

การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหล ระดับปริญญาตรี

Application of Computer Software for Teaching Fluid Mechanics to Undergraduate Students

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล^{1*}, วริศ จิตต์ธรรม¹ ทรงกลด ศรีวัฒนารัญญ¹ และสมบัติ มงคลชัยชนะ¹
Werayoot Lahamornchaiyakul^{1*}, Warit Jittham¹, Songklod Sriwattanawarunyo¹, and Sombat Mongkolchaichana¹

(วันรับบทความ : 25 ธันวาคม 2567/วันแก้ไขบทความ : 7 มีนาคม 2568/วันตอบรับบทความ : 18 กันยายน 2568)
(Received Date : December 25, 2024, Revised Date : March 7, 2025, Accepted Date : September 18, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณด้วยมือและการใช้ซอฟต์แวร์ทางพลศาสตร์ของไหลในการคำนวณหาแรงกระทำของน้ำ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการเรียนการสอนในรายวิชากลศาสตร์ของไหลสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก จำนวน 30 คน โดยเลือกแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่มละ 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย 1) ซอฟต์แวร์คำนวณผลเชิงพาณิชย์ทางพลศาสตร์ของไหล 2) แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนเรื่องทฤษฎีบทของโมเมนตัมและสมการพลังงานในการคำนวณแรงกระทำของน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีดน้ำและวิ่งเข้ากระแทกผนัง 3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการเรียนการสอน สถิติที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษาทั้งสองกลุ่มมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการจัดการเรียนการสอนมีผลต่อการพัฒนาความรู้ของผู้เรียน การประเมินคุณภาพสื่อการสอนในด้านการประเมินแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับการคำนวณเพื่อการออกแบบ มีค่าเฉลี่ย 4.59 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 ขณะที่คุณภาพของสื่อด้านใบงานและแบบฝึกหัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 และ 0.50 ตามลำดับ นอกจากนี้การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจำนวน 15 คน ในกลุ่มที่ 2 พบว่าผลการทำใบงานและแบบฝึกหัด (E1) มีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 80.13 และคะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E2) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 82.77 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวมแสดงให้เห็นว่าค่าทั้งหมดสูงกว่าร้อยละ 80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อีกทั้งนักศึกษายังมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ในรูปแบบดังกล่าวในระดับดีมาก ผลการวิจัยจึงชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ทางพลศาสตร์ของไหลร่วมกับการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการสามารถส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึกในแนวคิดกลศาสตร์ของไหลและช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน, คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม, กลศาสตร์ของไหล

¹ สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Department of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok 65000 Thailand

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: werayootmutl@gmail.com

* Corresponding author e-mail: werayootmutl@gmail.com

Abstract

The primary objectives of this study were (1) to analyze and compare the outcomes of manual calculations and computational fluid dynamics (CFD) simulations in determining the forces exerted by water flow and (2) to evaluate the effectiveness of a mathematical model as a pedagogical tool for teaching fluid mechanics to undergraduates. The sample included 30 mechanical engineering undergraduates from the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok, divided into two groups of 15 students each. Research instruments comprised (1) commercial CFD software for fluid force calculations, (2) pre- and post-tests assessing students' understanding of momentum and energy equations in water jet impact, and (3) a questionnaire measuring satisfaction with software integration in the learning process. Data were analyzed using descriptive statistics (mean and standard deviation).

The findings showed that both groups achieved higher post-test scores than pre-test scores, indicating a positive impact on knowledge development. The quality evaluation of instructional media in terms of numerical modeling for design calculation yielded a mean score of 4.59 with a standard deviation of 0.52. Likewise, instructional worksheets and exercises received mean scores of 4.60, with standard deviations of 0.42 and 0.50, respectively. An experimental trial with 15 students in Group 2 revealed that the average accuracy in completing worksheets and exercises (E1) was 80.13%, while the average post-test score (E2) was 82.77%. Efficiency analysis confirmed that all values exceeded the 80% criterion, and post-test scores were significantly higher than pre-test scores at the 0.05 level. Students' satisfaction with the instructional approach was also rated as "very high." Overall, the results demonstrate that integrating CFD software with practice-based learning effectively enhances students' understanding of fluid mechanics and improves academic performance.

Keyword : Computer-assisted instruction; Computer Aided Engineering, Fluid Mechanics

บทนำ

การระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (COVID-19) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้ส่งผลกระทบเป็นวงกว้างอย่างไม่เคยปรากฏมาก่อนในประวัติศาสตร์ของประเทศไทยและของโลก ซึ่งผลกระทบของการระบาดดังกล่าวที่สามารถเห็นภาพได้ชัดเจน จะประกอบไปด้วยปัญหาหลักทั้งหมด 3 ด้านดังนี้คือ ผลกระทบในด้านของสุขภาพ สังคม และด้านเศรษฐกิจซึ่งผลกระทบในด้านของสุขภาพได้ส่งผลทำให้ประชาชนเจ็บป่วยและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ส่วนด้านสังคมทำให้เกิดความตระหนัก ตื่นกลัวเกิดขึ้นในสังคมเมืองและชนบทที่ยังขาดการเรียนรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคอย่างถูกต้อง และด้านของเศรษฐกิจนั้นได้ส่งผลกระทบอย่างมากในด้านการชะลอตัวของธุรกิจหลากหลายประเภทที่เกิดขึ้น ทั้งที่เป็นธุรกิจขนาดใหญ่ไปจนถึงธุรกิจกลางและขนาดเล็ก รวมไปถึงธุรกิจการท่องเที่ยวที่มีความซบเซาเกิดขึ้นในพื้นที่การท่องเที่ยวที่สำคัญในแต่ละจังหวัด จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ GDP ของประเทศไทยลดลงอย่างมากในช่วงการเกิดโรคระบาด จากผลกระทบทั้ง 3 ด้านในข้างต้น ยังได้ส่งผลมายังภาคการศึกษาของประเทศ ทำให้ระบบการศึกษาที่มีการเรียนการสอนในโรงเรียน วิทยาลัย และมหาวิทยาลัย ต้องมีการปรับเปลี่ยนไปอย่างมาก ทำให้นักเรียนและนักศึกษาต้องหันมาเรียนในรูปแบบการเรียนการสอนแบบออนไลน์แทน ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาทางสังคมรูปแบบหนึ่ง ที่ทำให้ประชากร ในสังคมการเรียนรู้รวมไปถึงสังคมของการทำงานไม่สามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติในช่วงของการเกิดโรคระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ด้วยรูปแบบการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์ ได้ส่งผลกระทบต่อสภาพการศึกษาไปทั่วโลกโดยเฉพาะกลุ่มของนักเรียนและนักศึกษาของประเทศไทย ทำให้ดัชนีชี้วัดการเรียนรู้และการศึกษาของเด็กไทยมีค่าที่ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะกลุ่มของวิชาการคำนวณและวิชาการปฏิบัติ เป็นต้น อย่างไรก็ตามรูปแบบ

การเรียนแบบออนไลน์ในประเทศไทย มิได้เกิดจากการระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (COVID-19) เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น แม้สถานการณ์การแพร่ระบาดจะเป็นตัวเร่งสำคัญที่ทำให้สถาบันการศึกษาทุกระดับจำเป็นต้องปรับรูปแบบการเรียนการสอนสู่ระบบออนไลน์อย่างเร่งด่วน แต่ในความเป็นจริงแล้วในปัจจุบัน การเรียนออนไลน์ยังเป็นผลมาจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง และการแพร่หลายของอุปกรณ์ดิจิทัลที่เอื้อต่อการเรียนรู้ทุกที่ทุกเวลา อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางการเรียนรู้แบบยืดหยุ่น (Flexible Learning) ที่ตอบสนองต่อวิถีชีวิตของผู้เรียนยุคใหม่ นอกจากนี้ นโยบายของภาครัฐที่ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษา และความจำเป็นในการขจัดข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์เพื่อเพิ่มโอกาสทางการศึกษาในพื้นที่ห่างไกล ก็ล้วนเป็นปัจจัยร่วมที่ผลักดันให้การเรียนออนไลน์เกิดขึ้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

แม้ว่าการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์จะมีข้อดีในหลายด้าน แต่รูปแบบดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับการเรียนการสอนในทุกรายวิชา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายวิชาที่ต้องอาศัยการฝึกปฏิบัติหรือทักษะเฉพาะทาง ซึ่งต้องการการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงและการมีปฏิสัมพันธ์กับเครื่องมือหรือสถานการณ์จริง ข้อจำกัดดังกล่าวปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ซึ่งสถานศึกษาทุกระดับต้องเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนเป็นระบบออนไลน์ ส่งผลให้นักเรียนในระดับโรงเรียน วิทยาลัยอาชีวศึกษา และมหาวิทยาลัย ขาดความรู้ความเข้าใจที่ชัดเจนในเนื้อหาวิชาที่เน้นทักษะการปฏิบัติหรือการคิดคำนวณ จากการสำรวจความคิดเห็นของอาจารย์ผู้สอนรายวิชาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พบว่า เมื่อนักเรียนที่เคยเรียนในระบบออนไลน์ในช่วงการระบาดของโรค ได้เข้าสู่ระดับอุดมศึกษา นักศึกษากลุ่มนี้มีปัญหาในการเรียนรู้รายวิชาที่ต้องใช้ความเข้าใจเชิงลึก เช่น วิชาที่เกี่ยวข้องกับการคิดคำนวณและการวิเคราะห์โจทย์ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยทั้งการมองภาพรวมของปัญหาและการฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง ปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาที่มีผลการเรียนระดับปานกลางถึงต่ำ ซึ่งไม่สามารถทำคะแนนได้ตามเป้าหมายทางวิชาการที่คาดหวังไว้

จากปัญหาการศึกษาที่เกิดขึ้นจึงทำให้ครูและอาจารย์ รวมไปถึงนักวิจัยทางการศึกษาจำนวนมากได้ทำการประดิษฐ์สื่อการสอนเพื่อแก้ปัญหาการเรียนการสอนในรูปแบบดังกล่าวโดยเฉพาะงานวิจัยของ (Thaisit, 2021) ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในรายวิชา คอมพิวเตอร์ช่วยงานเขียนแบบ ในหัวข้อ การใช้คำสั่งในการสร้างภาพสามมิติในโปรแกรม SolidWorks สำหรับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล งานวิจัยดังกล่าวได้นำหลักการทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการเรียนการสอน ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ งานวิจัยของ (Mekkaew & Thaisit, 2024) ได้ศึกษาการพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในรายวิชา GEN133 เขียนแบบวิศวกรรม หัวข้อ หลักการของภาพฉายระบบมุมที่ 1 ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับดีมากขณะเดียวกัน งานวิจัยของ (Khamphira, 2023) ได้ศึกษาผลการเรียนรู้ผ่านระบบจัดการเรียนการสอน Thai MOOC ในรายวิชา KMUTT001 การอ่านแบบเขียนแบบทางวิศวกรรมโยธา ซึ่งผลการศึกษาพบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนการสอนออนไลน์ในระบบเปิดของรายวิชาดังกล่าว โดยมีค่าเฉลี่ย 4.39 (SD = 0.75) นอกเหนือจากงานวิจัยทั้งสามฉบับข้างต้น คณะผู้วิจัยยังพบว่า มีงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนในรูปแบบเดียวกันอีกหลายฉบับ อาทิ งานวิจัยของ (Chonpairot et al., 2026) (Santiwes et al., 2022) และ (Sittisak et al., 2022) ซึ่งต่างมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียนในเนื้อหาวิชาทางวิศวกรรม ส่วนของงานวิจัยที่นำเทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) มาใช้ในการอธิบายและแก้ไขปัญหาการไหลในรายวิชาการศาสตร์ของไหล พบว่ามียานศึกษาที่น่าสนใจของ (Li & Cheung, 2025) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักสูตร CFD ที่เน้นการเรียนรู้เป็นศูนย์กลาง จุดเด่นของหลักสูตรประกอบด้วยแนวทางการเรียนรู้แบบโครงงานและกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการประเมินผลในทำนองเดียวกัน (Tian & Abraham, 2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (SI) และการประยุกต์ใช้แบบจำลองเครื่องยนต์ในหลักสูตรการเผาไหม้ภายใน (IC) ระดับปริญญาตรี ขณะที่ (Wang & Gao, 2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องจักรกลของไหลและจุดอ่อนของการสอนแบบดั้งเดิมร่วมกับเทคนิค CFD ซึ่งนำมาใช้ในการสอนในชั้นเรียนและจำลองส่วนประกอบของไหลโดยใช้ซอฟต์แวร์ CFD นอกจากนี้ งานวิจัยของ (Stern et al., 2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมิน

หลักสูตรที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักศึกษาในการเรียนรู้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ในหลักสูตรห้องปฏิบัติการระดับเบื้องต้นและระดับกลาง ทั้งในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษา เป็นต้น

จากปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเรียนการสอนรายวิชาพลศาสตร์ของไหลในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มนักศึกษาที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับปานกลางและต่ำในระดับปริญญาตรี ซึ่งมีประสบการณ์ในการทำความเข้าใจภาพการไหลและจินตนาการโจทย์เชิงพลศาสตร์ของไหล คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณเชิงพาณิชย์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน เข้ามาเป็นสื่อกลางในการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ ควบคู่ไปพร้อมกับการคำนวณผลลัพธ์ด้วยมือโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น (Alnaimat & Mathew, 2024) และ (Li & Cheung, 2025) ที่เน้นเพียงการใช้ซอฟต์แวร์ CFD เพื่อสร้างภาพจำลองและสนับสนุนการเรียนรู้เชิงมองภาพโดยไม่บูรณาการกับวิธีการคำนวณแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้จึงมีจุดเด่นที่มุ่งเน้นการออกแบบการเรียนรู้แบบผสมผสาน (blended learning) ระหว่างทฤษฎีและปฏิบัติ โดยเฉพาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ไม่แข็งแรง เพื่อช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านการเปรียบเทียบผลการจำลองกับการคำนวณด้วยมือ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการเรียนการสอนที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสำหรับวิชาทางวิศวกรรมเครื่องกลในระดับอุดมศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณด้วยมือและการใช้ซอฟต์แวร์ทางพลศาสตร์ของไหลในการคำนวณหาแรงกระทำของน้ำ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการเรียนการสอนในรายวิชาพลศาสตร์ของไหลสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี

สมมุติฐานของงานวิจัย

1. นักศึกษาที่เรียนด้วยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ทางพลศาสตร์ของไหลโซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน (SOLIDWORKS Flow Simulation) ร่วมกับการคำนวณด้วยมือ จะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบดั้งเดิม
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณแรงกระทำของน้ำจะมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
3. ผู้เรียนมีความพึงพอใจในรูปแบบการเรียนการสอนโดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง CFD ช่วยในการจำลองการไหลของน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีดร่วมกับการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (คำนวณด้วยมือ) ในระดับมาก

กรอบแนวคิดงานวิจัยและทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยต้องการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชาพลศาสตร์ของไหลระดับปริญญาตรี สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาพลศาสตร์ของไหลและส่งผลให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น จากหลักการดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Khamprawat et al., 2024) ซึ่งศึกษาชุดทดลองราคาประหยัดที่นักเรียนสามารถ สร้างขึ้นเอง เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อพลศาสตร์ของไหลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ผลการทดลองระบุว่าชุดทดลองดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎี นอกจากนี้ การประเมินคุณภาพของชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ ครูผู้สอน และนักเรียน พบว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับดีมากในทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ การใช้งาน การบำรุงรักษาและซ่อมแซม และความเหมาะสมในการจัดการเรียนการสอน ดังนั้นกรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้สำหรับการประยุกต์ใช้บทเรียนซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชาพลศาสตร์ของไหลระดับปริญญาตรี สามารถแสดงได้ ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

ตัวแปร	แนวคิด
ตัวแปรอิสระ	การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหลระดับปริญญาตรี สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต
ตัวแปรตาม	ประสิทธิภาพการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหลในระดับปริญญาตรี ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากับการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหล

ในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยประยุกต์ที่ใช้องค์ความรู้แบบบูรณาการทางด้านวิศวกรรมและการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและคำนวณผลทาง CFD เข้ามาช่วยในการจำลองสนามการไหลของน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีดน้ำ ซึ่งกรณีศึกษาดังกล่าว เป็นกรณีศึกษาที่มีลักษณะเป็นโจทย์พื้นฐานที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในส่วนของการโมเมนต์สำหรับการไหลควบคู่กับการจำลองทาง CFD แนวทางการศึกษาในงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์และคำนวณการไหลของของไหลด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical Method) โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล จากนั้นจึงทำการจำลองสถานการณ์เดียวกันโดยใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูลेशन เพื่อประเมินพฤติกรรมของการไหลในรูปแบบเชิงตัวเลข (Numerical Method) และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธี ทั้งนี้เพื่อประเมินความสอดคล้องของค่าที่ได้ ตลอดจนตรวจสอบความแม่นยำและความเหมาะสมของการใช้เครื่องมือจำลอง CFD ในการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาทางวิศวกรรมเบื้องต้น ซึ่งรายละเอียดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความสามารถของโซลิดเวิร์กโพลีซีมูลेशन

ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูลेशन เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตร และวิศวกรรมในสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านเครื่องกล ซึ่งมีความสามารถในการจำลองสนามการไหลของของไหลได้หลายรูปแบบ เช่น การจำลองการไหลของของเหลวและก๊าซ การจำลองของไหลทั้งที่อัดตัวไม่ได้และอัดตัวได้ การจำลองการไหลแบบระบบปิด (Internal) และระบบเปิด (External) การจำลองการไหลได้ทั้งแบบคงตัว (Steady State) และแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Transient) การจำลองการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) และแบบปั่นป่วน (Turbulence) การจำลองของเหลวที่มีพฤติกรรมแบบนิวโตเนียน (Newtonian) และนอน-นิวโตเนียน (Non-Newtonian) จำลองการไหลผ่านวัสดุรูพรุน (Porous Media) จำลองการวิเคราะห์การไหลผ่านใบพัดกังหันลมและน้ำที่มีการหมุน จำลองการวิเคราะห์การนำความร้อนภายในก้อนชิ้นงาน (Conduction) จำลองวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนระหว่างก้อนชิ้นงานกับของไหล และการจำลองวิเคราะห์การแผ่รังสีระหว่างก้อนชิ้นงาน (Radiation) เป็นต้น (SOLIDWORKS, 2024)

2. ทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล

สมการความต่อเนื่อง คือ ระบบสมการที่ใช้สำหรับการอธิบายการเคลื่อนย้ายของปริมาณบางปริมาณ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial y_i} = 0 \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของไหล มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนของ u_i, v_i คือ ความเร็วของของไหลในทิศทางแกน x_i และ y_i มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที และ x_i และ y_i คือ พิกัดเชิงพื้นที่ (Spatial coordinates) มีหน่วยเป็นเมตร (Lahamornchaiyakul & Lonphan, 2023)

สมการโมเมนต์สำหรับการไหล คือ ระบบสมการที่ใช้อธิบายหรือการทำนายปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างมวลและความเร็วของวัตถุที่ต้องการศึกษา โดยงานวิจัยนี้จะทำการยกตัวอย่างของสมการโมเมนต์สำหรับการไหลในทิศทางแนวแกน x และ y ดังนี้

สมการโมเมนต์สำหรับการไหลในแนวแกน x สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (2)$$

สมการโมเมนต์สำหรับการไหลในแนวแกน y สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (3)

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial y_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j} \right] \right] + (\rho - \rho_0)g \quad (3)$$

โดยที่ ρ คือ ค่าความดันในสนามการไหล มีหน่วยเป็น ปาสคาล ซึ่ง μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด มีหน่วยเป็น ปาสคาล.วินาที ในขณะที่ u_i, u_j, v_i, v_j คือ เทอมของสมการโมเมนต์สำหรับการไหลของน้ำ มีหน่วย และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ส่วนของ ρ_0 คือ ความหนาแน่นอ้างอิง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ $(\rho - \rho_0)g$ คือ เทอมของแรงลอยตัว มีหน่วยเป็น นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

จากสมการโมเมนต์ที่แสดงในสมการที่ (2) พิจารณาให้เทอมด้านซ้ายมือเป็นการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ส่วนทางขวามือเป็นเทอมที่แสดงพจน์ของความดันและความหนืด ส่วนสมการที่ (3) พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ในทิศทางแกน y โดยจะมีการเพิ่มพจน์แรงลอยตัว ซึ่งสมการทั้ง 2 จัดอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ (2) และ (3) โดยใช้ทฤษฎีบทของ Gauss (Divergence Theorem) เปลี่ยนจากอินทิกรัลเชิงปริมาตรเป็นอินทิกรัลเชิงพื้นที่ จะได้รูปแบบสมการโมเมนต์ทั่วไปที่พิจารณาเฉพาะแรงรวมในแนวแกนได้ตามสมการที่ (4) เมื่อพจน์ของ $(\dot{m} = \rho Q)$

$$F_{x,y} = \dot{m}(V_2 - V_1) \quad (4)$$

โดยที่ $F_{x,y}$ คือ แรงกระทำในแนวแกน x และ y มีหน่วยเป็น นิวตัน ในขณะที่ตัวแปร $\dot{m}$ คือ มวลการไหล มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที ส่วนตัวแปร Q คือ อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากหัวฉีด มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ V_1 และ V_2 คือ ความเร็วของไหลในทิศทางเข้าและทางออก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

สมการพลังงานสำหรับการไหล คือ ระบบสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในงานด้านฟิสิกส์และงานทางวิศวกรรม เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ของการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (5)

$$\rho c_p \left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i} + \frac{\partial(v_i T_j)}{\partial y_j} \right] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T_j}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} \left[k \frac{\partial T_j}{\partial y_j} \right] \quad (5)$$

ความหนืดของไหล คือ ค่าการต้านทานการไหลของของไหลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้เขียนจึงขอยกตัวอย่างค่าความหนืดที่มีความสัมพันธ์ในด้านของสนามความเค้นที่เกิดขึ้นบนพื้นที่การไหล โดยสามารถแสดงพฤติกรรมในรูปแบบของค่าความเค้นเฉลี่ยเนื่องจากการหนืด $\bar{\tau}_{ij}$ ได้ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$\bar{\tau}_{ij} \cong \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (6)$$

โดยตัวแปร μ ในสมการที่ (6) คือ ค่าความหนืดแบบราบเรียบ ดังนั้น ค่าความเค้นเฉลี่ยเรย์โนลด์หรือเทนเซอร์ความเค้นเชิงหนืด $\bar{\tau}_{ij}$ ที่มีหน่วยเป็น ปาสคาล จึงถูกนำมาเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ (7) ขั้นตอนการพิจารณาถึงค่าความเค้น

เฉลี่ยเรย์โนลด์ $\bar{t}_{ij}$ พบว่า เป็นค่าตัวแปรซึ่งยังไม่ทราบค่า จึงส่งผลทำให้เกิดปัญหาในการแก้ระบบของสมการไหล ดังนั้น จึงต้องอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\varepsilon$ ในการหาค่าตัวแปรความเค้นเฉลี่ยเรย์โนลด์ ซึ่งจะขอกกล่าวในหัวข้อถัดไป

$$\bar{t}_{ij} = \overline{\rho u_i' u_j'} \quad (7)$$

โดยที่ C_p คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat capacity) มีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัม.เคลวิน ซึ่ง T_j คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็น เคลวิน ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) คือ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ในส่วนของเทอม $\overline{u_i' u_j'}$ คือ ความผันผวนของความเร็วเชิงสถิติ และถูกนำมาพิจารณาใช้ในแบบจำลอง Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS)

3. แบบจำลองความปั่นป่วน

แบบจำลองความปั่นป่วน เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ระบบสมการที่ไม่ทราบค่าในสนามการไหลที่ทำการวิเคราะห์ ในซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน ได้ทำการบรรจุแบบจำลองดังกล่าวเอาไว้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สนามการไหลต่าง ๆ (SOLIDWORKS, 2024) ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วน $k-\varepsilon$ ที่ใช้ในการแก้สมการเทอมของความเค้นเฉลี่ยเรย์โนลด์ จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอัตราความเครียดเฉลี่ย (Mean Stress Rate) ซึ่งค่าตัวแปรของความหนืดไหลวน (Eddy Viscosity) จะถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy, k) และค่าอัตราการกระจายตัว (Dissipation Rate, ε) โดยใช้หลักการของ Bossiness's approximation ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วน $k-\varepsilon$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (8)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (8)$$

โดยที่ G คือ อัตราการสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy) มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร.วินาที ซึ่งพบว่าเกี่ยวข้องกับอัตราการเฉือนของความเร็ว ซึ่งตัวแปร ε คือ ค่าอัตราการกระจายตัวที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานปั่นป่วน มีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อวินาทีกำลังสาม ในขณะที่ k คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน มีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อวินาทีกำลังสอง ส่วนตัวแปร μ_e คือ ความหนืดเชิงเทอร์บูเลนต์ (Eddy viscosity) มีหน่วยเป็น ปาสคาล.วินาที และตัวแปร $C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$ คือ ค่าคงที่เชิงประจักษ์ (Empirical constants) ดังนั้นเทอมของ G จึงถูกเขียนความสัมพันธ์ของสมการได้ดังสมการที่ (9)

$$G = u_e \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (9)$$

ส่วนค่าเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) สำหรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ของความปั่นป่วนที่ใช้พิจารณาบริเวณพื้นผิวใกล้เคียงของสนามการไหล สามารถคำนวณค่าได้จากฟังก์ชันผนัง (Wall Function) ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับค่าสมการต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในข้างต้นดังนี้คือ $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$, $C_{\varepsilon 1}=1.44$, $C_{\varepsilon 2}=1.92$, และ $C_\mu=0.09$ เป็นค่าคงที่ โดยที่ $u_e = u_i + u$ (Lahamornchaiyakul and Lonphan, 2023)

4. คำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์

ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item–Objective Congruence) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10) (Lawshe, 1975)

$$IOC_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij}}{N} \quad (10)$$

โดยที่ IOC_i คือ ค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อที่ i ขณะที่ X_{ij} คือ คะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญคนที่ j ให้กับข้อที่ i (มีค่าเป็น -1, 0, หรือ +1) และ N จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

5. การคำนวณหาประสิทธิภาพสื่อการสอน

การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอน จะประกอบไปด้วย 2 วิธีการหลักคือ การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนตามหลักเชิงเหตุผล (Rational Approach) และ การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนตามหลักเชิงประจักษ์ (Empirical Approach) ดังนั้นตามหลักการใช้งานของ 2 วิธีการเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนควรทำไปพร้อมกัน เพื่อความมั่นใจในการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนและเพื่อการยอมรับในการทำวิจัย

การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนตามหลักเชิงเหตุผล คือ กระบวนการหาประสิทธิภาพโดยใช้หลักการความรู้และเหตุผลในการตัดสินคุณค่าของสื่อการสอน และจะอาศัยผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาการต่าง ๆ เป็นผู้พิจารณาตัดสินและประเมินคุณค่าของสื่อการสอนต่าง ๆ สมการที่ใช้ในการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (11)

$$CVR = \frac{2N_e}{N} - 1 \quad (11)$$

เมื่อค่าตัวแปร CVR คือ ประสิทธิภาพเชิงเหตุผล ส่วนตัวแปร N_e คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ยอมรับ (Number of panelists who had agreement) และตัวแปร N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด (Total number of panelists)

การคำนวณหาประสิทธิภาพของสื่อการสอนตามหลักเชิงประจักษ์ คือ กระบวนการหาประสิทธิภาพโดยจะนำสื่อที่สร้างขึ้นมาใช้กับกลุ่มของนักเรียนและนักศึกษาเป้าหมาย ซึ่งวิธีการนี้ประสิทธิภาพที่ทำการวัดส่วนใหญ่จะถูกพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การทำแบบฝึกหัดหรือกระบวนการเรียน หรือแบบทดสอบย่อยต่าง ๆ (Ng et al., 2022) โดยจะทำการแสดงรูปแบบตัวเลข 2 ตัว เช่น $E_1/E_2 = 80/80$ หรือ $E_1/E_2 = 90/90$ เป็นต้น ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (12) ส่วนสมการที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (13)

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N} \times 100}{A} \quad (12)$$

โดยที่ E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ
 $\sum X$ คือ คะแนนของแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบย่อยทุกชุดรวมกัน
 A คือ คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบย่อยทุกชุดรวมกัน
 N คือ จำนวนนักศึกษาทั้งหมด

$$E_2 = \frac{\frac{\sum Y}{N} \times 100}{B} \quad (13)$$

โดยที่ E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์
 $\sum Y$ คือ คะแนนรวมของแบบทดสอบหลังเรียน
 B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน
 N คือ จำนวนนักศึกษาทั้งหมด

ขอบเขตงานวิจัย

1. ขอบเขตทางด้านเนื้อหา

ขอบเขตของเนื้อหาในงานวิจัยนี้คือการมุ่งเน้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนการสอนจากการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โซลิดเวิร์กโพล์ซิมูเลชันเพื่อการคำนวณในรายวิชากลศาสตร์ของไหลมาใช้ในการเรียนการสอนด้านการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (คำนวณด้วยมือ) ด้วยวิธีการปกติ

2. กลุ่มประชากรในงานวิจัย

กลุ่มประชากรในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้เรียนในรายวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัส TEDME902 ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก โดยใช้กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

3. ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลคือปีการศึกษา 2567 โดยเลือกพื้นที่ในการเก็บข้อมูลคือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทีมผู้วิจัยได้ทำการกำหนดผู้เชี่ยวชาญในรายวิชากลศาสตร์ของไหลและการประยุกต์ใช้การคำนวณด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โซลิดเวิร์กโพล์ซิมูเลชัน จำนวน 5 ท่าน ที่อยู่ในสังกัดกระทรวงการอุดมศึกษาวิจัยและนวัตกรรมซึ่งมีประสบการณ์สอนไม่น้อยกว่า 10 ปี

กลุ่มประชากรตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดให้เป็นกลุ่มนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก จำนวน 30 คน โดยเริ่มต้นจากการให้เรียนด้วยวิธีการปกติโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณโจทย์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของไหล หลังจากนั้นจะทำการกำหนดให้เรียนการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพล์ซิมูเลชันในการคำนวณโจทย์ปัญหาทางกลศาสตร์ของไหล ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการแบบเจาะจงจากนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัส TEDME902 และใช้แผนการทดลองจริงในรูปแบบทดลองที่มีกลุ่มควบคุมโดยเก็บข้อมูลเฉพาะหลังการดำเนินโครงการ (Posttest only control group design)

2. การสร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัย

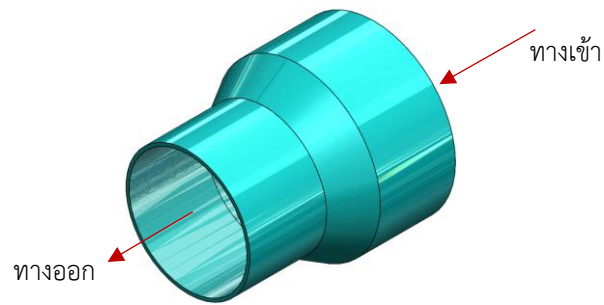
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องมือในงานวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการวิจัยไว้ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นการประเมินผล การเรียนรู้ของนักศึกษา ก่อนเรียนตามหน่วยเรียนที่กำหนดและประเมินผลหลังการเรียนการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลเชิงพาณิชย์โซลิดเวิร์กโพล์ซิมูเลชัน เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง การคำนวณด้วยมือกับการใช้ซอฟต์แวร์ ส่วนที่สองจะทำการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหัวฉีดน้ำและกระแสน้ำโดยใช้ซอฟต์แวร์ออกแบบ 3 มิติ โซลิดเวิร์ก (SOLIDWORKS) เพื่อใช้ในการจำลองสนามการไหลของน้ำที่ออกจากหัวฉีดด้วยเทคนิคทางพลศาสตร์ของไหล และนำผลการคำนวณที่ได้มาเพื่อเปรียบเทียบกับ การคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (การคำนวณด้วยมือ) ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการวิจัยในครั้งนี้ จะประกอบไปด้วยข้อมูล 2 ส่วน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

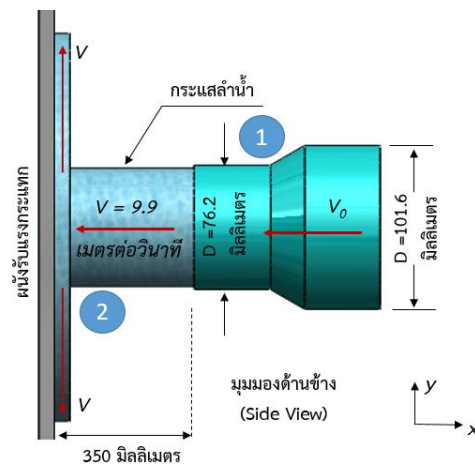
ส่วนที่ 1 เป็นการประเมินผลการเรียนรู้ของนักศึกษา ก่อนเรียนและหลังการเรียน

- นำเนื้อหาของบทเรียนที่ต้องการศึกษา มาทำการกำหนดรูปแบบของระดับคะแนนในแต่ละหัวข้อ
- นำเนื้อหาของบทเรียนที่ได้มาทำการกำหนดเนื้อหา ก่อนและหลัง

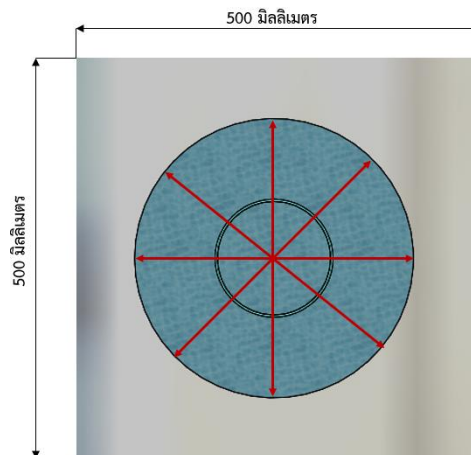
- เมื่อได้ข้อมูลของเนื้อหาก่อนและหลังแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการเขียนจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
 - จัดทำเอกสารตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น เพื่อนำเนื้อหาดังกล่าวมาใช้ประกอบการเรียนการสอน เช่น ฤกษ์การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำเริ่มต้น การคำนวณหาความดันตกที่หัวฉีดน้ำ การคำนวณหาแรงกระทำของน้ำที่ผนัง เป็นต้น
 - ขั้นตอนการคำนวณผลลัพธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ในการคำนวณสำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัย จะทำการกำหนดขนาดสัดส่วนของหัวฉีดน้ำจำลองให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าของหัวฉีดน้ำ (รูปที่ 1) ให้มีขนาด 101.6 มิลลิเมตร หรือ 0.1016 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกเท่ากับ 76.2 มิลลิเมตร หรือ 0.0762 เมตร พร้อมทั้งทำการกำหนดค่าความเร็วน้ำเฉลี่ยที่ทางเข้าเท่ากับ 9.9 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้นทำการกำหนดปริมาตรควบคุมสำหรับการคำนวณและพิจารณาการไหลเข้าและการไหลออกของน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีด พร้อมทั้งตั้งสมการโมเมนตัม ในแนวแกน x และแกน y เพื่อคำนวณหาแรงในแนวแกน x และแกน y ผลจากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (ด้วยมือ) พบว่าค่าอัตราการไหลที่ความเร็ว 9.9 เมตรต่อวินาทีมีค่าเท่ากับ 0.045 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และค่าแรงที่ได้รับมี ค่าเท่ากับ 447 นิวตัน ตามลำดับ
 - ออกแบบชุดทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อใช้ในการประเมินผล
- ส่วนที่ 2 เป็นการจำลองผลลัพธ์เชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล
- การออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหัวฉีดน้ำและกระแสน้ำ
- ขั้นตอนแรก คณะผู้วิจัยสอนนักศึกษาทำการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหัวฉีดน้ำและกระแสน้ำ โดยเริ่มต้นจากการเปิดซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์ก หลังจากนั้นเข้าสู่โมดูลพาร์ท (Part) เพื่อสร้างองค์ประกอบชิ้นงาน 3 มิติ ของแบบจำลองการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 1
- ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการคำนวณ
- หลังจากนั้น คณะผู้วิจัยได้สอนนักศึกษาทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ (Boundary Condition) ดังนี้คือ 1) ทำการคำนวณอัตราการไหลที่ทางเข้า 0.045 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีโดยทำการพิจารณาจากความเร็วเริ่มต้น 9.9 เมตรต่อวินาที 2) กำหนดค่าความดันที่ทางออกเป็นแบบความดันทั่วไป (Environment Pressure) ที่มีค่าเท่ากับ 101,325 ปาสคัล (SOLIDWORKS, 2024) เหตุผลที่เลือกใช้ความดันทั่วไป เนื่องจากต้องการให้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลี ซิมูเลชันคิดค่าตัวแปรที่เลือกไปใช้คำนวณก่อนเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมให้แบบจำลองต่อไป 3) กำหนดค่า Substance Concentration เป็นน้ำ 4) ทำการกำหนดชนิดของการวิเคราะห์เป็นแบบการวิเคราะห์ผลภายนอก (External Flow) หลังจากนั้น 5) คลิกถูกที่หน้าผิวอิสระ (Free Surface) ขึ้นอยู่กับเวลา (Time dependent) และทำการกำหนดแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ในทิศทางแกน y ซึ่งองค์ประกอบการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณผลลัพธ์ทางพลศาสตร์ของไหลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจะสอนนักศึกษาโดยใช้เทคนิคการปรับเมชเอลิเมนต์ให้เหมาะสมต่อการคำนวณ เพื่อคำตอบที่ลู่เข้า (Convergent) รายละเอียดของการปรับเมชเอลิเมนต์สามารถดำเนินการได้โดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่ารูปแบบในส่วนของ Global และ Local Mesh Setting จากนั้นเลือกใช้งาน Region ที่ต้องการและกำหนดรูปแบบของขอบเขตการสร้างเมชเอลิเมนต์เป็นแบบ Cuboid โดยมีระยะอ้างอิงดังนี้ ทิศทาง +x และ -x เท่ากับ 0.16 เมตร, ทิศทาง +y และ -y เท่ากับ 0.086 เมตร, และทิศทาง +z และ -z เท่ากับ 0.25 เมตร และ 0.06 เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้กำหนดค่าความละเอียดของเมชเอลิเมนต์ในส่วน Refining Cell โดยเลือกใช้ระดับความละเอียดเท่ากับ 4 5 6 และ 7 ตามลำดับ ผลลัพธ์ของการปรับเมชดังกล่าวแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 เหตุผลที่เลือกปรับระดับเมชเอลิเมนต์ เท่ากับ 4 5 6 และ 7 เนื่องจากเหมาะสมกับทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามภายในซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซิมูเลชันสามารถปรับระดับความละเอียดของ Refining Cell ได้สูงสุดถึง 9 ระดับ



รูปที่ 1 แบบจำลองหัวฉีดน้ำสำหรับงานวิจัย

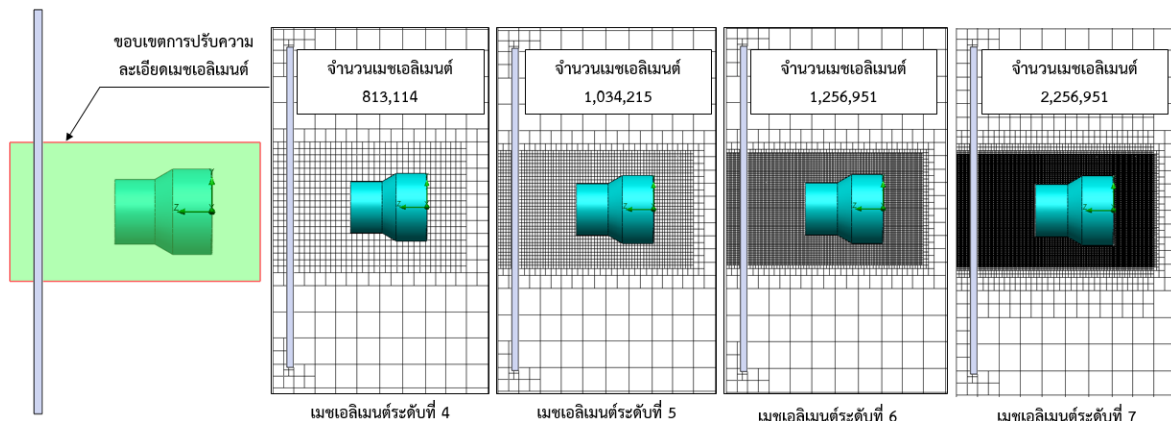


(ก) มุมมองด้านข้าง (Side View)



(ข) มุมมองด้านหลัง (Back View)

รูปที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขการคำนวณสำหรับงานวิจัย



รูปที่ 3 ผลลัพธ์การสร้างเมชเอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมิเลียนซ์

- ขั้นตอนการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล

หลังจากที่ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์ตามรูปที่ 2 ต่อมาคณะผู้วิจัยจะทำการคำนวณผลลัพธ์ทางพลศาสตร์ของไหล โดยกำหนดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบทั้งหมด 10 วินาที โดยกำหนดช่วงเวลาในการเก็บผลลัพธ์เท่ากับ 0.01 วินาที

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน กลุ่มแรกให้ทำการเรียนทฤษฎีการคำนวณเรื่องโมเมนต์และสมการพลังงานในการไหลอย่างเดียว ส่วนกลุ่มที่ 2 ให้เรียนทฤษฎีการคำนวณเรื่องโมเมนต์และสมการพลังงานในการไหลไปพร้อมกับการประยุกต์ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมิเลียนซ์ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

- ทำการทดสอบก่อนเรียนกับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 30 คน โดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียนในเนื้อหาเรื่อง “โมเมนต์และสมการพลังงานในการไหล” ที่ผ่านการประเมินความยากง่ายและความเชื่อมั่นของข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 30 ข้อ หลังจากนั้นทำการสอนภาคทฤษฎีในเนื้อหาดังกล่าว ให้กับนักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม

- ทำการทดสอบหลังเรียนสำหรับนักศึกษาในกลุ่มแรกด้วยข้อสอบที่ผ่านการประเมินความยากง่ายและความเชื่อมั่น จำนวน 30 ข้อ หลังผ่านการเรียนการสอนภาคทฤษฎี

- ทำการสอนขั้นตอนการใช้งาน ในส่วนของการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหลโซลิดเวิร์กโพลีซีมิเลียนซ์ให้นักศึกษากลุ่มที่ 2

- หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและสังเคราะห์ข้อมูลเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่อง “โมเมนต์และสมการพลังงานในการไหล” และเริ่มทำการคำนวณผลลัพธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ไปพร้อมกับการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหลโซลิดเวิร์กโพลีซีมิเลียนซ์ เพื่อคำนวณแรงของน้ำที่เกิดขึ้นและเทียบผลลัพธ์กับการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (คำนวณด้วยมือ) เพื่อหาผลเฉลี่ยของค่าตอบ

- ทำการทดสอบหลังเรียนกับนักศึกษากลุ่มที่ 2 เพื่อทดสอบความเข้าใจในภาคการเรียนทฤษฎีและทดสอบการประยุกต์ใช้งานซอฟต์แวร์ด้วยแบบทดสอบการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาเรื่อง “โมเมนต์และสมการพลังงานในการไหล” ที่ผ่านการประเมินความยากง่าย ความเชื่อมั่นของข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 30 ข้อ ทำการแจกแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม ในรายวิชาการศาสตร์ของไหล รหัส TEDME902 ในเรื่องของโมเมนต์และสมการพลังงานในการไหล ซึ่งแบบประเมินดังกล่าวมีรูปแบบเป็นไปตามงานวิจัยของ (Haarsa, 2024) และ (Verawahyuni, 2022)

- ซึ่งมีรูปแบบของการประเมินที่ 5 ระดับตามหลักของ Likert scale

- ทำข้อมูลของคะแนนที่ผ่านการทดสอบก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติและทำการสรุปผลการทดสอบในลำดับต่อไป

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยจะอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยมีขั้นตอนวิธีการดังนี้คือ

- สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถามของนักศึกษาและผลการตอบแบบสอบถามในส่วนของความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนเนื้อหาทางภาคทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งจะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย (Mean)
- สำหรับการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) จะอาศัยข้อมูลที่ได้รับมาจากการตอบแบบสอบถามในส่วนของความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนเนื้อหาทางภาคทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล
- สำหรับข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้อีกก่อนและหลังเรียน จะอาศัยการคำนวณตามรูปแบบทางสถิติทดสอบ (T-test dependent) เพื่อทำการวิเคราะห์และหาผลลัพธ์ของ IOC ในลำดับถัดไป สำหรับเกณฑ์การพิจารณา IOC พบว่าเป็นเกณฑ์ที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านการศึกษาและการพัฒนาสื่อ รวมไปถึงแบบทดสอบ ซึ่งจะใช้ประเมินความตรงระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ กล่าวคือ หลักการนำไปใช้คือ ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าแต่ละข้อเหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือไม่ (คะแนนอยู่ใน -1, 0, 1) หลังจากนั้นจะถูกคำนวณเป็น IOC (ข้อที่ $IOC \geq 0.50$ ถือว่าผ่านเกณฑ์ความตรงเชิงเนื้อหา) ตามเกณฑ์ของ Lawshe (1975)
- สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพเนื้อหาทางภาคทฤษฎีของรายวิชาการศาสตร์ของไหล TEDME902 และการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล จะใช้วิธีการทางสถิติ E_1/E_2 (Chuenchomnakjad et al., 2024)

ผลการวิจัย

ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยในส่วนของผลการศึกษารายวิชาการศาสตร์ของไหล รหัส TEDME902 ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี เรื่อง “โมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหล” ร่วมกับการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชันช่วยในการจำลองสถานการณ์การไหลของน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีดกระบอกผนัง โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการศาสตร์ของไหล จำนวน 30 คน ที่ผ่านการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน ซึ่งกลุ่มแรกให้ทำการเรียนทฤษฎีการคำนวณเรื่องโมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหลอย่างเดียว ส่วนกลุ่มที่ 2 ให้ทำการเรียนทฤษฎีการคำนวณเรื่องโมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหลไปพร้อมกับการประยุกต์ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน ผลที่ได้พบว่านักศึกษาในกลุ่มที่ 2 สามารถทำความเข้าใจและได้รับคะแนนหลังจากได้รับการทดสอบหลังเรียนที่ดีกว่านักศึกษาในกลุ่มแรก ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลเชิงเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อน – หลังเรียน เรื่อง โมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหล ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 2 กลุ่ม (n=30)

กลุ่มนักศึกษา	วิธีการเรียนรู้	คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน	คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน	การเปลี่ยนแปลง	ข้อสังเกตในระหว่างการวิจัย
กลุ่มที่ 1 (15 คน)	คำนวณผลลัพธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เรื่องโมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหล	16.1	21.0	+4.9	ความเข้าใจพื้นฐานเพิ่มขึ้น แต่ยังพบว่ามีปัญหาในด้านการเชื่อมโยงทางทฤษฎีกับสถานการณ์จริง
กลุ่มที่ 2 (15 คน)	คำนวณผลลัพธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เรื่องโมเมนตัมและสมการพลังงานในการไหล และใช้ซอฟต์แวร์ประกอบการเรียนรู้	15.8	26.2	+10.4	นักศึกษาเข้าใจภาพรวมของการไหลเพิ่มขึ้น และสามารถทำการเชื่อมโยงข้อมูลทางทฤษฎีกับสถานการณ์จริงได้ดีกว่า

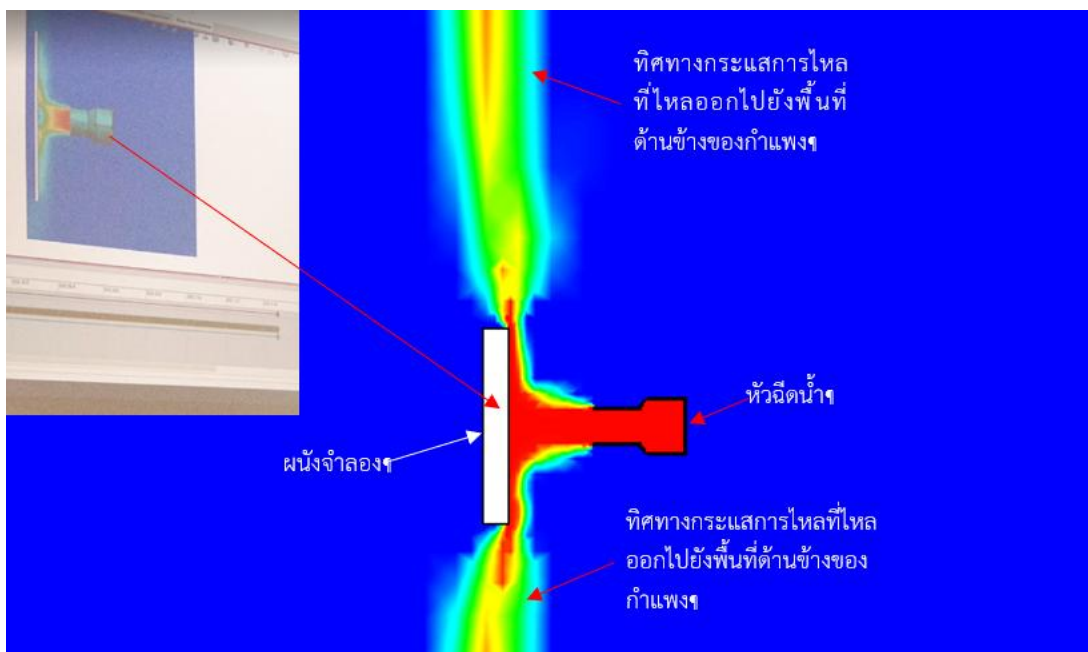
จากตารางที่ 2 พบว่านักศึกษาทั้งสองกลุ่มมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการสอนมีผลต่อการพัฒนาความรู้ของนักศึกษา โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงของคะแนนเฉลี่ย (+3.2) สูงกว่ากลุ่มที่ 1 (+1.9) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์จำลองพลศาสตร์ของไหลควบคู่กับการเรียนการสอนที่อิงสมการคำนวณช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกและมองเห็นภาพรวมของกระบวนการได้ชัดเจนยิ่งขึ้น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวัดผลการเรียนรู้จากการวัดผลการเรียนรู้อีกก่อนเรียนและวัดผลหลังการเรียน เพื่อหาประสิทธิภาพของการเรียนการสอนในรูปแบบดังกล่าว ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด พร้อมทั้งทำการจำลองภาพรูปแบบของแรงน้ำที่มีการเคลื่อนที่ออกจากหัวฉีดน้ำไปพร้อมกับอธิบายรูปแบบการคำนวณผลลัพธ์ด้วยมือ ผลการการศึกษามีผลลัพธ์ดังนี้

1. การจำลองผลเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล

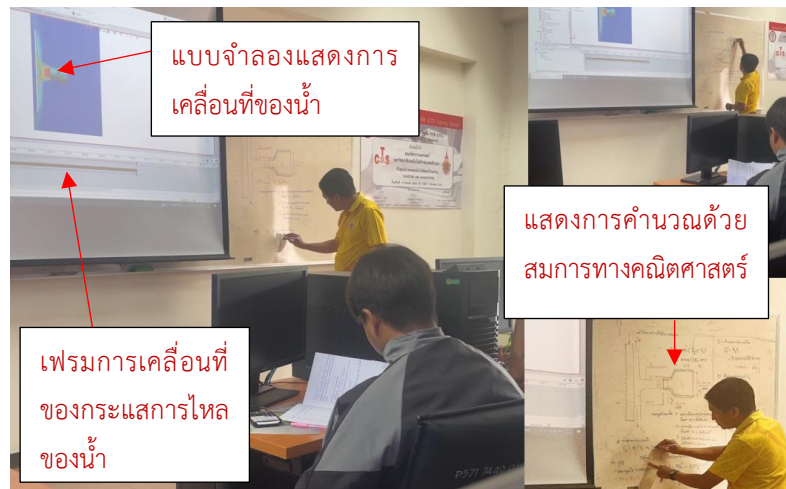
การจำลองผลเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลโดยประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน โดยทำการปรับการสร้างขอบเขตรูปแบบเมชเอลิเมนต์ในส่วนของ Local Mesh Setting และ Global Mesh Setting ที่ระดับ 4, 5, 6 และ 7 ตามที่แสดงในรูปที่ 3 ผลลัพธ์ความเร็วของน้ำที่ได้พบว่ามีค่าเท่ากับ 550, 537, 512 และ 490 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งการปรับรูปแบบของเมชเอลิเมนต์ในระดับ 7 ที่มีความละเอียดสูงพบว่า จะทำให้ผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์มากที่สุด เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนพบว่ามีค่าเท่ากับ 8.77 เปอร์เซ็นต์ ผลลัพธ์จากการจำลองเชิงตัวเลขด้วยซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 ผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้รับจากการซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน เป็นการแสดงผลภาพในรูปแบบ Plot contour ที่แสดงให้เห็นถึงค่าความเร็วน้ำที่วิ่งออกจากหัวฉีดน้ำและเข้าปะทะกับผนังจำลอง หลังจากนั้นกระแสน้ำของลำน้ำดังกล่าวจะเกิดการแยกตัวของกระแสน้ำและมีความเร็วและทิศทางการไหลแยกตัวออกไปยังพื้นที่ของกำแพงด้านข้างตามลำดับ จากปรากฏการณ์ดังกล่าวเมื่อนำมาจำลองเป็นภาพเคลื่อนไหวตามช่วงเวลาในแต่ละเฟรมที่กำหนดให้การคำนวณ จะสามารถแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่จากช่วงเวลาเริ่มต้นไปยังช่วงเวลาที่เกิดทิศทางการกระแสน้ำที่ไหลออกไปยังพื้นที่ด้านข้างของกำแพงได้อย่างชัดเจน ผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่เกิดขึ้นจะช่วยให้นักศึกษาเห็นภาพพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาดังกล่าวได้ชัดเจนและทำให้เกิดความเข้าใจในสนามการไหลของของไหลได้ดียิ่งขึ้น

จากรูปที่ 5 แสดงถึงบรรยากาศในระหว่างการเรียนการสอนวิชาการพลศาสตร์ของไหล โดยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชันเพื่ออธิบายสนามการไหลของน้ำที่วิ่งเข้าปะทะกับผนังในแต่ละเฟรมการเคลื่อนที่ ไปพร้อมกับการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (คำนวณด้วยมือ)



รูปที่ 4 ผลลัพธ์การจำลองเชิงตัวเลขของกระแสลำน้ำที่ไหลจากหัวฉีดที่ได้จากซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน



รูปที่ 5 บรรยากาศในระหว่างการเรียนการสอนในรายวิชาการครุศาสตร์ของไหลและการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการอธิบายรูปแบบและพฤติกรรมของการไหลของน้ำ

2. ผลการหาคุณภาพสื่อช่วยสอน

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยพิจารณาจากข้อมูลด้านการออกแบบบทเรียน การคำนวณโดยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโฟลว์ซิมูเลชัน เพื่อหาค่าเฉลี่ยการประเมินจากคำถาม 5 ข้อ พบว่ามีค่าเฉลี่ยในช่วง 4.50-4.75 จากช่วงของข้อมูลตัวเลขที่ได้รับสามารถนำมาใช้เพื่อแปลผลลัพธ์ของการประเมินได้ในระดับดีมากและดีมากที่สุด และพบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.59 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 ซึ่งเป็นตัวเลขเฉลี่ยที่แสดงถึงค่าคุณภาพการประเมินจากการแปลผลในเกณฑ์ระดับมาก ผลการประเมินในระดับดีมากและดีมากที่สุดนี้ แสดงให้เห็นว่าการออกแบบบทเรียนมีความเหมาะสมทั้งในด้านเนื้อหาและการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสะท้อนถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงในชั้นเรียนเพื่อยกระดับการเรียนรู้ของนักศึกษาได้อย่างมีคุณภาพ

ตารางที่ 3 ผลการประเมินของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ (ด้านการออกแบบ)

ข้อที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	SD	แปลผล
1	มีรูปร่าง ขนาดของแบบจำลอง 3 มิติที่ชัดเจน	4.60	0.52	มากที่สุด
2	รูปแบบการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ไม่ซับซ้อน	4.50	0.53	มากที่สุด
3	ความสะดวกในการใช้ประกอบการสอน	4.50	0.50	มาก
4	สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอน	4.75	0.53	มาก
5	แบบจำลอง 3 มิติก่อให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน	4.60	0.42	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย		4.59	0.52	มาก

ตารางที่ 4 ผลการประเมินของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ (ด้านใบงาน)

ข้อที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	SD	แปลผล
6	มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเป้าหมาย	4.80	0.32	มากที่สุด
7	มีขั้นตอนการปฏิบัติการทดลองตามคู่มือ	4.50	0.53	มาก
8	มีการกำหนดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดทักษะพิสัย	4.50	0.40	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย		4.60	0.42	มากที่สุด

จากตารางที่ 4 ผลการประเมินด้านใบงาน จากคำถาม 3 ข้อ พบว่ามีค่าเฉลี่ยในช่วง 4.50-4.80 จากช่วงของข้อมูลตัวเลขที่ได้รับสามารถนำมาใช้เพื่อแปลผลลัพธ์ของการประเมินได้ในระดับดีมากและดีมากที่สุด และพบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.60 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 ซึ่งบ่งชี้ว่าคุณภาพการประเมินอยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด ผลการประเมินใบงานที่อยู่ในระดับดีมากถึงดีมากที่สุดดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าใบงานมีความชัดเจน เหมาะสมกับเนื้อหา และส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสะท้อนถึงความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนและการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 5 ผลการประเมินของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ (ด้านแบบฝึกหัด)

ข้อที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	SD	แปลผล
9	เนื้อหา มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.70	0.42	มากที่สุด
10	เนื้อหา มีการใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	4.60	0.52	มาก
11	เนื้อหา มีการเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก	4.50	0.53	มากที่สุด
12	เนื้อหา มีการกำหนดกิจกรรมที่ทำให้เกิดทักษะที่สอดคล้องกับทฤษฎีที่กำหนด	4.60	0.52	มาก
	ค่าเฉลี่ย	4.60	0.50	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินด้านฝึกหัด จากคำถาม 4 ข้อ พบว่ามีค่าเฉลี่ยในช่วง 4.50-4.70 จากช่วงของข้อมูลตัวเลขที่ได้รับสามารถนำมาใช้เพื่อแปลผลลัพธ์ของการประเมินได้ในระดับดีมากและดีมากที่สุด และพบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.60 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 ซึ่งเป็นตัวเลขเฉลี่ยที่แสดงถึงค่าคุณภาพการประเมินจากการแปลผลในเกณฑ์ระดับมากที่สุด ผลการประเมินแบบฝึกหัดในระดับดีมากถึงดีมากที่สุดนี้ ได้สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมฝึกหัดที่ออกแบบมีความเหมาะสมกับเนื้อหา ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึก และสามารถกระตุ้นการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงตามเป้าหมายการเรียนรู้ของรายวิชา

จากงานวิจัยนี้พบว่า ขั้นตอนของการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองเชิงตัวเลขและสื่อการสอน โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านใบงาน และด้านแบบฝึกหัด เท่ากับ 4.596 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพสูงสุด นอกจากนี้ การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อ เนื้อหากับวัตถุประสงค์ พบว่าค่า IOC ของแต่ละข้อและเนื้อหาอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (≥ 0.50) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขและสื่อการสอนมีความเหมาะสมทั้งเชิงเนื้อหาและได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญและเป็นไปตามหลักการทางวิชาการ

3. ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชาการศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากงานแบบฝึกหัด (E_1) และผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากการวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E_2) สามารถแสดงการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพดังกล่าวได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชาการศาสตร์ของไหล

รายการคะแนน	N	คะแนนเต็ม	Σx	Σy	ร้อยละ
คะแนนแบบฝึกหัดและใบงาน (E_1)	30	50	1,202	-	80.13
คะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E_2)	30	30	-	745	82.77

จากตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชาการศาสตร์ของไหล ได้แสดงให้เห็นว่านักศึกษาที่นำมาใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน ที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 สามารถทำคะแนนใบงานและคะแนนจากแบบฝึกหัด (E_1) ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 80.13 ส่วนคะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E_2) นักศึกษาได้ตอบถูกเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 82.77 ซึ่งผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทั้งสองพบว่าคะแนนรวมทั้งหมดมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นจากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหลมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ของวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 80/80 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ดังกล่าว ได้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูเลชัน ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการฝึกปฏิบัติและผลสัมฤทธิ์หลังเรียน ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของเครื่องมือในการสนับสนุนการเรียนการสอนเชิงวิศวกรรมที่เน้นทั้งทฤษฎีและการประยุกต์ใช้จริง

สรุปและอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูเลชันในรายวิชากลศาสตร์ของไหลให้ได้ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และเพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการสอนของนักศึกษาที่ทดลองเรียนบนการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูเลชันไปพร้อมกับการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (คำนวณด้วยมือด้วยตามวิธีการเรียนแบบดั้งเดิม) บนพื้นฐานการเรียนแบบปกติ ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการแบบเจาะจงกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชากลศาสตร์ของไหล (รหัส TEDME902) และใช้แผนการทดลองจริงในรูปแบบการทดลองที่มีกลุ่มควบคุม โดยเก็บข้อมูลเฉพาะหลังการดำเนินโครงการ ผลการศึกษาพบว่าคะแนนหลังเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มสูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการสอนมีผลต่อการพัฒนาความรู้ของนักศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่ 2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงของคะแนนเฉลี่ย (+3.2) สูงกว่ากลุ่มที่ 1 (+1.9) แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูเลชันควบคู่กับการเรียนการสอนที่อิงสมการคำนวณช่วยให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกและเห็นภาพรวมของกระบวนการได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดที่ว่า การใช้เครื่องมือดิจิทัลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้ดีกว่าการสอนแบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ จะประกอบไปด้วยผลลัพธ์ที่สำคัญ 3 ส่วนคือ การจำลองผลเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลโดยประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์โซลิดเวิร์กโพลีซีมูเลชัน การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ การพิจารณาความเหมาะสมและการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพสื่อการสอน ผลจากการวิจัยนี้พบว่า การจำลองเชิงตัวเลขโดยทำการปรับรูปแบบเมชเอลิเมนต์ในส่วนของ Local Mesh Setting และ Global Mesh Setting ที่ระดับ 4 5 6 และ 7 จะได้ผลลัพธ์แรงกระทำของน้ำ 550 537 512 และ 490 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนแนวโน้มว่าค่าของแรงกระทำลดลงเมื่อระดับความละเอียดของเมชเพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากการที่โครงสร้างเมชที่ละเอียดขึ้นสามารถแทนที่รูปทรงเรขาคณิตของของไหลได้แม่นยำกว่าเดิม ทำให้ค่าที่คำนวณได้มีเสถียรภาพและใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากขึ้น ส่วนผลจากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ได้แสดงผลลัพธ์เป็นค่าเฉลี่ยของการประเมินในแต่ละด้านของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพระดับมากที่สุด ขณะที่การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อ เนื้อหากับวัตถุประสงค์ พบว่าค่า IOC ของแต่ละข้อและเนื้อหาอยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (≥ 0.50) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขและสื่อการสอนมีความเหมาะสมทั้งเชิงเนื้อหาและได้รับการยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ร่วมกับทฤษฎีสำหรับการเรียนการสอนวิชากลศาสตร์ของไหล ได้แสดงให้เห็นว่านักศึกษานำมาใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน ในกลุ่มที่ 2 สามารถทำคะแนนใบงานและคะแนนจากแบบฝึกหัด (E1) ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 80.13 ส่วนคะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (E2) นักศึกษาได้ตอบถูกเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 82.77 ซึ่งผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทั้งสองพบว่าคะแนนรวมทั้งหมดมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 ผลลัพธ์จากการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ ได้ส่งผลทำให้นักศึกษาในรายวิชากลศาสตร์ของไหล รหัส TEDME902 ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พิชญ์โลกมีผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองเชิงตัวเลขช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจเชิงลึกมากขึ้น สามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวของการไหลของน้ำจากหัวฉีดที่ปะทะกับผนังได้อย่างชัดเจน และสามารถเชื่อมโยงความเข้าใจจากการคำนวณด้วยมือเข้ากับการจำลองเชิงวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลคะแนนก่อนและหลังเรียนเพื่อการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่ได้เกี่ยวข้องกับข้อมูลด้านสุขภาพหรือข้อมูลส่วนบุคคลที่อ่อนไหว อีกทั้งผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ให้ความยินยอม

โดยสมัครใจ ข้อมูลทั้งหมดถูกรายงานในลักษณะภาพรวมโดยไม่เปิดเผยตัวตนของผู้เข้าร่วม ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยแต่อย่างใด

จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดโดยการขยายการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ CFD ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องพร้อมพัฒนาโมดูลการเรียนรู้แบบออนไลน์ร่วมกับการจำลองเชิงตัวเลข รวมถึงการติดตามผลสัมฤทธิ์ระยะยาวและการบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และความเป็นจริงเสมือน (VR) เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาเครื่องมือประเมินเฉพาะด้านเพื่อวัดความเข้าใจในการใช้ซอฟต์แวร์อย่างเป็นระบบในอนาคต งานวิจัยลักษณะนี้อาจต่อยอดสู่การสร้างแพลตฟอร์มการเรียนรู้แบบอัจฉริยะที่ผสาน CFD กับ AI และสื่อการเรียนรู้เชิงโต้ตอบในรูปแบบ VR/AR เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึก ตลอดจนประยุกต์ใช้สนับสนุนการวิจัยและการสอนด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม เช่น การออกแบบเครื่องจักรกล ระบบพลังงานทดแทน และกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยขยายการใช้งานซอฟต์แวร์ CFD จากระดับห้องเรียนสู่ภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี รวมทั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชญ์โลก ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูล ตลอดจนงบประมาณบางส่วนในการพัฒนางานวิจัยและสื่อการสอน จนทำให้การดำเนินงานครั้งนี้บรรลุผลสำเร็จอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Alnaimat, F., & Mathew, B. (2024). Improved teaching and education of engineering students using computational fluid dynamics. *Human Factors in Design, Engineering, and Computing*, 159, 1921–1927. <http://doi.org/10.54941/ahfe1005759>.
- Chonpairot, C., Khansila, P., and Nongharnpituk, P. (2024). Development of a Lesson on Prisms and Cylinders using the CPA Approach with Geogebra to Enhance Learning Achievement for Grade 8 Students. *Journal of Industrial Education*, 23(2), 15-26. <https://doi.org/10.55003/JIE.23205>. [in Thai]
- Chuenchomnakjad, S., Sema, P., Tantrabandit, M., Yingyuen, W., and Promseenong, P. (2024). Teaching and Learning Development for Enhance of Electric Vehicle Technology Competency. *Journal of Technical and Engineering Education*, 15(3), 1-9. <https://so10.tci-thaijo.org/index.php/FTEJournal/article/view/1000/833>. [in Thai]
- Haarsa, P. (2024). Solving Bernoulli's Equations Using Python: Enhancing Student Understanding Through Inquiry-Based Learning. *Unnes Journal of Mathematics Education*, 13(3), 210-219. <https://doi.org/10.15294/ujme.v13i3.14283>.
- Khamphira, I. (2023, 24-26 May. 2023). The result online learning on Thai Massive Open Online Course in Civil Engineering Drawing and Reading course. *2023 28th National Convention on Civil Engineering*. (pp. CEE07-1–CEE07-5). Faculty of Engineering Prince of Songkla University Hat Yai Campus. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2478/1359>. [in Thai]
- Khamprawat, B., Tipparach, U., Piromjitpong, T., Wuttisela, K., and Wuttirom, S. (2025). Student-Constructed Low-Cost Experimental Kits for Enhancing Inquiry-Based Learning in High School Fluid Dynamics. *Journal of Science and Science Education*, 8(1), 24-31. <https://doi.org/10.14456/jsse.2025.03>. [in Thai]
- Lahamornchaiyakul, W., & Lonphan, K. (2023). Numerical simulation of small water turbine generator using k-epsilon and k-omega model. *Journal of Engineering and Innovation*, 16(1), 168-182. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/243351/168730. [in Thai]

- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>.
- Li, X., & Cheung, S. C. (2025). A learning-centred computational fluid dynamics course for undergraduate engineering students. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 53(2), 256–276. <https://doi.org/10.1177/03064190231224334>.
- Mekkaew, C., and Thaisit, P. (2024). The Development of Computer Assisted Instruction of GEN 133: Graphic Engineering on Orthographic Projection First Angle. *Journal of Industrial Education*, 23(3), 48–58. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JIE/article/view/254511/173998>. [in Thai]
- Ng, P.M.L., Chan, J.K.Y. & Lit, K.K. (2022). Student learning performance in online collaborative learning. *Education and Information Technologies*, 27(6), 8129–8145. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10923-x>.
- Santiwes, S., Charoenpong, T., and Srihiran, K. (2022). Computer Software Development for Color Matching in Architectural Design. *Journal of Building Energy & Environment*, 5(1), 24–41. <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/bee/article/view/74/44>. [in Thai]
- Sittisak, R., Aroonsiwagool, A., Bangtho, K., Jai-on, K., & Damsri, C. (2022). Developing Computational Thinking of Elementary School Students with Scratch Program. *Suratthani Rajabhat Journal*, 9(1), 140–158. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/srj/article/view/247443/174664>. [in Thai]
- SOLIDWORKS. (2024). *What's New in SOLIDWORKS 2024: Load SOLIDWORKS Flow Simulation Modules*. https://help.solidworks.com/2024/English/WhatsNew/c_wn_flow.htm.
- Stern, F., Xing, T., Yarbrough, D. B., Rothmayer, A., Rajagopalan, G., Prakashotta, S., & Moeykens, S. (2006). Hands-on CFD educational interface for engineering courses and laboratories. *Journal of Engineering Education*, 95(1), 63–83. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00878.x>
- Thaisit, P. (2021). The Development of Computer-Assisted Instruction: Computer-Aided Drawing Subject on 3d Image Creation With Tools in SOLIDWORKS Software. *Journal of Industrial Education*, 20(3), 101–111. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JIE/article/view/245037/168081>. [in Thai]
- Tian, Z. F., & Abraham, J. (2014). Application of computational fluid dynamics (CFD) in teaching internal combustion engines. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 42(1), 73–83. <https://doi.org/10.7227/IJMEE.42.1>.
- Verawahyuni, H. (2022). Implementation of the Guided Inquiry Model Learning to Reduce Misconceptions of Static Fluid Materials Students of State Junior High School 19 Samarinda Semester Ii, 2019/2020 Academic Year. *JPPIPA (Jurnal Penelitian Pendidikan IPA)*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.26740/jppipa.v7n1.p1-9>.
- Wang, Z., & Gao, D. (2017, 29–30 May. 2017). The Application of CFD in Teaching of Fluid Machinery. In *3rd International Conference on Arts, Design and Contemporary Education (ICADCE 2017)*. (pp. 554–557). Published by Atlantis Press. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icadce-17/25881373>.

การอ้างอิงบทความนี้

- APA Lahamornchaiyakul, W., Jittham, W., Sriwattanawarunyoo, S. & Mongkolchaichana, S., (2025). Application of Computer Software for Teaching Fluid Mechanics to Undergraduate Students. *Journal of Technical and Engineering Education*, 16(3), 51-70 Thaijo. <https://doi.org/10.14416/j.ftce.2025.12.05>
- MLA Lahamornchaiyakul, Werayoot et al. "Application of Computer Software for Teaching Fluid Mechanics to Undergraduate Students" *Journal of Technical and Engineering Education*, vol. 16, no. 3, Dec. 2025, pp. 51-70, <https://doi.org/10.14416/j.ftce.2025.12.05> Thaijo.
- ISO690 W. Lahamornchaiyakul, W Jittham, S Sriwattanawarunyoo & S Mongkolchaichana "Application of Computer Software for Teaching Fluid Mechanics to Undergraduate Students" *Journal of Technical and Engineering Education*, vol. 16, no. 3, pp. 51-70, Dec. 2025, doi: <https://doi.org/10.14416/j.ftce.2025.12.05>