

การออกแบบที่ดีที่สุดของไฮดรอลิกเทอร์ไบน์ขนาดเล็ก

Optimal Design of Small Hydraulic Turbine

สุเทพ แก้วนิย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาธิปไตย บางมด กรุงเทพฯ 10140
E-mail: suthep.kae@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้เสนอวิธีการทางเทคนิคสำหรับการออกแบบที่ดีที่สุดบนพื้นฐานของ Artificial Neural Network (ANN) และ Genetic Algorithm (GA) โดยได้นำมาปรับปรุงการออกแบบไฮดรอลิกเทอร์ไบน์ในแนวแกนขนาดเล็ก วิธีการดังกล่าวนำมาประยุกต์กับ Runner, Guide Vane และ Diffuser เริ่มต้นทำ Optimize เฉพาะ Runner ได้ประสิทธิภาพของ Runner เท่ากับ 91.4 เปอร์เซ็นต์ และรูปร่างของ Runner ใหม่ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเอา Optimized Runner ต่อเข้ากับ Guide Vane และ Diffuser จากกระบวนการออกแบบ Guide Vane ได้ประสิทธิภาพรวมของเทอร์ไบน์เท่ากับ 90.4 เปอร์เซ็นต์

ในการวิจัยนี้เงื่อนไขในการออกแบบเทอร์ไบน์ในแนวแกนขนาดเล็ก มีดังนี้ อัตราการไหล 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เฮด 16 เมตร และรอบหมุน 750 รอบต่อนาที

คำหลัก: การออกแบบที่ดีที่สุด, ANN, GA

Abstract

This paper presents an optimal design, based on artificial neural net work (ANN) and genetic algorithm (GA), has been used to improve the design of a small hydraulic axial turbine. The method is applied to the runner, guide vane and diffuser. First, runner is optimized and the result in a new geometry with efficiency as 91.4 percent. The final optimized runner will be combined with guide vane and diffuser. Process of designed guide vane can improve total efficiency of turbine as 90.4 percent. The design conditions of small axial turbine is as follows: flow rate 2 m³/sec, head 16 m. and speed 750 rpm.

Keywords: Optimal Design, ANN, GA

บทนำ

การออกแบบไฮดรอลิกเทอร์ไบน์ในแนวแกนขนาดเล็ก ให้มีประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันนิยมใช้ Optimization Algorithm เพื่อเสริมจากฐานข้อมูลที่มี

อยู่เดิมของผู้ออกแบบ เริ่มต้นใช้เทคนิคดังกล่าวเข้ากับ Runner โดยปรับค่า ความยาว Chord, Stagger Angle, มุมเข้า, มุมออก, Sweep Angle และ Lean Angle เพื่อต้องการประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการทาง

เทคนิคสำหรับการออกแบบที่ดีที่สุดอยู่บนพื้นฐานของ Artificial Neural Network (ANN) และ Genetic Algorithm (GA) นำมาใช้ปรับปรุงการออกแบบ เริ่มต้นใช้เทคนิคดังกล่าวเข้ากับ Runner ที่คำนวณจากฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้วใช้ CFD Package คำนวณจะได้ประสิทธิภาพ ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ จากการใช้ Software Numeca 8.9.3 ซึ่ง Numeca ได้จัดทำ FINE/Design3D โดยการรวม

1. โมดูลรูปร่างเรขาคณิตของใบพัดเป็น AutoBlade
2. โมดูลการคำนวณ CFD เป็น FINE/Turbo
3. โมดูลการทำ Optimization โดยเฉพาะการทำ Optimization ใช้พื้นฐานการทำงานร่วมกันระหว่าง Genetic Algorithm (GA), Artificial Neural Network (ANN), ฐานข้อมูล (Data Base) และให้ผู้ใช้งานกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) กับเงื่อนไข ผลที่ได้คือประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์โดยรวมจะเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น

ที่มา

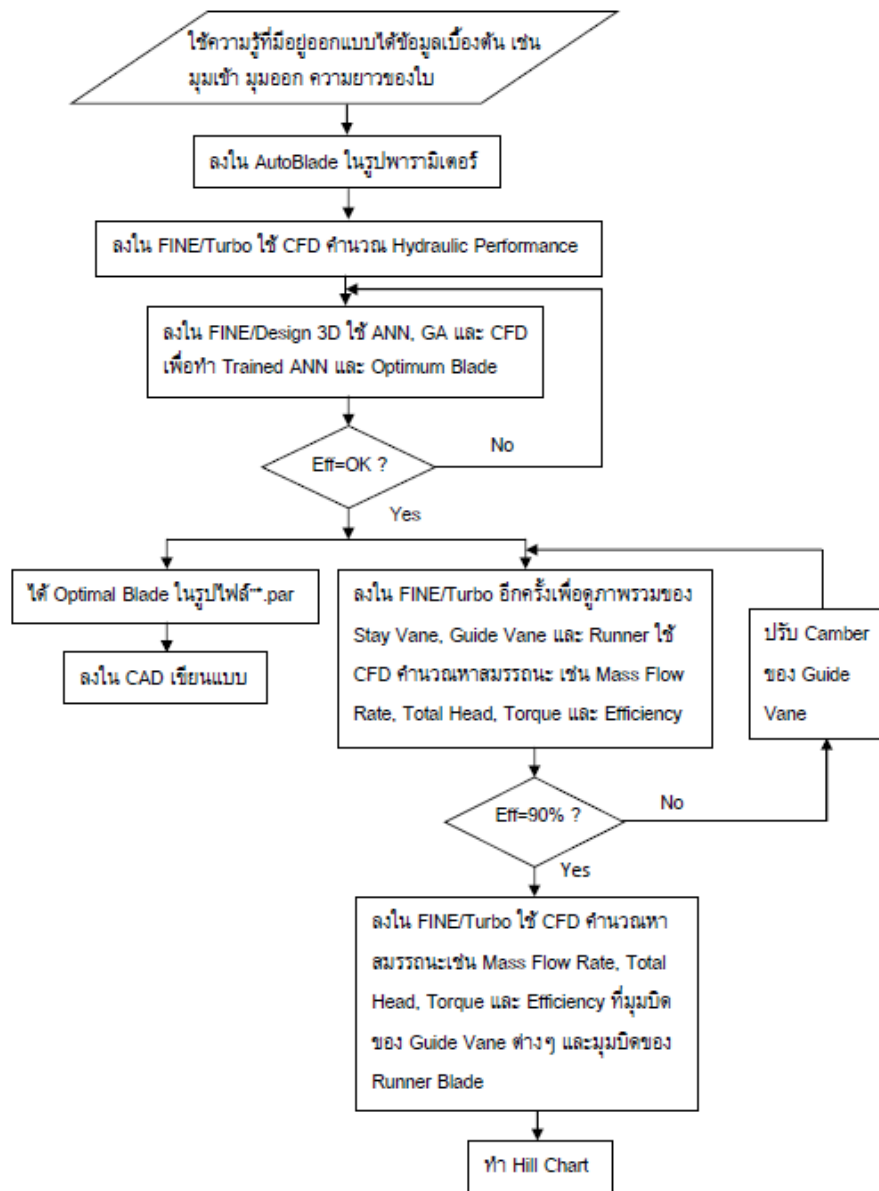
การออกแบบไฮดรอลิกเทอร์ไบน์ ในปัจจุบัน มีเป้าหมายเพื่อได้รูปร่าง Runner ที่ดีที่สุด ลดเวลาการออกแบบ ลดเวลาการสร้าง ต้องการเพิ่มสมรรถนะ และแก้ปัญหาการออกแบบที่ซับซ้อนโดยใช้ซอฟต์แวร์ [1]

ในกรณีการออกแบบทางด้านเครื่องจักรกลของไหล จะมีเงื่อนไขบังคับ และมีพารามิเตอร์หลายตัว นำไปสร้างฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ได้โดยแสดงค่าต่ำสุดหรือสูงสุด แต่เดิมจะใช้ Gradient Technique ในเทอมของ Convergence Rate แต่ไม่สามารถหา Global Optimization จึงหันมาใช้ Genetic Algorithm ทำให้สามารถหา Global Optimization แต่ข้อเสียจะต้องทำซ้ำหลายพันครั้ง เนื่องจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ ทำให้ปัญหาดังกล่าวนี้อาจลดลง ซึ่งการคำนวณดังกล่าวนี้อยู่ใน FINE/Design3D และใช้ ANN แทนการคำนวณด้วยวิธี CFD [2]

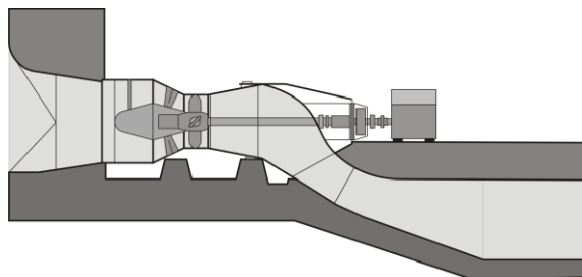
แกนหลักของระบบการออกแบบคือฐานข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์จากการคำนวณสมการ Navier - Stokes ระหว่างกระบวนการออกแบบที่ผ่านมาและกระบวนการออกแบบปัจจุบัน สำหรับแต่ละตัวอย่างฐานข้อมูลประกอบ ด้วย พารามิเตอร์ทางเรขาคณิต คุณสมบัติของของไหลและเงื่อนไขรอบๆ การไหล (Boundary Condition) หรือเป็นค่าอินพุต (ค่าที่ใส่เข้าไป) และได้เอาต์พุตหรือผลที่ออกมา เช่น ประสิทธิภาพ, มุมทางออก, Blade Loading และอื่นๆ ที่ขึ้นอยู่กับ Configuration

กระบวนการทำซ้ำๆ จะถูกนำมาใช้ในครั้งแรก คือกระบวนการเรียนรู้เพื่อสร้าง Neural Network บนพื้นฐานของตัวอย่างที่เก็บไว้ในฐานของข้อมูล กระบวนการเรียนรู้จะใช้วิธี Back-Propagation ของ Errors หลังจากผ่านขั้นตอนนี้แล้ว ANN สามารถทำนายสมรรถนะทางของไหลพลศาสตร์ของครีป Runner พร้อมพารามิเตอร์ ภายใต้เงื่อนไขที่ตั้งไว้ และไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาก่อน

ขั้นตอนต่อไป หากการออกแบบใหม่โดยใช้กระบวนการ Optimization จาก GA ประเมินสมรรถนะเชิงของไหลพลศาสตร์ โดยใช้ Trained Artificial Neural Network แทนการคำนวณ CFD การประเมินสมรรถนะของครีป Runner ผ่านฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งรวมเงื่อนไขต่างๆ เข้าไปจนได้เลขจำนวนเดียวแสดงการมากที่สุดหรือน้อยที่สุดและจะให้ผลที่ดีที่สุด พร้อมกับรูปทรงของครีป พร้อมกับส่งไปคำนวณใน CFD เก็บเป็นฐานข้อมูลต่อไป แล้วตรวจสอบความแม่นยำของ ANN งานเครื่องจักรกลของไหลจะใช้ ฟังก์ชันเป้าหมายเป็น เฮดหรือแรงบิด ใช้แรงบิดแทนประสิทธิภาพเพราะประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับแรงบิดโดยตรง ถ้าให้อัตราการไหลและเฮดคงที่ในการทำ Optimization แต่ละครั้ง [2] ระบบของกระบวนการ Optimization แสดงได้ในรูปที่ 1



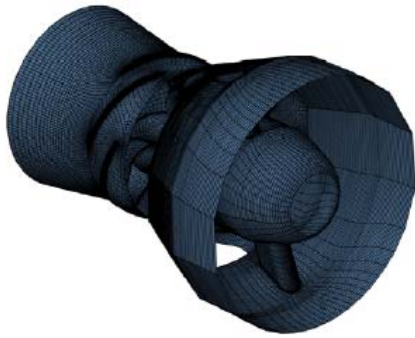
รูปที่ 1 Flow Chart ของการดำเนินงาน



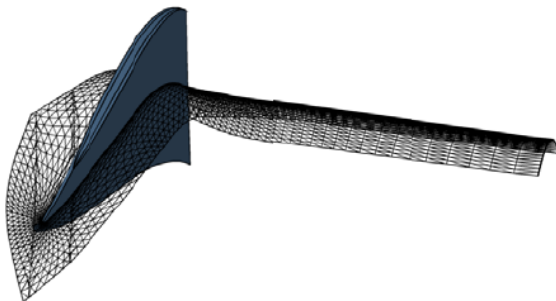
รูปที่ 2 รูปแบบของเทอร์ไบน์

การออกแบบการคำนวณ Guide Vane และ Runner เบื้องต้น

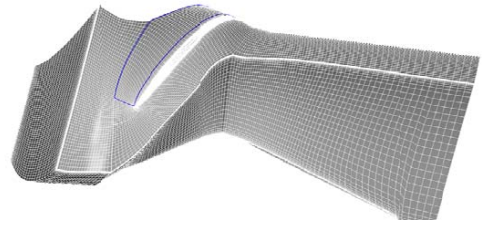
การออกแบบเบื้องต้นเทอร์ไบน์ประกอบด้วย Stay Vane เพื่อรับกับดุมจำนวน 2 ใบ Guide Vane จำนวน 12 ใบ และ Runner Blade จำนวน 5 ใบ ส่วน Meshes ทั้งหมด ถูกสร้างโดย AutoBlade และ Auto Grid 5 โดยแสดงในรูปที่ 3 การคำนวณ CFD เบื้องต้นเพื่อเสนอรูปร่าง Runner โดยมีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้ อัตราการไหล 2000 กิโลกรัมต่อวินาที swirl 36° ถูกกำหนดในการคำนวณ โดเมนของ Runner เป็น HOH Topology Mesh (รูปที่ 4) เนื่องจากช่องว่างของ Runner กับ Casing มีผลต่อสมรรถนะในส่วนนี้จำเป็นต้องสร้าง Mesh ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 รูปร่าง Stay Vane, Guide Vane, Diffuser และ Runner สำหรับการคำนวณเบื้องต้น

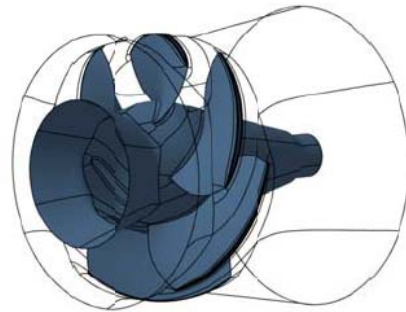


รูปที่ 4 รายละเอียดของ Mesh



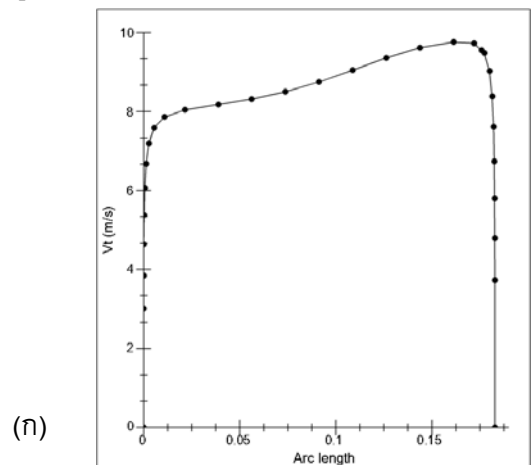
รูปที่ 5 Mesh ของช่องว่างของ Runner กับ Casing

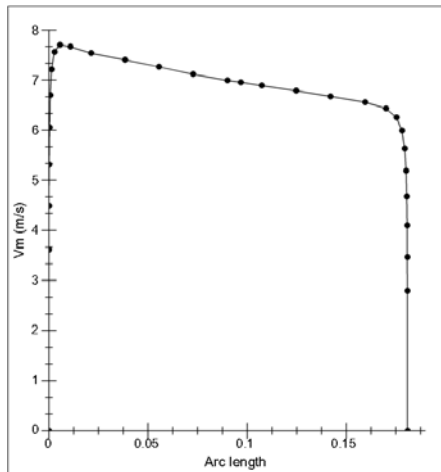
โดเมนของ Runner สำหรับการทำให้ Optimization ถูกกำหนดระหว่างหน้าตัดที่ใกล้กับทางออกของ Guide Vane ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 โดเมนของ Runner สำหรับกระบวนการ Optimization

กระบวนการที่ได้จาก CFD จะให้องค์ประกอบของความเร็วจริงประกอบด้วยความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน (V_m) และความเร็วในแนวเส้นรอบวง (V_t) ที่ทางเข้าของโดเมนของ Runner หรือทางออกของ Guide Vane (รูปที่ 7)



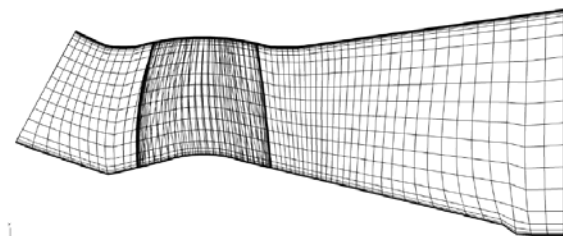


(ก)

รูปที่ 7 องค์ประกอบของความเร็ว V_t และ V_m ที่ทางออกของ Guide Vane

Runner Parameterization และ Blade สำหรับ Initialization

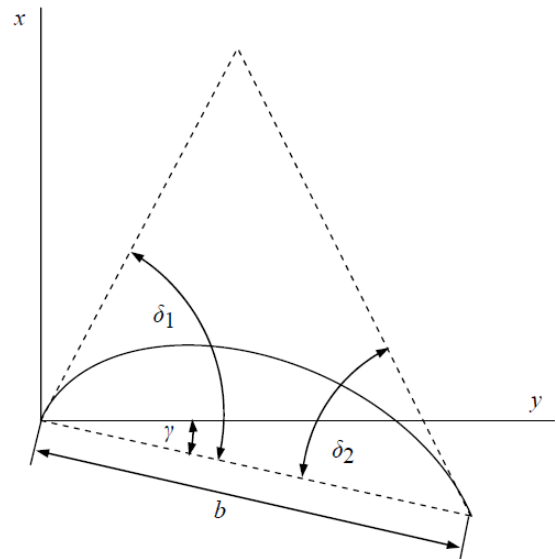
รูปร่างในแนวเมริเดียนของครีป Runner สำหรับกระบวนการ Optimization ดังแสดงในรูปที่ 8 ตำแหน่งในแนวเมริเดียนของ Leading และ Trailing Edge อยู่ในแนวระนาบ Z,R โดยใช้ Bezier Curve สำหรับเทอโรไบน์ในแนวแกนครีปของ Runner จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตาม Cylindrical Surface ซึ่งกำหนดโดย คือ Hub ใช้สัญลักษณ์ S1_ Shroud ใช้สัญลักษณ์ S3_ Mid Plane ใช้สัญลักษณ์ S2_



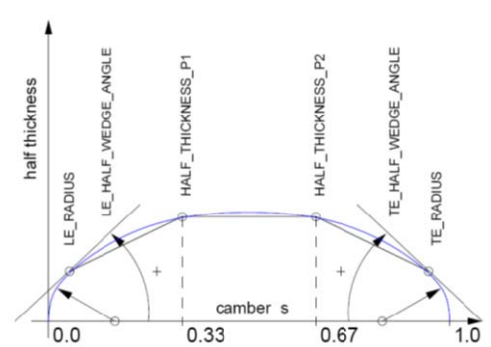
รูปที่ 8 Meridian Plane ของ Runner

Camber Line ของรูปร่างครีป Runner จะใช้ Bezier Curve ซึ่งกำหนดเป็น 3 มุมที่ขอบทางเข้า (Leading Edge) คือ $S1_{\delta_1}$, $S2_{\delta_1}$, $S3_{\delta_1}$ ที่ขอบทางออก

(Trailing Edge) คือ $S1_{\delta_2}$, $S2_{\delta_2}$, $S3_{\delta_2}$, และมุม stagger คือ $S1_{\gamma}$, $S2_{\gamma}$, $S3_{\gamma}$

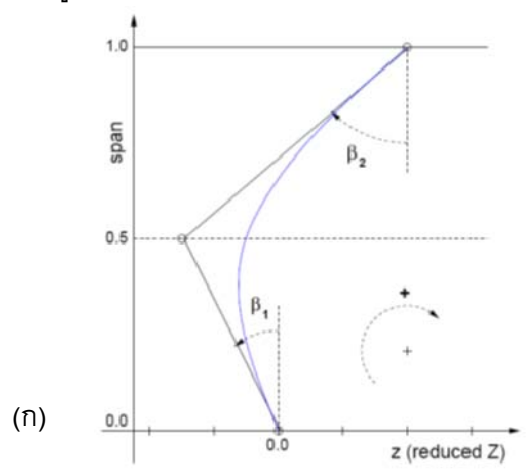


รูปที่ 9 คำจำกัดความ Blade Camber Line

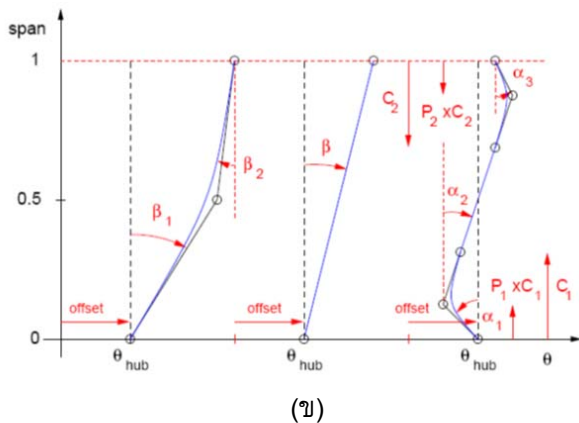


รูปที่ 10 คำจำกัดความ Blade Thickness

ความหนาของครีปที่สมมาตรจาก Leading ถึง Trailing Edge จะใช้ C-spline Curve ที่มี พารามิเตอร์ 6 ตัว ดังในรูปที่ 10



(ก)



รูปที่ 11 คำจำกัดความ 3D Stacking line

พารามิเตอร์ในการออกแบบ

พารามิเตอร์ในการออกแบบประกอบด้วยตัวแปร 16 ตัว โดยพิจารณาจากรูปที่ 8 และ 9

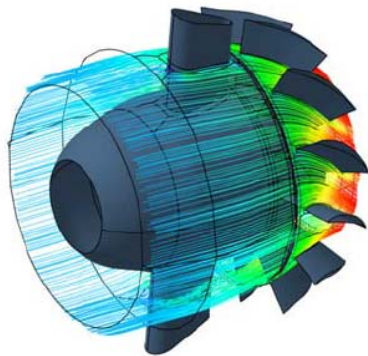
S1- ความยาวคอร์ด (b), S1- มุม γ , S1-มุม δ_1 , มุม δ_2

S2- ความยาวคอร์ด (b), S2- มุม γ , S2-มุม δ_1 , มุม δ_2

S3- ความยาวคอร์ด (b), S3- มุม γ , S3-มุม δ_1 , มุม δ_2

Sweep- β_1 , Sweep- β_2 แสดงในรูปที่ 11 (ก)

Lean - β_1 , Lean- β_2 แสดงในรูปที่ 11 (ข)



รูปที่ 12 ใช้ FINE/Turbo ช่วยออกแบบ
Guide Vane ได้ Pressure Drop = 0.58 m

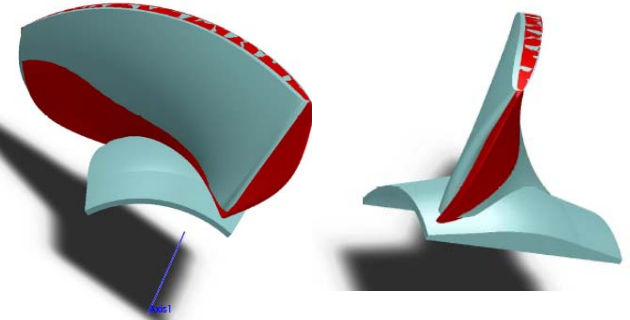
ฟังก์ชันเป้าหมาย

ฟังก์ชันเป้าหมาย เท่ากับผลรวม Penalty ของ Mass Flow Rate, Total Head Difference, Torque และ Efficiency เขียนเป็นสมการได้

$$\text{Objective Function} = W_1(P_{\text{MassFlowRate}})^2 + W_2(P_{\text{TotalPressureRise}})^2 + W_3(P_{\text{Efficiency}})^2 + W_4(P_{\text{Torque}})^2$$

W_i = Weighted Penalties

P_i = Penalties



รูปที่ 13 แสดงครีป 3 มิติก่อนทำ (สีเทา) และหลังทำ Optimization (สีแดง)

การหา Hill Chart

ในการใช้ FINE/Turbo หา Hill Chart ซึ่งประกอบด้วย อัตราการไหลมวล, เหนือรวม, ประสิทธิภาพที่มุมบิดของ Guide Vane ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 14

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในการออกแบบสร้างและทดสอบไฮดรอลิกเทอร์ไบน์

สรุป

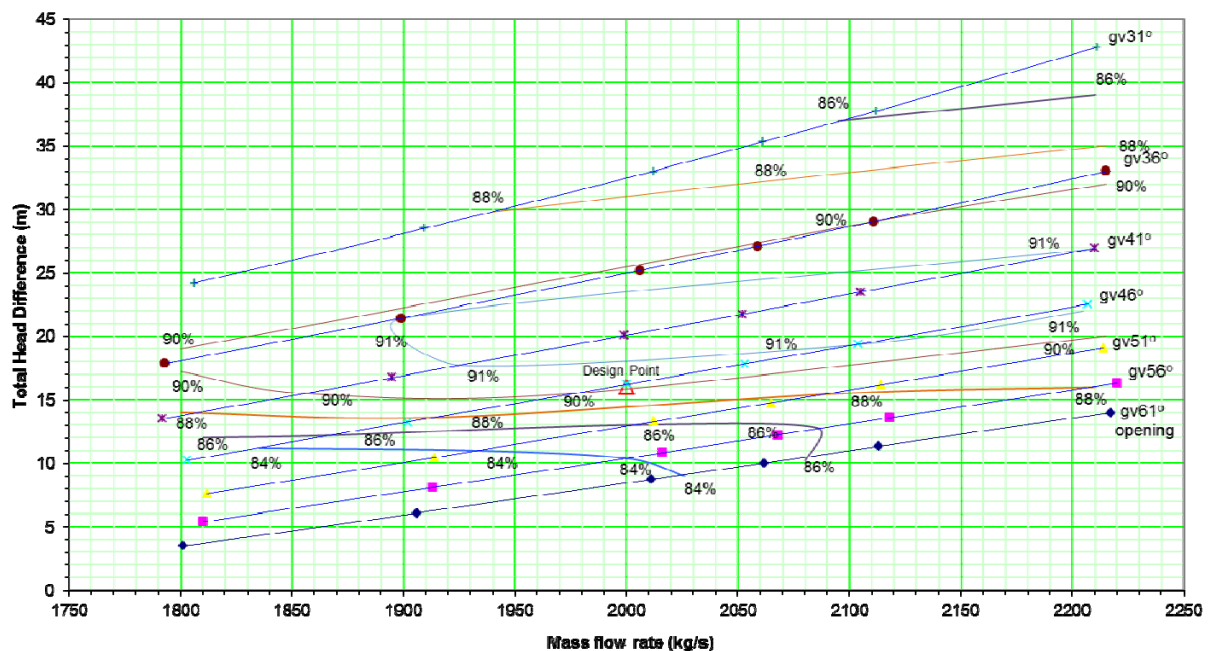
การปรับปรุงประสิทธิภาพของไฮดรอลิกเทอร์ไบน์ ได้จากการใช้เทคนิคการออกแบบที่ดีที่สุดเพื่อออกแบบ Runner จากกระบวนการโดยใช้ Artificial Neural Network (ANN) และ Genetic Algorithm สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของ Runner จากการออกแบบที่ใช้ฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิมเป็น 91.8 เปอร์เซ็นต์หลังจากนั้นนำ Optimized Runner มาประกอบเข้ากับ Stay Vane, Guide Vane และ Diffuser ทำการคำนวณ ด้วยวิธี CFD ได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 90.4 เปอร์เซ็นต์ และ Hill Chart

เพื่อแสดงประสิทธิภาพที่ตำแหน่งของการเปิด Guide
Vane ที่มุมต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yang, Li., Hua, O. and Zhao-Hui, D. (2007). Optimization Design and Experimental Study of Low-Pressure Axial Fan with Forward-Skewed Blades, *International Journal of Rotating Machinery* Vol. 2007.
- [2] Kueny J.L (2004). Optimal Design of a Small Hydraulic Turbine, *22nd IAHR Symposium on hydraulic machinery and systems*, June 29-July 2, Stockholm, Sweden.
- [3] Demeulenaere A., Hirsch, C. (2005). Design and Optimization Pump: Application of Genetic Algorithms and Neural Network, *ASME Fluids Engineering Summer Conference*, June 19-23, Houston, Texas.
- [4] Numeca Corporation., Numeca 8.9.3, User Manual, Belgium, 2012.

Total Head, Efficiency VS Mass flow rate



รูปที่ 14 Hill Chart