

การพัฒนาปั้มน้ำแบบเทอร์ไบน์ เพื่อการประหยัดพลังงาน

Engineering design and development of turbine pump for energy conservation

วีรชัย ชัยวรพฤษ์ จิรโรจน์ บูรณะโรจน์ อัครพล หวานระรื่น และ ชวลิต กิตติชัยการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ. พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

โทร. 0-2942-8555, โทรสาร 0-2579-4576, E-mail: fengclk@ku.ac.th

Weerachai Chaiworapeuk Jirarote Buranarote Akkaraphon Wanrareun Chawalit Kittichaikarn

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Phaholyothin Rd., Jatujak, Bangkok 10900

Tel. 0-2942-8555, Fax. 0-2579-4576, E-mail: fengclk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำภายในร่อนน้ำของปั้มน้ำแบบเทอร์ไบน์ ซึ่งมีใช้กันโดยทั่วไปในครัวเรือน โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณ FLUENT ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงรายละเอียดการไหลของน้ำภายในปั้มน้ำ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาปั้มน้ำขนาด 150 วัตต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อลดการใช้พลังงานลง ปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงแล้วได้ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพจากการทดสอบพบว่า ที่ระยะดูดของปั้มน้ำ 8 เมตรและระยะดูดรวมกับระยะส่ง 16 เมตร ปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงร่อนน้ำแล้วมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 12% ในขณะที่สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ 5 % และสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้างได้ถึง 6% นอกจากนี้ยังพบว่าปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาแล้วสามารถลดเสียงดังที่เกิดเนื่องจากการไหลได้อีกส่วนหนึ่งด้วย

Abstract

This paper presents a numerical simulation of flow in the turbine water pump using commercial fluid dynamics software FLUENT. The study focuses on the improvement in the interior design for higher efficiency of the 150 W turbine water pump. Improvements in design were carried out by installing in the curved blades and smoothing out any interior parts that obstructed the flow. Results from the experiments showed that at the suction head of 8 m and the total head of 16 m, the pump efficiency and the volume flow rate were increased by 12 % and 5% respectively. Finally with this better design, the electrical energy consumption of this pump was deducted by up to 6%.

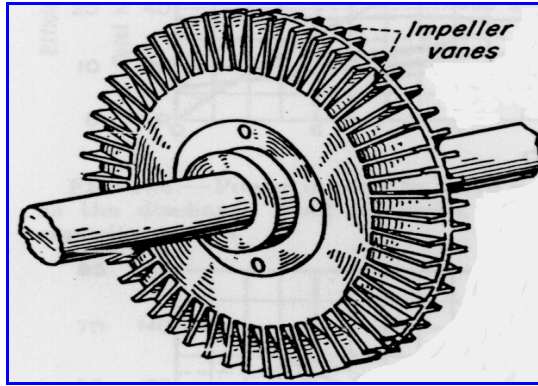
1. บทนำ

ในปัจจุบันน้ำเป็นสิ่งสำคัญทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค โดยทั่วไปการนำน้ำมาใช้จะต้องอาศัยการทำงานของปั้มน้ำซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าในการส่งน้ำจากแหล่งน้ำไปยังจุดที่ต้องการ ปั้มน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นปั้มน้ำแบบใบพัด (Turbine Pump) ซึ่งมีขนาดกำลัง 150 วัตต์และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในครัวเรือน โดยที่เทคโนโลยีและรูปแบบของปั้มน้ำได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่น เมื่อปั้มน้ำแบบเทอร์ไบน์นี้ถูกนำมาผลิตและมีใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย จึงควรมีการปรับปรุงรูปแบบภายในของปั้มน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยและให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อันจะส่งผลทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำที่ไหลภายในร่อนน้ำของปั้มน้ำโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณ เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียพลังงานของน้ำภายในปั้มน้ำซึ่งจะทำให้สามารถลดเสียงรบกวนเนื่องจากการไหลและเพิ่มประสิทธิภาพของปั้มน้ำให้สูงขึ้น

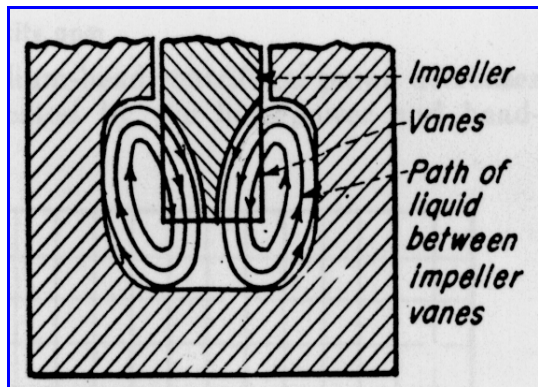
2. ทฤษฎี

ปั้มน้ำแบบใบพัด (Turbine Pump) เป็นปั้มน้ำที่ได้รับการออกแบบจากการผสมผสานข้อดีของปั้มน้อยโขง (Centrifugal Pump) และปั้มน้ำแบบโรตารี (Rotary Pump) เข้าด้วยกันโดยออกแบบให้มีความสามารถในการส่งน้ำด้วยความดันสูงตามแบบโรตารีกับการทำงานที่ยืดหยุ่นของแบบน้อยโขง ปั้มนชนิดนี้จะมีปริมาณการส่งน้อยแต่มีความดันสูง เช่นสามารถใช้ส่งน้ำที่มีอัตราการไหลโดยปริมาตร 1-200 แกลลอนต่อนาทีได้สูงถึง 500 ฟุต (Lobanoff และ Ross 1992) ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างปั้มน้อยโขงและปั้มน้ำแบบใบพัดอยู่ที่ตัวใบพัด ในปั้มน้ำแบบใบพัดจะมีใบพัดที่มีใบทั้งสองหน้า ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใบของใบพัด

จะหมุนอยู่ภายใน casing ของปั๊ม ของไหลจะถูกดูดเข้ามาที่ท่อทางดูด (Suction) แล้วจะถูกใบพัดออกแรงส่งเพื่อให้มีความเร็วสูงขึ้นและส่งให้ไหลออกไปที่ท่อทางส่ง (Discharge) สำหรับการไหลของของไหลระหว่างซี่ของใบพัด ของไหลจะหมุนในทิศเข้าหาใบพัดดังแสดงในรูปที่ 2 และของไหลจะเคลื่อนที่เป็นเกลียวไปข้างหน้าผ่านซี่ใบพัดลงสู่ร่องน้ำ โดยการผลักของใบพัด (Kristal และ Annett ,1953)



รูปที่ 1 รูปแบบใบพัดของปั๊มใบพัด

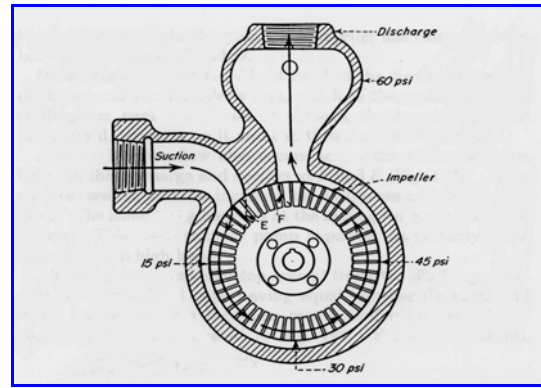


รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของไหลระหว่างใบพัดเมื่อมีการหมุนของใบพัด

โดยทั่วไปปั๊มใบพัดจะให้ความดันดันท่อส่งสูงกว่าปั๊มหยอชิงหลายเท่าเมื่อเทียบกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดและความเร็วรอบที่เท่ากัน ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอบริเวณขอบของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 3 (Karassik I. J., 1986)

3. การสร้างแบบจำลองและการจำลองลักษณะการไหล

ปั๊มน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นปั๊มน้ำแบบใบพัด (Turbine pump) ขนาดกำลัง 150 วัตต์ มีระยะดูด 16 เมตร และ ระยะส่ง 8 เมตร ซึ่งมีใช้กันอยู่ทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4 น้ำที่ไหลภายในปั๊มน้ำจะถูกจำลองเฉพาะบริเวณส่วนที่อยู่ในร่องน้ำและที่อยู่ระหว่างซี่ของใบพัดภายในปั๊มน้ำโดยใช้โปรแกรม Solidworks ตามข้อมูลที่ใช้เป็นแบบ tetrahedral การไหลของน้ำจะเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible) แบบจำลองความปั่นป่วนที่เลือกใช้ คือ แบบจำลองมาตรฐาน k- ϵ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบให้กับแบบจำลอง คือ ที่บริเวณทางเข้าจะถูกกำหนดให้มีความดันเท่ากับ 50 KPa ซึ่งเป็นความดันที่ได้จากการ

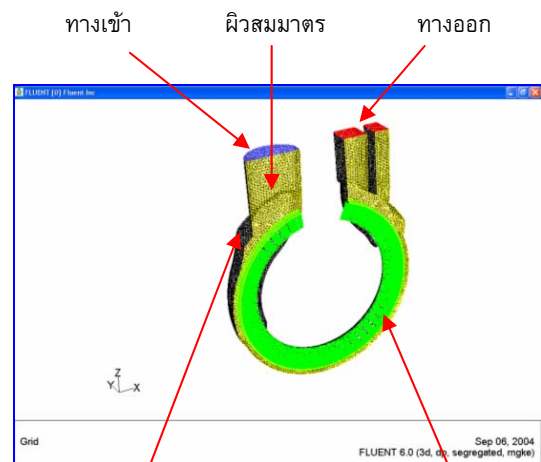


รูปที่ 3 ค่าของความดันที่เพิ่มขึ้นรอบใบพัดของปั๊มใบพัดจากด้านดูดไปสู่ด้านส่ง



รูปที่ 4 ปั๊มน้ำแบบใบพัดขนาดกำลัง 150 W.

ทดลอง ในขณะที่บริเวณทางออกความดันจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ส่วนที่บริเวณที่ติดกับผิวของชิ้นงานปั๊มน้ำจะถูกกำหนดให้เป็น Wall นอกจากนี้ที่บริเวณผิวที่ถูกตัดครึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นผิวสมมาตร และที่บริเวณของน้ำส่วนที่ติดอยู่กับใบพัดถูกกำหนดให้มีความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 3,000 รอบต่อนาที



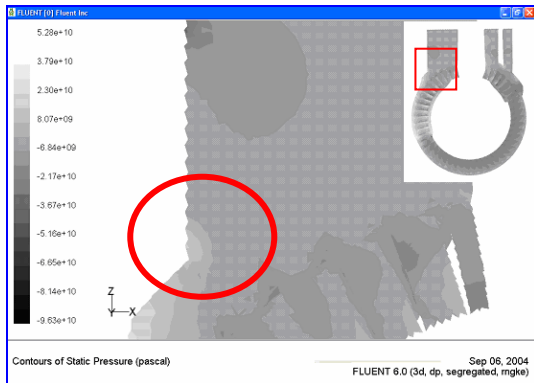
ผิวติดกับชิ้นงาน ใบพัด

รูปที่ 5 เงื่อนไขค่าขอบที่ใช้ในการศึกษา

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำภายในบิมน้ำ

จากการศึกษาลักษณะการกระจายความดันที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในบิมน้ำ พบว่าอนุภาคของน้ำไหลเข้าชนและกระทบกับผนังของบิมน้ำในหลายบริเวณทำให้เกิดจุดหยุดนิ่ง (stagnation point) ในหลายบริเวณ ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการไหลและทำให้อนุภาคของน้ำมีการสูญเสียพลังงาน รูปที่ 6 และ 7 แสดงการเกิดจุดหยุดนิ่งเนื่องจากน้ำไหลเข้ากระทบบนผนังของบิมน้ำที่บริเวณทางเข้าและทางออกภายในร่องน้ำของบิมน้ำตามลำดับ



รูปที่ 6 การเกิดจุดหยุดนิ่งที่บริเวณทางเข้าของบิมน้ำ

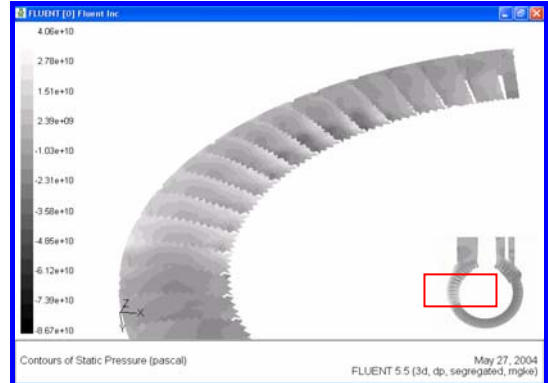


รูปที่ 7 การเกิดจุดหยุดนิ่งที่ทางออกของบิมน้ำ

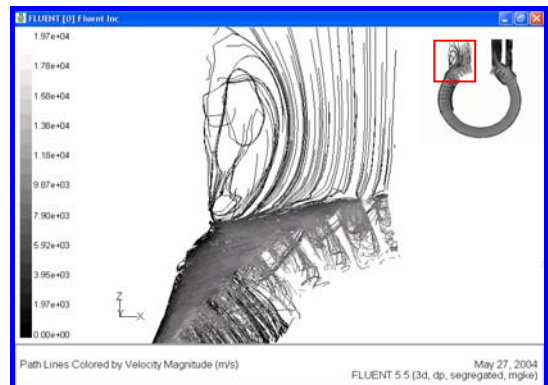
รูปที่ 8 แสดงการเกิดจุดหยุดนิ่งที่ด้านหน้าของซี่ใบพัดเนื่องจากใบพัดของบิมน้ำมีลักษณะเป็นใบตรงไม่ได้มีการออกแบบตามหลักพลศาสตร์ของการไหล นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่าที่บริเวณทางเข้าของร่องน้ำมีการไหลวนของน้ำโดยเกิดขึ้นเนื่องมาจากการที่ความเร็วของน้ำมีค่าน้อยกว่าความเร็วของใบพัดทำให้น้ำถูกใบพัดตีกลับจนเกิดเป็นน้ำวนขึ้นดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งการไหลวนของน้ำที่บริเวณทางเข้านี้จะทำให้เกิดการขัดขวางการไหลส่งผลให้น้ำไหลเข้าร่องน้ำไม่สะดวกและสูญเสียพลังงานเป็นอย่างมาก รูปที่ 10 แสดงการไหลวนที่บริเวณช่องนำไหลออกอันเกิดมาจากการที่น้ำไม่สามารถไหลเข้าสู่ช่องทางไหลได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่ช่องทางออกของน้ำยังมีจุดที่ผนังของชิ้นส่วนของบิมน้ำมีการขัดขวางทิศ

ทางการไหลทำให้น้ำไม่สามารถไหลได้เต็มช่องทางไหลซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 11

สำหรับผลการศึกษาลักษณะการไหลภายในร่องน้ำและระหว่างซี่ของใบพัดพบว่า การไหลของน้ำจะเป็นไปในลักษณะเกลียวหมุนไปตามร่องน้ำดังแสดงในรูปที่ 12 แล้วจึงไหลเข้าสู่ซี่ของใบพัดต่อไปโดยการไหลของน้ำระหว่างซี่ของใบพัดจะเป็นการไหลหมุนเข้าหาตัวซี่ของใบพัดทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องและเป็นไปตามทฤษฎีของการไหลในบิมน้ำแบบใบพัดซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2



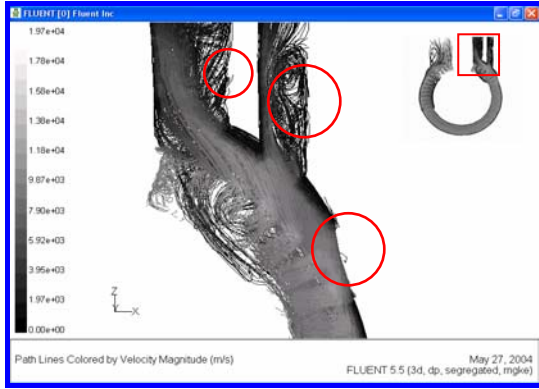
รูปที่ 8 การเกิดจุดหยุดนิ่งที่ด้านหน้าของซี่ของใบพัด



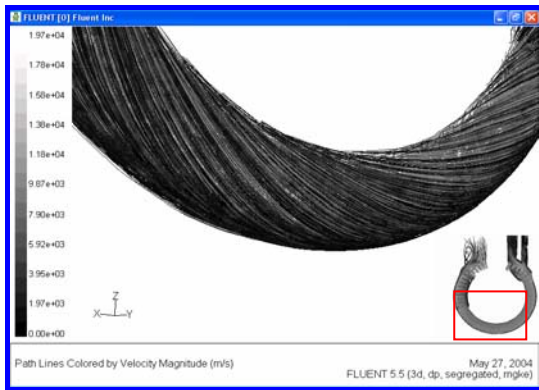
รูปที่ 9 การเกิดการไหลวนที่บริเวณทางเข้า



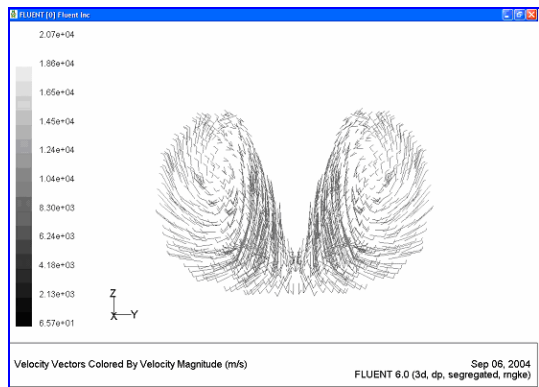
รูปที่ 10 การเกิดการไหลวนที่ช่องนำไหลออก



รูปที่ 11 บริเวณที่น้ำไม่สามารถไหลได้เต็มช่องทาง

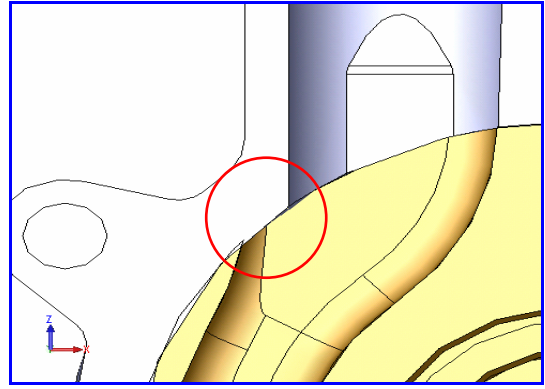


รูปที่ 12 ลักษณะการไหลของน้ำเป็นรูปเกลียวผ่านช่องทางไหล

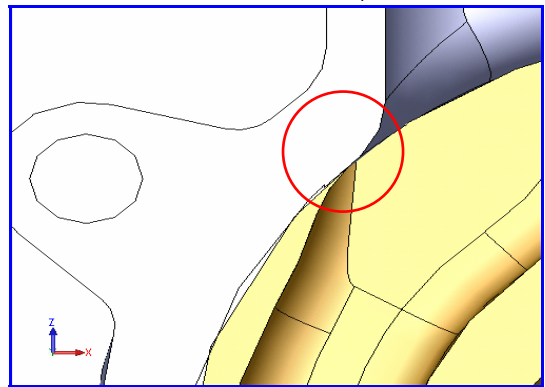


รูปที่ 13 ลักษณะการไหลวนของน้ำผ่านซี่ของใบพัด

4.2 ผลการพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบภายในของบิ๊มหน้า
 จากการศึกษาลักษณะการไหลและการกระจายความดันของน้ำ
 ภายในบิ๊มหน้าโดยละเอียดดังกล่าวข้างต้น รูปแบบภายในของบิ๊มหน้าจึง
 ได้ถูกนำมาออกแบบและปรับปรุงใหม่ให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง
 โดยที่ทางเข้าและทางออกจากร่องน้ำในบิ๊มหน้าได้มีการเพิ่มความโค้ง
 ให้กับขอบของผนังที่ทางเข้าดังแสดงในรูปที่ 14 และ เพิ่มความโค้ง
 ให้กับขอบของผนังที่ทางออกดังแสดงในรูปที่ 15 นอกจากนี้ที่บริเวณซี่
 ของ

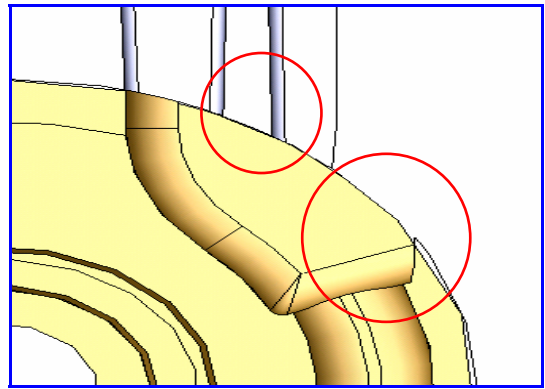


ก่อนได้รับการปรับปรุง

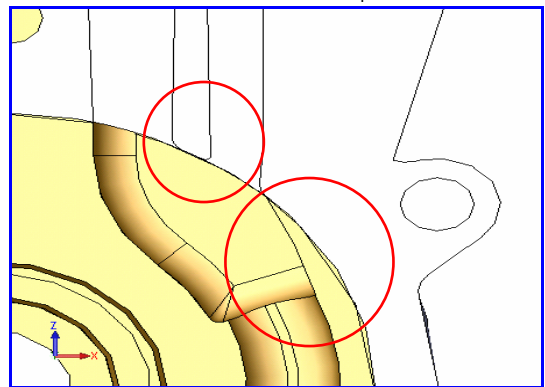


หลังได้รับการปรับปรุง

รูปที่ 14 การปรับปรุงช่องทางไหลบริเวณทางเข้า



ก่อนได้รับการปรับปรุง



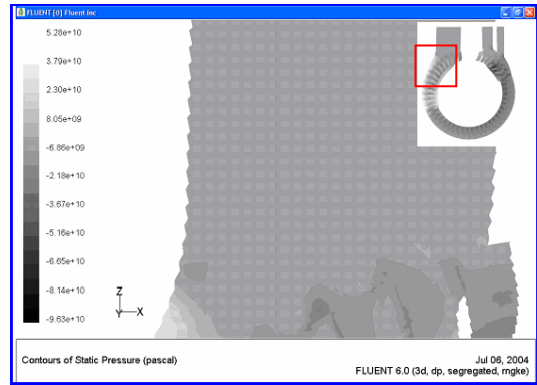
หลังได้รับการปรับปรุง

รูปที่ 15 การปรับปรุงช่องทางไหลที่บริเวณทางออก

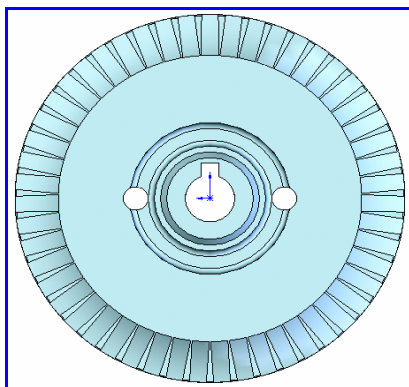
ใบพัดได้มีการเพิ่มความโค้งให้กับตัวใบพัดเพื่อลดการเกิดจุดหยุดนิ่งดังแสดงในรูปที่ 16

ผลการจำลองลักษณะการไหลของน้ำภายในช่องทางไหลและซี่ใบพัดที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงแล้วโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณพบว่าที่บริเวณทางเข้าของร่องน้ำการเกิดจุดหยุดนิ่งได้หายไปดังแสดงในรูปที่ 17 และลักษณะการไหลวนลดลงอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 18 ส่วนที่บริเวณร่องน้ำระหว่างซี่ของใบพัดพบว่าจำนวนจุดหยุดนิ่งที่เกิดขึ้นที่ผิวของใบพัดมีจำนวนลดน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 19

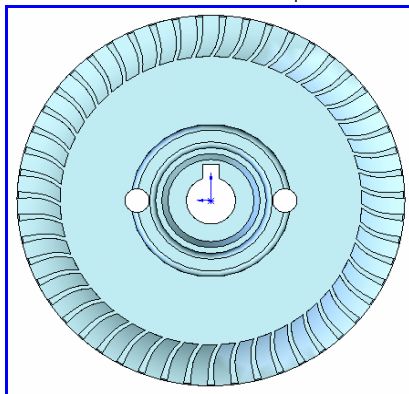
นอกจากนี้ที่บริเวณทางออกจากร่องน้ำพบว่าจำนวนจุดหยุดนิ่งได้ลดจำนวนลงอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 20 โดยมีการไหลที่เต็มช่องทางไหล และน้ำวนที่ช่องทางไหลออกได้หายไปดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 17 การเกิดจุดหยุดนิ่งได้หายไปที่บริเวณทางเข้า

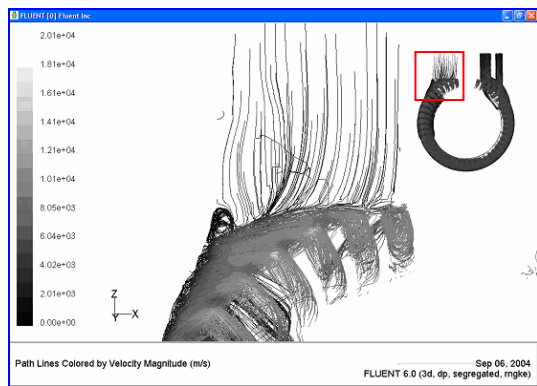


ก่อนได้รับการปรับปรุง

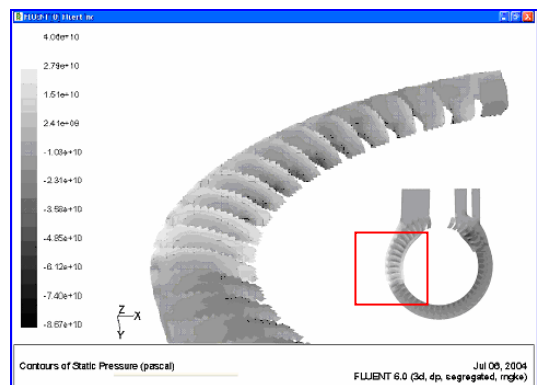


หลังได้รับการปรับปรุง

รูปที่ 16 การปรับปรุงซี่ของใบพัด



รูปที่ 18 การลดการไหลวนที่บริเวณทางเข้าเมื่อเทียบกับรูปที่ 9

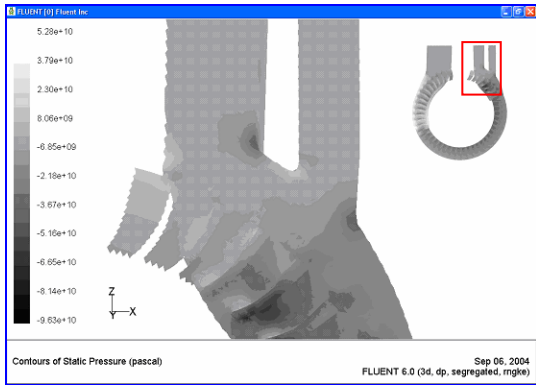


รูปที่ 19 จำนวนจุดหยุดนิ่งบนผิวของซี่ใบพัดลดลงเทียบกับรูปที่ 8

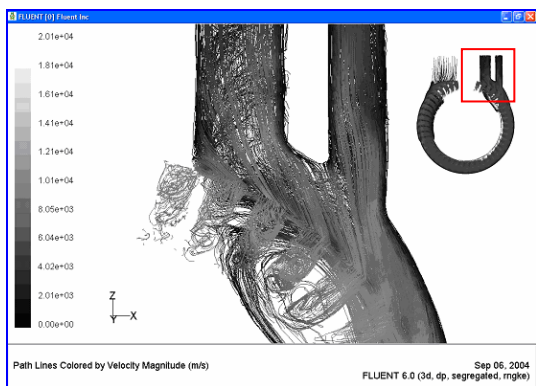
4.3 ผลการทดลองเพื่อวัดค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุง

รูปแบบภายในของปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงแล้วได้ถูกนำมาผลิตเป็นชิ้นงานจริงเพื่อใช้ทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำ โดยรูปแบบภายในที่ได้รับการปรับปรุงจะมีอยู่ 2 บริเวณ คือ ที่ส่วนทางเข้าสู่อ่างน้ำและในส่วนทางออกจากร่องน้ำดังแสดงในรูปที่ 22 และ 23 ตามลำดับ สำหรับในส่วนของความโค้งของซี่ใบพัดไม่สามารถทำการผลิตได้เนื่องจากต้นทุนที่สูงดังนั้นจึงไม่มีการปรับปรุงในส่วนนี้

การทดลองจะกระทำในท่อระบบปิดดังแสดงในรูปที่ 24 โดยทำการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำและกำลังไฟฟ้าที่ปั้มน้ำใช้ที่ระยะหัวน้ำต่าง ๆ ซึ่งหัวน้ำที่ระยะต่าง ๆ นั้นจะถูกแบ่งเป็นหัวน้ำที่ระยะดูดและหัวน้ำที่ระยะส่ง ระดับความสูงของน้ำในบ่อน้ำที่ปั้มน้ำดูดน้ำขึ้นไปนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าหัวน้ำที่ระยะดูด ส่วนหัวน้ำที่ระยะส่งจะทำการวัดค่าได้โดยการหรวาล์วที่ทางออกของปั้มน้ำเพื่อทำการสร้างหัวน้ำเทียม



รูปที่ 20 การลดการเกิดจุดหยุดนิ่งที่บริเวณทางออกเมื่อเทียบกับรูปที่ 7



รูปที่ 21 แสดงการไหลเต็มช่องทางไหลเมื่อเทียบกับรูปที่ 11

ขึ้นมา อัตราการไหลของน้ำที่ปั้มน้ำสร้างขึ้นจะถูกวัดขึ้นโดยการใช้เครื่องวัดอัตราการไหล (flow meter) ดังแสดงในรูปที่ 25 และกำลังไฟฟ้าที่ปั้มน้ำใช้จะถูกวัดขึ้นในแต่ละจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าหัวน้ำเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำ โดยค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{16.35 \times h \times Q}{E_{in}} \quad (1)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของปั้มน้ำ, h คือ หัวน้ำ หน่วยเป็น เมตร, Q คือ อัตราการไหล หน่วยเป็น ลิตรต่อวินาที, E_{in} คือ กำลังงานเข้า หน่วยเป็น วัตต์

จากผลการทดลองพบว่า ที่หัวน้ำ (Head) เท่ากับ 16 เมตร อัตราการไหลของน้ำภายในปั้มน้ำที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 5% ในขณะที่ปั้มน้ำใช้กำลังไฟฟ้าลดลงถึง 6% ส่งผลให้ประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ได้รับการปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 12% ดังแสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของปั้มน้ำหลังจากการปรับปรุงช่องทางไหลของน้ำที่หัวน้ำต่างๆ และ รูปที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของการใช้กำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำหลังการปรับปรุงที่หัวน้ำต่างๆ



ก่อนได้รับการปรับปรุง



หลังได้รับการปรับปรุง

รูปที่ 22 การปรับปรุงช่องทางไหลที่บริเวณทางเข้า



ก่อนได้รับการปรับปรุง



หลังได้รับการปรับปรุง

รูปที่ 23 การปรับปรุงช่องทางไหลที่บริเวณทางออก



รูปที่ 24 การทดลองวัดค่าสมรรถนะของปั้มน้ำเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ ก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 25 การวัดอัตราการไหลในการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของ ปั้มน้ำ

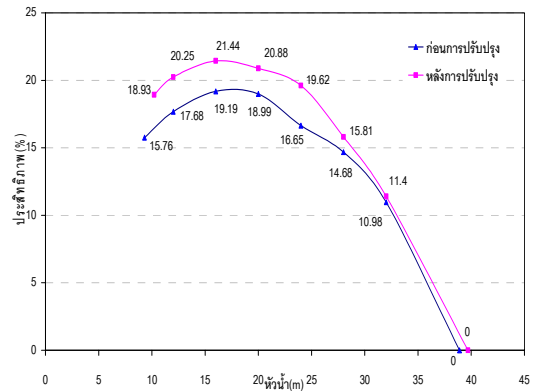
ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำหลังการปรับปรุง

	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
หัวน้ำ(Head)(เมตร)	16	16	-
อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	19	20	เพิ่มขึ้น 5%
กำลังไฟฟ้าที่ใช้(วัตต์)	259	244	ลดลง 6%
ประสิทธิภาพ (%) ⁺	19.19	21.44	เพิ่มขึ้น 12%

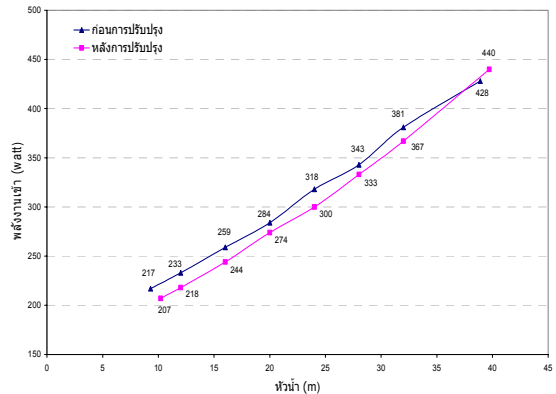
5. สรุป

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำในร่องน้ำของปั้มน้ำแบบใบพัด (Turbine pump) ขนาดกำลัง 150 วัตต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณซึ่งนำมาสู่การปรับปรุงและออกแบบช่องทางไหลและรูปร่างของซี่ใบพัดในปั้มน้ำใหม่พบว่าปั้มน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 12% อัตราการไหลเพิ่มขึ้น 5% และสามารถลด

การใช้พลังงานลงได้ถึง 6% ซึ่งหากได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องปั้มน้ำรุ่นนี้



รูปที่ 26 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบใบพัดขนาดกำลัง 150 วัตต์ ก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 27 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของปั้มน้ำแบบใบพัดขนาดกำลัง 150 วัตต์ก่อนและหลังการปรับปรุง

สามารถจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้อีกอันจะยังผลให้ประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ IPUS ที่ช่วยสนับสนุนในด้านเงินทุน ขอขอบคุณ คุณทรงชัย ตูรวีวัฒน์เลิศ สำหรับข้อเสนอแนะในการทำการทดลองและสุดท้ายขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Karassik I.J. (1986) , "Pump handbook" , Mc Graw-Hill , New York.
 [2] Kristal F.A. and Annett F.A. (1953) ,"Pumps" , 2nd Edition , Mc Graw-Hill ,USA
 [3] Lobanoff V.S. and Ross R.R. (1992) , "CENTRIFUGAL PUMPS-Design & Application" , 2 th Edition. , Gulf Publishing Company , Texas.