บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพ การปรับปรุงคุณภาพน้ำของ ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก โดยการใช้ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว, 1-1/4 นิ้ว ,1-1/2 นิ้ว และ 2 นิ้ว มาต่อกันเป็นระบบฟล๊อคคูเลเตอร์ หรือระบบรวมตะกอน โดยภายในท่อขนาดต่าง ๆ จะบรรจุไปด้วยกลุ่มท่อขนาดเล็ก (Tubes) เพื่อใช้ในการบีบ ให้อนุภาคของตะกอนชนกัน และรวมตัวกันเป็นตะกอนเบาได้รวดเร็วขึ้น โดยกลุ่มท่อขนาดเล็กนี้จะบรรจุอยู่เต็มท่อขนาดต่าง ๆ ที่ใช้อย่างละหนึ่งท่อน ต่อ หนึ่งเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยในตำแหน่งที่วาง จะอยู่ในตำแหน่งสุดท้ายก่อนที่จะเปลี่ยนขนาดหน้าตัดใหญ่ขึ้นในแต่ละขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก สามารถลดขนาดของหน่วยผลิตและลดระยะเวลาในรวมตะกอน ในระบบผลิตน้ำประปาได้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ผลิตน้ำประปา โดยมีการศึกษาวิจัยและทำการทดลองทั้งหมด 168 ตัวอย่าง สามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 คุณลักษณะของน้ำดิบก่อนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นน้ำดิบที่สังเคราะห์ความขุ่นขึ้น 3 ช่วง ความขุ่น คือ 30-50 NTU , 50-100 NTU , 100-150 NTU มีค่า pH เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.0-9.0 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน ของสารส้ม และมีค่าสภาพด่างของน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 60-100 mg/l ค่าดังกล่าวเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารส้มในการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน โดยไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มความเป็นด่างให้กับน้ำดิบ และไม่ต้องปรับ พีเอชของน้ำดิบก่อนการทดลอง

5.1.2 คุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีคุณลักษณะแตกต่างกันไปตามอัตราการไหลของน้ำดิบที่ไหลภายในท่อของ ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดย พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการพิจารณา คือ ค่าความขุ่น และสามารถสรุปคุณลักษณะของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในทุก ๆ ช่วงความขุ่น กล่าวคือ 30-50 NTU, 50-100 NTU, 100-150 NTU พบว่า จากการทดลอง ที่ค่าอัตราการไหล 30 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยความขุ่น 6.2-8.4 NTU เมื่อเพิ่มอัตราการไหล 50 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยความขุ่น 6.2-8.5 NTU สำหรับอัตราการไหล 80 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยความขุ่น 4.8-6.6 NTU และอัตราการไหล 100 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยความขุ่น 7.4-12.3 NTU โดยสรุปค่าเฉลี่ยความขุ่นที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยอัตราการไหล 30 , 50 , 80 , และ 100 cm^3/s มีค่าพิสัยระหว่าง 4.8-12.3 NTU จากข้อมูลการทดลองข้างต้นพบว่า ค่าอัตราการไหล 80 cm^3/s สามารถกำจัดค่าความขุ่นลงให้เหลือน้อยที่สุด จึงเป็นค่าอัตราการไหลที่เหมาะที่สุดในการทดลอง การปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ในแง่ของคุณภาพน้ำเชิงเคมีพบว่าน้ำที่ผ่านระบบจะมีค่า พีเอช ลดลงเล็กน้อยเมื่อความขุ่นและอัตราการไหลสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันกับสภาพด่างของน้ำ แต่สภาพด่างของน้ำจะลดลงมากกว่าที่ระดับความขุ่นสูง ๆโดยอัตราการไหลจะไม่มีอิทธิพลมากนัก

5.1.3 ประสิทธิภาพของระบบในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ประสิทธิภาพของระบบ ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ค่าความขุ่น 30-50 NTU, 50-100 NTU, และ 100-150 NTU พบว่าที่ช่วงความขุ่นเหมือนกัน แต่ใช้อัตราการไหลต่างกัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่างกันไปโดยที่ ค่าอัตราการไหล 30 cm^3/s จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยร้อยละ 91 ที่ค่าอัตราการไหล 50 cm^3/s จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยร้อยละ 89.33 ที่ค่าอัตราการไหล 80 cm^3/s จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยร้อยละ 92 และที่ค่าอัตราการไหล 100 cm^3/s จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยร้อยละ 86.33 จากข้อมูลการทดลองข้างต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเฉลี่ย สรุปได้ว่า ที่ค่าอัตราการไหล 80 cm^3/s สามารถลดความขุ่นได้สูงสุด คือร้อยละ 92 ที่อัตราการไหล 30 cm^3/s สามารถลดความขุ่นได้รองลงมาคือร้อยละ 91 และที่ค่าอัตราการไหล 100 cm^3/s สามารถลดความขุ่นได้ต่ำสุดคือ ร้อยละ 86.33 ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ค่าอัตราการไหลที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งานจริง คือ ค่าอัตราการไหลที่ 100 cm^3/s เพราะประสิทธิภาพในการลดความขุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้สูงขึ้น

5.1.4 คุณภาพน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เทียบเคียงกับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก โดยพิจารณาที่ค่า พารามิเตอร์ ความขุ่นได้มาตรฐานทุกค่าอัตราการไหล ถ้าใช้เกณฑ์มาตรฐานความขุ่นที่ระดับ 25 NTU ค่าจากผลการทดลองที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมีทั้งหมด 144 ตัวอย่าง เทียบเป็นร้อยละ 100 ที่ผ่านเกณฑ์ โดยเปรียบเทียบจากทุกค่าอัตราการไหลในการทดลอง

จากคุณภาพน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังได้ระบุข้างต้นก่อนที่จะนำไปใช้เพื่อการบริโภคยังจำเป็นต้องผ่านระบบตกตะกอน ระบบกรอง รวมไปถึงระบบฆ่าเชื้อโรคก่อน จึงจะทำให้คุณภาพน้ำมีคุณภาพดีขึ้น และอยู่ในมาตรฐานน้ำเพื่อการบริโภคของการประปานครหลวงที่กำหนดไว้ 5 NTU ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย

5.1.5 ผลการศึกษาค่าเกรเดียนท์ ความเร็ว (G) จากระบบ

จากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการกำจัดความขุ่นด้วย ฟล๊อคคูเลเตอร์แบบกลุ่มท่อขนาดเล็กในการออกแบบ ขณะทดลองได้ทำการวัดค่าการสูญเสียของระดับน้ำที่ไหลภายในท่อ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเกรเดียนท์ความเร็ว (G) โดยค่าดังกล่าวจะบ่งบอกถึงความเร็วที่อาศัยพลังงานที่ก่อให้เกิดการผสมอย่างฉับพลัน หรือ การประคับประคอง ฟล๊อค ที่เกิดขึ้น สามารถรวมตัวกันได้ดีโดยไม่แตกตัว หลังจากรวมตัวกันแล้ว ด้วยเวลาที่เหมาะสม โดยจากการวัดค่าการสูญเสียจาก Piezometer board สังเกตพบว่า ค่าการสูญเสีย ที่เกิดขึ้นในระบบ จะแปรผันตรงกับค่าอัตราการไหล คือ ถ้าค่าอัตราการไหลสูง ก็จะเกิดค่าสูญเสีย (head Loss) สูงตาม และส่งผลให้ค่า G สูงตามไปด้วย และค่าดังกล่าวที่เกิดขึ้นในระบบ หลังจากปรับปรุงคุณภาพน้ำในทุก ๆ ช่วงความขุ่นคือ 30-50 NTU, 50-100 NTU และ 100-150 NTU พบว่า

จากการทดลองที่ค่าอัตราการไหล 30 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียของระดับน้ำ 0.103-0.107 ฟุต (3.2-3.3 เซนติเมตร)และค่า G เฉลี่ย 19-20 ต่อวินาที ที่ค่าอัตราการไหล 50 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียของระดับน้ำ 0.200-0.209 ฟุต (6.1-6.4 เซนติเมตร)และค่า G เฉลี่ย 33-34 ต่อวินาที ที่ค่าอัตราการไหล 80 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียของระดับน้ำ 0.256-0.266 ฟุต (7.8-8.1

เซนติเมตร) และค่า G เฉลี่ย 49-50 ต่อวินาที ทีค่าอัตราการไหล 100 cm^3/s จะได้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียของระบบน้ำ0.353-0.364ฟุต (10.8-11.1 เซนติเมตร) และค่า G เฉลี่ย 63-64 ต่อวินาที

โดยสรุปค่าเกรเดียนท์ความเร็ว เฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 20-64 ต่อวินาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานออกแบบของถังรวมตะกอนชนิดแผงกั้นที่ใช้คือ 20-74 ต่อวินาที จากการเปรียบเทียบพบว่า ค่าเกรเดียนท์ความเร็ว ที่ได้จากการทดลอง มีค่าพลังงานเพียงพอและสอดคล้องกับเกณฑ์การออกแบบที่เคยใช้กันโดยทั่วไปที่จะทำให้เกิดการรวมตะกอนในระบบท่อได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการออกแบบ และประยุกต์ใช้ระบบ ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็กสำหรับผลิตน้ำประปาในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะหัวข้อเรื่องต่าง ๆ ที่น่าสนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคปฏิบัติ และเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป ดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ในภาคสนาม

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังนั้น หากต้องการนำผลการทดลองไปใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไป ควรมีการศึกษากับ ฟล๊อคคูเลเตอร์ แบบกลุ่มท่อขนาดเล็ก ที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ทำในระบบต้นแบบ (Pilot scale) ก่อน เพื่อให้ได้ทราบถึงประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง จึงจะสามารถนำไปใช้แทนระบบรวมตะกอนแบบเดิมที่ยังใช้อยู่ในประเทศไทย

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรจะมีการออกแบบระบบระบายตะกอนออกจากท่อเพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันของท่อเนื่องจากตะกอนเบาที่รวมตัวกัน และไม่สามารถผ่านออกจากระบบ เพราะ ถูกกลุ่มท่อขนาดเล็กดักตะกอนเบาเอาไว้

2) ศึกษาการเกิดตะกอนสะสมที่เกิดขึ้นในระบบ หลังจากติดตั้งระบบระบายตะกอนออกจากท่อ

3) ศึกษาผลของความยาวของกลุ่มท่อขนาดเล็กในแต่ละช่วงของขนาดท่อที่ทดลอง

4) ศึกษาผลจากการใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น(เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2 นิ้ว)ต่อเพิ่มเติมกับขนาดท่อชุดทดลองเดิมเพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการรวมตะกอน

5) ก่อสร้างท่อในแนวซ้อนเพื่อลดขนาดพื้นที่ติดตั้งระบบ

6) ติดตั้งท่อเป็นมุมเอียงเพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับระบบตกตะกอนในเส้นท่อ (Tube Settler)

7) ควรใช้ท่อแบบใสติดตั้งในระบบ เพื่อสังเกตพฤติกรรมในการเกิดตะกอนเบา และการรวมตัวของตะกอน รวมไปถึงสังเกตขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้นในท่อแต่ละส่วนของระบบ