การจำลองการไหล การถ่ายเทความร้อน และความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ บนใบพัดกังหันก๊าซ ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Simulation of Flow, Heat Transfer and Thermal Stress on a Gas Turbine Blade using CFD

จตุพล แย้มสกุล[1], วิริยะ บริสุทธิ์[1], พงษกร ถาวรสถิตย์[1], Abdul Ahad Narejo[2],
วรางค์รัตน์ จันทสาโร[1]* และ เอกชัย จันทสาโร[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร 10900
fengvrj@ku.ac.th
[2]Department of Mechanical and Process Engineering, The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS),
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), 1518 Pracharat 1 Rd., Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

บทคัดย่อ

งานวางแผนสำหรับการซ่อมบำรุงใบพัดกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยนั้น ยังต้องซ่อมบำรุงโดยพึ่งข้อมูลตามคำแนะนำจากผู้ผลิตเป็นหลักเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจึงมีนโยบายให้ศึกษาและสร้างแบบจำลองการไหล เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันก๊าซ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ANSYS FLUENT ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) และใช้เทคนิคการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อน และใบพัดกังหันก๊าซ หรือที่เรียกว่าเทคนิค Conjugate Heat Transfer สำหรับทำนายค่าความเค้นทางความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวใบพัดกังหันก๊าซ ซึ่งเป็นข้อสังเกตแรกที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ใบพัดกังหันก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ อุณหภูมิ และความดัน ที่สภาวะการทำงานจริงของใบพัด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจะนำไปเปรียบเทียบกับผลการประเมินความเสียหายจริงจากโรงไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการนำข้อมูลวิเคราะห์เบื้องต้นนี้ไปประเมินหาอายุการใช้งาน วางแผนการซ่อมบำรุง และพัฒนางานวิจัยที่สอดคล้องกับใบพัดกังหันก๊าซในอนาคตต่อไป

คำหลัก: ใบพัดกังหันก๊าซ, การถ่ายเทความร้อน, ความเค้นทางความร้อน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

Nowadays, the planning for the maintenance of gas turbine blades in power plants in Thailand still relies mainly on the recommendations from manufacturers only. Therefore, the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) gives rise to a policy to study and make the flow simulation in order to analyze the gas turbine blade failures. The Computational Fluid Dynamics (CFD) software ANSYS FLUENT is used in conjunction with the technique of conjugate heat transfer to simulate the heat transfer between the hot gas and the blade. The thermal stress on the surface of a gas turbine

blade can be predicted which is the first indicator for the failure at critical locations on the gas turbine blade as shown in Figure 9. The important data that are used for the analysis are temperature and pressure at actual operating conditions. The results from the simulation are compared with the actual failure data from the power plant. The simulation data from this work is beneficial for the blade life assessment, maintenance planning and research development in accordance with gas turbine blades in the future.

Keywords: Gas Turbine Blade, Heat Transfer, Thermal Stress, Computational Fluid Dynamics

1. บทนำ

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องใบพัดกังหันก๊าซ จะต้องทำให้อากาศร้อนภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อถ่ายทอดพลังงานความร้อนให้กับใบพัดกังหันก๊าซให้เปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกล และเปลี่ยนจากพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ ซึ่งผลที่เกิดจากการใช้งานใบพัดกังหันก๊าซตามระยะเวลา ประมาณ 30,000 ถึง 40,000 ชั่วโมงทำงาน จะทำให้เกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณใบพัดกังหันก๊าซ ทำให้ทางโรงไฟฟ้าต้องจัดเตรียมซ่อมแซมหรือถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ตามเงื่อนไขของผู้ผลิต

จากการประเมินความเสียหายเบื้องต้น เป็นแรงผลักดันให้หน่วยงานของรัฐหรือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีนโยบายในการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสียหายเบื้องต้น เพื่อนำไปสู่การหาจุดวิกฤติที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับผิวใบพัดกังหันก๊าซที่เกิดจากความเค้นทางความร้อนที่เกิดบริเวณผิวใบ เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จริงไม่สามารถติดเครื่องมือที่สามารถตรวจสอบความร้อนบริเวณผิวใบพัดกังหันก๊าซโดยตรง ทางผู้วิจัยจึงเสนอการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยนำโปรแกรม ANSYS FLUENT มาทำการวิเคราะห์และทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบความเสียหายจากการสร้างแบบจำลองกับข้อมูลจริงจากทางโรงงานไฟฟ้า

ในเบื้องต้นได้ใช้พื้นฐานข้อมูลจากการสร้าง CAD ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคโนโลยีทางวิศวกรรมย้อนรอย [1] เพื่อความสะดวก และประหยัดเวลาสำหรับการสร้างแบบจำลองใบพัดกังหันก๊าซ เนื่องจากข้อมูลรายละเอียดของ ขนาด รูปร่าง และการวิเคราะห์การออกแบบใบพัดเป็นความลับทางการค้าของผู้ผลิต

เพื่อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของใบพัดกังหันก๊าซให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ที่ให้ความร้อนที่สูงขึ้นภายในห้องเผาไหม้ จึงเกิดปัญหาในข้อจำกัดทางวัสดุสำหรับใบพัดกังหันก๊าซ ทำให้เกิดวิธีป้องกันความเสียหายให้กับใบพัดกังหันก๊าซด้วยวิธีเคลือบผิววัสดุให้สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ [2] ต่อมาได้มีการเพิ่มความสามารถในการลดความร้อนของใบพัดกังหันก๊าซลงด้วยเทคนิคการระบายความร้อนในหลายรูปแบบ เช่น การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection Cooling), การระบายความร้อนแบบฉีดกระทบ (Impingement Cooling) [3] , การระบายความร้อนแบบ Film Cooling [4] , การระบายความร้อนแบบ Pin Fin Cooling [5] , และเทคนิคระบายความร้อนโดยอาศัย Rib Turbulated Cooling [6] เข้ามาช่วยในการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

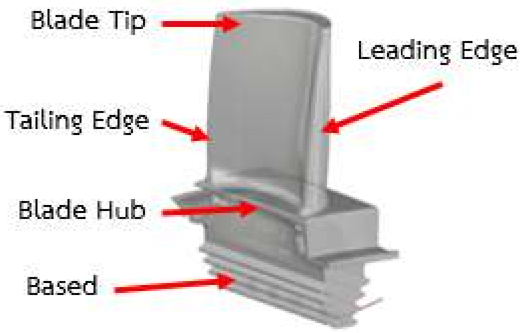
เพื่อให้เกิดความเชื่อถือและเป็นแนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อน ทางผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองโดยการจำลองการถ่ายเทความร้อนที่มีการไหลภายนอกกับใบพัดกังหันก๊าซ [7] สำหรับวิเคราะห์หาค่าความเค้นทางความร้อนในเบื้องต้นและหาลักษณะทางกายภาพที่

เกิดขึ้น เมื่อใบพัดกังหันก๊าซอยู่ในสภาวะที่รับโหลดทางความร้อน พร้อมกับเปรียบเทียบข้อมูลความเสียหายกับข้อมูลจริงจากทางโรงไฟฟ้า และข้อมูลจากหน่วยงานวิจัยโรงไฟฟ้า EPRI [8] เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับวางแผนงานซ่อมบำรุงใบพัดกังหันก๊าซต่อไป

2. วิศวกรรมย้อนกลับ

2.1 การถอดแบบชิ้นงาน

การสร้างแบบจำลองขึ้นมานั้น ทางผู้วิจัยทำการถอดแบบชิ้นงานจากชิ้นงานจริงจากทางโรงไฟฟ้า ด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนกลับ (3D Scan) ด้วยเครื่อง 3D Scan FAROARM ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อเป็นต้นแบบในการขึ้นรูปชิ้นงานใบพัดกังหันก๊าซ สำหรับสร้าง Computational Domain ในการวิเคราะห์การไหลภายนอกของใบพัดกังหันก๊าซ โดยไฟล์ที่ได้รับจากการสแกนผิวภายนอกจากเครื่องจะเป็นสกุลไฟล์ .STL หรือ Ploy Mesh ที่ยังไม่ใช่พื้นผิวหรือปริมาตร



รูปที่ 1 CAD ที่ได้จากงาน 3D Scan

เมื่อได้รับภาพสแกน 3 มิติจาก 3D scan ไฟล์ CAD ที่ได้รับไม่สามารถนำไปใช้สร้างกริด (Meshing) โดยตรงสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทาง CFD ได้จึงต้องทำการแปลงสกุลไฟล์ .STL จาก 3D Scan ให้เป็นสกุล .IGES เพื่อสร้างขอบเขตการคำนวณ (Computational Domain) และใบพัดกังหันก๊าซ จากโปรแกรม RHINOCEROS 5 ซึ่งการสร้างแบบจำลองให้มีความเที่ยงตรงตามขนาดของใบพัดขนาดจริงนั้นอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนจากตัวโปรแกรมและผู้สร้าง CAD ขึ้นมาเอง จึงต้องทำการวัดขนาดใบพัดกังหันก๊าซจริง เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนหลังจากสร้าง CAD ใบพัดกังหันก๊าซเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

การสร้างแบบจำลองเพื่อหาความเค้นทางความร้อนของใบพัดกังหันก๊าซด้วยเทคนิค Conjugate Heat Transfer [9] สำหรับโปรแกรม ANSYS CFD ที่ใช้สมการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน

$$q_i = -k_{ij}\frac{\partial T}{\partial x_j} \qquad (1)$$

กำหนดให้

q_i คือ Heat Flux Vector [W/m^2]

k_{ij} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน [W/(m•K)]

∂T คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ [K]

∂x_j คือ ผลต่างของระยะห่างระหว่างจุดถ่ายเทความร้อน [m]

และการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน

$$q = h_f(T_w - T_f) \qquad (2)$$

กำหนดให้

q คือ Heat Flux [W/m^2]

h_f คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับของไหล [W/(m^2 K)]

T_w คือ อุณหภูมิพื้นผิวของผนังวัตถุ [K]

T_f คือ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของของไหล [K]

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองการไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหล ในงานวิจัยนี้การตั้งค่า

เริ่มต้นสำหรับการสร้างแบบจำลองและกำหนดลักษณะทางกายภาพให้สอดคล้องกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- Density Based Solver
- Steady State
- Compressible Flow
- Turbulent Flow
- Ideal Gas

เริ่มต้นจากการจำลองหาผลเฉลยแบบ Laminar Flow หรือการไหลแบบราบเรียบ เพื่อให้มีความเสถียรในการลู่เข้าของผลเฉลยจากการจำลองการไหล เมื่อผลเฉลยลู่เข้าเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ตั้งค่า Model จากการไหลราบเรียบให้เป็นแบบการไหลแบบปั่นป่วน (Shear Stress Transport) SST k-ω Turbulence Model [10] เหมาะสำหรับการคำนวณหาผลเฉลยของการปั่นป่วนที่ใกล้กับชั้นชิดผิวของวัตถุ โดยแก้สมการพื้นฐานความต่อเนื่อง (Continuity) หรือกฎทรงมวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \qquad (3)$$

และพื้นฐานสมการ Momentum เพื่อหาทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดดังสมการ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i}$$

$$+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\frac{\partial u_l}{\partial x_l}\right)\right]$$

$$+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\overline{u_i' u_j'}\right) \qquad (4)$$

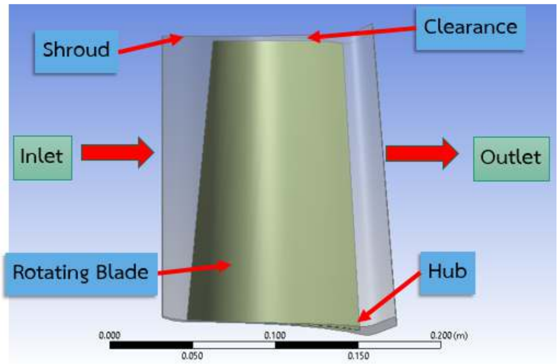
โดย SST k-ω Turbulence Model เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาค่า Turbulent Viscosity จากการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ 2 สมการคือ k (Turbulence Kinetic Energy) และ ω (Dissipation Rate) เมื่อแก้สมการหา k-ω ได้แล้วจะนำค่าตัวแปร Turbulence Viscosity แทนค่ากลับในเทอมของ Reynolds Stress $(-\rho\overline{u_i' u_j'})$ จากสมการ (4)

ข้อได้เปรียบของ SST k-ω Turbulence Model คือสามารถคำนวณการถ่ายเทความร้อนบริเวณใกล้ชั้นชิดผิวของใบพัดกังหันก๊าซได้ดี พร้อมกับจำลองการไหลที่ห่างจากชั้นชิดผิวได้ดี (Free Stream) และยังเป็นที่ยอมรับมากในทางอุตสาหกรรม

ในส่วนของวัสดุที่ตั้งค่าให้กับอากาศร้อน จะให้อากาศเป็นแบบ Ideal Gas และวัสดุสำหรับใบพัดกังหันก๊าซเป็นโลหะผสมนิกเกิลพิเศษมาตรฐาน MGA1400 ขึ้นรูปโดยการหล่อแบบให้แข็งตัวในทิศทางเดียว (Directional Solidification; DS) ซึ่งข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลจากผู้ผลิตสำหรับกำหนดค่าเริ่มต้นของวัสดุ

3.1 ขอบเขตการคำนวณ และเงื่อนไขขอบเขต

ขอบเขตการคำนวณ (Computational Domain) คือส่วนสำคัญที่เป็นตัวกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ CFD หรือบริเวณที่เป็นก๊าซร้อนที่ไหลผ่านใบพัดกังหันก๊าซในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นทางความร้อนที่ผิวใบพัดกังหันก๊าซด้วยเทคนิค Conjugate Heat Transfer (CHT) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Computational Domain และใบพัดกังหันก๊าซ

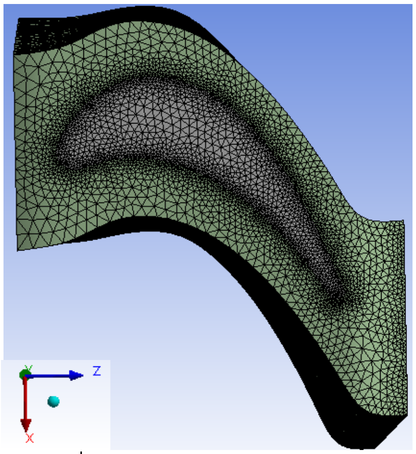
ผู้วิจัยได้กำหนดให้ส่วนที่เป็น Computational Domain เป็นส่วนที่มีการหมุน ไปพร้อมกันกับใบพัดกังหันก๊าซที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ให้อุณหภูมิ

ทางเข้าของอากาศร้อนที่ 1500 K ที่ความดัน 190 Psi และกำหนดความดันทางออกของ Computational ที่ 133 Psi กำหนดความดัน Operating Pressure ที่ 133 Psi เพื่อเป็นเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นสำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

สำหรับงานการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม CFD ทางผู้วิจัยจะใช้หลักการสร้าง Periodic Boundary Condition ขึ้นมาเนื่องจากพฤติกรรมการไหลของ Computational Domain ของใบพัดกังหันก๊าซที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีจำนวนใบพัดกังหันก๊าซทั้งหมด 97 ใบ จะมีลักษณะที่เหมือนกันทุกประการ จึงเป็นข้อได้เปรียบในการลดระยะเวลาในการคำนวณของโปรแกรม CFD ได้

3.2 การสร้างกริด

การสร้างกริด (Meshing) ด้วยโปรแกรม ANSYS MESHING ดังแสดงในรูปที่ 3 ทางผู้วิจัยได้พิจารณา Computational Domain ในส่วนที่เป็นก๊าซร้อน และใบพัดกังหันก๊าซในส่วนที่เป็นของแข็งร่วมกันเป็นชิ้นงานเดียว เพื่อลดปัญหาสำหรับการทับซ้อนของผิวชิ้นงานที่สัมผัสกัน (Interface Connection) ระหว่างใบพัดกังหันก๊าซกับก๊าซร้อนที่อยู่ภายใน Computational Domain ด้วยเทคนิค 1 Part Multi Bodies ก่อนทำการ Meshing



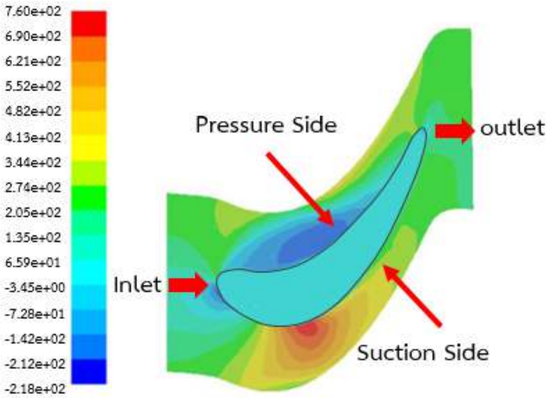
รูปที่ 3 กริดที่ใช้สำหรับพิจารณาขอบเขตการคำนวณ

สำหรับการวิจัยเบื้องต้นนี้ได้ใช้จำนวน Element ในการสร้างกริด ทั้งหมด 3,121,340 Elements และ 948,773 Nodes ในการสร้างกริด (Meshing) สำหรับ Computational Domain และใบพัดกังหันก๊าซ กำหนดให้ y^+ ที่วิเคราะห์การไหลใกล้ชั้นชิดผิวให้มีค่าที่น้อยกว่าหรือใกล้ 1 ซึ่งค่าจากการคำนวณที่ทำให้เกิด y^+ เข้าใกล้ 1 ได้ค่าคำนวณ First Layer Thickness ที่ชั้นชิดผิวใบพัดกังหันก๊าซมีค่าเท่ากับ .0026 มิลลิเมตรเพื่อให้การทำนายการไหลอุณหภูมิ และความดันบริเวณผิวใบพัดกังหันก๊าซมีค่าที่แม่นยำขึ้น

4. ผลการทดลอง

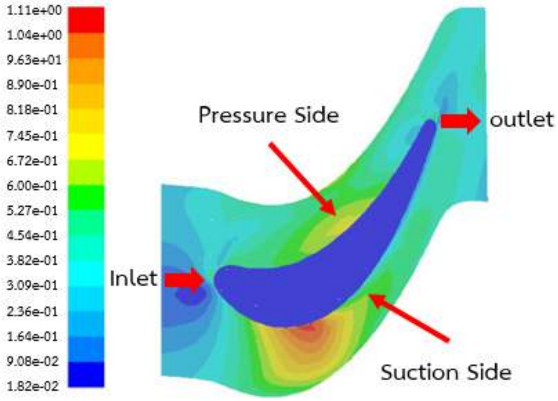
4.1 ลักษณะทางกายภาพบริเวณใบพัดกังหันก๊าซ

สำหรับผลเฉลยที่ได้จากการจำลองการไหลภายนอกของใบพัดกังหันก๊าซด้วยเทคนิค Conjugate Heat Transfer เมื่อผลเฉลยลู่เข้าหาคำตอบ จากการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าความเร็วของใบพัดกังหันก๊าซเป็นไปตามลักษณะทางกายภายที่ถูกต้อง คือบริเวณที่เป็นฝั่ง Pressure Side ของใบพัดกังหันก๊าซจะมีความเร็วที่ต่ำและทำให้ความดันสูงขึ้น ทำให้เกิดการผลักหมุนของใบพัดรอบแกนเพลาและเป็นทิศทางการหมุนที่สอดคล้องกับใบพัดกังหันก๊าซจริง



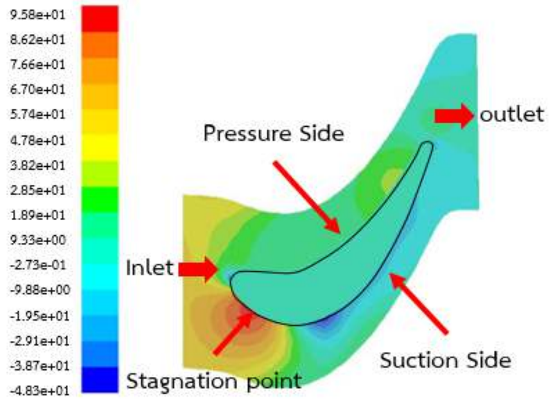
รูปที่ 4 Contour ความเร็วตามแนวแกนเพลาที่กึ่งกลางความสูงสำหรับใบพัดกังหันก๊าซ

ความเร็ว Mach Number ดังแสดงในรูปที่ 5 ถือว่าอยู่ในช่วงของ Subsonic หรือมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการออกแบบของผู้ผลิต ทำให้มีความน่าเชื่อถือสำหรับการตั้งค่า Model เริ่มต้นสำหรับงานวิจัยนี้



รูปที่ 5 Contour ความเร็ว Mach Number ที่กึ่งกลางความสูงสำหรับใบพัดกังหันก๊าซ

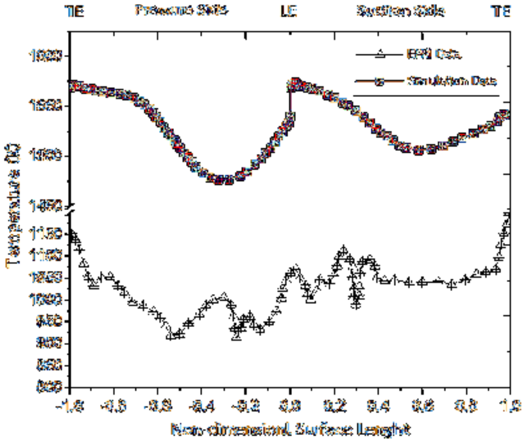
ความดันที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันก๊าซเป็นไปตามหลักทฤษฎีพลศาสตร์ของไหล ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 Pressure Contour ที่กึ่งกลางความสูงสำหรับใบพัดกังหันก๊าซ

คือความดันจะเกิดสูงบริเวณฝั่ง Pressure side เพื่อผลักใบพัดให้เคลื่อนที่และทำให้เพลากังหันก๊าซหมุน แต่ข้อสังเกตที่เกิดขึ้นคือ บริเวณ Leading Edge ฝั่ง Suction Side เกิดจุดหยุดนิ่งหรือ Stagnation Point ซึ่งตามหลักความเป็นจริงแล้ว ใบพัดกังหันก๊าซที่สมบูรณ์แบบจะต้องเกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าของ Leading Edge ซึ่งเป็นข้อสังเกตที่การออกแบบใบพัดกังหันก๊าซจริงต้องเพิ่ม Stationary Blade เพื่อบังคับทิศทางการไหลก๊าซร้อนให้เกิด Stagnation Point บริเวณด้านหน้าของ Leading Edge

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลกราฟอุณหภูมิระหว่างการสร้างแบบจำลองกับข้อมูลของ EPRI ดังแสดงในรูปที่ 7

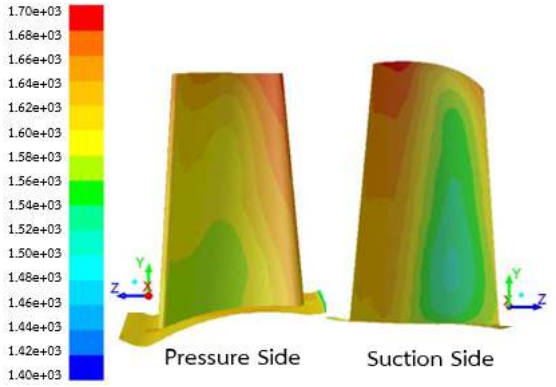


รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิที่ความสูง 50 เปอร์เซ็นต์ของใบพัดระหว่างแบบจำลองที่สร้างกับ EPRI

จะพบว่าลักษณะของการรับความร้อนทางฝั่ง Suction Side จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า Pressure Side ที่บริเวณกลางใบพัดกังหันก๊าซซึ่งเป็นไปตามลักษณะทางกายภาพที่ถูกต้องแล้ว สำหรับข้อสังเกตจะพบว่าอุณหภูมิข้อมูลของ EPRI นั้นจะมีค่าต่ำกว่าแบบจำลอง เป็นเหตุผลเนื่องจาก ข้อมูลทาง EPRI นั้นได้สร้างแบบจำลองที่ใช้เงื่อนไขขอบเขตที่ไม่เหมือนกัน จึงนำข้อมูลมาพิจารณาดูความสัมพันธ์ทางลักษณะทางกายภาพเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นการคำนวณหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงสุด หรืออุณหภูมิวิกฤติที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันก๊าซจะเกิดขึ้นบริเวณ Tip ที่ใกล้กับบริเวณ Leading Edge ของใบพัดกังหันก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 8 ตามแต่ละฝั่งของตัวใบพัดกังหันก๊าซ ซึ่งสังเกตได้ว่า ฝั่ง Pressure Side และ Suction Side ต้องระบายความร้อนออกจากผิวใบ เพื่อ

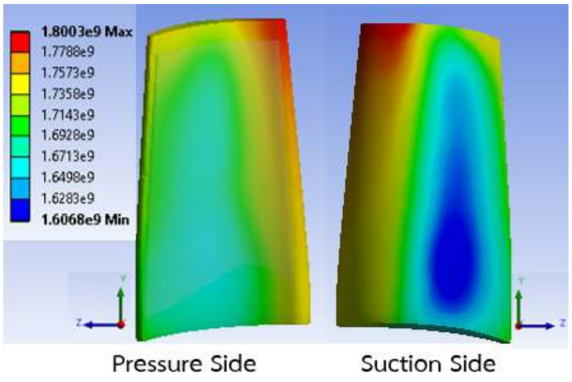
ลดอุณหภูมิบริเวณผิวใบพัดกังหันก๊าซ ด้วยเทคนิคการระบายความร้อนที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น



รูปที่ 8 Total Temperature ฝั่ง Pressure Side และ Suction Side

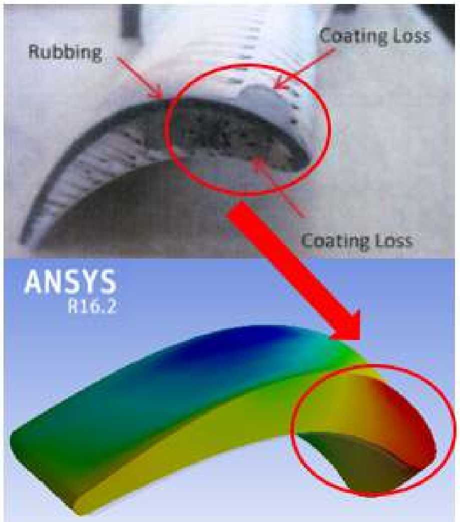
4.2 การวิเคราะห์หาค่าความเค้นทางความร้อน

เมื่อนำผลเฉลยที่คำนวณจาก ANSYS CFD ค่าความร้อนที่ถ่ายเทจาก Computational Domain สู่ใบพัดกังหันก๊าซด้วยเทคนิค Conjugate Heat transfer มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS STATIC STRUCTURAL ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 Thermal Stress ที่กระทำที่ผิวใบพัดกังหันก๊าซ ฝั่ง Pressure Side และ Suction Side

ทำให้ทราบค่าความเค้นทางความร้อนที่สูงที่สุด ที่ทำให้ผิวใบพัดเกิดความเสียหายและเป็นจุดวิกฤติ คือบริเวณ Tip ที่ใกล้กับบริเวณ Leading Edge ที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเป็นบริเวณเดียวกันที่เกิดความเสียหายของใบพัดกังหันก๊าซเมื่อเทียบกับข้อมูลความเสียหายจริงจากทางโรงไฟฟ้าดังรูปที่ 10 สำหรับใบพัดกังหันก๊าซแถวที่ 1 ที่มีชั่วโมงการใช้งานมาแล้ว 37,129 ชั่วโมงทำงาน



รูปที่ 10 ภาพเปรียบเทียบข้อมูลความเสียหายจริงกับแบบจำลองการหาความเค้นทางความร้อน

5. สรุปผลการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากนโยบายการวางแผนสำหรับงานซ่อมบำรุงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพต่างๆ ที่เกิดกับใบพัดกังหันก๊าซ รวมไปถึงจุดวิกฤติที่เกิดขึ้นบริเวณปลายใบพัดด้านหน้าเป็นจุดแรก ที่จะเกิดความเสียหาย เพื่อประกอบการตัดสินใจสำหรับวางแผนงานซ่อมบำรุงใบพัดกังหันก๊าซและพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้เพื่อมีความเชื่อมั่นสำหรับการนำข้อมูลจากการวิจัยเบื้องต้นนี้ นำไปใช้ประโยชน์สำหรับการทำนายอายุการใช้งานของใบพัดกังหันก๊าซ

ผลวิจัยการไหลภายนอกด้วยเทคนิค Conjugate Heat Transfer ระหว่างก๊าซร้อนกับใบพัดกังหันก๊าซสามารถเป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองที่มีความ

ซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะการทำนายพฤติกรรมการไหลที่มีทั้งการไหลภายในหรือระบบระบายความร้อนภายในใบพัดกังหันก๊าซ และการไหลภายนอก ทำให้การเตรียมข้อมูลในเรื่องของ CAD และ Meshing ต้องใช้ความรู้และทักษะที่สูงขึ้น เพื่อให้เกิดความแม่นยำตามคุณลักษณะทางกายภาพที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับทุนวิจัยโครงการ รวมถึงอุปกรณ์และสถานที่เพื่อให้งานวิจัยนี้เกิดความสำเร็จ และขอบคุณอาจารย์และผู้ร่วมวิจัยที่ให้ความช่วยเหลือให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสิ้น และสามารถให้งานวิจัยชิ้นนี้เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยท่านอื่นๆ ที่มีความสนใจในงานสร้างแบบจำลองทางด้านอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Andrés, A.M.G., Héctor, R.S.C., José, O.F.C. (2013). Reverse Engineering Of Turbine Blades With Internal Features, Center for Innovation in Design and Technology, September 2013.

[2] Sadowski, T., Golewski, P. (2012). The influence of quantity and distribution of cooling channels of turbine elements on level of stresses in the protective layer TBC and the efficiency of cooling, *Computational Materials Science,* Vol. 52 (2012), pp. 293–297.

[3] Liu, Z., Ye, L., Wang, Ch., Feng, Zh., Numerical simulation on impingement and film composite cooling, *Applied Thermal Engineering,* Vol. 73 (2014), pp. 1432–1443.

[4] Han, J.C. and Rallabandi, A.P. (2010) “TURBINE BLADE FILM COOLING USING PSP TECHNIQUE,” Texas A&M University.

[5] Mitre, J.F., Santana, L.M., Damian, R.B., Su, J., Lage, P.L.C. (2010). Numerical study of turbulent heat transfer in 3D pin-fin channels: Validation of a quick procedure to estimate mean values in quasi-periodic flows, *Applied Thermal Engineering,* Vol. 30 (2010), pp. 2796–2803.

[6] Iacovides, H., Cheah, S.C., Jackson, D.C., Ji, H. and Launder, B. E. (1996) “LDA Investigation of the Flow Development through Rotating U-Ducts,” *ASME Journal Turbomach*., Vol. 118(3), pp. 590–596.

[7] Ledezma, G.A., Laskowski, G.M., Tolpadi, A.K. (2008). Turbulence model assessment for conjugate heat transfer in a high pressure turbine vane model *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, Vol. 4 (PART A), pp. 489-499.

[8] F Class Combustion Turbine Life Management: Siemens Frame V94.3A2 Gas Turbine, EPRI, Palo Alto, 2007.