

THE DEVELOPMENT OF BEAD-WEAVING TECHNIQUES AS A GUIDELINE FOR SOUVENIR DESIGN

Wimalin SANTAJIT¹, Pathra SRISUKHO^{1*} and Siriwbha WIMUKTAYANA¹

1 Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Thailand;
pathra.s@rbru.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 19 September 2025

Revised: 3 October 2025

Published: 16 October 2025

ABSTRACT

This research aimed 1) to study and analyze bead-weaving materials suitable for design applications and 2) to develop guidelines for applying bead-weaving techniques to souvenir designs. It employed a mixed-methods approach by analyzing relevant data and creating prototypes using designated materials to evaluate their appropriateness and weaving techniques. Four materials were tested: thread, silk, nylon, and wire, revealing that each type of warp and weft combination offered distinct advantages and limitations. The four most suitable techniques were identified as silk warp with nylon weft, nylon warp with nylon weft, silk warp with silk weft, and nylon warp with silk weft. Each technique demonstrated different properties in terms of strength, durability, and aesthetics. For design guidelines, geometric forms served as the main structure, with patterns created in a pixel-like arrangement. Using two to four primary colors, combined with gradation and variations in bead finishes, enhanced the visual dimension of the products. Small-scale pieces required finer beads and denser patterns, while medium- to large-sized items benefited from reduced pattern density and clearer motifs visible from a distance. The findings confirm that bead-weaving can be adapted into souvenirs that are not only visually appealing and durable but also reflect local identity. Communities can apply this knowledge to generate income and promote cultural heritage through locally crafted souvenirs.

Keywords: Development, Bead Weaving Techniques, Souvenirs

CITATION INFORMATION: Santajit, W., Srisukho, P., & Wimuktayana, S. (2025). The Development of Bead-Weaving Techniques as a Guideline for Souvenir Design. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(10), 57

การพัฒนาเทคนิคการทอลูกปัดเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบของที่ระลึก

วิมลสิน สันตจิต¹, ภัทรา ศรีสุข^{1*} และ สิริวิภา วิมุกตายน¹

1 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี; pathra.s@rbru.ac.th (ผู้ประพันธ์บทความ)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วัสดุการทอลูกปัดที่เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับงานออกแบบ 2) เพื่อหาแนวทางการประยุกต์เทคนิคการทอลูกปัดในการออกแบบของที่ระลึก เป็นการวิจัยแบบผสมผสานศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลพร้อมทั้งสร้างสรรค์ผลงานตามวัสดุที่กำหนดเพื่อการวิเคราะห์ความเหมาะสมและเทคนิคในการทอลูกปัด ทำการศึกษาวัด 4 ชนิด ได้แก่ ด้าย ไหม เอ็นและลวด ผลการวิจัยพบว่าแต่ละวัสดุเส้นเอ็นและเส้นทอมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน โดยคัดเลือก 4 เทคนิคที่เหมาะสมที่สุด คือ เส้นเอ็นไหมเส้นทอเอ็น เส้นเอ็นเอ็นกับเส้นทอเอ็น เส้นเอ็นไหมกับเส้นทอไหม และเส้นเอ็นเอ็นกับเส้นทอไหม ซึ่งแต่ละแบบมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ทั้งด้านความแข็งแรง ความคงทน และความสวยงาม แนวทางในการออกแบบของที่ระลึก พบว่ารูปแบบลวดลายที่เหมาะสมคือการใช้รูปทรงเรขาคณิตเป็นโครงสร้างหลักในการทอ ออกแบบลวดลายในลักษณะพิกเซล (pixels) การเลือกใช้โทนสีหลัก 2-4 สี ร่วมกับการไล่ระดับของสีและผิวสัมผัสช่วยเพิ่มมิติความงามของงาน สำหรับชิ้นเล็กควรใช้ลูกปัดเม็ดเล็กและลายถี่ ส่วนชิ้นกลางหรือใหญ่ควรลดความถี่และเน้นลายที่เห็นได้ชัดจากระยะไกล การทอลูกปัดสามารถประยุกต์เป็นของที่ระลึกที่มีทั้งความสวยงาม ความคงทนและสะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่น ชุมชนสามารถนำองค์ความรู้ไปต่อยอดสร้างรายได้และเผยแพร่วัฒนธรรมจากงานหัตถกรรมระดับชุมชนได้

คำสำคัญ: การพัฒนา, เทคนิคการทอลูกปัด, ของที่ระลึก

ข้อมูลการอ้างอิง: วิมลสิน สันตจิต, ภัทรา ศรีสุข และ สิริวิภา วิมุกตายน. (2568). การพัฒนาเทคนิคการทอลูกปัดเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบของที่ระลึก. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(10), 57

บทนำ

ของที่ระลึกเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์สำคัญที่มีบทบาทต่อการพัฒนาเศรษฐกิจสร้างสรรค์และการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม เนื่องจากของที่ระลึกไม่เพียงเป็นสิ่งของที่นักท่องเที่ยวซื้อเพื่อนำกลับไปเป็นหลักฐานของการเดินทาง แต่ยังเป็นผู้แทนที่สะท้อนอัตลักษณ์ ความเป็นมา และเรื่องราวของชุมชนหรือท้องถิ่นนั้นๆ ในมิติทางเศรษฐกิจ ของที่ระลึกยังเป็นช่องทางในการสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนท้องถิ่น และสามารถยกระดับผลิตภัณฑ์จากสินค้าธรรมดาไปสู่สินค้าที่มีมูลค่าเพิ่มจากเรื่องราวและคุณค่าทางวัฒนธรรมที่ถ่ายทอดอยู่ในชิ้นงาน (สวราชย์ เพ็ชรโยธา, 2565) อย่างไรก็ตาม แม้ความต้องการของที่ระลึกจะเพิ่มมากขึ้น แต่หลายชุมชนยังไม่สามารถผลิตสินค้าได้ด้วยตนเองอย่างเป็นระบบ เนื่องจากขาดองค์ความรู้ด้านการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ และการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนอัตลักษณ์อย่างชัดเจน ส่งผลให้ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ซื้อได้อย่างเต็มที่ สินค้าแฮนด์เมดจึงเป็นทางเลือกที่ดีและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวและไม่ซ้ำใคร ซึ่งแม้จะผลิตจากวัสดุที่ราคาไม่สูง แต่เมื่อผ่านการสร้างสรรค์ด้วยไอเดีย การออกแบบและการประยุกต์ใช้วัสดุ ก็สามารถเพิ่มมูลค่าได้หลายเท่า ดังนั้น การสร้างความแตกต่างด้วยการออกแบบที่มีสไตล์เฉพาะตัวและสะท้อนอัตลักษณ์จึงเป็นสิ่งจำเป็น หนึ่งในเทคนิคหัตถกรรมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาพัฒนาของที่ระลึก คือ การร้อย การทอลูกปัด (Bead Weaving) ซึ่งเป็นงานฝีมือดั้งเดิมที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานและถูกใช้ในหลายสังคมเพื่อการประดับตกแต่งและแสดงสัญลักษณ์ทางศาสนา ความเชื่อ และฐานะทางสังคม การทอลูกปัดมีความประณีตละเอียดอ่อน สามารถสร้างลวดลายได้หลากหลายเสมือนงานโมเสกขนาดเล็กที่เกิดจากความพิถีพิถันของผู้ผลิตและยังคงได้รับความนิยมมาจนถึงปัจจุบันในฐานะงานเครื่องประดับและของตกแต่งที่สะท้อนคุณค่าทางศิลปะและวัฒนธรรม ความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ในการทอและร้อย ล้วนมีผลโดยตรงต่อคุณภาพ ลักษณะของชิ้นงานและการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความคงทน และความสวยงามที่สะท้อนอัตลักษณ์ได้ต่างกัน (Threaded jewel, 2021) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและวิเคราะห์เทคนิคการเลือกใช้วัสดุในการทอลูกปัด เพื่อระบุข้อดี ข้อจำกัด และความเหมาะสมของวัสดุแต่ละชนิดเมื่อนำมาประยุกต์กับงานทอ เพื่อสร้างแนวทางที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นของที่ระลึกได้จริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและวิเคราะห์วัสดุการทอลูกปัดที่เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับงานออกแบบ 2) พัฒนาแนวทางการประยุกต์เทคนิคการทอลูกปัดในการออกแบบของที่ระลึก ซึ่งคาดหวังว่าผลการวิจัยจะสามารถนำไปสร้างองค์ความรู้ด้านเทคนิคงานหัตถกรรมที่ชุมชนสามารถนำไปใช้ได้จริง สนับสนุนให้เกิดการสร้างสรรคผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่น เพิ่มมูลค่าสินค้า และส่งเสริมรายได้ที่ยั่งยืน อีกทั้งยังเป็นการเชื่อมโยงระหว่างภูมิปัญญาดั้งเดิมกับการออกแบบร่วมสมัย เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคและการท่องเที่ยวในปัจจุบัน

การทอทวนวรรณกรรม

เทคนิคการทอลูกปัด (Bead Weaving) หมายถึง เป็นศิลปะหัตถกรรมที่มีประวัติยาวนานตั้งแต่สมัยโบราณ เป็นกระบวนการเย็บและสอดด้ายผ่านลูกปัดด้วยเข็ม เพื่อทอต่อลูกปัดให้เกิดเป็นลวดลายเฉพาะ การทอลูกปัดจึงถือเป็นการสร้างสรรค์ลวดลายด้วยการเรียงลูกปัดที่ละเม็ดอย่างประณีต สามารถนำไปประยุกต์สร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายได้หลากหลาย การทอหรือการร้อยลูกปัดแต่ละเม็ดเปรียบเสมือนการบันทึกเรื่องราว ประสบการณ์ และความรู้ที่สืบทอดจากบรรพบุรุษสู่ปัจจุบัน โดยกระบวนการร้อยลูกปัดสะท้อนความสัมพันธ์อันลึกซึ้งระหว่างผู้คน ธรรมชาติ และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ การทอและร้อยลูกปัดยังเป็นเครื่องมือในการรักษาอัตลักษณ์และความทรงจำของชนพื้นเมืองเพราะแต่ละลวดลาย สี และวัสดุที่ใช้ล้วนมีความหมายเชิงวัฒนธรรม (Tiffany Dionne Prete, 2022) ในอดีตการทอลูกปัดปรากฏในหลายอารยธรรมทั่วโลก ทั้งในวัฒนธรรมชนพื้นเมืองของอเมริกา ชุมชนแอฟริกัน และอียิปต์โบราณเพื่อใช้ในพิธีกรรม การแลกเปลี่ยนสินค้า และการตกแต่งร่างกาย สะท้อนให้เห็นว่าการทอลูกปัดเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตและวัฒนธรรมของผู้คนในแต่ละพื้นที่ เมื่อยุโรปเข้าสู่ยุคกลางและยุคเรอเนซองส์ การผลิตลูกปัดแก้วได้พัฒนาอย่างก้าวหน้า ทำให้เทคนิคการทอลูกปัดมีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งในด้านสีและรูปแบบ ส่งผลให้งานลูกปัดในยุคนี้มีความละเอียด

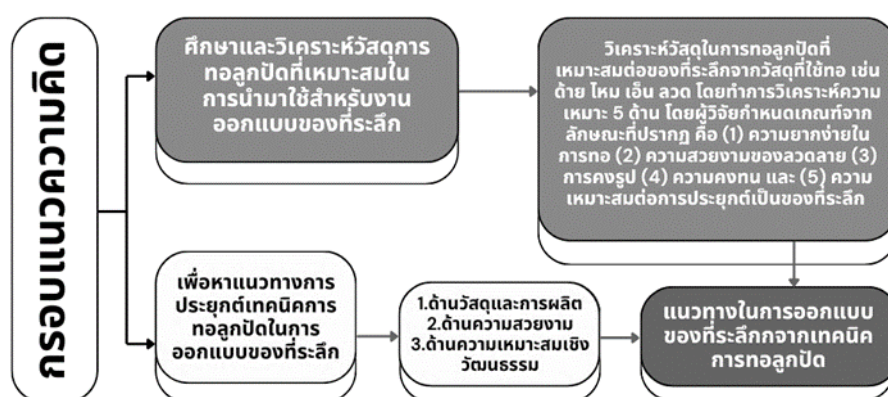
และมีคุณค่าทางศิลปะสูงขึ้น ปัจจุบัน การทอลูกปัดยังคงได้รับความนิยมทั้งในกลุ่มนักออกแบบมืออาชีพและผู้ที่ทำเป็นงานอดิเรก ด้วยความหลากหลายของวัสดุ เช่น ลูกปัดแก้ว ลูกปัดไม้ พลาสติก โลหะ หรือแม้แต่พลอยธรรมชาติ ประกอบกับความสะดวกของอุปกรณ์ ทำให้เทคนิคการทอลูกปัดกลายเป็นทั้งงานศิลป์เชิงหัตถกรรมและกิจกรรมสร้างสรรค์เชิงเศรษฐกิจที่สามารถต่อยอดไปสู่งานออกแบบผลิตภัณฑ์ร่วมสมัยได้ (Paula McNulty, 2024)

การออกแบบของที่ระลึก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกที่มีความหลากหลายทั้งด้านรูปแบบ วัสดุ เทคนิค และจุดประสงค์ในการผลิต ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางวัฒนธรรม ศาสนา ความเชื่อ การเมือง เศรษฐกิจ และสังคม โดยลักษณะสำคัญของของที่ระลึก ได้แก่ การสะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่น ความสวยงาม ประโยชน์ใช้สอย ราคาเหมาะสม การสร้างคุณค่า ความปลอดภัย ความแข็งแรง ซ่อมแซมง่าย และสะดวกต่อการขนส่ง ของที่ระลึกสามารถจำแนกได้ตามวัสดุและประโยชน์ใช้สอย โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักคือ 1) ผลิตจากโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง ทองเหลือง 2) ผลิตจากอโลหะ เช่น ไม้ ดิน หิน แก้ว พลาสติก และวัสดุสังเคราะห์ และ 3) ผลิตจากเศษวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนการจำแนกตามประโยชน์ใช้สอยแบ่งเป็นของบริโภค ของอุปโภค ของใช้ เครื่องแต่งกาย ของเล่นและของตกแต่ง ซึ่งตอบสนองทั้งความต้องการเชิงประโยชน์และเชิงจิตใจของผู้บริโภค วัฒนธรรมศิลปะพื้นบ้านเป็นรากฐานสำคัญของการออกแบบของที่ระลึก เนื่องจากสะท้อนภูมิปัญญา วิถีชีวิต และอัตลักษณ์ของชุมชน โดยมีลักษณะเรียบง่าย มีอุปกรณ์ไม่เยอะ ใช้วัสดุท้องถิ่น ผลิตเพื่อประโยชน์ใช้สอย ราคาไม่แพง และมีความงามตามธรรมชาติ จึงเป็นแหล่งสำคัญในการสร้างสรรค์ของที่ระลึกให้มีความโดดเด่นและคงคุณค่าทางวัฒนธรรม (สุชาติ อิ่มสำราญ, พรเทพ เลิศเทวศิริ และ อินทิรา พรหมพันธุ์, 2564)

สมมติฐานการวิจัย

- 1) ปัจจัยวัสดุการทอลูกปัดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่นและความสวยงาม
- 2) ปัจจัยการเลือกใช้วัสดุและเทคนิคการทอลูกปัดที่เหมาะสมสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกให้สะท้อนอัตลักษณ์ชุมชนและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้
- 3) ปัจจัยการผสมผสานเส้นยืนกับเส้นทอให้ผลลัพธ์ของชิ้นงานที่มีความสวยงามและยืดหยุ่นมากกว่าการใช้วัสดุประเภทเดียวกันทั้งสองส่วน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

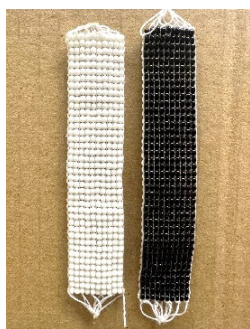
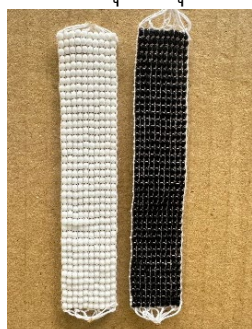
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งศึกษาวิเคราะห์วัสดุและเทคนิคการทอลูกปัดเพื่อพัฒนาเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบของที่ระลึก โดยเริ่มจากการค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ทั้งจากหนังสือ เอกสารทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตลอดจนบทความจากแหล่งข้อมูลออนไลน์ที่กล่าวถึงเทคนิคการทอลูกปัดและการเลือกใช้วัสดุ เพื่อรวบรวมองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เทคนิคการทอและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทอลูกปัด ได้แก่ ด้าย ไหม เอ็น และลวด เพื่อศึกษาความเหมาะสมของวัสดุแต่ละชนิดต่อกระบวนการทอและคุณภาพของชิ้นงาน โดยมุ่งเน้นการหาวัสดุและเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบของที่ระลึก ทำการสังเคราะห์ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์วัสดุและเทคนิคการทอร่วมกับข้อมูลจากเอกสารที่ศึกษา เพื่อพัฒนาเป็นแนวทางการออกแบบของที่ระลึกที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านความงามเชิงศิลปะ ความแข็งแรง ความคงทน และความสามารถในการใช้งานจริง การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้แบบบันทึกผลการวิเคราะห์ควบคู่กับการสังเกตและการบันทึกภาพชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทอลูกปัด โดยใช้วัสดุแต่ละชนิดเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบ โดยใช้ลูกปัดขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวนเท่ากันในทุกแบบ เพื่อควบคุมขนาดและความหนาแน่นของลวดลายให้สม่ำเสมอและเลือกใช้ลูกปัดสองสี คือ สีขาวและสีดำ เพื่อให้เห็นลวดลายและความแตกต่างของแต่ละโทนสี วัสดุที่ใช้ในการทอประกอบด้วย ด้ายสังเคราะห์ ไหมธรรมชาติ เอ็นไส และลวดดัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ใช้เกณฑ์การประเมิน รูปรีด สกอร์ (Rubric Score) (จันทิมา ปัทมธรรมกุล, 2566) จำนวน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความยากง่ายในการทอ 2) ความสวยงามของลวดลาย 3) การคงรูป 4) ความคงทน 5) ความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นของที่ระลึก

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วัสดุในการทอลูกปัดที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้สำหรับงานออกแบบของที่ระลึก ผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และเทคนิคในการทอลูกปัด เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุแต่ละชนิดในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานของที่ระลึก โดยวัสดุที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ด้าย ไหม เอ็น และลวด ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ทั่วไปและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งในด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และความงาม ผู้วิจัยจึงกำหนดเกณฑ์การวิเคราะห์ 5 ด้าน ได้แก่ 1) ความยากง่ายในการทอ 2) ความสวยงามของลวดลาย 3) การคงรูป 4) ความคงทน และ 5) ความเหมาะสมต่อการประยุกต์เป็นของที่ระลึก ผลการวิเคราะห์และการประเมินตามเกณฑ์ โดยแบ่งเกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ย ดังนี้ เกณฑ์ รูปรีด สกอร์ (Rubric Score) มี 5 เกณฑ์ (5 ด้าน) โดยแบ่งเกณฑ์การแปลความหมายค่าคะแนน ดังนี้ 5 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด 4 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก 3 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง 2 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย 1 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด แต่ละด้านเต็ม 5 คะแนน คะแนนรวมเต็ม 25 โดยแบ่งเกณฑ์การแปลความหมายค่าคะแนน ดังนี้ 1) 22-25 คะแนน ดีที่สุด วัสดุเหมาะสมมากที่สุด ใช้ได้จริง มีคุณภาพสูง ครอบคลุมทุกด้าน 2) 18-21 คะแนน ดีมาก วัสดุเหมาะสม ใช้งานได้จริง มีข้อจำกัดเพียงเล็กน้อย 3) 14-17 คะแนน ปานกลาง วัสดุมีความเหมาะสมในบางด้าน แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการต้องปรับปรุง 4) 10-13 คะแนน น้อย วัสดุไม่ค่อยเหมาะสม มีข้อเสียชัดเจน ใช้งานจริงได้ยาก 5) 5-9 คะแนน ควรปรับปรุง วัสดุไม่เหมาะสมเลย ใช้งานไม่ได้ตามวัตถุประสงค์หลัก

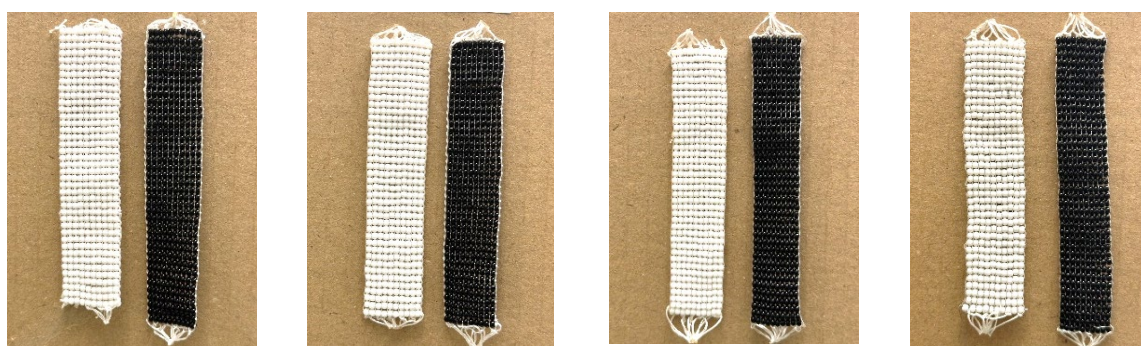


1.วัสดุเส้นยืนด้ายเส้นทอด้าย 2.วัสดุเส้นยืนด้ายเส้นทอไหม 3.วัสดุเส้นยืนด้ายเส้นทอเอ็น 4.วัสดุเส้นยืนด้ายเส้นทอลวด
ภาพที่ 2 ภาพการวิเคราะห์วัสดุเส้นยืนด้ายและเส้นทอด้าย ไหม เอ็น ลวด

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุเส้นยืนด้าย เส้นทอไหม เอ็น ลวด

วัสดุ เส้นยืน	เส้นทอ	ความยากง่าย ในการทอ	ความสวยงาม ของลวดลาย	การ คงรูป	ความ คงทน	ความเหมาะสม ต่อการประยุกต์ เป็นเครื่องประดับ	รวม	ระดับ
ด้าย	ด้าย	3	5	4	3	4	19	ดีมาก
ด้าย	ไหม	4	5	4	3	4	20	ดีมาก
ด้าย	เอ็น	3	5	4	4	4	20	ดีมาก
ด้าย	ลวด	2	2	2	4	4	14	ปานกลาง

ด้ายเป็นวัสดุในการทอลูกปัดมีข้อดีคือ มีความอ่อนตัว เหนียวนุ่ม และยืดหยุ่นสูง ช่วยให้การทอทำได้ง่าย สามารถปรับรูปทรงของชิ้นงานได้ดี อีกทั้งยังทำให้ลวดลายลูกปัดเรียงตัวแน่นและเป็นระเบียบ โดยเฉพาะเมื่อใช้ด้ายหรือไหมเป็นเส้นทอ ทำให้ผลงานที่ได้มีความสวยงามและคงทนพอสมควร อย่างไรก็ตาม ด้ายมีข้อเสียตรงที่พันกันและเกิดปมได้ง่าย ส่งผลให้กระบวนการทอใช้เวลาเพิ่มขึ้น อีกทั้งด้ายมีความแข็งแรงน้อยกว่าเอ็นและลวด ทำให้ชิ้นงานเสียรูปหรือเสื่อมสภาพได้รวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือความชื้น นอกจากนี้ ด้ายยังมีข้อจำกัด ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงหรือการคงรูปถาวร เนื่องจากมีความอ่อนตัวมาก ผู้ทอจึงจำเป็นต้องมีทักษะและความชำนาญในการจัดการด้ายเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดปมที่อาจกระทบต่อคุณภาพของงานได้



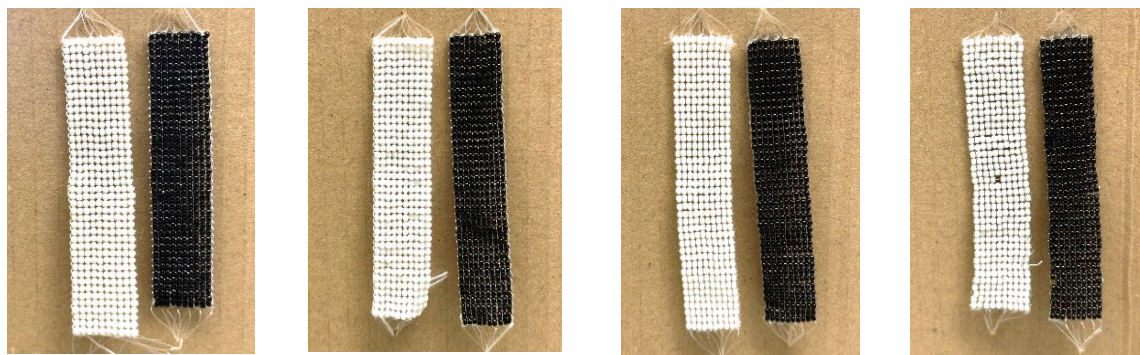
1.วัสดุเส้นยืนไหมเส้นทอด้าย 2.วัสดุเส้นยืนไหมเส้นทอไหม 3.วัสดุเส้นยืนไหมเส้นทอเอ็น 4.วัสดุเส้นยืนไหมเส้นทอลวด
ภาพที่ 3 ภาพการวิเคราะห์วัสดุเส้นยืนไหมและเส้นทอด้าย ไหม เอ็น ลวด

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุเส้นยืนไหม เส้นทอไหม เอ็น ลวด

วัสดุ เส้นยืน	เส้นทอ	ความยากง่าย ในการทอ	ความสวยงาม ของลวดลาย	การ คงรูป	ความ คงทน	ความเหมาะสม ต่อการประยุกต์ เป็นเครื่องประดับ	รวม	ระดับ
ไหม	ด้าย	4	5	4	3	5	21	ดีมาก
ไหม	ไหม	5	5	5	3	5	23	ดีที่สุด
ไหม	เอ็น	4	5	4	4	5	22	ดีที่สุด
ไหม	ลวด	3	3	3	4	3	16	ปานกลาง

ไหมทอได้ง่ายกว่าวัสดุเส้นยืนชนิดอื่น เนื่องจากมีความลื่นและเหนียว ช่วยให้การทอเป็นไปอย่างราบรื่น ไม่ใช้แรงดึงมากเกินไป อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถปรับรูปทรงของชิ้นงานได้ดี เหมาะกับการออกแบบที่ต้องการความอ่อนตัวความพลิ้วไหว ลวดลายที่ทอด้วยไหมมีความเป็นระเบียบ แน่นชัดและเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างได้

ในระดับหนึ่ง ส่งผลให้ชิ้นงานมีความทนทาน ประณีต และมีคุณภาพสูง อีกทั้งผิวของไหมยังมีความเงางาม ไหมหากใช้ร่วมกับด้ายเป็นเส้นทออาจเกิดปมระหว่างการทอได้ง่าย อีกทั้งไหมมีความแข็งแรงน้อยกว่าเอ็นและลวด จี นอกจากนี้ไหมยังมีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโครงสร้างถาวร เนื่องจากความยืดหยุ่นสูงทำให้ไม่สามารถคงรูปได้มากนัก อีกทั้งยังเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสกับความชื้นหรือต้องใช้งานเป็นเวลานาน หากไม่ได้รับการดูแลที่เหมาะสมก็อาจเปื่อยหรือขาดได้ง่าย

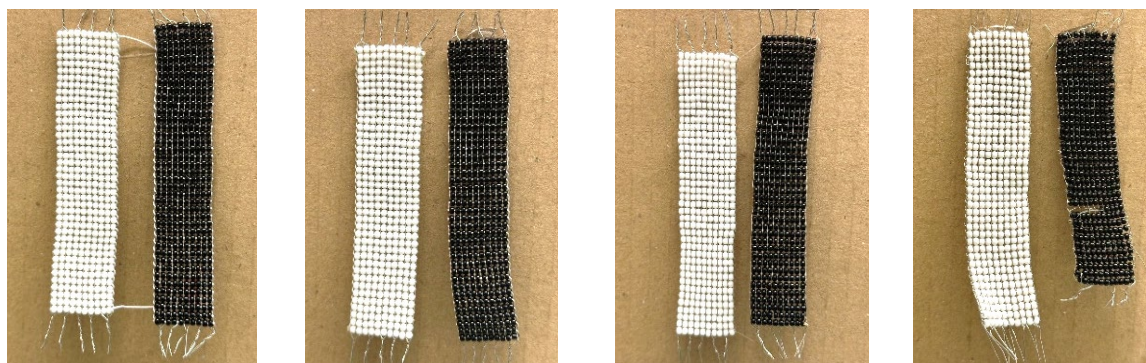


1.วัสดุเส้นเอ็นเอ็นเส้นทอด้วย 2.วัสดุเส้นเอ็นเอ็นเส้นทอไหม 3.วัสดุเส้นเอ็นเอ็นเส้นทอเอ็น 4.วัสดุเส้นเอ็นเอ็นเส้นทอลวด
ภาพที่ 4 ภาพการวิเคราะห์วัสดุเส้นเอ็นเอ็นและเส้นทอด้วย ไหม เอ็น ลวด

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุเส้นเอ็นเอ็น เส้นทอไหม เอ็น ลวด

วัสดุ		ความยากง่าย	ความสวยงาม	การ	ความ	ความเหมาะสมต่อ	รวม	ระดับ
เส้นเอ็น	เส้นทอ	ในการทอ	ของลวดลาย	คงรูป	คงทน	การประยุกต์เป็น		
						เครื่องประดับ		
เอ็น	ด้าย	4	4	4	4	5	21	ดีมาก
เอ็น	ไหม	4	5	5	4	5	23	ดีที่สุด
เอ็น	เอ็น	4	5	4	4	5	22	ดีที่สุด
เอ็น	ลวด	1	2	2	4	3	12	น้อย

เอ็นเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง เหนียว และทนทานมากกว่าด้ายและไหม ทำให้โครงสร้างเครื่องประดับมั่นคงแข็งแรง คงรูปได้ดี และมีอายุการใช้งานยาวนาน อีกทั้งยังสามารถใช้ร่วมกับวัสดุเส้นทอได้หลายประเภท อย่างไรก็ตาม เอ็นมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าด้ายและไหม จึงอาจทำให้ชิ้นงานไม่อ่อนตัว ลูกบิดเรียงมีช่องว่างเพิ่มขึ้นมากกว่าด้ายและไหมเล็กน้อยและต้องใช้แรงมากขึ้นระหว่างการทอ แต่ด้วยคุณสมบัติที่ทนน้ำและไม่เสียรูปง่าย เอ็นจึงเหมาะกับงานที่ต้องการความแข็งแรงและคงทน มากกว่างานที่ต้องการความอ่อนตัวหรือปรับรูปทรงได้ง่าย



1.วัสดุเส้นยืนลวดเส้นทอด้วย 2.วัสดุเส้นยืนลวดเส้นทอไหม 3.วัสดุเส้นลวดเอ็นเส้นทอเอ็น 4.วัสดุเส้นลวดเอ็นเส้นทอลวด
ภาพที่ 5 ภาพการวิเคราะห์วัสดุเส้นยืนลวดและเส้นทอด้วย ไหม เอ็น ลวด

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุเส้นยืนลวด เส้นทอไหม เอ็น ลวด

วัสดุ		ความยากง่าย	ความสวยงาม	การ	ความ	ความเหมาะสมต่อ	รวม	ระดับ
เส้นยืน	เส้นทอ	ในการทอ	ของลวดลาย	คงรูป	คงทน	การประยุกต์เป็น		
						เครื่องประดับ		
ลวด	ด้าย	3	4	3	4	3	17	ปานกลาง
ลวด	ไหม	3	5	3	4	3	18	ดีมาก
ลวด	เอ็น	2	3	3	4	2	14	ปานกลาง
ลวด	ลวด	1	2	2	5	1	11	น้อย

ลวดเป็นวัสดุเส้นยืนที่ให้ความแข็งแรงและความมั่นคงสูงสุด ทำให้โครงสร้างเครื่องประดับทนทานและคงรูปได้ดี เหมาะกับงานที่ต้องการความแข็งแรงถาวร อย่างไรก็ตาม ลวดมีความยืดหยุ่นต่ำ บิดงอแล้วคืนรูปได้ยาก การทอทำได้ยาก ต้องใช้แรงและอุปกรณ์ช่วย ทำให้ลูกบิดอาจเรียงไม่แน่นชิดและโครงสร้างเสี่ยงต่อการบิดเบี้ยว จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความอ่อนตัวหรือสวมใส่ที่นุ่มนวล แต่เหมาะกับงานที่เน้นความแข็งแรงและคงทนเป็นหลัก

สรุปจากการวิเคราะห์วัสดุทั้งหมด 4 วัสดุคือ ด้วย ไหม เอ็นและลวด แต่ละวัสดุและการผสมผสานระหว่างเส้นยืนและเส้นทอมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน การเลือกวัสดุขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ต้องการทำและการนำไปใช้งานในประเภทต่างๆ การเลือกวัสดุและการผสมผสานระหว่างเส้นยืนและเส้นทอมีผลต่อคุณภาพและลักษณะของงานที่ทำ ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความต้องการหลักของงานนั้นๆ โดยสามารถสรุปและคัดเลือกวัสดุที่ได้ระดับดีที่สุด 4 อันดับที่จะนำไปทอลูกบิดเพื่อขึ้นโครงสร้างเป็นงานของที่ระลึกต่อไปได้แก่ เส้นยืนไหมกับเส้นทอเอ็น เส้นยืนเอ็นกับเส้นทอเอ็น เส้นยืนไหมกับเส้นทอไหมและเส้นยืนเอ็นกับเส้นทอไหม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีเส้นยืนและเส้นทอที่เป็นวัสดุเดียวและต่างกันได้ระดับความเหมาะสมที่สุด เส้นยืนไหมกับเส้นทอเอ็น เส้นยืนเอ็นกับเส้นทอไหม วัสดุเหมือนกันต่างกันที่เทคนิคการใช้ทอ เหมาะกับงานที่ต้องการทั้งความแข็งแรง ความยืดหยุ่นและความสวยงาม เส้นไหมมีคุณสมบัติให้ความนุ่ม ความเงางาม และทนทานพอสมควร ทำให้ลวดลายการทอมีความสวยงามและมีสมดุลระหว่างความแข็งแรงกับความอ่อนตัว อย่างไรก็ตาม ไหมมีข้อจำกัดคืออาจขาดง่ายเมื่อดึงแรงมาก และไม่ทนต่อความชื้น จึงอาจเสื่อมสภาพได้เร็ว การเลือกใช้เอ็นเป็นเส้นทอจึงช่วยเสริมด้านความแข็งแรงและความมั่นคงของโครงสร้าง ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีนี้สำหรับของที่ระลึก ซึ่งต้องการความอ่อนตัวและพริ้วไหวของรูปแบบแต่ยังคงรูปได้ดี

เส้นยืนเอ็นเส้นทอเอ็น เส้นยืนไหมเส้นทอไหม เป็นวัสดุที่ชนิดเดียวกันในการทอ เส้นยืนเอ็นเส้นทอเอ็นเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรงมากขึ้น โดยเฉพาะงานที่ต้องการความทนทานและความมั่นคงของรูปทรง

ในระยะยาว เนื่องจากทั้งเส้นยืนและเส้นทอเป็นเอ็น ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรงและทนทาน ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความทนทานความแข็งแรง รวมถึงความคงทนต่อการใช้งาน จึงเหมาะสำหรับเครื่องประดับที่ต้องใช้งานบ่อยหรือสัมผัสน้ำ จุดเด่นคือสามารถคงรูปได้มั่นคง ไม่บิดเบี้ยวง่าย และไม่ดูดซับน้ำ เมื่อลูกบิดถูกร้อยเข้าที่แล้วจะไม่ขยับมาก ทำให้โครงสร้างแข็งแรงและทนทาน ส่วนเส้นยืนไหมเส้นทอไหม ทำให้การทอค่อนข้างลื่นไหล ลูกบิดเรียงตัวเป็นระเบียบและแน่นชิดกัน มีข้อดีในเรื่องของความยืดหยุ่นและความสวยงาม ทำให้เครื่องประดับมีความอ่อนตัวและดูประณีต อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียในเรื่องของความแข็งแรงที่น้อยกว่าลวดและเอ็น ดังนั้น ไหมจึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความอ่อนตัว ความสวยงาม มีความสวยงามส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์ดูสวยงามมากยิ่งขึ้น

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อหาแนวทางการประยุกต์เทคนิคการทอลูกบิดในการออกแบบของที่ระลึก ผู้วิจัยได้คำนึงถึงหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติของที่ระลึก (พจนนธรรม ณรงค์วิทย์, 2562)

1) วัสดุและการผลิต จากการทดลองวัสดุทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ด้าย ไหม เอ็น และลวด พบว่าวัสดุแต่ละชนิดและการผสมผสานระหว่างเส้นยืนและเส้นทอมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไป การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการผลิตและประเภทของการใช้งานจริง ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถคัดเลือกวัสดุที่มีความเหมาะสมสูงสุด 4 อันดับ ได้แก่ เส้นยืนไหมกับเส้นทอเอ็น, เส้นยืนเอ็นกับเส้นทอเอ็น, เส้นยืนไหมกับเส้นทอไหม และเส้นยืนเอ็นกับเส้นทอไหม เส้นยืนไหมกับเส้นทอเอ็น, เส้นยืนเอ็นกับเส้นทอไหม มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน พบว่า เหมาะสำหรับงานเครื่องประดับแฟชั่น เช่น เข็มกลัด สร้อยคอ ต่างหู เนื่องจากไหมให้ความสวยงามและความอ่อนตัว ขณะที่เอ็นช่วยเสริมความแข็งแรงและคงทน จึงได้ชิ้นงานที่สวยงามและใช้งานได้จริงแต่คงยังต้องหลีกเลี่ยงความชื้นและน้ำ

เส้นยืนเอ็นกับเส้นทอเอ็น มีคุณสมบัติเด่นด้านความทนทานและการคงรูป เหมาะสำหรับของที่ระลึกที่ใช้งานบ่อยหรือสัมผัสความชื้นและน้ำ เช่น สร้อยข้อมือ พวงกุญแจ ที่คั่นหนังสือ กรอบรูป จานรองแก้ว

เส้นยืนไหมกับเส้นทอไหม มีจุดเด่นที่ความสวยงามและความอ่อนตัว ลูกบิดเรียงตัวแน่นชิดและดูประณีต เหมาะสำหรับงานที่เน้นความหรูหราและเชิงศิลป์ เช่น เครื่องแขวนตกแต่งบ้าน แต่มีข้อจำกัดในด้านความแข็งแรงจึงไม่เหมาะกับการใช้งานหนัก

2) ความสวยงาม รูปแบบการทอลูกบิดสัดส่วนของรูปทรงหลักจะเป็นลักษณะรูปทรงเรขาคณิต เช่น สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม เป็นต้น สามารถทำได้หลายขนาดขึ้นอยู่กับจำนวนแถวในการทอลูกบิด ใช้การออกแบบลวดลายเกิดจากช่องสี่เหลี่ยมในลักษณะพิกเซล (Pixels) สร้างจังหวะของลายในแต่ละช่องเท่ากับลูกบิด 1 เม็ด การออกแบบลวดลายจึงควรเริ่มจากการกำหนดสัดส่วนภาพรวมจากรูปทรงหลัก จากนั้นจึงพัฒนาหน่วยลาย ภายในช่องสี่เหลี่ยมแต่ละช่องด้วยหลักการของจังหวะและการจัดองค์ประกอบ เพื่อให้เกิดลวดลายที่สม่ำเสมอทั้งแบบสมมาตรและอสมมาตร ด้านการเลือกใช้สีของลูกบิด ควรกำหนดโทนหลัก 2-4 สี เพื่อคงเอกภาพของงาน แล้วสร้างมิติด้วยการซ้ำ การสลับลวดลายและสามารถเพิ่มมิติของงานด้วยการสลับลูกบิดเม็ดผิวเงา เม็ดผิวด้าน โปรงแสงหรือทึบ โทนเข้มและโทนสว่าง ให้มากกว่าหนึ่งโทนสี เพื่อเพิ่มมิติแสงเงาของงาน สำหรับงานที่มีขนาดเล็กต้องการลวดลายที่ประณีต ควรใช้ลูกบิดเม็ดเล็กและลายถี่เพื่อ การทอออกมาสวยงามเหมาะสมกับขนาด ส่วนชิ้นกลางหรือใหญ่ควรลดความถี่ของลายและเน้นภาพรวมหรือลวดลายที่มองเห็นง่ายจากระยะไกลมากขึ้น

3) ความเหมาะสมเชิงวัฒนธรรม สามารถนำท่วงท่าวัฒนธรรมมาประยุกต์ใช้แล้วกับการออกแบบของที่ระลึก เพื่อให้ชิ้นงานมีทั้งคุณค่าทางวัฒนธรรมและความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง โดยควรออกแบบให้ง่ายต่อการผลิตซ้ำในระดับชุมชน ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความยั่งยืน การเลือกใช้ลวดลายหรือสีสันทันทีควรสะท้อนเรื่องราวหรือสัญลักษณ์ที่มีความหมายต่อท้องถิ่นทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม เช่น ลวดลายสถาปัตยกรรม วิถีชีวิต ประเพณี เป็นต้น หรือโทนสีที่สื่อถึงชุมชน เพื่อให้ผู้ที่ได้รับของที่ระลึกเกิดการเชื่อมโยงกับสถานที่และประสบการณ์ที่ได้สัมผัสมาโดยตรง รวมถึงการออกแบบควรให้ความสำคัญกับ ความเป็นเอกลักษณ์และความร่วมสมัย โดยคงความ

จากระยะไกลรวมถึงการนำทุนทางวัฒนธรรมมาประยุกต์ใช้งานทอลูกปัด การออกแบบที่สะท้อนเอกลักษณ์ท้องถิ่น การเลือกใช้วัสดุลายหรือสีสันทันที่สะท้อนเรื่องราวหรือสัญลักษณ์ที่มีความหมายต่อท้องถิ่นทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ควบคู่กับความร่วมสมัยและการใช้งานจริง สอดคล้องกับ นวกรณ์ ศรีสาัญกุลวงศ์ (2556) การนำเอกลักษณ์ของที่โดดเด่นของท้องถิ่นซึ่งสามารถทำได้จากการลดทอนหรือการสังเกตลักษณะจากเค้าโครงของสถานที่จริง มาใช้ในการออกแบบผ่านลวดลายหรือลายเส้นที่ง่ายต่อการจดจำมากกว่าภาพจริง ประกอบกับการเลือกใช้สีที่สอดคล้องกับอารมณ์และความรู้สึกของสถานที่นั้นๆ ส่งผลให้เกิดความสวยงามและดึงดูดความสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งของที่ระลึกเปรียบเสมือนตัวแทนของสถานที่นั้นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ (Creative Economy Agency, 2019) เรื่องราวของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีความพิเศษเฉพาะตัว ทั้งประสบการณ์ ฝีมือ และรูปแบบ สิ่งเหล่านี้ช่วยสร้างคุณค่าเพิ่มให้หัตถกรรมมีความโดดเด่น แตกต่างไปจากชิ้นงานจากระบบอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดมูลค่าใหม่ในใจผู้บริโภค โดยไม่คำนึงถึงราคาอีกต่อไป ดังนั้นการยกเรื่องราวของผลิตภัณฑ์ หรือ การเล่าเรื่อง (Storytelling) จึงเป็นจุดขายสำคัญ ช่วยดึงดูดให้ผู้คนสนใจผลิตภัณฑ์มากขึ้น จากคุณค่าที่รับรู้ ทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับงานหัตถกรรม

เอกสารอ้างอิง

- จันทิมา ปัทมธรรมกุล. (2566). คลังความรู้บูรณาการเครื่องมือในการวัดและประเมินผล. สืบค้นจาก <https://li.kmutt.ac.th/rubric/knowledge/>.
- นวกรณ์ ศรีสาัญกุลวงศ์. (2556). การออกแบบของที่ระลึกมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 5(1), 56-58.
- พนม จงกล. (2568). การศึกษาและพัฒนาแนวทางการออกแบบเครื่องประดับจากเศษผ้าลายปัญญาจันทร์เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างสร้างสรรค์. บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาครั้งที่ 8 ประจำปี 2568.
- พจน์ธรรม ธรรมศิริวิทย์. (2562). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทประดับตกแต่งจากทุนทางมรดกวัฒนธรรมอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรอย่างมีส่วนร่วม. บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 6 ประจำปี 2562.
- สุชาติ อิมสาราญ, พรเทพ เลิศเทวศิริ และ อินทิรา พรหมพันธุ์. (2564). การออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากอัตลักษณ์ศิลปะพื้นบ้านสำหรับนักท่องเที่ยว. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จล, 33(2), 115-129.
- สวราชย์ เพ็ชรโยธา. (2565). การออกแบบผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทโคมไฟจากอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมชุดเครื่องแต่งกายโนรา. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการมรดกวัฒนธรรมและอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ วิทยาลัยนวัตกรรมการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Creative Economy Agency. (2025). หัตถกรรมท้องถิ่น เชียงใหม่ ปรับตัวตามเทรนด์โลก ชนใจผู้บริโภค. สืบค้นจาก <https://www.cea.or.th/en/single-research/chiangmai-crafts>.
- McNulty P, (2024). *What is Bead Weaving*. Retrieved from <https://paulamcnulty.com/blogs/news/what-is-bead-weaving-a-beginner-s-guide?>.
- Prete, T. D. (2022). Beadworking as an Indigenous research paradigm. *Art/Research International: A Transdisciplinary Journal*, 7(1), 1-25.
- Threaded jewel. (2021). *Bead weaving*. Retrieved from <https://threadedjewel.com/blogs/news/what-is-bead-weaving>.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2025 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).