การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน ของการประปานครหลวง กรณีศึกษา โรงกรองน้ำบางเขน

A cost reduction for supporting water management of Metropolitan waterworks authority model: a case study from Bangkhen treatment plant.

สมบูรณ์ กลั่นสกุล[1], ปริญญ์ บุญกนิษฐ[2], สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ[2]

[1]การประปานครหลวง 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

E-mail: Somboon.k8@hotmail.com

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการประปานครหลวงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน เพื่อรองรับอัตราการเจริญเติบโตของชุมชนเมืองอย่างต่อเนื่องและการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน เช่น การศึกษาปริมาณการใช้น้ำด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ รวมทั้งการบริหารจัดการต้นทุน การควบคุมคุณภาพของน้ำ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวง กรณีศึกษาโรงกรองน้ำประปาบางเขนซึ่งกระบวนการในการศึกษาวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์การใช้น้ำของการประปานครหลวงด้วยเทคนิคการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เพื่อหาค่าชี้วัดกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ชัดเจนหลังจากนั้นจึงทำการออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้ในการศึกษาปรับปรุงประเด็นสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพและต้นทุนของน้ำประปาทางด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำประปาในปัจจุบัน สุดท้ายจึงทำการศึกษาแนวคิดเทคโนโลยีใหม่ๆในการบริหารจัดการการผลิตน้ำประปาเพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปานครหลวงอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : การจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การลดต้นทุน

Abstract

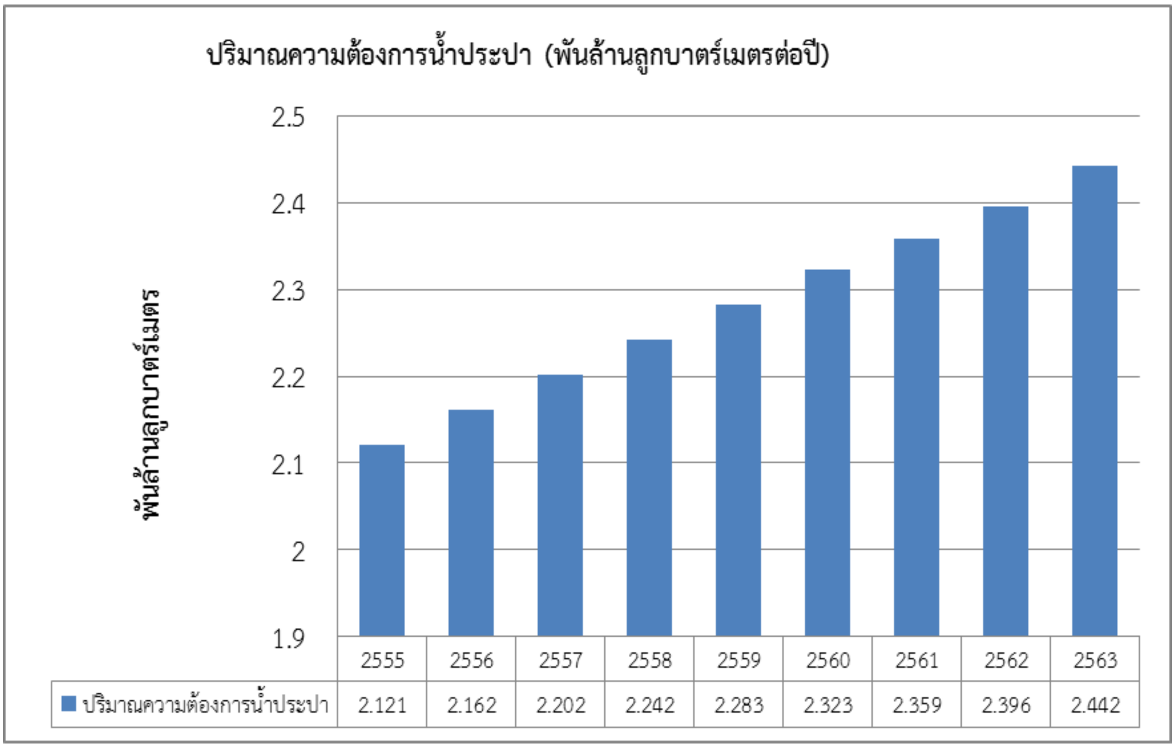
Nowadays, the metropolitan water authority has had concept to develop a sustainable water management system in order to handle growth rate of the urban community continuously and to enter into the asean economic community, such as study on water usage in accordance with water footprint concept with the management of the principle costs, water quality control, influences to the environment. therefore, the objective of this research is to study the cost reduction model that can possibly for supporting to the sustainable water management system of the metropolitan water authority; case study (bangkhen water authority). the method of this research is started from analysis usage cleaning point of the metropolitan water authority with the water footprint calculation technique for explicitly average out the measuring index for the water producing process. afterwards, the designing tool is initiated to study and to improve the important issues that having influences to the quality and the water principal cost on water treatment expenditures at the present time. finally, the study on new technical concept is adopted to manage the water producing process for present the potential technique

for develop the sustainable water management system model of the metropolitan water authority.

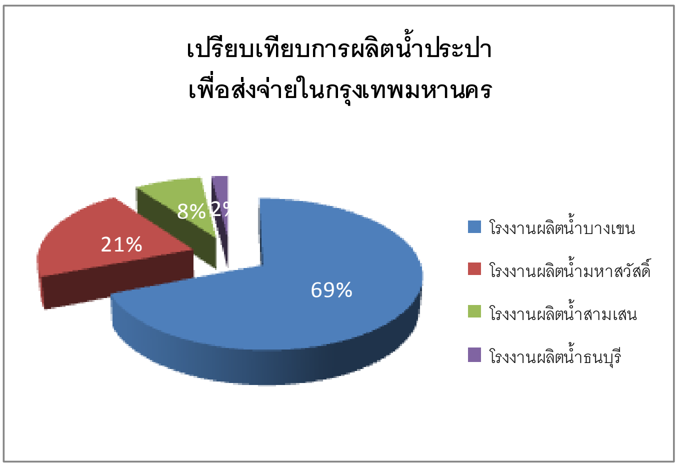
Key Words: Sustainable Water Management System, Water Footprint, Cost Reduction

1. บทนำ

สำนักงานสภาที่ปรึกษาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2547) ได้ประเมินปริมาณและสัดส่วนความต้องการใช้น้ำของประเทศในกิจกรรมต่างๆ โดยพิจารณาความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ชลประทาน อุตสาหกรรมและการรักษาระบบนิเวศ พบว่าปัญหาการขาดแคลนน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งเมื่อได้มีการประเมินความต้องการน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภคในอีก 20 ปีข้างหน้าว่าอาจสูงถึง 3,442 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (พ.ศ. 2564) ขณะที่ปัจจุบันผลิตได้เพียง 1,144 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังนั้นการประปานครหลวง (2555 ก) ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจที่ให้อำนวยสาธารณูปโภคทั้งในการผลิตและบริการจำหน่ายน้ำประปาที่มีคุณภาพแก่ผู้ใช้บริการในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรีและสมุทรปราการ ตามวิสัยทัศน์ในระดับองค์กรในการ "เป็นองค์กรชั้นนำด้านการบริหารจัดการที่ดี ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมในระดับแนวหน้าสุดของกลุ่มประเทศอาเซียน" จึงได้วางแผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559) ให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำประปาของประชากรในเขตพื้นที่ที่รับผิดชอบรวมทั้งแนวโน้มที่อาจเพิ่มขึ้นอย่างมากหากเกิดการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในปี 2558 นี้ ดังแสดงความต้องการบริโภคน้ำของประชากรในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงในภาพที่ 1

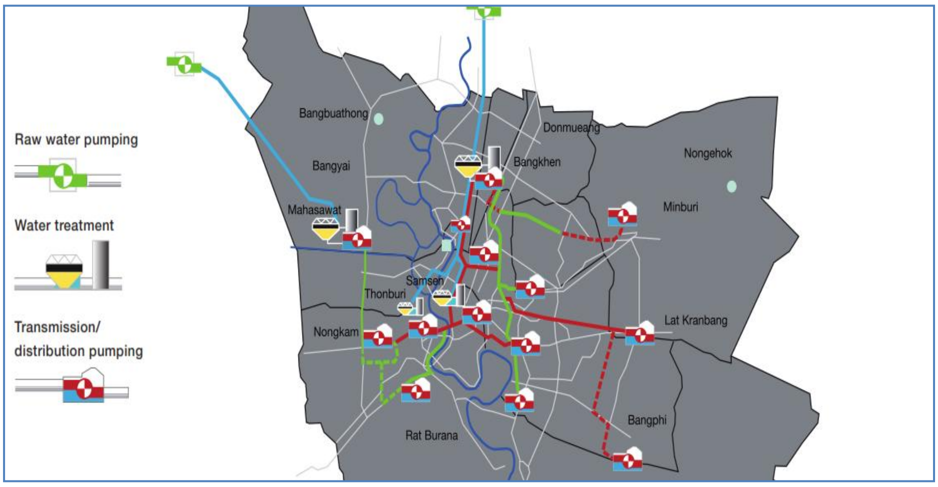


ภาพที่ 1 ความต้องการบริโภคน้ำของประชากรในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง (การประปานครหลวง, 2555)



ภาพที่ 2 โรงงานผลิตน้ำประปาการประปานครหลวง
[แผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559)]

โรงกรองน้ำบางเขนถือเป็นโรงงานผลิตน้ำแหล่งใหญ่ที่สุดของ กปน. กว่า 69 % ดังแสดงในภาพที่ 2 และเป็นหน่วยงานสำคัญในการจัดการสูบจ่ายน้ำที่มีคุณภาพเข้าสู่เขตการให้บริการในกรุงเทพฯโดยทั่วไป (ABB, 2010) ดังแสดงในภาพที่ 3 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าหากสำนักงานประปาสาขาบางเขนเกิดปัญหาในการผลิตแล้วย่อมส่งผลอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืนของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งปัจจุบันพบว่าการประปาบางเขนยังคงมีอุปสรรคหลายส่วนในการดำเนินการผลิตน้ำประปาอย่างยั่งยืน เช่น ปัญหาสภาพน้ำดิบที่มีการปนเปื้อน ปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการผลิตน้ำประปาให้ได้คุณภาพมาตรฐานที่กำหนด เป็นต้น



ภาพที่ 3 ภาพรวมโรงกรองน้ำและสถานีสูบจ่ายน้ำในกรุงเทพฯของ กปน. (ABB, 2010)

สำหรับงานวิจัยที่มีการศึกษาแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนมีหลายงานวิจัย เช่น kamol (2006) ที่ได้ทำการศึกษาแนวคิดในการพัฒนาระบบจัดการน้ำประปาด้วยการออกแบบอุโมงค์สำหรับระบบส่งน้ำประปาในปี 2560 เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการส่งจ่ายน้ำประปาในอนาคตของกรุงเทพฯ งานวิจัยของ Makropoulos et al (2008) ที่ได้ทำการศึกษา

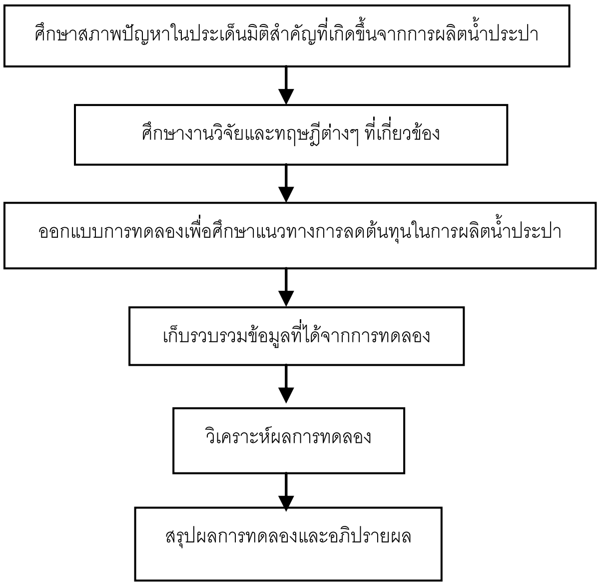
ระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนในเมืองเพื่อให้เกิดความสมดุลย์ทั้งทางด้านการจ่ายน้ำ การจัดการน้ำเสีย การระบายน้ำ โดยงานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งทางด้าน สิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ สังคมและด้านเทคนิค ด้วยการนำ

แนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดการด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือจะเป็นงานวิจัยของ Chiplunkar et al (2012) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางในการวิธีปฏิบัติที่ดีในการบริหารจัดการน้ำในเมืองสำหรับอนาคตที่ประสบความสำเร็จ ด้วยการศึกษาเปรียบเทียบแนวทางในการจัดการในสามมิติ ได้แก่ พื้นการจัดการองค์กร การบริการในการจัดส่ง การเงินและการจัดการบุคลากร ในหลายประเทศ เช่น ของประเทศไทย มาเลเซีย กัมพูชา สิงค์โปร์ เป็นต้น

จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนเป็นเรื่องที่สำคัญและได้รับความสนใจจากทั่วโลก โดยมุมมองงานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบที่ยั่งยืน ด้วยการประเมินปริมาณการใช้น้ำควบคู่ไปกับความคุ้มค่าในประเด็นด้านเศรษฐศาสตร์และความสามารถของเทคโนโลยีในการผลิต ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุน จากกรณีศึกษาโรงกรองน้ำบางเขน เพื่อนำแนวคิดที่ได้ไปช่วยสนับสนุนการจัดการอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวง ในการขยายขีดความสามารถเพื่อรองรับความต้องการในการบริโภคน้ำประปาที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างมากในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา

สำหรับกรอบแนวคิดการวิจัยครั้งนี้สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4 ต่อไปนี้



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

3. สภาพปัจจุบันของการผลิตน้ำประปา

ในการศึกษาวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาในประเด็นสำคัญปัจจุบันที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวงที่โรงกรองน้ำบางเขน ด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งผลจากการศึกษาเบื้องต้นของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตน้ำประปาจากโรงกรองน้ำบางเขน พบว่าหากต้องการผลิตน้ำประปา 1.00 ลบ.ม ต่อหน่วย จะต้องใช้น้ำดิบ 1.0126429 ลบ.ม หรือ ปัจจุบันการประปานครหลวง (2555 ข) มีปริมาณการผลิตน้ำจ่ายและจำหน่ายรวมกันกว่า 2,998.2 ล้าน ลบ.ม./ ปี ก็จะต้องใช้น้ำดิบกว่า 3,036.1 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือเป็นผลต่างการผลิตในการบำบัดประมาณ 37.9 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังแสดงได้จากสมการคำนวณในภาพที่ 5 และปริมาณน้ำเสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม ในภาพที่ 6 โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ที่ได้นี้ คือ ค่าชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค หรือหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรง

และทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตน้ำประปามีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี ทั้งนี้ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ถือเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจนเพราะนอกจากจะแสดงปริมาณน้ำใช้ และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแล้ว ยังแสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย โดยสมการในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตน้ำประปา (Hoekstra and Chapagain, 2006) มีดังนี้

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^{k} WF[s]}{P[p]} \quad \text{[Volume/mass]} \qquad (1)$$

โดยที่

$WF_{prod}[p]$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ปริมาณ / มวล)

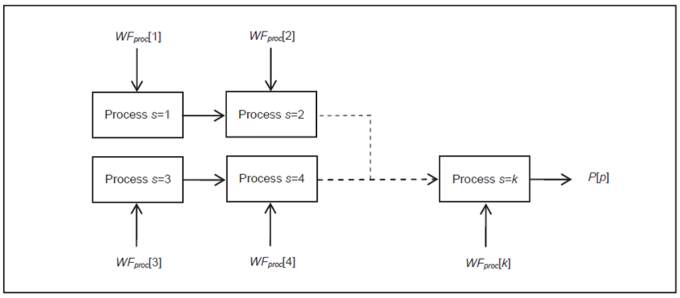
$\sum_{s=1}^{k} WF[s]$ = รอยเท้าน้ำในกระบวนการผลิตในขั้นตอน s (ปริมาณ / เวลา)

$P[p]$ = ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (มวล / ครั้ง)

ในระบบการผลิตนี้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ p (ปริมาณ / มวล) เท่ากับผลรวมของรอยเท้าน้ำกระบวนการที่เกี่ยวข้อง หารด้วย ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ P ซึ่งใน WF proc [S] คือการปล่อยน้ำจากกระบวนการผลิตในขั้นตอน (ปริมาณ / เวลา), และ P [p] ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ p (มวล / ครั้ง)

สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขาออก (p) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขาเข้า (i) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Pf_p[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]} \qquad (2)$$



ภาพที่ 5 ระบบการผลิตสินค้าที่มี p เป็น K ขั้นตอนกระบวนการรอยเท้าของ p จะถูกคำนวณเป็นผลรวมของน้ำในกระบวนการ

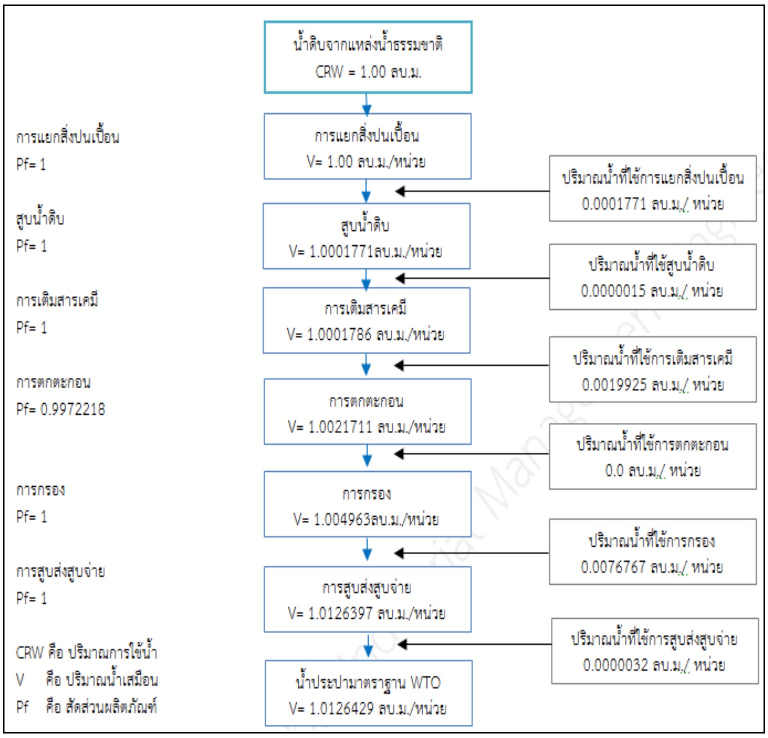
โดยที่

$Pf_p[p,i]$ คือ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขาออก p ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขาเข้า i

$W[p]$ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก (ลบ.ม)

$W[i]$ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า (ลบ.ม)

ผลการคำนวณค่า $WF_{prod}[p]$ จากสมการที่ 1 และ 2 ของห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตน้ำประปานครหลวงและปริมาณน้ำเสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม. แสดงได้ดังภาพที่ 6 ด้านล่าง



ภาพที่ 6 ห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตน้ำประปานครหลวง และปริมาณน้ำเสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม

จากการคำนวณผลรวมของน้ำในกระบวนการผลิตและสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของน้ำประปาโรงกรองน้ำบางเขนดังนี้

$$WF_{prod}[p] = \frac{1.00+0.0001771}{1} + \frac{0.0000015}{1} + \frac{0.0019925}{1} + \frac{0}{0.9972218} + \frac{0.0076767}{1} + \frac{0.0000032}{1}$$

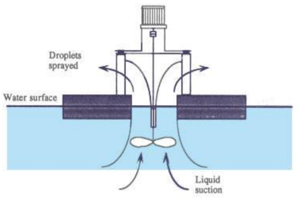
$WF_{prod}[p]$ = 1.0126429ลบ.ม.ต่อหน่วย

หลังจากทราบค่า WF ของการผลิตแล้ว เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับประเด็นคุณภาพน้ำที่การประปาต้องควบคุมแล้วจะเห็นได้ว่าในการผลิตนั้นค่า WF จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำในการนำเข้าและค่าใช้จ่ายในการจัดการบำบัด ที่มีตัวแปรหลักของกระบวนการบำบัดหรือการผลิตน้ำประปาจาก 2 ส่วนสำคัญประกอบด้วย ความขุ่น สารส้ม และคลอรีน ซึ่งปัจจุบันการปรับคุณภาพน้ำนี้ยังคงใช้ความเชี่ยวชาญของพนักงานเป็นสำคัญ โดยอาศัยการปรับระดับให้มีคุณภาพน้ำให้ได้ระดับต่ำกว่า 2 NTU (Nephelometric Turbidity Units) ถือว่าผ่านค่ามาตรฐาน ซึ่งประเด็นนี้เองที่ส่งผลอย่างยิ่งต่อต้นทุนในการผลิตน้ำประปาและการใช้สารเคมีเนื่องจากหากเติมสารเคมีมากก็จะทำให้น้ำประปามีความสะอาดเพิ่มขึ้นแต่ส่งผลในทางกลับกันที่จะทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงมากขึ้นเช่นกัน สำหรับกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้น การประปานครหลวงจะใช้วิธีการทดสอบที่เรียกว่า Jar Test โดยการทดสอบนี้ จะเป็นหาปริมาณของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ ซึ่งจะตกตะกอนน้อยเกินไปให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น และตกตะกอนได้ดีขึ้นในการเติมสารรวมตะกอนถ้าหากปริมาณของสารรวมตะกอนน้อยเกินไปการรวมตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดีหรือไม่เกิดเลยแต่ถ้าหากเติมสารรวมตะกอนในปริมาณที่มากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ และจะมีปริมาณของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมพอดีในการรวมตะกอนนั้นซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำน้ำประปา ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 7 การทำจาร์เทสต์ (Jar test)

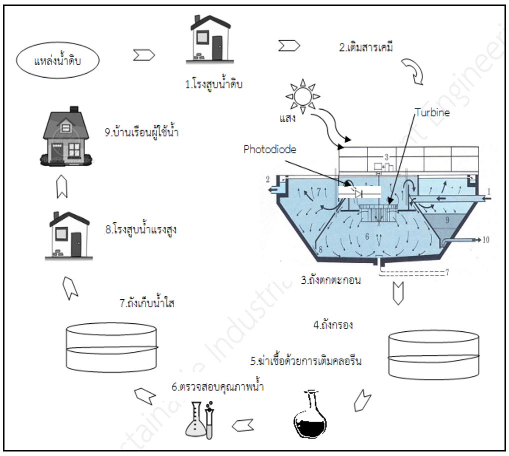
4. แนวทางการปรับปรุง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของพนักงานในการควบคุมคุณภาพน้ำประปา งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมใบพัดเพื่อช่วยในการควบคุมการทำงานของ Motor turbine ให้มีการหมุนกวนน้ำในถังตกตะกอนด้วยความเร็วหรือจำนวนรอบที่เหมาะสมกับสภาพความขุ่นของน้ำแบบอัตโนมัติที่ไม่ต้องมีการใช้กำลังคนในการควบคุมด้วยการใช้ Photo-diode ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของ Motor turbine ในถังตกตะกอน

เนื่องจากปริมาณของแสงที่ผ่านลงมายังผิวน้ำขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำดังนั้นหากมีความขุ่นมากปริมาณแสงจะส่องผ่านลงมายังผิวน้ำน้อยและหากมีความขุ่นน้อยปริมาณแสงจะส่องผ่านลงมายังผิวน้ำมาก จึงสามารถวัดความขุ่นของน้ำได้ จากนั้นนำเอา Photo-diode ที่ใช้วัดปริมาณแสงแล้วติดตั้งเข้ากับมอเตอร์ของ turbine โดยผลการทดลองควบคุมการทำงานของ Motor turbine ให้มีการหมุนกวนน้ำในถังตกตะกอนด้วยความเร็วหรือจำนวนรอบที่เหมาะสมกับสภาพความขุ่นของน้ำด้วย Photo-diode ดังภาพที่ 9-10 ส่วนตารางที่ 1 และภาพที่ 11 แสดงผลอัตราการใช้และค่าใช้จ่ายของสารส้มและคลอรีนหลังจากการทดลอง Photo-diode ร่วมกับ turbine

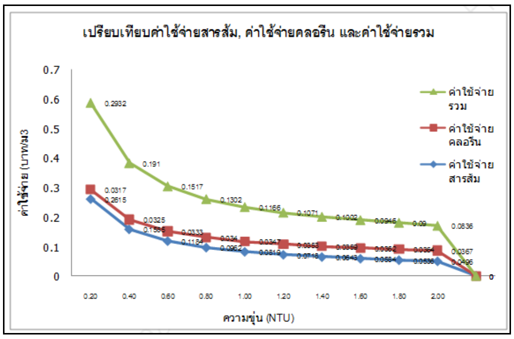


ภาพที่ 9 แบบจำลองการลดต้นทุนอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวงด้วยการควบคุมอัตโนมัติ

ภาพที่ 10 การจัดเก็บน้ำของการประปาบางเขน

ตารางที่ 1 อัตราการใช้และค่าใช้จ่ายของสารส้มและคลอรีนหลังจากการทดลอง Photo-diode ร่วมกับ turbine

ความขุ่น	**สารส้ม**		**คลอรีน**		**ค่าใช้จ่ายรวม**
(NTU)	**อัตราการใช้** (mg/l)	**ค่าใช้จ่าย** (บาท/ม^3)	**อัตราการใช้** (mg/l)	**ค่าใช้จ่าย** (บาท/ม^3)	(บาท)
0.20	59.02	0.2615	3.24	0.0317	0.2932
0.40	35.79	0.1585	3.33	0.0325	0.1910
0.60	26.70	0.1184	3.42	0.0333	0.1517
0.80	21.70	0.0962	3.50	0.0340	0.1302
1.00	**18.45**	**0.0819**	**3.55**	**0.0347**	**0.1166**
1.20	16.20	0.0718	3.26	0.0353	0.1071
1.40	15.52	0.0643	3.66	0.0359	0.1002
1.60	13.16	0.0584	3.70	0.0362	0.0946
1.80	12.10	0.0536	3.74	0.0364	0.0900
2.00	11.16	0.0496	3.75	0.0367	0.0836



ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายรวมของสารเคมีที่ความขุ่นต่างๆ

การวิเคราะห์ผลตอบด้วย B/C

อัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่าย (Benefit cost ratio หรือ B/C ratio) คือเกณฑ์ที่แสดงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ค่าใช้จ่ายในที่นี้คือ ค่าใช้จ่ายทางต้นทุน (Capital) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา อัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่ายคำนวณได้จากสูตร

B/C = มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมด / มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

การประเมินโครงการด้วยวิธีอัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่าย เกณฑ์การตัดสินใจในโครงการนั้นพิจารณาดังนี้

BCR › 1: คุ้มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

BCR ‹ 1: ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

BCR = 1: เท่ากันสำหรับลงทุนและไม่ลงทุน

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่า B/C ที่ระดับความขุ่นต่างๆ

ค่าที่เปรียบเทียบ	ระดับความขุ่น (NTU)									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
B/C	1.26	1.34	1.37	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42	1.43	1.43

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาที่ความขุ่น 0.20 NTU กับความขุ่น 1.00 NTU ได้ดังนี้

ค่าที่เปรียบเทียบ	NTU = 0.2	NTU = 1.00
ค่าใช้จ่ายรวมค่าสารเคมี+อุปกรณ์ (Cost)	11,055,520 บาท	10,419,760 บาท
กำไรสุทธิ (Benefit)	13,944,480 บาท	14,580,240 บาท
B/C	1.26	1.39

จากตาราง 2 และตาราง 3 ทำให้ทราบว่าหากยอมรับน้ำที่ระดับความขุ่นมากยิ่งทำให้ค่า B/C เพิ่มขึ้นเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อย แต่ถ้าปรับระดับความขุ่นมากกว่า 1.0-2.0 NTU จะทำให้คุณภาพน้ำต่ำลงมากและมีความคุ้มค่าในการลงทุน B/C มากขึ้นเพียง 0.04 แต่ถ้าปรับระดับความขุ่นน้อยกว่า 1.0-0.2 NTU จะทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นมากและมีความคุ้มค่าในการลงทุน B/C ลดลงมากที่ 0.13 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะห่าง B/C ทั้งหมดคือ 0.17 ทำให้ช่วงความขุ่นพอเหมาะในการปรับจึงควรมีค่า NTU มากสุดที่ทำให้ได้ B/C สูงสุด ซึ่ง NTU = 1.0, B/C 1.39 จึงเป็นช่วงความขุ่นที่เหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุดในการปรับระดับคุณภาพน้ำให้ยังคงมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับดีและคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด

5. สรุปผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุน คือการควบคุมการปรับคุณภาพน้ำ เนื่องจากความขุ่นของน้ำมีผลโดยตรงต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายและอัตราการใช้สารส้มและคลอรีน ซึ่งการควบคุมโดยคนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระดับคุณภาพและค่าใช้จ่ายไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ ดังแสดงระดับคุณภาพและค่าใช้จ่ายดังนี้ 1) ช่วงความขุ่นเท่ากับ 1.00 NTU ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.1166 บาท/ลบ.ม. หรือ (419,760 บาท/วัน) 2) ช่วงความขุ่นที่น้อยกว่า 1.00 NTU (ความขุ่นต่ำลง) ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.1167 - 0.2932 บาท/ลบ.ม. หรือ (420,120 – 1,055,520 บาท/วัน) 3) ช่วงความขุ่นที่มากกว่า 1.00 NTU (ความขุ่นสูงขึ้น) ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.0836 - 0.1165 บาท/ลบ.ม. หรือ (300,960 – 419,400 บาท/วัน) ด้วยเหตุนี้การใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมระดับคุณภาพให้อยู่ในระดับ 1.0 NTU จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ในการลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตน้ำประปานครหลวง กรณีศึกษาโรงกรองน้ำบางเขน เพื่อนำแนวคิดที่ได้ไปช่วยสนับสนุนการจัดการอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวง ในการขยายขีดความสามารถรองรับความต้องการในการบริโภคน้ำประปาที่จะเพิ่มมากขึ้น พบว่าในอนาคตการประปานครหลวงจะต้องมีการดำเนินการในหลายมิติประกอบด้วย 1) ทางด้านข้อมูลและการวิจัย การประปานครหลวงควรทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อย่างครอบคลุมทุกส่วนเพื่อช่วยในการนำผลที่ได้

ไปช่วยวิเคราะห์แผนการบริหารจัดการน้ำในอนาคตทั้งวัฏจักรชีวิต 2) ทางด้านเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยี การทดลองพบว่าทำให้ทราบว่าการควบคุมระดับความขุ่นและต้นทุนเป็นเรื่องที่สำคัญเนื่องจาก ความขุ่นของน้ำในการผลิตน้ำประปาที่ 1.0 NTU เป็นความขุ่นของน้ำที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่ความขุ่นต่ำสุดที่มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายไม่

สูงมากและคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนความขุ่นตั้งแต่ 0.8 NTU ลงไปจะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่สูงมากแต่ได้คุณภาพน้ำในเกณฑ์ดีมาก เหมาะกับการใช้ในสภาวะที่น้ำดิบมีการปนเปื้อนสูงผิดปกติและความขุ่นตั้งแต่ 1.0 NTU ขึ้นไปนั้นจะทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลงในสัดส่วนที่ต่ำมากแต่ได้คุณภาพน้ำที่ต่ำเช่นกัน 3) ทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม พบว่าการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าหากในอนาคตการประปาต้องการพัฒนาระบบในการเตรียมการเพื่อให้มีน้ำที่มีคุณภาพดีและเพียงพอต่อความต้องการของประชาชนในระยะยาวจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการประชาสัมพันธ์ในการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยให้คุณภาพน้ำที่เข้าสู่โรงกรองน้ำมีคุณภาพดีที่สุด (Input) โดยวิธีการนี้น่าจะเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุและยั่งยืนที่สุดอีกวิธีการหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปานครหลวงอย่างยั่งยืนควรประกอบด้วยสามส่วนสำคัญดังที่กล่าวมา นั่นก็คือ มีเทคโนโลยีชั้นสูงเพื่อวางระบบโครงข่ายอัตโนมัติครบวงจรลดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมคุณภาพและต้นทุนให้สัมพันธ์กับปริมาณความต้องการใช้น้ำ มีการรายงานผลวอร์เตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งระบบแบบเวลาจริง รวมถึงการประปานครหลวงควรมีการประชาสัมพันธ์คุณค่าของป่าและน้ำอย่างต่อเนื่องต่อสังคม ซึ่งหากสามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์แล้วแน่นอนว่าผลที่ได้รับก็จะช่วยให้การประปานครหลวงสามารถพัฒนาอย่างยั่งยืนรองรับความต้องการในการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตได้ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการประปานครหลวง ฝ่ายโรงกรองน้ำบางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองด้วยดีตลอดโครงการ

8. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

[1]. การประปานครหลวง, 2555 ก. แผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559). เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://intra.mwa.co.th/departmap-new.html, 1 กันยายน 2555.

[2]. การประปานครหลวง, 2555 ข. รายงานประจำปี 2554. เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://www.mwa.co.th/ewtadmin/ewt/mwa_internet/ewt_w3c/main.php?filename=stat 5 กันยายน 2555.

ภาษาอังกฤษ

[1] ABB, 2010 Case note ABB drives in urban water cycle Metropolitan Waterworks Authority, Bangkok

[2] Kamol Prasertsirivatna, 2006 International Symposium on Underground Excavation and Tunnelling, 2-4 February 2006, Bangkok, Thailand

[3] Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011) National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands

[4] Makropoulos, CK., K. Natsis, S. Liu, K. Mittas, D. Butler, 2008. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management, Environmental Modelling & Software

[5] Chiplunkar, A, Seetharam, K., Kheong Tan, C., 2012. Good Practices in Urban Water Management Decoding Good Practices for a Successful Future. Asian Development Bank, National University of Singapore.

[6] Hoekstra, A. Y. , Chapagain, A. K., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Manage.