



รายงานการวิจัย
เรื่อง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม
เพื่อการทำนายพฤติกรรมของไหลชนิดปั่นป่วนผ่านวัตถุทรงกลมขณะหมุนที่สภาวะเรย์โนลด์์ที่สูง

The Computational Modelling
in the Prediction of Flow Past a Rotating Sphere at High Reynolds Number.

โดย

อาจารย์ ดร. สิทธีชัย รัชชศโยธิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภิรมย์ คงเลิศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยวิชาการ

ประจำปี 2562

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

ชื่อเรื่อง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อการทำนายพฤติกรรมของไหลชนิด
ปั่นป่วนผ่านวัตถุทรงกลมขณะหมุนที่สภาวะเรย์โนลด์ที่สูง
ชื่อผู้วิจัย อาจารย์ ดร. สิทธิชัย รัชชศโยธิน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภริมย์ คงเลิศ
ปีที่แล้วเสร็จ 2564

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำความรู้การคำนวณอากาศพลศาสตร์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนภายนอกอันเนื่องมาจากของไหลผ่านวัตถุทรงกลมในระนาบ 3 มิติ ที่หยุดนิ่งในสภาวะเรย์โนลด์ที่สูง คือ 10,000 70,000 96,000 134,000 และ 583,000 โดยถือเป็นช่วงจากต่ำ วิกฤติ และเหนือสภาวะเรย์โนลด์วิกฤติ และทรงกลมขณะหมุนที่สภาวะเรย์โนลด์เดียวกันจนถึงอัตราการหมุนไร้หน่วย (α : อัตราส่วนความเร็วเชิงเส้นที่ผิวทรงกลมเทียบกับความเร็วของการไหลอิสระ) ที่ 5 เพื่อให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลมีความน่าเชื่อถือสูงจึงมีการวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของแบบจำลองการไหลปั่นป่วน high Re k- ϵ turbulence model ชนิด linear และ quadratic eddy viscosity term และ the Reynolds Stresses Equation โดยทุกแบบจำลองได้ใช้สมการการไหลที่ผนัง the standard wall function หรือ the standard law of log เพื่อการใช้ทรัพยากรการประมวลผลที่ต่ำอีกด้วย ในช่วงอัตราการหมุนไร้หน่วยที่ต่ำเกิดพฤติกรรมที่เลเยอร์การไหลตลอดผิวทรงกลมอยู่ในช่วงปรับเปลี่ยนตัวจากการไหลแบบราบเรียบสู่แบบปั่นป่วนได้มีการใช้สมการการไหลทั่วไปทำการศึกษาเช่นกัน

การศึกษาทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญถึงแนวโน้มของขนาดสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านที่เกิดขึ้นและมีส่วนอย่างมากในการก่อให้เกิดแรงขับเคลื่อนทรงกลมขณะหมุน อีกทั้งองค์ประกอบของแรงที่กระทำด้านข้างที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุของการไหลผ่านในระนาบ 3 มิติที่รุนแรง ซึ่งปริมาณแรงพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเมื่อทรงกลมหยุดนิ่งหรือหมุนนี้มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะกายภาพและจุดวิกฤติต่างๆ ของเลเยอร์การไหลบนผนัง ได้แก่รูปแบบการกระจายตัวของความดันซึ่งเป็นสาเหตุหลักของแรงกระทำ ที่มีรูปร่างสมมาตรหรือสมมาตรสอดคล้องกับขนาดของแรงพลศาสตร์ ซึ่งเมื่อทรงกลมมีการหมุนเกิดขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของบริเวณที่มีศักย์เนื่องจากความดันที่สูงไปในทิศทางตรงข้ามและศักย์ความดันที่ต่ำในทิศทางเดียวกันกับการหมุนก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังพบความเค้นเฉือนที่ผนังซึ่งก่อให้เกิดโมเมนต์หมุนรอบมุมยอดและการเกิดเส้นของแรงเสียดทานที่แสดงถึงแนวหรือบริเวณวิกฤติของเลเยอร์การไหลอีกด้วย อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ผลของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน พบว่าที่สภาวะทรงกลมหยุดนิ่งยังเกิดความแตกต่างของผลการวิเคราะห์แรงพลศาสตร์ระหว่างแต่ละแบบจำลองการไหลปั่นป่วนและทั่วไป ซึ่งที่สภาวะทรงกลมมีการหมุนจะเกิดแนวโน้มผลการวิเคราะห์เดียวกันและได้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้าเมื่อทำการวิเคราะห์สภาพการไหลปั่นป่วนด้วย the high Re k- ϵ turbulence model และ the Reynolds Stresses Equation ซึ่งจากการศึกษาทำให้ระบุได้ว่าแบบจำลองการไหลปั่นป่วนที่ใช้สมรรถนะในการวิเคราะห์การไหลปั่นป่วนภายนอกได้

คำสำคัญ ทรงกลมหมุน แรงกระทำพลศาสตร์ สภาวะเรย์โนลด์ที่สูง แบบจำลองการไหลทั่วไปแบบราบเรียบ
แบบจำลองการไหลปั่นป่วน

Title : The Computational Modelling in the Prediction of Flow Past a Rotating Sphere at High Reynolds Number.

Researchers: Dr. Sitthichai Ruchayosyothin and Assistant Professor Pirom Konglerd

Year : 2021

Abstract

This study aims to predict the turbulent flow past a stationary and rotating spheres at Reynolds numbers of 10,000, 70,000, 96000, 134,000 and 583,000; these have been sub-, critical and super- critical Reynolds number ranges corresponding to the wall and wake boundary layer structures. In case of the rotating sphere, the rotational velocity has been normalized as spin ratio (α : the proportional tangential wall velocity to uniform flow velocity) up to 5; the result has provided the beneficial scientific information about the Magnus effect for the aerodynamic area. The turbulence governing equations have been implemented in the set of computational models, including the high Re k- ϵ turbulence models (with linear and quadratic eddy viscosity terms) and the Reynolds Stresses Equation combination with standard wall function. The laminar approach has also been employed when the turbulence models provide less accurate at the laminar to turbulence transition behavior.

The predicted results have been presented in the good agreement with the corresponding experimental data, the rotational sphere causes to generate the positive Magnus force, including the lift and drag forces. Moreover the small magnitude of the side force is found and produces the 3-dimensional flow along the flow domain. The magnitudes of aerodynamic forces have related to the pressure distributions around the sphere, which present the symmetric and asymmetric patterns for zero and non-zero of lift coefficient. Whenever, sphere become rotating, the stagnation, separation and re-attachment positions on the curvature surface have been translated; the suction pressure and separation positions definitely shift in the same rotating direction as opposed to the stagnation point. The viscous force has also been to produce the moment around the rotating centre, but it is very small, and can be neglected at low spin ratios. The skin friction lines can be also created from those of them to confirm the critical points of the boundary layer. In order to enhance the understanding of the turbulence models capability, the high Re k- ϵ turbulence models produce a small discrepancy result with the Reynolds Stresses Equation in the stationary sphere, whereas the consistency results between both of them have been found in the rotating sphere test cases, the turbulence models have been competent enough in this prediction.

Keywords: a rotating sphere aerodynamic forces the high Reynolds number the laminar model the turbulence models