

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำประปา
ระหว่างระบบที่ใช้การตกตะกอนกับระบบที่ใช้การลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

**A comparative study of the efficiency of water supply production
between the system using sedimentation and the system using dissolved air floatation**

ธรรมนูญ รัศมีมาสเมือง

Thamnoon Rasmeeemasuang

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา E-mail: thamnoon@buu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลายผนวกกับการกรอง (Dissolved Air Floatation/Filtration: DAF/F) มาใช้ในกระบวนการแยกตะกอนแขวนลอยของการผลิตน้ำประปาอย่างแพร่หลาย ซึ่งระบบนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิมซึ่งใช้การตกตะกอนกับการกรอง ก็จะมีข้อเด่นแตกต่างกัน การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาของทั้งโรงผลิตน้ำประปาสองแห่งที่ใช้ทั้งสองระบบ โดยมีการเปรียบเทียบทั้งเชิงพรรณนา และมีการนำเสนอและใช้ดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดความต่างของความสามารถในการผลิตน้ำประปาเมื่อพิจารณาเรื่องของปริมาณการผลิต เรื่องของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และเรื่องของการทำงานของเจ้าหน้าที่หน้าปฏิบัติงาน โดยมีการใช้ข้อมูลจากโรงผลิตน้ำประปานิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จำนวนสองแห่งเป็นกรณีศึกษา

Abstract

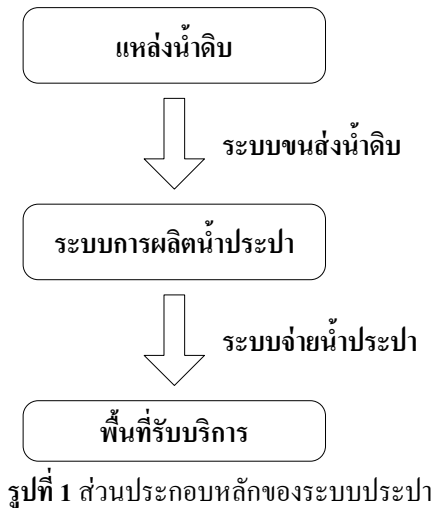
At the present, the dissolved air floatation/filtration system (DAF/F) is widely used in the production of potable water. Compared to the conventional system, which comprises of the sedimentation and the filtration, DAF/F has different advantages and vice versa. This paper presents the comparative study of the efficiency of water supply production between these two different systems. The comparison included both the descriptive study and also the development and application of the indexes to indicate the

capability of the potable water as considering volume of the tanks used in the systems, electricity consumption and working of production-related operators. Information from two water treatment plants in Amata Nakorn Industrial Estates, Chonburi Province is used as the study case.

1. บทนำ

ระบบประปา (Water supply system) เป็นระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของทุกภาคส่วนในสังคม ปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น ภาคครัวเรือน ภาคการบริการ และภาคอุตสาหกรรม ระบบประปาจะทำหน้าที่ในการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและส่งจ่ายไปยังผู้รับบริการของระบบ ระบบประปาจึงประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญ (รูปที่ 1) คือ (1) แหล่งน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปา เช่น อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง แหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น (2) ระบบการขนส่งน้ำดิบไปยังระบบการผลิตน้ำประปา ซึ่งอาจจะเป็นระบบท่อ (Pipe system) หรือระบบทางน้ำเปิด (Open-channel system) ก็ได้ (3) ระบบการผลิตน้ำประปา และ (4) ระบบการจ่ายน้ำประปาไปยังพื้นที่รับบริการ ซึ่งเป็นระบบท่อ (ดูเพิ่มเติมที่ [1])

ระบบการผลิตจะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตน้ำประปาต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีน้ำมีคุณภาพที่ดีเพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้น จะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพ (Physical processes) เช่น การตกตะกอน (Sedimentation)



การกรอง (Filtration) เป็นต้น และกระบวนการทางเคมี (Chemical Processes) เช่น กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น (ดูเพิ่มเติมที่ [2]) ซึ่งการเลือกกระบวนการผลิตน้ำประปาจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา และคุณลักษณะของน้ำดิบ เป็นต้น [3]

ในระบบดั้งเดิมของการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน จะประกอบไปด้วย การสูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบ จากนั้นมีการกรองเบื้องต้น (Pre-Screening) และ/หรือการตกตะกอนเบื้องต้น (Pre-Sedimentation) เพื่อเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ อย่างใบไม้หรือกรวดทราย จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) มีการเติมสารสร้างตะกอน (Coagulants) มีการกวน (Mixing) เพื่อให้ตะกอนเกิดการจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือที่เรียกกันว่า กระบวนการฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) น้ำดิบที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชันก็จะไหลสู่ถังตกตะกอนเพื่อเข้าสู่กระบวนการตกตะกอน ตะกอนที่จับตัวกันจนมีขนาดใหญ่จะตกลงที่ก้นตามแรงโน้มถ่วงของโลก และน้ำดิบที่ใสขึ้นจะไหลเข้าสู่ถังกรองเพื่อผ่านกระบวนการกรอง (Filtration) น้ำดิบที่ผ่านกระบวนการกรองแล้วจะมีความใสมาก และก่อนที่จะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบประปากลายเป็นน้ำประปานั้นจะมีการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) ซึ่งในระบบดั้งเดิมส่วนใหญ่มักจะใช้การเติมสารคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค

นอกเหนือจากระบบดั้งเดิมดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมี การใช้ระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (Dissolved air floatation) เข้ามาทดแทนระบบการตกตะกอนที่อยู่ในระบบแบบดั้งเดิมนี้ด้วย ระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย เป็นเทคโนโลยีที่ถูกศึกษาและพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1920 [4] ระบบนี้จะหมายถึง กระบวนการกำจัดของแข็งหรือตะกอนแขวนลอย (Suspended solid) ออกจากน้ำ โดยการทำให้ตะกอนแขวนลอยเหล่านั้นลอยตัวขึ้น ด้วยการเติมฟองอากาศขนาดเล็กมาก (Air micro-bubbles) จำนวนมากลงไปใต้น้ำ เมื่อฟองอากาศเหล่านี้ลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ ก็จะนำพาตะกอนแขวนลอยขึ้นสู่บริเวณผิวน้ำไปด้วย การลอยตะกอนด้วยอากาศละลายนิยมใช้มากในกระบวนการกำจัดตะกอนแขวนลอยและไขมันหรือน้ำมันในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม [5, 6] การลอยตะกอนด้วยอากาศละลายถูกขายนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษที่ (ค.ศ) 1960 [7] เมื่อมีการพัฒนาระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลายผนวกกับการกรอง เกิดเป็น Dissolved Air Floatation/Filtration (DAF/F) ซึ่งสามารถออกแบบให้มีการทำงานได้ถึงลอยตะกอนและถังกรองในใบเดียวกัน

ระบบการผลิตน้ำประปาที่ใช้การตกตะกอนและการกรอง หรือระบบดั้งเดิมทั่วไป ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ระบบ SED/F (ใช้เฉพาะในบทความนี้) และระบบการผลิตน้ำประปาที่ใช้การลอยตะกอนด้วยอากาศละลายและการกรองในถังเดียวกัน ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ระบบ DAF/F ต่างก็มีข้อดีข้อด้อยที่แตกต่างกัน เช่น ระบบ SED/F สามารถจะผลิตน้ำประปาที่รองรับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงได้ ในขณะที่ระบบ DAF/F มีข้อจำกัดเรื่องความขุ่นของน้ำดิบ แต่ในขณะที่ระบบ DAF/F เป็นระบบที่ใช้พื้นที่ของโรงงานหรือปริมาตรของถังน้ำในกระบวนการผลิตน้อยกว่าระบบ SED/F เป็นต้น

การศึกษานี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำประปาของ ระบบ SED/F กับระบบ DAF/F โดยใช้กรณีศึกษาโรงผลิตน้ำประปาที่นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี ซึ่งดูแลบริหารจัดการโดยบริษัท อมตะวอเตอร์ จำกัด ในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จะมีโรงผลิตน้ำประปาอยู่สองแห่ง โรงผลิตน้ำประปาแห่งแรกจะมีการผลิตน้ำประปา

แบบระบบ SED/F และ โรงผลิตแห่งที่สองจะมีการผลิตน้ำประปาแบบระบบ DAF/F ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมจะอยู่ในหัวข้อถัดไป นอกจากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพรรณนาแล้ว การศึกษานี้ได้เสนอดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบไร้อคติสำหรับระบบการผลิตน้ำประปาที่แตกต่างกัน เพื่อประโยชน์ในการใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาในกรณีอื่นทั่วไปด้วย

2. โรงผลิตน้ำประปาที่ศึกษา

โรงผลิตน้ำประปาที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในการศึกษานี้เป็นโรงผลิตน้ำประปาในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร โดยมีสองแห่ง ได้แก่

2.1 โรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร แห่งที่ 1 (Amata Nakorn Water Treatment Plant No. 1)

โรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร แห่งที่ 1 ตั้งอยู่ในบริเวณเฟสที่ 1 ของพื้นที่นิคมฯ เป็นโรงผลิตน้ำประปาที่มีระบบการผลิตน้ำประปาแบบดั้งเดิม ที่ใช้ระบบ SED/F มีแหล่งน้ำดิบ ได้แก่ เขื่อนสิียด แม่น้ำบางปะกง อ่างเก็บน้ำชนนาร น้ำดิบจากบริษัทจัดหาน้ำดิบเอกชน อ่างเก็บน้ำอมตะ2 อ่างเก็บน้ำอมตะ3 และอ่างเก็บน้ำแวนรัดน์ มีความสามารถในการผลิตน้ำประปา 23,000 m³/d หน่วยการผลิตน้ำประปาประกอบด้วย

2.1.1) ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น (Upflow sludge blanket clarifier) ความสามารถสูงสุด 320 m³/hr จำนวน 3 ถัง

2.1.2) ถังกรองทรายอัตโนมัติ (Automatic valveless gravity filter) จำนวน 3 ถัง (ปัจจุบันไม่ได้ใช้เป็นถังกรองแล้ว แต่ใช้เป็นถังพักน้ำแทน)

2.1.3) ถังพักน้ำใส (Intermediate Tank) ขนาด 100 m³ จำนวน 1 ถัง

2.1.4) ถังกรองทรายแบบใช้ความดัน (Pressure sand filter) ความสามารถสูงสุด 300 m³/hr จำนวน 4 ถัง

2.1.5) ถังเก็บน้ำใส (Clear well) ขนาด 3,500 m³ จำนวน 2 ถัง

2.1.6) ถังเก็บน้ำใต้ดิน (Ground tank) ขนาด 10,000 m³ จำนวน 1 ถัง

2.1.7) บ่อเก็บตะกอน (Sludge lagoon)

2.1.8) ระบบสูบน้ำสารเคมีและถังเก็บสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย สารส้ม (Alum) โซดาไฟ (NaOH) โพลีเมอร์ (Polymer) และคลอรีน (Chlorine)

กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตแห่งที่ 1 จะมีวิธีแบบดั้งเดิม (Convention method) (ดูเพิ่มเติมได้จาก [2, 3, 8]) ซึ่งเริ่มต้นจากการขนส่งน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบมายังโรงผลิตน้ำประปา (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) จากนั้นสารเคมีซึ่งประกอบด้วย สารส้ม โซดาไฟ โพลีเมอร์ และคลอรีน จะถูกผสมในเส้นท่อโดยมีเครื่องผสมสารเคมี (Static mixer หรือ Inline mixer) ติดตั้งอยู่ในเส้นท่อ ทำหน้าที่กวนผสมสารเคมีให้เข้ากับน้ำดิบ ปริมาณและอัตราการจ่ายสารเคมีขึ้นอยู่กับผลการทำจาร์เทส (Jar test) เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม หลังจากสารเคมีผสมเข้ากับน้ำดิบดีแล้ว น้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (2.1.1) บริเวณส่วนกลางของถัง ภายในบริเวณส่วนกลางของถังจะมีเครื่องกวน (Mixer) ทำหน้าที่กวนน้ำช้าๆ เพื่อกวนให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กสัมผัสกันและรวมตัวเป็นฟล็อก (Floc) ขนาดใหญ่ขึ้น น้ำจะไหลออกจากส่วนกลางของถังในด้านล่าง เมื่อน้ำไหลขึ้นพื้นที่หน้าตัดของการไหลจะเพิ่มขึ้น ความเร็วจะลดลง จนกระทั่งความชันของความเร็ว (Velocity gradient) ที่พอเหมาะกับการรวมตะกอน คือ จากมากไปหาน้อย ตะกอนมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนเมื่อไหลขึ้นไปได้ราวสองในสามของถัง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตะกอนฟล็อกจะพอดีกับแรงยกที่เกิดจากความเร็วของน้ำที่ไหลขึ้น ตะกอนจะไม่ไหลขึ้นหรือจมตัวลง แต่จะอยู่ที่และเกาะตัวกันเป็นชั้นตะกอนซึ่งเรียกว่า ชั้นสลัดจ์ (Sludge blanket) ชั้นสลัดจ์นี้จะทำหน้าที่คอยดูดซับตะกอนที่ตามขึ้นมา น้ำที่ล้นมาจากถังตกตะกอนจะไหลเข้าสู่ถังกรองทรายอัตโนมัติ เพื่อกรองตะกอนเล็กๆ สารแขวนลอย สารอินทรีย์ และสิ่งสกปรกที่หลุดออกมาจากถังตกตะกอนเพื่อกรองน้ำให้มีความสะอาดมากขึ้น ปัจจุบันทางโรงผลิตแห่งที่ 1 ได้เลิกใช้ถังกรองทรายอัตโนมัติ (2.1.2) สำหรับการกรองแล้ว แต่ใช้พักน้ำไว้เท่านั้น การกรองในปัจจุบันใช้เพียงถังกรองทรายแบบใช้ความดัน (2.1.4) ภายหลังจากที่น้ำผ่านถังตกตะกอน จะมีการเติมสารคลอรีนในเส้นท่อ เพื่อฆ่าเชื้อโรค จากนั้นน้ำ

ในจะถูกพักไว้ที่ถังพักน้ำ (2.1.3) เพื่อเพิ่มระยะเวลาในฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน จากนั้นน้ำจะถูกส่งไปยังถังกรองทรายแบบใช้ความดัน (2.1.4) เพื่อทำการกรอง น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองแล้วจะถูกเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำใส (2.1.5) และถังเก็บน้ำใส (2.1.6) รอการสูบจ่ายให้กับโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครต่อไป

2.2 โรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร แห่งที่ 2 (Amata Nakorn Water Treatment Plant No. 2)

โรงผลิตน้ำประปานิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร แห่งที่ 2 ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ 6 ของพื้นที่นิคมฯ เป็นโรงผลิตน้ำประปาที่มีระบบการผลิตน้ำประปาที่ใช้ระดับ DAF/F มีแหล่งน้ำดิบ ได้แก่ เขื่อนสิชล อ่างเก็บน้ำอูมตักดี บ่อน้ำใต้ดินในนิคมฯ และน้ำดิบจากบริษัทจัดหาน้ำดิบเอกชน มีความสามารถในการผลิตน้ำประปา 21,000 m³/d หน่วยการผลิตน้ำประปาประกอบด้วย

2.2.1) ถังเติมอากาศ (Aerator) จำนวน 1 ถัง

2.2.2) ถัง DAF/F ความสามารถสูงสุด 320 m³/hr จำนวน 2 ถัง

2.2.3) ถังละลายอากาศ (Air Dissolving Tube: ADT)

2.2.4) ถังเก็บน้ำใสสี่เหลี่ยม (Rectangular tank) ขนาด 1,562 m³ จำนวน 1 ถัง

2.2.5) ถังเก็บน้ำใสทรงกระบอก (Cylinder tank) ขนาด 1,556 m³ จำนวน 1 ถัง

2.2.6) ถังทำให้สลัดจ์ขึ้น (Sludge thickener tand)

2.2.7) ระบบสูบจ่ายสารเคมีและถังเก็บสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย สาร PAC หรือ Poly-aluminiumchloride, โซดาไฟ (NaOH), โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) และคลอรีน (Chlorine)

หลักการทำงานของโรงผลิตแห่งที่ 2 จะเป็นแบบ DAF/F (ดูรูปที่ 3 ประกอบ) กล่าวคือ น้ำดิบจะถูกลำเลียงเข้ามาที่โรงผลิตน้ำประปาด้วยระบบท่อ เมื่อเข้ามาถึงโรงผลิตน้ำประปา จะมีการผสมสารเคมีในเส้นท่อ (Inline mixing) โดยสารเคมีจะประกอบไปด้วย PAC, โซดาไฟ และ โพลีอิเล็กโทรไลต์ จากนั้นน้ำดิบจะถูกส่งไปที่ถังเติมอากาศ (2.2.1) เพื่อกำจัด

สีที่ปนเปื้อนมากับน้ำดิบ โดยให้น้ำดิบพุ่งขึ้นไปสัมผัสกับอากาศและค่อยๆ ไหลลงมาที่ละชั้นๆ จากนั้นน้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถัง DAF/F (2.2.2) ซึ่งในระหว่างนี้อากาศจะถูกอัดเข้าไปในน้ำดิบด้วยเครื่อง ADT (2.2.3) ซึ่งจะอัดอากาศที่มีแรงดัน 7.2 ถึง 8.0 บาร์ ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากในน้ำ ขณะที่น้ำดิบอยู่ในถัง DAF/F ฟองอากาศจะลอยตัวขึ้นสู่น้ำ และพาตะกอนลอยขึ้นไปสู่น้ำด้วย เครื่องตัดตะกอนน้ำ จะทำการตัดตะกอนที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ระบายออกไปยังถังทำให้สลัดจ์ขึ้น (2.2.6) ส่วนน้ำที่อยู่ในถัง DAF/F ก็จะค่อยๆ ไหลผ่านชั้นกรองในถัง DAF/F ออกมาเป็นน้ำใส เข้าไปเก็บไว้ที่ถังพักน้ำใส (2.2.4 และ 2.2.5) เมื่อจะสูบจ่ายไปยังผู้ใช้ น้ำใสก็จะถูกเติมคลอรีนเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรค ระบบ DAF/F นี้จะถูกจำกัดสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 50 NTU

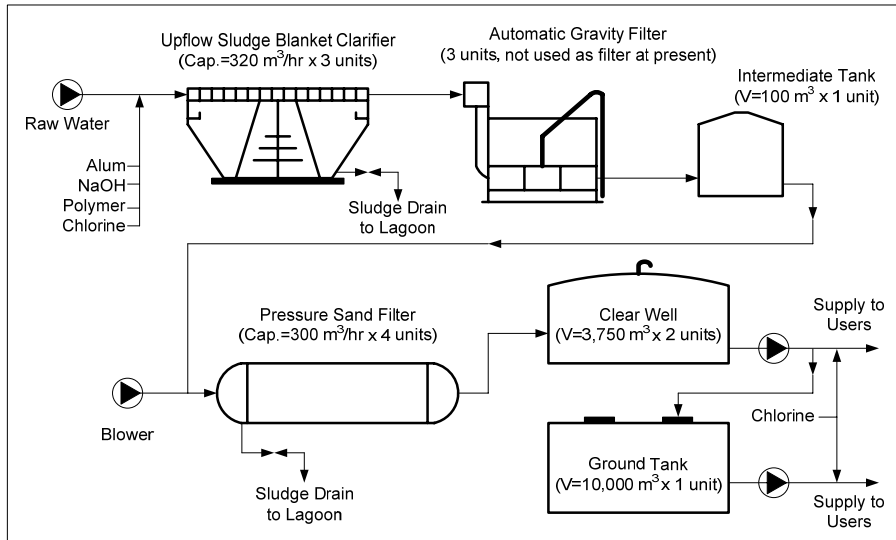
เมื่อพิจารณาระบบการผลิตของโรงผลิตน้ำประปาทั้งสองแห่ง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า โรงผลิตน้ำประปาทั้งสองแห่งมีกระบวนการผลิตน้ำประปาที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างกระบวนการกำจัดอนุภาคแขวนลอยออกจากน้ำ ซึ่งโรงผลิตแห่งที่ 1 ใช้ระบบการตกตะกอนและการกรอง (SED/F) ในขณะที่โรงผลิตแห่งที่ 2 ใช้ระบบการลอยตะกอนและการกรอง (DAF/F) การศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาของระบบทั้งสองที่แตกต่างกันนี้

3. ขั้นตอนการศึกษา

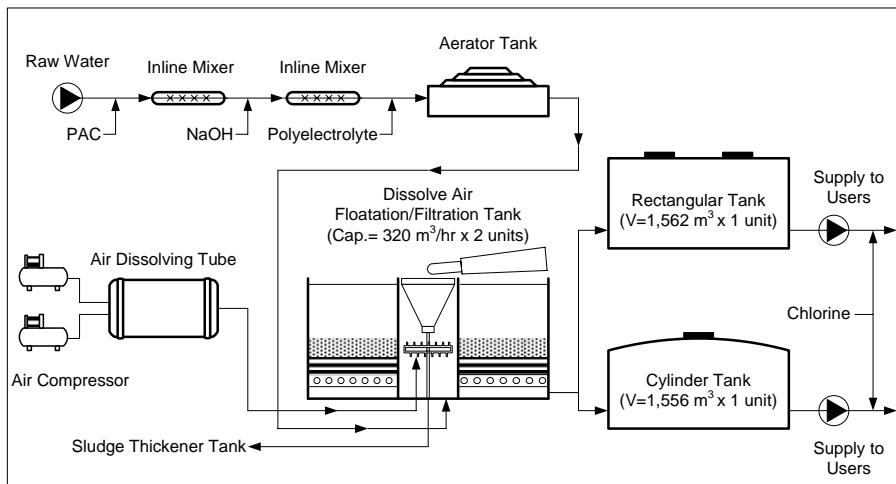
ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาของระบบ SED/F ของโรงผลิตแห่งที่ 1 และระบบ DAF/F ของโรงผลิตแห่งที่ 2 มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

3.1 ทำการศึกษากระบวนการทำงานของระบบ SED/F และระบบ DAF/F อย่างละเอียด โดยการเข้าไปศึกษาในโรงผลิตน้ำประปาจริง และสอบถามเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานจริง (รายละเอียดบางเรื่อง ทางบริษัทไม่สามารถเปิดเผยได้)

3.2 ทำการสัมภาษณ์วิศวกรควบคุมและ/หรือเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ที่จะนำมาประกอบการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น ลักษณะการทำงาน ข้อจำกัดในการทำงาน และข้อเด่น-ข้อด้อย เป็นต้น



รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของโรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมมอตะนคร แห่งที่ 1



รูปที่ 3 แผนภาพการทำงานของโรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมมอตะนคร แห่งที่ 2

- 3.3 ทำเปรียบเทียบเชิงพรรณนาเกี่ยวกับข้อเด่น-ข้อด้อยของระบบการผลิตน้ำประปาทั้งสองแบบ (ดังแสดงผลในหัวข้อ 4.1) และทำการอภิปรายข้อสมมติฐานการเปรียบเทียบนี้ ร่วมกับบุคลากรในข้อ 3.2
- 3.4 นำเสนอดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงตัวเลข ที่มีการถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ดัชนีดังกล่าวสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานทางกายภาพอย่างแท้จริงปราศจากตัวแปรที่มีอคติ
- 3.5 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าตามดัชนีในข้อ 3.4 จากนั้นทำการคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพตามดัชนีที่ตั้งขึ้น

4. ผลการศึกษา

4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำประปาด้วยระบบ SED/F กับระบบ DAF/F เชิงพรรณนา ของโรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมมอตะนคร

จากการศึกษาตามขั้นตอนข้างต้น เราจะพบข้อเด่นของการผลิตน้ำประปาด้วยระบบ SED/F และระบบ DAF/F เมื่อเปรียบเทียบกัน ดังนี้

ข้อเด่นของระบบ SED/F ของโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ DAF/F ของโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2

- มีกำลังการผลิตสูงกว่า

- สามารถรองรับน้ำดิบที่มีความขุ่นได้สูงกว่า เนื่องจากระบบ DAF/F จะรองรับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 50 NTU เท่านั้น
- ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากระบบตกตะกอนจะใช้หลักการที่ตะกอนตกตะกอนลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้ระบบ DAF/F จำเป็นต้องใช้พลังงานมากกว่ามาก โดยเฉพาะกระบวนการบีบฟองอากาศขนาดเล็ก

ข้อเด่นของระบบ DAF/F ของโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ SED/F ของโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 1

- ประหยัดปริมาณของถังในกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากถังลอยตะกอนและถังกรองถูกออกแบบให้เป็นถังเดียวกัน
- สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดระบบในการล้างย้อน เนื่องจากถัง DAF/F จะมีการแบ่งออกเป็น 16 ช่อง และจะมีการล้างย้อนอัตโนมัติตลอดเวลาที่ละช่องๆ
- ใช้เจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติการน้อยกว่า เนื่องจากระบบเป็นระบบอัตโนมัติ

จากการเปรียบเทียบเชิงพรรณนาข้างต้น พร้อมกับ การอภิปรายร่วมกับวิศวกรควบคุมและเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานของทั้งสองโรงผลิตน้ำประปา พบความไม่ชัดเจนหรือประเด็นโต้แย้งอยู่หลายประการ ตัวอย่างเช่น

- โรงผลิตแห่งที่ 1 ผลิตน้ำประปามากกว่า เนื่องจากมีจำนวนถังตะกอนและถังกรองมากกว่า ใช่หรือไม่
- โรงผลิตแห่งที่ 2 ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าโรงผลิตแห่งที่ 1 นั้น มากกว่าเท่าไร และเป็นสัดส่วนอย่างไรกับการผลิตน้ำประปา
- การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ของโรงผลิตแห่งที่ 1 น้อยกว่าจริงหรือไม่ และมีความสัมพันธ์อย่างไรกับน้ำประปาที่ผลิตได้

ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำเสนอดัชนีเปรียบเทียบเชิงตัวเลขที่จะแสดงประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาของแต่ละระบบดังหัวข้อต่อไป

4.2 ดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตน้ำประปาด้วยระบบ SED/F กับระบบ DAF/F ของโรงผลิตน้ำประปา นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงพรรณนาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการผลิตน้ำประปาด้วยระบบ SED/F ของโรงผลิตแห่งที่ 1 กับระบบ DAF/F ของโรงผลิตแห่งที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญอยู่ 4 ตัว คือ (1) ปริมาตรของน้ำประปาที่ผลิตได้ (2) ปริมาตรของถังที่ใช้ระบบ (3) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต และ (4) การทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ทางบริษัท อมตะวอเตอร์ จำกัด ดำเนินการรวบรวมอยู่และอนุญาตให้การศึกษานี้ นำไปใช้ได้ ประกอบกับการพิจารณาสร้างดัชนีที่มีอคติน้อยที่สุด การศึกษานี้ได้ใช้ (1) ปริมาตรทั้งหมดน้ำประปาที่ส่งจ่ายออกจากโรงผลิตน้ำประปา (Total water distribution: TWD) (2) ปริมาตรของถังที่ใช้ในระบบ SED/F และระบบ DAF/F ในส่วนที่มีกระบวนการแตกต่างกันเท่านั้น กล่าวคือ ระบบตกตะกอน ระบบกรอง และระบบลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยไม่รวมปริมาณถังที่มีลักษณะการใช้งานเหมือนกัน เช่น ถังเก็บน้ำใส เป็นต้น (3) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในโรงผลิตน้ำประปา เนื่องจากไม่มีข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละระบบ (4) การทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน เฉพาะเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง ได้แก่ วิศวกรควบคุม และเจ้าหน้าที่เทคนิคฝ่ายต่างๆ โดยไม่รวมเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารและฝ่ายธุรการ โดยมีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

การศึกษานี้พัฒนาดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาของทั้งสองระบบ โดยมีหลักการที่ว่าความสามารถของระบบที่ทำให้เกิดผลผลิตน้ำประปานั้น ควรจะแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตด้วย ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำเสนอดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพ จำนวน 3 ตัว ดังสมการที่ (1), (2) และ (3) คือ

$$VWVT = \frac{TWD}{VT} \quad (1)$$

$$VWEC = \frac{TWD}{EC} \quad (2)$$

$$VWOF = \frac{TWD}{OF} \quad (3)$$

เมื่อ $VWVT$ (m^3/m^3) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำประปาที่สูญจ่ยออกจากโรงผลิตน้ำประปา TWD (m^3) ต่อปริมาณถึงที่ใช้ในระบบ VT (m^3); $VWEC$ ($m^3/kW\cdot hr$) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำประปาที่สูญจ่ยออกจากโรงผลิตน้ำประปา TWD (m^3) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในโรงผลิตน้ำประปา ($kW\cdot hr$); $VWOF$ ($m^3/man\cdot hr$) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำประปาที่สูญจ่ยออกจากโรงผลิตน้ำประปา TWD (m^3) ต่อการทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน OF ($man\cdot hr$)

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลรายเดือนของปริมาณน้ำประปาที่สูญจ่ยออกจากโรงผลิตน้ำประปาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงผลิตน้ำประปา ของทั้งโรงผลิตแห่งที่ 1 และโรงผลิตแห่งที่ 2 ตลอดปีพ.ศ. 2552 เมื่อประกอบกับข้อมูลในตารางที่ 1 เราจะคำนวณหาค่าของดัชนี $VWVT$, $VWEC$ และ

$VWOF$ ของทั้งโรงผลิตแห่งที่ 1 และโรงผลิตแห่งที่ 2 ได้ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณถึงและจำนวนการทำงานของเจ้าหน้าที่

พารามิเตอร์	Plant	
	No.1	No.2
ปริมาณถึงคกตะกอน (m^3) (จำนวน 3 ถึงๆ ละ $422 m^3$)	1,266	-
ปริมาณถึงกรองแบบใช้ความดัน (m^3) (จำนวน 4 ถึงๆ ละ $184 m^3$)	736	-
ปริมาณถึง DAF/F (m^3) (จำนวน 2 ถึงๆ ละ $140 m^3$)	-	280
การทำงานของเจ้าหน้าที่ต่อวัน ($man\cdot hr$)	104	88

ตารางที่ 2 ข้อมูลปริมาณน้ำประปาที่สูญจ่ยออกจากโรงผลิตน้ำประปา TWD (m^3), พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในโรงผลิตน้ำประปา ($kW\cdot hr$), $VWVT$ (m^3/m^3), $VWEC$ ($m^3/kW\cdot hr$) และ $VWOF$ ($m^3/man\cdot hr$)

ข้อมูลปี 2552	Total Water Distribution (m^3)		Electricity Consumption ($kW\cdot hr$)		VWVT (m^3/m^3)		VWEC ($m^3/kW\cdot hr$)		VWOF ($m^3/man\cdot hr$)	
	Plant No.1	Plant No.2	Plant No.1	Plant No.2	Plant No.1	Plant No.2	Plant No.1	Plant No.2	Plant No.1	Plant No.2
มกราคม	422,511	369,015	15,454	50,163	211	1,318	27	7	4,063	4,193
กุมภาพันธ์	434,329	405,658	22,072	56,688	217	1,449	20	7	4,176	4,610
มีนาคม	405,715	362,410	9,945	43,563	203	1,294	41	8	3,901	4,118
เมษายน	413,027	363,670	11,375	44,022	206	1,299	36	8	3,971	4,133
พฤษภาคม	425,819	359,668	10,784	43,186	213	1,285	39	8	4,094	4,087
มิถุนายน	541,139	371,357	11,640	51,154	270	1,326	46	7	5,203	4,220
กรกฎาคม	505,243	353,208	10,706	52,070	252	1,261	47	7	4,858	4,014
สิงหาคม	550,680	370,618	11,730	56,482	275	1,324	47	7	5,295	4,212
กันยายน	599,624	385,012	11,453	57,454	300	1,375	52	7	5,766	4,375
ตุลาคม	587,832	384,045	10,681	51,385	294	1,372	55	7	5,652	4,364
พฤศจิกายน	591,206	393,294	10,793	46,203	295	1,405	55	9	5,685	4,469
ธันวาคม	513,899	397,207	9,538	47,395	257	1,419	54	8	4,941	4,514
ค่าเฉลี่ย	499,252	376,264	12,181	49,980	249	1,344	43	8	4,801	4,276

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า *VWVT* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 และโรงผลิตแห่งที่ 2 โดยใช้ข้อมูลรายเดือนของปี พ.ศ. 2552 ตามตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาปริมาตรน้ำประปาที่สูบจ่ายออกจากโรงผลิตน้ำประปา *TWD* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 (เส้นทึบเครื่องหมายสามเหลี่ยม) จะสูงกว่าค่า *TWD* ของโรงผลิตแห่งที่ 2 (เส้นปะเครื่องหมายวงกลม) ทุกเดือนตลอดปี พ.ศ. 2552 แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนี *VWVT* ซึ่งแสดงว่า ปริมาตรถึงในกระบวนการผลิต (ที่แตกต่างกันของทั้งสองระบบ) หนึ่งลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตน้ำประปาได้เท่าไร ก็ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ระบบ *DAF/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 2 สามารถผลิตน้ำประปาต่อปริมาตรถึงได้มากกว่าระบบ *SED/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 เนื่องจากระบบ *DAF/F* จะใช้ถังลอย ตะกอนและถังกรองในถังเดียวกัน โดยค่าดัชนี *VWVT* ของ โรงผลิตแห่งที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าดัชนี *VWVT* ของโรงผลิต แห่งที่ 1 ประมาณ 4.6 ถึง 6.7 เท่า และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.5 เท่า สำหรับข้อมูลปี พ.ศ. 2552

ในกรณีค่าดัชนี *VWEC* ดังรูปที่ 5 ถูกแสดงใน ลักษณะเดียวกันกับค่าดัชนี *VWVT* ดังรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาค่า ดัชนี *VWEC* ซึ่งแสดงว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงผลิต น้ำประปาใช้หนึ่งกิโลวัตต์ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำประปาได้ เท่าไร ก็ จะเห็นว่า เมื่อพิจารณาประเด็นการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบ *SED/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 มีความสามารถในการผลิต น้ำประปาได้มากกว่าระบบ *DAF/F* เนื่องจากระบบ *SED/F* ใช้ ระบบการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก ในขณะที่ระบบ *DAF/F* ต้องมีการอัดฟองอากาศขนาดเล็กเข้าไปในน้ำ และให้ ฟองอากาศนำพาตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยค่า *VWEC* ของ โรงผลิตแห่งที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าดัชนี *VWEC* ของโรงผลิต แห่งที่ 2 ประมาณ 2.7 ถึง 7.8 เท่า และมีค่าเฉลี่ย 5.8 เท่า สำหรับข้อมูลปี พ.ศ. 2552

สำหรับประเด็นเรื่องการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ สามารถวัดได้โดยใช้ค่าดัชนี *VWOF* (ดังรูปที่ 6) ซึ่งแสดงว่า การทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานหนึ่งคนชั่วโมงจะสามารถ ผลิตน้ำประปาได้กี่ลูกบาศก์เมตรนั้น จะเห็นได้ว่า ทั้งระบบ *SED/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 กับระบบ *DAF/F* ของโรงผลิต แห่งที่ 2 มีความแตกต่างกันไม่มาก ในเดือนมกราคมถึงเดือน

เมษายน ปีพ.ศ. 2552 ค่าดัชนี *VWOF* ของโรงผลิตแห่งที่ 2 มากกว่าค่าดัชนี *VWOF* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 เฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 6 ในขณะที่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม ค่าดัชนี *VWOF* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 มากกว่าค่าดัชนี *VWOF* ของ โรงผลิตแห่งที่ 2 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 21 เมื่อพิจารณาข้อมูล ตลอดทั้งปีพ.ศ. 2552 พบว่า ค่าดัชนี *VWOF* ของโรงผลิตแห่ง ที่ 1 มากกว่าค่าดัชนี *VWOF* ของโรงผลิตแห่งที่ 2 เฉลี่ย ประมาณเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น หรือ 1.1 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสองดัชนีก่อนหน้านี้จะเห็นว่า ในประเด็นเรื่องการทำงาน ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน โรงผลิตน้ำประปาทั้งสองแห่งมี ประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาใกล้เคียงกัน

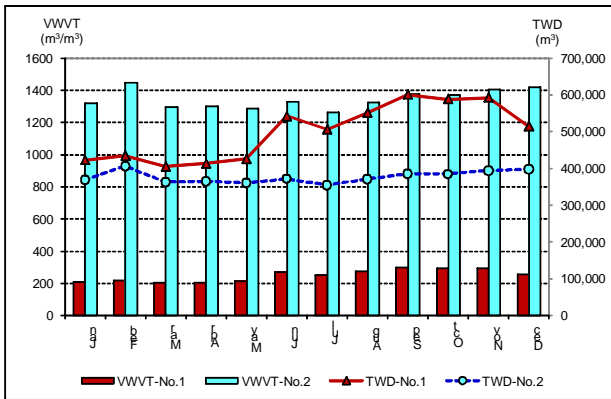
5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการ ผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาที่มีระบบการกำจัด ตะกอนแขวนลอยที่แตกต่างกัน โดยใช้กรณีศึกษาของโรงผลิต น้ำประปานิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี คือ โรง ผลิตแห่งที่ 1 ที่มีระบบตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก และระบบการกรองแบบใช้ความดัน (*SED/F*) และโรงผลิต แห่งที่ 2 ที่มีระบบลอยตะกอนด้วยอากาศละลายทำงานร่วมกับ ระบบการกรอง (*DAF/F*) การศึกษามีการเปรียบเทียบทั้งเชิง พรรณณาและมีการพัฒนาและใช้ดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การผลิตน้ำประปา

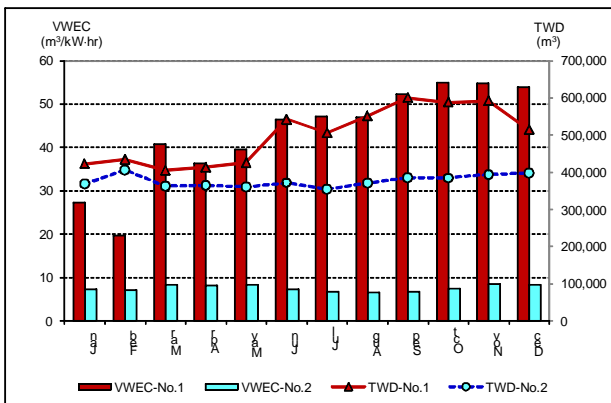
ผลการศึกษาพบว่าระบบ *DAF/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 2 มีความสามารถในการผลิตน้ำประปาต่อปริมาตรถึงที่ใช้ใน ระบบ มากกว่าระบบ *SED/F* ของโรงผลิตแห่งที่เฉลี่ยประมาณ 5.5 เท่า เมื่อพิจารณาประเด็นการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบ *SED/F* ของโรงผลิตแห่งที่ 1 มีความสามารถในการผลิต น้ำประปาต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงผลิตน้ำประปา มากกว่าเฉลี่ยประมาณ 5.8 เท่า และเมื่อพิจารณาประเด็นการ ทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานแล้ว ทั้งสองระบบในสองโรง ผลิตน้ำประปามีความแตกต่างกันไม่มากนัก

หากมีการทำการรวบรวมข้อมูลและคำนวณค่าตาม ดัชนีเปรียบเทียบที่นำเสนอในการศึกษานี้ จะทำให้เราสามารถ

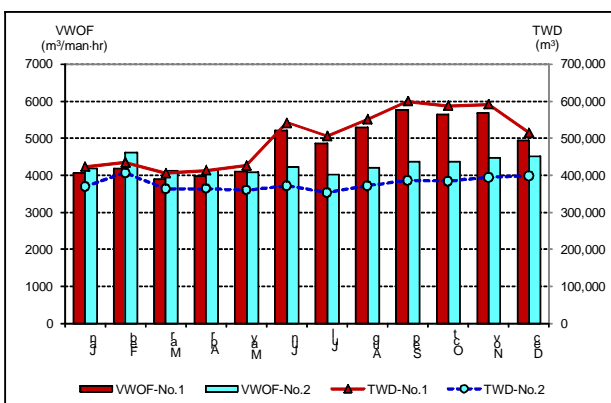
ได้ข้อมูลค่ามาตรฐานของดัชนีเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการอ้างอิงต่อไป



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่า VVWT (m³/m³) ระหว่างโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 1 และโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่า VWEC (m³/kW·hr) ระหว่างโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 1 และโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่า VWOF (m³/man·hr) ระหว่างโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 1 และโรงผลิตน้ำประปาแห่งที่ 2

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทางด้านงบประมาณจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ 53/2553 ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณชชาติ สายถิ่น กรรมการผู้จัดการ และเจ้าหน้าที่ของ บริษัท อมตะวอเตอร์ จำกัด ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างสูง ขอขอบคุณ คุณชนาพงษ์ สังข์กาจ คุณวิจารณ์ วีระญาโณ และคุณเชน อ่วมลำเจียก นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] R.K. Linsley, J.B. Franzini, D.L. Freyberg and G. Tchobanoglous , “Water-Resources Engineering”, 4th ed., McGraw-Hill, 1992.

[2] W.Jr. Viessman and M.J. Hammer, “Water Supply and Pollution Control”, 6th ed., Addison Wesley Longman, 1998.

[3] เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, “วิศวกรประปา (Water Supply Engineering”, 2549.

[4] H.J. Kiuru, “Development of dissolved air floatation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions)”, Water Science and Technology, Vol 43, 2001, pp. 1-7.

[5] G. Tchobanoglous, F.L. Burton and H.D. Stensel, “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse”, 4th edition, McGraw-Hill, 2004.

[6] S. Abdel-Gawad and M. Abdel-Shafy, “Pollution control of industrial wastewater from soap and oil industries: a case study”, Water Science and Technology, Vol 46, 2002, pp.77-82.

[7] S.R. Arnold, T.P. Grubb and P.J. Harvey, “Recent applications of dissolved air floatation pilot studies and full scale design”, Water Science and Technology, Vol 31, 1995, pp. 327-340.

[8] มั่นสิน ตันทูลเวศม์, “วิศวกรประปา”, สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์, 2539.