การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ
Development of Modular Hexagonal Triaxial Weaving Frame

จารุวรรณ ดิศวัฒน์
สัมภาษณ์ สุวรรณศีรี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๔ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ **การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ**
ชื่อ สกุล **จารุวรรณ ดิศวัฒน์**
สัมภาษณ์ สุวรรณคีรี
หน่วยงาน **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**
คณะ **คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น**
ปีที่จัดพิมพ์ 2564
แหล่งทุน **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564

บทคัดย่อ

การทอสามแกนด้วยมือเป็นงานหัตถศิลป์ที่มีความเป็นมาอันยาวนานและถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายคิดค้นเทคนิคการทอผ้าสามแกนใหม่ด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ โครงสร้างสำคัญของกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ มีดังนี้ ตัวกรอบเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่ามีความยาวด้าน 50 เซนติเมตร ตัวกรอบด้านในเป็นโครงเหล็กรูปหกเหลี่ยมด้านเท่ากรอบด้านนอกเป็นไม้สามารถถอดประกอบกับโครงเหล็กได้ กรอบด้านนอกมี 2 แบบ แบบแรกสำหรับการทอผ้าด้วยเส้นด้าย ไม้ถูกเซาะร่องเป็นรูปตัววีจำนวน 15 ร่องต่อ 10 เซนติเมตร แบบที่สองสำหรับการทอด้วยริ้วผ้า ไม้ถูกเซาะร่องแบบแบนจำนวน 7 ร่องต่อ 10 เซนติเมตร นอกจากนี้มีการเพิ่มกลไกควบคุมและปรับความตึงของเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างแกนม้วนและแกนยึดเส้นด้ายยืน การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบพบว่า 1) ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานมีการขัดกันของเส้นด้ายสามชุด ทำมุม 60 องศา จำนวน 15×15×15 เส้นต่อความยาว 10 เซนติเมตร 2) ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋าดัดแปลงจากการทอลายขัดมีเส้นด้ายยืน Y เส้นด้ายยืน Z และ เส้นด้ายพุ่ง X จำนวน 16×17×27 เส้นต่อความยาว 10 เซนติเมตร 3) ผ้าทอสามแกนลายหัวใจดัดแปลงจากการทอลายสองมีเส้นด้ายยืน Y เส้นด้ายยืน Z และ เส้นด้ายพุ่ง X จำนวน 16×16×27 เส้นต่อความยาว 10 เซนติเมตร จะเห็นว่ากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบถือเป็นเครื่องทุ่นแรงให้ช่างทอสามารถสร้างสรรค์ผ้าทอสามแกนที่มีมีลวดลายที่ซับซ้อนและแตกต่างจากผ้าทอทั่วไป

คำสำคัญ : ผ้าสามแกน กรอบทอผ้า รูปหกเหลี่ยม

Research title	**Development of Modular Hexagonal Triaxial Weaving Frame**
Researcher	**1. Jaruwan Diswat**
	2. Sampass Suwanakere
University	**Rajamangala University of Technology Phra Nakhon**
Faculty	**Industrial Textiles and Fashion Design**
Published Year	**2021**
Source of Fund	**Rajamangala University of Technology Phra Nakhon**

ABSTRACT

Tiaxial hand waving is craftsmanship for a long history and widespread utilization. This research aims to devise a new triaxial weaving technique with a modular hexagonal triaxial weaving frame. The main structure of the modular hexagonal triaxial weaving frame is as follows: The frame is an equilateral hexagon with a side length of 50 centimeters, the inner frame is a hexagonal steel rigid frame, the outer frame is wood, can be disassembled to the steel frame. There are two types of outer frames, the first for weaving with yarn. The wood is grooved into a V-shape with 15 grooves per 10 centimeters. The second type is for weaving with stripes. The wood is flattened 7 grooves per 10 centimeters. Triaxial weaving tests with a modular hexagonal triaxial weaving frame showed that 1) triaxial fabric with basic pattern are characterized by three directions (triaxial) of yarn intersecting at 60 degree angles, amounting to 15×15×15 strands per 10 centimeters length. This creates an open structure. 2) triaxial fabric with dice pattern modified from plain weave with two warp set (the Y and Z warp sets) and one weft set(the X weft set) , amounting to 16×17×27 strands per length of 10 centimeters. 3) triaxial fabric with heart pattern modified from twill weave with three sets of yarn, amounting to 16×16×27 strands per length of 10 centimeters. It can be seen that modular hexagonal triaxial weaving frame as a laboursaving device enables weaver to employ complex weaving pattern in their triaxial fabric, and showcase many creative possibilities that move away from the conventional fabric.

Keywords: Triaxial Fabric, Weaving Frame, Hexagonal

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัย เรื่อง การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยการเล็งเห็นความสำคัญของงานวิจัย เพื่อใช้ในการผลิตผ้าทอสามแกนและยังใช้เป็นสื่อเสริมเพื่อการเรียนรู้ของนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่นตลอดจนนักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่ศึกษาและสนใจเรื่องของสิ่งทอและแฟชั่น ทั้งนี้ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้มอบทุนวิจัย เป็นจำนวน เงินทั้งสิ้น 30,000 บาท (สามหมื่นบาทถ้วน) และสุดท้ายขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นด้ายเพื่อใช้ทดลองทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

จารุวรรณ ดิศวัฒน์
สัมภาษณ์ สุวรรณคีรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(จ)
สารบัญภาพ	(ฉ)
บทที่ 1 บทนำ	1-3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4-44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	45-65
บทที่ 4 ผลการวิจัย	66-76
บทที่ 5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	77-81
บรรณานุกรม	82-87
ภาคผนวก	88-100
ประวัตินักวิจัย	101

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยม แบบถอดประกอบ	49
2	รายการวัสดุตามส่วนประกอบของกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	54-55
3	องค์ประกอบสำคัญของกรอบทอผ้าสามแกนแบบถอดประกอบ	66
4	ข้อมูลทางเทคนิคของต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	69
5	จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน	73-74
6	จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋า	74-75
7	จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายหัวใจ	76
8	ข้อมูลทางเทคนิคของต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	95

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	กลไกการทอผ้าสองแกน	4
2	หลักฐานทางโบราณคดี	.5
3	ตัวอย่างเครื่องจักสานที่มีโครงสร้างแบบสามแกน	6
4	โครงสร้างการทอแบบสามแกนบนไม้ตีเทนนิส	6
5	โครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกน	7
6	โครงสร้างผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน	8
7	โครงสร้างผ้าทอสองแกน	8
8	ผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดซ้อนทับกัน	9-10
9	ผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายกลุ่มหนึ่งของชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ข้ามผ่านชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 2	10-11
10	ผ้าทอสามแกนที่มีดัดแปลงจากการทอลายขัด	11-12
11	ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากการทอลายสอ	12
12	ผ้าทอสามแกนที่ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y มี 2 กลุ่มเส้นด้ายขึ้นไป	12
13	ผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นต่างกัน	14-15
14	แกนCFRP ของใบเรือแสง (Solar sail)	16
15	ระบบขับเคลื่อนด้วยตนเองของยานอวกาศ	16
16	ระบบขับเคลื่อนด้วยตนเองของยานอวกาศ	17
17	วัสดุประกอบจากผ้าทอสามแกนที่ใช้ทำสโนว์บอร์ด	17
18	วัสดุประกอบจากผ้าทอสามแกนที่ใช้ทำอวัยวะเทียม	18
19	ผ้าทอสามแกนด้วยเส้นด้ายต่างสี	18
20	เครื่องเปียสามแกน 48 แกนหลอดด้ายและ 24 ท่อนำเส้นด้าย	19
21	โครงสร้างของผ้าทอสามแกนจากการเปีย	19
22	แบบเครื่องทอผ้าทอผ้าสามแกน	20
23	กลไกการทอผ้าทอผ้าสามแกน	20
24	การแบ่งประเภทของเครื่องทอผ้า	21
25	การทอผ้าของชาวอียิปต์โบราณ	22
26	กรอบทอผ้า Weave-It Looms™	23
27	กรอบทอผ้า Loomtte™	23
28	กรอบทอผ้า Loomette King	24
29	กรอบทอผ้า Magic Loom®	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
30	กรอบทอผ้า Adjustable Giant Size Weave-It™	25
31	กรอบทอผ้า Hollywood Jiffy Loom	25
32	กรอบทอผ้า Straits Adjustable Loom	26
33	กรอบทอผ้า Cynthia Easiweave Frame	26
34	กรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม	27
35	กรอบทอผ้าแบบมีขาตั้ง	28
36	กรอบทอพรมแบบมีขาตั้ง	28
37	การแบ่งประเภทเส้นด้ายโดยใช้ความยาวของเส้นใยเป็นเกณฑ์	29
38	ภาพขยายของเส้นด้าย	30
39	การแบ่งประเภทเส้นด้ายโดยใช้ลักษณะเส้นด้ายเป็นเกณฑ์	31
40	เส้นด้ายธรรมดา	31
41	เส้นพิเศษ	32
42	เบอร์เส้นด้ายในระบบตรง	33
43	เบอร์เส้นด้ายในระบบกลับ	34
44	การใช้ประโยชน์เส้นด้ายใยยาวตามขนาดของเส้นด้าย	34
45	การใช้ประโยชน์เส้นด้ายใยสั้นตามขนาดของเส้นด้าย	35
46	ทิศทางเกลียว S Z และจำนวนเกลียวต่อ 1 นิ้ว	35
47	ตำแหน่งการวัดขนาดสัดส่วนในท่านิ่ง	39
48	พื้นที่การทำงาน	41
49	ความสูงของพื้นผิวงานและมุมมองของการทำงานสำหรับงานยืน	42
50	แผนผังสรุปขั้นตอนการวิจัย	46
51	แบบจำลองการทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าหกเหลี่ยม	50
52	การสร้างแบบจำลองรูปหกเหลี่ยมขนาดเท่ากรอบจริง	51-52
53	แบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	53
54	การสร้างกรอบทอผ้าด้านใน	56-57
55	การสร้างกรอบทอผ้าด้านนอก	58-59
56	การสร้างแกนหมุนควบคุมความตึง	60-61
57	การสร้างขาตั้ง ฐาน และตัวปรับมุมกรอบทอ	61-62
58	การประกอบและเก็บรายละเอียด	62-63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
59	ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน	64
60	ลายทอของผ้าทอสามแกนลายดัดแปลงจากผ้าทอลายสอง	65
61	แบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	66
62	ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	68
63	ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน	70
64	ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋า	71
65	ผ้าทอสามแกนลายหัวใจ	72
66	ส่วนประกอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหก เหลี่ยมแบบถอดประกอบ	93
67	ภาพประกอบข้อมูลทางเทคนิคกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	94
68	การประกอบกรอบทอผ้าด้านนอกติดกับกรอบด้านใน	95
69	การปรับมุมกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	96
70	การล็อคเฟือง	96
71	การใส่แกนยึดเส้นด้ายยืนทั้งสองแกน	97
72	การขึ้นเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด	97
73	การตัดผ้าทอสามแกนออกจากกรอบทอผ้า	98
74	ตัวอย่างผ้าทอสามแกนที่ทอด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผ้าทอส่วนใหญ่เป็นผ้าทอสองแกนซึ่งเกิดจากการขัดสานกันเป็นมุมฉากของเส้นด้าย 2 ชุด คือ เส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง สามารถทอได้หลากหลายลวดลาย เช่น ลายขัด ลายสอง ลายต่วน เป็นต้น ทำให้ได้ผ้าที่มีสมบัติแตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ผ้าทอสองแกนมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามผ้าทอสองแกนมักถูกนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันเสียเป็นส่วนใหญ่ เช่น เสื้อผ้า เคหะสิ่งทอ เป็นต้น[1] สำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน ได้แก่ วิศวกรรม อุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความต้องการผ้าทอที่มีสมบัติพิเศษเฉพาะเหมาะสมกับการใช้งานนั้นๆ เช่น มีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูง มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวอาจไม่มีในผ้าทอสองแกนหรือไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นผ้าทอสามแกนจึงถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผ้าทอสามารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีการทอผ้าสามแกน ถูกคิดค้นในปี 1970 มีการจดสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกาและในอีกหลายประเทศ โดย Norris F. Dow ซึ่งเป็นผู้คิดค้นเครื่องทอผ้าสามแกนและโครงสร้างของผ้าทอสามแกนหรือ Triaxial Woven Fabric (TWF) ผ้าทอสามแกนประกอบไปด้วยชุดเส้นด้ายจำนวน 3 ชุด ได้แก่ ชุดของเส้นด้ายยืน จำนวน 2 ชุดและชุดเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด ขัดสานกันด้วยมุม 60 องศา [2-3] โครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกนที่ทอด้วยเส้นด้าย 3 ชุดที่กล่าวมาข้างต้นจะทำให้เกิดช่องว่างรูปหกเหลี่ยมทั่วทั้งผืนผ้าจึงจัดได้ว่าผ้าทอสามแกนนั้นมีโครงสร้างแบบเปิด อย่างไรก็ตามการทอผ้าสามแกนสามารถเพิ่มชุดของเส้นด้ายได้ทำให้โครงสร้างผ้าที่ได้มีความแน่นและมีโครงสร้างแบบปิดมากยิ่งขึ้น [4] จะเห็นได้ว่าผ้าทอสามแกนมีโครงสร้างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการขัดสานกันของเส้นด้ายทั้งสามชุดส่งผลต่อสมบัติและมีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น วัสดุเสริมแรงในรองเท้าสกี ที่ครอบใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น ไม้เบสบอล ไส้กรองผ้าใบเรือ บอลลูน ชุดป้องกัน (Protective clothing) ชูชีพ ส่วนประกอบของดาวเทียม เป็นต้น [5]

การผลิตผ้าทอสามแกนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การผลิตแบบหัตถกรรม(แบบดั้งเดิม)และการผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัตินั้นถูกดัดแปลงมาจากเครื่องทอผ้าสองแกนแบบดั้งเดิมซึ่งใช้ผลิตเป็นผืนผ้าหรือเครื่องเปียอัตโนมัติที่ใช้ผลิตผ้าทอสามแกนลักษณะเป็นถุง (Tube) ซึ่งสามารถนำไปตัดให้เป็นผืนผ้าได้ [5] อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าผ้าทอสามแกนจะมีสมบัติพิเศษ แต่กระบวนการผลิตมีความซับซ้อน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการควบคุมและดูแลรักษาเครื่องส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นการทอผ้าสามแกนด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติจึงยังไม่เป็นที่

แพร่หลาย ในขณะที่การทอผ้าสามแกนด้วยมือนั้นมีให้เห็นมากกว่า ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะประดิษฐ์และสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ เพื่อใช้ในการทอผ้าสามแกนด้วยมือซึ่งจะทำให้การทอผ้าสามแกนด้วยมือนั้นง่าย สะดวกขึ้น สามารถควบคุมความตึงและขนาดของมุมในการขัดกันของชุดเส้นด้ายให้สม่ำเสมอขณะทอส่งผลให้ผ้าทอสามแกนที่ทอด้วยมือมีคุณภาพสูงขึ้น นอกจากนี้คณะผู้วิจัยจะทำการทอและเก็บรวบรวมลายทอของผ้าสามแกนที่ใช้กรอบทอผ้าหกเหลี่ยมนี้เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อยอดการนำผ้าสามแกนไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กรอบหกเหลี่ยมทอผ้าสามแกนสามารถถอดประกอบได้ จำนวน 1 กรอบ

1.3.2 ขนาดของกรอบหกเหลี่ยมทอผ้าสามแกนขนาดไม่เกิน 70 เซนติเมตร

1.3.3 ผ้าทอสามแกนที่ทอจากกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบได้อย่างน้อย 1 ผืน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 การศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.1.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผ้าทอสามแกน

1.4.1.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปหกเหลี่ยม

1.4.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการทำกรอบทอผ้า

1.4.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.4.2.1 การออกแบบส่วนกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม

1.4.2.2 การออกแบบส่วนควบคุมความตึงของเส้นด้าย

1.4.2.3 การออกแบบส่วนโครงสร้างหลักและฐานของกรอบทอผ้า

1.4.3 จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.4.3.1 จัดเตรียมวัสดุหลักและวัสดุรองสำหรับสร้างต้นแบบกรอบทอผ้า

1.4.3.2 จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับสร้างต้นแบบกรอบทอผ้า

1.4.4 ทดลองใช้กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.4.4.1 การทดลองทอผ้าสามแกนลายพื้นฐาน

1.4.4.2 การทดลองทอผ้าสามแกนลายดัดแปลง

1.4.5 จัดทำคู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบและตัวอย่างลาย

1.4.5.1 ส่วนประกอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.4.5.2 วิธีการใช้กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.4.5.3 ตัวอย่างลายผ้าทอสามแกน

1.4.6 รวบรวมข้อมูลและจัดทำรูปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

กรอบทอผ้า ผ้าสามแกน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ตัวต้นแบบกรอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.6.2 ได้วิธีการใช้ตัวต้นแบบกรอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.6.3 ได้ตัวอย่างลายผ้าทอสามแกน

1.6.4 ได้ตัวอย่างผ้าทอสามแกน

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 กรอบทอผ้า หมายถึง เครื่องที่ใช้ในการทอผ้าสามแกนมีลักษณะเป็นกรอบรูปหกเหลี่ยมที่มีโครงสร้างทำจากไม้และเหล็กสามารถถอดประกอบได้

1.7.2 ผ้าสามแกน หมายถึง ผ้าที่ผลิตด้วยวิธีการทอ ประกอบด้วย ชุดเส้นด้ายจำนวน 3 ชุด ได้แก่ ชุดของเส้นด้ายยืน จำนวน 2 ชุดและชุดเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด ขัดสานกันด้วยมุม 60 องศา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบในครั้งนี้มีการศึกษา รวบรวม แนวคิด ทฤษฎีจากเอกสารต่างๆตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดสร้างตัวต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ โดยมีการจัดลำดับเนื้อหา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ผ้าทอสามแกน

2.2 กรอบทอผ้า

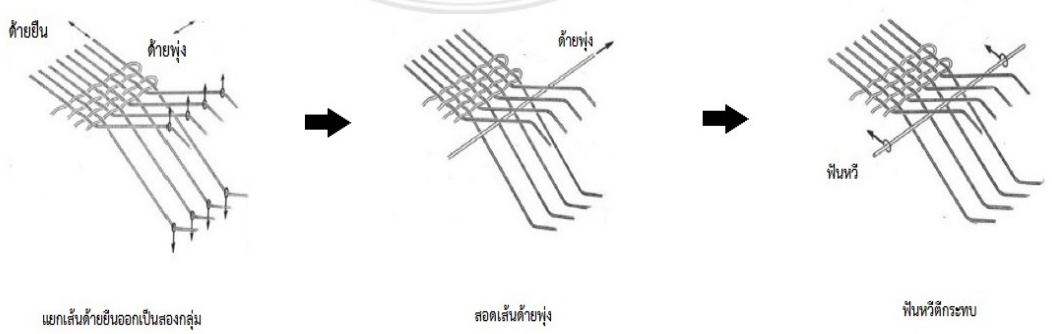
2.3 เส้นด้าย

2.4 การออกแบบ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าทอสามแกน

ผ้าทอมีลักษณะเป็นผืนเรียบเกิดขึ้นจากการขัดสานกันของกลุ่มเส้นด้ายที่มีการเรียงตัวในทิศทางที่ต่างกัน ประเภทของผ้าทอหากพิจารณาตามจำนวนของชุดเส้นด้ายที่ขัดสานกันสามารถแบ่งออกเป็น ผ้าทอสองแกน (Bi-axial weave) ผ้าทอสามแกน (Tri-axial weave) และผ้าทอสี่แกน (Tetra-axial weave) **[12]** ผ้าทอที่ใช้ในชีวิตประจำวันปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นผ้าทอสองแกนที่เกิดจากการขัดสานกันเป็นมุม 90 องศาหรือมุมฉากของเส้นด้ายสองชุด กล่าวคือ ชุดเส้นด้ายที่เรียงตัวตามแนวยาวของผืนผ้าหรือเรียงตัวขนานกับริมผ้า เรียกว่า เส้นด้ายยืน ส่วนชุดเส้นด้ายที่เรียงตัวตามแนวกว้างหรือขนานกับหน้ากว้างของผ้า เรียกว่า เส้นด้ายพุ่ง การทอเกิดจากการยกตะกอเพื่อแยกชุดด้ายยืนออกเป็นสองกลุ่มทำให้เกิดช่องว่างแล้วสอดเส้นด้ายพุ่งเข้าไประหว่างช่องว่างนั้นใช้ฟันหวีตีกระทบเพื่อให้เส้นด้ายพุ่งเรียงชิดติดกันเกิดเป็นโครงสร้างของผืนผ้าทอดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกลไกการทอผ้าสองแกน

องค์ประกอบของโครงสร้างผ้าแบ่งออกเป็น 1) ชนิดและอัตราส่วนผสมของเส้นใย 2) ชนิด ขนาด จำนวนเกลียวต่อนิ้ว/เมตร ทิศทางเกลียวและจำนวนเส้นควบของเส้นด้าย 3) ลายทอ เช่น ลายขัด ลายสอง ลายต่วน เป็นต้น 4) จำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อความยาว และ5)ความกว้างของหน้าผ้าซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะปรากฏ สมบัติและประโยชน์การใช้งานของผ้าทอสองแกน อย่างไรก็ตามผ้าทอสองแกนมักถูกนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันเสียเป็นส่วนใหญ่ เช่น เสื้อผ้า เคหะสิ่งทอ เป็นต้น [1] สำหรับการใช้งานเฉพาะด้าน ได้แก่ วิศวกรรม อุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความต้องการผ้าทอที่มีสมบัติพิเศษเฉพาะเหมาะสมกับการใช้งานนั้นๆ เช่น มีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูง มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวอาจไม่มีในผ้าทอสองแกนหรือไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นผ้าทอสามแกนจึงถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผ้าทอสามารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

2.1.1 ความเป็นมาของผ้าทอสามแกน

การทอแบบสามแกนใช้ในการทำเครื่องจักสานแบบดั้งเดิมเป็นหัตกรรมที่มีความเป็นมายาวนานหลายพันปี ช่วงแรกนั้นงานจักสารใช้ทำข้าวของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ตะกร้า เสื่อ หมวก ที่จับสัตว์น้ำ รองเท้าหิมะ ค.ศ. 2007 มีการค้นพบหลักฐานทางโบราณคดีเป็นซากตะกร้าลายตารูปหกเหลี่ยมมากถึง 400 ใบ จากกองสุสานหอยขนาดใหญ่ในประเทศญี่ปุ่นอยู่ในช่วงต้นของยุคโจมง (Jomon period) อยู่ในช่วง 10,000 – 4,000 ปีก่อนคริสตศักราช ดังแสดงในภาพที่ 2 [13] เมื่อมีการหาอายุที่แท้จริงของตะกร้าด้วยวิธีคาร์บอนกัมมันตรังสี พบว่าซากตะกร้าดังกล่าวมีอายุราว 5,891- 5,790 ปีก่อนคริสตศักราช [5]

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 แสดงหลักฐานทางโบราณคดี (ก) ซากตะกร้าที่อยู่ในหลุมขนาด 1 เมตร (ข) ภาพขยายซากตะกร้าทีมีลายสานเป็นตารูปหกเหลี่ยม

ที่มา: International Relations of Japanese Archeological (2007)

ปัจจุบันการทอแบบสามแกนยังคงปรากฏในงานจักสานต่างๆดังแสดงในภาพที่ 3 เช่น ลูกเซปักตะกร้อที่นิยมเล่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [5] ที่กันฝน (Knup) ของประเทศอินเดีย [15] หมวกของประเทศจีนและภูฏาน [16] นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นยังพบการกระจายตัวของงานจัก

สานที่ใช้การทอแบบสามแกนนั้นเป็นไปอย่างกว้างขวางทั้งในทวีปอเมริกาเหนือ ได้แก่ อเมริกา แคนาดา ทวีปอเมริกาใต้ ได้แก่ บราซิล เอกวาดอร์ ทวีปเอเชีย ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น อินเดีย และประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทวีปแอฟริกา ได้แก่ เคนยา มาดากัสการ์

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างเครื่องจักสานที่มีโครงสร้างแบบสามแกน (ก) ลูกเซปักตะกร้อ (ข) ที่กันฝน และ (ค) หมวก

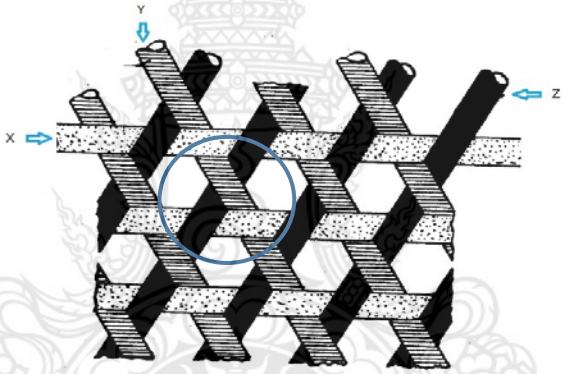
ที่มา: (ก) Tyler (2011), (ข) Zizira (2021) และ (ค) Rye (2016)

หลักการทอแบบสามแกนนั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้เฉพาะการทำเครื่องจักสานหากยังนำไปประยุกต์ใช้กับไม้ตีเทนนิสหรือแร็กเกตดังแสดงในภาพที่ 4 ที่มีชื่อว่า “แมดแร็ก (Mad Raq)”[16] แร็กเกตนี้ถูกออกแบบและจดสิทธิบัตรในปี 1980 โดย Madeline Hampton [17] อาศัยแรงบันดาลใจจากลายสานรองเท้าลุยหิมะของชนเผ่าอินเดียนแดงในอเมริกา โครงสร้างตาข่ายสามแกนของแร็กเกตนี้จะช่วยดูดซับแรงกระแทกของลูกสักหลาดไม่ให้ส่งต่อไปยังแขนของนักกีฬาทำให้สามารถเล่นเทนนิสได้นานและควบควบทิศทางของลูกสักหลาดได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามแร็กเกตนี้ได้เลิกผลิตแล้วเนื่องจากการขึ้นเส้นเอ็นให้เป็นโครงสร้างแบบสามแกนทำได้ยาก

ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างการทอแบบสามแกนบนไม้ตีเทนนิส

ที่มา: MadRac (n.d.)

ในช่วง ค.ศ. 1960 เริ่มมีการนำผ้าทอสามแกนมาใช้งานด้านวิศวกรรมโดยทดลองทำร่มชูชีพเพื่อนำแคปซูลอวกาศกลับมายังพื้นผิวโลกแต่การทดลองนั้นล้มเหลวเนื่องจากผ้าทอสามแกนซึ่งแต่เดิมเส้นด้ายชุดที่สามนั้นทำมุม 45 องศา ส่งผลให้เกิดการบิดเบี้ยวตามแนวทแยงของผืนผ้าและสูญเสียรูปทรงเมื่อเคลื่อนที่ในอากาศ ต่อมาในปีค.ศ. 1965 นาย Norris Fitz Dow ได้จัดตั้งบริษัท N. F. Doweave, Inc. และทดลองทอผ้าสามแกนด้วยเส้นด้าย 3 ชุด (เส้นด้ายยืน 2 ชุด เส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด) โดยเส้นด้ายทั้ง 3 ชุดนี้จะทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกันเกิดโครงสร้างของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าในผืนผ้าดังแสดงในภาพที่ 5 และโครงสร้างของรูปทรงสามเหลี่ยมด้านเท่าทำให้แนวเส้นด้ายทั้งสามแนวถูกล็อกและยึดติดซึ่งกันทำให้มีความคงตัวและทนต่อแรงกลเท่ากันในทุกทิศทางของผืนผ้า ในปีค.ศ. 1968 ผ้าทอสามแกนของนาย Norris Fitz Dow ได้รับจดสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา[2] และในอีก 16 ประเทศทั่วโลก ผ้าทอสามแกนยังถูกพัฒนาและนำไปใช้งานเฉพาะด้านที่ต้องการสมบัติพิเศษที่ผ้าสองแกนธรรมดานั้นไม้สามารถใช้ได้

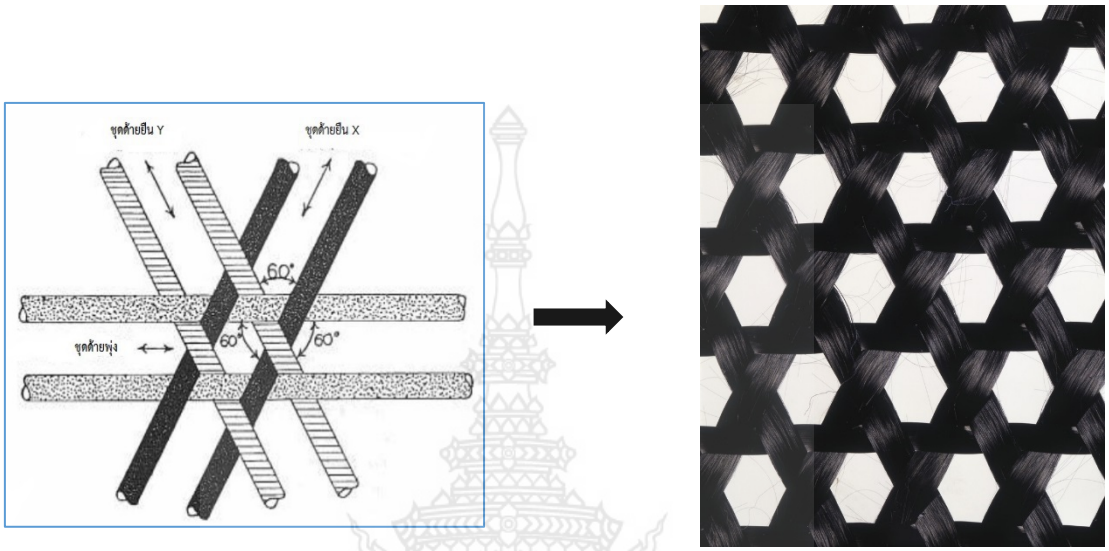


ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกน
ที่มา: Dow (1969)

2.1.2 ลักษณะของผ้าทอสามแกน

การทอแบบสามแกนนั้นเมื่อนำมาใช้ในงานด้านสิ่งทอจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของเส้นใย อัตราส่วนผสมของเส้นใย ประเภท ขนาด ทิศทางและจำนวนเกลียวต่อนิ้วของเส้นด้าย รวมทั้งลวดลายในการทอ จากภาพที่ 6 (ก) แสดงการขัดกันของเส้นด้ายทั้งสามชุด [18] พบว่าชุดด้ายยืน Y ซ้อนทับชุดด้ายยืน X ด้วย มุม 60 องศา และเมื่อสอดเส้นด้ายพุ่งใต้เส้นด้ายยืน X และขึ้นมาทับบนเส้นด้ายยืน Y ทำให้เกิดมุม 60 องศา ระหว่างเส้นด้ายพุ่งกับเส้นด้ายยืน X และเส้นด้ายพุ่งกับเส้นด้ายยืน Y หรืออาจกล่าวได้ว่าเส้นด้ายทั้ง 3 ชุดนี้ทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกันเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ากระจายทั่วทั้งพื้น และเกิดช่องว่างรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าทั่วทั้งพื้นผ้าเช่นกันดังแสดงในภาพที่ 6 (ข) การขัดกันของเส้นด้ายทั้งสามชุดดังที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ได้ผ้าที่มีโครงสร้างแบบเปิดกล่าวคือมีความโปร่งหรือมีความเป็นรูพรุนมาก [19] ในขณะที่ยังคงมีความแข็งแรงในทุกทิศทางทั้งผืนผ้า(Isotropic) ซึ่งถือว่าเป็นสมบัติเฉพาะที่เหนือกว่า

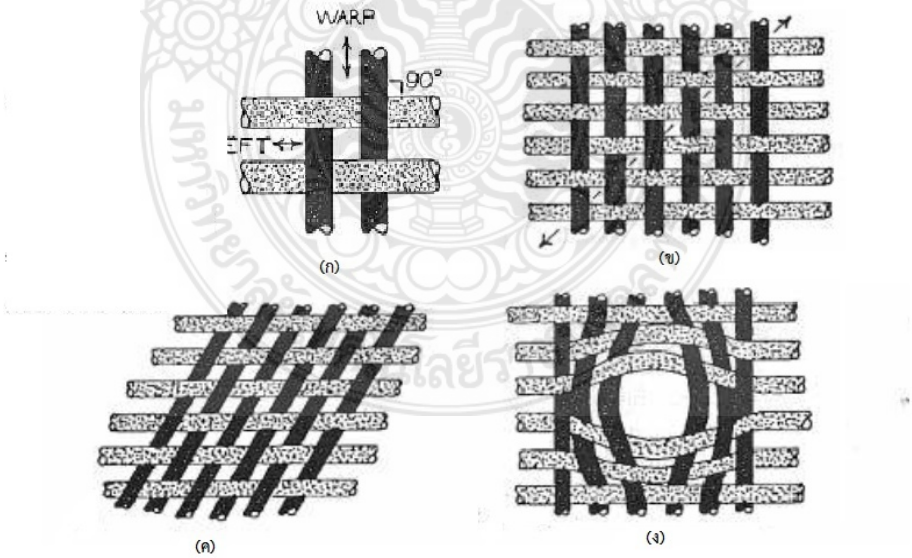
ผ้าทอสองแกนเกิดจากการที่ชุดเส้นด้ายยืนขัดกับชุดเส้นด้ายพุ่งด้วยมุม 90 องศา ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวนั้นทำให้ความสามารถในการรับแรงในแนวทแยงนั้นน้อยกว่าในแนวอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 7 (ข) ซึ่งจะทำให้ผ้าทอนั้นบิดเบี้ยว (ภาพที่ 7 (ค)) และฉีกขาดได้ (ภาพที่ 7 (ง))



(ก) (ข)

ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน (ก) การขัดกันของเส้นด้ายทั้งสามชุด (ข) ภาพขยายของผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน

ที่มา: (ก) Mooney (1984) และ (ข) Brown (n.d.)

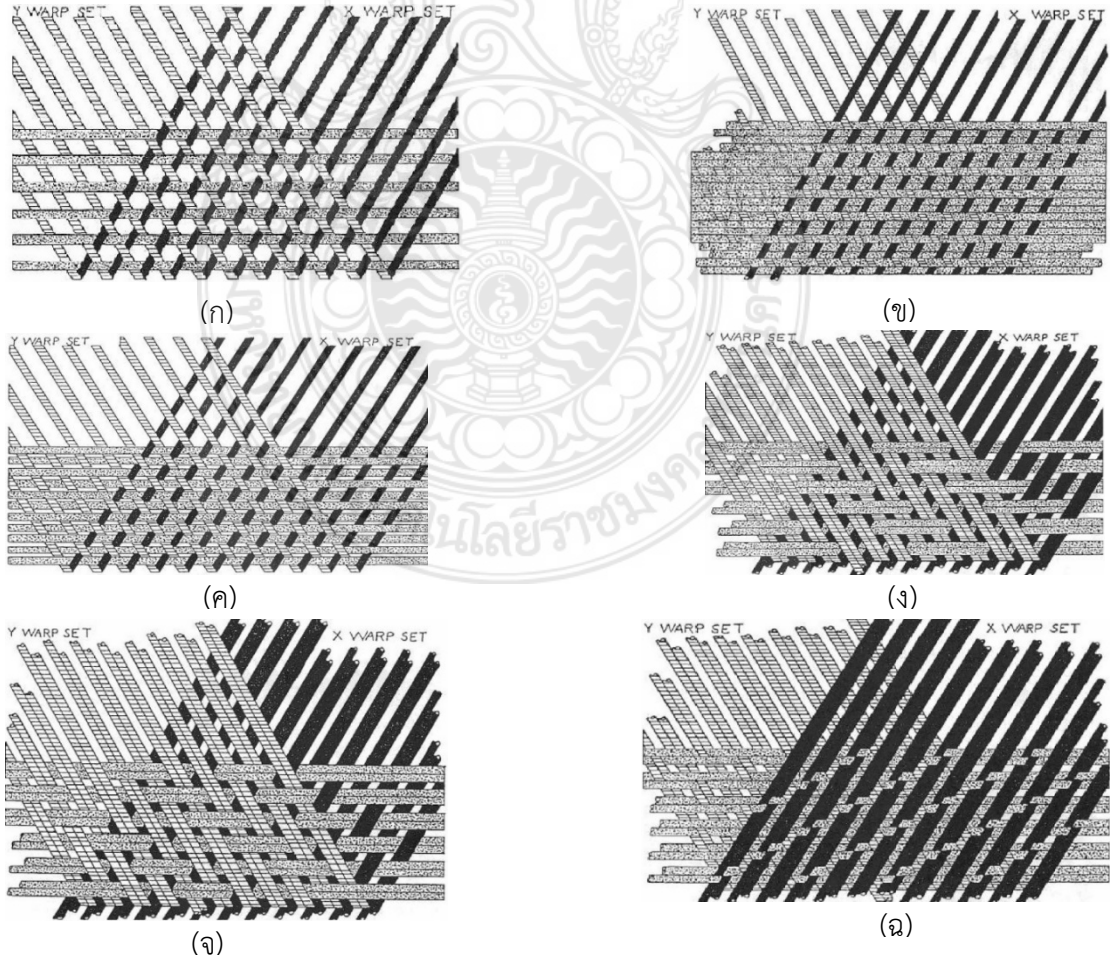


ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างผ้าทอสองแกน (ก) การขัดกันของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง (ข) ทิศทางการรับแรงแนวทแยงของผ้าทอสองแกน (ค) การบิดเบี้ยวของผ้าทอสองแกน (ง) การฉีกขาดของผ้าทอสองแกน

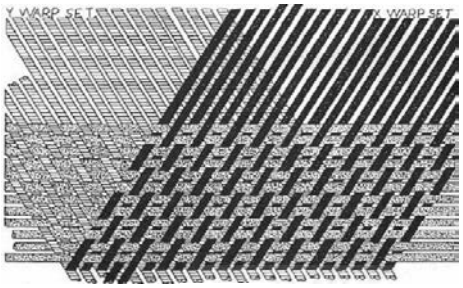
ที่มา: Mooney (1984)

2.1.2.1 ประเภทของผ้าทอสามแกน การแบ่งประเภทของผ้าทอสามแกนนั้นสามารถใช้ลักษณะการขัดกันของเส้นด้ายทั้งสามชุดเป็นเกณฑ์ ได้แก่

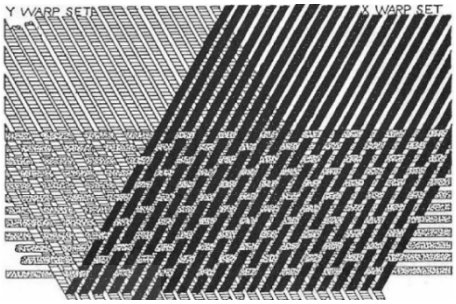
ก) ผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดซ้อนทับกัน ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยภาพที่ 8 (ก) ถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ชุดเส้นด้ายยืน X ซ้อนทับชุดเส้นด้ายยืน Y เท่านั้นไม่ได้มีการขัดกัน ชุดเส้นด้ายพุ่งมี 1 ชุด ข้ามชุดเส้นด้ายยืน Y และลอดใต้ชุดเส้นด้ายยืน X สำหรับการดัดแปลงโครงสร้างของผ้าทอสามแกนประเภทนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนชุดเส้นด้ายพุ่ง ดังแสดงในภาพที่ 8 (ข) และ (ค) ที่มีการเพิ่มจำนวนชุดเส้นด้ายพุ่งอีก 2 และ 1 ชุดตามลำดับทำให้ผ้าทอสามแกนมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ผ้าทอสามแกนประเภทนี้สามารถยังเพิ่มความหนาแน่นได้มากยิ่งขึ้นด้วยการใช้ชุดเส้นด้ายทั้งสามชุดให้เป็นสองเท่าดังแสดงในภาพที่ 8 (ง) และ (จ) โดยชุดเส้นด้ายพุ่งทั้ง 2 ชุดจะข้ามและลอดใต้เส้นด้ายยืนทั้งสองชุด 3 และ 2 เส้นตามลำดับ ในกรณีที่ชุดเส้นด้ายพุ่งมีการขัดกันที่ต่างกันออกไปจะทำให้เกิดลวดลายเฉพาะที่ชุดเส้นด้ายยืนจะลอยชัดเจนเรียกว่า bi-satin weave ดังแสดงในภาพที่ 8 (ฉ) ผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดซ้อนทับกันสามารถดัดแปลงโดยอาศัยหลักการขัดกันของผ้าทอสองแกนลายขัดลายและสองและภาพที่ 8 (ช) และ (ซ) โครงสร้างของผ้าทอสามแกนในภาพที่ 8 (ฌ) มีลักษณะแบบเปิดเพิ่มมากขึ้นจากโครงสร้างพื้นฐานในภาพที่ 8 (ก) เนื่องมีการดึงเส้นด้ายออกจากทุกๆ 3 เส้นของทุกชุดเส้นด้าย



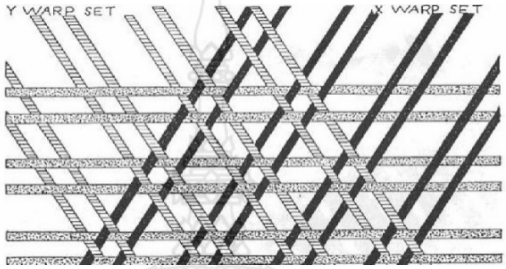
ภาพที่ 8 แสดงผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดซ้อนทับกัน



(ช)



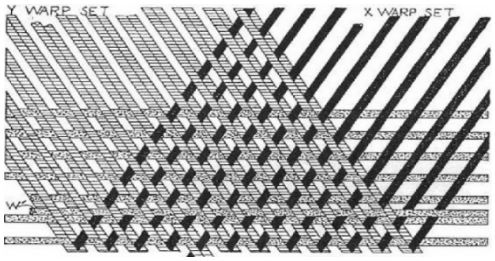
(ซ)



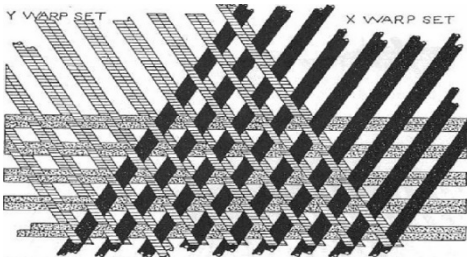
(ฌ)

ภาพที่ 8 (ต่อ) แสดงผ้าทอสามแกนแบบเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดซ้อนทับกัน
ที่มา: Mooney (1984)

ข) ผ้าทอสามแกนแบบที่เส้นด้ายกลุ่มหนึ่งของชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ข้ามผ่านชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 2 จากภาพที่ 9 (ก) ชุดเส้นด้ายยืน Y จะประกอบด้วยกลุ่มเส้นด้าย 2 กลุ่ม ในขณะที่ ชุดเส้นด้ายยืน X ชุดเส้นด้ายพุ่ง ประกอบไปด้วยกลุ่มเส้นด้ายชุดละ 1 กลุ่มเท่านั้นและการสอดใส่เส้นด้ายพุ่งจะแยกเส้นด้ายกลุ่มที่ 1 ของชุดเส้นด้ายยืน Y ให้อยู่บนของชุดเส้นด้ายยืน X และเส้นด้ายยืนกลุ่มที่ 2 ของเส้นด้ายยืน Y จะอยู่ด้านล่างของชุดเส้นด้ายยืน X ในภาพที่ 9 (ข) โครงสร้างเหมือนกับภาพ (ก) แต่ทุกชุดเส้นด้ายประกอบไปด้วยเส้นด้าย 2 กลุ่มทำให้ผ้ามีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ภาพที่ 9 (ค) ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y ทั้งสองชุดประกอบด้วยเส้นด้าย 1 กลุ่ม และขัดกันแบบขึ้น 1 ลง 1 ด้วยมุม 60 องศา และสอดใส่ชุดเส้นด้ายพุ่งที่ประกอบด้วยเส้นด้าย 2 กลุ่ม ขัดกับจุดตัดของชุดเส้นด้ายยืน X และ Y ทำให้ปิดทับชุดเส้นด้ายยืน X ในทุกๆสองเส้น นอกจากการเพิ่มเส้นด้ายเพื่อให้ผ้ามีความหนาแน่นยังสามารถทำให้ผ้าโปร่งมากขึ้นได้จากการดึงเส้นด้ายออกทุกๆสองเส้นของชุดเส้นด้ายยืน Yดังแสดงในภาพที่ 9 (ง)

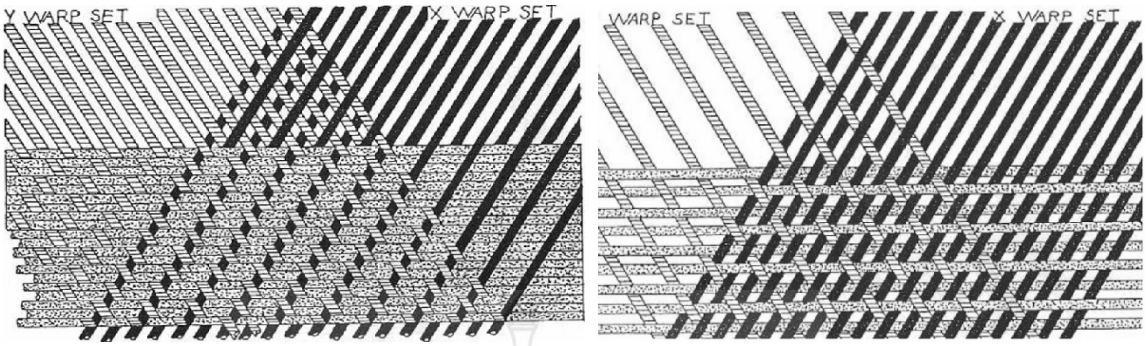


(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 แสดงผ้าทอสามแกนแบบที่เส้นด้ายกลุ่มหนึ่งของชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ข้ามผ่านชุด เส้นด้ายยืนชุดที่ 2

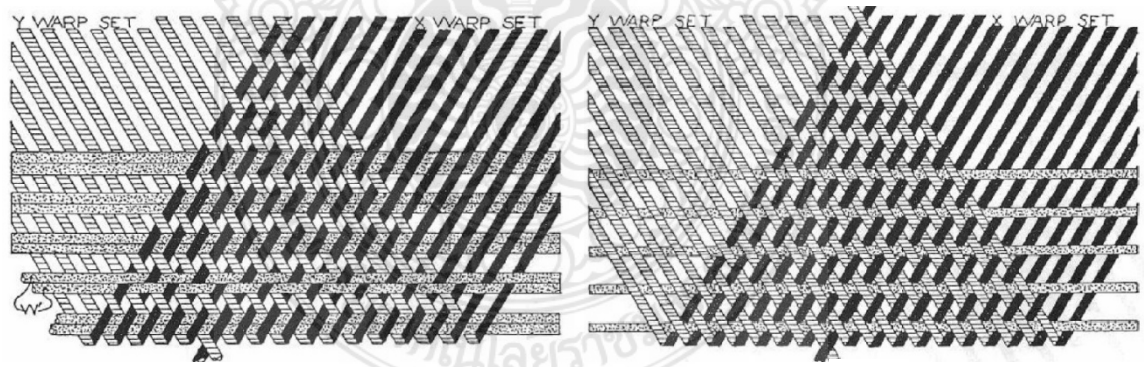


(ค) (ง)

ภาพที่ 9 (ต่อ) แสดงผ้าทอสามแกนแบบที่เส้นด้ายหนึ่งกลุ่มของชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ข้ามผ่านชุดเส้นด้ายยืนชุดที่ 2

ที่มา: Mooney (1984)

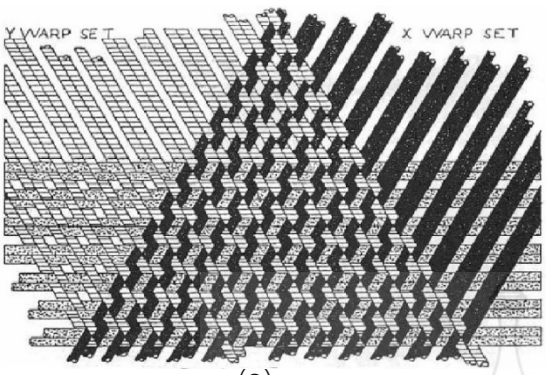
ค) ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากการทอลายขัด ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y ขัดกันด้วยมุม 30 องศา และมีการสอดเส้นด้ายพุ่งระหว่างจุดตัดของเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด ในภาพที่ 10 (ก) ใช้ชุดเส้นด้ายพุ่งจำนวน 2 กลุ่ม และภาพที่ 10 (ข) ใช้ชุดเส้นด้ายพุ่งจำนวน 1 กลุ่ม ผ้าทอสามแกนรูปแบบนี้สามารถเพิ่มความหนาแน่นด้วยการเพิ่มจำนวนกลุ่มเส้นด้ายเป็น 2 กลุ่มของชุดเส้นด้ายทั้งสามชุด ดังแสดงในภาพที่10 (ค) และ (ง) แต่การขัดกันของชุดเส้นด้ายยืนและพุ่งต่างกันทำให้ทั้งสองผืนนั้นมีลวดลายที่แตกต่างกันในภาพ (ง) มีลายที่มีลักษณะคล้ายกังหัน และในภาพที่ 10 (จ) จะมีโครงสร้างที่เปิดและไม่ซับซ้อน โดยชุดเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดขัดกันแบบขึ้น 1 ลง 1 ด้วยมุม 30 องศา และสอดชุดเส้นด้ายพุ่ง 1 กลุ่มระหว่างจุดที่ชุดเส้นด้ายยืนทั้ง 2 ชุดขัดกัน



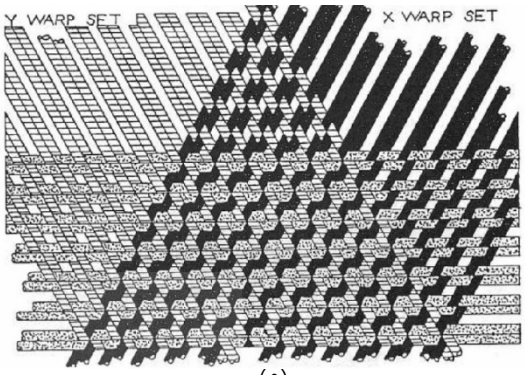
(ก) (ข)

ภาพที่ 10 แสดงผ้าทอสามแกนที่มีดัดแปลงจากการทอลายขัด

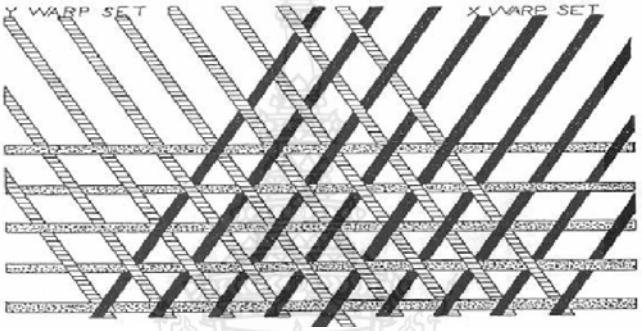
ที่มา: Mooney (1984)



(ค)



(ง)

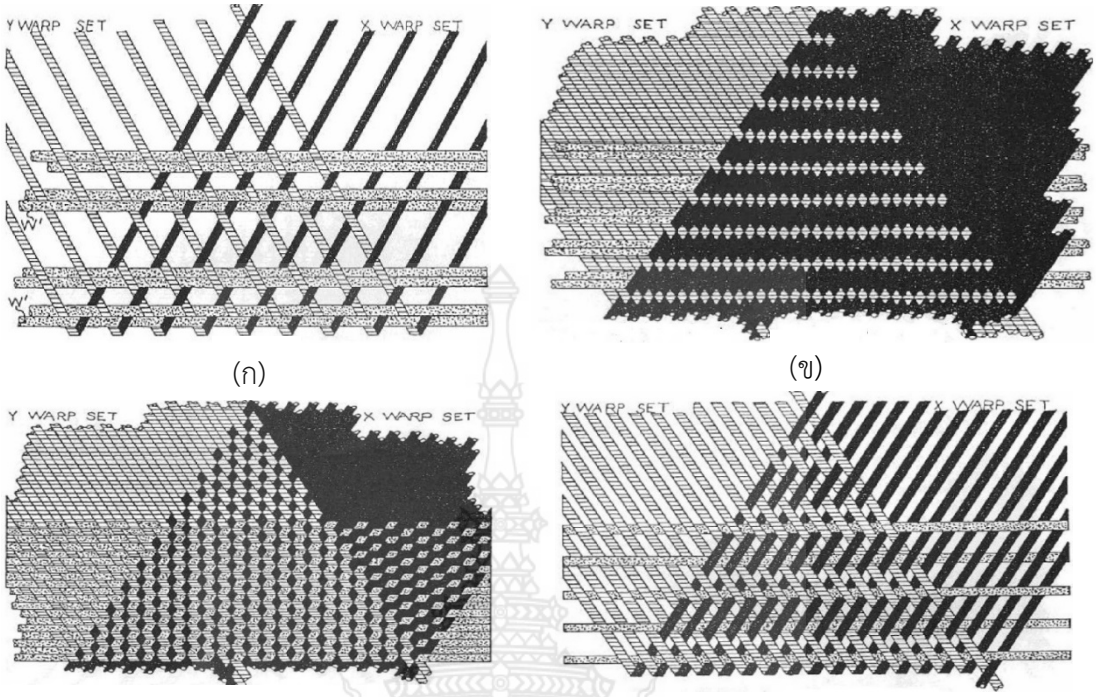


(จ)

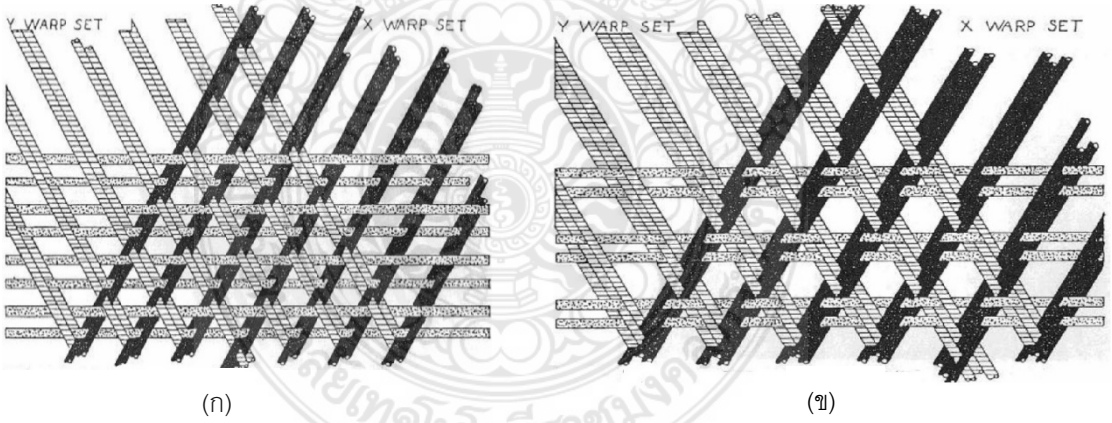
ภาพที่ 10 (ต่อ) ผ้าทอสามแกนที่มีดัดแปลงจากการทอลายขัด
ที่มา: Mooney (1984)

ง) ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากการทอลายสอง โดยชุดเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดขัดกันด้วยมุม 30 องศา แบบขึ้น 2 ลง 1 และสอดชุดเส้นด้ายพุ่งที่ประกอบด้วย 2 กลุ่ม ระหว่างจุดขัดของชุดเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดจะเห็นได้ว่าเป็นผ้าทอสามแกนนี้มีโครงสร้างโปร่ง ดังแสดงในภาพ ที่ 11 (ก) ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y สามารถขัดกันรูปแบบอื่นได้ เช่น ขึ้น 3 ลง 1 ดังในภาพที่ 11 (ข)และมีการสอดชุดเส้นด้ายพุ่งใต้ชุดเส้นด้ายยืน X ทำให้ผ้าทอสามแกนที่ได้มองเห็นเฉพาะเส้นด้ายยืนในภาพที่ 11 (ค) ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y ขัดกันแบบขึ้น 1 ลง 2 และสอดเส้นด้ายพุ่งแบบขึ้น 2 ลง1กับชุดเส้นด้ายยืนเกิดเป็นลายลูกเต๋าสามมิติบนผืนผ้า ภาพที่ 11 (ง) ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y ขัดกันแบบขึ้น 2 ลง 2 และมีการสอดใส่ชุดเส้นด้ายพุ่งที่ระหว่างจุดตัดกันของชุดเส้นด้ายยืนทั้งสองแบบเส้นเว้นเส้นหรือเรียกว่าใช้เส้นด้ายพุ่งร่วมกัน

จ) ผ้าทอสามแกนที่ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y มี 2 กลุ่มเส้นด้ายขึ้นไป ดังแสดงในภาพที่ 12 (ก) ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y มี 2 กลุ่มเส้นด้าย โดยเส้นด้ายกลุ่มที่ 1 ของชุดเส้นด้ายยืน X จะข้ามชุดเส้นด้ายยืน Yทั้งสองกลุ่ม ส่วนเส้นด้ายกลุ่มที่ 2 ของชุดเส้นด้ายยืน Xจะขัดกับชุดเส้นด้ายยืน Y ทั้งสองกลุ่ม แบบขึ้น 1 ลง 1 ส่วนในภาพที่ 12 (ข) แต่ละชุดเส้นด้ายยืนมีกลุ่มเส้นด้าย 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ของชุดเส้นด้ายยืน X จะขัดกับชุดเส้นด้ายยืน Y แบบ ขึ้น 1 ลง 2 เส้นด้ายทักลุ่มที่ 2 ของชุดเส้นด้ายยืน X จะขัดกับชุดเส้นด้ายยืน Y แบบ ขึ้น 2 ลง 1 และ กลุ่มเส้นด้ายกลุ่มที่ 3 ของชุดเส้นด้ายยืน Xจะข้ามผ่านชุดเส้นด้ายยืน Y



ภาพที่ 11 แสดงผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากการทอลายสอง
ที่มา: Mooney (1984)



ภาพที 12 แสดงผ้าทอสามแกนที่ชุดเส้นด้ายยืน X และ Y มี 2 กลุ่มเส้นด้ายขึ้นไป
ที่มา: Mooney (1984)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสามารถทอผ้าสามแกนได้หลายรูปแบบส่งผลให้ผ้าทอสามแกนมีลักษณะและโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป เช่น ลักษณะปรากฏของผ้า ความหนาแน่นของผ้า ความหนาของผ้า ส่งผลต่อน้ำหนักและสมรรถนะของผ้า นอกจากจะใช้รูปแบบการทอเป็นเกณฑ์เพื่อแยกประเภทของผ้าทอสามแกนแล้วยังสามารถใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์

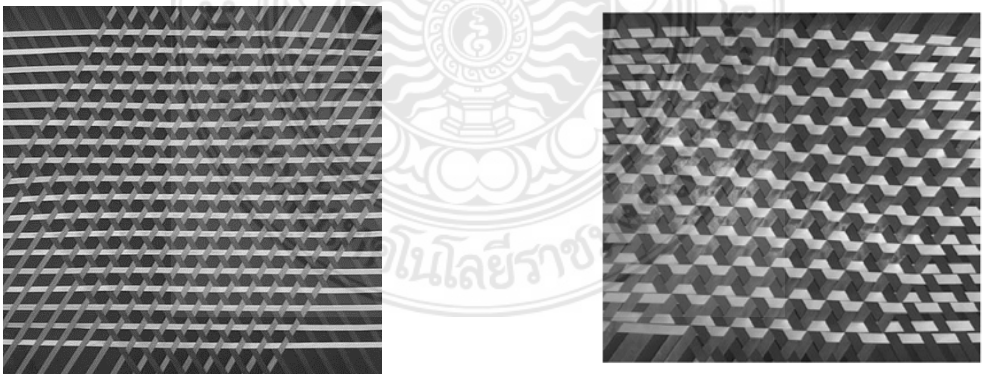
2.1.2.2 ประเภทของผ้าทอสามแกน การใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งผ้าทอสามแกนออกเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในภาพที่ 13 ได้แก่

ก) ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นน้อย ที่มีมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 1.0 ถือเป็นผ้าทอสามแกนที่มีโครงสร้างพื้นฐาน ผ้าชนิดนี้มีความหนาแน่นน้อยเมื่อเทียบกับผ้าทอสามแกนอื่นๆ ดังนั้นจึงมีรูพรุนกระจายทั่วทั้งผืนมากที่สุดและเบาที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าทอสามแกนอื่นๆ จึงมักจะนำผ้าทอสามแกนนี้ไปใช้งานที่ต้องการให้มีการถ่ายเทอากาศได้ดี หรืองานที่ต้องการผ้าที่มีน้ำหนักเบาแต่ก็ต้องมีความแข็งแรง เช่น ผ้าหุ้มเก้าอี้ ตะกร้าผ้า ผ้ากรุโครงโคมไฟ

ข) ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นปานกลางที่มีมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 2.0 ถือเป็นผ้าทอสามแกนที่มีจำนวนเส้นด้ายเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของผ้าทอสามแกนโครงสร้างพื้นฐาน และเส้นด้ายทุกแนวมีการขัดสานซึ่งกันและกัน ผ้าจึงมีความหนาแน่นมากขึ้นแข็งแรงมากขึ้นและมีรูพรุนน้อยลง

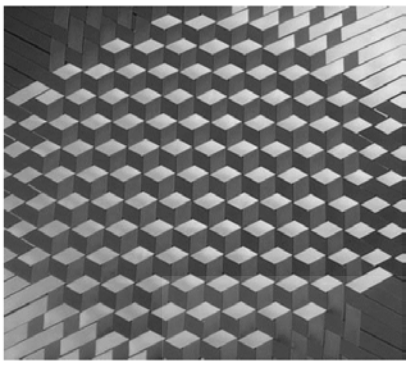
ค) ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นมสูงที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 3.0 ถือเป็นผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นมากที่สุดเนื่องจากมีการขัดกันมากที่สุดของชุดเส้นด้ายทั้งสามชุดเหมือนกับมีผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 1 ทอซ้อนกัน 3 ชั้น เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ ผ้าทอสามแกนชนิดนี้จึงมีความแข็งแรงแรงมากที่สุด สามรถรับแรงได้ทุกทิศทางโดยไม่ทำให้ผ้าเสียรูปหรือฉีกขาด

ง) ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากผ้าทอสองแกน ผ้าทอสามแกนชนิดนี้มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 2.0 ผ้าชนิดนี้ไม่มีความเป็นisotropic กล่าวคือไม่สามารถรับแรงได้เท่ากันทุกทิศทางของแนวเส้นด้ายอย่างไรก็ตามก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผ้าทอสามแกนชนิดนี้เหมือนกับมีผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 1 ทอซ้อนกัน 2 ชั้น

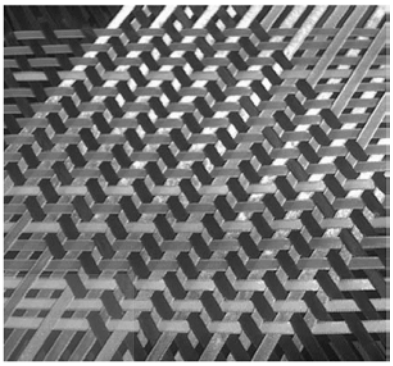


(ก) (ฆ)

ภาพที่ 13 แสดงผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นต่างกัน (ก)ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นน้อย ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นปานกลาง (ข) ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นปานกลาง ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นมสูง (ง) ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากผ้าทอสองแกน



(ค)



(ง)

ภาพที่ 13 แสดงผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นต่างกัน (ก)ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นน้อย ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นปานกลาง (ข) ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นปานกลาง ผ้าทอสามแกนแบบความหนาแน่นมสูง (ง) ผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากผ้าทอสองแกน

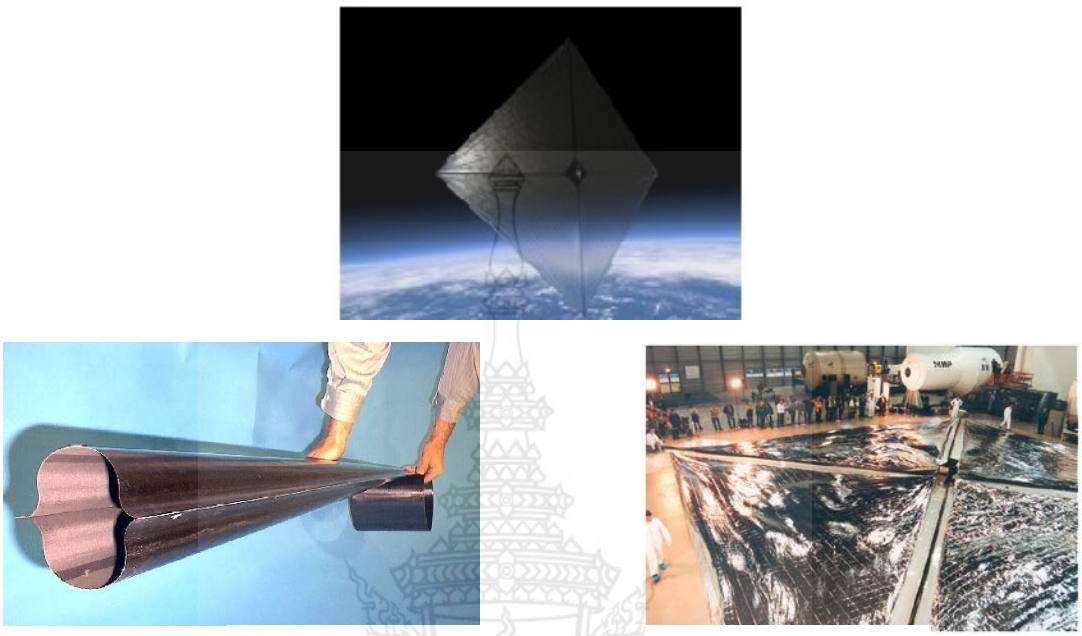
ที่มา: Tyler (2011).

2.1.3 สมบัติและการใช้งานผ้าทอสามแกน

เนื่องจากผ้าทอสามแกนนั้นมีหายชนิดดังที่กล่าวมาข้างต้นรวมทั้งสามารถดัดแปลงลายทอได้อีกมากดังนั้นผ้าทอสามแกนจึงมีสมบัติที่ต่างกันออกไปและผ้าทอสามแกนจึงสามรถนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายๆอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จุดเด่นของผ้าทอสามแกนเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าทอสองแกน คือ สมบัติเชิงกลของผืนผ้า ได้แก่ ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance)ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (Bursting resistance) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความต้านทานต่อความเครียด (Strain resistance) ความต้านทานต่อแรงเฉือนในแนวระนาบ(Planar shear resistance) เท่ากันทุกแนวเส้นด้ายของผืนผ้า ผ้าทอสามแกนพื้นฐานทีมีความหนาแน่นน้อยนั้นมีรูเล็กๆกระจายทั่วทั้งผืนทำให้มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับผ้าทอสองแกนที่ผลิตจากเส้นใยชนิดเดียวกัน การที่มีรูกระจายทั่วทั้งผืนผ้าทำให้สามารถใช้กับงานได้เฉพาะที่ต้องการให้มีอากาศเคลื่อนที่ผ่านได้ง่าย

การใช้งานผ้าทอสามแกนในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ในการเสริมแรงเป็นวัสดุเชิงประกอบ (Composite material) ตัวอย่างเช่น ผ้าทอสามแกนจากเส้นใยคาร์บอนสำหรับส่วนประกอบของอากาศยานและดาวเทียม ได้แก่ แกน CFRP (Carbon fiber reinforce plastic) ของใบเรือแสง (Solar sail) [20] ดังแสดงในภาพที่ 14 ชิ้นส่วนของระบบขับเคลื่อนด้วยตนเองของยานอวกาศ [21] ดังแสดงในภาพที่ 15 สายอากาศจานสะท้อนที่สามารถยืดหยุ่นได้ของดาวเทียม (Elastic folding reflector antennas) [22] ดังแสดงในภาพที่ 16 จากตัวอย่างการใช้งานที่กล่าวมาถือเป็นการใช้งานเฉพาะทางด้านอากาศยานซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ต้องมีน้ำหนักเบาในขณะเดียวกันต้องมีความแข็งแรงในทุก

ทิศทางของผืนผ้า มีความยืดหยุ่น ทำให้ผ้าทอสามแกนที่มีสมบัติดังกล่าวเหนือกว่าผ้าทอสองแกน ได้รับความนิยมอย่างสูง



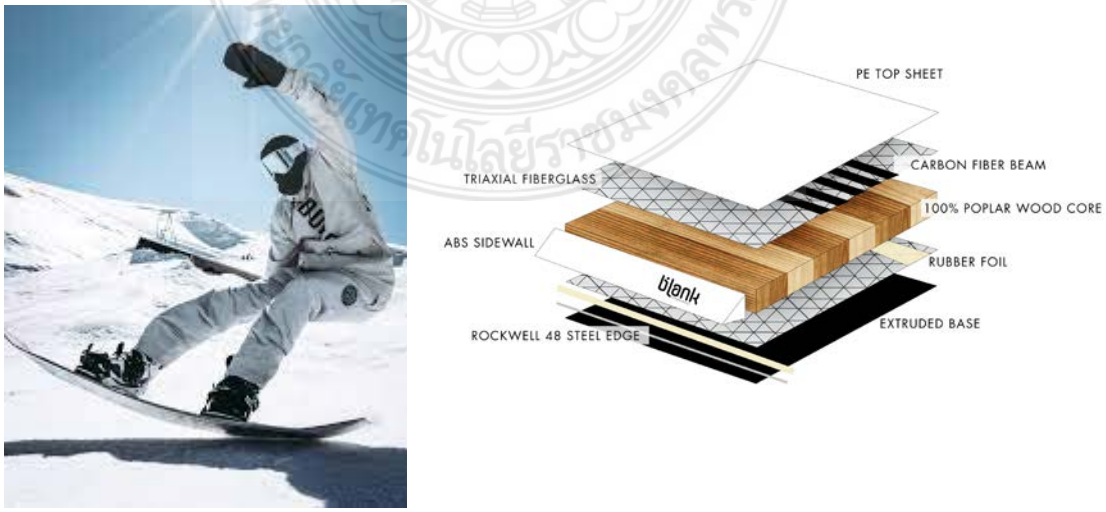
ภาพที่ 14 แสดงแกนCFRP ของใบเรือแสง (Solar sail)
ที่มา: Herbeck et al. (2001)

ภาพที่ 15 แสดงระบบขับเคลื่อนด้วยตนเองของยานอวกาศ
ที่มา: Boesch et al. (2008)

นอกจากการใช้งานทางวิศวกรรมอากาศยานแล้ว ผ้าทอสามแกนยังสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ต้องการให้มีความแข็งแรง ทนต่อการใช้งานในขณะเดียวกันก็มีน้ำหนักเบาเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ทรงตัวได้ดีขึ้น เคลื่อนไหวได้คล่องแคล่วขึ้น เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สกี สโนว์บอร์ด [23] ดังแสดงในภาพที่ 17 สเกตบอร์ด ใบพัดเครื่องบิน ไม้ฮอกกี้ ไม้ตีเบสบอล ไม้ลาครอส (Larcrosse shaft) อวัยวะเทียม ดังแสดงในภาพที่ 18 [24] ผ้าทอสามแกนยังสามารถใช้ทำวัสดุกรอง แผงโซลาเซลล์ เสื้อชูชีพ ผ้าใบเรือ บอลลูน สไลด์เดอร์ที่ใช้ในการอพยพบนเครื่องบิน แพชูชีพ เป็นต้น ถึงแม้จะมุ่งเน้นในเรื่องของประโยชน์การใช้งานเฉพาะ

ทางผ้าทอสามแกนถือได้ว่ามีความสวยงามเป็นเอกลักษณ์ด้วยลักษณะของลายทอที่ใช้เส้นด้ายถึงสามชุดในทิศทางที่ต่างกันดังนั้นสามารถใช้เส้นด้ายที่มีสีที่ต่างกันสร้างความรู้สึกที่แตกต่างจากการพิมพ์ลายหรือการย้อมผ้าผืนที่มักทำในผ้าทอสองแกนดังแสดงในภาพที่ 19 รวมทั้งสามารถนำไปทำเสื้อผ้าทีเข้ารูปทำให้เห็นสรีระที่สวยงามของสตรีแต่ไม่ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตมากนักเนื่องจากผ้าทอสามแกนมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและมีต้นทุนการผลิตสูง

ภาพที่ 16 แสดงระบบขับเคลื่อนด้วยตนเองของยานอวกาศ
ที่มา: Boesch et al. (2008)



ภาพที่ 17 แสดงวัสดุประกอบจากผ้าทอสามแกนที่ใช้ทำสโนว์บอร์ด
ที่มา: Cerpnjak (n.d.)

ภาพที่ 18 แสดงวัสดุประกอบจากผ้าทอสามแกนที่ใช้ทำอวัยวะเทียม

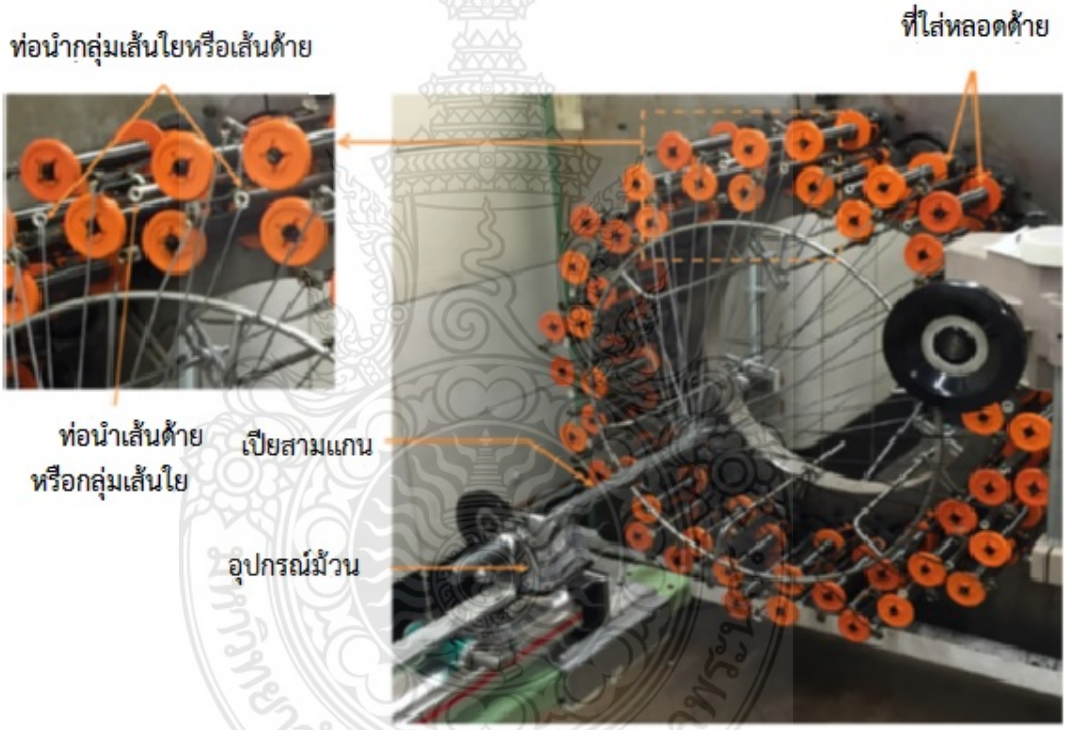
ที่มา: Johns Hopkins Applied Physics Lab (n.d.)

ภาพที่ 19 แสดงผ้าทอสามแกนด้วยเส้นด้ายต่างสี

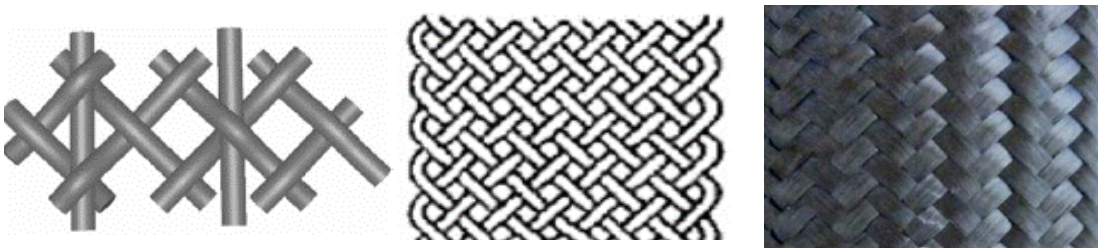
ที่มา: Mooney (1984)

2.1.4 การผลิตผ้าทอสามแกน

การผลิตผ้าทอสามแกนเริ่มต้นจากงานหัตถกรรมจนกระทั่งในปี ค.ศ.1970 เริ่มมีการใช้เครื่องจักรที่ดัดแปลงจากเครื่องเปียซึ่งออกแบบโดย Norris F. Dow และผลิตโดย Barber-Colman ในการผลิตผ้าทอสามแกน อุตสาหกรรมการผลิตผ้าทอสามแกนนั้นแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ การทอ ซึ่งผ้าทอสามแกนที่ได้จะมีลักษณะเป็นผืนและการเปียที่ผ้าทอสามแกนจะออกมาเป็นท่อทรงกระบอก (Tube) แล้วนำมาตัดให้แผ่ออกเป็นผืนผ้า ภาพที่ 20 แสดงเครื่องเปียสามแกน 48 แกนหลอดด้าย และ 24 ท่อนำเส้นด้าย กลไกการทำงานของเครื่องเปียสามแกนนั้น แกนใส่หลอดด้ายจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 หมุนตามเข็มนาฬิกาอีกกลุ่มหมุนทวนเข็มนาฬิกา ทำให้เกิดโครงสร้างของการหมุนพันกันของเส้นด้ายกลายเป็นเปียสองแกน และการทำงานของท่อนำเส้นด้ายหรือกลุ่มเส้นใยจะเพิ่มเส้นด้ายเพิ่มอีกหนึ่งชุดให้กับโครงสร้างของเปียเกิดเป็นเปียสามแกน [25] ดังแสดงในภาพที่ 21

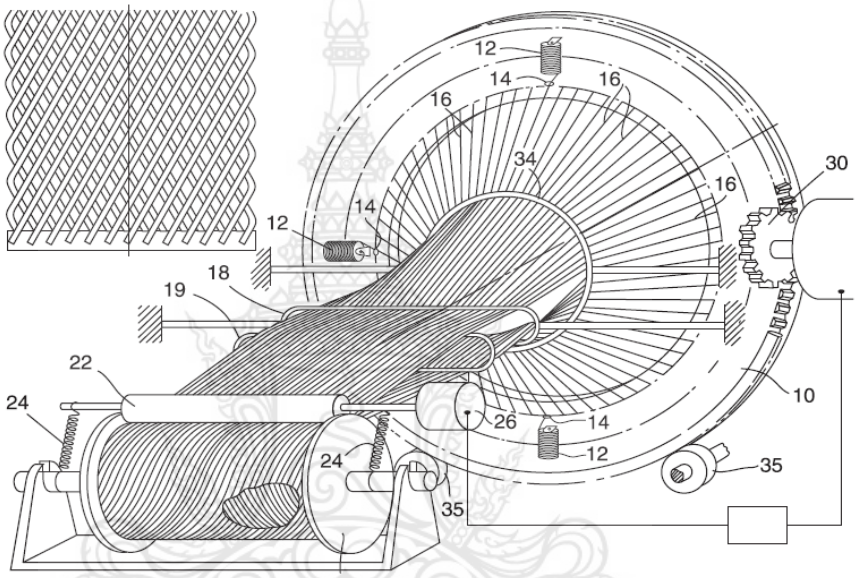


ภาพที่ 20 แสดงเครื่องเปียสามแกน 48 แกนหลอดด้ายและ 24 ท่อนำเส้นด้าย
ที่มา: Ataş et al. (2016)

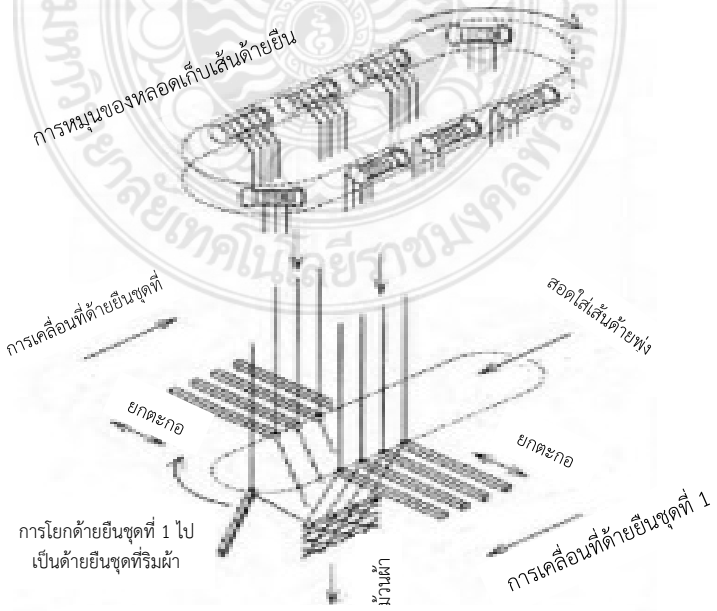


ภาพที่ 21 แสดงโครงสร้างของผ้าทอสามแกนจากการเปีย
ที่มา: Ataş et al. (2016)

การผลิตผ้าทอสามแกนโดยใช้เครื่องทอในปี ค.ศ. 1970 ที่คิดค้นขึ้นมาใหม่โดย Norris F. Dow และผลิตโดย Barber-Colman [26] นั้นแสดงในภาพที่ 22 องค์ประกอบของกลไกการทอผ้าสามแกนแสดงในภาพที่ 23 มี 1) การแยกเส้นด้ายยืนออกเป็น 2 ชุดโดยการยกตะกอ 2) การเคลื่อนที่เส้นด้ายยืนทั้งสองชุดในทิศทางตรงกันข้ามตลอดหน้าผ้า 3) วิธีการโยกเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ให้เป็นเส้นด้ายยืนชุดที่ 2 เมื่อทอถึงบริเวณริมผ้า 4) การเคลื่อนที่ของแกนสำรองเส้นด้ายในจังหวะที่มีการยกตะกอและเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดเคลื่อนที่ทำให้เส้นด้ายยืนเคลื่อนที่และทอต่อเนื่อง 5) การสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง 6) การม้วนเก็บผ้าซึ่งจะไม่พันกับเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง [27]



ภาพที่ 22 แสดงแบบเครื่องทอผ้าทอผ้าสามแกน
ที่มา: Dow & Radnor (1975)

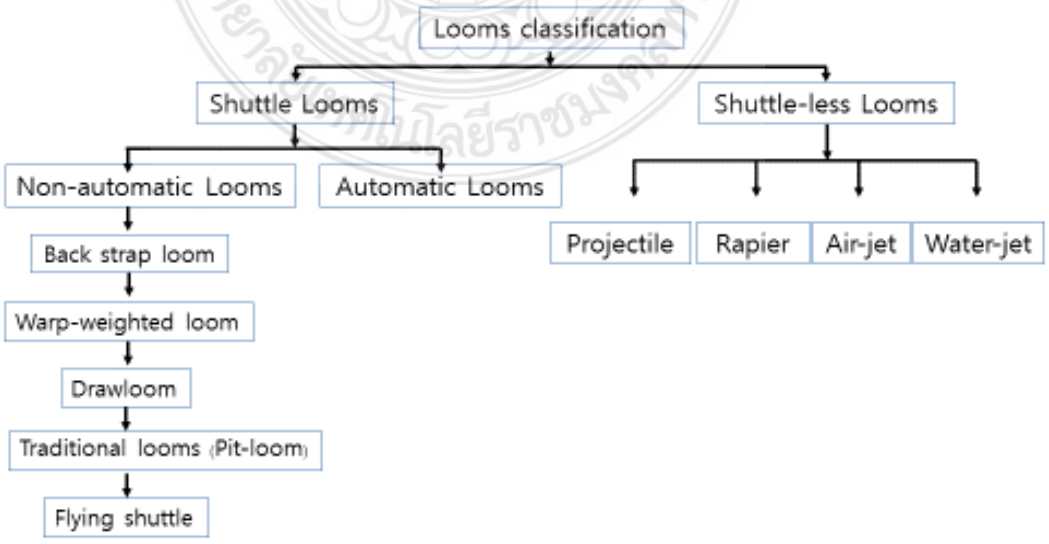


ภาพที่ 23 แสดงกลไกการทอผ้าทอผ้าสามแกน
ที่มา: Durie (2004)

จากกระบวนการผลิตผ้าทอสามแกนในระดับอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนส่งผลให้มีผู้ผลิตไม่มากนักและมีหลายๆบริษัทปิดตัวลงเนื่องจากความไม่คุ้มทุนเพราะมีตลาดที่แคบตัวอย่างบริษัทที่ยังคงผลิตอยู่ ได้แก่ SAKASE ADTECH CO., LTD. ของประเทศญี่ปุ่นที่ผลิตผ้าทอสามแกนแบบครบวงจรที่เป็นวัสดุประกอบสำหรับอุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้กอล์ฟ สกีบอร์ด เบ็ดตกปลา เป็นต้น วัสดุประกอบสำหรับอวกาศ เช่น สายอากาศของดาวเทียม จรวด สถานีอวกาศ เป็นต้น วัสดุประกอบสำหรับสถาปัตยกรรมและการตกแต่งภายใน เช่น ตกแต่งเพดานและผนัง เป็นต้น บริษัท C. Cramer & Co. (CCC) ของประเทศเยอรมัน ซึ่งผลิตผ้าทอสามแกนสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อวกาศ ก่อสร้าง ยานยนตร์ เรือเดินทะเล สิ่งทอทางการแพทย์ และยังเป็นผู้ผลิตเครื่องทอผ้าสามแกน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การผลิตผ้าทอสามแกนในระดับอุตสาหกรรมยังมีอยู่อย่างจำกัดแต่การทอผ้าสามแกนในระดับหัตถกรรมกลับสามารถพบเห็นและทำได้ง่ายกว่า

2.2 กรอบทอผ้า (Hand weaving frame)

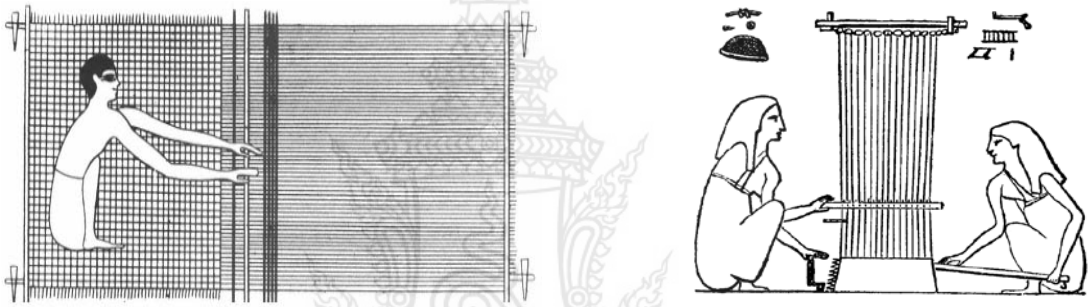
การทอผ้าสองแกนโดยใช้เครื่องทอผ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องทอแบบใช้กระสวยในการนำเส้นด้ายพุ่งและเครื่องทอที่ไม่ใช้กระสวยดังแสดงในภาพที่ 24 เครื่องทอแบบใช้กระสวยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นการใช้คนควบคุมให้กระสวยเคลื่อนที่ (Non-automatic shuttle loom) และเครื่องจักรควบคุมการเคลื่อนที่ของกระสวย (Automatic shuttle loom) การทอแบบใช้แรงคนในการควบคุมให้กระสวยเคลื่อนที่ถือเป็นงานหัตถกรรมและใช้ระยะเวลาในการทอนานเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทอแบบอื่นๆ อีกทั้งมีข้อจำกัดในทางเทคนิค เช่น ความกว้างและยาวของผ้าที่ทอได้ ความสม่ำเสมอของผ้า ความสามารถในการผลิตซ้ำ แต่เครื่องทอประเภทดังกล่าวยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทั่วทุกมุมโลก เพราะ การติดตั้งตลอดจนการใช้งานนั้นไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับเครื่องทอประเภทอื่น นอกจากนี้ผ้าที่ทอด้วยใช้แรงคนในการควบคุมให้กระสวยเคลื่อนที่เรียกว่าผ้าทอมือ ถือว่าเป็นงานหัตถศิลป์ที่มีคุณค่าเพราะต้องใช้ช่างทอที่มีความชำนาญตลอดจนต้องอาศัยความประณีต มีความละเอียดและใจรักจึงจะทอผ้าให้เสร็จสวยงามและมีคุณภาพ



ภาพที่ 24 แสดงการแบ่งประเภทของเครื่องทอผ้า

เครื่องทอผ้ามีวิวัฒนาการอันยาวนานโดยมีการค้นพบภาพวาดบนฝาผนังในสุสานของ Khethy เมือง Beni Hasan ประเทศอียิปต์มีอายุประมาณ 2000 ปีก่อนคริสตศักราช ดังแสดงในภาพที่ 25 (ก) โดยเส้นด้ายยืนถูกขึงไว้บนพื้นในแนวราบและอาจจะสอดใส่เส้นด้ายพุ่งด้วยมือ และ (ข) เส้นด้ายยืนถูกแขวนตั้งฉากกับพื้นโดยผู้หญิงคนหนึ่งจะเป็นคนสอดเส้นด้ายพุ่งและผู้หญิงอีกคนหนึ่งช่วยกระทบเส้นด้ายให้แน่นขึ้น [28] กระบวนการดังกล่าวถือเป็นหลักการเบื้องต้นของการทอผ้าด้วยมือ (Hand loom weaving) ต่อมาได้มีการใช้อุปกรณ์ในการสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง เช่น แท่งไม้ กระสวย เป็นต้น อุปกรณ์ในการแยกเส้นด้ายยืน เช่น แท่งไม้ ตะกอ และยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถทอผ้าได้ยาวขึ้น หน้ากว้างมากยิ่งขึ้น ลวดลายซับซ้อนและสวยงามมากยิ่งขึ้น

ในการสืบค้นเนื้อหาด้านกรอบทอผ้าจะมุ่งเน้นกรอบทอผ้าที่มีกลไกลการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและใช้งานได้จริงเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับการทอผ้าสามแกน ได้แก่



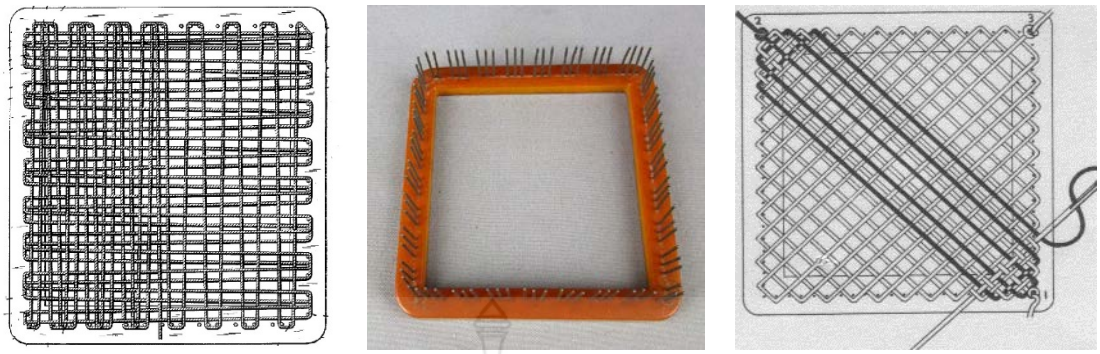
(ก) (ข)

ภาพที่ 25 แสดงการทอผ้าของชาวอียิปต์โบราณ
ที่มา: Hooper (1936)

2.2.1 กรอบทอผ้าแบบหมุด

กรอบทอผ้าแบบนี้มีทั้งที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยตัวที่ใช้ยึดเส้นด้ายนั้นส่วนใหญ่เป็นเข็มหมุดโลหะภาษาอังกฤษจึงเรียกว่า Pin loom วัสดุที่ใช้ทำกรอบนั้นส่วนใหญ่เป็นไม้ที่มีความหนาเพื่อให้สามารถทนต่อแรงตึงของกลุ่มเส้นด้ายและโครงสร้างการทอได้ มีชื่อทางการค้าดังตัวอย่างต่อไปนี้

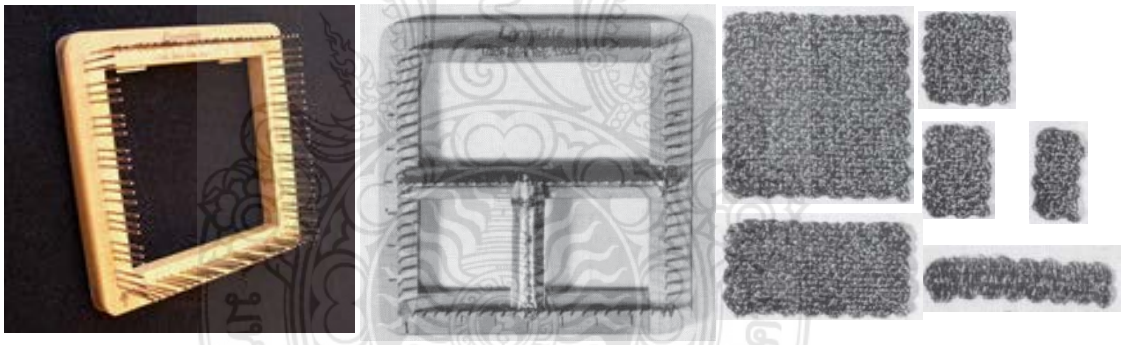
2.1.1.1 **Weave-It Looms™** กรอบทอผ้านี้คิดค้นในปี ค.ศ. 1934 ออกแบบโดย Donald R. Simonds และได้มีการจดสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา [29] ดังแสดงในภาพที่ 26 (ก) ในช่วงแรกตัวกรอบผลิตจากไม้ต่อมาใช้พลาสติกเป็นวัสดุทดแทนทำให้มีน้ำหนักเบา แต่ยังคงใช้หมุดที่มีการเรียงตัวติดกัน 3 หมุด และเว้นระยะห่างเท่าๆกันกับหมุดชุดต่อไปเพื่อให้สามารถทอได้ง่ายขึ้นดังแสดงในภาพที่ 26 (ข) กรอบทอผ้ามีขนาด 2 4 และ 5 นิ้ว ซึ่งการขึ้นเส้นด้ายจะทำในแนวตั้งและแนวขวางนอกจากนี้ยังมีกรอบทอผ้ารูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 4 นิ้ว สำหรับทอผ้าในแนวทแยง โดยหมุดจะเรียงตัวเว้นระยะห่างเท่ากัน [30] ดังแสดงในภาพที่ 26 (ค)



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 26 แสดงกรอบทอผ้า Weave-It Looms™
ที่มา: Donars products corps. (n.d.)

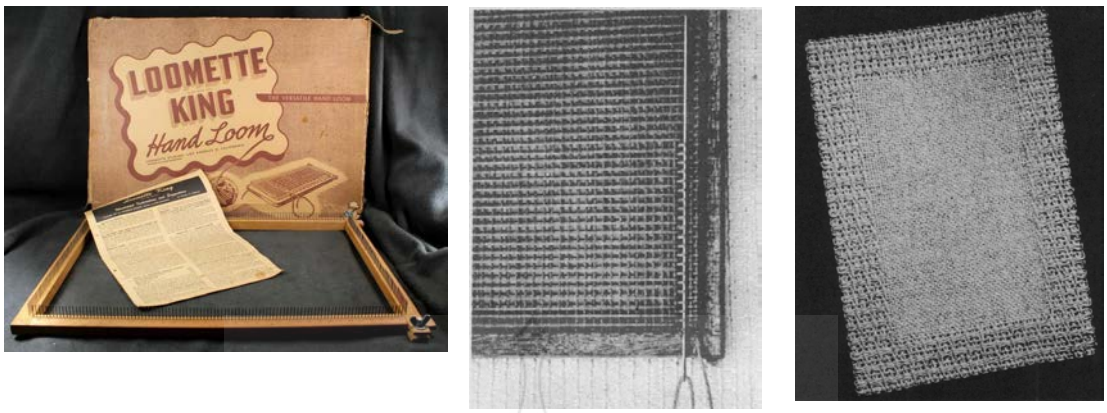
2.1.1.2 Loomtte™ กรอบทอผ้านี้คิดค้นในปี ค.ศ. 1935 โดยบริษัท Catercraft Studios ประเทศสหรัฐอเมริกา ภาพที่ 27 (ก) ทำจากกรอบไม้รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 4 × 4 นิ้ว มีตะปูหรือหมุดตอกติดกับกรอบไม้โดยรอบเพื่อใช้ยึดเส้นด้าย ใช้เข็มในการการสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง ต่อมาในปี ค.ศ. 1936 ได้มีการพัฒนาโดยการเพิ่มแผ่นโลหะ 2 แผ่น เพื่อให้สามารถทอได้ทั้งสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังแสดงในภาพที่ 27 (ข) และ (ค) ตามลำดับ [31,32]



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 27 แสดงกรอบทอผ้า Loomtte™
ที่มา: Catercraft Studios (1936)

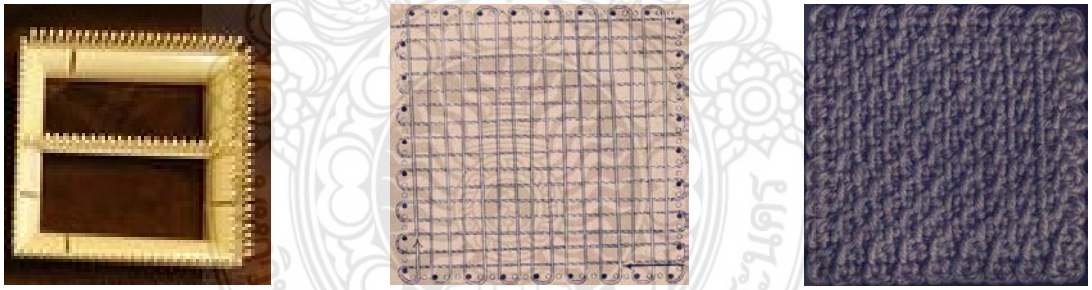
นอกจากกรอบทอผ้ารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 4 × 4 นิ้ว บริษัท Catercraft Studios ได้พัฒนากรอบทอผ้าให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 14 x 20 นิ้ว ตัวกรอบทำจากไม้ที่มีความหนาและติดหมุดทั้ง 4 ด้าน และไม่สามารถปรับขนาดได้เรียกกรอบทอสามแกนรุ่นนี้ว่า “Loomette King” [33] ดังแสดงในภาพที่ 28 (ก) และยังคงใช้เข็มในการสอดใส่เส้นด้าย ดังแสดงในภาพที่ 28 (ข) ผ้าที่ทอได้จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในภาพที่ 28 (ค)



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 28 แสดงกรอบทอผ้า Loomette King
ที่มา: Loomette Studios (1951)

2.1.1.3 Magic Loom® เป็นกรอบทอผ้าที่ได้รับความนิยมของบริษัท Bulcilla ตัวกรอบทำจากพลาสติกสีงาช้างมีหมุดอยู่ตรงขอบของกรอบสำหรับคล้องเส้นด้ายสามารถปรับขนาดได้โดยใช้แผ่นกั้นระหว่างกรอบที่รอยสลักไว้ดังภาพที่ 29 (ก) โดยทุกด้านของกรอบจะมีจำนวนหมุดเท่ากันและตรงกันทุกด้านของกรอบ ทุกๆสามหมุดจะมีหมุดที่มีความสูงสูงกว่าหมุดอีกสองหมุดเสมอเพื่อช่วยให้ทอผ้าได้ง่ายขึ้นสังเกตได้จากจุดดำและขาวในภาพที่ 29 (ข) ทำให้ผ้าที่ทอได้มีความสมมาตรและประณีต [34] ดังแสดงในภาพที่ 29 (ค)



(ก) (ข) (ค)

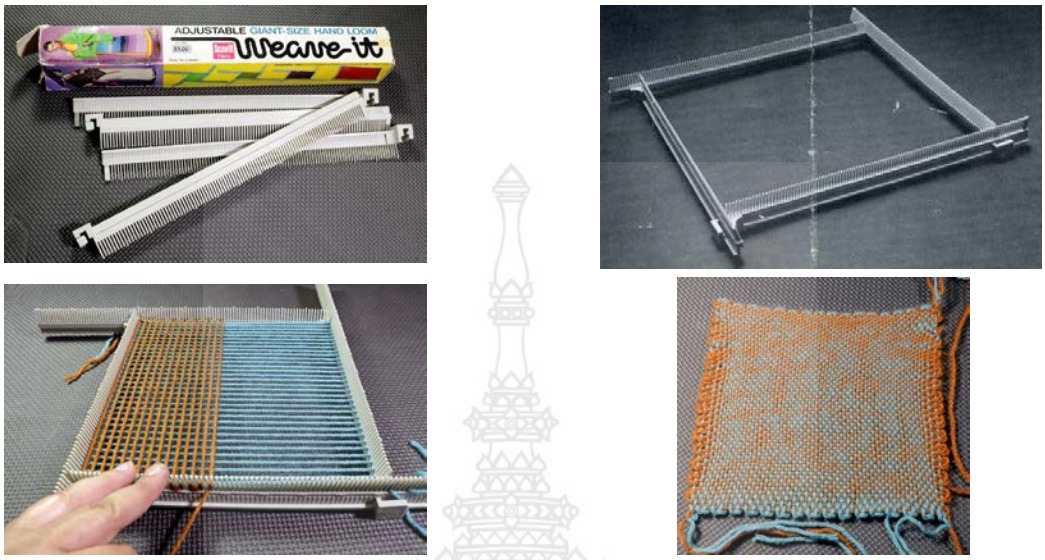
ภาพที่ 29 แสดงกรอบทอผ้า Magic Loom®
ที่มา: Bulcilla products (n.d.)

2.2.2 กรอบทอผ้าแบบฟันหวี

กรอบแบบนี้ลักษณะคล้ายคลึงกับกรอบทอผ้าแบบหมุดแต่ตัวกรอบจะมีลักษณะเป็นแถบหรือแผ่น (Bar) ที่มีซี่ถี่ๆคล้ายฟันหวีเพื่อไว้ใช้คล้องและยึดเส้นด้าย อาจทำจากพลาสติกหรือโลหะ

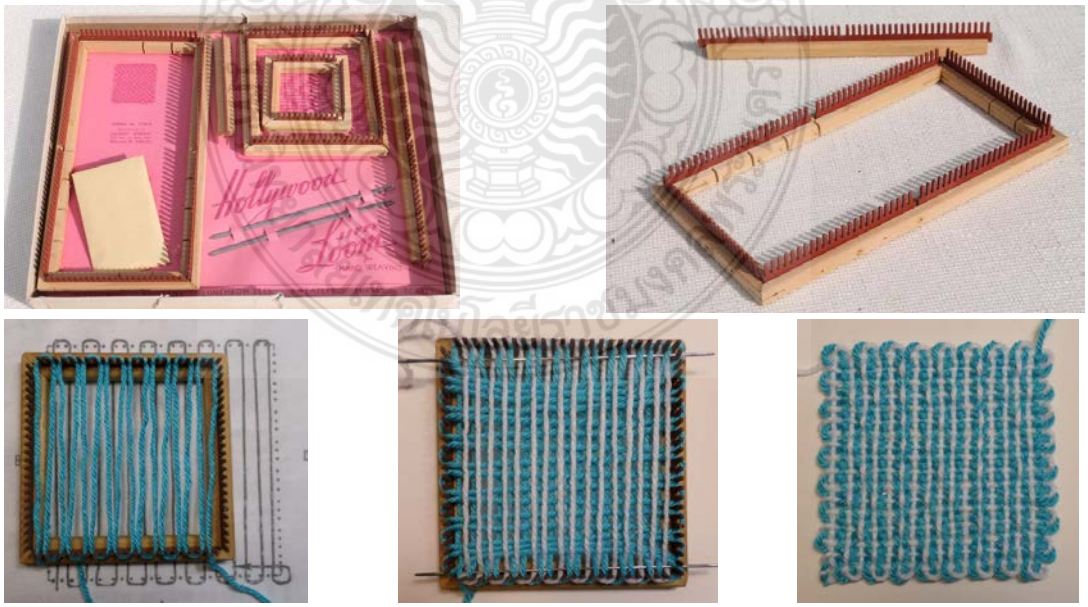
2.2.2.1 **Adjustable Giant Size Weave-It™** เป็นการพัฒนาต่อยอด **Weave-It™** ให้สามารถปรับขนาดได้ตั้งแต่ 2 – 12 นิ้ว และสามารถปรับรูปร่างได้ทั้งสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกรอบทอผ้ามีลักษณะเป็นแถบบางมีซี่ถี่ๆคล้ายกับฟันหวีและใช้เข็มในการสอด

ใส่เส้นด้าย กรอบทอผ้ารุ่นนี้สามารถใช้ทอเส้นด้ายขนาดใหญ่หรือเส้นด้ายควบ (Plied yarn) ได้ [35] ดังแสดงในภาพที่ 30



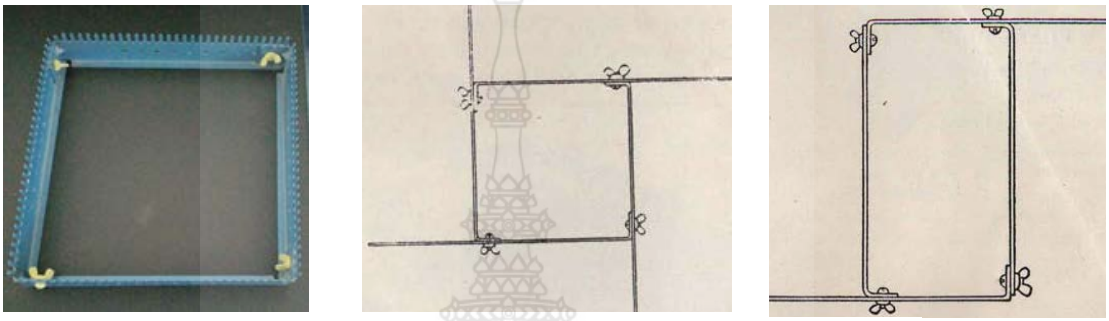
ภาพที่ 30 แสดงกรอบทอผ้า Adjustable Giant Size Weave-It™
ที่มา: Scovilhiro (n.d.)

2.2.2.2 Hollywood Jiffy Loom กรอบทอผ้านี้ทำจากไม้ที่มีการเซาะร่องไว้ใส่แผ่นไม้อัดที่มีลักษณะเป็นซี่ๆสำหรับคล้องเส้นด้าย กรอบไม้มีหลายขนาดและสามารถปรับขนาดได้โดยใช้แผ่นไม้ใส่ตามร่องที่มีการเซาะร่องไว้ด้านในของกรอบ ใช้เข็มในการสอดใส่เส้นด้ายดัง [36] แสดงในภาพที่ 31 เนื่องจากซี่เล็กๆที่ใช้ในการคล้องเส้นด้ายค่อนข้างบางจึงอาจงอหรือบิดได้ [32]



ภาพที่ 31 แสดงกรอบทอผ้า Hollywood Jiffy Loom
ที่มา: Vintage weave it square jiffy loom hand weaving adjustable frame kit instructions (n.d.)

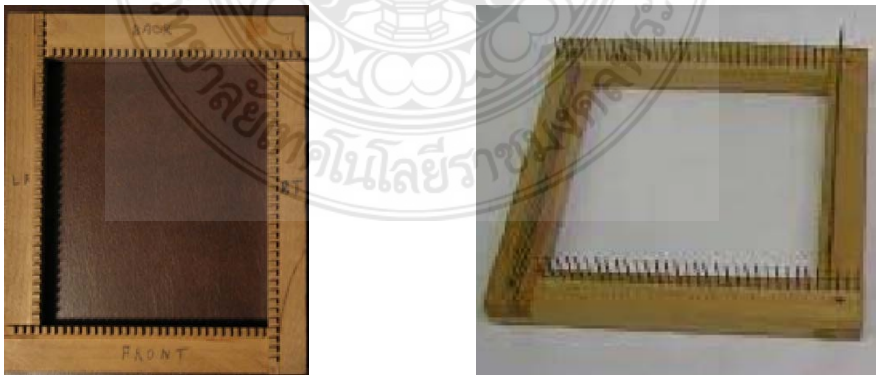
2.2.2.3 Straits Adjustable Loom กรอบทอผ้านี้บริษัท Straits Product เป็นผู้ผลิตและจำหน่าย สามารถทอผ้าได้ทั้งรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสามารถปรับขนาดได้โดยการใช้ตะปูควงยึดแผ่นโลหะให้ติดกันทั้ง 4 ด้าน ตัวแผ่นโลหะด้านบนมีลักษณะเป็นซี่ๆ ไว้สำหรับให้เส้นด้ายคล้องและมีฐานอยู่ด้านล่างของกรอบดังแสดงในภาพที่ 32 ทำให้กรอบทอผ้านี้แข็งแรง ตัวซี่แข็งแรงทนต่อแรงตึงของเส้นด้ายขณะทอและสามารถทอผ้าขนาดได้ตั้งแต่ 2 – 7 ตารางนิ้ว [37]



ภาพที่ 32 แสดงกรอบทอผ้า Straits Adjustable Loom
ที่มา: Straits Product (n.d.)

2.2.3 กรอบทอผ้าแบบเซาะร่อง

กรอบทอผ้าแบบนี้ไม่มีหมุดหรือซี่เล็กๆในการคล้องและยึดเส้นด้ายในการทอแต่ใช้การเซาะกรอบไม้ให้เป็นร่องตื้นถี่ๆเพื่อให้เส้นด้ายพาดไว้ที่ร่องและไม่พันกับเส้นด้ายที่อยู่ในร่องใกล้เคียง ตัวอย่างของกรอบทอผ้าแบบนี้ได้แก่ Cynthia Easiweave Frame ดังแสดงในภาพที่ 33 (ก) อย่างไรก็ตามกรอบทอผ้าแบบนี้ใช้งานยากเนื่องจากไม่สามารถทำให้เส้นด้ายเป็นระเบียบไม่พันกันได้ จึงได้มีการนำหลักการของ Pin loom มาใช้ในการพัฒนา Cynthia Easiweave Frame รุ่นถัดไป [32] ดังแสดงในภาพที่ 33 (ข)

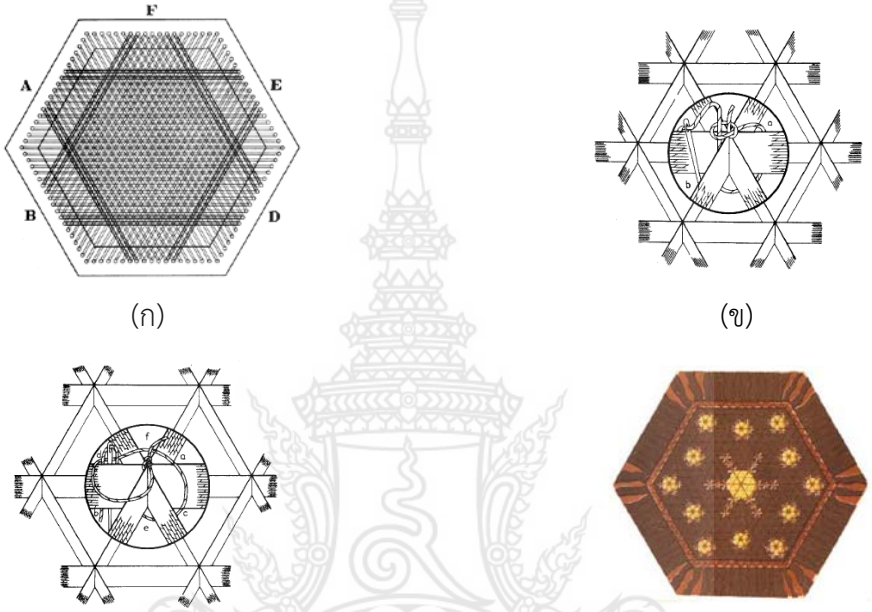


(ก) (ข)

ภาพที่ 33 แสดงกรอบทอผ้า Cynthia Easiweave Frame
ที่มา: Trent (n.d.)

2.2.4 กรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม

นอกจากกรอบทอผ้ารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วยังมีกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมซึ่งส่วนใหญ่ทำจากไม้และใช้หมุดเป็นตัวยึดเส้นด้าย ดังภาพที่ 34 (ก) ซึ่งการขึงเส้นด้ายไขว้ไปมาเป็นเหมือนพื้นหลังของผืนผ้า จากนั้นใช้การผูกมัดเส้นด้ายที่ไขว้กันให้เป็นลวดลายตามภาพที่ 34 (ข) และ (ค) และได้เป็นผ้าที่มีลวดลายในภาพที่ 34 (ง)



(ก) (ข)

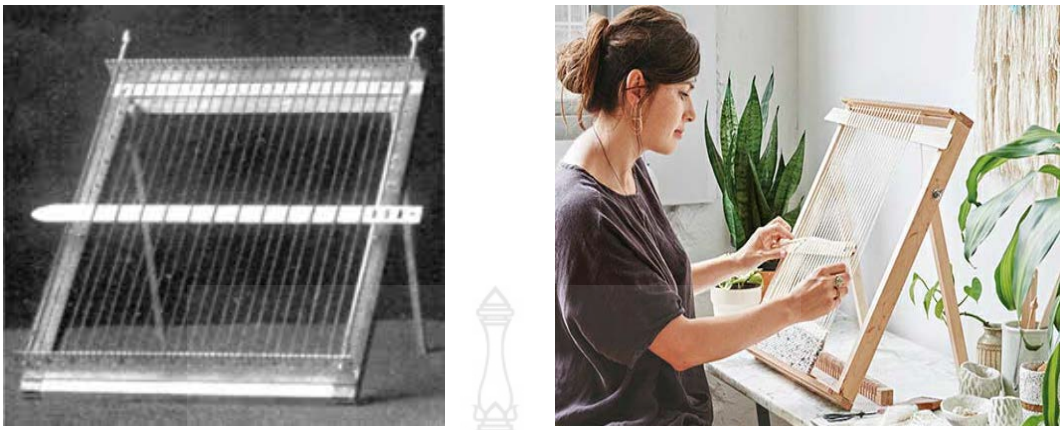
(ค) (ง)

ภาพที่ 34 แสดงกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม

ที่มา: The recreation division of the Chicago park district (1936)

2.2.5 กรอบทอผ้าแบบมีขาตั้ง

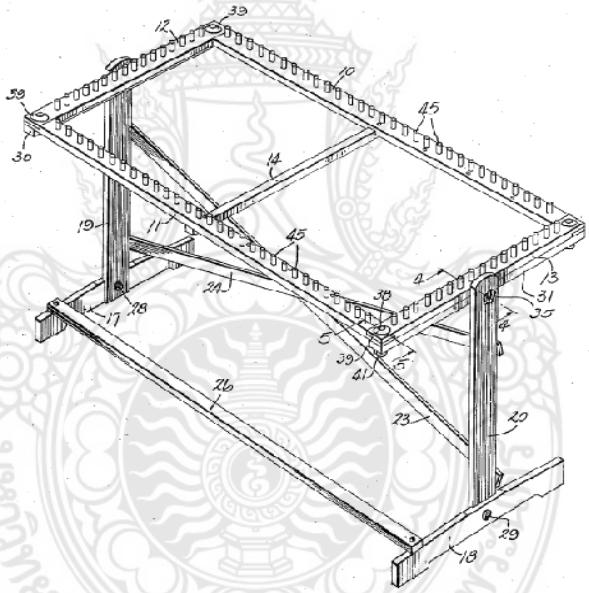
กรอบทอผ้าแบบนี้จะเป็นการนำขาตั้งมารองรับและยึดติดกับตัวกรอบ เพื่อให้ช่างทอทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยตัวกรอบจะเป็นแบบหมุด แบบฟันหวีหรือแบบเซาะร่องก็ได้ ส่วนใหญ่ตัวกรอบจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในภาพที่ 35 (ก) คือ Todd adjustable hand loom แบบมีขาตั้งที่ออกแบบโดย Mattie Phipps Todd ในปี ค.ศ.1902 ซึ่งตัวกรอบเป็นไม้ที่มีการเซาะร่องให้เส้นด้ายคล้องผ่านร่องดังกล่าวสามารถปรับขนาดได้และมีกระสวยในการนำเส้นด้ายพุ่งผ่านเส้นด้ายยืนตัวขาตั้งสามารถช่วยให้ทอได้สะดวกมากยิ่งขึ้น [39] ภาพที่ 35 (ข) กรอบทอผ้าแบบมีขาตั้งที่ใช้ในปัจจุบันโดยใช้หลักการของ Todd adjustable hand loom นอกจากนี้ยังมีกรอบทอพรมที่มีขาตั้งจากพื้นและตัวกรอบลอยขนานกับพื้นทำให้สามารถทอพรมได้สะดวกรวดเร็ว [40] ดังแสดงในภาพที่ 36 ออกแบบโดย Joseph J. Mayer และ Milwaukee Wis และได้รับการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1942



(ก) (ข)

ภาพที่ 35 แสดงกรอบทอผ้าแบบมีขาตั้ง

ที่มา: Todd (1902)



ภาพที่ 36 แสดงกรอบทอพรมแบบมีขาตั้ง

ที่มา: Joseph & Joseph (1942)

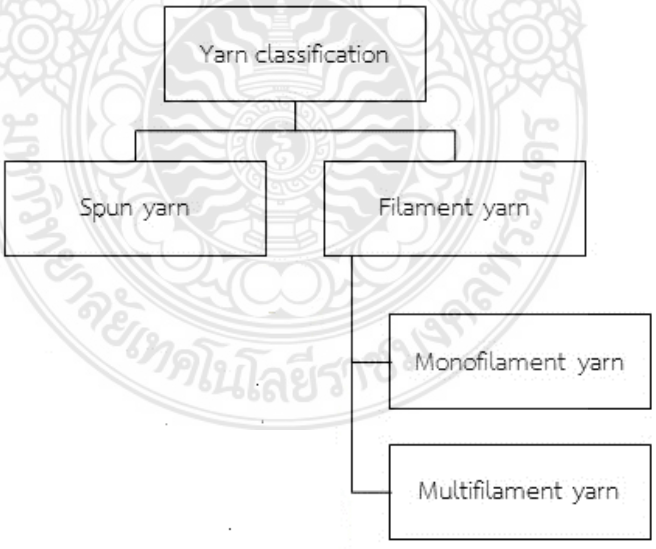
จากกรอบทอผ้าที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ได้จากการสืบค้นข้อมูลเท่านั้นยังมีกรอบทอผ้าที่มีการออกแบบ ผลิตและจัดจำหน่ายทั้งในอดีตและปัจจุบันสำหรับใช้ในการทอผ้าด้วยมือเป็นงานฝีมือหรืองานอดิเรก จะเห็นได้ว่ากรอบทอผ้ามีข้อจำกัดในหลายๆเรื่อง เช่น ผ้าที่ทอได้มีขนาดเล็กหากต้องการนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่และใช้งานได้จริงต้องมีการเย็บหรือถักต่อกันหลายๆผืน เส้นด้ายหลุดออกจากหมุด ซี่ และร่องของกรอบทำให้เส้นด้ายพันกันเสียเวลาในการแก้ไข การสอดใส่เส้นด้ายยังคงต้องใช้เข็มใส่เส้นด้ายทีละเส้นทำให้อาจเกิดการผิดพลาดในการทอได้รวมทั้งใช้เวลาในการทอมากต้องอาศัยผู้ทอที่มีความรักและความอดทนในการทำให้ผ้าทอนั้นเสร็จสมบูรณ์

2.3 เส้นด้าย

เส้นด้าย (Yarn) ถือเป็นสิ่งสำคัญเนื่องเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตผ้าในระบบอุตสาหกรรม เส้นด้ายยังนำมาใช้ในการเย็บ การปัก รวมทั้งนำไปทำเชือก เส้นด้ายสามารถผลิตได้หลายขนาด หลายรูปแบบ และมีสมบัติที่แตกต่างกันไป ดังนั้นปัจจัยที่จะมีผลต่อสมบัติของผ้าส่วนหนึ่งมาจากเส้นด้ายที่ใช้ในการผลิต เช่น ชนิดและอัตราส่วนของเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเส้นด้าย ประเภทของเส้นด้าย ทิศทางและจำนวนเกลียวต่อนิ้วหรือเมตร เป็นต้น คณะผู้วิจัยจึงสืบค้นข้อมูลเพื่อใช้ในการเลือกเส้นด้ายมาใช้ในการทอผ้าทอสามแกนดังหัวข้อต่อไปนี้

2.3.1 ประเภทของเส้นด้าย

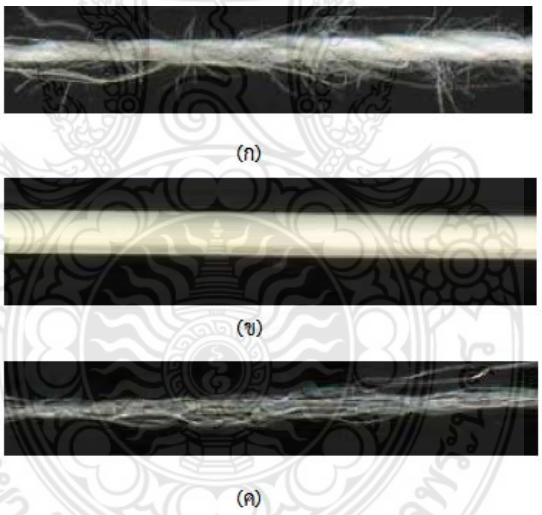
เส้นด้าย หมายถึง กลุ่มของเส้นใยสิ่งทอที่รวมกันเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง มีลักษณะและสมบัติที่เหมาะสมเพียงพอที่จะนำไปผ่านกระบวนการผลิตสิ่งทอในขั้นตอนต่อไป เช่น การทอ การถัก เกิดเป็นผืนผ้า [41] การแบ่งประเภทของเส้นด้ายสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ หากใช้องค์ประกอบของเส้นใยที่นำมาผลิตเป็นเส้นด้ายเป็นเกณฑ์จะแบ่งเส้นด้ายออกได้เป็น เส้นด้ายใยธรรมชาติ เส้นด้ายใยประดิษฐ์ การแบ่งประเภทของเส้นด้ายโดยใช้ความยาวของเส้นใยที่นำมาผลิตเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เส้นด้ายใยสั้น (Spun yarn) ผลิตจากเส้นใยสั้นและเส้นด้ายใยยาว (Filament yarn) ผลิตจากเส้นใยยาว โดยเส้นด้ายใยยาวรวมจะแบ่งได้ 2 ชนิด คือ เส้นด้ายใยยาวเดี่ยว (Monofilament yarn) และเส้นด้ายใยยาวรวม(Multifilament yarn) ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงการแบ่งประเภทเส้นด้ายโดยใช้ความยาวของเส้นใยเป็นเกณฑ์

เส้นด้ายใยสั้น (Spun yarn) คือ เส้นด้ายที่ผลิตจากเส้นใยสั้น (Staple fiber) เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ ลินิน หรือจะผลิตจากเส้นใยยาวที่ถูกตัดให้สั้น (Filament tow) โดยเส้นใยที่จะนำมาผลิตเป็นเส้นด้ายใยสั้นจะมีความยาว ไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการตีเกลียวทำให้กลุ่มเส้นใย

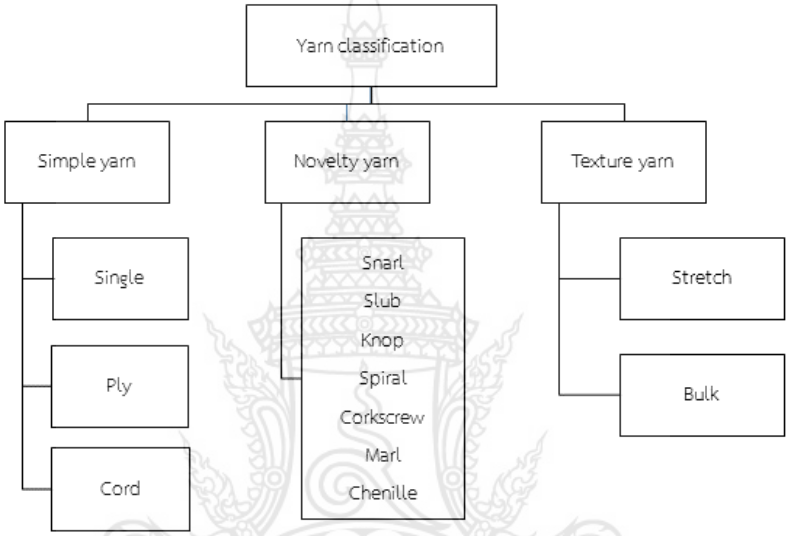
อยู่ติดกันกลายเป็นเส้นด้าย ดังนั้นลักษณะของเส้นด้ายใยสั้นจะมีการเรียงตัวของเส้นใยไม่ค่อยเป็นระเบียบ มีปลายเส้นใยโผล่ออกมาจากเส้นด้าย(ภาพที่ 38 (ก)) ทำให้เส้นด้ายใยสั้นมีสัมผัสที่นุ่มนวลมากกว่าขณะที่มีความเงามันน้อยกว่าเส้นด้ายใยยาวที่มีลักษณะเรียบลื่น นอกจากนี้การที่เส้นด้ายใยสั้นมีการเรียงตัวของเส้นใยไม่เป็นระเบียบ รวมทั้งมีปลายเส้นใยโผล่ออกมามากทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้สามารถกักเก็บอากาศได้มากจึงมีความเป็นฉนวนกันความร้อนมากหรือมีความอบอุ่นมากกว่าเส้นด้ายใยยาว การทำให้เส้นใยในเส้นด้ายใยสั้นเรียงตัวเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น เส้นใยที่สั้นมากๆถูกกำจัดออกสามารถทำได้โดยการเพิ่มขั้นตอนการหวีเส้นใย (Combing) ในกระบวนการเตรียมเส้นใยก่อนกระบวนการปั่นเส้นด้าย (Spinning) ส่งผลให้เส้นด้ายใยสั้นมีความเรียบลื่นและเงามันมากยิ่งขึ้น สำหรับเส้นด้ายใยยาว (Filament yarn) ผลิตจากเส้นใยยาวที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่เป็นเส้นใยยาวที่นำมาผลิตเป็นเส้นด้ายได้ การผลิตเส้นด้ายใยยาวทำได้เร็วและสามารถควบคุมความยาวของเส้นใยให้เท่ากันได้เนื่องจากกระบวนการปั่นด้ายนั้นต่อเนื่องจากกระบวนการผลิตเส้นใย เส้นด้ายใยยาวมี 2 ชนิด คือ เส้นด้ายใยยาวเดี่ยว (Monofilament yarn) และเส้นด้ายใยยาวรวม (Multifilament yarn) ดังแสดงในภาพที่ 38 (ข)และ (ค) ตามลำดับ เส้นด้ายใยยาวจะมีขนาดเท่ากันตลอดตามความยาวของเส้นด้าย มีความเงามันสูง



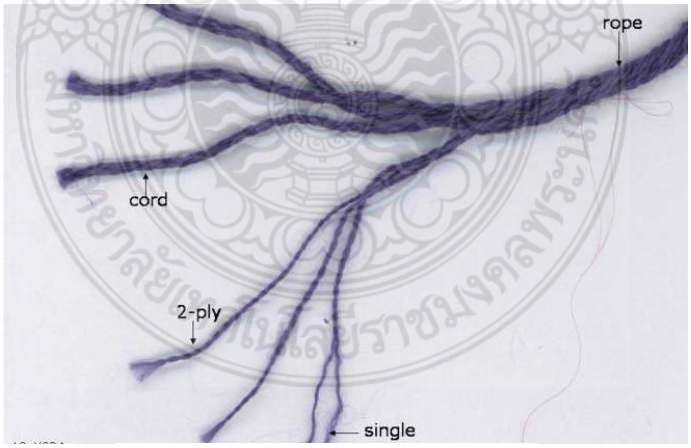
ภาพที่ 38 แสดงภาพขยายของเส้นด้าย (ก) เส้นด้ายใยสั้น (ข) เส้นด้ายใยยาวเดี่ยวและ (ค) เส้นด้ายใยยาวรวมโดยใช้ความยาวของเส้นใยเป็นเกณฑ์

การแบ่งประเภทของเส้นด้ายสามารถใช้ลักษณะของเส้นด้ายเป็นเกณฑ์ได้ สามารถแบ่งเส้นด้ายออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เส้นด้ายธรรมดา (Simple yarn) จะมีลักษณะเรียบและเท่ากันตลอดทั้งเส้นโดยแบ่งย่อยออกเป็น ชนิดตามจำนวนเส้นด้ายที่นำมาควบ เส้นด้ายพิเศษ (Novelty yarn) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นห่วง ปุ่ม และไม่เรียบตามแนวยาวของเส้นด้าย และเส้นด้ายผิวสัมผัส (Textured yarn) ดังแสดงในภาพที่ 39 เส้นด้ายธรรมดาสามารถแบ่งออกได้อีก 3 ชนิด คือ เส้นด้ายเดี่ยว (Single yarn) เป็นเส้นด้ายที่เกิดจาการนำกลุ่มเส้นใยมาบิดเข้าด้วยกันเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง

เส้นด้ายควบ (Plied yarn) คือการนำเส้นด้ายเดี่ยวมากกว่าสองเส้นขึ้นไปมาควบกัน เช่น 3 ply yarn คือเส้นด้ายที่เกิดจากการนำเส้นด้ายเดี่ยว 3 เส้นมาควบกัน และเส้นเชือก (Cord yarn) คือ การนำเส้นด้ายควบมาควบรวมกัน ดังแสดงในภาพที่ 40 ดังนั้นเส้นด้ายควบและเส้นเชือกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จากจำนวนของเส้นด้ายเดี่ยวที่นำมารวมกันทำให้เส้นด้ายใหญ่ขึ้น เหนียวและแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ในขณะเดียวกันความสามารถในการโค้งงอต่ำลง แข็งกระด้างมากยิ่งขึ้น สัมผัสแข็งกระด้าง ดังนั้น ผ้าที่มีลายทอ ลายถักเดียวกัน ผลิตจากเส้นใยชนิดเดียวอาจกมีลักษณะและสมบัติต่างกันได้ถ้ามีขนาดหรือจำนวนของเส้นด้ายควบที่ต่างกัน [42]



ภาพที่ 39 แสดงการแบ่งประเภทเส้นด้ายโดยใช้ลักษณะเส้นด้ายเป็นเกณฑ์



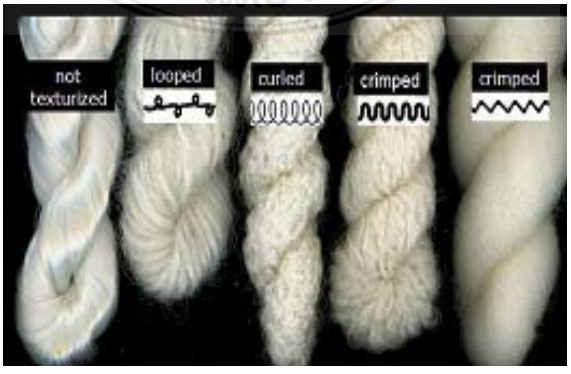
ภาพที่ 40 แสดงเส้นด้ายธรรมดา

เส้นด้ายพิเศษ (Novelty yarn) คือ เส้นด้ายที่มีลักษณะไม่เรียบ เป็นห่วง ปุ่ม ขน เกลียว ขน มีขนาดทีไม่เท่ากันเล็กบ้างใหญ่บ้างตลอดความยาวเส้นด้าย ในภาพที่38 ได้ยกตัวอย่างเส้นด้ายพิเศษชนิดต่างๆที่ใช้งานอย่างแพร่หลายพบเห็นได้ง่าย ได้แก่ Snarl yarn Slub Knop yarn Spiral yarn Marl yarn Loop yarn Chenille yarn เส้นด้ายพิเศษ ที่เป็นห่วง ปุ่ม เกลียว ตลอดเส้นด้ายนั้นทำให้

เกิดความสวยงามแปลกตาแต่ก็ทำให้มีความแข็งแรงลดลงเช่นกัน ดังนั้นผ้าที่ผลิตจากเส้นด้ายพิเศษจะมีพื้นผิวที่ไม่เรียบแต่ก็สวยงามเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานที่เน้นดีไซน์ อย่างไรก็ตามผ้าดังกล่าวต้องมีการดูแลรักษาเพื่อให้สามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ในภาพที่ 41 แสดงตัวอย่างเส้นด้ายพิเศษที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในการผลิตผ้าถักและผ้าทอหรือใช้ในการตกแต่งเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม

ภาพที่ 41 แสดงเส้นพิเศษ

สำหรับด้ายประเภทสุดท้าย คือ ด้ายผิวสัมผัส (Textured yarn) ผลิตจากเส้นใยประดิษฐ์ (Manmade fiber) ที่มีสมบัติเป็น Thermoplastic เช่น โพลีเอสเตอร์ ไนล่อน เป็นต้น เส้นด้ายผิวสัมผัสถูกผลิตขึ้นเพื่อทำให้เส้นด้ายที่ผลิตจากเส้นใยประดิษฐ์ที่มีความเรียบ ลื่น เงามันสูง มีลักษณะใกล้เคียงกับธรรมชาติมากยิ่งขึ้น เช่น ความเงามันลดลง พองฟูขึ้น มีสัมผัสที่อ่อนนุ่มและอบอุ่นขึ้น รวมทั้งทำให้สามารถยืดได้ ดังแสดงในภาพที่ 42 เส้นด้ายผิวสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นด้ายพองฟู (Bulk yarn) และเส้นด้ายยืด (Stretch yarn) [43]

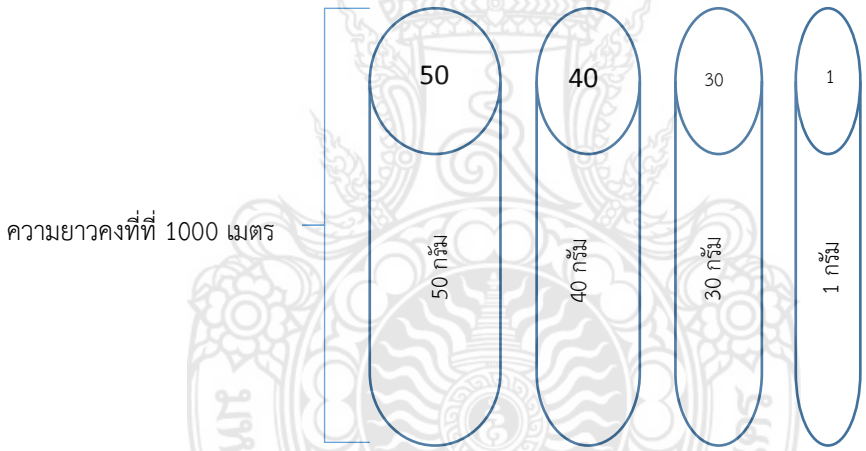


ภาพที่ 41 แสดงส้นด้ายผิวสัมผัสและเส้นด้ายใยยาวธรรมดา

2.2.2 ขนาดของเส้นด้าย

เส้นด้ายสามารถผลิตได้หลายขนาดเพื่อให้สามารถเลือกนำมาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เส้นด้ายมีลักษณะเป็นทรงกระบอกดังนั้นการวัดขนาดโดยตรงทำได้โดยการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ทำได้ยากเนื่องจากเส้นด้ายมีขนาดเล็กมากๆ ดังนั้นในอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงมีการกำหนดขนาดเส้นด้ายจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความยาวของเส้นด้าย(Linear density) แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบตรง (Direct system) และระบบกลับ (Indirect system)

ระบบตรง (Direct system) เป็นระบบเบอร์ด้ายที่มีความยาวคงที่แต่ขนาดนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักของเส้นด้ายด้าย โดยถ้าน้ำหนักเส้นด้ายมากยิ่งขึ้น เบอร์เส้นด้ายก็จะสูงขึ้นและขนาดของเส้นด้ายก็จะใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกัน เช่น ดีเนียร์ (Denier) กำหนดความยาวเส้นด้ายที่ 9000 เมตร เท็กซ์ (Tex) กำหนดความยาวเส้นด้ายที่ 1000 เมตร จากภาพ ที่ 42 จะเห็นว่าเส้นด้ายเบอร์ 50 tex มีขนาดใหญ่กว่า 1 tex เพราะ ที่ความยาว 1000 เมตร เส้นด้ายเบอร์ 50 tex นั้นจะมีน้ำหนัก 50 กรัม ในขณะที่เส้นด้ายเบอร์ 1 tex จะมีน้ำหนัก 1 กรัม

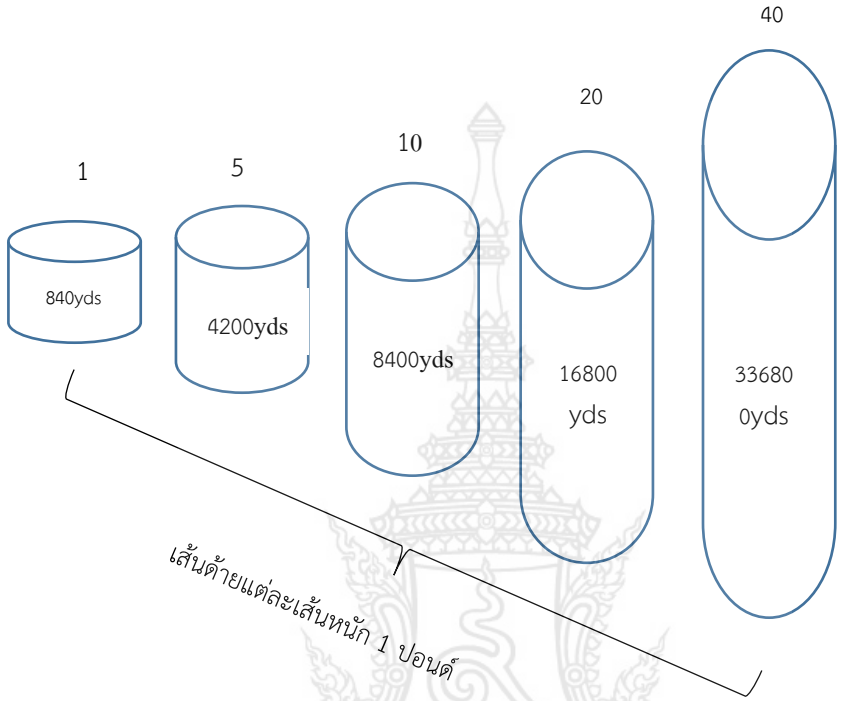


ภาพที่ 42 แสดงเบอร์เส้นด้ายในระบบตรง

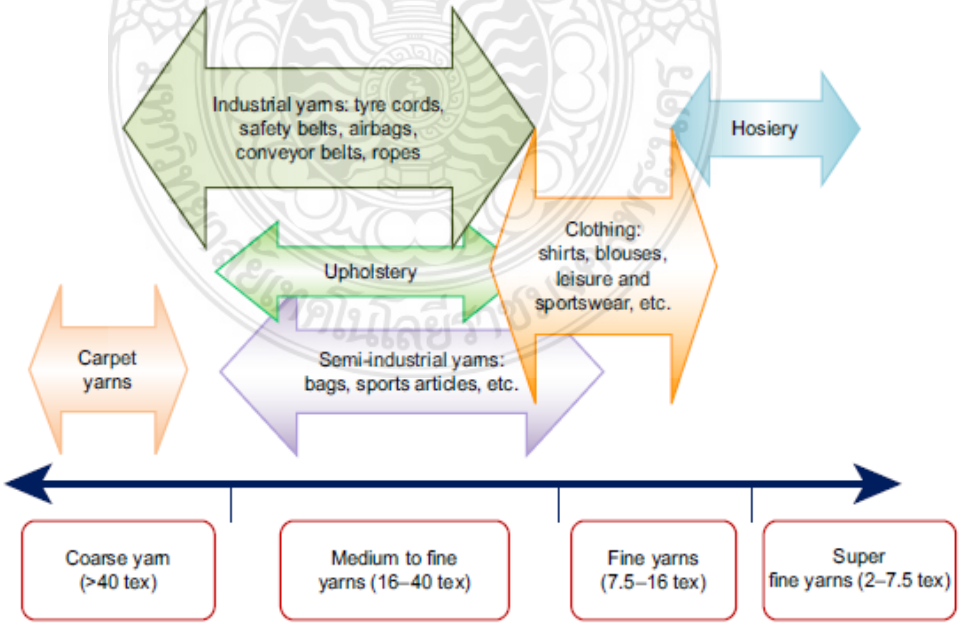
ระบบกลับ (Indirect system) เป็นระบบเบอร์เส้นด้ายที่น้ำหนักของเส้นด้ายคงที่แต่ความยาวจะเปลี่ยนไป ระบบกลับที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Cotton system มีหลักการคือเส้นด้าย 1 ไจ มีน้ำหนัก 1 ปอนด์ และยาว 840 หลา เมื่อเส้นด้ายมีเบอร์สูงขึ้น เช่น 5s แสดงว่าเส้นด้าย 1 ปอนด์ นั้นจะยาวได้ถึง 5 × 840 = 4200 หลา ดังนั้นยิ่งเบอร์ด้ายในระบบกลับสูงขึ้นขนาดของเส้นด้ายจะเล็กลงดังแสดงในภาพที่ 43นอกจากระบบ Cotton system ยังมีเบอร์เส้นด้ายในระบบ Worsted system ที่น้ำหนักของเส้นด้าย 1 ปอนด์จะมีความยาว 560 หลา

ขนาดของเส้นด้ายมีผลต่อลักษณะปรากฏของผืนผ้าอย่างยิ่ง เช่น ความละเอียด ความสามารถในการโค้งงอ ความคงตัว ความเหนียว ความแข็งแรง ความต้านทานต่อการขัดถู เป็นต้น ดังนั้นการเลือกขนาดเส้นด้ายที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นผืนผ้าจะส่งผลให้

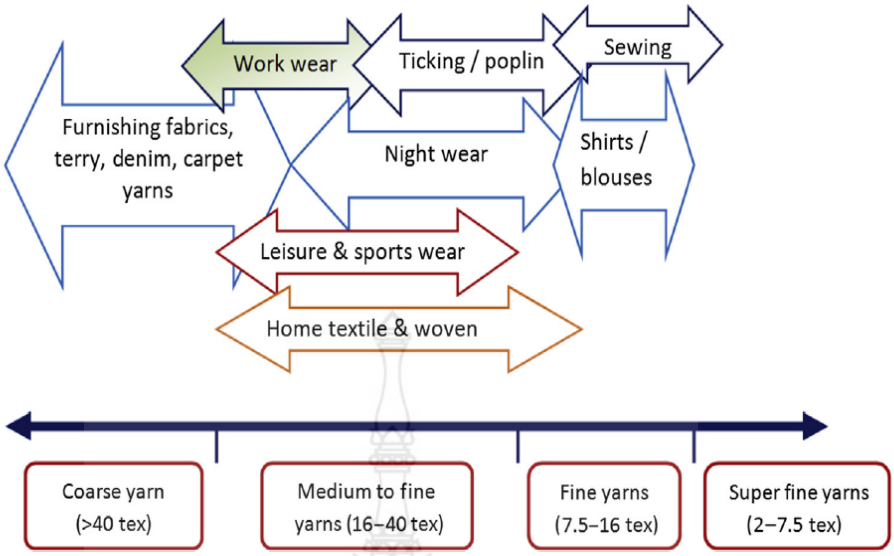
ผลิตภัณฑ์นั้นๆสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้บิโภค ตลอดจนมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ภาพที่ 44 และ 45 แสดงถึงการใช้ประโยชน์ของเส้นด้ายตามขนาดหรือความละเอียดของเส้นด้ายใยยาวและเส้นด้ายใยสั้นตามลำดับ



ภาพที่ 43 แสดงเบอร์เส้นด้ายในระบบกลับ



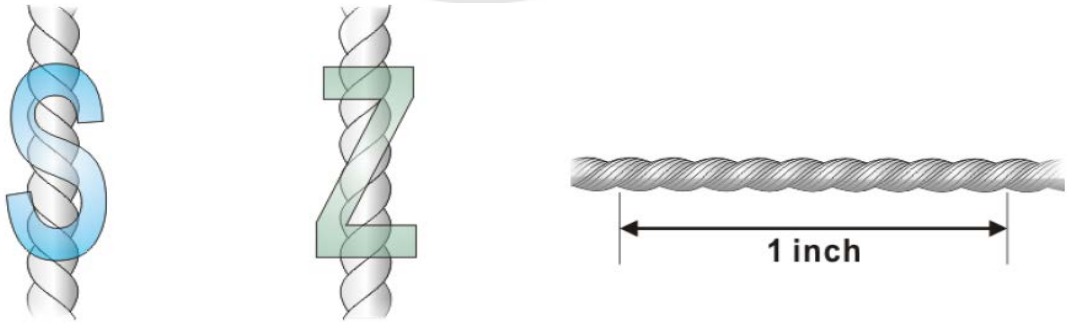
ภาพที่ 44 แสดงการใช้ประโยชน์เส้นด้ายใยยาวตามขนาดของเส้นด้าย



ภาพที่ 45 แสดงการใช้ประโยชน์เส้นด้ายใยสั้นตามขนาดของเส้นด้าย

2.2.3 เกลียวของเส้นด้าย

เกลียวเส้นด้าย (Yarn twist) ช่วยให้เส้นใยสามารถยังคงอยู่ด้วยกันเกิดเป็นโครงสร้างของเส้นด้าย หัวข้อที่เกี่ยวกับเกลียวเส้นด้ายส่วนใหญ่จะกล่าวถึง ทิศทางของเกลียวและจำนวนเกลียวต่อนิ้วหรือเมตร (tpi หรือ tpm) เกลียวเส้นด้ายแบ่งเป็น 2 ทิศทาง คือ เกลียว S และ เกลียว Z ดังแสดงในภาพที่ 46 การเพิ่มจำนวนเกลียวต่อความยาวนั้นมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นด้ายจนถึงค่าๆนึงเท่านั้นหากเพิ่มจำนวนเกลียวมากเกินกว่าค่านั้นจะทำให้เส้นด้ายนั้นมีความแข็งแรงลดลง อย่างไรก็ตามจำนวนเกลียวมีผลต่อผิวสัมผัส ความสบาย การขึ้นเม็ดขุย (Pilling) การขึ้นขน (Linting) และต้นทุนที่ใช้ในการผลิต กล่าวคือเส้นด้ายที่มีเกลียวต่ำนั้นจะให้สัมผัสที่นุ่ม แต่ก็จะมีขนและเม็ดขุยมาก ในขณะที่เส้นด้ายที่มีเกลียวสูงขึ้นนั้นจะให้สัมผัสที่เรียบลื่นกว่าและมีต้นทุนในการผลิตสูงกว่าเส้นด้ายเกลียวต่ำ เส้นด้ายที่มีจำนวนเกลียวต่อนิ้วที่ต่ำมากๆ จะมีค่า tpi อยู่ที่ 2-3 ซึ่งเกลียวของเส้นด้ายจะสังเกตเห็นได้ยากส่วนใหญ่จะใช้กับเส้นด้ายใยยาวรวมในการทอผ้าด่วน โดยทั่วไปเส้นด้ายจะมีค่า tpi อยู่ที่ 15-30 เส้นด้ายจะมีความเรียบสม่ำเสมอมีความคงตัวให้สัมผัสที่ดีเหมาะสำหรับใช้ในผลิตผ้าที่ใช้ตัดเย็บเสื้อผ้าทั่วๆไป[42]



ภาพที่ 46 แสดงทิศทางเกลียว S Z และจำนวนเกลียวต่อ 1 นิ้ว

2.4 การออกแบบ

การออกแบบ คือ กระบวนการสร้างสรรค์สิ่งใหม่หรือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจากสิ่งเดิมที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นในแง่มุมต่างๆ เช่น สวยงาม ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถทำงานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งต้องอาศัยการรวบรวมและจัดองค์ประกอบทั้งที่เป็นสองมิติและสามมิติเข้าด้วยกันอย่างมีหลักเกณฑ์ให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้สอยและความงามอันเป็นคุณลักษณะสำคัญของการออกแบบ นอกจากนั้นต้องอาศัยการวางแผน การเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือตลอดจนวิธีการผลิต เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการสร้างหรือผลิตให้ได้ตามแบบที่ต้องการ การออกแบบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันครอบคลุมการออกแบบ เฟอร์นิเจอร์ ครุภัณฑ์ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้สอยเครื่องประดับ อัญมณี เครื่องแต่งกาย ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ ผลิตเครื่องมือต่าง ๆ ฯลฯ

2.4.1 องค์ประกอบของการออกแบบ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้บรรลุสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้นั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.4.1.1 หน้าที่ใช้สอย (Function) เป้าหมายหลักของของการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ คือ การที่ผลิตภัณฑ์นั้นๆสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบาย ดังนั้นหน้าที่ใช้สอยจึงเป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงเมื่อจะออกแบบผลิตภัณฑ์ ถ้าผลิตภัณฑ์นั้นสามารถใช้สอยได้ดีอย่างสะดวกสบายแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) แต่ถ้าหากผลิตภัณฑ์ใดไม่สามารถสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์นั้นก็จะถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยไม่ดีเท่าที่ควร (LOW FUNTION) ตัวอย่างเช่น มีดหั่นผลไม้นั้นหน้าที่หลักคือ ใช้หั่นผลไม้ได้แต่จะกล่าวว่ามีดนั้นมีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) จะต้องมีองค์ประกอบอย่างอื่นร่วมอีกเช่น ด้ามจับของมีดนั้นจะต้องมีความโค้งเว้ารับกับมือของผู้ใช้ สามารถจับได้ถนัดมือ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการหั่นผลไม้ด้วย และภายหลังจากการใช้งานแล้วยังสามารถทำความสะอาดได้ง่าย การเก็บและบำรุงรักษาจะต้องง่ายสะดวกด้วย ประโยชน์ใช้สอยของมีดจึงจะครบถ้วนและสมบูรณ์

2.4.1.2 ความปลอดภัย (Safety)ผลิตภัณฑ์ใดๆก็ตามถึงแม้จะสวยงามแต่ถ้าก่อให้เกิดอันตรายทั้งต่อมนุษย์ สัตว์เลี้ยงตลอดจนเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ผลิตภัณฑ์นั้นก็ถือว่ายังไม่สมบูรณ์แบบเพียงพอ ดังนั้นผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้และรอบคอบถึงการใช้งาน การทำความสะอาด การดูแลและเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์นั้น ตัวอย่างเช่น การใช้ฉนวนกันความร้อน การลบคม เหลี่ยม มุม การติดสัญลักษณ์หรือคำเตือนที่สำคัญในการใช้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ทั้งนี้การจะออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความปลอดภัยนั้นต้องมีกระบวนการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาข้อบกพร่องและการปรับปรุงแก้ไขให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

2.4.1.3 ความแข็งแรงทนทาน (Durability) การใช้งานผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซ้ำได้ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานและสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ความร้อน เป็นต้น ความแข็งแรงทนทานจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญด้าน

คุณภาพและความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการกำหนดวัสดุ รูปแบบหรือโครงสร้าง อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการผลิตต้องคำนึงถึงองค์ประกอบด้านความแข็งแรงทนทานด้วย

2.4.1.4 ความงาม (Aesthetic) ผลิตภัณฑ์ในยุคปัจจุบันนี้ความสวยงามนับว่ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าหน้าที่ใช้สอย ความสวยงามเป็นองค์ประกอบที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้รูปร่าง (Form) และสี (Colour) ได้อย่างเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และตรงตามความต้องการของผู้ใช้หรือลูกค้าจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆได้รับการยอมรับและความนิยมด้วยเหตุของความสำคัญของรูปร่างและสีที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ นักออกแบบจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง ศึกษาวิชาทฤษฎีหรือหลักการออกแบบและวิชาทฤษฎีสี ซึ่งเป็นวิชาทางด้านของศิลปะแล้วนำมาประยุกต์ผสานใช้กับศิลปะทางด้านอุตสาหกรรมให้เกิดความกลมกลืน

2.4.1.5 ความประหยัด (Economic) ความประหยัดหรือความคุ้มค่าสามารถพิจารณาได้ 2 แง่มุม กล่าวคือ ในฐานะของผู้ผลิตซึ่งต้องพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนั้นมีต้นทุนในการผลิตมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปกำหนดราคาขายอันจะนำมาซึ่งผลกำไรอย่างไรก็ดีในปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูงในวงการธุรกิจดังนั้นผู้ผลิตต้องมีการศึกษาตลาด ความนิยมของผู้บริโภค เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความสามารถในการแข่งขันทั้งในด้านการใช้สอย ความสวยงาม ความปลอดภัยและราคาที่ต้องคุ้มค่าเพียงพอ สำหับผู้บริโภคที่จะซื้อสินค้าและบริการใดๆมักจะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างราคาและองค์ประกอบอื่นๆของผลิตภัณฑ์ว่าคุ้มค่ากับเงินที่จ่ายได้

2.4.1.6 ความสะดวกสบายในการใช้ (Ergonomic) การที่มนุษย์จะใช้งานผลิตภัณฑ์ใดๆได้อย่างสะดวกสบายนั้น ผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีขนาด ส่วนโค้ง ส่วนเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบของพอเหมาะกับสัดส่วนร่างกายหรืออวัยวะของมนุษย์ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ด้าม เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆภายในห้องโดยสาร มือจับรถจักรยาน ปุ่มสัมผัสต่างๆ รองเท้า เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ยกตัวอย่างมานี้ความแตกต่างของขนาด สัดส่วน รูปร่างของผู้ใช้และของผลิตภัณฑ์ต้อเหมาะสมกัน ดังนั้นนักออกแบบต้องมีความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนมนุษย์(ANTHROPOMETRY) ด้านสรีรศาสตร์ (PHYSIOLOGY) จะทำให้ทราบ ขีดจำกัด ความสามารถของอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ

2.4.1.7 การซ่อมบำรุงรักษา (Ease of maintenance) ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถทำความสะอาด บำรุงรักษา แก้ไขและซ่อมแซมได้ง่ายไม่ยุ่งยากเมื่อมีการชำรุดเสียหายเกิดขึ้น จะเห็นได้ง่ายจากผลิตภัณฑ์ที่มีเครื่องยนต์ กลไกต่างๆในการทำงาน ตลอกจนเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือแม้แต่เครื่องเรือน เช่น โซฟาที่หุ้มเบาะผ้าสีขาว พัดลมที่ถอดใบพัดออกได้ยาก ชุดรับแขกไม้แกะสลัก จะเห็นว่าอาจจะไม่เกิดปัญหาในการใช้งานแต่จะเกิดปัญหาในการบำรุงรักษา

2.4.1.8 การขนส่ง (Transportation) การที่ผลิตภัณฑ์จะไปถึงมือผู้ซื้อและพร้อมใช้งานได้ต้องอาศัยการขนส่งที่ปลอดภัยไม่สร้างความเสียหายให้กับผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามถ้า

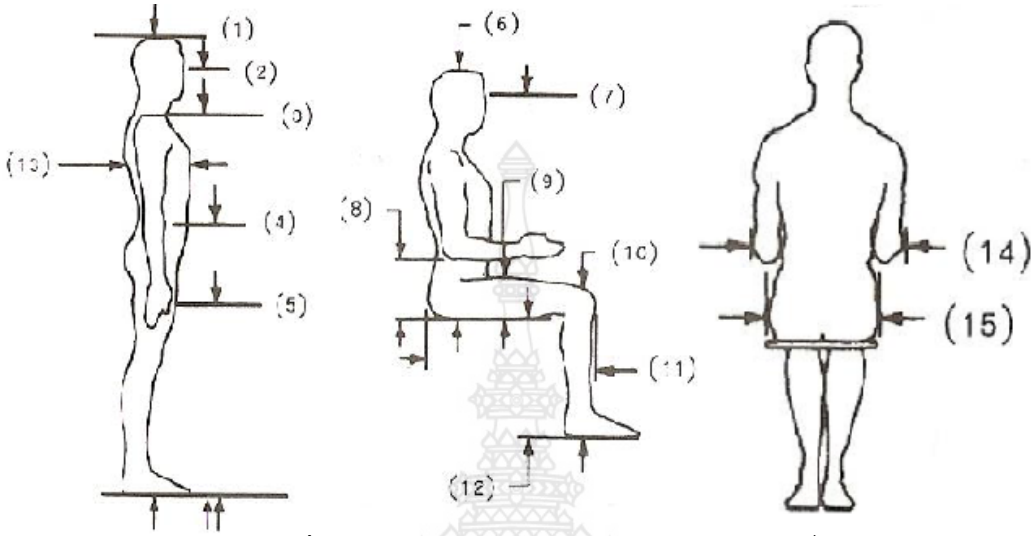
ผลิตภัณฑ์นั้นถอดประกอบได้และบรรจุหีบห่อได้ง่าย ทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานน้ำหนักไม่มากจนเกินไปก็จะทำให้มีความสะดวกในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการขนส่งก็จะไม่แพงรวมทั้งผลิตภัณฑ์จะอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานไม่เสียหานจากการขนส่ง ตัวอย่างเช่น ที่นอนขนาด 6 ฟุตที่สามารถพับงอได้ก็จะสามารถขนส่งได้ง่ายแม้ลูกค้าหรือผู้ใช้จะอาศัยในอาคารชุดก็ตาม [44]

2.4.2 สัดส่วนมนุษย์ที่สัมพันธ์ต่อการปฏิบัติงาน การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายและการวัดสมบัติทางกายภาพถือได้ว่ามีความสำคัญมากเพราะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบ ผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ สำหรับการทำงาน โดยอาศัยขนาดสัดส่วนและลักษณะกิจกรรมที่คนต้องกระทำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบ การออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์กับขนาดสัดส่วนของคน โดยให้คนทำงานได้อย่างสะดวกสบายไม่เมื่อยล้าและต้องปลอดภัยโดยที่ระบบประสาทสัมผัสต่างๆ ยังตอบสนองได้รวดเร็วถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องออกแบบอย่างประหยัดเพื่อใช้กับคนกลุ่มมาก และยังต้องคำนึงถึงความสวยงามด้วย ข้อมูลจากการวัดดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ผู้ใช้ได้อย่างเฉพาะเจาะจง การหามิติที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบถือเป็นพื้นฐานการนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพและขนาดสัดส่วนของร่างกายไปใช้ในการออกแบบประกอบด้วย ประกอบด้วย มิติเผื่อ (Clearance dimensions) หมายถึง การมีช่องว่างที่น้อยที่สุดระหว่างคนทำงานกับสถานีงาน เช่น การควบคุม การใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องจักร ระยะเผื่อมีขึ้นได้โดยคนรูปร่างใหญ่จากกลุ่มประชากรที่เป็นผู้ใช้ มิติเอื้อมถึง (reach dimensions) หมายถึง ช่องว่างที่มากที่สุดที่ยอมได้สำหรับคนที่จะควบคุมเครื่องจักร ได้มาจากมิติที่น้อยที่สุดในกลุ่มผู้ใช้ [45]

2.4.2.1 ข้อมูลขนาดสัดส่วนของร่างกาย ข้อมูลขนาดสัดส่วนของร่างกายสามารถหาได้จาก การใช้เครื่องมือวัดโดยตรงและการใช้ภาพถ่าย การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายทำได้ 2 วิธี

ก) วัดขนาดกายในท่านิ่ง (Static dimensions) เป็นการวัดมิติขนาดร่างกายที่อยู่ในท่านิ่งหรือสมดุลโดยไม่มีการเคลื่อนไหวเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นการวัดขนาดลำตัว ศีรษะ แขน ขา และสัดส่วนอื่นๆ ในท่าที่อยู่นิ่งกับที่ ในอิริยาบถมาตรฐานต่างๆ ตำแหน่งการวัดมิติขนาดร่างกายขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ลูกค้า หรือผู้ผลิตใช้อ้างอิง เช่น International Organization for Standardization (ISO/DIS 7250) มี 39 รายการ Military standard (MIL-STD-1472D) มี 91 รายการ ตัวอย่างตำแหน่งการวัดขนาดสัดส่วนในท่านิ่งตามมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขสหรัฐอเมริกาแสดงใน ภาพที่ 47 ประกอบด้วย ความสูงยืน (Stature height) ความสูงระดับสายตา/ท่ายืน(Eye height) ความสูงระดับไหล่/ท่ายืน(Shoulder height) ความสูงระดับข้อศอก/ท่ายืน (Elbow height) ความสูงระดับข้อนิ้ว/ท่ายืน(Knuckle height) ระยะจากสะโพกถึงเข่า(Buttock-knee length or distance) ความสูงระดับขาอ่อนด้านล่าง/ท่านั่ง(Popliteal height, sitting) ความหนาระดับอก(Chest depth) ความกว้างช่วงข้อศอก 2 ข้าง(Elbow-to-elbow breadth) ความกว้างช่วงสะโพก 2 ข้าง(Hip breadth) สำหรับการวัดขนาดสัดส่วนคนไทยสามารถหาข้อมูลได้จาก มาตรฐาน

ขนาดรูปร่างคนไทย เล่ม 1 หญิง มอก. 2960 เล่ม 1–2562 และ จาก มาตรฐานขนาดรูปร่างคนไทย เล่ม 2 ชาย มอก. 2960 เล่ม 2–2562



ภาพที่ 47 แสดงตำแหน่งการวัดขนาดสัดส่วนในท่านิ่ง
ที่มา: สุทธิ์ (2544)

ข) การวัดขนาดกายในท่าเคลื่อนไหว (Dynamic dimensions) เป็นการวัดมิติขนาดร่างกายที่อยู่ในตำแหน่งที่ทำงานจริงที่ต้องมีการเคลื่อนไหว เปลี่ยนอิริยาบถในการทำงาน เช่น การวัดขนาดสัดส่วนร่างกายในขณะประกอบชิ้นส่วน การควบคุมคันบังคับ การเอื้อมมือเพื่อกดปุ่มควบคุมเป็นต้นจะเห็นได้ว่าวิธีการวัดที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน เพราะมีปัจจัยแทรกซ้อนมากแต่ถือว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดแบบนี้จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงของการเคลื่อนไหวของร่างกายมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดในท่านิ่ง

นอกจากการวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายโดยตรงแล้วยังสามารถใช้เทคนิคภาพถ่ายเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลขนาดสัดส่วนของร่างกาย ทั้งในแนวตรง แนวเส้นโค้งและแนวลึกเป็นความสูงต่ำ (contours) สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เทคโนโลยีซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เข้าช่วยจะเป็นแบบ non-stereo photogrammetric หรือ stereo photogrammetric methods ก็ได้ทั้งสิ้น

2.4.2.2 การนำข้อมูลสมบัติทางกายภาพและขนาดสัดส่วนของร่างกายไปใช้ในการออกแบบ การใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วนของร่างกายในการออกแบบ กระบวนการนี้ถือว่ามีความสำคัญที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบนั้นเหมาะสมกับผู้ใช้งาน มีรายละเอียดดังนี้

ก) กำประชากรกลุ่มใดจะเป็นผู้ใช้เครื่องมือเหล่านั้น (เช่น ช่างทอผ้าชายในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าไทย เป็นต้น)

ข) เลือกอัตราส่วนของกลุ่มประชากรที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่จะเป็นผู้ใช้ (เช่น 90% หรือ 95%)

ค) กำหนดมิติที่สำคัญในการออกแบบ เช่น ความสูงของตาจากพื้นขณะยืนหรือนั่งเป็นต้น พิจารณาระยะเอื้อมหรือระยะเผื่อจะให้มีบ้างหรือไม่เพื่อให้ครอบคลุมการเคลื่อนไหว

ง) คำนวณข้อมูลขนาดร่างกายทางสถิติ เพื่อหาค่าสูงสุดและต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5, 95 หรือ 10, 90 ของขนาดร่างกายในแต่ละสัดส่วน

2.4.2.3 การเลือกใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายในการออกแบบงาน สามารถทำได้โดยค่าใช้เฉลี่ยของขนาดสัดส่วนร่างกายประชากรในการออกแบบ (Design for average) เช่น การออกแบบเก้าอี้โดยสาร การออกแบบรถเข็นสินค้าในห้างสรรพสินค้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าคนส่วนใหญ่สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกสบาย แต่ถ้าคนที่มีร่างกายใหญ่มากๆ เช่น คนอ้วน หรือคนที่มีร่างกายที่เล็กมากๆอาจไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีวิธีการออกแบบโดยยึดค่าสูงสุดและต่ำสุดของขนาดสัดส่วนร่างกายประชากรในการออกแบบ (Design for extremes) เพื่อให้คนที่มีค่าสัดส่วนร่างกายต่างกับค่าเฉลี่ยมากๆ สำหรับในบางผลิตภัณฑ์อาจไม่สามารถออกแบบให้ครอบคลุมได้ทั้งหมด เช่น เก้าอี้ในรถยนต์ที่เด็กไม่สามารถนั่งได้ เพราะ เก้าอี้มีขนาดใหญ่เกินไปดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงจำเป็นต้องมี Car seat ไว้เฉพาะสำหรับเด็ก อย่างไรก็ตามไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวหรือถูกต้องที่สุดในการเลือกใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายในการออกแบบงาน

2.4.3 การออกแบบสถานีงาน

สถานีงาน (Work station) คือ สถานที่ที่ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาส่วนมากอยู่ประจำเพื่อปฏิบัติงาน ออกแบบงานและสถานที่ปฏิบัติงานต้องคำนึงถึงการรักษาท่าทางการทำงานที่สมดุล การทำงานต้องอยู่ระดับความสูงของข้อศอก ไม่ว่าจะเป็นงานนั่งหรืองานยืน พื้นที่ปฏิบัติงานต้องเพียงพอที่ร่างกายจะเคลื่อนไหวได้สะดวก ในขณะทำงานต้องไม่มีการยืดหรือเหยียด หัวไหล่ แขน ขา และจนเกินขีดความสามารถของเอ็นข้อต่อ และกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน

2.4.3.1 หลักทั่วไปในการออกแบบงานและสถานที่ปฏิบัติงาน

ก) ควรออกแบบมุ่งเน้นให้สถานที่ปฏิบัติงานนั้นเอื้อต่อการทำงานแบบไดนามิกและควรออกแบบให้เป็นไปตามหลักแรงโน้มถ่วงของโลก

ข) การกำหนดระดับความสูงของพื้นผิวปฏิบัติงานนั้นต้องขึ้นกับขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้ปฏิบัติงานและประเภทงาน ถ้าลักษณะงานเป็นงานเบาและต้องการความประณีตแม่นยำสูง ความสูงของพื้นผิวงานควรอยู่สูงกว่าระดับความสูงจากพื้น-ข้อศอกในท่ายืนหรือท่านั่งเล็กน้อย ในกรณีเป็นงานที่ต้องออกแรงหนักพอสมควรให้ความสูงของพื้นผิวงานอยู่เท่ากับความสูงระดับพื้น-ข้อศอก ถ้าลักษณะงานต้องออกแรงมากความสูงของพื้นผิวงานควรอยู่ต่ำกว่าความสูงระดับพื้น – ข้อศอก

ค) ควรออกแบบให้ท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในลักษณะที่ดี อยู่ใกล้กับชิ้นงานและมือทั้งสองข้างทำงานสมดุลกัน

ง) ควรหลีกเลี่ยงการออกแบบที่ทำให้ข้อต่อกระดูกร่างกายกางทำมุมสูงสุด เพราะจะทำให้กล้ามเนื้อเมื่อยล้าเร็ว

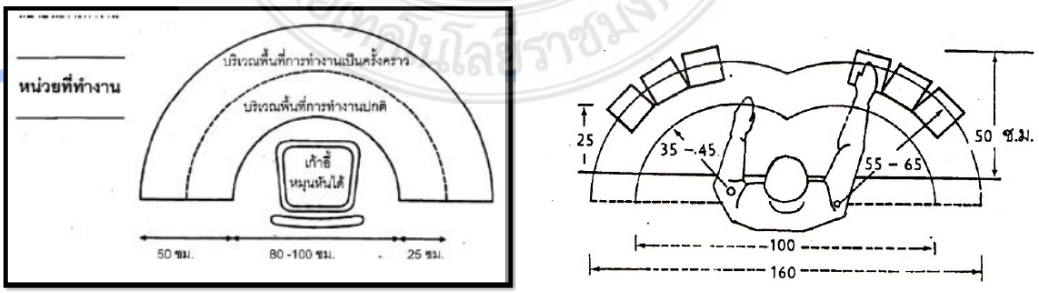
จ) ควรออกแบบให้สามารถใช้เท้าในการทำงานได้ดีพอๆกับการใช้มือ และควรออกแบบให้มีที่ว่างมากพอเพื่อเปลี่ยนอิริยาบถขณะทำงาน

ฉ) ปุ่ม คันบังคับ หรืออุปกรณ์ที่ต้องใช้งานบ่อยๆควรออกแบบให้อยู่ในพื้นที่การทำงานปกติและหลีกเลี่ยงการออกแบบที่จะทำให้เกิดท่าทางการทำงานที่ฝืนธรรมชาติ

ซ) ควรออกแบบให้อุปกรณ์สามารถปรับได้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานอยู่ในท่าทางที่เหมาะสมได้ตลอดเวลา

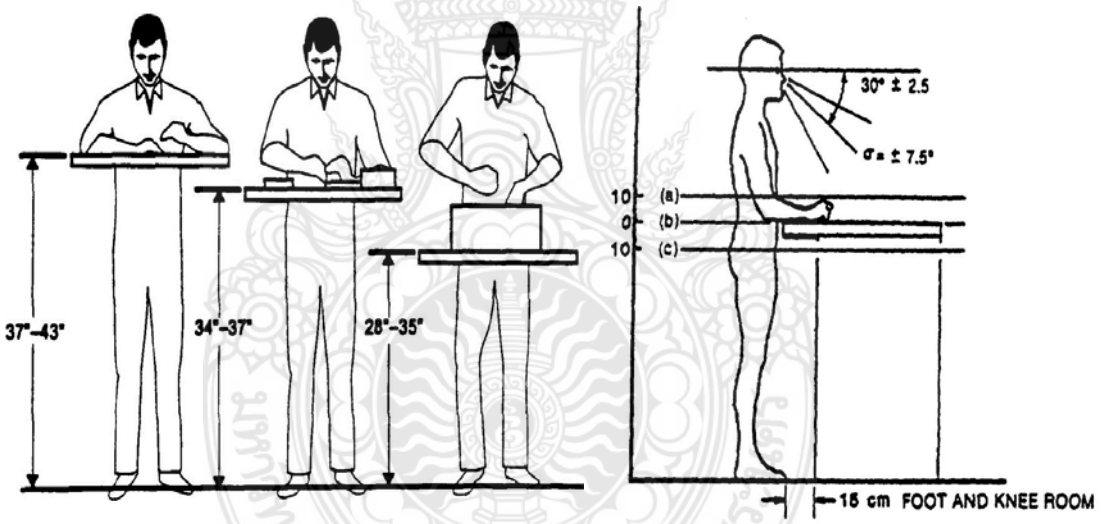
ฌ) การวางผังจุดปฏิบัติงานควรคำนึงถึงความยากลำบากในการติดต่อสื่อสารด้วยตลอดจนฝึกอบรมเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานรู้จักเปลี่ยนอิริยาบถให้อยู่ในท่าทางที่เหมาะสม

2.4.3.2 การออกแบบสถานที่ปฏิบัติงานสำหรับงานนั่ง การทำงานในท่านั่งหรือการนั่งปฏิบัติงานนั้นคนทำงานต้องนั่งอยู่ในท่าทางานเดิมๆช่วงเวลาติดต่อกันเกิน 30 นาทีขึ้นไป ทำให้กล้ามเนื้อหน้าท้องหย่อนสมรรถภาพส่งผลให้คนทำงานมีอาการปวดหลัง ข้อดีคือช่วยลดความเค้นที่ขาทั้งสองซึ่งจะเกิดเมื่อทำงานในท่ายืน จากภาพที่ 48 แสดงภาพรวมของพื้นที่ทำงานโดยพื้นที่ทำงานปกติเท่ากับระยะจากปลายมือถึงข้อศอกของผู้ปฏิบัติ งานซึ่งผู้ปฏิบัติงานจะเคลื่อนไหวมากในบริเวณพื้นที่นี้ พื้นที่ทำงานสูงสุดหรือระยะเอื้อมมากที่สุดเท่ากับระยะจากปลายนิ้วมือถึงหัวไหล่ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานจะเคลื่อนไหวเป็นครั้งคราวในบริเวณพื้นที่นี้ ดังนั้นสถานที่ปฏิบัติงานต้องเอื้อให้ผู้ปฏิบัติงานเอื้อมถึงเนื้องานทั้งหมดโดยไม่ต้องบิดตัว เอี้ยวตัวและเอื้อมตัวมากๆ รวมทั้งตัวเนื้องานต้องอยู่ด้านหน้าและใกล้กับผู้ปฏิบัติงาน เก้าอี้นั่งและโต๊ะปฏิบัติงานควรออกแบบให้ความสูงของพื้นผิวงานมีอยู่ในระดับข้อศอก ควรมีที่ว่างให้สามารถสอดขาเข้าไปได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 48 แสดงพื้นที่การทำงาน
ที่มา: สุทธิ์ (2544)

2.4.3.3 การออกแบบสถานที่ปฏิบัติงานสำหรับงานยืน งานยืน คือ งานที่ส่วนใหญ่จะมีการเอี้ยวตัวไปด้านข้างเกินกว่าระยะทำงานปกติบ่อยครั้ง งานที่ต้องรวมกันทำเป็นกลุ่มหรืองานที่ต้องยกวัตถุหนักเกินกว่า 4.5 กิโลกรัม บ่อยๆ หลักการออกแบบสถานที่ปฏิบัติงานสำหรับงานยืน คือ ชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ประจำต้องอยู่ใกล้ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ทำงานปกติ การจัดวางต้องไม่ให้อยู่ไกลเกินระยะพื้นที่ทำงานสูงสุดซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องเอี้ยวตัวหรือบิดตัว ความสูงของพื้นผิวงานจะสูงกว่าระดับข้อศอกเล็กน้อยในกรณีเป็นงานที่ต้องอาศัยความประณีต และความสูงของพื้นผิวงานจะอยู่ระดับเดียวกับข้อศอกในกรณีที่เป็นงานเบา ในกรณีเป็นงานหนักที่ต้องใช้แรงความสูงของพื้นผิวงานจะอยู่ต่ำกว่าข้อศอกเล็กน้อยดังแสดงในภาพที่ 49 (ก) ลักษณะท่าทางและระยะการยืนต้องสัมพันธ์กับระดับสายตาโดยการยืนต้องมั่นคงและต้องมองเห็นในแนวระนาบเพื่อลดการเมื่อยล้าของสายตา โดยมุมมองและตำแหน่งศีรษะของผู้ปฏิบัติงาน มุมที่ทำงานได้อย่างสะดวกสบายอยู่ที่ประมาณ 23-37°ดังแสดงในภาพที่ 49 (ข) ดังนั้นควรมีการปรับระดับความสูงของพื้นผิวงานให้เหมาะสมกับความสูงของผู้ปฏิบัติงาน ควรมีที่พักเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้เปลี่ยนอิริยาบถเพื่อลดความเครียดที่ขาและหลังเมื่อต้องยืนเป็นเวลานาน



(ก) (ข)

ภาพที่ 49 แสดงความสูงของพื้นผิวงานและมุมมองของการทำงานสำหรับงานยืน
ที่มา: สุทธิ์ (2544)

การออกแบบสถานทีปฏิบัติงานนอกจากจะคำนึงถึงขนาดสัดส่วนของร่างกายและลักษณะการทำงานแล้วนั้นยังมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในงานที่จะส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย เช่น แสงสว่าง ความร้อนในสถานที่ปฏิบัติงานหรือแม้แต่แสงและสีของสถานที่ปฏิบัติงานที่มีผลทางจิตวิทยาของผู้ปฏิบัติงาน กล่าวคือ สีเข้มให้ความรู้สึกอึดอัดและเหนื่อยและดูดกลืนแสงสว่างได้ดี สำหรับสีอ่อนจะให้ความสว่าง ความเป็นมิตร และความเบิกบานใจ กระจายแสงได้ดี ดังนั้นควรเลือกสีให้เหมาะสมกับการทำงาน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสืบค้นข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แบ่งออกเป็น 63 แนวทาง คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและสมบัติของผ้าทอสามแกน งานวิจัยหรือสิทธิบัตรกรอบทอผ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Rao, Li & Zhange (2019) ได้สร้างและวิเคราะห์แบบจำลองของหน่วยที่เล็กที่สุดของโครงสร้างแนวระนาบและโครงสร้างของภาพตัดขวางของผ้าวัสดุประกอบทอสามแกนจากเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber triaxial woven fabric composites: CFTWFC) ผลปรากฏว่าตัวแปรต่างๆ ในสมการนั้นมีความสัมพันธ์กันและแต่ละตัวแปรในสมการสามารถคำนวณได้จากตัวแปรอื่นๆที่อยู่ในสมการของโครงสร้าง และได้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการโครงสร้างเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริงของผ้าตัวอย่างพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสมการโครงสร้างในแนวระนาบนั้นไม่เด่นชัด ในขณะที่สมการโครงสร้างของภาพตัดขวางนั้นมีตัวแปรสองตัว คือ สัดส่วนปริมาตร(Volume fraction) ของเส้นใย และช่องว่างระหว่างเส้นด้าย นั้นมีค่ามากกว่าตัวแปรอื่นๆในสมการ[46]

Ramadhani, Susmartini, Herdiman & Priadythama (2020) ทำการศึกษาวัสดุประกอบสำหรับผลิตช่องรับแขนขาเทียมพบว่า ผ้าทอสามแกนจากคาร์บอนเคฟลาร์มีค่าสมรรถนะสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัดดุอื่น ได้แก่ Texalium (วัสดุสังเคราะห์ระหว่างไฟเบอร์กลาสกับอลูมิเนียม) เส้นใยคาร์บอนและ Polinet sheet ผ้าทอสามแกนจากคาร์บอนเคฟลาร์ มีค่าค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด (Tensile strength) อยู่ที่ 207.18 × 106 N/m^2 อย่างไรก็ตามผ้าทอสามแกนจากคาร์บอนเคฟลาร์นั้นตัดได้ยากและและฉีกขาดง่ายกว่าวัสดุอื่น [47]

ปิยมาภรณ์. เกรียงศักดิ์ และรักไทย (2019) ได้ออกแบบกี่ทอผ้าและกระบวนการทอผ้าพื้นเมืองภาคอีสาน โดยกี่ทอผ้าที่ออกแบบขึ้นมีขนาดเล็กกว่ากี่ทอผ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและสามารถทอผ้าได้ครั้งละ 2 ผืน รวมทั้งใช้มือในการยกตะกอแทนการใช้เท้าเหยียบทำให้กี่ทอผ้าแบบใหม่นี้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและมีประสิทธิภาพมากกว่ากี่ทอผ้าแบบดั้งเดิม[48]

ไพฑูรย์ (2017) ได้พัฒนาฐานข้อมูลระบบสารสนเทศเพื่อรวบรวมลายเครื่องจักสานเพื่อการอนุรักษ์และการสอนการถักสาน โดยใช้ชุดคำสั่งที่สามารถเรียกดูข้อมูลทั่วไปของเครื่องจักสาน แสดงรายละเอียดของการสาน และแสดงการยกตอกของลายเครื่องจักสาน ผู้ที่สนใจสามารถอ่านรายละเอียดของลายและสามารถถักสานตามคำแนะนำของโปรแกรมได้ด้วยตนเอง [49]

Anthony (1922) ได้คิดค้นกรอบทอผ้ารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำตัวกรอบทำจากไม้ที่มีการเซาะร่องเพื่อให้เส้นด้ายผ่านได้และแยกเส้นด้ายไม่ให้พันกัน กรอบทอผ้านี้มีทั้งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัสแต่ไม่สามารถปรับขนาดได้ อย่างไรก็ตามกรอบทอผ้านี้ไม่มีขาตั้งทำให้กรอบติดกับพื้นเวลาทอผ้า [50]

Bechhofer (1935) ได้พัฒนากรอบทอผ้าที่สามารถปรับขนาดและรูปทรงได้ โดยสามารถถอดประกอบกรอบไม้ทั้งหมด 4 ชิ้น ให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามขนาดที่ต้องการได้ เนื่องจากมีการเจาะรูไว้ที่บริเวณด้านข้างของกรอบไม้ทั้งสี่ด้านและใช้น็อตหางปลายึดกรอบทั้งสี่ด้านให้ติดกัน การเซาะร่องทำบนหน้าไม้มีลักษณะเป็นร่องลิ้นเพื่อให้เส้นด้ายผ่านแยกไม่ได้เส้นด้ายพันกัน อย่างไรก็ตามกรอบทอผ้านี้ไม่มีขาตั้งทำให้กรอบติดกับพื้นเวลาทอผ้า รวมทั้งอาจเกิดปัญหาความตึงของเส้นด้ายแต่ละเส้นไม่เท่ากัน เนื่องจากใช้มือในการขึ้นเส้นด้ายและไม่มีอุปกรณ์ในการปรับความตึงของเส้นด้าย [51]

Todd (1901) ได้คิดค้นกรอบทอผ้าที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ผลิตจากไม้และเซาะร่องลิ้นบนหน้าไม้ที่ด้านกว้างทั้งสองฝั่งเพื่อยึดแนวด้ายยืน และมีแผ่นไม้ในการในการดันเส้นเส้นด้ายพุ่งให้ชิดกันเกิดเป็นผืนผ้า ซึ่งกรอบผ้านี้ไม่สามารถปรับขนาดได้ [52] ต่อมาในปี ค.ศ. 1910 ได้พัฒนาให้กรอบทอผ้านี้ให้สามารถปรับขนาดได้โดยมีแผ่นไม้ด้านบนที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามแนวดิ่งของกรอบและมีการเพิ่มขาตั้งให้กับกรอบทอผ้าทำให้สามารถทอได้สะดวกขึ้น [53]

Mayer (1942) ได้คิดค้นกรอบทอพรมกรอบทอผ้าที่คิดค้นนั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สามารถปรับขนาดได้ โดยตัวกรอบทำจากไม้ที่มีหมุดอยู่บนหน้าไม้เพื่อใช้ในการผูกเส้นด้ายทั้งสี่ด้านมีแกนไม้ที่เลื่อนได้อยู่ระหว่างด้านกว้างของกรอบเพื่อใช้ในการปรับขนาดของพรมที่ต้องการทอ กรอบทอพรมนี้มีขาตั้ง 2 ขาทำให้สามารถทอได้ง่ายและตัวกรอบมีความมั่นคง [54]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ” เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนและพัฒนาวิธีทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ โดยกำหนดวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

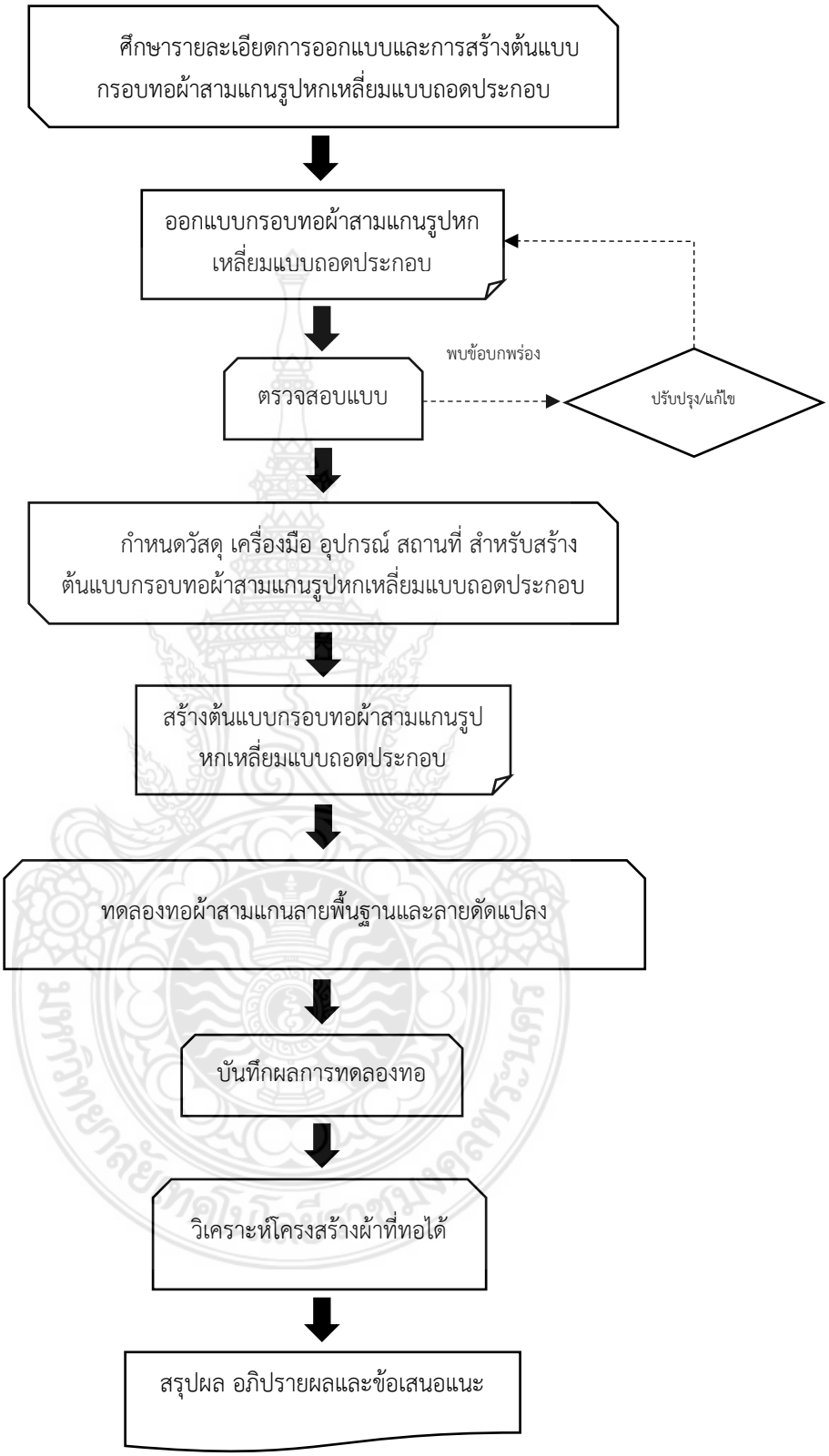
3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย
3.2 การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ
3.3 การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ
3.4 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐานและลายดัดแปลง
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าสามแกนที่ทอได้
3.6 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้กำหนดการดำเนินการวิจัยไว้ 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ
ขั้นตอนที่ 2 การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ
ขั้นตอนที่ 3 การทดลองทอผ้าสามแกนลายพื้นฐานและลายดัดแปลง
ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าสามแกนที่ทอได้

สรุปขั้นตอนดำเนินการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แสดงแผนผังสรุปขั้นตอนการวิจัย

3.1.1 การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3.1.1.1 ศึกษาศึกษารายละเอียดการออกแบบและการสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ก) ศึกษาโครงสร้าง วิธีการผลิตผ้าทอสามแกนสรุปปัญหาและข้อจำกัดของการผลิตผ้าทอสามแกน

ข) ศึกษาค้นคว้าเอกสาร วารสาร ตำรา งานวิจัยและสิทธิบัตรเกี่ยวกับกรอบทอผ้า

ค) สรุปองค์ประกอบหลักของกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3.1.1.2 ออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ก) ออกแบบตัวกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมชั้นนอก(วัสดุเป็นไม้)

ข) ออกแบบตัวกรอบรูปทอผ้ารูปหกเหลี่ยมชั้นใน (โครงเหล็ก)

ค) ออกแบบส่วนควบคุมความตึงของเส้นด้าย

ง) ออกแบบขาตั้งและฐาน

3.1.1.3 ตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของแบบ

3.1.1.4 ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

3.1.4.5 กำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่ และระยะเวลาสร้างต้นแบบกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3.1.2 การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3.1.2.1 สร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ก) สร้างแม่แบบกรอบหกเหลี่ยมจากกระดาษแข็ง

ข) สร้างโครงเหล็กกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม

ค) สร้างกรอบไม้รูปหกเหลี่ยม

ง) สร้างตัวควบคุมความตึงของเส้นด้ายยืน

จ) สร้างส่วนของขาตั้งและฐานของกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยม

ฉ) ประกอบชิ้นส่วนให้ได้กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบและตรวจสอบความเรียบร้อย

3.1.2.2 จัดทำคู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3.1.3 การทดลองทอผ้าสามแกนลายพื้นฐานและลายดัดแปลง

3.1.3.1 ทดลองทอผ้าสามแกนลายพื้นฐาน (โครงสร้างแบบเปิด)

3.1.3.2 ทดลองทอผ้าสามแกนแบบแน่นลายลูกเต๋าสามมิติ

3.1.3.3 ทดลองทอผ้าสามแกนดัดแปลงจากผ้าทอลายสองสมดุล

3.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนที่ทอได้

3.1.4.1 นับจำนวนเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และเส้นด้ายพุ่งของผ้าสามแกนลายพื้นฐาน

3.1.4.2 นับจำนวนเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และเส้นด้ายพุ่งของผ้าสามแกนแบบแน่นลายลูกเต๋าสามมิติ

3.1.4.3 นับจำนวนเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และเส้นด้ายพุ่งของผ้าสามแกนแบบลายหัวใจ

3.1.4.4 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

3.2 การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ แสดงในตารางที่ 1 การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

3.2.1 สร้างแบบจำลองการทอผ้าสามแกนโดยใช้กรอบทอผ้าหกเหลี่ยม

เริ่มจากสร้างรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าภายในวงกลม โดยเขียนวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ลากเส้นตรงตัดจุดศูนย์กลางของวงกลม โดยทำมุมกับเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 องศา ตัดวงกลม ใช้ฉากสามเหลี่ยมต่อจุดที่เส้นตรงไปตัดวงกลมจะได้รูปหกเหลี่ยมด้านเท่าภายในวงกลม ดังแสดงในภาพที่ 51 (ก) ทดลองลากเส้นระหว่างด้านหกเหลี่ยมวัดมุมของเส้นตัดทั้งสามแนว เพื่อทดสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นว่ากรอบหกเหลี่ยมดังแสดงในภาพที่ 51 (ข)

3.2.2 สร้างรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าขนาดเท่ากับตัวกรอบทอผ้า

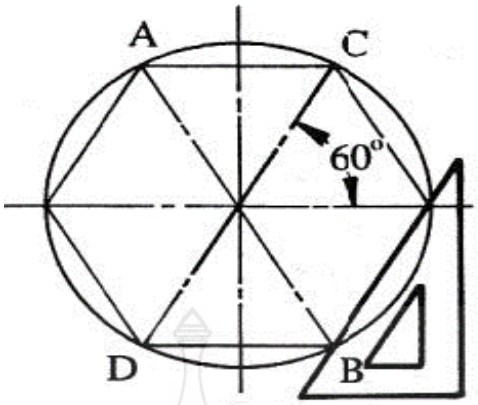
สร้างรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าขนาดเท่ากับตัวกรอบทอผ้าลงบนกระดาษแข็ง เพื่อหาขนาดของกรอบหกเหลี่ยมที่เหมาะสมรวมทั้งหาความกว้างของกรอบที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 52

3.2.3 ออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญดังต่อไปนี้ ออกแบบตัวกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมชั้นนอก(วัสดุเป็นไม้) ออกแบบตัวกรอบรูปทอผ้ารูปหกเหลี่ยมชั้นใน (โครงเหล็ก) ออกแบบส่วนควบคุมความตึงของเส้นด้าย และออกแบบขาตั้งและฐาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS ดังแสดงในภาพที่ 53

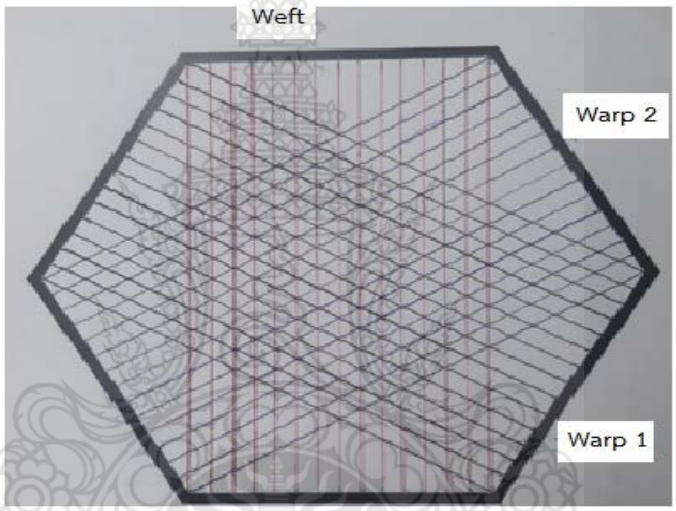
ตารางที่ 1 แสดงวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ลำดับ	วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ	ภาพ
1	กระดาษ A4 80 แกรม	
2	วงเวียน	
3	ฉากสามเหลี่ยม 60 องศา	
4	กระดาษแข็งหนา 3.3 มม.	
5	อุปกรณ์เครื่องเขียน ได้แก่ กรรไกร กระดาษกาว ไม้บรรทัด ดินสอ ยางลบ ปากกา	



(ก)

การสร้างรูปหกเหลี่ยมด้านเท่า



(ข)

การตรวจสอบมุมของเส้นตรงทั้ง 3 เส้นที่ตัดกัน

ภาพที่ 51 แสดงแบบจำลองการทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าหกเหลี่ยม

(ก)

วัดขนาดกระดาษแข็ง

(ข)

สร้างวงกลม

(ค)

ลากเส้นแต่ละด้านของรูปหกเหลี่ยม

ภาพที่ 52 แสดงการสร้างแบบจำลองรูปหกเหลี่ยมขนาดเท่ากรอบจริง

(ง)

ลากเส้นความกว้างของกรอบ

(จ)

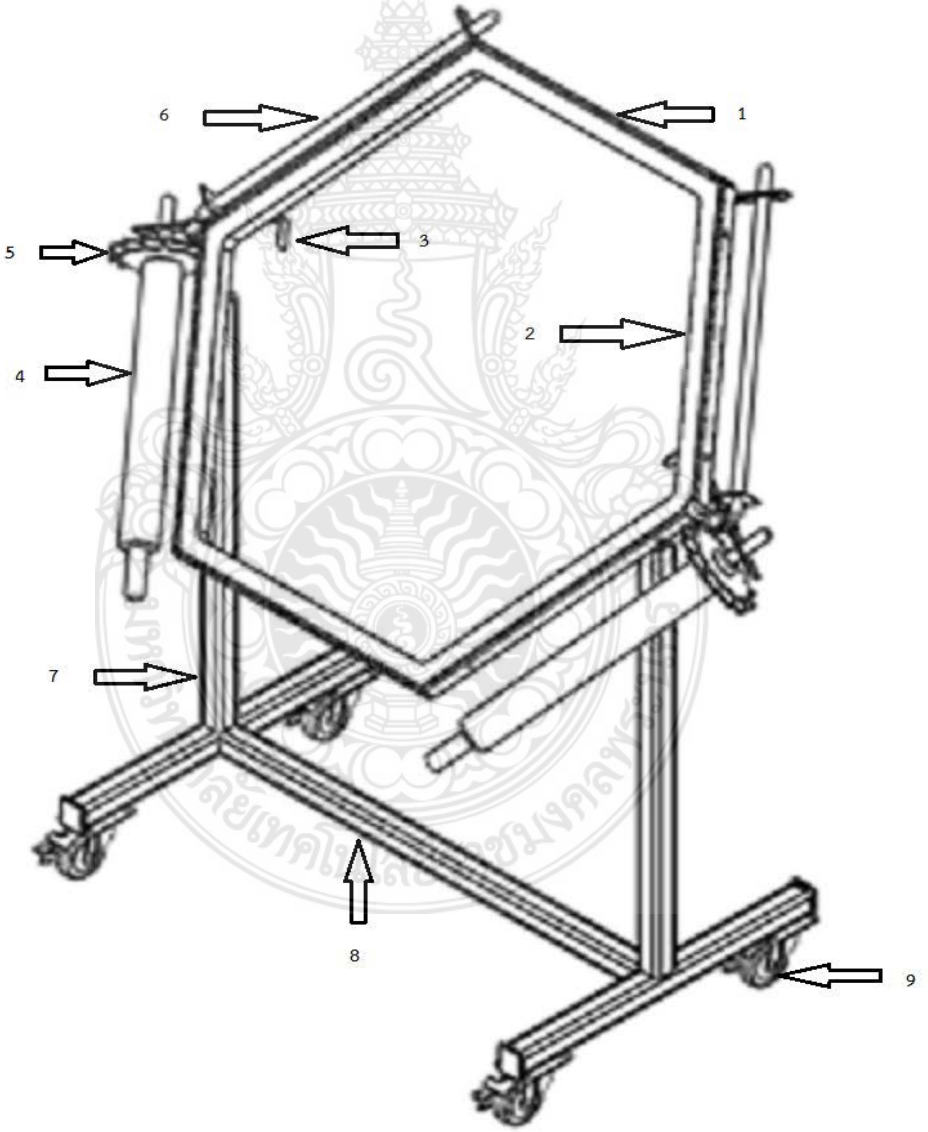
แบบจำลองกรอบหกเหลี่ยม

ภาพที่ 52(ต่อ) แสดงการสร้างแบบจำลองรูปหกเหลี่ยมขนาดเท่ากรอบจริง

จากภาพที่ 53 แสดงแบบกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

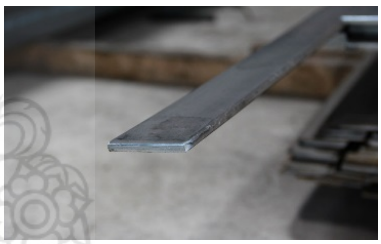
1. กรอบด้านนอกนอก
2. กรอบด้านใน
3. คันปรับมุมกรอบทอผ้า
4. แกนม้วนปรับความตึงด้ายยืน
5. เฟือง
6. แกนยึดเส้นด้ายยืน
7. ขาตั้งเครื่อง
8. คานยึดขาตั้ง
9. ล้อพร้อมเบรก

สำหรับรายละเดียดวัสดุของส่วนประกอบเครื่องแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 53 แสดงแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ตารางที่ 2 แสดงรายการวัสดุตามส่วนประกอบของกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ลำดับ	ส่วนประกอบของกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	วัสดุ	ภาพวัสดุ
1	กรอบด้านนอกนอก	ไม้เนื้อแข็ง หน้าไม้ 2 นิ้ว หนา 1 นิ้ว	
2	กรอบด้านใน	ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1 × 1 นิ้ว หนา 2.41 มม.	
3	คันปรับมุมกรอบทอผ้า	เหล็กกล้าคาร์บอนทรงแบนขนาดกว้าง 1 นิ้ว หนา 3 มม..	
4	แกนม้วนปรับความตึงด้ายยืน	เหล็กม้วนพร้อมเหล็กเพลาขาว ขนาด 1 นิ้ว	
5	เฟือง	เหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตร	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ส่วนประกอบของกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	วัสดุ	ภาพวัสดุ
6	แกนยึดเส้นด้ายยืน	ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดกลม ไม่เคลือบสี เหล็กท่อขนาด 1/2นิ้ว หนา 2. มม.	
7	ขาตั้งเครื่อง	ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 40×20มิลลิเมตร หนา 2.50 มิลลิเมตร ไม่เคลือบสี	
8	คานยึดขาตั้ง	ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 40×20มิลลิเมตร หนา 2.50 มิลลิเมตร ไม่เคลือบสี	
9	ล้อ	ลูกล้อเบรกขนาด 2 นิ้ว	

3.3 การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบมีขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้

3.3.1 การสร้างกรอบทอผ้าด้านใน

การสร้างกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบนั้นเริ่มจากการสร้างกรอบเหล็กด้านในเพื่อให้โครงสร้างของกรอบทอผ้านั้นแข็งแรงทนต่อแรงตึงของเส้นด้าย จากภาพที่ 54 ขั้นตอนแรก คือ ตัดท่อเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความยาว 51 เซนติเมตร (ก) วางลงบนแบบจำลองรูปหกเหลี่ยมเท่าขนาดกรอบจริง เพื่อให้ได้มุมและขนาดตามที่กำหนดไว้ (ข) จากนั้นเชื่อมมุมให้ติดกัน(ค) และพ่นสีขาวสเปรย์อะคริลิก 3 รอบ (ง)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 54 แสดงการสร้างกรอบทอผ้าด้านใน

(ค)

(ง)

ภาพที่ 54 (ต่อ) แสดงการสร้างกรอบทอผ้าด้านใน

3.3.2 การสร้างกรอบทอผ้าด้านนอก

เริ่มด้วยการตัดไม้ให้ยาวเท่ากับความกว้างแต่ละด้านของกรอบทอผ้าด้านในติดกรอบไม้เข้ากับกรอบเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 55 (ก) จากนั้นทำเครื่องหมายที่บริเวณกึ่งกลางของแต่ละด้านของกรอบเพื่อเป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นในการเซาะร่อง เพื่อให้ตำแหน่งร่องของด้านตรงข้ามตรงกัน (ข) จากนั้นเซาะร่องกรอบทอผ้าด้านนอกด้วยตะไบกลม ลักษณะของร่องที่ได้จะลึกและแคบ เพื่อให้เส้นด้ายผ่านได้ (ค) จากนั้นทดลองนำเส้นด้ายมาวางและเคลื่อนที่ไปมา เพื่อทดสอบว่าเส้นด้ายจะอยู่ในร่องที่เซาะและเคลื่อนที่ได้สะดวก เมื่อเซาะร่องครบทั้งหกด้านแล้วถอดกรอบทอผ้าด้านนอกออก เพื่อเตรียมสร้างกรอบทอผ้าด้านนอกอีก 1 ชุดสำหรับทอริ้วผ้าหรือริบบิ้น โดยวิธีการทำเหมือนกับการทำกรอบทอผ้าด้านนอกชุดแรกแต่ใช้ตะไบสี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้ร่องกว้างและไม่ลึกมาก (ง)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 55 แสดงการสร้างกรอบทอผ้าด้านนอก

(ค)

(ง)

ภาพที่ 55 (ต่อ) แสดงการสร้างกรอบทอผ้าด้านนอก

3.3.3 การสร้างแกนหมุนควบคุมความตึง

การทำแกนหมุนควบคุมความตึงเริ่มจากการสร้างเฟืองเพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของแกน จากนั้นเชื่อมเฟืองติดกับเพลาและแกนหมุน ดังแสดงในภาพที่ 56 เริ่มจากการสร้างแบบเฟือง โดยใช้วงเวียนสร้างวงกลมวงนอกและวงใน ใช้วงเวียนตัดเส้นรอบวงโดยรอบ ขีดเส้นจากจุดตัดด้านนอกเข้าสู่ด้านในของวงกลม(ก) ใช้กรรไกรตัดตามแบบโดยรอบ (ข) ได้แบบสำเร็จของเฟือง (ค) เพื่อส่งโรงงานผลิตเฟืองต่อไป เมื่อได้เฟืองเหล็กที่เจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร นำไปเชื่อมต่อกับเพลาและแกนหมุนทั้งหมด 2 ชุด (ง)

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 56 แสดงการสร้างแกนหมุนควบคุมความตึง

(ง)

ภาพที่ 56 (ต่อ) แสดงการสร้างแกนหมุนควบคุมความตึง

3.3.4 การสร้างขาตั้ง ฐาน และตัวปรับมุมกรอบทอ

การสร้างขาตั้งและฐานนั้นเริ่มจากการตัดเหล็กกล้าคาร์บอนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ประกอบด้วย ขาตั้ง 2 ขา เหล็กรองขาตั้ง 2 ชิ้น คานเชื่อมระหว่างขา 1 ชิ้น เชื่อมติดกัน ต่อเข้ากับมุมทั้งสองข้างของกรอบหกเหลี่ยมด้านใน (ก) สร้างจุดหมุน (ข) เพื่อให้กรอบทอผ้าสามารถปรับมุมในการทอได้(ค) และติดตั้งกลไกการปรับมุมกรอบทอ (ง) ดังแสดงในภาพที่ 57

(ก) (ข)

ภาพที่ 57 แสดงการสร้างขาตั้ง ฐาน และตัวปรับมุมกรอบทอ

(ค) (ง)

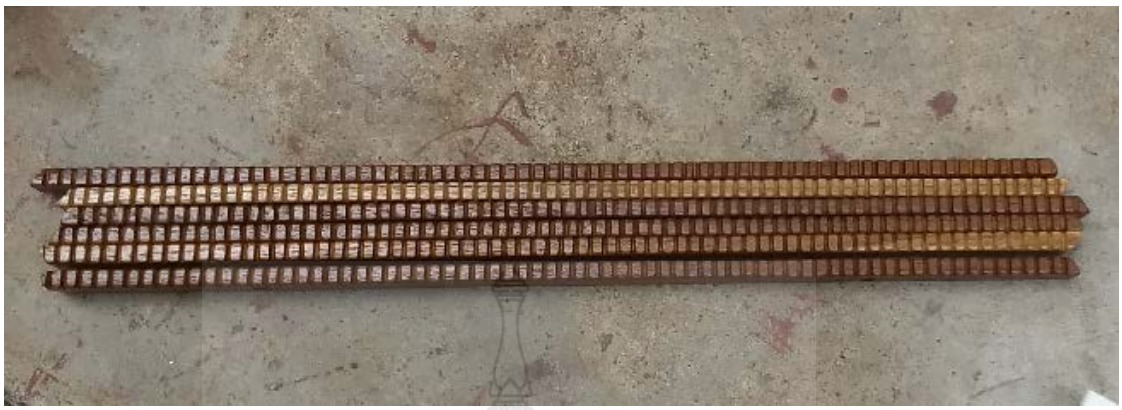
ภาพที่ 57 (ต่อ) แสดงการสร้างขาตั้ง ฐาน และตัวปรับมุมกรอบทอ

3.3.5 การประกอบและเก็บรายละเอียด

หลังจากที่ส่วนประกอบหลักของกรอบทอสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบได้สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น ต้องทำการใส่ล้อที่ฐานรองขาตั้งทั้ง 4 มุม พ่นสีรองพื้นกันสนิมจากนั้นพ่นสีขาวซ้ำ 3 รอบ ในส่วนของโครงสร้างเหล็ก (ก) และพ่นแลคเกอร์ในส่วนของกรอบทอผ้าด้านนอกที่เป็นไม้ทั้งสองชุด (ข) และทดลองประกอบอีกครั้ง (ค) ดังแสดงในภาพที่ 58

(ก)

ภาพที่ 58 แสดงการประกอบและเก็บ



(ข)

(ค)

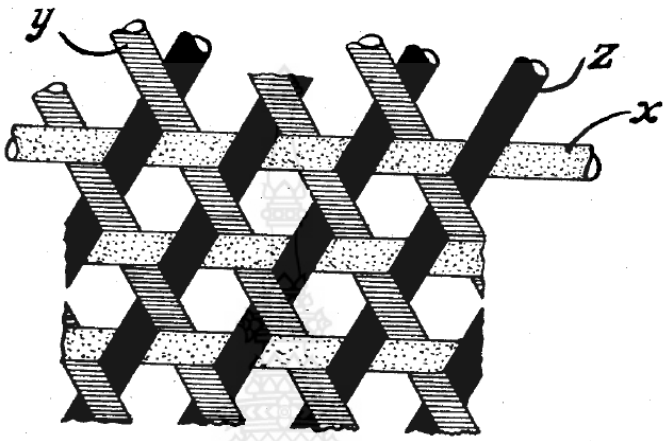
ภาพที่ 58(ต่อ) แสดงการประกอบและเก็บ

3.4 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐานและลายดัดแปลง

3.4.1 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐาน โครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกนจะเป็นโครงสร้างแบบเปิด ดังแสดงในภาพที่ 59 ประกอบด้วย ชุดเส้นด้ายยืน 2 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายยืน Y และ ชุดเส้นด้ายยืน Z ส่วนชุดเส้นด้ายพุ่งมี 1 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายพุ่ง X โครงสร้างการทอประกอบด้วย ชุดเส้นด้ายยืน Y อยู่บนชุดเส้นด้ายยืน Z ด้วยมุม 60 องศา เส้นด้ายพุ่ง X ลอดใต้เส้นด้ายยืน Z ด้วยมุม 60 องศา และข้ามผ่านเส้นด้ายยืน Y ด้วยมุม 60 องศา ช่องว่างที่เกิดจากการทอของเส้นด้ายทั้ง 3 ชุดจะเป็นรูปหกเหลี่ยมกระจายทั่วทั้งผืน

3.4.2 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยลายดัดแปลง การทอผ้าสามแกนลายดัดแปลงลายที่ 1 นั้นเป็นผ้าทอสามแกนโครงสร้างแน่น(Dense triaxial weave fabric) เมื่อเทียบกับลายพื้นฐานลายลูกเต๋ามีลักษณะลายเป็นสามมิติ ประกอบด้วยชุดเส้นด้ายยืน 2 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายยืน Y และ ชุด

เส้นด้ายยืน Z ส่วนชุดเส้นด้ายพุ่งมี 1 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายพุ่ง X โครงสร้างการทอประกอบด้วย 1) การทอลายขัด เส้นด้ายยืน Y ข้ามผ่านเส้นด้ายยืน Z 2 เส้นและลอดใต้ เส้นด้ายยืน Z 1 เส้น (ขึ้น 2 ลง 1) ด้วยมุม 60 องศา จากนั้นสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง X แบบขึ้น 2 ลง 1 กับเส้นด้ายยืน Y และขึ้น 1 ลง 2 กับเส้นด้ายยืน Z



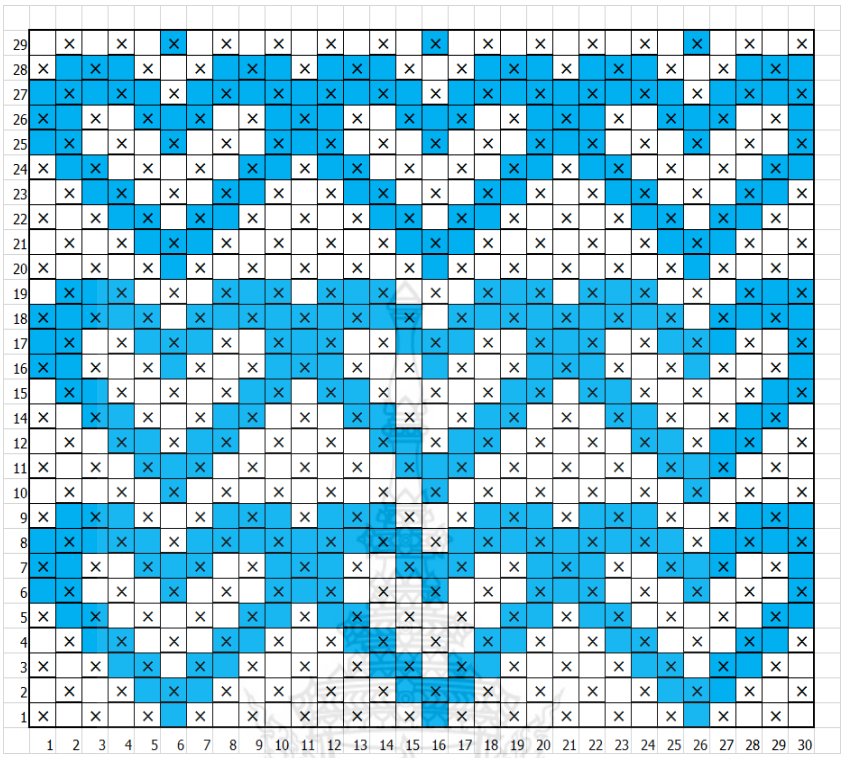
ภาพที่ 59 แสดงผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน

ที่มา: Dow (1969)

3.4.3 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยลายดัดแปลงลายที่ 2 การทอผ้าสองลายที่ผ่านมาเป็นการทอผ้าสามแกนตามสิทธิบัตรดั้งเดิม สำหรับการทอผ้าสามแกนลายดัดแปลงลายที่ 2 นี้ คณะวิจัยได้ดัดแปลงผ้าทอลายสองซึ่งเป็นโครงสร้างของผ้าทอสองแกน ดังแสดงในภาที่ 60 ประกอบด้วยชุดเส้นด้ายยืน 2 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายยืน Y แสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมสีขาว และ ชุดเส้นด้ายยืน Z แสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมสีฟ้า ส่วนชุดเส้นด้ายพุ่งมี 1 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายพุ่ง X แสดงโดยเครื่องหมายกากบาท (×) โครงสร้างการทอประกอบด้วย 1) การทอลายสองโดยใช้ชุดเส้นด้ายยืน Y และเส้นด้ายยืน Z จากนั้นสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง X แบบขึ้น 1 ลง 1 กับโครงสร้างผ้าลายสองที่ทอขึ้นก่อน

3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนที่ทอได้

การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนที่ทอได้ทั้งสามผืนนี้ประยุกต์จากการนับจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสองแกน บันทึกผลเป็นจำนวนเส้นด้ายยืนชุดที่ 1 (ชุดเส้นด้ายยืนY) เส้นด้ายยืนชุดที่ 2 (ชุดเส้นด้ายยืน Z) และ เส้นด้ายพุ่ง (ชุดเส้นด้ายพุ่ง X) ต่อความยาว 10 เซนติเมตร



☐ ชุดเส้นด้ายยืน Y ■ ชุดเส้นด้ายยืน Z ☒ ชุดเส้นด้ายพุ่ง X

ภาพที่ 60 แสดงลายทอของผ้าทอสามแกนลายดัดแปลงจากผ้าทอลายสอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 4

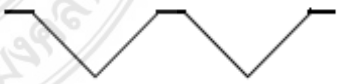
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ” คณะวิจัยดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ 4 ขั้นตอน คือ 1) การออกแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ 2) การสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ 3) การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐานและลายดัดแปลง 4) การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าสามแกนที่ทอได้ นำเสนอผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

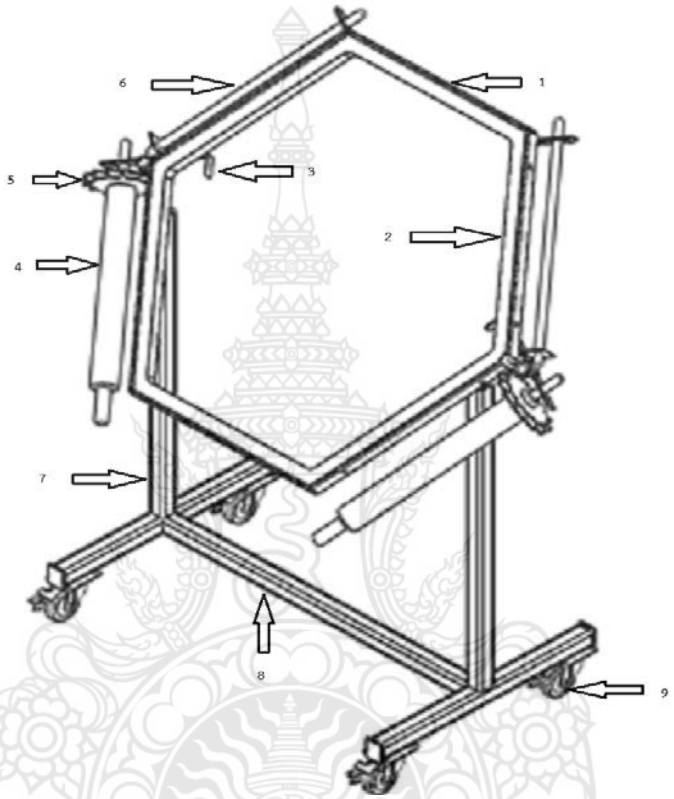
หลังจากทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับผ้าทอสามแกนทั้งในเรื่องโครงสร้าง สมบัติและการผลิต ตลอดจนกรอบทอผ้าที่ใช้ทั้งในอดีตและปัจจุบัน คณะวิจัยได้สรุปองค์ประกอบสำคัญของกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบสำคัญของกรอบทอผ้าสามแกนแบบถอดประกอบ

องค์ประกอบสำคัญ	แนวทางการพัฒนา
1. ทนแรงตึงของเส้นด้ายที่ทอได้	มีกรอบเหล็กด้านในช่วยซับแรง
2. ทอได้ทั้งเส้นด้ายและริ้วผ้าหรือริบบิ้น	กรอบด้านนอกที่ใช้ในการยึดเส้นด้าย ริ้วผ้าหรือริบบิ้น มีทั้งหมด 2 ชุด และสามารถถอดประกอบได้
3. เส้นด้ายไม่พันกันขณะทอ	รูปแบบการเซาะร่องควรเป็นแบบ V shape ลึกเพียงพอที่เส้นด้ายจะไม่หลุดออกมาและพันกันขณะทอ 
4. สามารถทอริบบิ้นหรือริ้วผ้าได้	กรอบมีการเซาะร่องให้กว้างพอประมาณเพื่อให้เหมาะกับริบบิ้นและริ้วผ้า
5. เส้นด้ายมีความตึงคงที่	สามารปรับแรงตึงของเส้นด้ายระหว่างการทอได้ง่าย
6. ทอได้สะดวก	ตัวกรอบลอยตัวจากพื้นโดยใช้ขาตั้งและสามารถปรับมุมของกรอบได้เพื่อให้ทอได้ถนัด
7. เคลื่อนย้ายง่าย	มีชุดล้อพร้อมเบรค

4.1.1 แบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบนั้นถูกออกแบบจากแนวทางการพัฒนาองค์ประกอบที่สำคัญที่คณะวิจัยได้สรุปจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล เป็นกรอบทอผ้าที่มีขาตั้งสามารถปรับมุมกรอบทอผ้าให้เหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของร่างกายผู้ทอได้ ตัวกรอบเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าโดยมีความยาวแต่ละด้าน 50 เซนติเมตร มีส่วนประกอบดังนี้



ภาพที่ 61 แสดงแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

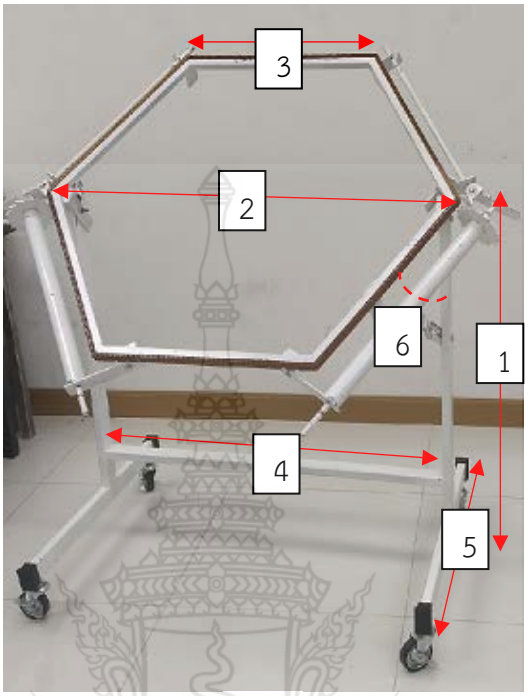
จากภาพที่ 61 แสดงแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบมีส่วนประกอบที่สำคัญที่ระบุตามตัวเลขในภาพดังต่อไปนี้

1 กรอบด้านนอกนอก	2 กรอบด้านใน	3 คันปรับมุมกรอบทอผ้า
4 แกนม้วนปรับความตึงด้ายยืน	5 เฟือง	6 แกนยึดเส้นด้ายยืน
7 ขาตั้งเครื่อง	8 คานยึดขาตั้ง	9 ล้อพร้อมเบรก

4.1.2 ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบตามแบบที่จัดทำไว้แสดงในภาพที่ 62 (ก) โดยกรอบด้านนอกมีทั้งหมด 2 ชุด ได้แก่ กรอบด้านนอกสำหรับทอด้วยเส้นด้ายดังแสดงในภาพที่ 62 (ข) และกรอบด้านนอกสำหรับทอริ้วผ้าหรือริบบิ้น ดังแสดงในภาพที่ 62 (ค) โดยกรอบด้าน

นอกสามารถถอดออกและนำมาประกอบกับกรอบด้านในที่เป็นเหล็กทำให้กรอบทอผ้าสามแกนนี้ทอด้วยวัสดุที่มีความหลากหลายได้



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 62 แสดงต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ (ก) ส่วนประกอบทั้งหมด (ข) กรอบด้านนอกสำหรับทอเส้นด้าย (ค) กรอบด้านนอกสำหรับทอริ้วผ้าหรือริบบิ้น

4.1.3 ข้อมูลทางเทคนิค

ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบมีข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ข้อมูลทางเทคนิค	ขนาด
1. ความสูงจากพื้นถึงกรอบ	98 เซนติเมตร
2. ระยะกว้างสุดของกรอบ	101 เซนติเมตร
3. ความยาวด้านของกรอบ	50 เซนติเมตร
4. ความยาวคานยึดขาตั้ง	83 เซนติเมตร
5. ความยาวฐานยึดขาตั้ง	74 เซนติเมตร
6. การปรับมุมของกรอบทอผ้า	10-90 องศา
7. จำนวนร่องต่อ 10 เซนติเมตรของกรอบด้านนอก (สำหรับเส้นด้าย)	15 ร่อง
8. จำนวนร่องต่อ 10 เซนติเมตรของกรอบด้านนอก (สำหรับริบบิ้นหรือริ้วผ้า)	7 ร่อง

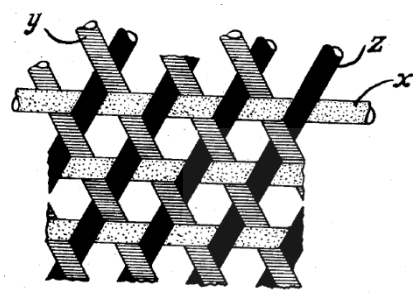
หมายเหตุ ตัวเลขกำกับแสดงในภาพที่ 62

4.2 ผลการทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐานและลายดัดแปลง

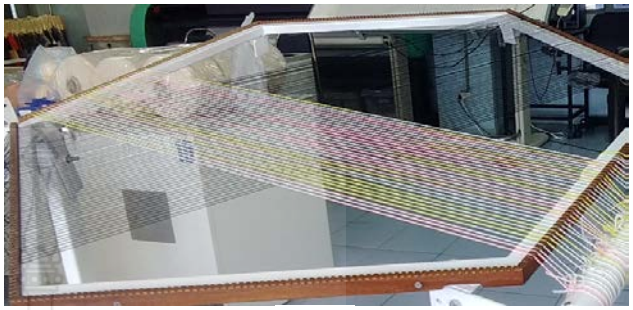
การทดลองทอผ้าด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบในครั้งนี้ใช้เฉพาะกรอบด้านนอกสำหรับทอเส้นด้ายเพื่อให้ผ้าที่ทอได้ใกล้เคียงกับโครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกนมาตรฐาน

4.2.1 ผลการทดลองทอผ้าสามแกนโครงสร้างพื้นฐาน โครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกนประกอบไปด้วยชุดเส้นด้ายยืน Y และ Z ชุดเส้นด้ายพุ่ง X ดังแสดงในภาพที่ 63 (ก) เพื่อความสะดวกในการทอควรเว้นระยะการขึงเส้นด้ายอย่างน้อย 2 เซนติเมตรจากมุมของกรอบทอผ้า โดยเริ่มจากการผูกเส้นด้ายยืน Z (ด้ายสีดำ) กับแกนม้วนปรับความตึง ผ่านเส้นด้ายจากร่องที่ติดกับแกนม้วนปรับความตึงไปยังร่องฝั่งตรงข้าม(ตำแหน่งร่องต้องตรงกัน) จากนั้นมัดเส้นด้ายยึดติดกับแกนยึดเส้นด้ายยืน เมื่อขึงเส้นด้ายยืน Z จนครบตามความยาวที่ต้องการ เริ่มเส้นด้ายยืน Y (ด้ายสี) ทับเส้นด้ายยืน Z ดังแสดงในภาพที่ 63 (ข) จากนั้นสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง X (ด้ายสี 2 เส้น) โดยลอดใต้เส้นด้ายยืน Y 1 เส้น และข้ามบนเส้นด้ายยืน Z 1 เส้น ดังแสดงในภาพที่ 63 (ค) เกิดเป็นโครงสร้างผ้าทอสามแกนพื้นฐานที่มีช่องว่างเป็นรูปหกเหลี่ยมกระจายทั่วทั้งผืนผ้าถือเป็นโครงสร้างแบบเปิด เมื่อจากการทดลองพบว่ากรอบทอผ้าสามารถใช้ทอผ้าสามแกนโครงสร้างพื้นฐานได้ ร่องของกรอบทอผ้าด้านนอกนั้นมีความลึกเพียงพอทำให้เส้นด้ายยืนทั้งสองชุดไม่พันกัน เมื่อใส่เส้นด้ายพุ่ง X ไปจำนวนหนึ่งเส้นด้ายยืนจะหย่อนลงทำให้ต้องหมุนแกนม้วนปรับความตึงของชุดเส้นด้ายยืน อย่างไรก็ตามพบว่าเส้นด้ายยืนบางเส้นยังหย่อนอยู่จึงต้องแก้มัดและผูกเส้นด้ายยืนเส้นที่หย่อนกับแกนยึดเส้นด้ายยืนใหม่ และมีการสูญเปล่าของเส้นด้ายบริเวณแกนม้วนปรับความตึงและแกนยึดเส้นด้ายยืน มีการประยุกต์ใช้ลวดดัดให้มีรูขนาดใหญ่สำหรับร้อยเส้นด้ายพุ่งในการทอ เนื่องจากผ้ามีโครงสร้างแบบเปิด

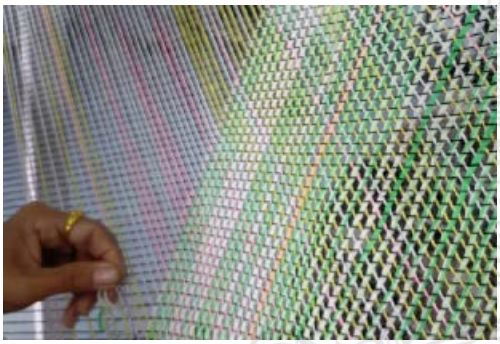
ดังนั้นการนำผ้าที่ทอออกจากกรอบทอผ้านั้นต้องทำอย่างระมัดระวังไม่ให้เส้นด้ายหลุดออกจากกันโดยการติดกรอบกระดาษแข็งลงบนผ้าที่ทอได้แล้วจึงตัดเส้นด้ายออกจากกรอบดังแสดงในภาพที่ 63 (ง)



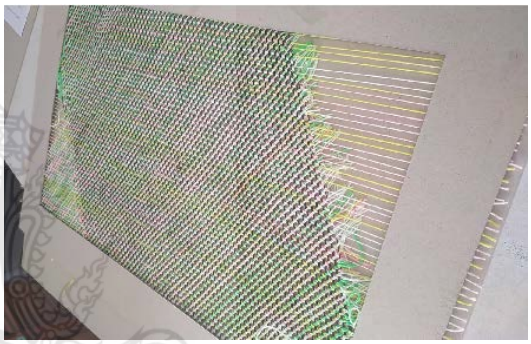
(ก)



(ข)



(ค)



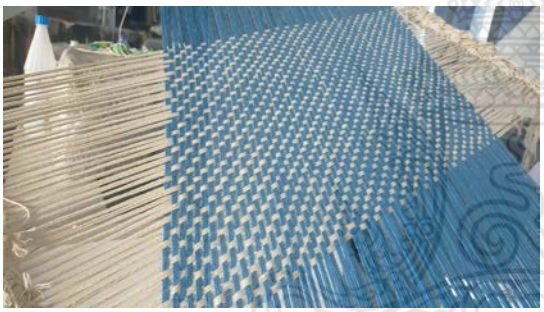
(ง)

ภาพที่ 63 แสดงผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน

4.2.2 ผลการทดลองทอผ้าสามแกนลายลูกเต๋า ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋าถือเป็นผ้าทอสามแกนลายดัดแปลงที่มีโครงร้างแน่นจากการขัดสานกันของเส้นด้ายทั้งสามชุด การทดลองทอเริ่มจากการขึงเส้นด้ายสีฟ้า ผ่านร่องที่กรอบด้านนอกจนครบทุกเส้น ดังแสดงในภาพที่ 64 (ก) จากนั้นขึงเส้นด้ายสีขาว ผ่านร่องและทอข้ามเส้นด้ายสีฟ้าแบบขึ้น 1 ลง 2 (เส้นด้ายสีขาวข้ามผ่านเส้นด้ายสีฟ้า 2 เส้น ลอดใต้เส้นด้ายสีฟ้า 2 เส้น) ดังแสดงในภาพที่ 64 (ข) และ (ค) เมื่อทอจนครบทั้งผืนเริ่มต้นสอดเส้นด้ายสีดำแบบ ขึ้น 1 ลง 2 ในทุกๆจุดขัดระหว่างเส้นด้ายสีขาวและสีฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 64 (ง) และ (จ) เมื่อทอเสร็จผ้าสามารถตัดผ้าออกจากกรอบและผูกเส้นด้ายเป็นชายครุยเพื่อให้เส้นด้ายไม่หลุดออกจากโครงสร้างของผ้า ตัวชิ้นงานสำเร็จจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนไม่ใช่สี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมือนกับผ้าผืนทอสองแกนทั่วไป

(ก)

(ข)



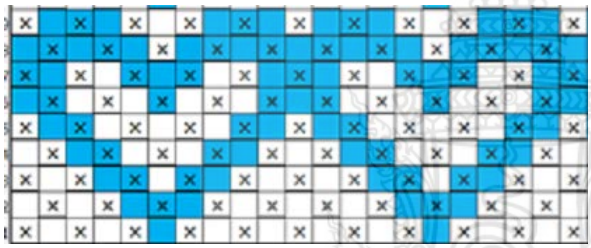
(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ 64 แสดงผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋า

4.2.3 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยลายดัดแปลงลายที่ 2 สำหรับการทอผ้าสามแกนลายดัดแปลงลายที่ 2 นี้ คณะวิจัยได้ประยุกต์ผ้าทอลายสองดัดแปลงซึ่งเป็นโครงสร้างของผ้าทอสองแกน ดังแสดงในภาที่ 61 ประกอบด้วยชุดเส้นด้ายยืน 2 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายยืน Y แสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมสีขาว และ ชุดเส้นด้ายยืน Z แสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมสีฟ้า ส่วนชุดเส้นด้ายพุ่งมี 1 ชุด คือ ชุดเส้นด้ายพุ่ง X แสดงโดยเครื่องหมายกากบาท (×) โครงสร้างการทอประกอบด้วย 1) การทอลายสองโดยใช้ชุดเส้นด้ายยืน Y และเส้นด้ายยืน Z จากนั้นสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง X แบบขึ้น 1 ลง 1 กับโครงสร้างผ้าลายสองที่ทอขึ้นก่อน การทดลองทอเริ่มจากการขึงเส้นด้ายสีขาวผ่านร่องของกรอบด้านนอกจนครบตามขนาดที่ต้องการจากนั้นขึงเส้นด้ายสีฟ้าผ่านร่องของกรอบด้านนอกทอขัดกับเส้นด้ายสีขาวตามลายที่กำหนด (เฉพาะสีฟ้าและขาว) เมื่อทอจนครบลายในแต่ละแถวให้ผูกเส้นด้ายสีฟ้าที่แกนยึดเส้นด้ายยืนและทอไปจนครบตลอดผืนผ้า



(ก)

(ค)

(ข)

(จ)

(ง)

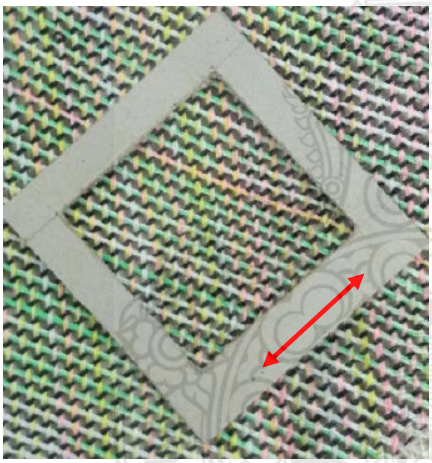
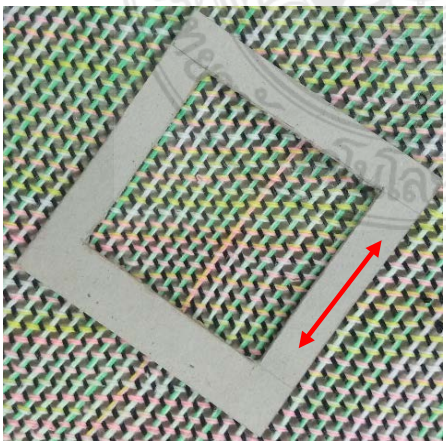
ภาพที่ 65 แสดงผ้าทอสามแกนลายหัวใจ

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนที่ทอได้

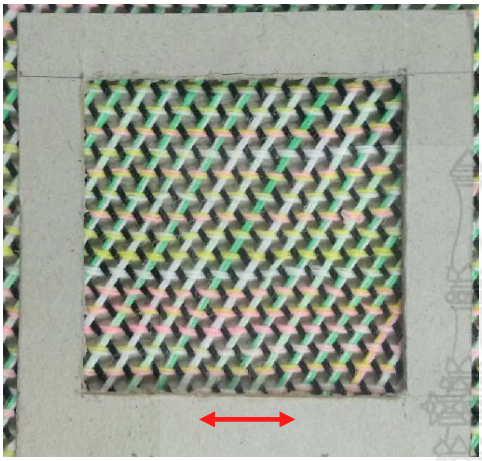
การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนที่ทอได้ทั้งสามผืนนี้ประยุกต์จากการนับจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสองแกน โดยการวางกรอบขนาด 10 × 10 เซนติเมตร ขนานกับแนวเส้นด้ายที่ต้องการนับทีละแนวจนครบเส้นด้ายทั้ง 3 ชุด

4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานมีด้านหน้าและด้านหลังเหมือนกัน จากตารางที่ 5 แสดงจำนวนเส้นด้ายในแต่ละแนวของผืนผ้าจะเห็นได้ว่าทั้งแนวเส้นด้ายยืน 2 ชุด และเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด มีจำนวนเส้นด้ายเท่ากัน คือ 15 × 15 × 15 แสดงว่าโครงสร้างผ้ามีความสมดุลกันในระดับดี อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถมองเห็นโครงสร้างผ้าที่ชัดเจนและมีความคงตัวจึงใช้การควบเส้นด้ายสองเส้นในแต่ละแนวเส้นด้าย

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน

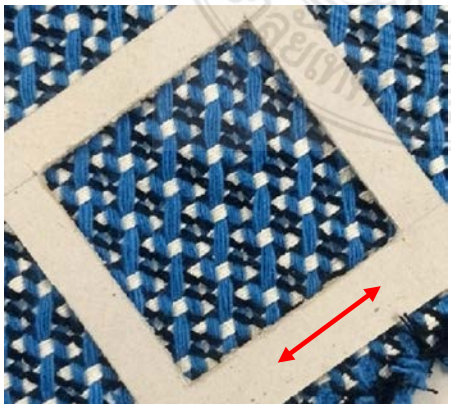
แนวเส้นด้าย	จำนวนเส้นต่อ 10 เซนติเมตร
	เส้นด้ายสีดำ (เส้นด้ายยืน Y) มี 15 เส้น
	เส้นด้ายสี (เส้นด้ายยืน Z) ทับบนเส้นด้ายสีดำ (เส้นด้ายยืน Y) มี 15 เส้น

ตารางที่ 5 (ต่อ)

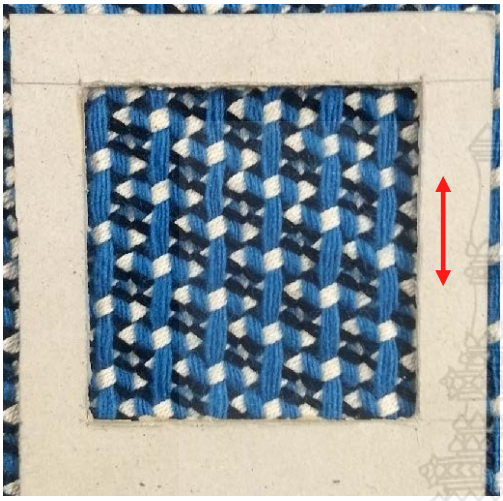
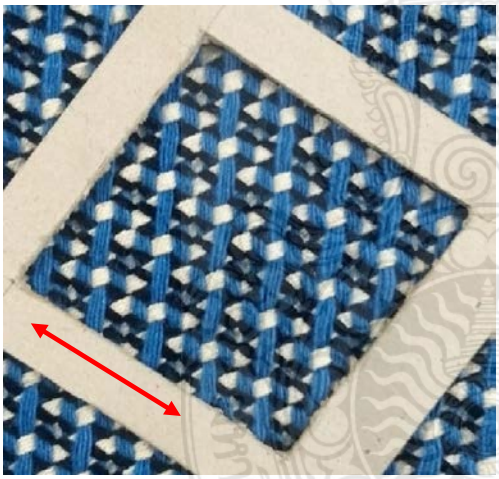
แนวเส้นด้าย	จำนวนเส้นต่อ 10 เซนติเมตร
	เส้นด้ายสี (เส้นด้ายพุ่ง X) ขัดแบบขึ้น 1 ลง 1 กับเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด มี 15 เส้น

4.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋า ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋ามีด้านหน้าและด้านหลังไม่เหมือนกัน จากตารางที่ 6 แสดงจำนวนเส้นด้ายในแต่ละแนวของผืนผ้าจะเห็นได้ว่าทั้งแนวเส้นด้ายยืน 2 ชุด และเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด มีจำนวนเส้นด้ายต่างกัน คือ 16 × 17 × 27 เกิดจากสอดใส่เส้นด้ายพุ่งในแนวทแยงและทอแบบขึ้น 1 ลง 2 กับผ้าลายสองที่ทอด้วยเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดทำให้มีจำนวนเส้นด้ายพุ่งที่มากกว่าเส้นด้ายยืน เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเส้นด้ายทั้งหมดของผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานพบว่าจำนวนเส้นด้ายทั้งหมดของผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋ามากกว่าผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน อย่างไรก็ตามเพื่อให้มองเห็นโครงสร้างผ้าชัดเจนและผ้ามีความคงตัวมากขึ้นได้เพิ่มจำนวนเส้นด้ายเป็นสีขาวควบ 4 เส้น สีฟ้าควบ 4 เส้นและสีดำควบ 4 เส้นในการทอ

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋า

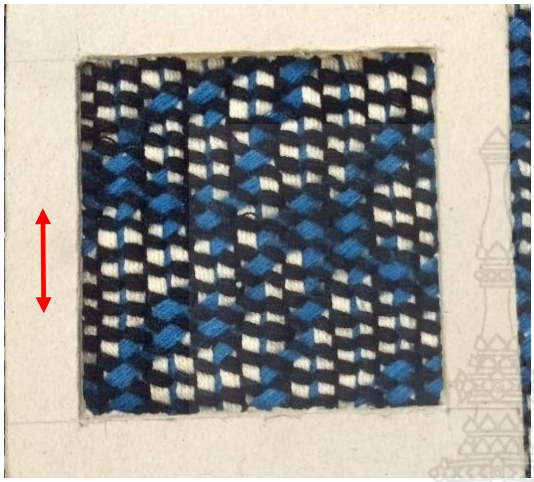
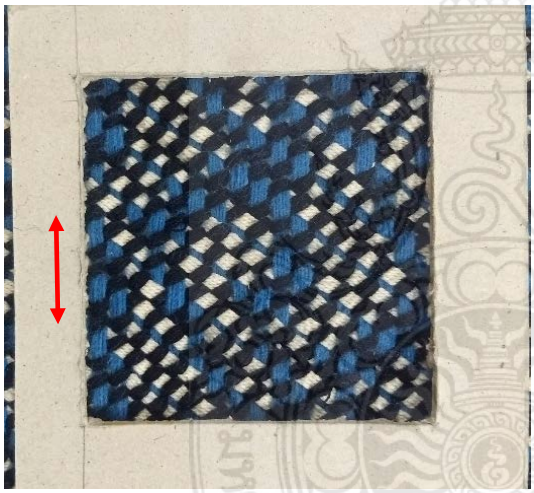
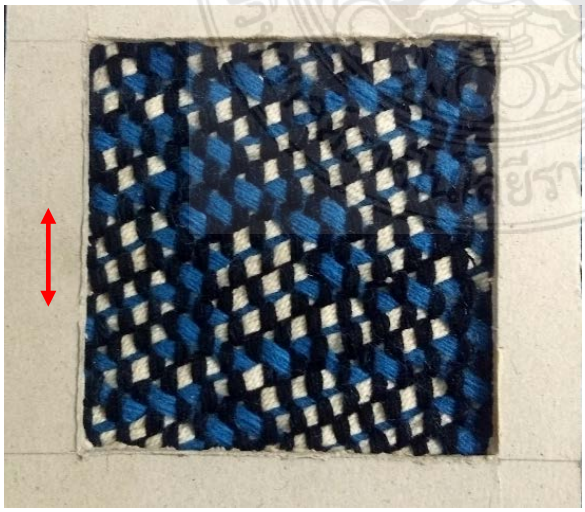
แนวเส้นด้าย	จำนวนเส้นด้ายต่อ 10 เซนติเมตร
	เส้นด้ายสีขาว (เส้นด้ายยืน Y) มี 16 เส้น

ตารางที่ 6 (ต่อ)

แนวเส้นด้าย	จำนวนเส้นด้ายต่อ 10 เซนติเมตร
	เส้นด้ายสีฟ้า (เส้นด้ายยืน Z) มี 17 เส้น
	เส้นด้ายสีดำ (เส้นด้ายพุ่ง X) มี 27 เส้น

4.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผ้าทอสามแกนลายหัวใจ ผ้าทอสามแกนลายหัวใจมีด้านหน้าและด้านหลังไม่เหมือนกัน จากตารางที่ 7 แสดงจำนวนเส้นด้ายในแต่ละแนวของผืนผ้าจะเห็นได้ว่าทั้งแนวเส้นด้ายยืน 2 ชุด และเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด มีจำนวนเส้นด้ายต่างกัน คือ 16 × 16 × 27เกิดจากสอดใส่เส้นด้ายพุ่งในแนวทแยงและทอแบบขึ้น 1 ลง 1 กับผ้าทอลายสองดัดแปลงที่ทอด้วยเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดทำให้มีจำนวนเส้นด้ายพุ่งที่มากกว่าเส้นด้ายยืน เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเส้นด้ายทั้งหมดของผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานพบว่าจำนวนเส้นด้ายทั้งหมดของผ้าทอสามแกนลายหัวใจมากกว่าผ้าทอสามแกนลายพื้นฐาน อย่างไรก็ตามเพื่อให้มองเห็นโครงสร้างผ้าชัดเจนและผ้ามีความคงตัวมากขึ้นได้เพิ่มจำนวนเส้นด้ายเป็นสีขาวควบ 4 เส้น สีฟ้าควบ 5 เส้นและสีดำควบ 10 เส้นในการทอ

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอสามแกนลายหัวใจ

แนวเส้นด้าย	จำนวนเส้นด้ายต่อ10 เซนติเมตร
	เส้นด้ายสีขาว (เส้นด้ายยืน Y) มี 16 เส้น
	เส้นด้ายสีฟ้า (เส้นด้ายยืน Z) มี 16 เส้น
	เส้นด้ายสีดำ (เส้นด้ายพุ่ง X)มี 27 เส้น

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ 2) พัฒนาการทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ สามารถสรุปผล อภิปรายผล และมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผล

คณะวิจัยออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ ทดลองทอผ้าสามแกนด้วยโครงสร้างพื้นฐาน 1 ผืน ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋าและผ้าทอสามแกนลายหัวใจซึ่งทั้งสองลายนั้นเป็นการนำเส้นด้ายยืน 2 ชุด มาทอลายสอง (Twill weave) หลังจากนั้นสอดใส่ด้ายพุ่งในแนวทแยงทอขัดกับโครงสร้างผ้าที่ทอไว้ก่อน สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ สามารถเปลี่ยนกรอบด้านนอกให้สามารถทอได้ทั้งเส้นด้ายและริ้วผ้า โดยการถอดและประกอบกรอบไม้ด้านนอกทีละด้านจนครบหกด้าน กรอบด้านนอกสำหรับทอเส้นด้ายลักษณะเป็น V shape มี 15 ร่อง สำหรับทอริ้วผ้าหรือริบบิ้นลักษณะเป็นร่องตื้นกว้าง มี 7 ร่อง แต่ละด้านของกรอบยาว 50 เซนติเมตร เมื่อประกอบรวมกับกรอบเหล็กด้านในเป็นรูปหกเหลี่ยมมีระยะกว้างสุด 101 เซนติเมตร ตัวกรอบสามารถปรับมุมกับแนวขาตั้งได้ 10-90 องศา ทำให้สามารถทอได้สะดวกขึ้นรองรับการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ขณะทอ และสูงจากพื้น 98 เซนติเมตร ขาของกรอบมี 2 ขา มีคานระหว่างขากรอบทั้งสองยาว 83 เซนติเมตร ตัวฐานของกรอบมีความยาว 74 เซนติเมตร ทำให้ตัวกรอบมีความมั่นคงขณะทอ นอกจากนี้ยังมีล้อพร้อมเบรกติดที่ฐานข้างละ 2 ล้อเพื่อให้เคลื่อนที่ได้ง่าย

5.1.2 การพัฒนาการทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ การทอผ้าสามแกนเริ่มจากการผูกเส้นด้ายยืน Y เข้ากับแกนม้วนปรับความตึงด้ายยืน ผ่านร่องของกรอบด้านนอกทั้งสองด้านมัดเส้นด้ายยืนนั้นกับแกนยึดด้ายยืน Y จากนั้นขึ้นเส้นด้ายยืน Z เช่นเดียวกับเส้นด้ายยืน Y การทอระหว่างเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดสามารถทำได้หลายลาย เช่น การทอด้วยลายพื้นฐานนั้น เส้นด้ายยืน Z จะซ้อนทับกับเส้นด้ายยืน Y เท่านั้นไม่ได้มีการขัดสานกัน นอกจากนี้ยังสามารถทอด้วยลายขัด ลายสอง ลายสองดัดแปลงหรือแม้แต่ลายต่วน เมื่อทอเส้นด้ายยืน Y และ Z เสร็จเริ่มสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง X ในโครงสร้างผ้าที่ทอจากเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด โดยอาจใช้ลายขัด หรือลายสองตามจุดขัดระหว่างชุดเส้นด้ายยืนทั้งสอง ในระหว่างการทอสามารถปรับความตึงของเส้นด้ายด้วยการหมุนแกนม้วนปรับความตึงด้ายยืนและล็อกเฟืองเพื่อให้แกนหมุนอยู่กับที่ดังนั้นเส้นด้ายในแต่ละจุดของผ้าจะมีความตึงที่สม่ำเสมอมากขึ้น รวมทั้งสามารถควบคุมความถี่ของเส้นด้ายแต่ละแนวให้มีความสม่ำเสมอช่องว่างระหว่างเส้นด้ายใกล้เคียงกันมากขึ้น

5.2 อภิปรายผล

การวิจัย การพัฒนากรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ ภายหลังจากได้ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบและทดลองทอผ้าสามแกนทั้งโครงสร้างพื้นฐานและลายดัดแปลง พบว่าสามารถต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบสามารถใช้ทอผ้าสามแกนได้ทั้งสามลายและสามารถถอดประกอบกรอบด้านนอกสำหรับทอทั้งเส้นด้ายและริ้วผ้าหรือริบบิ้นได้ และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 การออกแบบและสร้างต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ มีรายละเอียด ดังนี้ กรอบทอผ้าสามแกนมีขาตั้งทำให้ตัวกรอบลอยตัวไม่ติดพื้นเวลาทอจึงสะดวกกว่ากรอบตั้งโต๊ะแบบธรรมดา สอดคล้องกับกรอบทอพรมที่คิดค้นโดย Joseph Meyer [40] ที่ตัวกรอบมีขาตั้งสองขาและมีคานเชื่อมระหว่างขาทำให้สามารถรับน้ำหนักพรมที่ทอได้อย่างมั่นคง อย่างไรก็ตามที่ฐานนั้นไม่มีล้อทำให้เคลื่อนย้ายตัวกรอบที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ได้ลำบาก นอกจากนี้ยังมีกรอบทอผ้าของ Todd [53] ที่มีขาตั้งอยู่ด้านหลังกรอบทอรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 9 × 12 นิ้ว และดันตัวกรอบให้ทำมุมประมาณ 45 องศากับพื้นทำให้ทอผ้าได้สะดวกขึ้น ส่วนใหญ่กรอบทอผ้าที่มีมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีหลายขนาด เช่น 2 × 2 นิ้ว 4 × 4 นิ้ว 5 × 5 นิ้ว เป็นต้น [29-31] หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีขนาด 4 × 8 นิ้ว 3 × 8 นิ้ว 4 × 6 นิ้ว เป็นต้น [36] แต่ก็มีกรอบทอผ้าที่มีขนาดใหญ่ถึง 14 × 20 นิ้ว แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนักเนื่องจากต้องใช้เวลานานในการทอให้เสร็จ [32] ดังนั้นลักษณะของชิ้นผ้าที่ทอได้จะมีขนาดเล็กจึงต้องทอหลายชิ้นและนำมาเย็บต่อกันให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ สำหรับกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมที่คณะวิจัยได้สร้างขึ้นมีความยาวด้าน 20 นิ้วและมีระยะกว้างสุดอยู่ที่ 40 นิ้ว กรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมที่มีอยู่ก่อนนั้นมีทั้งแบบที่ยึดติดกันถาวรไม่สามารถถอดประกอบหรือปรับขนาดและเปลี่ยนรูปทรงได้ เช่น กรอบหกเหลี่ยมที่ถูกคิดค้นโดย William Bakely เป็นกรอบรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ทั้งหกด้านเชื่อมติดกันถาวรและมีหมุดตอกโดยรอบกรอบไม้ทุกด้านเพื่อใช้เป็นหลักให้เส้นด้ายคล้องอยู่ได้ [56] และกรอบทอผ้าหกเหลี่ยมที่สามารถถอดประกอบปรับเปลี่ยนเป็นกรอบรูปหกเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ John Thomas และ Dublin Ga ได้ใช้เดือยในการต่อเชื่อมชิ้นไม้ของกรอบทั้ง 8 ชิ้นเข้าด้วยกันสำหรับตัวหมุดตอกติดกับกรอบไม้ทุกชิ้น [57] เนื่องจากต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบที่สร้างขึ้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ซึ่งสามารถทอผ้าที่มีขนาดเล็กกว่าได้หลายขนาด คณะวิจัยจึงได้ออกแบบให้ขนาดของกรอบคงที่และการใช้งานที่มีความจำเพาะเพื่อทอผ้าสามแกนตัวกรอบจึงมีรูปทรงเป็นหกเหลี่ยมด้านเท่าเท่านั้น วัสดุที่ใช้ทำกรอบทอผ้านั้นมีหลายชนิดทั้งที่เป็นไม้โลหะและพลาสติกถูกผลิตในรูปแบบที่แตกต่างกัน กล่าวคือ กรอบไม้ที่มีความกว้างและหนาเพื่อที่จะตอกหมุดหรือตะปูลงบนหน้าไม้ไว้สำหรับคล้องเส้นด้ายในการทอผ้าหรือที่เรียกว่า Pin loom เช่น Weave-It Looms™ และ Loomtte™ เป็นต้น กรอบไม้ที่มีการเซาะร่องเพื่อให้เส้นด้ายผ่านและแยกเส้นด้ายแต่ละเส้นเพื่อที่จะทอได้ง่ายซึ่งถูกคิดค้นโดยJulius Bechhofer โดยกรอบไม้ดังกล่าวแยกออกเป็น 4 ชิ้นสามารถนำมาต่อเป็นกรอบได้ตามขนาดที่ต้องการและยึดกันด้วยน็อตหางปลา [51]

กรอบทอผ้าที่เป็นแผ่นโละเป็นซี่ๆคล้ายหวีให้เส้นด้ายคล้องและแยกเส้นด้ายแต่ละเส้นทำให้ทอได้ง่าย แต่มักเกิดปัญหาเส้นด้ายหลุดออกมาพันกันเพราะแผ่นโลหะนั้นเรียบลื่น ต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมนั้นใช้วัสดุในการทำกรอบทั้งสองชนิด คือ กรอบเหล็กที่อยู่ด้านในทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงตึงระหว่างการทอทำให้กรอบมีความแข็งแรงและเป็นตัวยึดกรอบด้านนอกที่เป็นไม้และเซาะร่องให้เส้นด้ายหรือริ้วผ้าผ่านได้ ตัวกรอบเหล็กเชื่อมต่อเป็นกรอบหกเหลี่ยมด้านเท่าถาวร ส่วนกรอบด้านนอกนั้นประกอบด้วยไม้เซาะร่องทั้งหมด 6 ชิ้น เพื่อใช้ประกอบกับกรอบเหล็กด้านในและยึดติดด้วยน็อตหัวแบนและเพื่อเพิ่มความหลากหลายของวัสดุในการทอจึงทำกรอบไม้ด้านนอกอีกหนึ่งชุดสำหรับทอริ้วผ้าหรือริบบิ้น หลังจากได้ทดลองทอพบว่าเส้นด้ายไม่หลุดออกมาพันกันแสดงว่า V shape ของร่องนั้นลึกเพียงพอที่จะกั้นไม่ให้เส้นด้ายหลุดออกจากร่องออกมาพันกันขณะทอผ้า กรอบทอผ้าสามแกนมีขนาดใหญ่และต้องใช้เวลาในการทอนานทำให้เส้นด้ายยืนที่ขึงไว้หย่อนลงดังนั้นจึงมีการติดตั้งแกนหมุนควบคุมความตึงของเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด ถึงแม้จะไม่สามารถควบคุมความตึงได้เฉพาะเส้นเหมือนที่ใช้อยู่ในเครื่องทอแบบอัตโนมัติที่มีเซ็นเซอร์ควบคุมความตึงทุกๆเส้นด้ายยืนแต่สามารถช่วยให้สามารถปรับความตึงเส้นด้ายโดยรวมในแต่ละชุดเส้นด้ายยืนและถ้าเส้นด้ายใดที่หย่อนมากกว่าเส้นอื่นสามารถแก้มัดและผูกเส้นด้ายเส้นนั้นกับแกนยึดเส้นด้ายยืน หลังจากที่ทดลองทอผ้าสามแกนพบว่าขนาดของกรอบนั้นใหญ่จนต้องเอื้อมในขณะที่ขึ้นเส้นด้ายยืนหรือต้องเดินไปอีกด้านของกรอบเพื่อผูกเส้นด้ายยืนทั้งสองด้านของกรอบดังนั้นกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมนั้นควรมีความกว้าง 50 เซนติเมตรหรือเท่ากับระยะลึกของโต๊ะ [45] ซึ่งจะทำให้ทอผ้าได้สะดวกขึ้นแต่จะได้ผ้าสามแกนที่มีขนาดเล็กลง

5.2.2 การทดลองทอผ้าสามแกนด้วยต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ มีรายละเอียดดังนี้ โครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอสามแกนที่ถูกคิดค้นโดย Norris Dow ประกอบด้วยเส้นด้ายยืน 2 ชุด เส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด ทั้งสามแนวเส้นด้ายทำมุมซึ่งกันและกัน 60 องศา ทำให้เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าในขณะเดียวกันทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่ากระจายทั่วทั้งผืน [2] จากการทดลองทอผ้าสามแกนลายพื้นฐานด้วยต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบพบว่าผ้าทอสามแกนที่ได้มีโครงสร้างแบบเปิด ด้วยจำนวนเส้นด้ายยืน Y จำนวนเส้นด้ายยืน Z และเส้นด้ายพุ่ง X เท่ากับ 15×15×15 เส้นต่อ 10 เซนติเมตร เพราะโครงสร้างการทอหรือลายทอและความถี่ของร่องซึ่งเป็นตัวควบคุมความหนาแน่นของเส้นด้ายซึ่งมีจำนวนร่อง 15 ร่องต่อความยาว 10 เซนติเมตร ดังนั้นถ้าต้องการให้ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานนั้นมีความหนาแน่นมากกว่านี้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเพิ่มความถี่ของร่องที่กรอบด้านนอกหรือการเพิ่มจำนวนเส้นด้ายที่ควบในการทอ โดยอาจเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือใช้ทั้งสองวิธีก็จะทำให้ผ้าทอสามแกนลายพื้นฐานนั้นมีความแน่นและคงตัวมากขึ้น ผ้าทอสามแกนลายลูกเต๋านั้นจะเห็นว่ามีความหนาแน่นของเส้นด้ายทั้งสามแกน มากกว่าโครงสร้างพื้นฐาน ด้วยจำนวนเส้นด้ายยืน Y จำนวนเส้นด้ายยืน Z และเส้นด้ายพุ่ง X เท่ากับ 16×17×27 เส้นต่อ 10 เซนติเมตร ผ้าทอสามแกนลายหัวใจมีจำนวนเส้นด้ายยืน Y จำนวนเส้นด้ายยืน Z และเส้นด้ายพุ่ง X เท่ากับ 16 × 16 × 27 เส้นต่อ 10 เซนติเมตร

ความซับซ้อนของลวดลายผ้าสามแกนนั้นเกิดจาก 2 ปัจจัย คือ 1) โครงสร้างการทอระหว่างเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดที่สามารถนำลายผ้าทอสองแกนมาใช้ในการทอสามแกนได้ เช่น ลายขัดพื้นฐาน (Simple plain weave) ลายขัดดัดแปลง (Derivative plain weave) เช่น ลายสานตะกร้า (Matt weave) ลายลูกฟูก (Rib weave) ลายสองสมดุล (Balanced twill weave) ลายสองไม่สมดุล (Unbalanced twill weave) เป็นต้น 2) การทอระหว่างเส้นด้ายพุ่งกับโครงสร้างผ้าที่ทอขึ้นระหว่างเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด การสอดใส่เส้นด้ายพุ่งและทอแบบขึ้น 1 ลง 1 กับ โครงสร้างผ้าที่ทอขึ้นระหว่างเส้นด้ายยืนทั้งสองชุดจะทำให้ได้ผ้าทอสามแกนที่มีโครงสร้างแน่นจากการขัดกันของเส้นด้ายทั้งสามชุดในทุกๆจุดขัดกันของเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด ดังนั้นนอกจากความสวยงามซึ่งเกิดจากการทอของเส้นด้ายสามชุดทำให้ผ้าดูมีมิติและแปลกตามากกว่าผ้าทอสองแกนแล้วผ้าทอสามแกนยังมีความหนาแน่นและแข็งแรงทำให้สามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

5.3.1.1 การเตรียมเส้นด้ายทั้งสามชุดควรควบคุมความยาวให้สม่ำเสมอและไม่ยาวมากเกินไปเพื่อลดความสูญเสียเส้นด้าย

5.3.1.2 การเลือกเส้นด้ายทั้งสามชุดควรมีขนาดที่ใกล้เคียงกันและสามารถเพิ่มจำนวนเส้นด้ายในแต่ละร่อง เพื่อให้ได้ผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น

5.3.1.3 เส้นด้ายควรจะมีความคงตัวเพื่อไม่ให้เส้นด้ายหย่อนมากขึ้นในขณะที่ทอ

5.3.1.4 ถ้าต้องการให้ลวดลายของผ้าทอสามแกนมีความโดดเด่น ชัดเจน ควรใช้เส้นด้ายที่มีสีแตกต่างกันมากทั้งสามชุดเส้นด้าย

5.3.1.5 ถ้าต้องการให้ลวดลายของผ้าทอสามแกนมีความกลมกลืนกัน ควรใช้เส้นด้ายทั้งสามชุดควรมีสีใกล้เคียงกัน

5.3.1.6 ควรมีการปรับมุมของกรอบทอเพื่อให้พอดีกับสรีระของผู้ทอซึ่งจะทำให้ทอได้นานและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3.1.7 ควรมีการตรวจสอบลายทอเมื่อมีการทอจบหนึ่งเส้นเพื่อให้สามารถแก้ไขได้ทันทีเมื่อทอผิดลาย

5.3.1.8 อุปกรณ์ที่ใช้สอดใส่เส้นด้ายสามารถใช้ลวดที่มีการดัดปลายให้โค้งเล็กน้อยเพื่อให้ใช้ทอได้สะดวกมากขึ้น

5.3.1.9 ควรมีการล็อคล้อเพื่อให้กรอบทออยู่นิ่งและทอได้อย่างมั่นคง

5.3.1.10 เนื่องจากการทอผ้าสามแกนด้วยกรอบทอผ้ารูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบนี้ถือเป็นงานฝีมือที่ต้องใช้ระยะเวลาและความประณีตในการทออย่างมากจึงควรมีแสงสว่างและมีอุณหภูมิที่เย็นสบายเพื่อให้ทอได้สวยงามและถูกต้อง

6.3.1.11 ควรตัดเส้นด้ายออกจากกรอบครั้งละน้อยๆและผูกปมให้ครบทุกด้านและทุกเส้นเพื่อให้ง่ายต่อการนำผ้าออกจากกรอบโดยที่โครงสร้างผ้าไม่เสียหาย

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1 ควรทดลองใช้การควบคุมความตึงด้วยกลไกหรืออุปกรณ์อื่นๆ

5.3.2.2 ควรลดขนาดกรอบทอผ้าลงเพื่อให้ผู้ทอสามารถเคลื่อนไหวได้สะดวกขึ้น

5.3.2.3 ควรทดลองวิธีการเซาะร่องที่จะทำให้จำนวนร่องบนกรอบไม้ถี่ขึ้นซึ่งจะทำให้ผ้าทอสามแกนที่ได้มีความหนาแน่นมากขึ้น

5.3.2.4 ควรออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอดใส่เส้นด้าย

5.3.2.5 ควรออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการเตรียมเส้นด้ายให้มีความยาวเท่ากันเพื่อลดความสูญเสียเส้นด้ายที่ใช้ทอผ้าสามแกน

5.3.2.6 ควรมีการทดลองทอผ้าสามแกนลายอื่นๆและรวบรวมวิธีการทอให้สามารถสืบค้นได้

5.3.2.7 ควรมีการคิดวิธีการออกแบบลายและเครื่องมือในการบันทึกลายทอสามแกน เช่น กระดาษบันทึกลายหรือโปรแกรมสำเร็จรูปออกแบบลายทอสามแกน เป็นต้น

5.3.2.8 ควรมีการศึกษาสมบัติของผ้าทอสามแกนที่มีตัวแปรต่างกัน เช่น ขนาดเส้นด้าย ลายทอ ความหนาแน่นของผ้าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการขัดถู ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด เป็นต้น

5.3.2.9 ควรมีการทดลองใช้เส้นด้ายพิเศษ (Novelty yarn) ในการทอผ้าสามแกนเพื่อให้ผ้ามีความสวยงามแปลกตา

5.3.2.10 ควรมีการทดลองใช้ริ้วผ้าหรือริบบิ้นในการทอลองทอผ้าทอสามแกน

5.3.2.11 ควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผ้าทอสามแกนที่ทอขึ้นรวมทั้งคำนวณต้นทุนเพื่อใช้ในการกำหนดราคาจำหน่าย

บรรณานุกรม

[1] Adanur, S. (2000). *Handbook of weaving*. CRC Press.

[2] Dow, N. F. (1969). *Triaxial fabric.* (U.S. Patent 3,446,251). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/0c/b1/9258bafa4c8fb5/US3446251.pdf

[3] Dow, N., & Halton, M. (1974). *Machine for forming triaxial fabrics*. (U.S. Patent *3,799,209*). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/8b/72/c5/d4d00b4cb9aed1/US3799209.pdf

[4] Bilisik, K. (2011). Multiaxis three dimensional (3D) woven fabric. In S. Vassiliadis (Ed.), *Advances in modern woven fabrics technology* (pp.79-106). InTech.

[5] Tyler, T. (2011). Developments in Triaxial woven fabrics. In R. H. Gong (Ed.), *Specialist yarn and fabric structures: developments and applications* (pp. 141-163). Woodhead Publishing.

[6] Rao, Y., Zhang, C., & Li, W. (2019). Structural analysis for triaxial woven fabric composites of carbon fiber. *Composite Structures*, 219, 42-50. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.013

[7] Lewandowska, U., Zajaczkowski, W., Corra, S., Tanabe, J., Borrmann, R., Benetti, E. M., Stappert, S., Watanabe, K., Ochs, N., Schaeublin, R., Li, C., Yashima, E., Pisula, W., Mullen, K., & Wennemers, H. (2017). A triaxial supramolecular weave. *Nature chemistry*, 9(11), 1068-1072. https://doi.org/10.1038/nchem.2823

[8] “Triaxial Fabric Patterns.” (2016). Triaxial Fabric Structures, Inc. https://www.triaxial.us/Triaxial%20Fabric%20Patterns%2011.php

[9] Sondhelm, S. W. (2000). Technical fabric structures – 1 Woven fabrics. In A. R. Horrocks, & S. C. Anand (Eds.). *Handbook of technical textiles*. (pp. 62-94). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2015-0-01011-5

[10] Arora, S & Ghosh, A. (2018). Evolution of soft body armor. In Ul-Islam, S., & Butola, B. S. (Eds.). *Advanced textile engineering materials*. Scrivener Publishing.

[11] El Messiry, M., & Eltahan, E. (2016). Stab resistance of triaxial woven fabrics for soft body armor. *Journal of Industrial Textiles*, 45(5), 1062-1082. https://doi.org/10.1177/1528083714551441

[12] Dubrovski, D.P. (2010). Woven Fabrics and Ultraviolet Protection. In P.D. Dubrovski (Ed). *Woven fabrics engineering*. (pp. 273-296). InTech.

[13] International Relations of Japanese Archeological. (2007). *Noteworthy Archeological Sites, Issue 2007.* http://archaeology.jp/sites/2007/index.htm

[14] "Khasi Ancient Agricultural Tools for Sustainable Farming and Living." (2020. Zizira. https://www.zizira.com/blogs/people-and-process/khasi-ancient-tools-for-sustainable-farming-and-living

[15] Rye T. (n.d.). *Laya Tribe women's hat, bamboo, bark and beads; Laya, Bhutan* [photograph]. Tony Ryd. https://www.tonyrye.me.uk/museum/hats/#MUS-37.jpg

[16] "MadRac." (n.d.). Racquet Museum. https://racquetmuseum.com/

[17] Hauptman, M. M. (2000). *Method and apparatus for stringing game racket and the racket* (U.S. Patent 6,089,997). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/50/43/f6/b18c379c04b924/US6089997.pdf

[18] Mooney R. D. (1984). Triaxial weaves and weaving: An exploration for hand weavers. *Ars textrina,* 2, 9-68. https://opaquemelodies.com/fiber/at1984.pdf

[19] Brown S. (n.d.). Textiles: fiber; structure; and function. In M. McQuaid (Ed.), *Extreme textiles design for high performance,* (pp. 34-65). Thames & Hudson.

[20] Herbeck, L., Leipold, M., Sickinger, C., Eiden, M., & Unckenbold, W. (2001). Development and test of deployable ultra-lightweight cfrp-booms for a solar sail. *Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing*, 468, 107-112. http://adsabs.harvard.edu/pdf/2001ESASP.468..107H

[21] Boesch, C., Pereira, C., John, R., Schmidt, T., Seifart, K., Sparr, H., Lautier, M. J., & Pyttel, T. (2008, May). Ultra light self-motorized mechanism for deployment of light weight spacecraft appendages. In *Proceedings of 39th Aerospace Mechanisms Symposium NASA Marshall Space Flight Center, May 7-9, 2008*, (pp. 221-234). https://www.esmats.eu/esmatspapers/pastpapers/pdfs/2007/boesch.pdf

[22] Obst, A., Palermo, G., Ticci, L., & Prowald, J. S. (2005, May 10-12*). Modeling of triaxial woven fabrics for antenna reflectors*. European Conference on Spacecraft Structures, Materials & Mechanical Testing, Netherland. http://www.triaxial.us/Papers/Modelling%20for%20Antenna%20Reflectors.pdf

[23] Cerpnjak, J. (n.d.). *The altimate mens snowboards guide*. Ultimate snowboarding guide. https://ultimatesnowboardingguide.com/mens-snowboards/

[24] Johns Hopkins Applied Physics Lab. (n.d.). *Modular Prosthetic Limb*. APL Johns Hopkins Applied Physics Lab. https://www.jhuapl.edu/Prosthetics/ResearchMPL

[25] Ataş, A., Gautam, M., Soutis, C., & Potluri, P. (2017). Bolted joints in three axially braided carbon fibre/epoxy textile composites with moulded-in and drilled fastener holes. *Applied Composite Materials*, *24*(2), 449-460. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10443-016-9542-z.pdf

[26] Dow, N., & Radnor, Pa. (1975). *Warp beam for triaxial weaving*. (U.S. Patent *3,884,429*). USPO. https://patents.google.com/patent/US3884429?oq=Warp+beam+for+triaxial+weaving

[27] Durie, A. (2004). *Multi-axial weaving for composite applications.* [Unpublished doctoral thesis]. The University of New South Wales. http://unsworks.unsw.edu.au/fapi/datastream/unsworks:35033/SOURCE01?view=true

[28] Hooper, L. (1936). *Hand-loom weaving plain and ornamental*. SIR ISAAC PITMAN & SONS.

[29] Simonds, R. D. (1935). *Yarn and the like supporting device*. (U.S. Patent *3,799,209*). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/28/07/57/26df9a763e1c67/US2011916.pdf

[30] Donars products corps. (n.d.). The bias Weave-it booklet. (n.p.).

[31] Cartercraft Studios. (1936). *Original loomette weavs* (2nd ed.). (n.p.).

[32] Trent, J. (n.d.). *Looms*. Eloomanation. http://www.eloomanation.com/looms.php

[33] Loomette Studios. (1951). *Loomette pattern weavs*. (n.p.).

[34] Bulcilla products. (n.d.). *Bucilla magic-loom*. (n.p.)

[35] Scovilhiro (n.d.). *Adjustable giant size Weave-it hand loom.* (n.p.).

[36] "Vintage weave it square jiffy loom hand weaving adjustable frame kit instructions" (n.d.). Laurel leaf farm country antiques-vintage farmhouse. https://laurelleaffarm.com/item-pages/vintage-weave-it-square-jiffy-loom-hand-weaving-adjustable-frame-kit-instructions-Laurel-Leaf-Farm-item-no-nt929157.htm

[37] Straits Product (n.d.). *Straits adjustable loom general instructions*. (n.p.).

[38] The recreation division of the Chicago park district. (1936). *Honeycomb weaving*. (n.p.).

[39] Todd, M. P. (1902). *Hand-loom Weaving: A Manual for School and Home*. Shorey Publications.

[40] Joseph, M. J. & Joseph, M. (1942). *Rug weaving frame.* (U.S. Patent *2,273,446*). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/f9/3e/2b/7290b4c2a14535/US2273446.pdf

[41] Pizzuto, J. J. (2012). *Fabric science* (10th ed.). Bloomsbury.

[42] Kadolph, J. S. (2013). *Textiles: basics.* Pearson education.

[43] Hearle, J. W., Hollick, L., & Wilson, D. K. (2001). *Yarn texturing technology.* Woodhead.

[44] จุฑารัตน์ ใจบุญ. (ม.ป.ป.). *องค์ประกอบของการออกแบบผลิตภัณฑ์.* บทเรียนเว็บบล็อครายวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์. https://jumjaiboon.blog/บทเรียน/หน่วยที่-1 / องค์ประกอบของการออกแบบ

[45] สุทธิ์ ศรีบูรพา. (2544). *เออร์กอนอมิกส์ (การยศาสตร์) ว่าด้วยการนั่งและเก้าอี้*. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

[46] Rao, Y., Zhang, C., & Li, W. (2019). Structural analysis for triaxial woven fabric composites of carbon fiber. *Composite Structures*, *219*, 42-50. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026382231834515X

[47] Ramadhani, G. A., Susmartini, S., Herdiman, L., & Priadythama, I. (2020). Advanced composite-based material selection for prosthetic socket application in developing countries. *Cogent Engineering*, *7*(1), 1745553. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2020.1745553

[48] ปิยมาภรณ์ ฤทธิ์รักษา, เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง, & รัฐไท พรเจริญ. (2019). การออกแบบกี่ทอผ้าและกระบวนการ ทอผ้าพื้นเมืองภาคอีสาน, Design Loom and Weaving Process of Traditional North-Eastern Textiles. *Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*, *28*(1), 124-136. https://so04.tci-thaijo.org/index.php/archkmitl/article/view/169154

[49] ไพฑูรย์ งิ้วทั่ง. (2017). ระบบสารสนเทศรวบรวมลายเครื่องจักสาน. *Science and technology Nakhon sawan rajabhat university journal*, *9*(10), 55-68. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSTNSRU/article/view/89691

[50] Anthony, M. O. (1922). *Weaving frame.* (U.S. Patent 1,427,769). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/de/f1/10/7c7c5201d9ea8a/US1427769.pdf

[51] Bechhofer, J. (1935). *Weaving frame.* (U.S. Patent 1,997,539). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/a8/3b/83/91ec574e4449c1/US1997539.pdf

[52] Todd, M. P. & Todd, D. (1901). *Hand loom.* (U.S. Patent 679,132). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/4a/5e/1945081a527382/US679132.pdf

[53] Todd, M. P. & Todd, D. (1910). *Hand loom.* (U.S. Patent 975,179). USPO. https://patentimages.storage.googleapis.com/95/a8/08/3a1b8cc5c41be9/US975179.pdf

[54] Meyer, J. J. (1942). *Rug weaving frame*. (U.S. Patent No. 2,273,446). USPO. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. https://patentimages.storage.googleapis.com/f9/3e/2b/7290b4c2a14535/US2273446.pdf

[56] Bakely, T. W. & Beverly, N. J. (1938). *Textile frame.* (U.S. Patent No. 2,108,424). USPO. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. https://patentimages.storage.googleapis.com/31/56/ea/a1fdff0f8a9e8d/US2108424.pdf

[57] Thomas, W. J. & Ga, D. (1947). *Adjustable hand weaving frame.* (U.S. Patent No. 2,433,307). USPO. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. https://patentimages.storage.googleapis.com/d0/94/ea/16c880e1eb88ea/US2433307.pdf

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

คู่มือการใช้งาน

กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

จัดทำโดย

จารุวรรณ ดิศวัฒน์

สัมภาษณ์ สุวรรณคีรี

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมลพระนคร

คำนำ

คู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบจัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ใช้งานได้ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคำแนะนำก่อนการใช้งาน ส่วนประกอบของกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ ข้อมูลทางเทคนิค ขั้นตอนการใช้งาน การแก้ปัญหาเบื้องต้น การบำรุงรักษา เพื่อให้การใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบเป็นไปอย่างถูกต้อง ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และช่วยรักษาอายุการใช้งานให้ยาวนาน

คณะวิจัยหวังว่าคู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจการทอผ้าสามแกนให้สามารถทอผ้าสามแกนได้อย่างถูกต้อง สวยงามมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

จารุวรรณ ดิศวัฒน์

สัมภาษณ์ สุวรรณคีรี

สารบัญ

		หน้า
1.	คำแนะนำก่อนการใช้งาน	92
2.	ส่วนประกอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ	93
3.	ข้อมูลทางเทคนิค	94-95
4.	ขั้นตอนการใช้งาน	95-99
5.	ความปลอดภัยในการใช้งาน	99
6.	การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น	100
7.	การบำรุงรักษา	100

คำแนะนำก่อนการใช้งาน

1. คำแนะนำเบื้องต้น ควรศึกษา ทำความเข้าใจและปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างถูกต้อง ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

1.1 ศึกษาคู่มือการใช้งานและทำความเข้าใจก่อนการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.2 ศึกษาโครงสร้าง สมบัติ ลาย ของผ้าทอสามแกนก่อนการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

1.3 ศึกษาสมบัติและเลือกวัสดุที่จะนำมาทอเป็นผ้าสามแกนเช่น ขนาด ความคงตัว ของเส้นด้ายหรือริ้วผ้า

1.4 ก่อนเริ่มใช้งานควรตรวจสอบส่วนประกอบของกรอบทอผ้าว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานล็อคล้อให้กรอบทอผ้าอยู่กับที่

1.5 สภาพแวดล้อมในการทอผ้าสามแกนต้อง เช่น มีแสงสว่างที่เพียงพอ อุณหภูมิไม่สูงหรือต่ำเกินไป มีเก้าอี้ใช้นั่งทอที่เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งาน พื้นห้องต้องเรียบ เป็นต้น

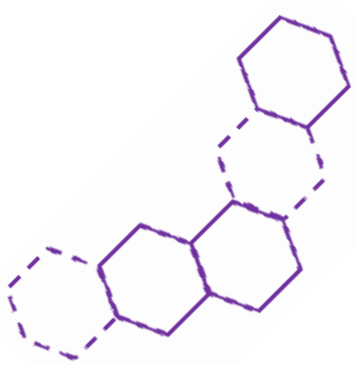
1.6 ควรเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ ได้แก่ กรรไกร เข็มขนาดใหญ่หรือลวดดัดปลายเพื่อใช้ร้อยเส้นด้าย สายวัดหรือไม้บรรทัด แว่นขยาย เป็นต้น

2. ผ้าทอสามแกน

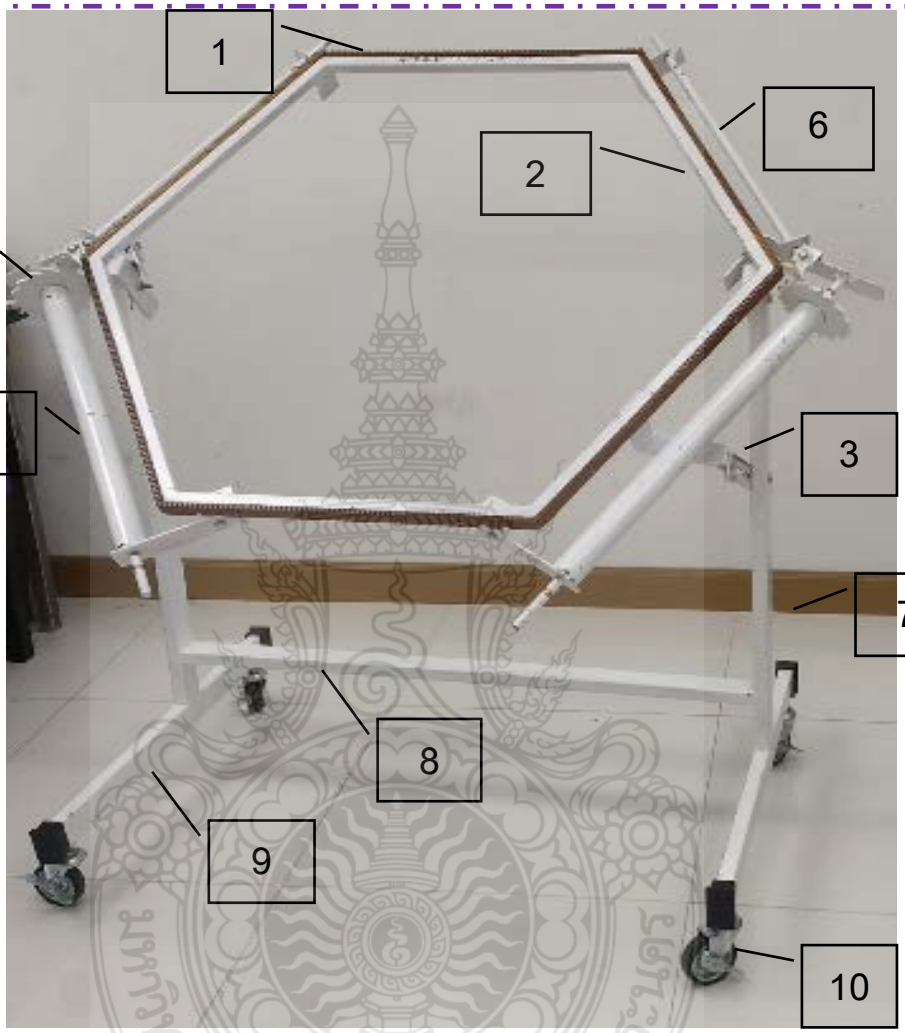
2.1 ผ้าทอสามแกนประกอบไปด้วย ชุดเส้นด้ายจำนวน 3 ชุด ได้แก่ ชุดของเส้นด้ายยืนจำนวน 2 ชุดและชุดเส้นด้ายพุ่ง 1 ชุด ขัดสานกันด้วยมุม 60 องศา

2.2 ประเภทของผ้าทอสามแกนมี ผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นน้อย ผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นปานกลาง ผ้าทอสามแกนที่มีความหนาแน่นสูงและผ้าทอสามแกนที่ดัดแปลงจากผ้าทอสองแกน

2.3 วัสดุที่ใช้ทอผ้าสามแกน ได้แก่ เส้นด้าย ริ้วผ้า ริบบิ้น



ส่วนประกอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ



ภาพที่ 66 แสดงส่วนประกอบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

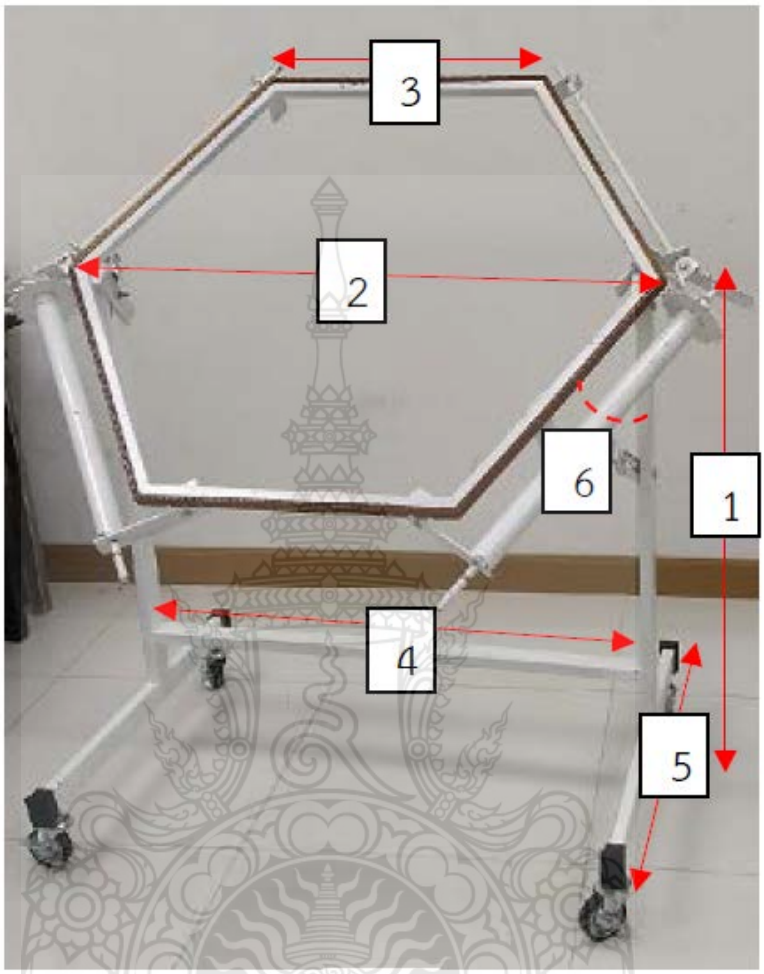
1 กรอบด้านนอก 2 กรอบด้านใน 3 คันปรับมุมกรอบทอผ้า

4 แกนม้วนปรับความตึงด้ายยืน 5 เฟือง

6 แกนยึดเส้นด้ายยืน 7 ขาตั้ง 8 คานยึดขาตั้ง

9 ฐานรองขาตั้ง 10 ล้อพร้อมเบรก

ข้อมูลทางเทคนิค



ภาพที่ 67 แสดงภาพประกอบข้อมูลทางเทคนิคกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ตารางที่ 8 ข้อมูลทางเทคนิคของต้นแบบกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

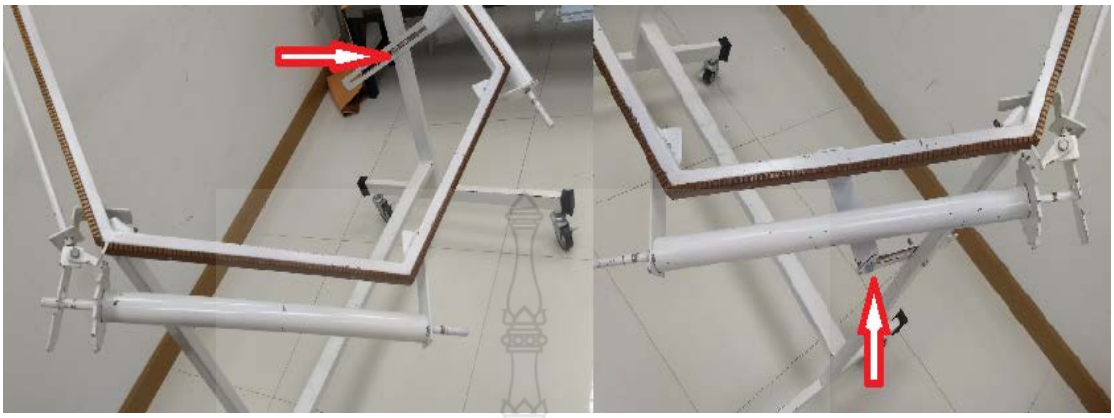
ข้อมูลทางเทคนิค	ขนาด
1. ความสูงจากพื้นถึงกรอบ	98 เซนติเมตร
2. ระยะกว้างสุดของกรอบ	101 เซนติเมตร
3. ความยาวด้านของกรอบ	50 เซนติเมตร
4. ความยาวคานยึดขาตั้ง	83 เซนติเมตร
5. ความยาวฐานยึดขาตั้ง	74 เซนติเมตร
6. การปรับมุมของกรอบทอผ้า	10-90 องศา
7. จำนวนร่องต่อ 10 เซนติเมตรของกรอบด้านนอก (สำหรับเส้นด้าย)	15 ร่อง
8. จำนวนร่องต่อ 10 เซนติเมตรของกรอบด้านนอก (สำหรับริบบิ้นหรือริ้วผ้า)	7 ร่อง

ขั้นตอนการใช้งาน

1. ประกอบกรอบด้านนอกติดกับกรอบด้านใน

ภาพที่ 68 แสดงการประกอบกรอบทอผ้าด้านนอกติดกับกรอบด้านใน

2. ปรับมุมกรอบทอให้เหมาะสมกับสรีระผู้ทอ



ภาพที่ 69 แสดงการปรับมุมกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

3. ล็อคล้อทั้ง 4 ด้านให้กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบอยู่กับที่
4. ล็อคเฟืองททั้ง 2 เฟืองเพื่อให้แกนม้วนปรับความตึงด้ายยืนทั้ง 2 แกน อยู่กับที่

ภาพที่ 70 แสดงการล็อคเฟือง

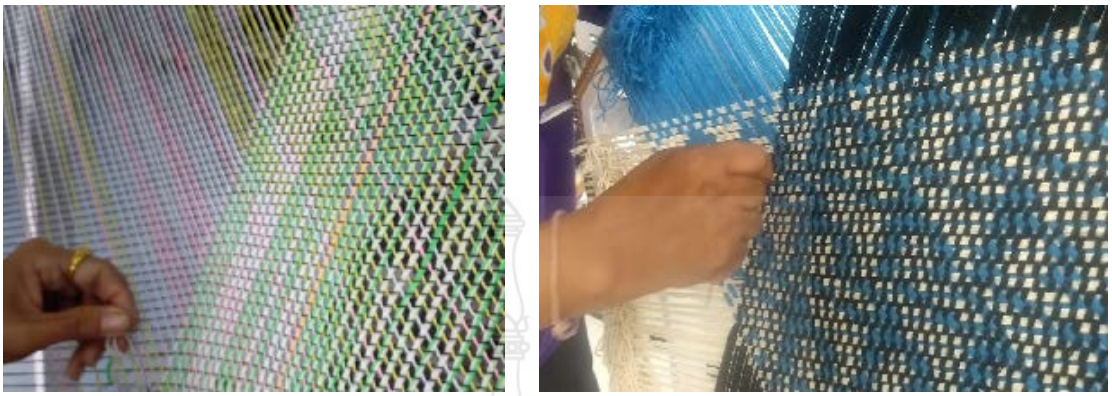
5. ใส่แกนยึดด้ายยืนให้ครบทั้งสองแกน

ภาพที่ 71 แสดงการใส่แกนยึดเส้นด้ายยืนทั้งสองแกน

6. มัดเส้นด้ายยืนกับแกนม้วนปรับความตึงด้ายยืนผ่านร่องของกรอบด้านนอกและยูกติดกับแกนยึดเส้นด้ายยืนที่อยู่ฝั่งตรงข้าม

ภาพที่ 72 แสดงการขึ้นเส้นด้ายยืนทั้งสองชุด

7. สอดใส่เส้นด้ายพุ่งตามลายที่ได้ออกแบบไว้



ภาพที่ 73 แสดงการสอดใส่เส้นด้ายพุ่ง

8. เมื่อทอเสร็จตัดผ้าออกจากกรอบและมัดเส้นด้ายให้เป็นปมติดกับโครงสร้างของผ้าป้องกันริมผ้าหลุด

ภาพที่ 74 แสดงการตัดผ้าทอสามแกนออกจากกรอบทอผ้า

9. ตัวอย่างผ้าทอสามแกนที่ทอด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ภาพที่ 75 แสดงตัวอย่างผ้าทอสามแกนที่ทอด้วยกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบ

ความปลอดภัยในการใช้งาน

1. ศึกษาคู่มือการใช้งานกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบอย่างละเอียดก่อนใช้
2. ก่อนการใช้งานล้อและเฟืองต้องถูกล็อคให้อยู่กับที่
3. ตรวจสอบความพร้อมการใช้งานของทุกส่วนประกอบ
4. ปรับมุมกรอบทอให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ทอ
5. ระหว่างการทอควรมีการพักและเปลี่ยนอิริยาบถเพื่อลดอาการบาดเจ็บจากการทำงานผ่อนคลายสายตา

การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

1. ปัญหาจากการร้อยเส้นด้าย

1.1 ตรวจสอบการร้อยเส้นด้ายต้องครบและถูกต้อง

1.2 ความตึงของเส้นด้ายควรใกล้เคียงกันทุกเส้น

1.3 การมัดเส้นด้ายควรมัดให้แน่นและใช้เงื่อนกระตุกเมื่อความตึงเส้นด้ายเปลี่ยนแปลงระหว่างการทอสามารถแก้และมัดเส้นด้ายได้สะดวก

2. ปัญหาจากการทอผ้าสามแกน

2.1 ควรตรวจสอบความถูกต้องของลายทอเมื่อทอจบทีละเส้นเพื่อให้แก้ไขได้ง่าย

2.2 ควรตรวจสอบความตึงของเส้นด้ายระหว่างการทอ

การบำรุงรักษา

1. ก่อนถอดชิ้นส่วนของกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบ ถอดประกอบควรศึกษาคู่มือการใช้งานให้เข้าใจอย่างละเอียด

2. กรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบควรอยู่ในที่แห้ง เพื่อป้องกันสนิม

3. เนื่องจากกรอบด้านนอกเป็นไม้ควรมีการฉีดสเปรย์ป้องกันปลวกเป็นครั้งคราวและเก็บรักษากรอบที่ไม่ได้ใช้ในที่แห้ง

4. เมื่อไม่ได้ใช้งานควรมีการคลุมกรอบทอผ้าสามแกนรูปหกเหลี่ยมแบบถอดประกอบด้วยผ้าเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวจารุวรรณ ดิศวัฒน์
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Jaruwan Diswat
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 36299002xxxx
3. ตำแหน่งปัจจุบัน
   - ตำแหน่งบริหาร
   - ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เลขที่ 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 02-665 3555 ต่อ 3017 โทรสาร 02-6653545 โทรศัพท์มือถือ 098-9933207
E-mail: jaruwan.d@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา
   ปริญญาตรี : วท.บ. (คหกรรมศาสตร์), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ : 2540
   ปริญญาโท : คศ.ม. (ผ้าและเครื่องแต่งกาย), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : 2543
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Certificate of Children Service -
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

   7.3 ผู้ร่วมวิจัย : การพัฒนารูปแบบเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอพื้นเมือง จังหวัดพิษณุโลก, งบประมาณ รายได้ พ.ศ. 2562

   7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : การพัฒนารูปแบบเครื่องนุ่งห่มจากผ้าทอพื้นเมือง จังหวัดพิษณุโลก, งบประมาณรายได้ พ.ศ. 2562

   7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : -

   ผลงานวิชาการ

[1] Yun F., et.al. (2018, June). Evaluation on the durability of on-line and physical shop cotton t-shirts. In Proceedings of the 9th RMUTP International Conference: Textiles & Fashion (pp. 45-48).

[2] Diswat J, Hes L. and Bal K. (2016). Thermal resistance of cut pile hand tufted carpet and its prediction. In Textile Research Journal (Vol. 86, pp. 1759-1767).

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสัมภาษณ์ สุวรรณคีรี
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Sumpas Suwanakeree
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 9301 007xxxxx
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
   เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) 10 ชั่วโมง : สัปดาห์
4. หน่วยงาน/ที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail
   คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เลขที่ 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 02-665 3555 ต่อ 3017 โทรสาร 02-6653545 โทรศัพท์มือถือ 095-9529743
E-mail : sampass@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
   ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งทอ)
   ปริญญาโท นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา (กำลังศึกษา)
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
   สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย –
   7.2 รับผิดชอบหัวหน้าโครงการวิจัย -
   7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว
      1 ศึกษาความเป็นไปได้ของการทำเส้นใยจากธูปฤาษีปั่นเป็นเส้นด้าย
      2 การพัฒนาเครื่องย้อมจำลอง (WINCH)
      3 การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเส้นใยจากผลตาลสุกปั่นเป็นเส้นด้าย
      4 การสร้างเครื่องทอ 6 X 10 ตะกอ
      5 การสร้างเครื่องปูผ้าควบคุมการทำงานด้วยมอเตอร์ และ ระบบอิเล็กทรอนิกส์
   7.4 ประสบการณ์การนำเสนอผลงานวิจัยภายในประเทศ
      1 งานวันสิ่งแวดล้อมโลกร่วมกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (เฉพาะปี พ.ศ. 2554)
      2 งานมหกรรมวิทยาศาสตร์ (ไบเทคบางนาระหว่างวันที่ 6 – 21 สิงหาคม 2554)
      3 งานราชมงคลวิชาการครั้งที่ 2 (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วันที่ 23 – 24 สิงหาคม 2554) (รับรางวัลชนะเลิศผลงานวิจัยที่ทำประโยชน์กับสังคม)