพีเอ็ม ตามภาพ 4.75 ซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถลดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้เพราะทรายเป็นตัวกลางที่ไม่เกิดกระบวนการดูดติดผิว และน้ำตัวอย่างมีปริมาณค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดต่ำ




ภาพที่ 4.75 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดกับปริมาตรน้ำสะสมของการกรองด้วยทราย

สำหรับค่าความเป็นกรด–ด่าง จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่างของน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าเท่ากันคือมีค่าเท่ากับ 7.2 ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออกมีค่าลดลง จากน้ำเข้า 82.0 มก./ล. เป็น 15.0 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 81.71

ซึ่งกลไกในการลดค่าของแข็งแขวนลอยมาจากกระบวนการกรอง (Filtration) โดยทรายทำหน้าที่เป็นตัวกรอง กรองแยกอนุภาคแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่เป็นสาเหตุของตะกอนของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำตัวอย่าง และสำหรับค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย น้ำเข้ามีค่า 90 เอ็มพีเอ็น/100มล. และเมื่อผ่านการกรองด้วยทราย มีค่าลดลงเล็กน้อยคือมีค่า 70 เอ็มพีเอ็น/100มล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 22.22

**ภาพที่ 4.76** น้ำตัวอย่าง น้ำที่ทิ้งตกตะกอน 24 ชั่วโมง และน้ำที่ผ่านการกรองด้วยทรายละเอียด

จากผลการทดลองกรองน้ำตัวอย่างด้วยทรายละเอียด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองกรองน้ำตัวอย่างด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด พบว่าทั้งสองการทดลองให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำออกใกล้เคียงกัน แต่จะมีข้อแตกต่างกันที่น้ำหนักของตัวกลางทรายจะมีน้ำหนักมากกว่า คือหนักถึง 1,500 กรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์หนักเพียง 550 กรัม และในการเตรียมทรายละเอียด ต้องล้างทำความสะอาด 8–10 ครั้ง จึงจะนำมาใช้กรองน้ำได้ แต่ถ่านกัมมันต์สามารถนำมากรองได้เลยไม่มีความยุ่งยาก ซึ่งในกรณีที่ตัวอย่างน้ำท่วมมีสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ปนเปื้อน ถ่านกัมมันต์สามารถใช้กลไกของกระบวนการดูดติดผิวกำจัดออกได้ ในขณะที่ทรายไม่สามารถดูดติดผิวได้

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วมด้วยกระบวนการกรองและกระบวนการดูดติดผิว ที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ชนิดผง และเถ้าแกลบ เป็นตัวกลาง ใช้น้ำตัวอย่างจากแม่น้ำปิง ฝายแม่แฝก จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำท่วมจากบ้านวังโพธิ์ ตำบลยางซ้าย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีข้อสรุป ข้อค้นพบ และข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

## 5.1 ข้อค้นพบและสรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา พบว่า กลไกในการทำความสะอาดน้ำตัวอย่างด้วยตัวกลาง 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ชนิดผง และเถ้าแกลบ เป็นกระบวนการกรองทั้งหมด โดยไม่มีกระบวนการดูดติดผิว เพราะน้ำตัวอย่างมีความเจือจางมาก สารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายในน้ำมีปริมาณน้อย จนไม่เกิดกระบวนการดูดติวผิว

ในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวกลางแต่ละชนิดบรรจุภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซีขนาด 1.5 นิ้ว สูง 20 ซม. น้ำตัวอย่างทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงไม่สามารถนำมาใช้กรองน้ำได้ เนื่องจากมีผงถ่านไหลปะปนออกมากับน้ำออกด้วย ในขณะที่เถ้าแกลบกรองน้ำได้ช้าจนไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กรองน้ำ ส่วนการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ภายหลังการกรองทิ้ง 20 นาที ค่าพารามิเตอร์ของน้ำออกส่วนใหญ่ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคที่กำหนด สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งหนึ่ง คือ มีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ค่าสภาพการนำไฟฟ้า 220 ไมโครซีเมน/ซม. ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 110 พีพีเอ็ม ค่าของแข็งแขวนลอย 1.5 มก./ล. และค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 35 เอ็มพีเอ็น/100มล. สูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด (2.2 เอ็มพีเอ็น/100 มล.) และกรองน้ำได้ปริมาณ 120 ลิตร ในเวลา 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยและโคลิฟอร์มแบคทีเรียเฉลี่ยร้อยละ 97.58 และ 59.30 ตามลำดับ

ในการศึกษาการกรองที่มีการทำงานร่วมกัน ของตัวกลางเถ้าแกลบและถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า ภายหลังการกรองทิ้ง 20 นาที สามารถกรองน้ำได้ 81 ลิตร ใช้เวลา 48 ชั่วโมง พารามิเตอร์ของน้ำออกส่วนใหญ่ยกเว้นค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ในขณะที่การทำงานร่วมกันของตัวกลางเถ้าแกลบ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และชนิด

เม็ด มีอัตราการกรองที่ช้าจนไม่เหมาะสมที่จะใช้กรองน้ำ ส่วนการทำงานร่วมกันของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเม็ดก็ไม่มีความเหมาะสม เพราะมีผงถ่านไหลออกมากับน้ำออกด้วย

สำหรับการศึกษาการกรองน้ำท่วมในสภาพการทำงานจริงภายในถังปฏิกิริยาท่อพีวีซี 3 นิ้ว พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดกรองน้ำได้เฉลี่ย 186 ลิตร ใช้เวลา 48 ชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์ของน้ำออกส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค คือ มีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 เอ็นทียู ค่าสภาพการนำไฟฟ้า 230 ไมโครซีเมน/ซม. ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 140 พีพีเอ็ม ค่าของแข็งแขวนลอย 1.7 มก./ล. ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.3 มีค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับ 70 เอ็มพีเอ็น/100มล. สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยและโคลิฟอร์มแบคทีเรียเฉลี่ยร้อยละ 98.61 และ 56.82 ตามลำดับ และกรองน้ำได้ปริมาณน้อยกว่าการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในถังปฏิกิริยา 1.5 นิ้ว ในเวลาที่เท่ากัน ในการศึกษาเปรียบเทียบกับการกรองด้วยทรายละเอียด พบว่า การกรองด้วยทรายละเอียดให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำออกใกล้เคียงกันกับการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ แต่การกรองด้วยทรายละเอียดมีข้อด้อยคือ มีน้ำหนักมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด 3 เท่า และต้องล้างทำความสะอาด 8-10 ครั้ง อย่างไรก็ตาม ทรายละเอียดอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นตัวกลางกรองน้ำท่วม ในพื้นที่ที่ไม่สามารถจัดหาถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดได้

สรุปขั้นตอนการทำน้ำสะอาดจากน้ำท่วมจากผลการวิจัยครั้งนี้ คือ นำน้ำท่วมมาทิ้งให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองผ่านถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่บรรจุในท่อพีวีซี 1.5 นิ้ว สูง 20 เซนติเมตร ภายหลังจากกรองน้ำทิ้ง 20 นาที จะได้น้ำสะอาดประมาณ 80 ลิตร (ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง น้ำที่ผ่านการกรองสามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้แต่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งหนึ่งก่อน อุปกรณ์กรอง 1 ชุดมีราคาไม่เกิน 1,000 บาท และในพื้นที่ที่ไม่สามารถจัดเตรียมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดได้ ก็สามารถใช้ทรายละเอียดเป็นสารตัวกลางได้เช่นกัน แต่ต้องล้างทำความสะอาด 8–10 ครั้งก่อนการกรอง ในการนำข้อค้นพบไปใช้ประโยชน์เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ที่เสี่ยงภัยจากอุทกภัยหรือมีประวัติถูกน้ำท่วมซ้ำซ้อนมีน้ำอุปโภคบริโภคใช้ก่อนที่จะได้รับความช่วยเหลือจากทางราชการนั้น หน่วยงานต่าง ๆ เช่น องค์การบริหารส่วนจังหวัด องค์การบริหารส่วนตำบล หรือเทศบาลตำบล ควรจัดหางบประมาณเพื่อจัดเตรียมเครื่องกรองน้ำถ่านกัมมันต์ และแจกจ่ายแก่ประชาชนในพื้นที่เอาไว้ล่วงหน้า รวมทั้งควรให้ความรู้และฝึกอบรมวิธีการทำน้ำสะอาดและการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจะสามารถลดความเสี่ยงการเกิดโรคระบาดที่มีสาเหตุจากการขาดน้ำอุปโภคบริโภคที่สะอาดได้

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1. การนำเครื่องกรองน้ำฉุกเฉินต้นแบบศึกษากับน้ำท่วมจริงในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อให้มีการใช้จริงของผู้ที่เกี่ยวข้อง และเปรียบเทียบกับมาตรการการช่วยเหลือจัดหาน้ำแก่ผู้ประสบภัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2. ควรมีการศึกษาทัศนคติและข้อคิดเห็นของผู้ใช้ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงเครื่องกรองน้ำต้นแบบต่อไป

3. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับการนำน้ำตัวอย่างทิ้งตกตะกอน 6 และ 12 ชั่วโมง ก่อนการกรอง

4. ควรมีการศึกษาค่าประสิทธิภาพการกรองสารอินทรีย์ประเภทยาปราบศัตรูพืชที่อาจจะมีละลายในน้ำท่วม

# เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. **Drinking Water Quality Standards**. เข้าถึงได้ : http://www.deqp.go.th/envlaws/standard/l24111.html. 1/08/2547

กองควบคุมคุณภาพน้ำประปา. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง. เข้าถึงได้ : http://www.mwa.co.th/~ppqcdept/waterq/waterstd.html. 1/08/2547

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มิตรนราการพิมพ์. 312 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2538. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 321 น.

นนทรัฐ ถินยิ้ม. 2541. **การศึกษาสมรรถนะในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟโดยถ่านแกลบ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 7 สี. 2546. **สถานการณ์น้ำท่วมภาคใต้: ประจวบ-เพชรบุรี**. เข้าถึงได้ : http://www.ch7.com/news03pre2.html#11. 5/01/2547.

Calgon Corporation. 1982. **Basic Concepts of Adsorption on Activated Carbon**. Pittsbrugh. PA. 18 (2): 53 –62 .

California Water Service Company. 2003. **2003 Water Quality Report for Fairview**. Available: http://www.calwater.com. 2/08/2004

Davis M.L. and Cornwell D.A. (1991). **Environmental Engineering**. 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., USA.

Reynolds T.D. and Richards P.A. (1996). **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. PWS Publishing Co., USA.

Samule D.F. and M.A. Osman.1987. **Adsorption Process for Water Treatment**. Butterworth Publisher. USA.

Streat M., Patrick J.W. and Camporro Perez M.J. (1995). Sorption of Phenol and Para-Chlorophenol from Water Using Conventional and Novel Activated Carbon. **Water Research**. 29(2), 467-472.

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก 1 ข้อมูลการทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 1

วันที่ทำการทดลอง : 15 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.2 | 210 | 110 | 17.73 | 90 | 110 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.2 | 210 | 110 | 5.70 | 62.5 | 70 |
| 5 นาที | 0.90 | 8.3 | 1500 | 760 | 4.73 | | |
| 10 นาที | 1.60 | 7.9 | 800 | 400 | 4.52 | | |
| 15 นาที | 2.20 | 7.8 | 360 | 190 | 4 48 | | |
| 20 นาที | 2.90 | 7.8 | 270 | 130 | 4.34 | | |
| 0.5 | 3.70 | 7 7 | 260 | 120 | 4.30 | | |
| 1 | 7 40 | 7.7 | 230 | 120 | 4.19 | 1.6 | 40 |
| 1.5 | 11.20 | 7.5 | 230 | 120 | 4.08 | | |
| 2 | 14.70 | 7.5 | 230 | 110 | 4.10 | | |
| 2.5 | 18 45 | 7.5 | 220 | 110 | 4.12 | | |
| 3 | 22.45 | 7.5 | 220 | 110 | 4.18 | | |
| 4 | 30.95 | 7 5 | 220 | 110 | 4.25 | | |
| 5 | 44.45 | 7 5 | 220 | 110 | 4.28 | | |
| 6 | 53.20 | 7.5 | 220 | 110 | 4.38 | | |
| 7 | 62.50 | 7.5 | 220 | 110 | 4.43 | | |
| 8 | 70.95 | 7.5 | 220 | 110 | 4.52 | | |
| 12 | 80.46 | 7.5 | 220 | 110 | 4.57 | | |
| 18 | 100 91 | 7 5 | 220 | 110 | 4.85 | | |
| 24 | 120.26 | 7.5 | 220 | 110 | 4.97 | | |
| 30 | 136.46 | 7.5 | 220 | 110 | 5.08 | | |
| 36 | 150.16 | 7.5 | 220 | 110 | 5.12 | | |
| 42 | 160 36 | 7.5 | 220 | 110 | 5.17 | | |
| 48 | 170.36 | 7.5 | 220 | 110 | 5.28 | | |
| 60 | 185.56 | 7 5 | 220 | 110 | 5.31 | | |
| 72 | 196.76 | 7.5 | 220 | 110 | 5 42 | | |

ตารางที่ ก 2 ข้อมูลการทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 2

วันที่ทำการทดลอง : 15 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.4 | 210 | 110 | 17.53 | 85 | 70 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 | 0 | 7.4 | 210 | 110 | 5.65 | 60 | 70 |
| ชม | 1.20 | 8.6 | 1690 | 940 | 5.21 | | |
| 5 นาที | 1.80 | 8.4 | 830 | 410 | 5.10 | | |
| 10 นาที | 2.40 | 8.1 | 310 | 150 | 5.03 | | |
| 15 นาที | 3.10 | 8.0 | 270 | 130 | 4.97 | | |
| 20 นาที | 4.00 | 7.8 | 260 | 130 | 4.21 | | |
| 0.5 | 8.25 | 7.8 | 250 | 120 | 4.19 | 1.4 | 30 |
| 1 | 12.45 | 7.7 | 230 | 120 | 4.13 | | |
| 1.5 | 16.20 | 7.7 | 220 | 110 | 3.97 | | |
| 2 | 20.40 | 7.7 | 210 | 110 | 4.07 | | |
| 2.5 | 24.90 | 7.7 | 210 | 110 | 4.09 | | |
| 3 | 33.65 | 7.7 | 210 | 110 | 4.10 | | |
| 4 | 46.35 | 7.7 | 210 | 110 | 4.21 | | |
| 5 | 55.05 | 7.7 | 210 | 110 | 4.32 | | |
| 6 | 64.50 | 7.7 | 210 | 110 | 4.35 | | |
| 7 | 72.50 | 7.7 | 210 | 110 | 4.38 | | |
| 8 | 81.73 | 7.7 | 210 | 110 | 4.41 | | |
| 12 | 102.43 | 7.7 | 210 | 110 | 4.59 | | |
| 18 | 122.40 | 7.7 | 210 | 110 | 4.71 | | |
| 24 | 137.42 | 7.7 | 210 | 110 | 5.12 | | |
| 30 | 151.29 | 7.7 | 210 | 110 | 5.18 | | |
| 36 | 162.29 | 7.7 | 210 | 110 | 5.25 | | |
| 42 | 171.36 | 7.7 | 210 | 110 | 5.35 | | |
| 48 | 186.65 | 7.7 | 210 | 110 | 5.48 | | |
| 60 | 197.75 | 7.7 | 210 | 110 | 5.54 | | |
| 72 | | | | | | | |

ตารางที่ ก 3 ข้อมูลการทดลองที่ 1.1 ซ้ำที่ 3

วันที่ทำการทดลอง : 15 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.5 | 210 | 110 | 17.98 | 86 | 70 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 | 0 | 7.5 | 210 | 110 | 5.72 | 63 | 70 |
| ชม. | 1.30 | 8.4 | 1570 | 790 | 5.43 | | |
| 5 นาที | 1.90 | 8.1 | 820 | 400 | 5.21 | | |
| 10 นาที | 2.50 | 8.0 | 330 | 170 | 5.03 | | |
| 15 นาที | 3.20 | 8.0 | 270 | 130 | 4.97 | | |
| 20 นาที | 4.25 | 7.9 | 260 | 130 | 4.52 | | |
| 0.5 | 8.75 | 7.6 | 250 | 120 | 4.57 | | |
| 1 | 13.00 | 7.6 | 240 | 120 | 4.23 | | |
| 1.5 | 17.00 | 7.6 | 240 | 110 | 4.19 | 1.5 | 30 |
| 2 | 21.50 | 7.6 | 220 | 110 | 4.11 | | |
| 2.5 | 26.20 | 7.6 | 220 | 110 | 4.10 | | |
| 3 | 35.40 | 7.6 | 220 | 110 | 4.12 | | |
| 4 | 42.65 | 7.6 | 220 | 110 | 4.22 | | |
| 5 | 49.85 | 7.6 | 220 | 110 | 4.32 | | |
| 6 | 58.60 | 7.6 | 220 | 110 | 4.60 | | |
| 7 | 67.10 | 7.6 | 220 | 110 | 4.63 | | |
| 8 | 75.35 | 7.6 | 220 | 110 | 4.75 | | |
| 12 | 103.35 | 7.6 | 220 | 110 | 4.82 | | |
| 18 | 122.32 | 7.6 | 220 | 110 | 4.95 | | |
| 24 | 138.43 | 7.6 | 220 | 110 | 5.05 | | |
| 30 | 152.61 | 7.6 | 220 | 110 | 5.07 | | |
| 36 | 161.63 | 7.6 | 220 | 110 | 5.12 | | |
| 42 | 170.37 | 7.6 | 220 | 110 | 5.17 | | |
| 48 | 185.64 | 7.6 | 220 | 110 | 5.23 | | |
| 60 | 196.79 | 7.6 | 220 | 110 | 5.27 | | |
| 72 | | | | | | | |

ตารางที่ ก 4 ข้อมูลการทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 1

วันที่ทำการทดลอง : 27 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.8 | 190 | 90 | 14.87 | 72 | 110 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 | 0 | 7.7 | 180 | 90 | 5.25 | 55 | 110 |
| ชม. | 0.07 | 8.1 | 750 | 350 | 4.83 | | |
| 5 นาที | 0.15 | 8.1 | 310 | 260 | 4 80 | | |
| 10 นาที | - | 7.9 | 190 | 110 | 4 21 | | |
| 15 นาที | - | 7 9 | 180 | 110 | 3.87 | | |
| 20 นาที | 0.30 | 7 9 | 180 | 100 | 3.57 | | |
| 0 5 | 0.65 | 7.9 | 180 | 100 | 3.43 | 1.2 | 70 |
| 1 | 1.35 | 7.9 | 180 | 100 | 3.21 | | |
| 2 | 2.05 | 7.9 | 180 | 100 | 3.18 | | |
| 3 | 2.85 | 7.9 | 180 | 100 | 3.11 | | |
| 4 | 3.50 | 7.9 | 180 | 100 | 3.21 | | |
| 5 | 4.07 | 7.9 | 180 | 100 | 3 28 | | |
| 6 | 7.57 | 7.9 | 180 | 100 | 3.36 | | |
| 7 | 11.64 | 7.9 | 180 | 100 | 3.48 | | |
| 8 | 15.14 | 7 9 | 180 | 100 | 3.50 | | |
| 12 | 19 14 | 7.9 | 180 | 100 | 3 60 | | |
| 18 | 23.21 | 7.9 | 180 | 100 | 3.73 | | |
| 24 | 26 71 | 7.9 | 180 | 100 | 3.87 | | |
| 30 | 30.76 | 7.9 | 180 | 100 | 3.92 | | |
| 36 | 34.78 | 7.9 | 180 | 100 | 4.18 | | |
| 42 | 38.84 | 7.9 | 180 | 100 | 4.39 | | |
| 48 | 46.41 | 7 9 | 180 | 100 | 4.87 | | |
| 60 | 53.77 | 7.9 | 180 | 100 | 5.15 | | |
| 72 | 61.25 | 7 9 | 180 | 100 | 5.28 | | |
| 84 | 68.50 | 7 9 | 180 | 100 | 5.31 | | |
| 96 | | | | | | | |

ตารางที่ ก 5 ข้อมูลการทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 2

วันที่ทำการทดลอง : 27 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เก้าแกลบ

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.8 | 210 | 100 | 14.98 | 72 | 110 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.7 | 210 | 100 | 5.24 | 50 | 110 |
| 5 นาที | 0.06 | 8.1 | 800 | 400 | 4.38 | | |
| 10 นาที | 0.12 | 8.1 | 280 | 120 | 4.23 | | |
| 15 นาที | - | 7.9 | 220 | 110 | 4.17 | | |
| 20 นาที | - | 7.8 | 220 | 110 | 4.12 | | |
| 0.5 | 0.25 | 7.8 | 210 | 110 | 3.58 | | |
| 1 | 0.55 | 7.8 | 210 | 110 | 3.42 | 1.1 | 70 |
| 2 | 1.10 | 7.8 | 210 | 110 | 3.27 | | |
| 3 | 1.75 | 7.8 | 210 | 110 | 3.19 | | |
| 4 | 2.40 | 7.8 | 210 | 110 | 3.10 | | |
| 5 | 2.85 | 7.8 | 210 | 110 | 3.21 | | |
| 6 | 3.45 | 7.8 | 210 | 110 | 3.26 | | |
| 7 | 6.90 | 7.8 | 210 | 110 | 3.34 | | |
| 8 | 10.35 | 7.8 | 200 | 100 | 3.46 | | |
| 12 | 13.80 | 7.8 | 200 | 100 | 3.52 | | |
| 18 | 16.65 | 7.8 | 200 | 100 | 3.68 | | |
| 24 | 20.10 | 7.8 | 200 | 100 | 3.87 | | |
| 30 | 23.55 | 7.8 | 200 | 100 | 3.59 | | |
| 36 | 24.44 | 7.8 | 200 | 100 | 4.12 | | |
| 42 | 29.89 | 7.8 | 200 | 100 | 4.35 | | |
| 48 | 33.39 | 7.8 | 200 | 100 | 4.68 | | |
| 60 | 40.24 | 7.8 | 200 | 100 | 4.90 | | |
| 72 | 47.24 | 7.8 | 200 | 100 | 5.10 | | |
| 84 | 54.09 | 7.8 | 200 | 100 | 5.13 | | |
| 96 | 60.99 | 7.8 | 200 | 100 | 5.21 | | |

ตารางที่ ก 6 ข้อมูลการทดลองที่ 1.3 ซ้ำที่ 3

วันที่ทำการทดลอง : 27 มกราคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.6 | 200 | 100 | 14.91 | 78 | 70 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม | | 7.6 | 200 | 100 | 5.45 | 57.5 | 70 |
| 5 นาที | 0.07 | 8.1 | 990 | 490 | 4.35 | | |
| 10 นาที | 0.15 | 8.1 | 210 | 100 | 4.25 | | |
| 15 นาที | - | 8.0 | 190 | 90 | 4.13 | | |
| 20 นาที | - | 7.8 | 180 | 90 | 4.02 | | |
| 0.5 | 0.3 | 7.7 | 180 | 90 | 3.46 | | |
| 1 | 0.6 | 7.7 | 180 | 90 | 3.35 | 1 4 | 30 |
| 2 | 1 15 | 7.7 | 180 | 90 | 3.20 | | |
| 3 | 1.70 | 7.7 | 180 | 90 | 3.16 | | |
| 4 | 2.55 | 7.7 | 180 | 90 | 3.12 | | |
| 5 | 3.20 | 7.7 | 180 | 90 | 3.22 | | |
| 6 | 3.62 | 7.7 | 180 | 90 | 3.36 | | |
| 7 | 7.24 | 7.7 | 180 | 90 | 3.52 | | |
| 8 | 10.44 | 7.7 | 180 | 90 | 3.63 | | |
| 12 | 13.64 | 7.9 | 180 | 90 | 3.78 | | |
| 18 | 17 26 | 7 7 | 180 | 90 | 3.82 | | |
| 24 | 20.46 | 7.7 | 180 | 90 | 3.95 | | |
| 30 | 24.06 | 7.7 | 180 | 90 | 3.98 | | |
| 36 | 27.71 | 7.7 | 180 | 90 | 4.05 | | |
| 42 | 31.31 | 7.7 | 180 | 90 | 4.27 | | |
| 48 | 34.56 | 7.7 | 180 | 90 | 4.63 | | |
| 60 | 41.76 | 7.7 | 180 | 90 | 4.95 | | |
| 72 | 48.85 | 7 7 | 180 | 90 | 5.07 | | |
| 84 | 55.91 | 7.7 | 180 | 90 | 5 18 | | |
| 96 | 63 10 | 7.7 | 180 | 90 | 5.27 | | |

ตารางที่ ก 7 ข้อมูลการทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 1

วันที่ทำการทดลอง : 22 สิงหาคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ + ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 8.1 | 230 | 110 | 19.4 | 107.5 | 90 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.8 | 200 | 90 | 6.11 | 77.5 | 90 |
| 5 นาที | 0.25 | 8.5 | 1800 | 760 | 5.74 | | |
| 10 นาที | - | 8.2 | 800 | 400 | 5.18 | | |
| 15 นาที | 0.50 | 8.1 | 360 | 190 | 5.12 | | |
| 20 นาที | - | 8.0 | 270 | 140 | 5.05 | | |
| 0.5 | 0.9 | 7.8 | 250 | 140 | 4.95 | | |
| 1 | 1.55 | 7.8 | 250 | 130 | 4.80 | 2.8 | 40 |
| 2 | 3.25 | 7.8 | 240 | 120 | 3.95 | | |
| 3 | 5.00 | 7.8 | 230 | 120 | 3.87 | | |
| 6 | 8.25 | 7.8 | 230 | 120 | 3.85 | | |
| 12 | 13.75 | 7.8 | 230 | 120 | 4.22 | | |
| 24 | 25.75 | 7.8 | 230 | 120 | 4.42 | | |
| 28 | 36.75 | 7.8 | 230 | 120 | 4.58 | | |
| 34 | 59.75 | 7.8 | 230 | 120 | 4.72 | | |
| 40 | 70.75 | 7.8 | 230 | 120 | 4.82 | | |
| 48 | 82.95 | 7.8 | 230 | 120 | 4.95 | | |
| 60 | 90.98 | 7.8 | 230 | 120 | 5.24 | | |
| 72 | 99.31 | 7.8 | 230 | 120 | 5.32 | | |
| 84 | 108.20 | 7.8 | 230 | 120 | 5.48 | | |
| 96 | 119.40 | 7.8 | 230 | 120 | 5.57 | | |
| 108 | 123.35 | 7.8 | 230 | 120 | 5.62 | | |
| 120 | 131.53 | 7.8 | 230 | 120 | 5.78 | | |

ตารางที่ ก 8 ข้อมูลการทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 2

วันที่ทำการทดลอง : 22 สิงหาคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ + ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 8.1 | 230 | 110 | 16.80 | 95 | 140 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.8 | 200 | 90 | 6.07 | 62.5 | 140 |
| 5 นาที | 0.15 | 8.5 | 1750 | 820 | 5.58 | | |
| 10 นาที | - | 8.2 | 950 | 560 | 5.41 | | |
| 15 นาที | 0.32 | 8.1 | 450 | 230 | 5.40 | | |
| 20 นาที | - | 8.0 | 350 | 190 | 5.12 | | |
| 0.5 | 0.85 | 7.8 | 260 | 140 | 4.50 | 2.6 | 70 |
| 1 | 1.50 | 7.9 | 250 | 130 | 3.81 | | |
| 2 | 3.20 | 7.9 | 240 | 120 | 3.72 | | |
| 3 | 5.00 | 7.9 | 230 | 120 | 3.75 | | |
| 6 | 8.20 | 7.9 | 230 | 120 | 4.12 | | |
| 12 | 13.70 | 7.9 | 230 | 120 | 4.33 | | |
| 24 | 34.50 | 7.9 | 230 | 120 | 4.53 | | |
| 28 | 45.70 | 7.9 | 230 | 120 | 4.75 | | |
| 34 | 57.50 | 7.9 | 230 | 120 | 4.84 | | |
| 40 | 69.20 | 7.9 | 230 | 120 | 4.92 | | |
| 48 | 81.12 | 7.9 | 230 | 120 | 4.98 | | |
| 60 | 90.35 | 7.9 | 230 | 120 | 5.02 | | |
| 72 | 99.73 | 7.9 | 230 | 120 | 5.25 | | |
| 84 | 108.53 | 7.9 | 230 | 120 | 5.37 | | |
| 96 | 112.85 | 7.9 | 230 | 120 | 5.55 | | |
| 108 | 120.35 | 7.9 | 230 | 120 | 5.78 | | |
| 120 | 132.25 | 7.9 | 230 | 120 | 5.92 | | |

ตารางที่ ก 9 ข้อมูลการทดลองที่ 2.3 ซ้ำที่ 3

วันที่ทำการทดลอง : 22 สิงหาคม พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ + ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.9 | 240 | 120 | 17.62 | 105 | 150 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.9 | 230 | 110 | 5.98 | 70 | 150 |
| 5 นาที | 0.2 | 8.3 | 1850 | 780 | 5.91 | | |
| 10 นาที | - | 8.2 | 830 | 460 | 5.87 | | |
| 15 นาที | 0.45 | 8.0 | 390 | 190 | 5.60 | | |
| 20 นาที | - | 8.0 | 270 | 130 | 5.21 | | |
| 0.5 | 0.9 | 7.9 | 250 | 130 | 4.87 | | |
| 1 | 1.55 | 7.9 | 240 | 120 | 4.55 | 2.5 | 70 |
| 2 | 3.15 | 7.9 | 240 | 120 | 4.25 | | |
| 3 | 5.10 | 7.9 | 240 | 110 | 4.12 | | |
| 6 | 8.30 | 7.9 | 240 | 110 | 3.72 | | |
| 12 | 13.75 | 7.9 | 240 | 110 | 3.75 | | |
| 24 | 36.75 | 7.9 | 240 | 110 | 3.82 | | |
| 28 | 47.50 | 7.9 | 240 | 110 | 4.35 | | |
| 34 | 56.71 | 7.9 | 240 | 110 | 4.52 | | |
| 40 | 67.75 | 7.9 | 240 | 110 | 4.81 | | |
| 48 | 81.20 | 7.9 | 240 | 110 | 4.92 | | |
| 60 | 90.10 | 7.9 | 240 | 110 | 5.02 | | |
| 72 | 98.80 | 7.9 | 240 | 110 | 5.21 | | |
| 84 | 107.40 | 7.9 | 240 | 110 | 5.27 | | |
| 96 | 118.85 | 7.9 | 240 | 110 | 5.35 | | |
| 108 | 122.93 | 7.9 | 240 | 110 | 5.48 | | |
| 120 | 130.17 | 7.9 | 240 | 110 | 5.68 | | |

ตารางที่ ก 10 ข้อมูลการทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 1

วันที่ทำการทดลอง : 15 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ - ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.6 | 230 | 120 | 17.52 | 180 | 140 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.5 | 230 | 120 | 9.13 | 130 | 140 |
| 5 นาที | 0.12 | 8.4 | 1850 | 1520 | 8.43 | | |
| 10 นาที | 0.23 | 8.2 | 1550 | 1250 | 8.21 | | |
| 15 นาที | 0.33 | 8.0 | 1050 | 880 | 7.23 | | |
| 20 นาที | 0.43 | 8.0 | 850 | 450 | 6.80 | | |
| 0.5 | 0.56 | 7.9 | 760 | 320 | 5.57 | | |
| 1 | 1.8 | 7.8 | 480 | 260 | 5.12 | | |
| 2 | 3.25 | 7.8 | 390 | 190 | 5.02 | | |
| 3 | 8.25 | 7.6 | 270 | 180 | 4.92 | 2.9 | 70 |
| 6 | 16.25 | 7.6 | 260 | 160 | 4.85 | | |
| 9 | 23.94 | 7.6 | 250 | 150 | 4.52 | | |
| 12 | 31.94 | 7.6 | 240 | 120 | 4.31 | | |
| 15 | 39.84 | 7.6 | 230 | 110 | 4.22 | | |
| 18 | 44.79 | 7.6 | 230 | 110 | 3.92 | | |
| 24 | 60.84 | 7.6 | 230 | 110 | 3.82 | | |
| 35 | 86.43 | 7.6 | 230 | 110 | 3.84 | | |
| 48 | 100.85 | 7.6 | 230 | 110 | 4.12 | | |
| 60 | 118.84 | 7.6 | 230 | 110 | 4.25 | | |
| 72 | 129.29 | 7.6 | 230 | 110 | 4.45 | | |
| 84 | 145.47 | 7.6 | 230 | 110 | 4.87 | | |
| 96 | 166.85 | 7.6 | 230 | 110 | 5.01 | | |
| 108 | 184.21 | 7.6 | 230 | 110 | 5.27 | | |
| 120 | 201.27 | 7.6 | 230 | 110 | 5.31 | | |
| 144 | 222.23 | 7.6 | 230 | 110 | 5.47 | | |
| 168 | 238.45 | 7.6 | 230 | 110 | 5.58 | | |

ตารางที่ ก 11 ข้อมูลการทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 2

วันที่ทำการทดลอง : 15 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ - ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.8 | 240 | 120 | 16.25 | 160 | 150 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม | 0 | 7.7 | 230 | 120 | 9 16 | 120 | 150 |
| 5 นาที | 0.12 | 8.1 | 1730 | 1370 | 7.81 | | |
| 10 นาที | 0.22 | 8.0 | 1450 | 850 | 7.40 | | |
| 15 นาที | 0 32 | 8.0 | 950 | 780 | 6 81 | | |
| 20 นาที | 0.42 | 7 9 | 750 | 460 | 6 32 | | |
| 0.5 | 0 55 | 7 9 | 580 | 340 | 5.81 | | |
| 1 | 1 7 | 7.8 | 460 | 260 | 5.24 | | |
| 2 | 3.2 | 7 8 | 390 | 240 | 4.96 | 2 8 | 70 |
| 3 | 8 1 | 7 7 | 270 | 230 | 4.83 | | |
| 6 | 15.85 | 7.7 | 260 | 180 | 4.52 | | |
| 9 | 22.93 | 7.7 | 250 | 160 | 4.31 | | |
| 12 | 30.91 | 7.7 | 240 | 120 | 4.27 | | |
| 15 | 38.23 | 7 7 | 230 | 120 | 4.10 | | |
| 18 | 43.72 | 7.7 | 230 | 120 | 3.95 | | |
| 24 | 58.81 | 7 7 | 230 | 120 | 3.98 | | |
| 35 | 84.21 | 7 7 | 230 | 120 | 4.12 | | |
| 48 | 102.53 | 7.7 | 230 | 120 | 4.23 | | |
| 60 | 116.44 | 7 7 | 230 | 120 | 4 38 | | |
| 72 | 127.84 | 7.7 | 230 | 120 | 4.78 | | |
| 84 | 143.47 | 7.7 | 230 | 120 | 4.96 | | |
| 96 | 164.58 | 7.7 | 230 | 120 | 5.13 | | |
| 108 | 182.12 | 7.7 | 230 | 120 | 5.26 | | |
| 120 | 201.71 | 7 7 | 230 | 120 | 5.32 | | |
| 144 | 219.32 | 7.7 | 230 | 120 | 5 46 | | |
| 168 | 235 54 | 7.7 | 230 | 120 | 5.53 | | |

ตารางที่ ค 12 ข้อมูลการทดลองที่ 3.1 ซ้ำที่ 3

วันที่ทำการทดลอง : 15 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : เถ้าแกลบ + ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7 6 | 230 | 120 | 15 83 | 140 | 150 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.5 | 230 | 120 | 9.43 | 110 | 150 |
| 5 นาที | 0.12 | 8.4 | 1730 | 1520 | 8 31 | | |
| 10 นาที | 0.23 | 8.2 | 1480 | 1250 | 8.21 | | |
| 15 นาที | 0.33 | 8 0 | 980 | 880 | 7.25 | | |
| 20 นาที | 0 43 | 8 0 | 760 | 450 | 6.05 | | |
| 0.5 | 0 56 | 7.9 | 540 | 320 | 5.87 | | |
| 1 | 1.80 | 7.8 | 480 | 260 | 5.12 | | |
| 2 | 3.52 | 7.8 | 390 | 190 | 5.06 | | |
| 3 | 7 55 | 7.5 | 270 | 180 | 4.93 | 2.8 | 90 |
| 6 | 15.56 | 7.5 | 260 | 160 | 4 83 | | |
| 9 | 26.75 | 7.5 | 250 | 150 | 4.32 | | |
| 12 | 33 95 | 7.5 | 240 | 120 | 4.21 | | |
| 15 | 41.12 | 7.5 | 230 | 110 | 4.10 | | |
| 18 | 53 50 | 7.5 | 230 | 110 | 3.95 | | |
| 24 | 72.12 | 7.5 | 230 | 110 | 3.82 | | |
| 35 | 94.12 | 7.5 | 230 | 110 | 3.94 | | |
| 48 | 107.58 | 7 5 | 230 | 110 | 4.15 | | |
| 60 | 117.48 | 7.5 | 230 | 110 | 4.24 | | |
| 72 | 126.92 | 7.5 | 230 | 110 | 4.54 | | |
| 84 | 143.74 | 7 5 | 230 | 110 | 4 78 | | |
| 96 | 163.58 | 7.5 | 230 | 110 | 5 02 | | |
| 108 | 182.12 | 7.5 | 230 | 110 | 5.17 | | |
| 120 | 202.17 | 7.5 | 230 | 110 | 5 23 | | |
| 144 | 220.32 | 7 5 | 230 | 110 | 5.47 | | |
| 168 | 236.02 | 7 5 | 230 | 110 | 5.58 | | |

ตารางที่ ก 13 ข้อมูลการทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 1

วันที่ทำการทดลอง : 17 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากน้ำแม่แฝก ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.4 | 290 | 140 | 34.10 | 190 | 210 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.9 | 270 | 130 | 10.91 | 110 | 210 |
| 5 นาที | 1.20 | 9.1 | 1890 | 1380 | 5.29 | | |
| 10 นาที | 2.50 | 8.9 | 1750 | 950 | 5.28 | | |
| 15 นาที | 3.70 | 8.5 | 1050 | 720 | 5.21 | | |
| 20 นาที | 4.90 | 8.5 | 980 | 520 | 5.25 | | |
| 0.5 | - | 8.2 | 750 | 470 | 4.97 | | |
| 1 | 7.65 | 8.1 | 670 | 420 | 4.45 | 1.6 | 90 |
| 1.5 | 11.20 | 8.0 | 370 | 330 | 4.50 | | |
| 2 | 16.40 | 7.5 | 320 | 160 | 4.60 | | |
| 2.5 | 20.10 | 7.4 | 310 | 160 | 3.65 | | |
| 3 | 24.30 | 7.3 | 280 | 150 | 3.63 | | |
| 6 | 28.30 | 7.3 | 270 | 150 | 3.33 | | |
| 9 | 37.55 | 7.3 | 250 | 140 | 3.73 | | |
| 12 | 68.55 | 7.3 | 240 | 140 | 3.72 | | |
| 16 | 85.05 | 7.3 | 240 | 140 | 3.83 | | |
| 24 | 112.05 | 7.3 | 240 | 140 | 4.27 | | |
| 29 | 129.30 | 7.3 | 240 | 140 | 4.42 | | |
| 35 | 144.55 | 7.3 | 240 | 140 | 4.73 | | |
| 42 | 157.80 | 7.3 | 240 | 140 | 4.88 | | |
| 48 | 186.30 | 7.3 | 240 | 140 | 4.93 | | |
| 57 | 206.30 | 7.3 | 240 | 140 | 5.05 | | |
| 69 | 214.80 | 7.3 | 240 | 140 | 5.55 | | |
| 72 | 233.80 | 7.3 | 240 | 140 | 5.65 | | |
| 84 | 247.80 | 7.3 | 240 | 140 | 6.25 | | |
| 96 | 268.70 | 7.3 | 240 | 140 | 6.43 | | |
| 120 | 277.90 | 7.3 | 240 | 140 | 6.55 | | |
| 144 | 295.90 | 7.3 | 240 | 140 | 6.58 | | |
| 168 | 315.90 | 7.3 | 240 | 140 | 6.67 | | |

ตารางที่ ก 14 ข้อมูลการทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 2

วันที่นำการทดลอง : 20 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากแม่น้ำปิง ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7 6 | 230 | 130 | 33.10 | 160 | 200 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.5 | 230 | 120 | 10.63 | 105 | 200 |
| 5 นาที | 1.20 | 8.8 | 1750 | 1420 | 5.25 | | |
| 10 นาที | 2.50 | 8.7 | 1250 | 950 | 5.23 | | |
| 15 นาที | 3.50 | 8.5 | 930 | 850 | 5 20 | | |
| 20 นาที | 4.50 | 8.5 | 480 | 720 | 5 22 | | |
| 0.5 | - | 8 5 | 390 | 580 | 5.21 | | |
| 1 | 7.50 | 8 2 | 300 | 480 | 4.82 | | |
| 1 5 | 10.50 | 7.6 | 290 | 240 | 4.35 | 1.5 | 70 |
| 2 | 13.50 | 7 5 | 260 | 220 | 4.20 | | |
| 2.5 | 16.75 | 7 4 | 250 | 190 | 3.70 | | |
| 3 | 19.50 | 7.4 | 240 | 150 | 3.82 | | |
| 6 | 25.25 | 7.4 | 240 | 140 | 3.85 | | |
| 9 | 38.95 | 7.4 | 230 | 130 | 3 87 | | |
| 12 | 58.45 | 7 4 | 230 | 130 | 4.19 | | |
| 16 | 84 20 | 7.4 | 230 | 130 | 4.25 | | |
| 24 | 109.70 | 7 4 | 230 | 130 | 4.28 | | |
| 29 | 127.96 | 7 4 | 230 | 130 | 4.32 | | |
| 35 | 143.78 | 7 4 | 230 | 130 | 4.50 | | |
| 42 | 156.80 | 7.4 | 230 | 130 | 4.82 | | |
| 48 | 185.60 | 7 4 | 230 | 130 | 4.83 | | |
| 57 | 204.30 | 7.4 | 230 | 130 | 5 31 | | |
| 69 | 212.80 | 7 4 | 230 | 130 | 5 35 | | |
| 72 | 232.60 | 7.4 | 230 | 130 | 5.65 | | |
| 84 | 246 50 | 7.4 | 230 | 130 | 5.75 | | |
| 96 | 267.20 | 7 4 | 230 | 130 | 5 86 | | |
| 120 | 278 82 | 7 4 | 230 | 130 | 6.24 | | |
| 144 | 294 82 | 7.4 | 230 | 130 | 6.32 | | |
| 168 | 314.85 | 7.4 | 230 | 130 | 6.47 | | |

ตารางที่ ก 15 ข้อมูลการทดลองที่ 3.2 ซ้ำที่ 3

วันที่ทำการทดลอง : 29 กันยายน พ.ศ. 2546

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากน้ำท่วมสุโขทัย ตัวกลาง : ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำที่ได้ (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (พีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.3 | 280 | 140 | 32.35 | 210 | 280 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | | 7.8 | 260 | 130 | 10.52 | 140 | 280 |
| 5 นาที | | 8.8 | 1850 | 1380 | 5.25 | | |
| 10 นาที | | 8.4 | 1320 | 950 | 5.21 | | |
| 15 นาที | | 8.4 | 1050 | 520 | 5.20 | | |
| 20 นาที | | 8.4 | 950 | 470 | 5.17 | | |
| 0.5 | 3.5 | 8.1 | 730 | 310 | 5.12 | | |
| 1 | 7.5 | 8.0 | 620 | 180 | 4.98 | | |
| 1.5 | 9.5 | 8.1 | 350 | 160 | 4.72 | 1.8 | 110 |
| 2 | 13.5 | 8.0 | 310 | 140 | 4.65 | | |
| 2.5 | 16.75 | 7.5 | 280 | 140 | 4.48 | | |
| 3 | 20.75 | 7.4 | 270 | 140 | 4.28 | | |
| 6 | 32.50 | 7.3 | 260 | 140 | 4.23 | | |
| 9 | 40.50 | 7.3 | 240 | 140 | 3.87 | | |
| 12 | 68.95 | 7.3 | 230 | 140 | 3.56 | | |
| 16 | 82.30 | 7.3 | 230 | 140 | 3.76 | | |
| 24 | 108.50 | 7.3 | 230 | 140 | 3.79 | | |
| 29 | 126.62 | 7.3 | 230 | 140 | 4.45 | | |
| 35 | 142.70 | 7.3 | 230 | 140 | 4.62 | | |
| 42 | 154.68 | 7.3 | 230 | 140 | 4.73 | | |
| 48 | 183.60 | 7.3 | 230 | 140 | 4.85 | | |
| 57 | 202.40 | 7.3 | 230 | 140 | 5.05 | | |
| 69 | 217.50 | 7.3 | 230 | 140 | 5.15 | | |
| 72 | 230.60 | 7.3 | 230 | 140 | 5.23 | | |
| 84 | 245.50 | 7.3 | 230 | 140 | 5.36 | | |
| 96 | 265.52 | 7.3 | 230 | 140 | 5.45 | | |
| 120 | 276.02 | 7.3 | 230 | 140 | 5.78 | | |
| 144 | 293.20 | 7.3 | 230 | 140 | 5.84 | | |
| 168 | 315.02 | 7.3 | 230 | 140 | 6.23 | | |

ตารางที่ ก 16 ข้อมูลการทดลองใช้ทรายกรอง

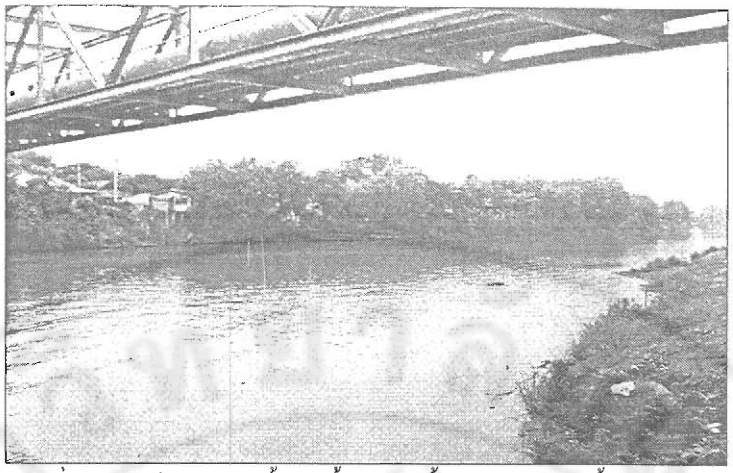
วันที่ทำการทดลอง : 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2547

น้ำตัวอย่าง : น้ำจากน้ำแม่ปิง ตัวกลาง : ทรายละเอียด

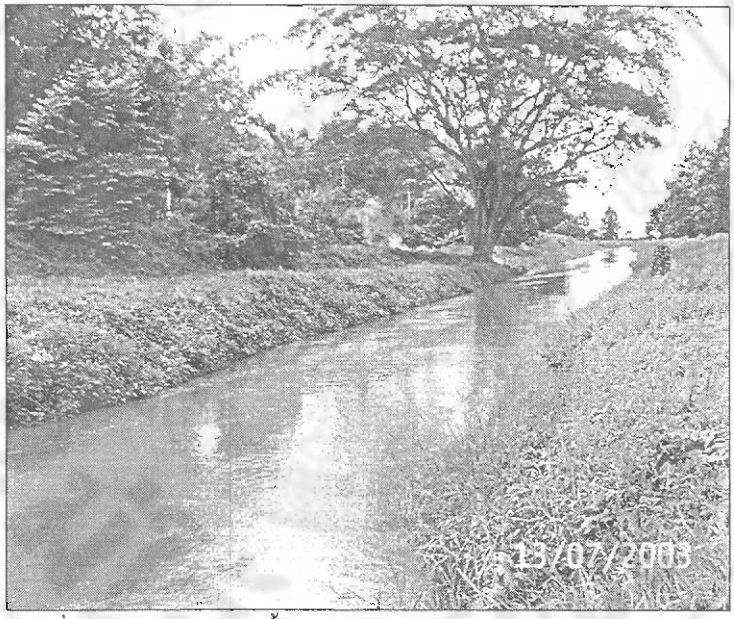
| เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณน้ำที่ได้ (ลิตร) | พารามิเตอร์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าความเป็นกรด - ด่าง | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมน/ซม.) | ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มีพีเอ็ม) | ความขุ่น (เอ็นทียู) | ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) | ค่าโคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/100 มล.) |
| น้ำตัวอย่าง | | 7.3 | 230 | 120 | 14.56 | 140 | 90 |
| น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. | 0 | 7.2 | 210 | 110 | 8.51 | 106.5 | 90 |
| 5 นาที | 0.70 | 7.2 | 230 | 120 | 5.82 | | |
| 10 นาที | 1.40 | 7.2 | 220 | 120 | 5.25 | | |
| 15 นาที | 2.10 | 7.2 | 220 | 120 | 4.25 | | |
| 20 นาที | 2.80 | 7.2 | 210 | 120 | 4.26 | | |
| 0.5 | 3.25 | 7.2 | 210 | 110 | 4.27 | | |
| 1 | 6.50 | 7.2 | 210 | 110 | 4.24 | 2.00 | 70 |
| 2 | 13.30 | 7.2 | 210 | 110 | 3.95 | | |
| 3 | 18.45 | 7.2 | 210 | 110 | 3.87 | | |
| 4 | 24.84 | 7.2 | 210 | 110 | 3.65 | | |
| 5 | 30.35 | 7.2 | 210 | 110 | 3.96 | | |
| 6 | 36.50 | 7.2 | 210 | 110 | 4.05 | | |
| 7 | 42.30 | 7.2 | 210 | 110 | 4.18 | | |
| 8 | 48.45 | 7.2 | 210 | 110 | 4.25 | | |
| 12 | 64.30 | 7.2 | 210 | 110 | 4.28 | | |
| 18 | 90.50 | 7.2 | 210 | 110 | 4.38 | | |
| 24 | 120.30 | 7.2 | 210 | 110 | 4.43 | | |
| 30 | 135.30 | 7.2 | 210 | 110 | 4.52 | | |
| 36 | 154.45 | 7.2 | 210 | 110 | 4.87 | | |
| 42 | 168.40 | 7.2 | 210 | 110 | 5.23 | | |
| 48 | 176.5 | 7.2 | 210 | 110 | 5.57 | | |

# ภาคผนวก ข

## ภาพการทดลอง

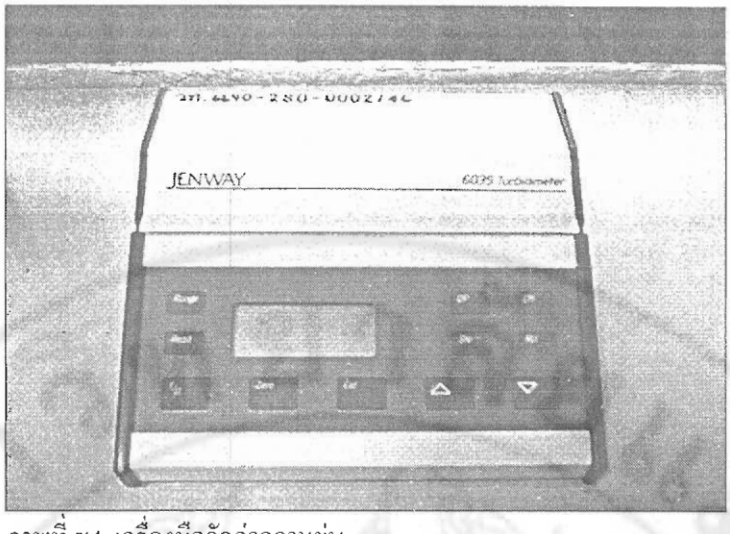


ภาพที่ ข1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ แม่น้ำปิงช่วงน้ำหลาก ต.สันผีเสื้อ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

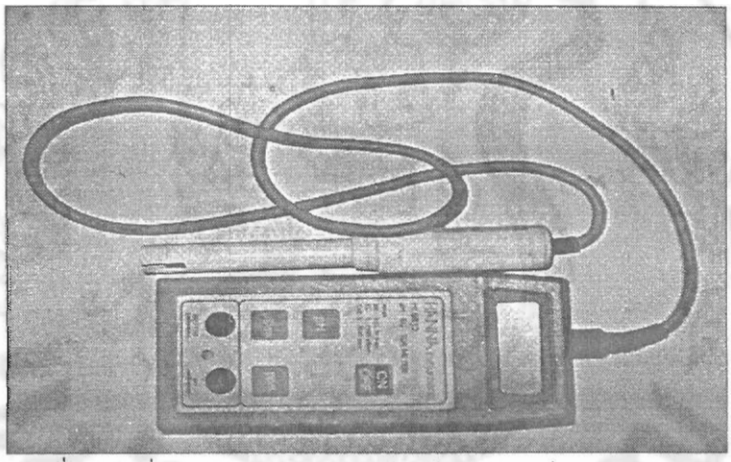



ภาพที่ ข2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ฝายแม่แฝก ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

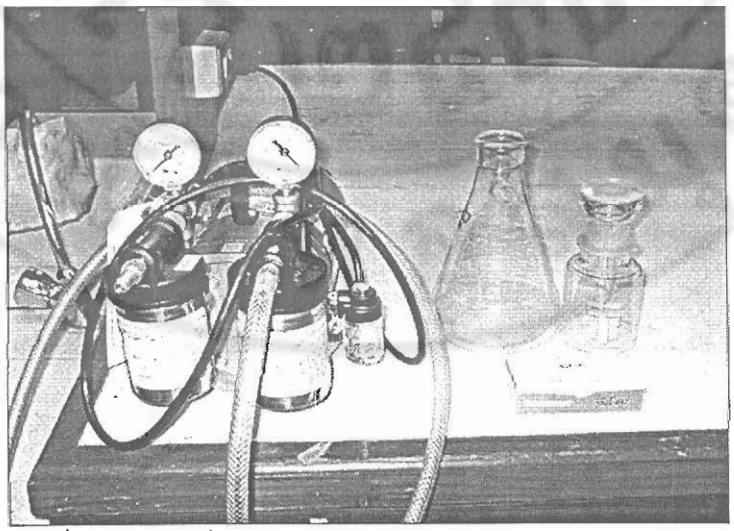
ภาพที่ ข3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ น้ำท่วมสุโขทัย ต ยางซ้าย อ.เมือง จ.สุโขทัย



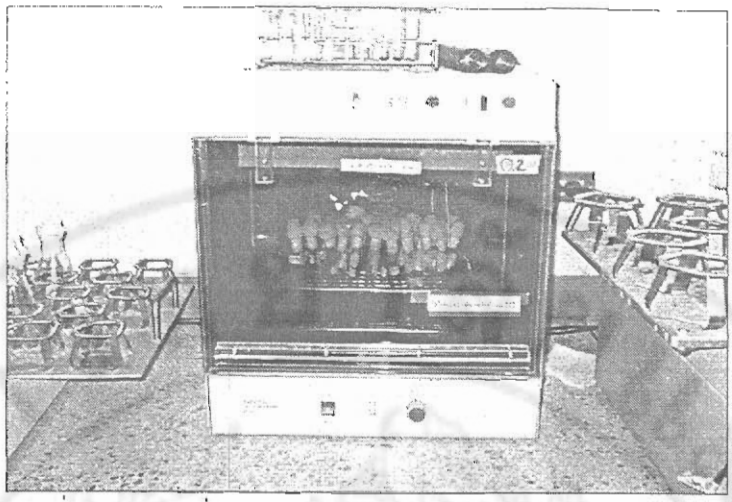

ภาพที่ ข4 เครื่องมือวัดค่าความขุ่น



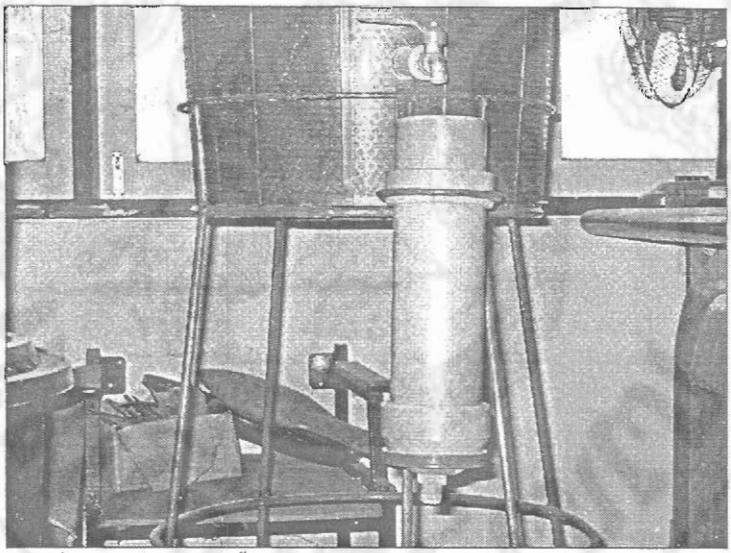
ภาพที่ ข5 เครื่องมือวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด



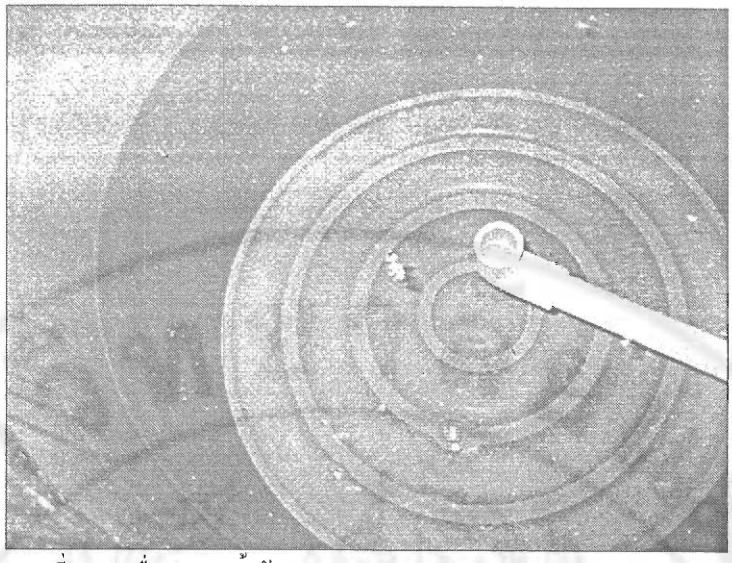
ภาพที่ ข6 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าของแข็งแขวนลอย



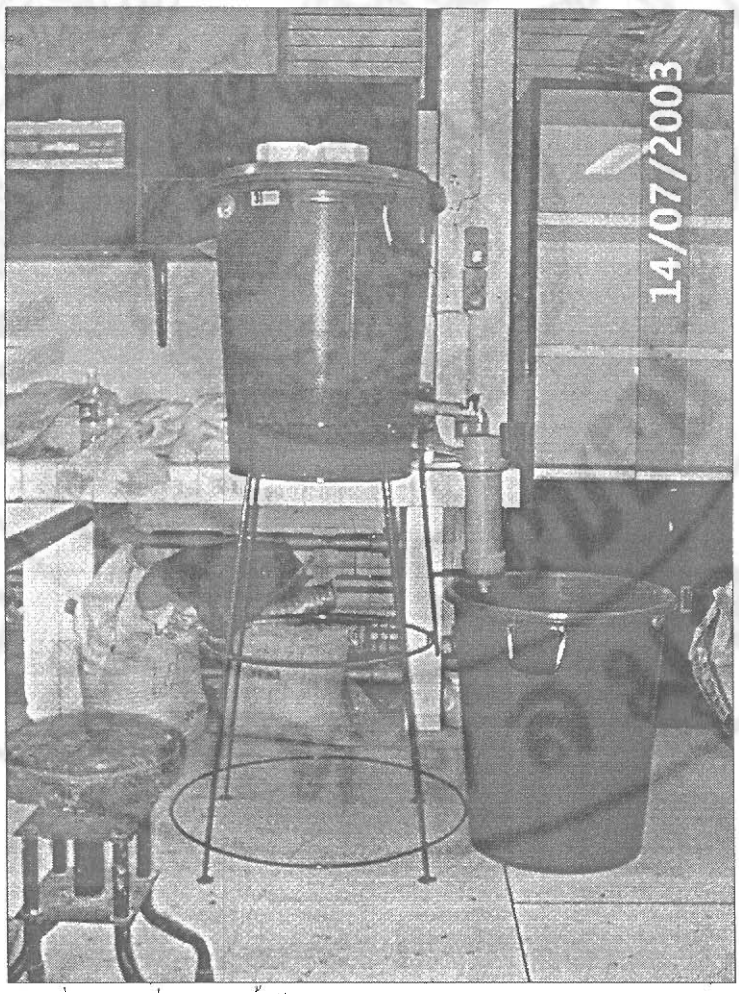
ภาพที่ ข7 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย



ภาพที่ ข8 เครื่องกรองน้ำต้นแบบ



ภาพที่ ข9 เครื่องกรองน้ำต้นแบบ




ภาพที่ ข10 เครื่องกรองน้ำต้นแบบ