

การลดการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้า สูงสุด : กรณีศึกษา *

วิรัช ตรีสุทธิ์¹⁾ และ พรเทพ ขอบฉายเกียรติ²⁾

¹⁾ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Email : porkho@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เพื่อหาแนวทางลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้อุปโภคและบริโภคของประชาชน และยังเป็นปัจจัยหลักที่ถูกกำหนดราคาขายโดยหน่วยงานของภาครัฐคือ การประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งมีภารกิจหลักคือการบริการประชาชนผู้ใช้น้ำประปา ให้ได้ใช้น้ำประปาที่มีคุณภาพและราคาประหยัด ดังนั้นการกำหนดราคาขายน้ำประปาจึงเป็นไปได้ยากในขณะที่ต้นทุนการผลิตถึงร้อยละ 22 คือค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา และพบว่าสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทามีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในเวลามีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารวม ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นหาแนวทางเพื่อลดค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด โดยการวางแผนการผลิตน้ำประปาในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวันจะคำนึงถึงอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย และใช้การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ โปรแกรมสำเร็จรูปที่นำมาใช้คือ ARENA 8.01 และทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าระหว่างแบบจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์และกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา ซึ่งจากการวิจัยหาแนวทางลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาโดยการวางแผนการผลิตใหม่นั้นแบ่งเป็น 2 แนวทางหลักคือการใช้กระบวนการผลิตเดิมแต่ทำการวางแผนกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลาใหม่โดยไม่พิจารณาการทำงาน of พนักงานซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 11.57 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารวม และแนวทางหลักที่สองคือแนวทางการผลิตน้ำประปาโดยใช้กระบวนการผลิตน้ำประปาเดิมแต่ทำการวางแผนกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลาใหม่โดยพิจารณาการทำงาน of พนักงานซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 8.7 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารวม แต่อย่างไรก็ตามแนวทางเลือกการผลิตน้ำประปาโดยใช้กระบวนการผลิตน้ำประปาเดิม แต่ทำการวางแผนกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลาใหม่โดยพิจารณาการทำงาน of พนักงาน จะเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากสามารถช่วยให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น และไม่เกิดความผิดพลาดในขณะปฏิบัติงาน

คำสำคัญ : กระบวนการผลิตน้ำประปา , ช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด , แบบจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2550

Reduction of Water Treatment During The Peak Period of Electricity Charges: A Case Study^{*}

Weerachon Treenuson¹⁾ and Porntep Khokhajaikiat²⁾

¹⁾ Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002

²⁾ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002

Email: porkho@kku.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this study is to find the best way to reduce the cost of water production by reducing electricity consumption. Electricity accounts for 22 % of the total cost of water production. At Ban Go Tha water treatment plant, it was found that 60 % of the cost comes from electricity used during the peak period. This study focuses on determining a method to reduce the electricity cost by re-scheduling the hourly production in such a way that electricity consumption is reduced during the peak period. This study was carried out by modeling the problem in a computer program called ARENA 8.01. This program compared the electricity cost from computer simulation with the actual cost of the water processing at Ban Go Tha plant. Two schemes of production were devised to deal with the problem. The first scheme followed the existing production processes but hourly production was re-scheduled with considering the operating shifts. The results of the study revealed that this scheme could reduce electricity cost by 11.57% of the total power consumption. The second scheme also followed the existing production processes and the hourly production was modified taking into account operating shifts. It was found that the second scheme of operation could reduce electricity cost by 8.7% of the total power cost. However, the second scheme is more appropriate than the first because it is simpler to implement with less operational errors

Keywords : water treatment process, peak period of electrical cost, computer simulation

^{*} Original manuscript submitted: July 31, 2006 and Final manuscript received: January 9, 2007

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยในการดำเนินชีวิตของมนุษย์และน้ำประปาเป็นหนึ่งในทางเลือกของน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภคของประชาชน การประปาส่วนภูมิภาคเป็นหน่วยงานของภาครัฐที่มีหน้าที่หลักในการสรรหาและผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัยและมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของประชาชนทั่วประเทศ น้ำประปาถือเป็นสาธารณูปโภคขั้นมูลฐานซึ่งรัฐบาลมีนโยบายให้ควบคุมราคาให้เหมาะสมกับภาวะเศรษฐกิจ เพื่อช่วยให้ประชาชนมีน้ำประปาราคาถูกไว้ใช้ในการอุปโภคและบริโภค โดยอัตราการอุปโภคและบริโภคน้ำประปาโดยเฉลี่ยประมาณ 175 ลิตรต่อคนต่อวัน ปัจจุบันราคาขายน้ำประปาคือ 1.1 สตางค์ต่อลิตร และต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยทั่วประเทศคือ 0.985 สตางค์ต่อลิตร โดยมีโครงสร้างต้นทุนการผลิตน้ำประปาโดยประมาณคือ ค่าใช้จ่ายบุคคล 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าไฟฟ้า ค่าวัสดุการผลิตและค่าสารเคมีรวม 22 เปอร์เซ็นต์ ค่าเสื่อมราคา 29 เปอร์เซ็นต์ ค่าดอกเบี้ย 16 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ 8 เปอร์เซ็นต์ (กองประชาสัมพันธ์ การประปาส่วนภูมิภาค, 2544) ปัจจุบันจากปัญหาวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันเป็นผลให้รัฐบาลต้องประกาศให้ราคาค่าไฟฟ้าลอยตัวโดยค่า Ft จะเปลี่ยนแปลงตามการปรับราคาน้ำมันจึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตน้ำประปา ดังนั้นจึงจำเป็นที่การประปาส่วนภูมิภาคซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบด้านการผลิตน้ำประปาจะต้องหามาตรการหรือกลยุทธ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้จัดให้สำนักงานประปาขอนแก่นอยู่ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 6 ซึ่งมีวิธีคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ หรือ TOU Rate โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด (Peak) ระหว่างเวลา 9.00 – 22.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์คิดค่าไฟฟ้า 2.695 บาทต่อหน่วย ช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ (Off Peak) ระหว่างเวลา 22.00 – 9.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์และเวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ถึงวันอาทิตย์รวมทั้งวันหยุดราชการ โดยคิดค่าไฟฟ้า 1.1914 บาทต่อหน่วย ซึ่งค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดสูงกว่าค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติคิดเป็นร้อยละ 1.25 โดยความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครขอนแก่นเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง กระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาซึ่งเป็นสถานีผลิตน้ำประปาของสำนักงานประปาขอนแก่นเพียงแห่งเดียวได้ดำเนินการตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากสาเหตุถึงสำรองน้ำประปามีปริมาณจำกัดเก็บไม่เพียงพอต่อความต้องการในการจัดเก็บน้ำประปาสำรอง และด้วยเหตุนี้เองทำให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดสูงซึ่งคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของค่าไฟฟ้ารวม (สำนักงานประปาเขต 6 ขอนแก่น, 2547) จากปัญหาด้านต้นทุนในการผลิตน้ำประปาที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตนั้น ทำให้สำนักงานประปาขอนแก่นจำเป็นต้องหาวิธีการปรับปรุงและวิธีปฏิบัติงานให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อลดปัญหาด้านต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าสูงขึ้นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอแนวทางในการลดปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ผลิตน้ำประปาโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการองค์กรตลอดจนสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำประปาซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาลดลงของการวิจัยนี้มีดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปในปัจจุบันที่ใช้ประกอบการวางแผนการผลิตน้ำประปาระหว่างช่วงเดือนกรกฎาคม 2547 ถึง เดือนธันวาคม 2547 ซึ่งข้อมูลที่จะทำการศึกษามีดังนี้

การศึกษาข้อมูลทั่วไปประกอบไปด้วยข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาค้างนี้มี 7 ข้อมูลคือ

- 1) สถิติปริมาณการผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในเขตเทศบาลนครขอนแก่น
- 2) แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา
- 3) กำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา
- 4) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการส่งน้ำดิบและผลิตน้ำประปา
- 5) รายละเอียดต้นทุนการผลิตน้ำประปา
- 6) ปริมาตรถังเก็บน้ำประปาสำรองและปริมาตรถังเก็บน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา
- 7) ความถี่และช่วงเวลาขาดแคลนน้ำประปา

2. การวัดผลประสิทธิภาพการวางแผนการผลิตน้ำประปาแบบปัจจุบันและแบบที่นำเสนอ

ในการวิจัยครั้งนี้ จะพิจารณาดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการวางแผนการผลิตน้ำประปาดังนี้

- 1) ปริมาณการผลิตน้ำประปาในเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าสูงสุด
- 2) ปริมาณการผลิตน้ำประปาในเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าปกติ

3. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา โดยรวบรวมจำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในแต่ละสัปดาห์

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลปัจจุบันคือ จำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด (ระหว่างเวลา 9.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์ ถึง วันศุกร์) และช่วงเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ (ระหว่างเวลา 22.00 – 9.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์และเวลา 00.00 – 24.00 น. ของวันเสาร์ถึงวันอาทิตย์รวมทั้งวันหยุดราชการ) ทำให้ทราบจำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดและจำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาที่มียัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในแต่ละสัปดาห์

4. กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการจำลองปัญหา

1) ปริมาณความต้องการน้ำประปาในแต่ละช่วงเวลาของวันเพื่อใช้กำหนดปริมาณน้ำประปาที่ต้องการผลิตในแต่ละช่วงเวลาคือ 9.00 น. ถึง 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงศุกร์ ซึ่งมีค่าไฟฟ้าสูงสุด และช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 9.00 น. ของวันจันทร์ถึงศุกร์ ซึ่งมีค่าไฟฟ้าปกติ สำหรับการผลิตน้ำประปาในวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการ การคิดค่าไฟฟ้าจะเป็นแบบปกติตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากการประปาเป็นหน่วยงานที่ไม่แสวงหากำไร

- 2) ปริมาณการผลิตสูงสุดในกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา
- 3) ปริมาณน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาซึ่งได้จากสถานีสูบน้ำแรงต่ำแม่น้ำพอง
- 4) หน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำดิบจากสถานีสูบน้ำแรงต่ำแม่น้ำพอง
- 5) หน่วยไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาที่สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา
- 6) ปริมาณสำรองน้ำประปาที่สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา
- 7) จำนวนครั้งและความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำประปาฉุกเฉินเนื่องจากไฟฟ้าดับในระหว่างผลิตน้ำประปา หรือท่อส่งน้ำดิบแตกหรือชำรุด และระยะเวลาการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว

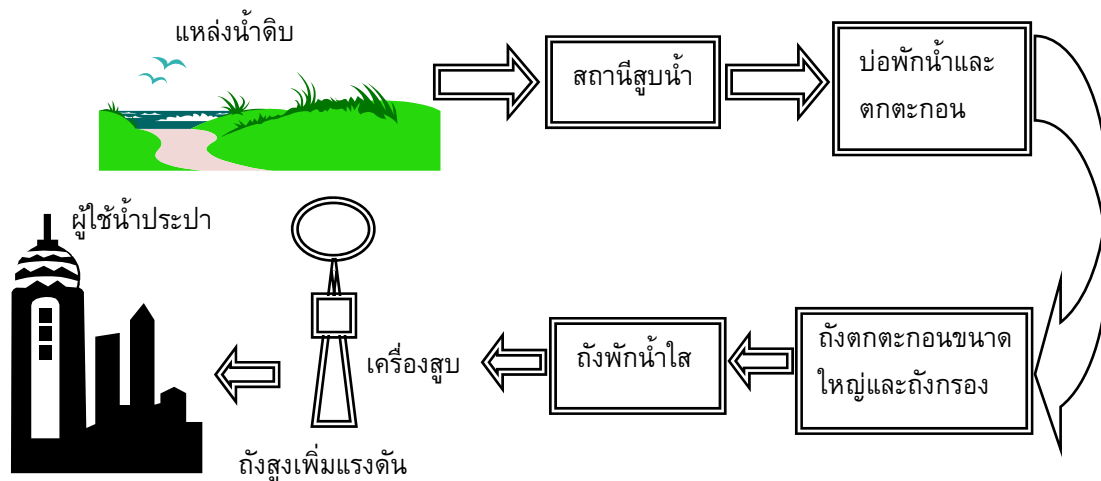
5. จำลองสถานการณ์ในปัจจุบันของการผลิตน้ำประปา ณ สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา และการสูบน้ำดิบจากสถานีสูบน้ำแรงต่ำแม่น้ำพอง โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Arena 8.01

6. ทดสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบจำลองปัญหา

การทดสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ จะดำเนินการโดยเปรียบเทียบค่าชี้วัด 4 ค่าคือ ปริมาณการสูบน้ำดิบเพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปา ระดับน้ำในถังน้ำที่เก็บน้ำประปาสำรอง ปริมาณน้ำประปาที่จ่ายให้ผู้ใช้ น้ำประปา และจำนวนหน่วยไฟฟ้าในแต่ละวันที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์จะต้องสอดคล้องกับการดำเนินงานจริงของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา โดยเปรียบเทียบค่าชี้วัดทั้ง 4 ค่าที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์กับค่าที่ได้จากการดำเนินงานจริงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้นแสดงว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการหาแนวทางการผลิตน้ำประปาใหม่ของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาได้

7. นำแบบจำลองปัญหามาหาปริมาณน้ำประปาที่สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาควรผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด และช่วงเวลาที่มียอดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ

กระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

จากรูปที่ 1 น้ำดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบของกระบวนการผลิตน้ำประปามักนำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ สำหรับแหล่งน้ำดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา สำนักงานประปาขอนแก่นนั้นได้มาจาก 2 แหล่ง คือ น้ำดิบที่ได้จากลำน้ำพอง และคลองส่งน้ำชลประทาน โดยน้ำดิบจากทั้งสองแหล่งนั้นจะถูกสูบน้ำมาใช้โดยเครื่องสูบน้ำแรงดันสูง สัดส่วนการใช้น้ำดิบจากทั้งสองแหล่งน้ำนั้นคือ น้ำดิบจากลำน้ำพองใช้ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และน้ำดิบจากคลองส่งน้ำชลประทานใช้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราการสูบน้ำดิบสูงสุดของทั้งสองแหล่งเท่ากับ 4,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

น้ำดิบจะถูกสูบน้ำมาพักไว้ที่บ่อบำบัดน้ำดิบและตกตะกอน จากนั้นจะกำจัดตะกอนและสารแขวนลอยที่ปนอยู่ในน้ำโดยการเติมสารส้ม ซึ่งสารส้มจะเร่งให้ตะกอนและสารแขวนลอยจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้นและตกลงกันถึงแล้วถูกสูบออกจากกันถึง และน้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนนี้จะถูกส่งไปยังถังกรองน้ำด้วยทราย

น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค ด้วยการเติมสารคลอรีนในขณะที่น้ำไหลลงสู่บ่อบำบัดน้ำใสสาเหตุที่ต้องเติมสารคลอรีนในขณะที่น้ำไหลนั้น เนื่องจากกระแสจะทำให้การกระจายตัวของคลอรีนในน้ำดีขึ้น คลอรีนจะต้องมีเวลาอย่างน้อย 30 นาที ในการฆ่าเชื้อโรคที่มีอยู่ในน้ำ

การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ ARENA 8.01 ในการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบแนวทางการปรับปรุงวิธีการวางแผนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา โดยการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ (ศิริจันทร์, 2535) นั้นมีขั้นตอนดังนี้

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงานปัจจุบัน

1.1 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อลดการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด ด้วยการนำน้ำประปาในปริมาณที่เหมาะสมจากถังเก็บน้ำสำรองมาจ่ายในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด โดยสมการวัตถุประสงค์จะหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า

Minimize: $E = AX + B(Y + Z)$

E คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

X คือ จำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด ($X \geq 0$)

Y คือ จำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันธรรมดา ($Y \geq 0$)

Z คือ จำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันหยุดราชการ ($Z \geq 0$)

A คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาหนึ่งหน่วยในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด

B คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาหนึ่งหน่วยในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ

1.2 ปัจจัยนำเข้า (Entity)

ปัจจัยนำเข้าในระบบคือน้ำดิบ ซึ่งเป็นข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous Variable) โดยรูปแบบของปัจจัยนำเข้าในระบบ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามช่วงเวลาดังนี้

- 1) ระหว่างเวลา 9.00 น. ถึงเวลา 22.00 น. ของวันจันทร์ ถึงวันศุกร์
- 2) ระหว่างเวลา 22.00 น. ถึงเวลา 9.00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์
- 3) ระหว่างเวลา 00.00 น. ถึงเวลา 24.00 น. ของวันเสาร์และวันอาทิตย์

1.3 ระบบ (System)

ระบบหมายถึง กระบวนการผลิตน้ำประปา ณ สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1

1.4 ข้อจำกัด (Constraint)

ข้อจำกัดของแบบจำลองปัญหาได้แก่

- 1) อัตราการผลิตน้ำประปาสูงสุดของระบบคือ 4,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- 2) เวลาในการผลิตต่อวันคือ 24 ชั่วโมง และแบ่งออกเป็นช่วงตามอัตราค่าไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง โดยจำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูงสุด 65 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ จำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าปกติในวันธรรมดาเท่ากับ 55 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และจำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าปกติในวันหยุดราชการเท่ากับ 48 ชั่วโมง (วันเสาร์และวันอาทิตย์)
- 3) ปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาแต่ละช่วงเวลา

ข้อจำกัดทั้งหมดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{X}{4,500} \leq 65 \quad (1)$$

$$\frac{(Y + Z)}{4,500} \leq 103 \quad (2)$$

$$X + (Y + Z) \geq 595,000 \quad (3)$$

สมการที่ (1) แสดงถึงจำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในรอบสัปดาห์ในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด โดยมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 65 ชั่วโมง ซึ่งจำนวนชั่วโมงในรอบสัปดาห์การผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดนั้นจะคำนวณจาก การนำจำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด (X)หารด้วยกำลังการผลิตสูงสุดของกระบวนการผลิตน้ำประปา คือ 4,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

สมการที่ (2) แสดงถึงจำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในรอบสัปดาห์ในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติทั้งในวันธรรมดาและวันหยุดราชการ โดยมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 103 ชั่วโมง ซึ่งจำนวนชั่วโมงการผลิตน้ำประปาในรอบสัปดาห์ในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติทั้งในวันธรรมดาและวันหยุดราชการ จะคำนวณจาก การนำผลบวกของจำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันธรรมดา (Y) และจำนวนหน่วยน้ำประปาที่ผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันหยุดราชการ (Z) หารด้วยกำลังการผลิตสูงสุดของกระบวนการผลิตน้ำประปา คือ 4,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

สมการที่ (3) คือสมการที่แสดงถึงปริมาณการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาในรอบสัปดาห์ โดยจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาของผู้ใช้น้ำประปาในรอบสัปดาห์

1.5 วิธีการวัดผลของระบบงาน

ผลลัพธ์ของระบบงานคือ ปริมาณการผลิตน้ำประปาในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมี 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด ช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าปกติในวันธรรมดา และช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าปกติในวันหยุดราชการ ทำให้ทราบถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบการผลิตน้ำประปา และทำให้สามารถเปรียบเทียบหรือวัดผลระบบงานได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การวัดผลระบบงานแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การวัดผลระบบงานแบบปัจจุบัน และการวัดผลระบบงานแบบใหม่ ซึ่งการวัดผลระบบงานเดิมนั้นจะวัดจากความแตกต่างทางสถิติระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาที่ได้กับข้อมูลจริงในอดีตของระบบงาน โดยแบบจำลองปัญหาของระบบงานแบบปัจจุบันจะต้องให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างจากผลลัพธ์ในอดีตของระบบงานแบบปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ

2. การกำหนดช่วงเวลาในการจำลองแบบปัญหา

1) การกำหนดช่วงเวลาออร์มอ็อปกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอ โดยพิจารณาถึงจำนวนชิ้นงานระหว่างทำ (Work In Process; WIP) ของกระบวนการผลิต ให้มีความสม่ำเสมอหรือเกิดการผันแปรของจำนวนชิ้นงานระหว่างทำน้อยที่สุด (Kelton et. Al., 2002) ซึ่งพบว่าต้องใช้เวลาเท่ากับ 10 ชั่วโมง ต่อรอบการทดลอง

2) การกำหนดช่วงเวลาทดลองกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาตัวชี้วัด เช่นในการพิจารณาปริมาณการผลิตน้ำประปาเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นจะต้องกำหนดให้ช่วงเวลาทดลองกระบวนการเป็นรายชั่วโมงเช่นกัน ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดช่วงเวลาทดลองกระบวนการเท่ากับ 1 ชั่วโมง

3) การกำหนดจำนวนรอบในการทดลองกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการในสถานะคงตัว โดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าคงที่ (ไม่แปรผันมากนัก) ซึ่งในการวิจัยนี้จะเปลี่ยนจำนวนรอบการทดลองจาก 120 รอบ และ 150 รอบ เพื่อนำผลลัพธ์มาทดสอบว่ามีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญหรือไม่ (พรเทพ, 2545)

3. การสร้างแบบจำลอง

การจำลองแบบปัญหาจะเริ่มจากปัจจัยนำเข้าซึ่งหมายถึงน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ ถูกขนส่งด้วยการสูบส่งมาตามท่อส่งน้ำดิบจากสถานีสูบน้ำแรงต่ำหนองหิน ปัจจัยนำเข้าถูกแบ่งออกเป็นประเภทตามช่วงเวลาในการเข้าสู่ระบบ และถูกแยกออกเป็น 3 กลุ่ม ไปยังสายการผลิตที่มีกำลังการผลิตต่อชั่วโมงแตกต่างกันคือ 2,750 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 750 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในแต่ละสายการผลิตมีอัตราการสูญเสียจากกระบวนการผลิตประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการจำลองแบบปัญหาก่อนปรับปรุงเป็นแผนภูมิการจำลองแบบปัญหาโดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ ARENA 8.01 ซึ่งน้ำดิบเข้าในช่วงที่ 1 คือ น้ำดิบที่เข้าสู่ระบบระหว่างช่วงเวลาที่มิอัตรค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด น้ำดิบเข้าในช่วงที่ 2 คือน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบระหว่างช่วงเวลาที่มิอัตรค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันธรรมดา และน้ำดิบเข้าในช่วงที่ 3 คือน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบระหว่างช่วงเวลาที่มิอัตรค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติในวันหยุดราชการ

4. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองปัญหา

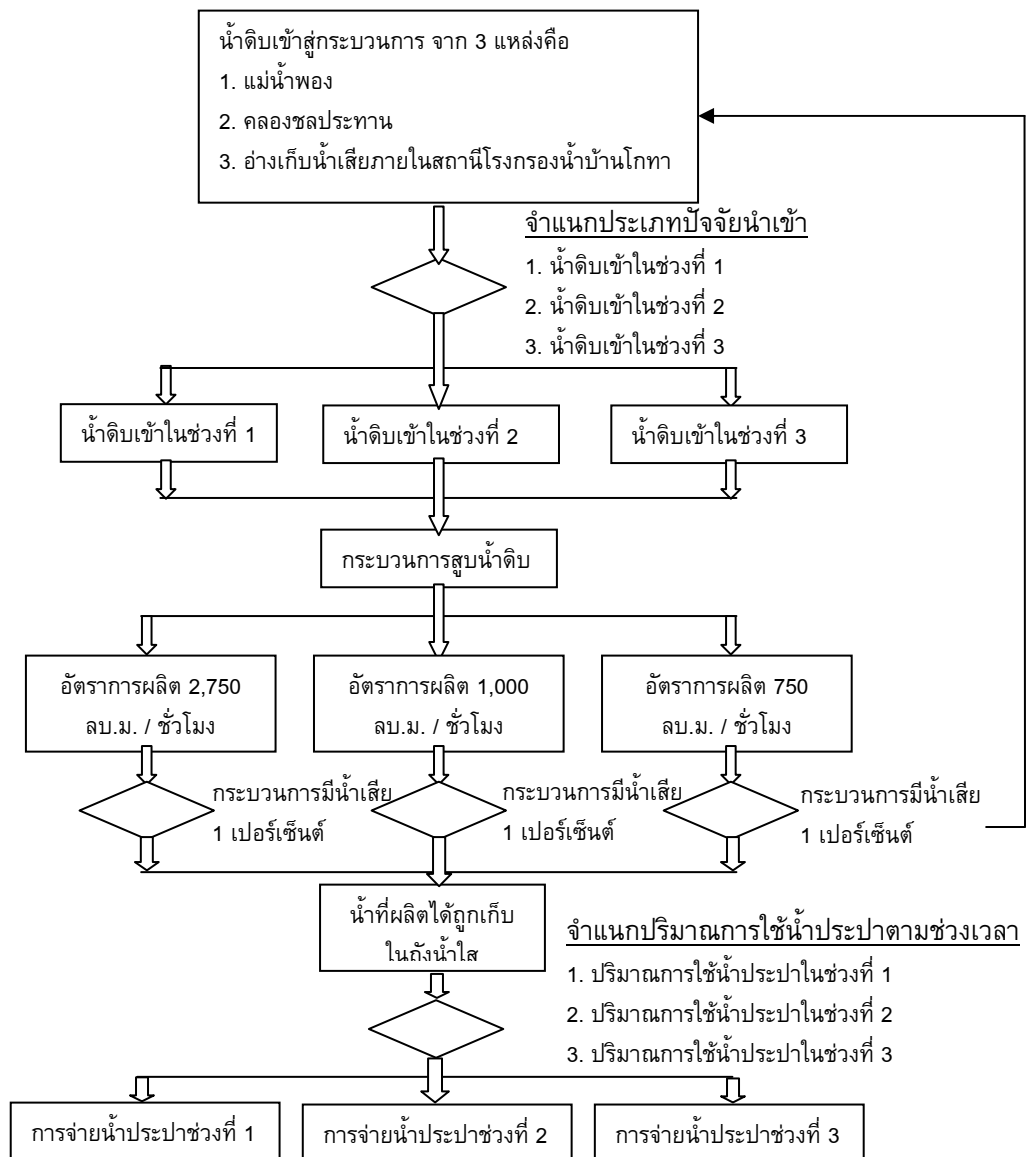
ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองปัญหา โดยนำผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหา 4 ผลลัพธ์ ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ปริมาณการจ่ายน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา มาทดสอบด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหากับข้อมูลการทำงานจริงของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโก ซึ่งการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปา ที่ได้จากแบบจำลองปัญหากับข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง จะดำเนินการเป็นแบบรายชั่วโมงโดยทดสอบ

สมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำประปา จะเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นรายวันที่ได้จากแบบจำลองปัญหากับจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นรายวันที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงโดยทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สาเหตุการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นรายวัน เพราะการบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงของเจ้าหน้าที่สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาไม่สอดคล้องกับการผลิตน้ำประปาในแต่ละชั่วโมง

4.1 การทดสอบสถานะคงตัวของแบบจำลองปัญหา

1) การทดสอบหาช่วงเวลาออร์มัลกระบวนการ ด้วยการตรวจสอบความสม่ำเสมอของจำนวนชิ้นงานระหว่างทำ (หมายถึง ปริมาณน้ำดิบที่อยู่ระหว่างการผลิต) ในแบบจำลองปัญหา ซึ่งจากการทดลองพบว่าระหว่างชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 8 จำนวนชิ้นงานระหว่างทำยังมีปริมาณที่ไม่แน่นอนและไม่คงตัว แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 9 และชั่วโมงที่ 10 จำนวนชิ้นงานระหว่างทำมีปริมาณค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นจึงกำหนดช่วงเวลาออร์มัลกระบวนการของแบบจำลองปัญหากับ 10 ชั่วโมง

2) การกำหนดจำนวนรอบในการทดลองกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตแสดงผลลัพธ์คือ ปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปาที่ต้องการ ในสถานะคงตัว ตัวอย่างเช่นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองแบบปัญหา 120 รอบ และ 150 รอบ จะได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปา ณ เวลา 8.00 น. ด้วยการทดสอบสมมติฐานที่นัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่า $P - Value$ เท่ากับ 0.80 , 0.61 และ 0.25 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทดลองที่ 120 รอบ และ 150 รอบ ค่า Half Length ของช่วงความเชื่อมั่น 95% มีค่าไม่เกิน 5% ของค่าเฉลี่ยปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปา ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการหาผลลัพธ์โดยแบบจำลองจะต้องใช้จำนวนรอบในการหาผลลัพธ์อย่างน้อยเท่ากับ 120 รอบ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้จำนวนรอบในการหาผลลัพธ์เท่ากับ 150 รอบ



รูปที่ 2 แผนภูมิแบบจำลองปัญหาก่อนปรับปรุง

เวลา	ปริมาณการผลิตน้ำประปา					ปริมาณน้ำประปาสำรอง					ปริมาณการจ่ายน้ำประปา				
	ผลลัพท์จากการทดลอง 120 รอบ		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length	ผลลัพท์จากการทดลอง 120 รอบ		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length	ผลลัพท์จากการทดลอง 120		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length
	mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน		mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน		mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน	
1.00	2,160	497	2,071	2,249	89	14,678	961	14,506	14,850	172	1,328	414	1,254	1,402	74
2.00	2,063	469	1,979	2,147	84	15,378	1,241	15,156	15,600	222	1,419	503	1,329	1,509	90
3.00	1,963	475	1,878	2,048	85	16,086	397	16,015	16,157	71	1,286	397	1,215	1,357	71
4.00	1,918	442	1,839	1,997	79	16,712	961	16,540	16,884	172	1,356	458	1,274	1,438	82
5.00	2,108	486	2,021	2,195	87	17,243	760	17,107	17,379	136	1,508	492	1,420	1,596	88
6.00	2,524	531	2,429	2,619	95	17,083	995	16,905	17,261	178	2,704	771	2,566	2,842	138
7.00	3,688	592	3,582	3,794	106	17,374	1,235	17,153	17,595	221	3,582	743	3,449	3,715	133
8.00	4,003	699	3,878	4,128	125	17,665	1,123	17,464	17,866	201	3,584	553	3,485	3,683	99
9.00	3,471	676	3,350	3,592	121	17,240	1,196	17,026	17,454	214	3,613	676	3,492	3,734	121
10.00	3,093	559	2,993	3,193	100	16,713	1,218	16,495	16,931	218	3,713	665	3,594	3,832	119
11.00	3,328	637	3,214	3,442	114	16,291	1,364	16,047	16,535	244	3,515	693	3,391	3,639	124
12.00	3,502	643	3,387	3,617	115	16,325	1,593	16,040	16,610	285	3,465	660	3,347	3,583	118
13.00	3,289	553	3,190	3,388	99	16,097	1,040	15,911	16,283	186	3,519	592	3,413	3,625	106
14.00	3,440	615	3,330	3,550	110	16,098	1,364	15,854	16,342	244	3,484	699	3,359	3,609	125
15.00	3,257	553	3,158	3,356	99	15,868	1,425	15,613	16,123	255	3,459	755	3,324	3,594	135
16.00	3,278	615	3,168	3,388	110	15,830	1,308	15,596	16,064	234	3,382	671	3,262	3,502	120
17.00	3,319	626	3,207	3,431	112	15,688	1,308	15,454	15,922	234	3,428	676	3,307	3,549	121
18.00	3,479	598	3,372	3,586	107	15,458	1,509	15,188	15,728	270	3,502	598	3,395	3,609	107
19.00	3,093	542	2,996	3,190	97	15,197	1,459	14,936	15,458	261	3,385	671	3,265	3,505	120
20.00	2,727	548	2,629	2,825	98	14,663	1,425	14,408	14,918	255	3,348	626	3,236	3,460	112
21.00	2,511	525	2,417	2,605	94	14,138	1,313	13,903	14,373	235	3,213	715	3,085	3,341	128
22.00	2,553	531	2,458	2,648	95	13,740	1,269	13,513	13,967	227	3,127	671	3,007	3,247	120
23.00	2,468	559	2,368	2,568	100	13,830	1,330	13,592	14,068	238	2,399	671	2,279	2,519	120
24.00	2,359	598	2,252	2,466	107	13,942	1,232	13,722	14,162	220	2,058	587	1,953	2,163	105

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปา รายชั่วโมง เมื่อจำลองแบบปัญหา 120 รอบ

เวลา	ปริมาณการผลิตน้ำประปา					ปริมาณน้ำประปาสำรอง					ปริมาณการจ่ายน้ำประปา				
	ผลลัพท์จากการทดลอง 150 รอบ		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length	ผลลัพท์จากการทดลอง 150 รอบ		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length	ผลลัพท์จากการทดลอง 150		ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ย		Half Length
	mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน		mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน		mean	std.	พิสัยกลาง	พิสัยบน	
1.00	2,186	531	2,101	2,271	85	14,662	975	14,506	14,818	156	1,344	419	1,277	1,411	67
2.00	2,089	500	2,009	2,169	80	15,412	1,194	15,221	15,603	191	1,395	481	1,318	1,472	77
3.00	2,001	462	1,927	2,075	74	16,162	987	16,004	16,320	158	1,351	412	1,285	1,417	66
4.00	1,935	444	1,864	2,006	71	16,701	950	16,549	16,853	152	1,363	456	1,290	1,436	73
5.00	2,179	487	2,101	2,257	78	17,306	756	17,185	17,427	121	1,545	500	1,465	1,625	80
6.00	2,559	531	2,474	2,644	85	17,177	956	17,024	17,330	153	2,679	869	2,540	2,818	139
7.00	3,809	619	3,710	3,908	99	17,351	1,268	17,148	17,554	203	3,620	712	3,506	3,734	114
8.00	3,981	681	3,872	4,090	109	17,594	1,125	17,414	17,774	180	3,665	600	3,569	3,761	96
9.00	3,495	675	3,387	3,603	108	17,247	1,187	17,057	17,437	190	3,651	675	3,543	3,759	108
10.00	3,165	581	3,072	3,258	93	16,673	1,212	16,479	16,867	194	3,727	662	3,621	3,833	106
11.00	3,365	637	3,263	3,467	102	16,467	1,375	16,247	16,687	220	3,561	687	3,451	3,671	110
12.00	3,533	631	3,432	3,634	101	16,334	1,612	16,076	16,592	258	3,477	650	3,373	3,581	104
13.00	3,333	562	3,243	3,423	90	16,112	1,087	15,938	16,286	174	3,550	562	3,460	3,640	90
14.00	3,499	625	3,399	3,599	100	16,202	1,337	15,988	16,416	214	3,471	675	3,363	3,579	98
15.00	3,267	537	3,181	3,353	86	15,949	1,431	15,720	16,178	229	3,467	750	3,347	3,587	120
16.00	3,295	606	3,198	3,392	97	15,843	1,275	15,639	16,047	204	3,395	675	3,287	3,503	108
17.00	3,360	644	3,257	3,463	103	15,763	1,393	15,540	15,986	223	3,413	656	3,308	3,518	105
18.00	3,515	587	3,421	3,609	94	15,541	1,493	15,302	15,780	239	3,503	594	3,408	3,598	95
19.00	3,147	569	3,056	3,238	91	15,295	1,450	15,063	15,527	232	3,367	687	3,257	3,477	110
20.00	2,747	537	2,661	2,833	86	14,631	1,387	14,409	14,853	222	3,346	619	3,247	3,445	99
21.00	2,511	544	2,424	2,598	87	14,130	1,337	13,916	14,344	214	3,248	695	3,137	3,359	111
22.00	2,568	550	2,480	2,656	88	13,742	1,250	13,542	13,942	200	3,148	650	3,044	3,252	104
23.00	2,507	550	2,419	2,595	88	13,862	1,337	13,648	14,076	214	2,389	662	2,283	2,495	106
24.00	2,350	594	2,255	2,445	95	13,936	1,131	13,755	14,117	181	2,091	587	1,997	2,185	94

ตารางที่ 2 ปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปา รายชั่วโมง เมื่อจำลองแบบปัญหา 150 รอบ

4.2 การทดสอบความแตกต่างของปริมาณน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ปริมาณการจ่ายน้ำประปา และปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาและข้อมูลจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจริงของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา

การทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหากับข้อมูลจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจริงของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำประปา ข้อมูลปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และข้อมูลการจ่ายน้ำประปาที่เกิดขึ้นจริงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแบบจำลองปัญหา โดยการคำนวณค่า $P - Value$ พบว่าผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาไม่มีความแตกต่างกับข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงอย่างมีนัยสำคัญ ดังตัวอย่างการคำนวณค่า $P - Value$ ในเวลา 08.00 น. ของข้อมูล 2 ชุด คือ ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำประปาจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาในปี พ.ศ. 2547 จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 269 ข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,975 ลูกบาศก์เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 174 ลูกบาศก์เมตร และข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำประปาจากผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหาที่มีจำนวนข้อมูล 150 ข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,981 ลูกบาศก์เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 681 ลูกบาศก์เมตร พบว่ามีค่า $P - Value$ เท่ากับ 0.918 ซึ่งมากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปว่าข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำประปาจากกระบวนการจริงในช่วงเวลา 08.00 น. และผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาในช่วงเวลา 08.00 น. ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนข้อมูลปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรองและข้อมูลการจ่ายน้ำประปาในช่วงเวลา 8.00 น. ก็สรุปผลเช่นเดียวกัน สำหรับข้อมูลทั้งสามนี้ในช่วงเวลาอื่น (ช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง) ก็ดำเนินการเปรียบเทียบในทำนองเดียวกันและพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 การทดสอบความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปา ณ สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา ระหว่างแบบจำลองปัญหาคอมพิวเตอร์และข้อมูลจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาในปี พ.ศ. 2547

เนื่องจากการบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาของเจ้าหน้าที่สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา จะต้องจดบันทึกทุกๆ ชั่วโมง แต่การกำหนดเวลาในการจดบันทึกไม่สอดคล้องกับเวลาการจดบันทึกปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรอง และปริมาณการจ่ายน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา จึงทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาไม่สัมพันธ์กับปริมาณการผลิตน้ำประปา ปริมาณการกักเก็บน้ำประปา และปริมาณการจ่ายน้ำประปา ที่บันทึกเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องทดสอบความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นรายวันที่ได้จากแบบจำลองปัญหากับข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตจริงที่มีจำนวนข้อมูล 278 ข้อมูล มีค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันเท่ากับ 12,122 หน่วย และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1,134.62 หน่วย ส่วนผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหาที่มีจำนวนข้อมูล 150 ข้อมูล พบว่ามีค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 12,297 หน่วยและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 868 หน่วย และเมื่อทดสอบ

ความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองพบว่ามีค่า P – Value เท่ากับ 0.075 ซึ่งมากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำประปาและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแบบจำลองปัญหาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดสอบแบบจำลองปัญหาที่ใช้จำลองกระบวนการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาดังกล่าวข้างต้นพบว่าแบบจำลองปัญหาสามารถแสดงพฤติกรรมการทำงานในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำบ้านโกทาได้ ดังนั้นจึงนำแบบจำลองปัญหาดังกล่าวมาใช้ทดสอบแนวทางใหม่ในการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา ซึ่งจะลดการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดได้

การกำหนดแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่

จากแบบจำลองปัญหาโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ ARENA 8.01 ที่กล่าวไว้ข้างต้นจะนำมาหาแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่ของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดค่าคงที่และข้อจำกัดต่าง ๆ ของแบบจำลองปัญหา

1.1 การกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละช่วงเวลา

แนวทางนี้จะผลิตน้ำประปาโดยคำนึงถึงอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยตามช่วงเวลา โดยหลีกเลี่ยงการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดหรือหากหลีกเลี่ยงไม่ได้จะทำการผลิตน้ำประปาให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น โดยไม่ทำให้ผู้ใช้ น้ำประปาในเขตเทศบาลนครขอนแก่นต้องประสบปัญหาขาดแคลนน้ำประปา และมุ่งเน้นที่จะทำการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถผลิตได้โดยไม่ทำให้เครื่องจักรรับภาระหนักเกินไปจนอาจทำให้เครื่องจักรชำรุดซึ่งกำลังการผลิตสูงสุดคือ 4,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและเพื่อความเหมาะสมในการใช้เครื่องจักรทำการผลิตน้ำประปาจึงกำหนดประสิทธิภาพกระบวนการไว้ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ คือประมาณ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สำหรับช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ ส่วนกำลังการผลิตในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดนั้น จะทำการทดลองในแบบจำลองปัญหาเพื่อหากำลังการผลิตที่เหมาะสมโดยต้องเป็นกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำประปา ซึ่งในการทดลองจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่ากำลังการผลิตน้ำประปาเท่ากับ 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นสังเกตการณ์แบบจำลองปัญหาในขณะที่ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบว่ามีปัญหาการขาดแคลนน้ำประปาหรือไม่ หากพบว่าการทดลองเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำประปาขึ้นจะทำการกำหนดค่ากำลังการผลิตน้ำประปาใหม่โดยจะเพิ่มกำลังการผลิตครั้งละ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นจึงทำการสังเกตการณ์เช่นเดิม ทำการทดลองจนกระทั่งพบว่าได้ค่ากำลังการผลิตที่สามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำประปาได้โดยไม่เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำประปา

เนื่องจากในการปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละครั้งของกระบวนการผลิตจริงจะต้องให้พนักงานทำการปรับเปลี่ยนกำลังการผลิต ดังนั้นจึงกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาให้มี

การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และควรให้มีกำลังการผลิตเท่ากันทุกชั่วโมงของกระบวนการผลิตน้ำประปาในแต่ละกะการทำงานเพื่อความสะดวกในการปรับเครื่องจักรของพนักงานฝ่ายผลิตซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กะทำงาน คือ กะเช้า เวลา 6.00 น. ถึง 14.00 น. กะบ่าย เวลา 14.00 น. ถึง 22.00 น. และกะดึกเวลา 22.00 น. ถึง 6.00 น. โดยกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาในแต่ละกะให้คงที่ตลอดทั้งกะทำงาน และให้มีการปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตเมื่อมีการเปลี่ยนกะการทำงาน หรือเมื่อเริ่มการทำงานของกะต่อไป และควรกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาให้คงที่ทุกๆ วันในกะทำงานนั้นๆ

1.2 การกำหนดปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรองระดับปลอดภัย

ปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรองระดับปลอดภัยสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นคือปริมาณน้ำประปาซึ่งจะไม่นำมาจ่ายให้กับผู้ใช้ น้ำประปาในช่วงเวลาทุกๆ ไป แต่จะมีการนำออกมาจ่ายให้กับผู้ใช้ น้ำเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินที่ทำให้กระบวนการผลิตน้ำประปาต้องหยุดกะทันหันเป็นเวลานาน เช่น ไฟฟ้าดับระหว่างกระบวนการสูบน้ำดิบ ท่อส่งน้ำดิบในกระบวนการสูบน้ำดิบเพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาชำรุด หรือเครื่องสูบน้ำแรงดันต่ำที่สถานีสูบน้ำแรงดันต่ำหนองหินชำรุด เป็นต้น ซึ่งต้องมีการกำหนดไว้ในระดับที่ปลอดภัย โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาสูงสุดในรอบวันที่เท่ากับ 3,755 ลูกบาศก์เมตร และ ระยะเวลาเฉลี่ยในการแก้ไขสถานการณ์ฉุกเฉินที่ทำให้กระบวนการผลิตน้ำประปาต้องหยุดกะทันหันนั้นคือ 2 ชั่วโมง (หัวหน้าฝ่ายผลิต สถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทา, 2547) ดังนั้นระดับปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรองระดับปลอดภัย คือ 7,700 ลูกบาศก์เมตร

1.3 การกำหนดช่วงเวลาในการทดลองแบบจำลองปัญหา

1) การกำหนดช่วงเวลารวมอวัฏกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอ โดยพิจารณาถึงจำนวนชิ้นงานระหว่างทำ (หมายถึง ปริมาณน้ำดิบที่อยู่ระหว่างการผลิต) ของกระบวนการผลิต ให้มีความสม่ำเสมอหรือเกิดการผันแปรของจำนวนชิ้นงานระหว่างทำน้อยที่สุด ซึ่งพบว่าจะต้องใช้เวลาเท่ากับ 10 ชั่วโมง ต่อรอบการทดลอง

2) การกำหนดช่วงเวลาทดลองกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาตัวชี้วัด เช่น ในการพิจารณาปริมาณการผลิตน้ำประปาเป็นรายชั่วโมงดังนั้นจะต้องกำหนดให้ช่วงเวลาทดลองกระบวนการเป็นรายชั่วโมงเช่นกัน ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาทดลองกระบวนการจึงเท่ากับ 744 ชั่วโมง หรือ 31 วัน

3) การกำหนดจำนวนรอบในการทดลองกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการในสถานะคงตัว ซึ่งในการวิจัยนี้จะเปลี่ยนจำนวนรอบการทดลองจาก 40 รอบ และ 45 รอบ และนำผลลัพธ์มาทดสอบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ (พรเทพ , 2545)

1.4 การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตน้ำประปาแบบใหม่

การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตน้ำประปาแบบต่างๆ นั้นจะดำเนินการโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของการผลิตน้ำประปาแต่ละแนวทางกับข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาเป็นระยะเวลา 6 เดือน คือ ระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2547 จากนั้นจึงทำการประเมินการผลิตน้ำประปาในแบบต่างๆ เพื่อพิจารณาเลือกแนวทางการผลิตน้ำประปาที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

1.5 การกำหนดรอบการทดลองของแบบจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์

จากตัวอย่างแนวทางการผลิตน้ำประปามีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ เมื่อทำการทดลอง 40 รอบเท่ากับ 175,675 บาท และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5,872 บาท และผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าในการทดลอง 45 รอบเท่ากับ 173,592 บาท และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5,729 บาท ซึ่งมีค่า P – value เท่ากับ 0.099 ซึ่งมากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าผลลัพธ์ทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่าเมื่อทดลองที่ 40 รอบ และ 45 รอบ ค่า Half Length ของช่วงความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 1,819.74 บาท และ 1,673.90 บาท ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5% ของค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้า 8,783.75 บาท และ 8,679.60 บาท ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองแนวทางการผลิตน้ำประปาสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงกำหนดให้จำนวนรอบการทดลองเท่ากับ 45 รอบ เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าจำนวนรอบการทดลอง 40 รอบ

ผลลัพธ์ของแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบใหม่

1. การกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาเมื่อไม่พิจารณาภาระงานของพนักงาน

การกำหนดตารางเวลาการผลิตน้ำประปาสำหรับวันจันทร์ถึงวันศุกร์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 9.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ และช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 22.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด การเปลี่ยนกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละช่วงเวลาโดยคำนึงถึงอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในแต่ละช่วงเวลาจะดำเนินการโดยกำหนดให้กำลังการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติเท่ากับ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และการผลิตน้ำประปาในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติจะต้องสอดคล้องกับปริมาณการกักเก็บน้ำประปาสำรองสูงสุดของถังเก็บกักน้ำประปาสำรองซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 22,000 ลูกบาศก์เมตร และเพื่อป้องกันน้ำล้นถังเก็บน้ำประปาสำรองจึงได้มีการติดตั้งระบบเตือนน้ำล้นไว้ที่ 20,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งหากพบว่ากำลังการผลิตน้ำประปามีมากกว่าความสามารถในการกักเก็บน้ำประปาสำรองของถังเก็บน้ำประปาสำรอง แบบจำลองปัญหานี้จะต้องปรับลดกำลังการผลิตน้ำประปาเท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาที่คาดการณ์ว่าผู้ใช้น้ำจะต้องการใช้ในชั่วโมงนั้นๆ พบว่าในเวลา 5.00 น. ถังเก็บน้ำประปาสำรองมีปริมาณน้ำประปาสำรองมากกว่า 20,000 ลูกบาศก์เมตร ระบบการผลิตจึงมีการปรับลดกำลังการผลิตน้ำประปาให้เท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาที่คาดการณ์ว่าผู้ใช้น้ำจะต้องการใช้ในเวลา 6.00 น. คือ 2,679 ลูกบาศก์เมตร และในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุดจะกำหนดกำลังการผลิตให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้บริการน้ำประปาแก่ผู้ใช้น้ำประปา

การกำหนดตารางเวลาการผลิตน้ำประปาสำหรับวันเสาร์และวันอาทิตย์ ซึ่งทั้ง 24 ชั่วโมงของแต่ละวันคือช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ ดังนั้นจึงกำหนดให้กำลังการผลิตน้ำประปามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ผลการศึกษาสามารถสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา โดยแยกค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา พบว่ากำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดเท่ากับ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และกำลังการผลิตน้ำประปาดำสุดเท่ากับ 2,600 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจากการสังเกตการณ์ขณะที่ทำการทดลองด้วยแบบจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ไม่พบว่าปริมาณน้ำประปาสำรองในช่วงเวลาใดต่ำกว่าระดับปลอดภัย (7,700 ลูกบาศก์เมตร) จึงสร้างความมั่นใจในการให้บริการน้ำประปาแก่ผู้ใช้น้ำประปา โดยกระบวนการผลิตน้ำประปามีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 665,066 บาทต่อเดือนและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18,436 บาทต่อเดือน

1.1 การประเมินประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปาแบบใหม่เมื่อไม่พิจารณากะทำงาน

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อนำแบบจำลองปัญหาตามแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่เมื่อไม่พิจารณากะทำงาน ไปทดลองกับกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำบ้านโกทาเป็นระยะเวลา 6 เดือนย้อนหลัง พบว่ามีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 636,885 บาทต่อเดือน ซึ่งต่ำกว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาเท่ากับ 83,308 บาทต่อเดือน และเมื่อทดสอบความแตกต่างของทั้งสองชุดข้อมูลพบว่ามีความแตกต่างกันที่นัยสำคัญ 0.05 (P - Value = 0.01)

ลำดับที่	เดือน / ปี	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า		ความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงและแบบจำลอง	
		ข้อมูลจริง (บาท)	แบบจำลอง (บาท)	ผลต่าง	%ผลต่าง
1	กรกฎาคม พ.ศ.2547	695,068	643,008	52,060	7.49%
2	สิงหาคม พ.ศ.2547	659,474	640,461	19,013	2.88%
3	กันยายน พ.ศ.2547	671,450	625,612	45,837	6.83%
4	ตุลาคม พ.ศ.2547	673,263	634,797	38,466	5.71%
5	พฤศจิกายน พ.ศ.2547	780,777	628,882	151,894	19.45%
6	ธันวาคม พ.ศ.2547	841,123	648,548	192,575	22.90%
รวม		4,321,154	3,821,308	499,846	11.57%
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)		720,192	636,885	83,308	11.57%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)		73744	8738		
ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายจริงและค่าใช้จ่ายจากแบบจำลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05					
$H_0 : \mu_{\text{จริง}} = \mu_{\text{แบบจำลอง}}$ $H_1 : \mu_{\text{จริง}} > \mu_{\text{แบบจำลอง}}$ $n_{\text{จริง}} = 6$, $\bar{x}_{\text{จริง}} = 720.19$, $s_{\text{จริง}} = 73.74$ $n_{\text{แบบจำลอง}} = 6$, $\bar{x}_{\text{แบบจำลอง}} = 636.89$, $s_{\text{แบบจำลอง}} = 8.74$		เนื่องจากจำนวน n ของข้อมูลน้อยกว่า 30 จึงทำการทดสอบด้วยค่า t $S_p^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$ ได้ค่า S_p เท่ากับ 52.5 $t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 2.75$ จากนั้นคำนวณค่า t จาก			

ตารางที่ 3 สรุปค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่โดยไม่พิจารณากะทำงานเปรียบเทียบข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริง

2. การกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาเมื่อพิจารณาการทำงานของพนักงาน

การกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละช่วงเวลาจะพิจารณาช่วงเวลาการทำงานของพนักงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กะ คือกะเช้าเวลา 6.00 น. ถึง 14.00 น. กะบ่ายเวลา 14.00 น. ถึง 22.00 น. และกะดึกเวลา 22.00 น. ถึง 6.00 น. โดยกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละกะทำงานจะมีค่าเท่ากัน ทุกๆชั่วโมงในกะทำงานนั้นๆ เพื่อง่ายต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน

การกำหนดตารางเวลาการผลิตน้ำประปาสำหรับวันจันทร์ถึงวันศุกร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ

1) ช่วงทำงานกะเช้าเวลาระหว่าง 06.00 น. ถึง 14.00 น. ซึ่งประกอบด้วยช่วงเวลาที่คิดอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติคือ ช่วงเวลา 06.00 น. ถึง 09.00 น. และช่วงเวลาที่คิดอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด คือ ช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 14.00 น. จึงกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในช่วงนี้เท่ากับ 3,300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2) ช่วงทำงานกะบ่ายเวลาระหว่าง 14.00 น. ถึง 22.00 น. ซึ่งตลอดทั้งช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูงสุด จึงกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในช่วงนี้เท่ากับ 2,300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

3) ช่วงทำงานกะดึกเวลาระหว่าง 22.00 น. ถึง 06.00 น. ซึ่งตลอดทั้งช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ ดังนั้นจึงกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในช่วงนี้เท่ากับ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าในเวลา 5.00 น. ถึงเก็บน้ำประปาสำรองมีปริมาณน้ำประปาสำรองมากกว่า 20,000 ลูกบาศก์เมตร ระบบการผลิตจึงมีการปรับลดกำลังการผลิตน้ำประปาให้เท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาที่คาดการณ์ในเวลา 6.00 น. คือ 2,679 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

การกำหนดตารางเวลาการผลิตน้ำประปาสำหรับวันเสาร์และวันอาทิตย์ (ตามลำดับ) ซึ่งทั้ง 24 ชั่วโมงของแต่ละวันเป็นช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยปกติ จึงกำหนดให้กำลังการผลิตน้ำประปามีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้คือ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าในเวลา 3.00 น. ถึงเก็บน้ำประปาสำรองมีปริมาณน้ำประปาสำรองมากกว่า 20,000 ลูกบาศก์เมตร ระบบการผลิตจึงมีการปรับลดกำลังการผลิตน้ำประปาให้เท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาที่คาดการณ์ว่าผู้ใช้น้ำจะต้องการใช้ในเวลา 4.00 น. คือ 1,363 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ผลการศึกษาสามารถสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาในแต่ละกะทำงานแตกต่างกัน โดยแยกค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา พบว่ากำลังการผลิตน้ำประปาในกะเช้า กะบ่าย และกะดึก เท่ากับ 3,300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 2,300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตการณ์ขณะที่ทำการทดลองด้วยแบบจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ไม่พบว่ามีปริมาณน้ำประปาสำรองในช่วงเวลาใดต่ำกว่าระดับปลอดภัยจึงสร้างความมั่นใจในการให้บริการน้ำประปาสำหรับผู้ใช้น้ำประปา โดยกระบวนการผลิตน้ำประปามีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 672,309 บาทต่อเดือนและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 17,299 บาทต่อเดือน

2.1 การประเมินประสิทธิภาพแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่โดยพิจารณาจากการทำงาน

จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่อนำแบบจำลองปัญหาตามแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่โดยพิจารณาจากการทำงานไปทดลองกับกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำบ้านโกทาเป็นระยะเวลา 6 เดือนย้อนหลัง พบว่ามีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 657,060 บาทต่อเดือน ซึ่งต่ำกว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานีโรงกรองน้ำบ้านโกทาเท่ากับ 63,132 บาทต่อเดือน และเมื่อทดสอบความแตกต่างของทั้งสองชุดข้อมูลพบว่ามีความแตกต่างกันที่นัยสำคัญ 0.05 (P - Value = 0.031)

ลำดับที่	เดือน / ปี	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า		ความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงและแบบจำลอง	
		ข้อมูลจริง (บาท)	แบบจำลอง (บาท)	ผลต่าง	%ผลต่าง
1	กรกฎาคม พ.ศ.2547	695,068	664,466	30,601	4.40%
2	สิงหาคม พ.ศ.2547	659,474	655,255	4,219	0.64%
3	กันยายน พ.ศ.2547	671,450	648,134	23,316	3.47%
4	ตุลาคม พ.ศ.2547	673,263	654,948	18,315	2.72%
5	พฤศจิกายน พ.ศ.2547	780,777	647,569	133,207	17.06%
6	ธันวาคม พ.ศ.2547	841,123	671,991	169,133	20.11%
รวม		4,321,154	3,942,362	378,791	8.77%
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)		720,192	657,060	63,132	8.77%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)		73,744	9,542		
ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายจริงและค่าใช้จ่ายจากแบบจำลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05					
$H_0 : \mu_{\text{จริง}} = \mu_{\text{แบบจำลอง}}$ $H_1 : \mu_{\text{จริง}} > \mu_{\text{แบบจำลอง}}$ $n_{\text{จริง}} = 6$, $\bar{x}_{\text{จริง}} = 720.19$, $s_{\text{จริง}} = 73.74$ $n_{\text{แบบจำลอง}} = 6$, $\bar{x}_{\text{แบบจำลอง}} = 657.06$, $s_{\text{แบบจำลอง}} = 9.54$		เนื่องจากจำนวน n ของข้อมูลน้อยกว่า 30 จึงทำการทดสอบด้วยค่า t $S_p^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$ ได้ค่า S_p เท่ากับ 52.58 จากนั้นคำนวณค่า t จาก $t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = 2.08$			

ตารางที่ 4 สรุปค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากแนวทางการผลิตน้ำประปาแบบใหม่โดยพิจารณาจากการทำงานเปรียบเทียบกับข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริง

สรุปและเสนอแนะ

จากตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 พบว่าความแตกต่างของค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าระหว่างการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาโดยไม่พิจารณาจากการทำงาน และการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาโดยพิจารณาจากการทำงานมีความแตกต่างกัน แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติวิธีการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาโดยไม่พิจารณาจากการทำงานนั้น จะเป็นไปได้ยากและลำบากในการปฏิบัติงานของพนักงานเพราะ

พนักงานต้องปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตกลางครั้นระหว่างช่วงกะทำงาน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการปฏิบัติงานผิดพลาดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อการให้บริการผู้ใช้น้ำ ดังนั้นวิธีการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาโดยพิจารณาจากการทำงานของพนักงานจึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าวิธีการกำหนดกำลังการผลิตน้ำประปาโดยไม่พิจารณาจากการทำงานก็ตาม ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำประปาเท่ากับ 8.7 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตจริง แต่อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการทำงานของพนักงานอาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ เช่น ลูกกลอยบอกระดับน้ำประปาสำรองพร้อมกับติดตั้งสัญญาณเตือนเมื่อระดับน้ำประปาสำรองต่ำกว่าระดับปลอดภัยที่กำหนด พนักงานจะต้องปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตน้ำประปาให้เหมาะสมกับสภาวะการณนั้น ซึ่งการปรับเพิ่มกำลังการผลิตน้ำประปาจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงอาจทำให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำประปาที่เกิดขึ้นจากการนำแนวทางการผลิตน้ำประปานี้ไปใช้จริงอาจมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยด้านพลังงานไฟฟ้าที่ทดลองได้จากแบบจำลอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้อำนวยการและพนักงานทุกท่านของสำนักงานประปาเขต 6 ขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและสารสนเทศต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กองประชาสัมพันธ์ สำนักงานประปาเขต 6 ขอนแก่น. 2544. **โครงการ Energy Audit** : ขอนแก่น (เอกสารอัดสำเนา)
- พรเทพ ขอบขายเกียรติ. 2545. **ความน่าจะเป็นและสถิติวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 7. ขอนแก่น : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2535. **การจำลองแบบปัญหา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานประปาเขต 6 ขอนแก่น. 2547. **วารสารการประปาส่วนภูมิภาคประจำเดือน มกราคม พ.ศ. 2547**. โรงพิมพ์บางยี่ขัน กรุงเทพฯ.
- W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Randall P. Sturrock,. 2004. **Simulation with Arena**. 3Th ed. Singapore.