

ธงชัย คชวรงค์ : การออกแบบและวิเคราะห์เทสลาเทอร์ไบน์สำหรับโรงไฟฟ้าวัฏจักรโออาร์ซี
เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสุทธิสูงสุด (DESIGN AND ANALYSIS OF A TESLA TURBINE FOR
AN ORGANIC RANKINE CYCLE POWER PLANT BASED ON THE MAXIMIZATION OF
NET POWER OUTPUT)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข, 226 หน้า.

คำสำคัญ: โรงไฟฟ้าแรงดันอินทรีย์/ เทสลาเทอร์ไบน์/ การเลือกสารทำงาน/ การประเมิน
เศรษฐศาสตร์และเอกเซอร์ยี/ การนำพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำกลับมาใช้งาน

โรงไฟฟ้าวัฏจักรโออาร์ซี (Organic Rankine Cycle: ORC) เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนทิ้ง โดยมีเทอร์ไบน์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการดึงพลังงานจากสารทำงานมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เทอร์ไบน์ทั่วไปมีต้นทุนสูง งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการประยุกต์ใช้เทสลาเทอร์ไบน์ ซึ่งมีโครงสร้างที่เรียบง่าย ราคาถูกกว่า และยังสามารถทำงานได้เทียบเท่ากับเทอร์ไบน์แบบทั่วไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมายในการออกแบบขนาดและเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของเทสลาเทอร์ไบน์ภายในโรงไฟฟ้าวัฏจักรโออาร์ซี เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสุทธิสูงสุด โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขที่พัฒนาด้วยโปรแกรม MATLAB และ NIST REFPROP ภายใต้แหล่งความร้อนอุณหภูมิ 120 °C และแหล่งทิ้งความร้อนที่ 30 °C แบบจำลองได้รับการตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของแบบจำลองอยู่ที่ 15% และของเทสลาเทอร์ไบน์อยู่ที่ 10% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จาก การวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพและกำลังของเทสลาเทอร์ไบน์ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์ อัตราส่วนความดันและความเร็วรอบ ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมเฉพาะที่ให้ประสิทธิภาพและกำลังจากเทอร์ไบน์สูงที่สุด นอกจากนี้ การศึกษาผลของคุณภาพไอของสารทำงานก่อนเข้าเทสลาเทอร์ไบน์พบว่า เมื่อคุณภาพไอดำเทอร์ไบน์สามารถผลิตกำลังได้มากกว่าคุณภาพไอสุง โดยมีประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกในช่วง 70.1% ถึง 74.8% ขึ้นอยู่กับความเป็นไอของสารทำงาน และให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อสารทำงานอยู่ในภาวะไออิ่มตัว อีกทั้ง เมื่อ $Re_m / \dot{m}_c$ มีค่ามากส่งผลให้ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเทสลาเทอร์ไบน์มีค่าสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเทสลาเทอร์ไบน์ที่สูงสุดไม่ได้หมายความว่าโรงไฟฟ้าวัฏจักรให้กำลังสุทธิสูงสุด เมื่อใช้สารทำงานที่เป็นของเหลวอิ่มตัว (ระบบวัฏจักรที่แอลซี) ให้กำลังไฟฟ้าสุทธิสูงสุด 12.91 kW พร้อมกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุด โดยมี LCOE เท่ากับ 64 €/MWh (2.24 บาท/kWh) NPV เท่ากับ 61,000 € (2.14 ล้านบาท) d-PbP เท่ากับ 8.29 ปี และ IRR เท่ากับ 13.9% ภายใต้เงินลงทุนเริ่มต้น 71,000 € (2.45 ล้านบาท) ในกรณีที่ต้องการเลือกสารทำงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อทดแทน R245fa พบว่า สารผสม

R1336mzz(Z)/R1234ze(E) ที่อัตราส่วนโดยมวล 0.25/0.75 เป็นทางเลือกที่ดี โดยมี GWP ~ 0 และให้ LCOE เท่ากับ 62.26 €/MWh (2.18 บาท/kWh) NPV เท่ากับ 54,000 € (1.89 ล้านบาท) PbP เท่ากับ 9.4 ปี และ IRR เท่ากับ 11.9% ที่เงินลงทุนเริ่มต้น 82,010 € (2.87 ล้านบาท) นอกจากนี้ ในการศึกษาเชิงเปรียบเทียบเมื่อใช้เทสลาเทอร์ไบน์กับโรงไฟฟ้าวัฏจักรที่แตกต่างกัน พบว่า การใช้เทสลาเทอร์ไบน์สามารถลดความซับซ้อนของระบบวัฏจักรคาลินาได้ถึง 30% และโรงไฟฟ้าวัฏจักรที่แอลซีที่ใช้สารผสม R1336mzz(Z)/R1234ze(E) ที่อัตราส่วนมวล 0.25/0.75 ยังเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดและให้กำลังสุทธิสูงสุด โดยความดันที่คอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์เท่ากับ 0.69 MPa และ 2.67 MPa ที่อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงานเท่ากับ 3.33 kg/s โดยขนาดที่เหมาะสมของเทสลาเทอร์ไบน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในของโรเตอร์เท่ากับ 400 mm และ 65.5 mm รวมถึงระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์เท่ากับ 1 mm โดยต้องมีความเร็วรอบของโรเตอร์ของเทสลาเทอร์ไบน์เท่ากับ 4,500 RPM และอัตราส่วนความดันเท่ากับ 0.75 โดยเทสลาเทอร์ไบน์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 74% นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้เทสลาเทอร์ไบน์กับระบบ ORC ภายใต้สภาวะไอน้ำเข้าเทอร์ไบน์ที่หลากหลาย พร้อมข้อเสนอแนะในการออกแบบและเลือกสารทำงานให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานพลังงานหมุนเวียน



THONGCHAI KACHAWONG: DESIGN AND ANALYSIS OF A TESLA TURBINE FOR AN ORGANIC RANKINE CYCLE POWER PLANT BASED ON THE MAXIMIZATION OF NET POWER OUTPUT.

THESIS AVISOR: ASST.PROF. ATIT KOONSRIK, Ph.D., 226 PP.

Keyword: ORGANIC RANKINE CYCLE, TESLA TURBINE, WORKING FLUID SELECTION, EXERGY AND ECONOMIC ANALYSIS, AND LOW-TEMPERATURE WASTE HEAT RECOVERY

The Organic Rankine Cycle (ORC) power plant is a widely adopted technology for electricity generation from waste heat sources, with the turbine being a critical component that converts the working fluid's energy into electrical power. However, conventional turbines are expensive. This study aims to investigate the application of the Tesla turbine, which features a simpler structure, lower cost, and comparable performance to traditional turbines. The objective of this thesis is to design the optimal size and operating conditions of a Tesla turbine within an ORC system to maximize net power output. A numerical model was developed using MATLAB and NIST REFPROP, based on a heat source at 120 °C and a heat sink at 30 °C. The model was validated against data from the literature, showing a maximum deviation of 15% for the ORC model and 10% for the Tesla turbine, which are within acceptable limits. The analysis revealed that key parameters influencing the performance and power output of the Tesla turbine include the disk spacing, pressure ratio, and rotational speed, each having an optimal value that yields the highest performance. Furthermore, the study of the effect of the turbine inlet steam quality showed that lower steam quality leads to higher power output, with isentropic efficiency ranging from 70.1% to 74.8%. The highest efficiency was achieved when the working fluid was in a saturated vapor state. In addition, the high valve yield high tesla turbine isentropic efficiency. However, the highest turbine efficiency does not necessarily correspond to the highest net power output of the power plant. The study found that the system using saturated liquid as the working fluid before entering the turbine (TLC system) achieved the highest net power output of 12.91 kW and the best economic performance, with a Levelized Cost

of Electricity (LCOE) of 64 €/MWh (2.24 THB/kWh), Net Present Value (NPV) of 61×10^3 € (2.14 million THB), Payback Period (d-PbP) of 8.29 years, and Internal Rate of Return (IRR) of 13.9%, based on an initial investment of 71×10^3 € (2.45 million THB). For environmentally friendly alternatives to R245fa, the R1336mzz(Z)/R1234ze(E) zeotropic mixture with a mass ratio of 0.25/0.75 was identified as a promising option. It offers a low Global Warming Potential (GWP $\approx$ 0) and delivers an LCOE of 62.26 €/MWh (2.18 THB/kWh), NPV of 54×10^3 € (1.89 million THB), PbP of 9.4 years, and IRR of 11.9%, with an initial investment of 82.01×10^3 € (2.87 million THB). Moreover, the comparison with various cycles indicates that using a Tesla turbine can reduce the complexity of the Kalina cycle system by up to 30%. The TLC system using the R1336mzz(Z)/R1234ze(E) mixture at a 0.25/0.75 mass ratio is also found to be the most economically viable and provide maximum net power option with The condenser and evaporator pressures are 0.69 MPa and 2.67 MPa, respectively, with a working fluid mass flow rate of 3.33 kg/s. The optimal Tesla turbine has an outer and inner rotor diameter of 400 mm and 65.5 mm, respectively, and a disk spacing of 1 mm. The rotor speed of the Tesla turbine must be 4,500 RPM, with a pressure ratio of 0.75. The Tesla turbine achieves an efficiency of 74%. Therefore, this thesis proposes a practical approach for integrating Tesla turbines into ORC systems under various turbine inlet steam qualities, along with design and working fluid selection guidelines to enhance efficiency and economic viability of renewable energy power plants.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2024

Student's Signature Thanychai Kachawong

Advisor' Signature Atta K.