

การพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม The Development of Instructional Specimens for Studying the Effect of Welding Parameters

สุภารัตน์ บุตรไชย¹, ณัฐ แก้วสกุล^{1*}, ธวัชชัย คำแดง¹, อัญญารัตน์ สอนสนาม¹ และ ภาวิณี อ่างบุญตา¹
Suparat Bootchai¹, Nut Kaewsakul^{1*}, Thawatchai Khamdaeng¹, Anyarat Sonsanam¹
and Parvinee Angboonta¹

(วันรับบทความ : 30 กรกฎาคม 2567/วันแก้ไขบทความ : 26 สิงหาคม 2567/วันตอบรับบทความ : 29 สิงหาคม 2567)

(Received Date : July 30, 2024, Revised Date : August 26, 2024, Accepted Date : August 29, 2024)

บทคัดย่อ

งานเชื่อมมีความสำคัญในงานก่อสร้างและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ทำให้มีความต้องการช่างเชื่อมที่มีคุณภาพ ซึ่งหมายถึงมีความต้องการครูช่างเชื่อมที่มีความรู้ ความชำนาญมากขึ้น ครูช่างเชื่อมที่มีคุณภาพจะสามารถถ่ายทอด ความรู้และทักษะการเชื่อมได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ทำให้ผู้เรียนมีพื้นฐานที่ดีในการประกอบอาชีพ จากงานวิจัยที่ผ่านมา แม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น กระแสไฟเชื่อม และความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่ส่งผลต่อรอยเชื่อม อยู่บ้าง แต่สื่อการเรียนการสอนที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมยังมีอยู่ไม่มากนัก งานวิจัยนี้ จึงได้จัดทำชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน สำหรับการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม โดยใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ของหุ่นยนต์เชื่อม เพื่อหาคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน และเพื่อหาค่าความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย การสร้างชิ้นงานตัวอย่าง ที่ใช้กระแสไฟเชื่อม 190A, 210A, และ 250A ความเร็ว ในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม 3.0, 3.5 และ 4.0mm/s โดยได้กำหนดให้แรงดันเชื่อมและระยะยึดของปลายลวดเชื่อมคงที่ รวมทั้งใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการปกคลุม นอกจากนี้ยังมีแผนการสอน สื่อการสอนและแบบทดสอบ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จำนวน 15 คน สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test for dependent samples) โดยผลการวิจัยพบว่า คุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมมีค่าเฉลี่ยในภาพรวม เท่ากับ 4.18 (S.D.=0.71) มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก เมื่อแยกวิเคราะห์ในแต่ละด้าน พบว่าระดับความเหมาะสมของ การวัดและการประเมินผลมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือด้านเนื้อหาและด้านชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน ตามลำดับ เมื่อนำชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนนี้ไปใช้สอนจริง พบว่าทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้เป็นสื่อการสอน ในการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ($\bar{X}$ =4.51, S.D.=0.68)

คำสำคัญ : ชิ้นงานตัวอย่าง, ปัจจัยงานเชื่อม, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

¹ Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: nut_k@rmutt.ac.th

* Corresponding author e-mail: nut_k@rmutt.ac.th

Abstract

Welding is very important in construction and various industries, leading to a high demand for skilled welders, which in turn requires knowledgeable and skilled welding instructors. Quality welding instructors can accurately and thoroughly teach welding knowledge and skills, giving students a good foundation for their careers. Although previous research has studied the effect of welding parameters i.e., welding currents and travel speed, there are still limited educational materials on welding. This research aims to develop instructional specimens and teaching materials for studying the effect of welding parameters made by Gas Metal Arc Welding (GMAW) using welding robots. The quality, the learning outcome and the satisfaction of these instructional specimens and teaching materials were evaluated. The research tools include the creation of instructional specimens using welding currents of 190A, 210A, and 250A, and travel speeds of 3.0, 3.5 and 4.0mm/s, with constant welding voltage and contact tip to work distance (CTWD) and using carbon dioxide gas for shielding. Additionally, there are lesson plans, teaching materials, and exercises. The research sample consisted of 15 first-year students in the Industrial Engineering program of the Faculty of Technical Education. Data were analyzed using mean, standard deviation, and t-test (Dependent). The research results showed that the quality of the instructional specimens and teaching materials for studying the effect of welding parameters had an overall mean of 4.18 (S.D.=0.71), indicating good quality. When analyzing each part, the measurement and evaluation scored highest, followed by content, and then the instructional specimens with teaching materials. The learning outcomes showed that post-test was significantly higher than pre-test, with statistical significance at the 0.05 level. Additionally, the overall satisfaction of students on instructional specimens and teaching materials was very high ($\bar{X}$ =4.51, S.D.=0.68).

Keyword : instructional specimens, welding parameters, learning outcomes

บทนำ

งานเชื่อมมีความสำคัญอย่างมากในงานก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท การก่อสร้างอาคารและสะพาน รวมทั้งมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมการต่อเรือ อุตสาหกรรมพลังงาน ทำให้มีความต้องการช่างเชื่อมที่มีคุณภาพเป็นจำนวนมาก ซึ่งหมายถึงมีความต้องการครูช่างเชื่อมที่มีความรู้ ความชำนาญมากเช่นกัน ครูช่างเชื่อมที่มีคุณภาพจะสามารถถ่ายทอดความรู้และทักษะการเชื่อมได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ทำให้ผู้เรียนมีพื้นฐานที่ดีในการประกอบอาชีพ การเรียนรู้ทฤษฎีและการฝึกปฏิบัติที่มีมาตรฐานจะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามทฤษฎีของ David Kolb เรื่องการเรียนรู้โดยการกระทำ (Experiential Learning Theory) (Kolb, 1984) ที่เน้นการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ตรงและการปฏิบัติจริง นอกจากนี้ ครูที่มีคุณภาพยังเน้นการฝึกปฏิบัติที่ปลอดภัยและสอนให้นักเรียนปฏิบัติตามมาตรฐานความปลอดภัยในงานเชื่อม ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บอีกด้วย (Dejagupta & Kengkan, 2012) (Thanyaprasertsiri et al., 2023)

โดยปัจจุบัน หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้มีการเพิ่มเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์และสื่อการสอนต่าง ๆ ให้ทันสมัย เพื่อช่วยให้นักศึกษาได้เรียนรู้ ส่งเสริมให้เข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น เช่น หุ่นยนต์เชื่อม ซึ่งหุ่นยนต์เชื่อม คือระบบอัตโนมัติที่ใช้ในการเชื่อมวัสดุต่าง ๆ โดยใช้หุ่นยนต์เป็นตัวดำเนินการหลัก โดยหุ่นยนต์เชื่อมจะถูกโปรแกรมให้ทำงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดไว้ มีความแม่นยำและความสม่ำเสมอสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของงานเชื่อม หุ่นยนต์เชื่อม

จะใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้เชื่อมงานท่อและโครงสร้างเหล็ก เช่น โครงสร้างสะพาน (Structural Bridge) โครงสร้างอาคารสูง (Construction) และประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น (Jenney & O'Brien, 2004) แต่การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุมยังเกิดปัญหาอยู่บ้าง เช่น การเกิดรอยแตกร้าว (Cracking) การหลอมลึกด้านรากของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ (Lack of Root Penetration) และการหลอมลึกด้านข้างของรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ (Lack of Sidewall Penetration) (Jenney & O'Brien, 2004) (Tukahirwa & Wandera, 2023) การแก้ไขปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องมีความเข้าใจในตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม และการฝึกฝนทักษะของช่างเชื่อมให้มีความชำนาญ นอกจากนี้การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดก็เป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งการตรวจสอบงานเชื่อมแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) ด้วยวิธีพินิจ (Visual Testing : VT) และด้วยการใช้สารแทรกซึม (Penetrant Testing, PT) เป็นการวิเคราะห์รอยเชื่อม เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องภายนอก เช่น รอยแตกร้าว การกระเด็นของโลหะ หรือการบิดเบี้ยว ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการตรวจสอบพื้นฐานที่ง่าย สะดวกและนิยมใช้ในการตรวจสอบรอยเชื่อมเบื้องต้น (Halmslaw, 1991)

ภูริ กาลเนากุล และตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ (Kalnaowakul & Yingsamphancharoen, 2022) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A36 โดยใช้กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ โดยปรับกระแสไฟเชื่อม 180 - 260 A จากผลการทดลองพบว่า รอยเชื่อมของทุกชิ้นงานมีลักษณะสมบูรณ์ เมื่อตรวจดูด้วยวิธีพินิจ ไม่พบรอยแตก แต่ทั้งนี้การเชื่อมโดยใช้กระแสไฟเชื่อม 180A และ 200A ให้สมบัติทางกลที่ดีที่สุด โดยชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 220A มีอัตราการเกิดการกัดกร่อนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมค่าอื่น ๆ

นอกจากการศึกษาลักษณะผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟเชื่อมของ ภูริ กาลเนากุล และตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ (Kalnaowakul & Yingsamphancharoen, 2022) ยังมีการศึกษาผลกระทบของกระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม ดังงานวิจัยของ Ario Sunar Baskoro และคณะ (Baskoro et al., 2020) ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะของกระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่มีผลต่อการบิดงอ (distortion) ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A36 ที่ได้จากการเชื่อมด้วยวิธีการอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม โดยใช้วิธีทาคุชิ (Taguchi) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานบิดงอน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 170 A และความเร็วในการเชื่อมที่ 4.0 mm/s เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการบิดงอตามแนวยาว (longitudinal bending distortion) และบิดงอเชิงมุม (angular distortion) น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสไฟเชื่อมมีผลต่อการบิดงอตามแนวยาว 64.36% ในขณะที่การบิดงอเชิงมุมได้รับอิทธิพลจากความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม 53.38%

วันชัย โกมลหิรัญ และตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ (Komonhirun & Yingsamphancharoen, 2006) ได้ทำการสร้างสื่อการสอนและสร้างชุดปฏิบัติศึกษา เรื่องการวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสีในงานเชื่อม เพื่อมุ่งเสริมสร้างความรู้ความสามารถ ความเข้าใจในเนื้อหาการเรียนรู้ ทำให้ผู้ศึกษาเกิดความมั่นใจในการวิเคราะห์และตัดสินผลงานเชื่อม โดยชุดสื่อการสอนประกอบด้วย 1) ขึ้นทดสอบสำหรับวิเคราะห์ หลักการพื้นฐานการถ่ายภาพรังสี จำนวน 4 ชิ้น 2) ขึ้นทดสอบงานเชื่อมในลักษณะกำหนด ประกอบด้วย ขึ้นทดสอบงานเชื่อมสมบูรณ์ ไม่ปรากฏข้อบกพร่อง (Non-Defect) และขึ้นทดสอบที่ปรากฏข้อบกพร่องในงานเชื่อมที่สำคัญ 8 ลักษณะ 3) ชุดฟิล์มถ่ายภาพรังสีของขึ้นทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าชุดสื่อการสอนนี้สามารถตอบสนองลักษณะการเรียนรู้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะขึ้นทดสอบงานเชื่อมสามารถเปิดเผยถึงข้อบกพร่องที่ตรวจพบในภาพถ่ายรังสีให้ปรากฏ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา แม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมและกระแสไฟเชื่อมที่ส่งผลต่อรอยเชื่อมอยู่บ้าง (Baskoro et al., 2020) (Kalnaowakul & Yingsamphancharoen, 2022) แต่สื่อการเรียนการสอนที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมยังมีอยู่ไม่มากนัก (Komonhirun & Yingsamphancharoen, 2006) เพื่อให้ผู้เรียนได้เข้าใจผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อคุณภาพของรอยเชื่อม การสร้างสื่อการสอนและชิ้นงานตัวอย่างที่สามารถอธิบายได้ว่า ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ของหุ่นยนต์เชื่อม เช่น กระแสไฟเชื่อม (Welding Current) และความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (Travel Speed) มีผลอย่างไรต่อคุณภาพของ

รอยเชื่อมจึงมีความสำคัญ ที่จะช่วยทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มองเห็นภาพได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถผลิตครูช่างเชื่อมที่มีคุณภาพ มีความรู้ ทักษะ และมาตรฐานที่สูง ซึ่งจะช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมและสร้างความปลอดภัยในการทำงานต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36
2. ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในการเชื่อม ได้แก่ กระแสไฟเชื่อม (Welding Current) และความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (Travel Speed) ใช้แรงดันเชื่อมคงที่ และใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
3. ใช้การเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ด้วยหุ่นยนต์เชื่อม KUKA รุ่น KR 8 R1420 arc HW และเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS500
4. เชื่อมโดยใช้ท่าราบ (Flat Position: PA)
5. ใช้ลวดเชื่อม ER70S-6 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 mm มุมลวดเชื่อม 90°
6. กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม 15 คน
7. การหาคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนโดยการสร้างแบบประเมินให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน โดยแบ่งหัวข้อเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน และด้านการวัดและการประเมินผล
8. เปรียบเทียบผลคะแนนทดสอบก่อนและหลังใช้ชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนโดยการวิเคราะห์ค่าสถิติ t-test (Dependent Sample t-test)

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom action research) ชนิดการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Design) โดยใช้การวิจัยแบบ One-group pretest posttest design เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ก่อนเรียน (Pre-test) และหลังเรียน (Post-test) ของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 173 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จำนวน 15 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม จำแนกตามห้องเรียน ซึ่งแต่ละห้องเรียนมีผลการเรียนคละกันทุกห้อง

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ชิ้นงานตัวอย่างสร้างโดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุมเป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์เชื่อม KUKA รุ่น KR 8 R1420 arc HW และเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS500 ตามปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดตามตารางที่ 1 ทำการเชื่อมชิ้นงานบนเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A36 ในท่าราบ มุมหัวเชื่อมเป็น 90° โดยจะปรับตั้งค่าระยะยึดของปลายลวดเชื่อม 10 mm โดยทำการวัดตั้งแต่ท่อนำกระแสถึงปลายลวด รูปภาพขณะหุ่นยนต์ทำงานเชื่อม แสดงดังรูปที่ 1 (ก) ชิ้นงานที่ได้หลังจากทำความสะอาดเสร็จแล้ว แสดงดังรูปที่ 1 (ข) หลังจากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดมาตรวจสอบด้วยวิธีการ

ตรวจพินิจ สังเกตความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม วัดความกว้างและความนูนของรอยเชื่อม และตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrate Testing) เพื่อหารอยบกพร่องที่เกิดบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อม รวมทั้งสร้างใบความรู้และสื่อการสอนเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีหัวข้อดังนี้

- กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะด้วยแก๊สปกคลุม
- ปัจจัยในการเชื่อม
 - 1) กระแสเชื่อม
 - 2) ความเร็วของหัวเชื่อม
 - 3) ระยะอาร์ก
 - 4) ชนิดของแก๊ส
 - 5) มุมลวดเชื่อมกับชิ้นงาน
- ตำแหน่งในงานเชื่อม
- การตรวจสอบรอยเชื่อมแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)

ตารางที่ 1 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานตัวอย่าง

Specimen group	Current (A)	Travel speed mm/s	Shielding gas	Flow measurement (L/min)	CTWD (mm)
1	190	3.0, 3.5, 4.0	CO ₂	12	10
2	210	3.0, 3.5, 4.0	CO ₂	12	10
3	250	3.0, 3.5, 4.0	CO ₂	12	10



(ก) หุ่นยนต์กำลังเชื่อมชิ้นงาน



(ข) ชิ้นงานหลังเชื่อมเสร็จ

รูปที่ 1 ลักษณะการเชื่อมและชิ้นงานเชื่อมเสร็จ



รูปที่ 2 ตัวอย่างสื่อการสอนเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม

นอกจากนี้ยังมีแบบประเมินคุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความสามารถในงานเชื่อม และมีประสบการณ์การใช้หุ่นยนต์เชื่อม แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน ซึ่งเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ (Srisa-ard, 2011)

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยออกแบบและสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม

ผู้วิจัยเข้าพบกลุ่มตัวอย่างเพื่อชี้แจงรายละเอียดโครงการวิจัย โดยการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จะไม่มีผลกระทบต่อคะแนนในรายวิชาใดของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน จากนั้นผู้วิจัยสอนเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมโดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟเชื่อมและความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมประกอบกับการบรรยายร่วมกับสื่อการสอนทั้งหมด

หลังจากศึกษาเรียบร้อยแล้ว ให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียนจากนั้นทำแบบสอบถามความพึงพอใจ

นำผลการทำแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน รวมทั้งแบบสอบถามความพึงพอใจมาวิเคราะห์โดยกระบวนการทางสถิติและสรุปผลการวิจัย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

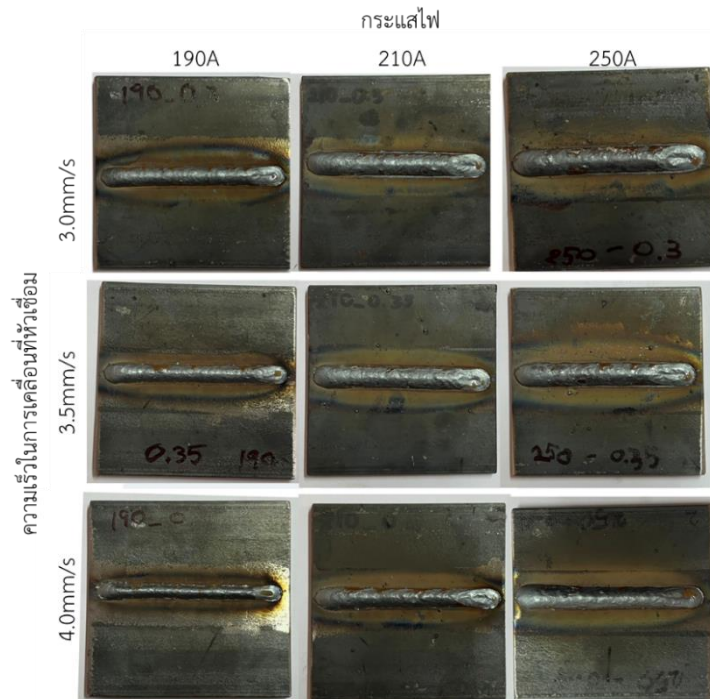
ประเมินผลการพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าทางสถิติ t-test (T-test for dependent samples) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และประเมินสำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนด้วยการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) (Srisa-ard, 2011) รวมทั้งวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนโดยใช้ร้อยละค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงพรรณนา (Content analysis) (Srisa-ard, 2011)

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาสื่อการสอนชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม ผู้วิจัยได้สร้างชิ้นงานตรวจสอบชิ้นงาน รวมทั้งรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของการจัดทำสื่อการสอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการสร้างชิ้นงานตัวอย่างและการตรวจสอบรอยเชื่อม

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมด้วยปัจจัยต่าง ๆ ตามที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 3 จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดมาตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจพินิจ พบว่ารอยเชื่อมของชิ้นงานมีลักษณะสมบูรณ์สม่ำเสมอ โดยผลการการวัดความกว้างและความนูนของรอยเชื่อมทุกชิ้นงาน แสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมจะทำให้ความกว้างและความนูนของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมมีผลทำให้ความกว้างและความนูนของรอยเชื่อมลดลง



รูปที่ 3 ชิ้นงานหลังจากเชื่อมตามปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนด

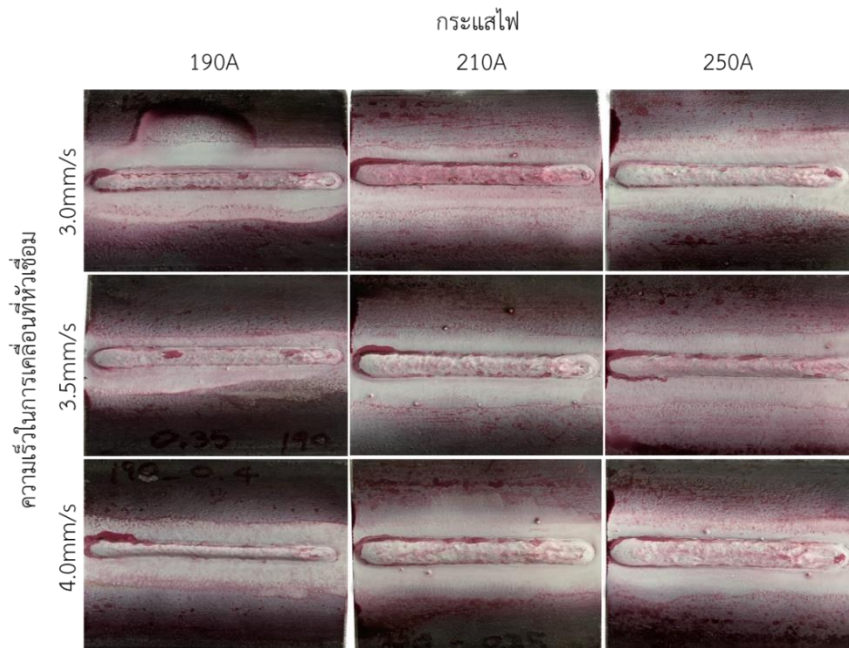
ตารางที่ 2 ค่าความกว้างของรอยเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยปัจจัยต่าง ๆ

		กระแสไฟ		
		190A	210A	250A
ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม	3.0 mm/s	9 mm	11 mm	12 mm
	3.5 mm/s	8 mm	11 mm	11 mm
	4.0 mm/s	8 mm	10 mm	12 mm

ตารางที่ 3 ค่าความนูนของรอยเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยปัจจัยต่าง ๆ

		กระแสไฟ		
		190A	210A	250A
ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม	3.0 mm/s	5 mm	5 mm	6 mm
	3.5 mm/s	5 mm	5 mm	5 mm
	4.0 mm/s	4 mm	5 mm	5 mm

นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจพินิจมาตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrate Testing) เพื่อหา รอยบกพร่องที่เกิดบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อม โดยผลการตรวจชิ้นงานด้วยสารแทรกซึม แสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ชิ้นงานที่ เชื่อมด้วยกระแสไฟ 190A ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม 3.0 mm/s และชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 190A ความเร็ว ในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม 3.5 mm/s พบความบกพร่องในรอยเชื่อมของฟองอากาศและรอยแตกร้าว หมายความว่า ถ้าทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้าที่ต่ำเกินไป แม้จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีความกว้างและความนูนเหมาะสม แต่ก็อาจจะทำให้ เกิดข้อบกพร่อง เช่น รอยแตกร้าว หรือฟองอากาศได้ (Srikarun, 2017) (Wattanathum, 2024)



รูปที่ 4 ผลการตรวจชิ้นงานด้วยสารแทรกซึม

2. ผลการประเมินการพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินภาพรวมของพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนนี้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.18$, S.D.=0.71) เมื่อแยกวิเคราะห์ในแต่ละด้าน จะพบว่าระดับความเหมาะสมของการวัดและการประเมินผล มีค่ามากที่สุด ($\bar{X}=4.33$, S.D.=0.63) รองลงมาคือ ด้านเนื้อหา ($\bar{X}=4.13$, S.D.=0.66) และด้านชิ้นงานตัวอย่าง และสื่อการสอน ($\bar{X}=4.07$, S.D.=0.83) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมจากผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. เนื้อหา	4.13	0.66	มาก
2. ชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน	4.07	0.83	มาก
3. การวัดและการประเมินผล	4.33	0.63	มาก
รวมเฉลี่ย	4.18	0.71	มาก

3. ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา (IOC) จำนวน 20 ข้อ พบว่าแบบทดสอบที่มีค่า IOC เท่ากับ 0.67 มีจำนวน 9 ข้อ และแบบทดสอบที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 มีจำนวน 11 ข้อ ซึ่งทั้ง 20 ข้อ มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5-1.0 สามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการแก้ไขตามคำแนะนำเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญต่อไป

4. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

ด้วยชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม แสดงดังตารางที่ 5 พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 15.07 ($\bar{X}=15.07$, S.D.=1.79) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนที่มีค่าเท่ากับ 10.47 ($\bar{X}=10.47$, S.D.=1.77) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชิ้นงานตัวอย่าง
และสื่อการสอนสำหรับการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อ

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	T-test
ก่อนเรียน	15	20	10.47	1.77	10.59
หลังเรียน	15	20	15.07	1.79	

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, df = 14

5. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อ แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า

ผู้เรียนมีความพึงพอใจและเห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างช่วยเสริมสร้างความสนใจในการเรียนรู้มากที่สุด ($\bar{X}$ =4.71, S.D.=0.55) รองลงมาเป็นความครบถ้วนของเนื้อหาและความเหมาะสมของชิ้นงานตัวอย่างและแบบฝึกหัด โดยภาพรวมผู้เรียนพึงพอใจต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อมากที่สุด ($\bar{X}$ =4.51, S.D.=0.68)

ตารางที่ 6 ผลความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. ความชัดเจนและเข้าใจง่ายของเนื้อหา	4.44	0.78	มาก
2. ความครบถ้วนของเนื้อหา	4.62	0.67	มากที่สุด
3. ชิ้นงานตัวอย่างช่วยเสริมสร้างความสนใจในการเรียนรู้	4.71	0.55	มากที่สุด
4. ชิ้นงานตัวอย่างใช้งานง่าย สะดวกต่อการศึกษาศึกษา	4.31	0.84	มาก
5. ความรู้ที่ได้รับจากชิ้นงานตัวอย่าง	4.42	0.66	มาก
6. ความเหมาะสมของชิ้นงานตัวอย่างและแบบฝึกหัด	4.59	0.68	มากที่สุด
7. ความเหมาะสมของเวลาในการเรียนรู้	4.42	0.61	มาก
8. ภาพรวมความพึงพอใจต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อ	4.55	0.66	มากที่สุด
รวมเฉลี่ย	4.51	0.68	มากที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

1. คุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมต่อ

มีค่าเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.18 (S.D.=0.71) อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก โดยมีค่าเฉลี่ยด้านการวัดและการประเมินผลสูงที่สุด รองลงมาคือด้านเนื้อหาและด้านชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนตามทฤษฎีของ David Kolb เรื่องการเรียนรู้โดยการกระทำ (Experiential Learning Theory) (Kolb, 1984) โดยเน้นว่าการเรียนรู้เกิดขึ้นผ่านกระบวนการหมุนเวียนระหว่างการเรียนรู้ การสะท้อนความคิด การสร้างแนวคิด และการทดลอง ทฤษฎีนี้เน้นการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ตรงและการปฏิบัติจริง ดังนั้นผู้เรียนจะได้พัฒนาทักษะต่าง ๆ ผ่านการทดลองและการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาสื่อชิ้นงานตัวอย่างขึ้นมาให้ใช้ประกอบการจัดการเรียนการสอนร่วมกับสื่อการสอนอื่น ๆ จึงทำให้สื่อชิ้นนี้มีคุณภาพ ส่งผลให้ผู้เรียนมีความสนใจในการเรียนรู้เนื้อหาส่วนนี้ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันชัย โกลมทริญ และตริเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ (Komonhirun & Yingsamphancharoen, 2006) ที่ได้สร้างสื่อการสอนและชุดปฏิบัติการศึกษา เรื่องการวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสีในงานเชื่อม โดยชุดสื่อการสอนนี้สามารถตอบสนองลักษณะการเรียนรู้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับงานวิจัยของวิมลสิริ ศรีพุทธา และคณะ (Sributtha et al., 2024) ที่ได้พัฒนาบทเรียนออนไลน์รายวิชาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยพบว่าบทเรียนออนไลน์นี้ มีผลการประเมินภาพรวมเท่ากับ 4.48 (S.D. = 0.32) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเช่นกัน

2. ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนของชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม พบว่า

ผู้เรียนที่เรียนด้วยชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐชัย คุณกุลเดช และคณะ (Kunukunladej et al., 2016) ที่ได้ทำการพัฒนาชุดทดลองแบบปฏิสัมพันธ์เรื่องวงจรบริดจ์กระแสตรง ซึ่งพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากสื่อการสอนที่จัดทำขึ้น ช่วยให้ผู้เรียนได้เห็นภาพไปพร้อม ๆ กับเรียนเนื้อหาส่วนอื่น ๆ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจ สนใจ และมีความกระตือรือร้นในการเรียนมากขึ้น

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม พบว่า

ผู้เรียนมีความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมมากที่สุด ($\bar{X}=4.51$, S.D.=0.68) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจและเห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างช่วยเสริมสร้างความสนใจในการเรียนรู้มากที่สุด รองลงมาคือมีความพึงพอใจในความครบถ้วนของเนื้อหา และความเหมาะสมของชิ้นงานตัวอย่าง และแบบฝึกหัด สอดคล้องกับงานวิจัยของวรนนธ์ เหล็กเพชร และคณะ (Lekphet et al., 2021) ที่ได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ภาคสนามเรื่องการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงสู่การเชื่อมโยงการศึกษาพลังงานสีเขียว โดยพบว่าผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ภาคสนามนี้ มีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมในระดับมากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของวิมลสิริ ศรีพุทธา และคณะ (Sributtha et al., 2024) ที่ได้พัฒนาบทเรียนออนไลน์รายวิชาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยพบว่าผู้เรียนที่มีความพึงพอใจมากที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้สร้างสื่อที่เป็นชิ้นงานตัวอย่าง ที่สามารถจับต้องได้ ให้ผู้เรียนได้เห็นภาพอย่างชัดเจนว่าการใช้ปัจจัยในการเชื่อมที่ต่างกัน จะส่งผลต่อรอยเชื่อมอย่างไร โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างนี้ประกอบกับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ร่วมกับ สื่อการสอนอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น ซึ่งช่วยสร้างความสนใจให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ได้จับต้องสิ่งที่เป็นรูปธรรม ทำให้ผู้เรียนเห็นภาพและเข้าใจในเนื้อหาส่วนนี้ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่อาภรณ์ ชุนดี (Choondee, 2019) ได้กล่าวไว้ว่า สื่อประดิษฐ์สามารถสร้างความสนใจของผู้เรียนได้ดีและทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น เพราะผู้เรียนสามารถจับต้องสื่อประดิษฐ์ได้ตลอดเวลา โดยไม่ต้องผ่านเครื่องมือดิจิทัลใด ๆ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจบทเรียนที่ยากซับซ้อนได้ง่ายและเร็วขึ้น เกิดการเรียนรู้ที่มีคุณภาพ แล้วยังช่วยสร้างเสริมลักษณะนิสัยที่ดีในการค้นคว้าหาความรู้และมีความคิดสร้างสรรค์ ทั้งนี้ ผู้เรียนมีความพึงพอใจในหัวข้อชิ้นงานตัวอย่างใช้งานง่าย สะดวกต่อการศึกษาค้นคว้าในรายการประเมินทั้งหมด อาจเนื่องมาจาก ชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อย ไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้เรียนในห้องเรียน

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพของชิ้นงานตัวอย่างเป็นสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมมีค่าเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.18 (S.D.=0.71) ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก เมื่อแยกวิเคราะห์ในแต่ละด้าน จะพบว่าระดับความเหมาะสมของการวัดและการประเมินผลมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือด้านเนื้อหาและด้านชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอน ตามลำดับ เมื่อนำชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนนี้ไปใช้จริง พบว่าทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อชิ้นงานตัวอย่างเป็นสื่อการสอนในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อมอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ($\bar{X}=4.51$, S.D.=0.68)

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาชิ้นงานตัวอย่างและสื่อการสอนสำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ขยายขอบเขตของปัจจัยในการเชื่อมให้กว้างขึ้น เช่น ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมให้น้อยหรือมากกว่านี้ เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อรอยเชื่อมที่ชัดเจนมากขึ้น
2. เพิ่มจำนวนชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อให้ผู้เรียนใช้ศึกษาได้พร้อม ๆ กันภายในห้องเรียน

เอกสารอ้างอิง

- Baskoro, A. S., Hidayat, R., Widyianto, A., Amat, M. A., & Putra, D. U. (2020). Optimization of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Parameters for Minimum Distortion of T Welded Joints of A36 Mild Steel by Taguchi Method. *Materials Science Forum*, 1000, 356 - 363. DOI : 10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.356
- Choondee, A. (2019). Are Handmade Teaching Materials Still Needed in the Digital Age? *Journal of Early Childhood Education Management*, 1(1), 63 - 76. [in Thai]
- Dejagupta, P., & Kengkan, P. (2012). *Innovate Learning with Classroom Action Research*. Bangkok: Publisher of Chulalongkorn University. [in Thai]
- Halmshaw, R. (1991). *Non-destructive testing techniques*. Butterworth-Heinemann.
- Jenney, C., & O'Brien, A. (2004). *Welding Handbook*. American Welding Society.
- Kalnaowakul, P., & Yingsamphancharoen, T. (2022). Different Welding Current on Mechanical and Electrochemical Behavior of FCAW ASTM A36 Carbon Steel Joints. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 29(6), 030083(1-9).
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Komonhirun, W., & Yingsamphancharoen, T. (2006). The Instructional Multimedia on the Radiographic Analysis in Welding. *The Journal of Industrial Technology*, 2, 77 - 82. [in Thai]
- Kunukunladej, N., Suksakulchai, S., & Kaewprapan, W. (2016). The Development of Interactive Experiment Kit on DC Bridge Circuits. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 8(1), 125 - 135. [in Thai]
- Lekphet, W., Pibool, S., Boonpichayapha, T., Boonniyom, S., Kumsapaya, C., & Plirdpring, J. (2021). Development of Field Learning Activity Packages on Dye-Sensitized Solar Cells Fabrication to Connect Green Energy Education. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 13(1), 42 - 59. [in Thai]
- Sributtha, W., Kaya, N., Chumeka, A., Jaieu, J., & Bootchai, S. (2024). *The Development of an Online Engineering Economy Course*. 16th National Conference on Technical Education. Bangkok. [in Thai]
- Srikarun, B. (2017). *Metallurgical and Mechanical Properties of Hardfacing of 3.5% Cr Steel*. Prince of Songkla University. [in Thai]
- Srisa-ard, B. (2011). *Introduction to research*. Bangkok: Suweerivasarn. [in Thai]
- Thanyaprasertsiri, N., Stirayakorn, P., & Methapatra, P. (2023). The Development of Learning and Teaching Model of Vocational Education for Promoting Creativity in Problem Solving. *Journal of MCU Peace Studies*, 11(3), 1068 - 1081. [in Thai]
- Tukahirwa, G., & Wandera, C. (2023). *Influence of Process Parameters in Gas-Metal Arc Welding (GMAW) of Carbon Steels*. In S. Kumar, *Welding - Materials, Fabrication Processes, and Industry 5.0*. DOI: 10.5772/intechopen.1002730
- Wattanathum, P. (2024, April). *Welding Parameter*. Retrieved from <https://www.longwellthai.com/17478582/welding-parameter>

การอ้างอิงบทความนี้

- APA Bootchai, S., Kaewsakul, N., Khamdaeng, T. & Sonsanam, A. (2024). © The Development of Instructional Specimens for Studying the Effect of Welding Parameters. *Journal of Technical and Engineering Education*, 15(3), 70–81. Thaijo. <https://doi.org/10.14416/j.ft ee.2024.12.07>
- MLA Bootchai, Suparat, et al. “The Development of Instructional Specimens for Studying the Effect of Welding Parameters.” *Journal of Technical and Engineering Education*, vol. 15, no. 3, Dec. 2024, pp. 70–81, <https://doi.org/10.14416/j.ft ee.2024.12.07>. Thaijo.
- ISO690 S. Bootchai, N. Kaewsakul, T. Khamdaeng & A. Sonsanam “The Development of Instructional Specimens for Studying the Effect of Welding Parameters” *Journal of Technical and Engineering Education*, vol. 15, no. 3, pp. 70–81, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.14416/j.ft ee.2024.12.07>.