เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

The Small Weaving machine for Sample weaving

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นคร คงช่วย

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดหน้ากว้างไม่เกิน 10 นิ้ว สำหรับนำไปใช้ในการทอตัวอย่างผ้าพื้นเมือง โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพของผ้าทอพื้นเมือง และขนาดผ้าตัวอย่างสำหรับทำเล่มตัวอย่างผ้า เป็นเกณฑ์ในการออกแบบและกำหนดขนาดมิติตัวเครื่องและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผ้าทอพื้นเมืองส่วนใหญ่ใช้ตะกอไม่เกิน 3 ตะกอ ต่อลายซ้ำ ลายผ้าเป็นโครงสร้างพื้นฐานลายขัด 1/1 กับลายทะแยง 2/1 ความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่ง 40-120 เส้นต่อนิ้ว ขนาดผ้าตัวอย่างสำหรับใช้รวบรวมเป็นเล่มนำเสนอลูกค้ามีขนาดกว้างประมาณ 4 นิ้ว ยาวประมาณ 6 นิ้ว เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบที่ออกแบบและสร้างมีขนาดหน้าฟันหวีกว้าง 15.5 นิ้ว มีตะกอ 6 ตะกอ ระบบการยกตะกอ(shedding system) ระบบการส่งเส้นด้ายพุ่ง(picking system) และระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง(beat-up system) ทำงานด้วยระบบลมอัด(Pneumatic system) ควบคุมการทำงานระบบลมอัดทั้งหมดด้วย PLC(Programmable Logic Control) ระบบม้วนผ้า(take-up system) และระบบคลายเส้นด้ายยืน(let-off system) ทำงานด้วยมอเตอร์ควบคุมความเร็วและชุดเกียร์(speed control motor) อัตราการม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืนควบคุมด้วยการปรับความเร็วมอเตอร์

เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบที่ออกแบบและสร้าง สามารถทอผ้าตัวอย่างได้ 3 ครงสร้างคือ ลายขัด 1/1 ลายทะแยง 2/1 และลายซาติน 5 ตะกอ จากการทดลองทอผ้าด้วยเส้นด้ายยืนขนาด 20 Ne เส้นด้ายพุ่งขนาด 10 Ne ฟันหวีเบอร์ 50 Stockport เมื่อสืบเส้นด้ายยืนกว้าง 12 นิ้ว ร้อยเส้นด้ายยืน 2 เส้นต่อช่องฟันหวี สามารถทอลายขัดได้ผ้าหน้ากว้างเฉลี่ย 10.86 นิ้ว ความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งเฉลี่ย 48 เส้นต่อนิ้ว ลายทะแยง 2/1 ได้ผ้าหน้ากว้างเฉลี่ย 11.55 นิ้ว ความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งเฉลี่ย 46 เส้นต่อนิ้ว ลายซาติน 5 ตะกอ ได้ผ้าหน้ากว้างเฉลี่ย 11.64 นิ้ว ความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งเฉลี่ย 40 เส้นต่อนิ้ว ความเร็วใช้ในการทอผ้าทดลองคือ 12 เส้นพุ่งต่อนาที สามารถนำผ้าที่ทอไปตัดและใช้เป็นผ้าตัวอย่างได้

คำหลัก เครื่องทอผ้าตัวอย่าง

ABSTRACT

The purposes of this research are to design and construct the small weaving machine for those fabrics which 10 inches or lower in width in hand craft weaving section. The physical data of hand craft woven fabrics and sample size in commercial sample book are used to fix the machine dimension and other components involved. From the study, most of hand craft woven fabrics are use basic weave such as Plain 1/1 and Twill 2/1 structures with 40-120 picks/inches weft density range. The size of fabric for sample book is 4 inches and 6 inches long. The prototype small weaving machine is 15.5 inches reed width and 6 heald shafts. The shedding, picking and beat-up motions are driven by the pneumatic system which Programmable Logic Control. The take-up and let-off motion are control by two speed control with gearhead motor.

The prototype of small weaving machine for sample weaving constructed can weave in three basic fabric structures there are Plain 1/1, Twill 2/1 and 5-shaft satin. The fabrics had cotton 20Ne warp with 2 ends/dent in denting on 50stockport reed, and cotton 10Ne for weft. The take-up speed control motors had set at lowest speed and fix the weaving cycle at 12 picks/minute.

Base on the experiment, the average weft density of fabrics are 48, 46 and 40 picks/inch for 1/1 plain, twill 2/1 and 5-shaft satin structure respectively. From that the prototype of small weaving machine can usage for weave sample fabrics.

Keywords: Sample waving machine

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณ บริษัท เคลฟเวอร์ อินเตอร์เท็กซ์ จำกัด ที่ได้นำเอาองค์ความรู้ไปพิจารณาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาประกระบวนการทำผ้าตัวอย่างเชิงพาณิชย์ให้กับลูกค้าของบริษัทฯ

นคร คงช่วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การทอผ้าพื้นเมืองและผ้าตัวอย่าง	3
2.2 เครื่องทอผ้าและส่วนประกอบ	5
2.3 เครื่องทอผ้าแบบตั้งโต๊ะ	21
2.4 ระบบลมอัด	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ	30
3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	31
3.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะ	36
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ	37
4.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	39
4.3 ผลการทดสอบและประเมินสมารรถนะ	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44

บรรณานุกรม 45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ความสูงของช่องด้ายยืนที่ด้านหน้ากระสวย	7
2-2 ค่า Bending factor	8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ตัวอย่างผ้าแบบชิ้นและสมุดตัวอย่างผ้า	4
2-2	ลักษณะเรขาคณิตของช่องด้ายยืน	6
2-3	ความสัมพันธ์ของช่องด้ายยืนที่ผนังด้านหน้ากระสวย	7
2-4	ผลกระทบจากค่า Bending factor	8
2-5	ลักษณะของ double rigid rapiers	9
2-6	ลักษณะของ Flexible rapier	10
2-7	ลักษณะของ Double Flexible rapiers	11
2-8	หลักการระบบขับเคลื่อนก้านส่งแบบ Crank and Balance motion	13
2-9	หลักการระบบก้านส่งแบบก้านชัก (Telescopic)	14
2-10	ระบบกระทบหน้า	15
2-11	Negative Take-up	18
2-12	แสดงระบบม้วนผ้าแบบต่าง ๆ	19
2-13	ระบบการม้วนผ้าเก็บ	20
2-14	Rigid heddle loom	21
2-15	Tapestry loom	22
2-16	แสดงลักษณะเครื่องทอแบบตั้งโต๊ะบางแบบ	23
2-17	แสดงลักษณะเครื่องทอแบบตั้งพื้นบางแบบ	23
2-18	ชื่อและส่วนประกอบภายในลูกสูบทางเดียว	26
2-19	แสดงสัญลักษณ์ของกระบอกสูบทางเดียวแบบปกติเข้าและปกติออก	26
2-20	ชื่อและส่วนประกอบภายในลูกสูบแบบสองทาง	27
3-1	แบบโครงเครื่อง	32
3-2	แบบระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน	32
3-4	แบบระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง	33
3-5	แบบระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง	34
3-6	แบบระบบคลายเส้นด้ายยืน	34

3-7 แบบระบบม้วนผ้า 35

3-8 แบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก 36

4-1 แผนผังเวลาของวัฏจักรการทอของระบบลมอัด 39

4-2 เครื่องทอขนาดเล็กสำหรับทอผ้าตัวอย่าง 40

4-3 เครื่องทอต้นแบบขณะทดลองทอผ้า 41

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ผ้าทอเป็นผ้าที่ผลิตด้วยการนำเส้นด้ายสองกลุ่มสอดขัดกัน เส้นด้ายที่ถูกจัดเรียงขนานไปกับริมผ้า เรียกว่า เส้นด้ายยืน เส้นด้ายที่เรียงขัดกับเส้นด้ายยืน(Warps) เรียกว่า เส้นด้ายพุ่ง (Wefts) รูปแบบการขัดกันของเส้นด้ายในผืนผ้าจะเรียกว่า โครงสร้างผ้า(Fabric structures) ซึ่งมีมากมายหลากหลายรูปแบบ แตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ของการออกแบบ ที่กำหนดโดยนักออกแบบโดยต้องคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย(End-use) ลักษณะที่มองเห็นได้(Appearance) ความรู้สึกที่ได้สัมผัส(Handling) หรือแม้แต่ตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยการอธิบายหรือแสดงด้วยรูปภาพ ดังนั้นในขบวนการผลิตผ้าทอ การผลิตผ้าตัวอย่าง(Sample)จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยผ้าที่ถูกกำหนดคุณลักษณะแล้ว ถูกนำไปทอด้วยเครื่องทอ(Weaving machine) เพื่อให้เกิดเป็นผืนผ้าตามที่ออกแบบไว้ แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จนได้ผลตามที่ต้องการ ก่อนทำการผลิตจริงในภายหลัง ปกติทั่วไปนิยมใช้เครื่องจักรเครื่องมือที่มีอยู่ในสายการผลิตในการทำผ้าตัวอย่าง ทำให้เครื่องจักรเสียโอกาสในการผลิตในเชิงพานิช และสิ้นเปลืองวัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากต้องการผ้าจริง ๆ ขนาดเพียงไม่กี่ตารางนิ้ว ต่อมาภายหลังได้มีผู้ผลิตเครื่องทอสำหรับทอผ้าตัวอย่างขึ้นมาโดยเฉพาะ โดยทำการย่อขนาดเครื่องขนาดมาตรฐานให้เล็กลง แต่เครื่องยังมีขนาดใหญ่ ราคาแพงเพราะต้องนำเข้าจากผู้ผลิตในต่างประเทศ และบริโภควัตถุดิบมากเกินความจำเป็น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดหน้ากว้างผ้าไม่เกิน 10 นิ้ว สำหรับงานผลิตผ้าตัวอย่างของกลุ่มทอผ้าพื้นเมืองตามชนบททั่วไป โรงงานขนาดกลาง และขนาดเล็ก ที่มีเครื่องทอไม่มาก เพื่อช่วยให้การสร้างผ้าตัวอย่างทำได้ง่าย สะดวก ใช้ต้นทุนในการผลิตไม่มาก เป็นการช่วยลดการใช้พลังงานและภาวะโลกร้อนเนื่องจากใช้เส้นด้ายในการผลิตน้อยทำให้ มีของเสียน้อย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างต้นแบบขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อทดสอบและประเมินผลเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กให้ใช้งานได้จริงในอนาคต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบ สร้าง ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก ที่ใช้ระบบส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยก้านเหล็ก เพื่อใช้สำหรับทอผ้าตัวอย่างขนาดกว้างไม่เกิน 10 นิ้ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดเวลาในการผลิตชิ้นผ้าตัวอย่าง

1.4.2 ลดการปริมาณการใช้เส้นด้ายในการผลิตผ้าตัวอย่าง

1.4.3 ลดการใช้พลังงาน ช่วยลดสภาวะโลกร้อน

1.4.4 มีเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

1.5 คำสำคัญ

เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การทอผ้าพื้นเมืองและผ้าตัวอย่าง

2.1.1 ผ้าทอพื้นเมือง

ประวัติเกี่ยวกับการผ้าทอพื้นเมืองในประเทศไทย นักประวัติศาสตร์เชื่อว่าน่าจะมีวิวัฒนาการมาแล้วไม่น้อยกว่า 2000 ปี ก่อนคริสตกาล หรือประมาณ 4000 กว่าปี (บริษัท ไทยประกันชีวิต จำกัด. 2545)

เนื่องจากมีการขุดค้นพบหลักฐานเกี่ยวกับการผลิตผ้าในหลาย ๆ ที่ทั่วทุกภาคของประเทศ แต่เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่อยู่ในเขตร้อน ทำให้ชาวไทยในสมัยโบราณมีการใช้ผ้าในชีวิตประจำวันน้อย การใช้ผ้าที่มีการทออย่างวิจิตร สวยงาม จึงกระทำเมื่อมีวาระพิเศษเท่านั้น

ผ้าทอพื้นเมืองในประเทศไทยมีความหลากหลายแตกต่างกันทั้งชนิดเส้นใย และรูปแบบผ้าที่ทอไปตามวัฒนธรรม อารยธรรมของแต่ละท้องถิ่น แต่ละภูมิภาค บางท้องถิ่นเช่นแถบภาคอิสานนิยมทอผ้าไหม ภาคกลางนิยมทอผ้าฝ้าย เป็นต้น แต่สภาพปัจจุบันมีการนำเส้นด้ายจากใยประดิษฐ์มาใช้แทนเส้นด้ายใยธรรมชาติเหล่านี้มากขึ้น เนื่องจากมีราคาต่ำ ย้อมสีง่าย และมีความเรียบ สม่ำเสมอมากกว่า

เนื่องจากผ้าทอพื้นเมืองทอจากเครื่องทอพื้นบ้านอย่างง่าย ที่มีมีโครงสร้างใช้งานไม่เกินสามตะกอ ดังนั้นโครงสร้างผ้าหลักของผ้าทอพื้นเมืองไทยทุกชนิดจึงเป็นโครงสร้างแบบลายขัด หรือไม่ก็โครงสร้างทะแยงแบบ 2/1 แล้วจึงทำการจกหรือขิดเส้นด้ายที่ต้องการให้เป็นลวดลาย เพิ่มเติมหรือไม่ก็ใช้วิธีย้อมสีด้ายพุ่งหรือด้ายยืนแล้วสอดขัดกันให้เป็นลวดลาย การแบ่งแยกชนิดผ้าทอพื้นเมืองจึงนิยมแบ่งตามชนิดหรือลักษณะลวดลายที่ปรากฏให้เห็นเป็นหลัก เช่น ผ้าขิด ผ้าจก ผ้ายกดอก ผ้าล้วงหรือผ้าลายน้ำไหล และผ้ามัดหมีเป็นต้น งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลคุณลักษณะทางกายภาพของผ้าทอพื้นเมืองที่ได้จาก โครงการการรวบรวมข้อมูลทางด้านกรรมวิธีการผลิตผ้าทอพื้นเมืองไทยฯ (ศักดา น้อยจันทร์, และคณะฯ. 2544) เป็นข้อมูลในการนำไป

กำหนดความหนาแน่นของเส้นด้ายพุ่ง โดยกำหนดไว้ที่ 40-120 เส้นต่อนิ้ว (15-48 เส้นต่อเซ็นติเมตร) และกำหนดโครงสร้างผ้าที่เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบสามารถทำงานได้คือ โครงสร้างที่ใช้จำนวนตะกอต่อลายซ้ำไม่เกิน 5 ตะกอ ซึ่งครอบคลุมลายทอผ้าพื้นเมืองที่ใช้กันโดยทั่วไป

2.1.2 ผ้าตัวอย่าง

ในการผลิตผ้าทุกชนิด ต้องมีการนำเสนอชิ้นผ้าตัวอย่างให้กับลูกค้าพิจารณาก่อนเสมอ เนื่องจากลูกค้าต้องการเห็นผ้าด้วยสายตารวมทั้งการสัมผัสด้วยตนเอง หากลูกค้าพอใจก็จะเกิดการสั่งผลิตหรือสั่งซื้อตามมา นอกจากนี้แล้ว การออกแบบผลิตผ้าใหม่ ๆ ก็เป็นหน้าที่ของโรงงานหรือบริษัท ที่จะต้องทำ หากรอลูกค้าสั่งอย่างเดียว จะตอบสนองความต้องการได้ช้าเนื่องจากไม่มีข้อมูลในการผลิตเก็บไว้ ดังนั้นจะเห็นว่ามีการทอผ้าหรือผลิตผ้าตัวอย่างออกมาหลากหลายคุณลักษณะ แล้วนำไปตัดเป็นชิ้น ๆ หรือ รวบรวมไว้เป็นชุด ๆ หรือเป็นสมุดเพื่อนำเสนอ และขายให้กับลูกค้าที่สนใจ โดยเฉพาะผ้าสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าสำเร็จรูป

ชิ้นผ้าตัวอย่างที่รวบรวมเป็นสมุด โดยปกติจะมีขนาด กว้างประมาณ 3.75 นิ้ว(10 ซม.) และยาวประมาณ 5.5 นิ้ว(15 ซม.) รวบรวมไว้เป็นเล่ม ดังแสดงในภาพที่ 2-1 เพื่อให้ลูกค้าจับดูเนื้อผ้าและเห็นสีจริง ๆ ว่าถ้าสั่งซื้อผ้าแล้วเนื้อผ้าจะเป็นอย่างไร จะมีสีแบบใด เพราะใน catalog จะมีสีรหัสผ้า ถ้าลูกค้าต้องการที่จะสั่งซื้อสินค้า ก็สามารถติดต่อสั่งซื้อได้ โดยบอกรหัสสินค้าที่ติดอยู่ที่หน้าผ้าใน catalog ก็สามารถที่จะสั่งซื้อได้ โดยไม่จำเป็นต้องไปที่หน้าร้าน

ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างผ้าแบบชิ้นและสมุดตัวอย่างผ้า

(http://www.atailoredsuit.com/order-fabric-swatch-tailored-suit.html, 2014.)

สำหรับชิ้นตัวอย่างอีกแบบเป็นชิ้นผ้าขนาดเท่าผ้าผลิตจริง มีไว้สำหรับให้ผู้ที่ต้องการนำไปตัดเย็บเป็นต้นแบบสินค้า แบบนี้ขนาดตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับสินค้าที่จะผลิต ปกติหน้ากว้าง 48 นิ้ว ยาวตั้งแต่ 1.5 หลาขึ้นไป สำหรับเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กผู้วิจัยต้องการออกแบบให้ใช้ทอผ้าพื้นเมืองตัวอย่างเพื่อนำไปใช้เป็นตัวอย่างในสมุดตัวอย่างผ้า จึงกำหนดให้หน้ากว้างผ้าไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว

2.2 เครื่องทอผ้าและส่วนประกอบ

เครื่องทอผ้ามีประวัติการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ มีทั้งเครื่องช่วยทอง่าย ๆ จนกระทั่งเครื่องจักรที่ทันสมัยเทคโนโลยีซับซ้อน แต่หลักการทอผ้ายังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากหลักการทอผ้าพื้นฐานทั่วไป คือ การแยกเส้นเส้นด้ายยืนเป็นสองชุด แล้วสอดเส้นด้ายพุ่งเข้าไปขัด จากนั้นกระทบเส้นพุ่งให้ชิดติดกัน ถือว่าเป็นหลักการทำงานขั้นแรก(Primary motions) ของการทอผ้า การทำงานทั้งสามประการนี้จะกระทำตามลำดับและอย่างต่อเนื่องกัน เรียกอีกอย่างว่า “วัฏจักรการทอ” เมื่อครบ 1 วัฏจักร จะได้ผ้าทอหนึ่งเส้นพุ่ง เครื่องทอทุกชนิดต้องทำงานตามหลักการนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารเฉพาะในส่วนที่จำเป็นและเกี่ยวข้องดังนี้

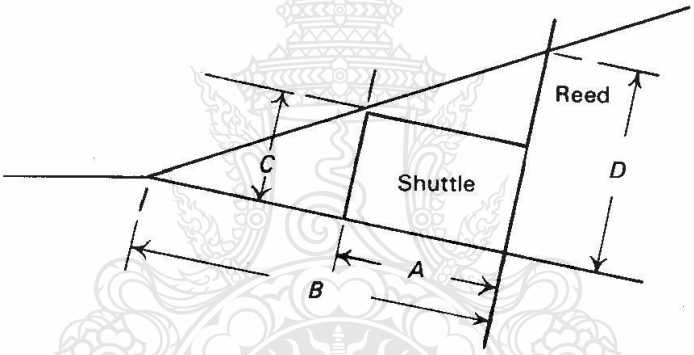
2.2.1 การแยกเส้นด้ายยืน

2.2.1.1 กลไกเปิดช่องด้ายยืน

เส้นด้ายยืนเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของตะกอ การเคลื่อนที่ของตะกอบนเครื่องทอผ้าอุตสาหกรรมขนาดปกติทั่วไป ใช้การควบคุมผ่านทางอุปกรณ์ตวบคุมตะกอที่มีด้วยกันหลายชนิดแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของผ้าที่ทอ คือ แบบลูกเบี้ยว(Cam system) แบบข้อเหวี่ยง (Crank system) แบบด๊อบบี้(Dobby systems) และแบบแจ๊กการ์ด ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดี ข้อจำกัดเป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและรูปแบบกลไก พบว่า ไม่มีระบบกลไกเปิดช่องด้ายยืนแบบใดของเครื่องทออุตสาหกรรม เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นกลไกเปิดช่องด้ายยืนเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก เนื่องจากระบบถ่ายทอดกำลังหรือการเคลื่อนไหวของกลไกมีความซับซ้อนมากเกินไป งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ใช้ระบบลมอัด(Pneumatic system)ทำให้ตะกอเคลื่อนที่ เนื่องจากมีชิ้นส่วนประกอบในระบบน้อย สำหรับรูปแบบในการเคลื่อนที่กำหนดและควบคุมด้วยระบบ PLC (Programmable Logic Control)

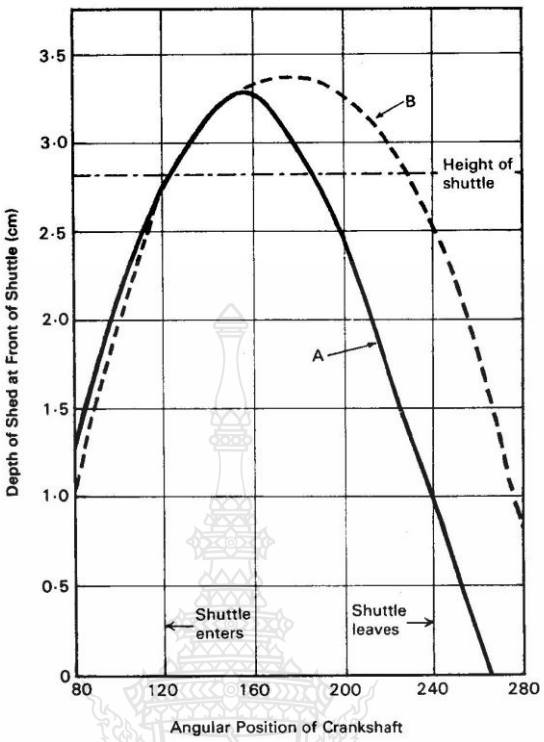
2.2.1.2 ขนาดช่องด้ายยืน

ขนาดของช่องด้ายยืนจะถูกกำหนดด้วยขนาดภาคตัดขวางของตัวนำด้ายพุ่ง(Weft Carriers) โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงที่ริมด้านหน้าของตัวนำหรือระยะ C ในภาพที่ 2-2 (ในรูปใช้กระสวยเป็นตัวนำด้ายพุ่ง) กำหนดระยะ A คือความกว้างของกระสวย ระยะ B คือระยะจากตำแหน่งหน้าผ้า(fell)ถึงส่วนหน้าของฟันหวี(Reed) และระยะ D คือความสูงของฟันหวีหรือความสูงของช่องด้ายยืนในระหว่างที่ตัวนำเส้นด้ายพุ่งเคลื่อนที่ผ่าน จะเห็นว่า ระยะ B และ D แปรผันไปตามระยะทางการเคลื่อนที่ของฟันหวี นอกจากนี้ระยะ D ยังขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของตะกออีกด้วย ยกเว้นในช่วงหยุดนิ่งหรือช่วงพัก(dwell)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะเรขาคณิตของช่องด้ายยืน(R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้โดย นำเอาระยะความสูงของช่องด้ายยืนที่ด้านหน้าของตัวนำสัมพันธ์กับมุมบนเพลาข้อเหวี่ยงก็จะได้ส่วนโค้งดังภาพที่ 2-3 โดยมีส่วนโค้ง B เป็นส่วนโค้งที่ตะกอปิดที่ ศูนย์องศาของมุมบนเพลาข้อเหวี่ยง หากสมมุติให้กระสวยเริ่มเข้าไปในช่องด้ายยืนที่ 110 องศาและออกที่ 240 องศา ระยะความสูงของเส้นด้ายยืนที่ด้านหน้าของกระสวย เมื่อเริ่มเข้าหรือออกจากช่องด้ายยืนก็จะเป็นดังตารางที่ 2-1



ภาพที่ 2-3 ความสัมพันธ์ของช่องด้ายยืนที่ผนังด้านหน้ากระสวย

(R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

ตารางที่ 2-1 ความสูงของช่องด้ายยืนที่ด้านหน้ากระสวย

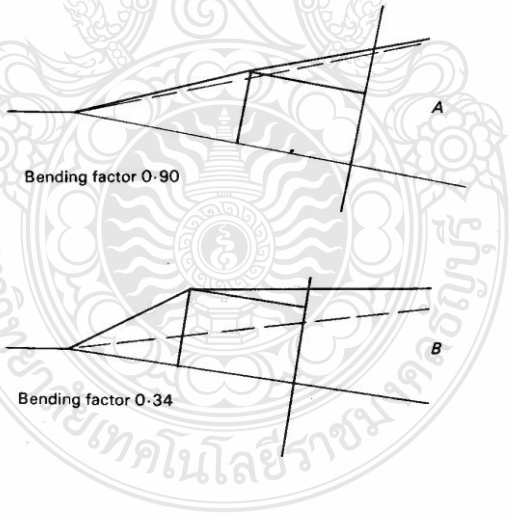
	ความสูงของ Shed (ซม.)	
	Entering	Leaving
เส้นโค้ง A : ตะกอปิดที่ 270 องศา	2.44	0.94
เส้นโค้ง B : ตะกอปิดที่ 0 องศา	2.36	2.54

ถ้าทำให้ความสูงของช่องด้ายยืนที่ด้านหน้ากระสวย อยู่ในรูปเศษส่วนกับความสูงที่ด้านหน้าของกระสวย จะได้ค่าออกมาค่าหนึ่ง(ไม่มีหน่วย)เรียกว่า “bending factor“ หรือ“ interference factor, e “ ซึ่งจะเป็นตัวชี้ให้เห็นว่า กระสวยจะทำให้เส้นด้ายยืนเสียหายหรือไม่ ถ้าค่านี้น้อยกว่า 1.0 กระสวยกระทบด้ายยืน ถ้าเราให้ความสูงของกระสวยที่ด้านหน้าเป็น 2.8 cm ก็จะได้ค่า bending factor ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2.2 ค่า Bending factor

	Bending factor	
	เข้า	ออก
เส้นโค้ง A : ตะกอปิดที่ 270 องศา	0.87	0.34
เส้นโค้ง B : ตะกอปิดที่ 0 องศา	0.84	0.90

ภาพที่ 2-4 แสดงผลกระทบจากค่า bending factor ต่อการส่งเส้นด้ายพุ่ง โดยเส้นประแสดงความสูงของเส้นด้ายยืนในสภาวะจริง และเส้นทึบแทนลักษณะเส้นด้ายยืนเมื่อตัวนำเคลื่อนที่ผ่าน จะเห็นว่า ตัวนำเส้นด้ายจะเสียดสีหรือชนกับเส้นด้ายยืนเมื่อค่า e น้อย ดังนั้น เนื่องจากเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กที่สร้าง ใช้ระบบลมในการยกตะกอ ซึ่งสามารถกำหนดช่วงเวลาในการ Dwell ของตะกอได้อิสระ และขนาดหน้ากว้างผ้าไม่มาก งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ค่า e ของระบบมีค่ามากกกว่า 1 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว



ภาพที่ 2-4 ผลกระทบจากค่า Bending factor (R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

2.2.2 การส่งเส้นด้ายพุ่ง

การทำให้เส้นด้ายพุ่งเข้าไปในช่องว่างระหว่างแผ่นเส้นด้ายยืนชุดบนและล่างเพื่อให้ขัดกับเส้นด้ายยืนนั้น ต้องมีตัวนำ(Carrier)หรือตัวกลาง(Mean)ในนำพาเส้นด้ายพุ่งเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะโดยการบรรทุกกลุ่มด้าย หรือการหนีบจับ หรือการลากจูง ก็ตาม ดังนั้น เพื่อความง่ายต่อการเข้าใจ จึง

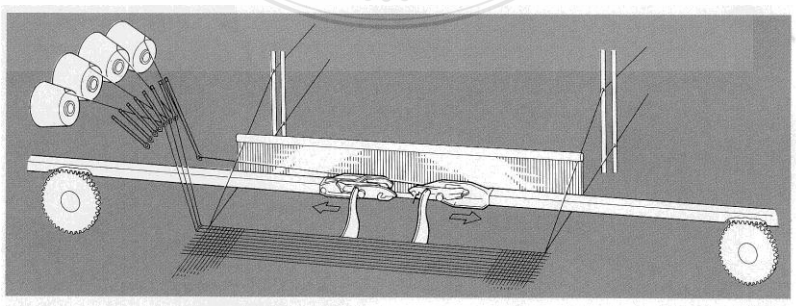
มักเรียกวิธีการทำให้ตัวนำเหล่านี้มีพลังงานในการนำเส้นด้ายพุ่งว่า “Picking system” ซึ่งมีรายละเอียดในวิธีการ กลไก ที่ใช้ต่างกันออกไปตามชนิดของตัวนำที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะระบบการส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยก้านส่ง(rapier) ดังนี้

2.2.2.1 การส่งด้ายพุ่งด้วยก้านส่ง (Rapier)

การส่งเส้นด้ายพุ่งแบบนี้ เป็นการใช้ก้านเหล็ก หรือ ใช้แขน (arm) ในการนำด้ายพุ่งข้ามหน้าผ้าหรือส่งด้ายพุ่งกันที่กลางหน้าผ้า ลักษณะการนำเส้นด้ายพุ่งส่งเข้าในช่องด้ายยืนมีทั้งแบบหนีบปลายด้ายพุ่งและแบบรูดแบบบ่วง(free end & loop) ถ้าเป็นแขนนำด้ายพุ่งแบบแข็ง(rigid) ที่ใช้ในเครื่องทอผ้าหน้าแคบ(Narrow looms) และเครื่องทอพรม (Capet looms) จะเรียกว่า needles โดยจะมีรูปร่างโค้งงอเมื่ออยู่บนเครื่องทอแบบแรกและเหยียดตรงเมื่ออยู่บนเครื่องทอพรม แต่เมื่อแขนนำด้ายพุ่งแบบแข็ง อยู่บนเครื่องทอแบบอื่น ๆ จะเรียกว่า Rapier ส่วนแบบก้านเหล็กบาง ๆ โค้งงอได้(flexible) จะเรียกว่า tape

ก) ลักษณะของก้านส่งแบบแข็ง

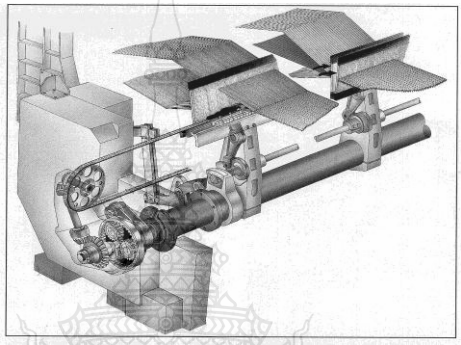
ลักษณะเป็นก้านโลหะกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางราว 10-15 mm. หรือบางครั้งอาจมีภาคตัดขวางเป็นวงรี หรือสี่เหลี่ยมก็ได้ ตรงปลายยึดไว้ด้วยหัว Rapier ทำหน้าที่เกี่ยวและจับเส้นด้าย ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ข้อเสียของเครื่องทอแบบนี้คือ ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องจักรมาก (อย่างน้อยที่สุดราว 2 เท่าของความกว้างผ้าที่ผลิตได้) เนื่องจากสาย rapier จะต้องออกมาจาก shed ก่อนการกระทบหน้าผ้าจะเกิดขึ้นข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องใช้ guide ใน shed เนื่องจากการมีเสถียรภาพในการเคลื่อนที่ของสาย rapier เมื่อเข้าและออกจาก shed สูง โดยอาศัยเพียงแต่ให้ส่วนหัว rapier เคลื่อนที่ไปบนแผ่นด้ายยืนด้านล่างใน shed คล้ายกับการเคลื่อนที่ของกระสวยในเครื่องทอกระสวย



ภาพที่ 2-5 ลักษณะของ double rigid rapiers

ข) ลักษณะก้านส่งแบบโค้งงอได้(Flexible Rapier)

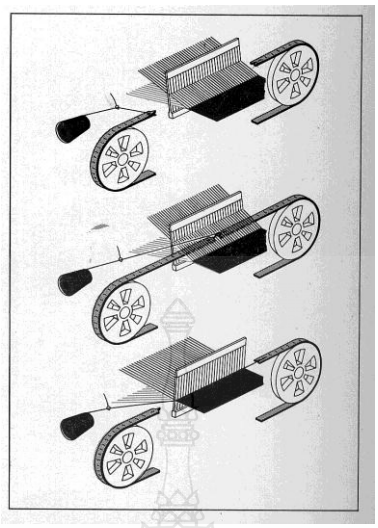
ก้านหรือสาย Rapier แบบนี้ จะทำด้วยโลหะหรืออโลหะพวกพลาสติกที่อ่อนตัวได้ เมื่อยังไม่ได้ใช้งานจะเก็บไว้ในซองโค้ง ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ทำให้ประหยัดเนื้อที่(ความกว้างของเครื่องน้อยลง)ในการติดตั้งเครื่องจักร ทำให้สามารถทอผ้าได้กว้างถึง 5 เมตร ข้อเสียคือ ต้องมีการใช้ตัวช่วยนำ(guide) เข้าช่วยรักษาเสถียรภาพในขณะที่ rapier เคลื่อนที่เข้าและออกจาก shed



ภาพที่ 2-6 ลักษณะของ Flexible rapier

การส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยก้านส่งไม่ว่าจะเป็นชนิดแข็งหรือชนิดโค้งงอได้ มีทั้งแบบก้านเดี่ยว (Single rapier) และแบบก้านคู่(Double rapiers) โดยแบบก้านเดี่ยวมีชุดทำงานของเรเปียร์จะติดอยู่ด้านข้างของเครื่องทอเพียงด้านเดียว มีก้านส่ง เพียงตัวเดียว ทำหน้าที่พาเส้นพุ่งสอดใส่เข้าไปในช่องตะกอ ทำให้มีความเร็วรอบของเครื่องพอ ๆ กับเครื่องทอกระสวย ส่วนใหญ่จะเป็นแบบก้านแข็งและใช้งานในการทอผ้าหน้ากว้างมาก ๆ เช่น ทอพรม เป็นหลัก

ถ้าเป็นแบบก้านส่งสายคู่(Double or divided rapiers) ชุดเรเปียร์จะติดอยู่ด้านข้างของเครื่องทอทั้ง 2 ด้าน มีทั้งแบบ Rigid (ภาพที่ 2-5)และ Flexible rapier (ภาพที่ 2-7) เป็นการใช้ rapier สองตัว ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงานของ rapier ลงได้อีกเท่าตัว โดย rapier ตัวที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นตัวส่งด้ายพุ่ง(Giver) โดยพาด้ายพุ่งจากริมผ้าเข้าไปสู่กลางหน้าผ้า พร้อมกันนั้น rapier ที่อยู่อีกด้านก็จะพุ่งมารับเส้นด้ายพุ่งจากกลางหน้าผ้า(taker)และถอยกลับไปยังริมผ้าทั้งสองด้านพร้อมกัน จึงสามารถเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องให้สูงขึ้นได้มากกว่าแบบ single rapier นอกจากนั้นยังมีเครื่องทอ rapier แบบ Double rapier ที่ส่งด้ายพุ่งจากทั้งสองด้าน โดย rapier แต่ละด้านจะทำหน้าที่ทั้ง giver และ taker สลับกัน



ภาพที่ 2-7 ลักษณะของ Double Flexible rapiers

เครื่องทอ Rapier แบบ double rapier อาจมีปัญหาในช่วงการรับและส่งด้ายพุ่ง สาเหตุเพราะ rapier ทั้งคู่ต่างพุ่งมาด้วยความเร็ว ทำให้หัว rapier อาจจะสั่นหรือกระโดดขึ้น ส่งผลให้การส่งและรับเส้นด้ายพุ่งไม่แน่นอน หัว rapier อาจจะชนกันทำให้ชำรุดเสียหายได้ แต่ปัจจุบันได้มีการแก้ไขแล้ว โดยการทำอุปกรณ์สำหรับกดล๊อคหัวเรเปียร์ทั้งคู่ให้นิ่งและได้ระดับพอดีกันในขณะที่รับและส่งเส้นพุ่งกลางหน้าผ้า

ตำแหน่งของกลไกส่งตัวนำของรบบส่งเส้นด้ายพุ่งแบบก้านส่งนิยมใช้ระบบกลไกอยู่คงที่ โดยกลไกลทั้งหมดที่ใช้ในการ picking จะยึดติดแน่นในตำแหน่งคงที่กับโครงสร้างเครื่องจักร ดังนั้นในขณะที่ทำการสอดด้ายพุ่ง ฟันหวีจะต้องอยู่ในตำแหน่ง Dwell เมื่อฟันหวีเริ่มเคลื่อนที่ถอยหลัง ตะกอจะเริ่มเปิดพร้อมกับที่ rapier เริ่มเคลื่อนที่พาเส้นด้ายจากริมด้านหนึ่งมาสู่ริมอีกด้านหนึ่ง และต้องถอยกลับเข้าซองจนสุดก่อนที่ฟันหวีกระทบหน้าผ้า ข้อควรสังเกตุคือ หากตั้งจังหวะการทำงานของ rapier ไม่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของฟันหวี จะทำให้ส่วนหัวของ rapier พุ่งชนฟันหวีหรือฟันหวีกระแทกกับหัว rapier ทำให้ฟันหวีและหัว rapier ชำรุด เครื่องทอที่ใช้ระบบนี้ เมื่อเครื่องทอทำงานไปนานๆ ท่อเก็บสายเรเปียร์อุดตันสกปรก หรือเกิดการชำรุดสึกหรอของอุปกรณ์ จะทำให้จังหวะการทำงานคลาดเคลื่อน ก่อให้เกิดความเสียหายได้ง่าย จึงไม่นิยมใช้ระบบนี้กับเครื่องทอ rapier รุ่นใหม่ๆ ในปัจจุบัน เพราะเปลืองหัวเรเปียร์และฟันหวีมาก

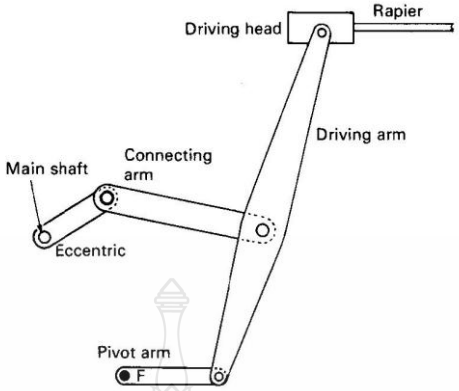
เพื่อแก้ไขข้อด้อยของการติดตั้งตำแหน่งกลไกส่งก้านส่งแบบอยู่กับที่ จึงมีการพัฒนาให้ชุดกลไกส่งก้านส่ง เคลื่อนไหวไปมาพร้อมกับชุดฟันหวี ทำให้ฟันหวีไม่ต้องอยู่ในตำแหน่ง Dwell ขณะทำการสอดด้ายพุ่ง ดังนั้นจังหวะการเคลื่อนที่ของ rapier จะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของ Sley โดยตรง เมื่อเกิดการติดขัดเช่น rapier เข้าไม่สุดซอง จะเกิดการเสียหายไม่มากและแก้ไขได้ง่าย ข้อเสียคือต้องใช้แรงขับเคลื่อนชุด Slay มาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเกิดการสึกหรอมาก ระบบนี้เรียกอีกชื่อว่า Compound Slay

ลักษณะการนำด้ายพุ่งเข้าไปใน Shed ของเครื่องทอ rapier แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ แบบ Dewas เป็นแบบที่เครื่องทอ Rapier ส่วนใหญ่นิยมใช้กัน ทั้งแบบมีสายเป็นแบบ Rigid หรือ Flexible ไม่ว่าจะมีจำนวนแบบ Single หรือ Double ลักษณะที่สำคัญของระบบก็คือ ให้หัว rapier จับปลายด้ายพุ่ง แล้วลากหรือนำด้ายพุ่งเข้าไปใน shed ในลักษณะเส้นตรง

การนำด้ายพุ่งอีกแบบคือแบบ Gabler แบบนี้หัว rapier จะนำด้ายพุ่งสอดในลักษณะของ loop ด้ายพุ่งจะรูดไปกับหัว rapier แทนการหนีบจับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบย่อย ๆ คือแบบ Single pick กับแบบ Double pick แบบแรก ด้ายพุ่งอยู่ในลักษณะห่วงเพียงครึ่งความยาวด้ายพุ่งทั้งหมด หลังจากนั้นด้ายจะถูกตัด ส่วนแบบที่สองด้ายพุ่งจะถูกส่งรูปห่วงเต็มความกว้างผ้า ทำให้มีด้ายพุ่ง 2 เส้นอยู่ใน Shed ในแต่ละ pick(Double pick)

วิธีการทำให้ก้านส่ง เคลื่อนที่เข้าและออกจาก shed ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้งานในหลายรูปแบบ ได้แก่ ระบบ Crank & balance motion ระบบ Cam ระบบ Sprocketระบบ Rack & Pinion ระบบ Planetary straight-line motion และระบบ Slipper block straight-line motion เป็นต้น เนื่องจากต้องการให้เครื่องทอผ้าตัวอย่างมีขนาดเล็ก ชิ้นส่วนกลไกไม่ซับซ้อน ผู้วิจัยเลือกทำการศึกษาเฉพาะ ระบบ Crank & balance motion ดังนี้

ระบบ Crank & balance motion บางครั้งจะเรียกว่า Direct drive from eccentric และส่วนใหญ่จะใช้กับเครื่องทอแบบ single rigid rapier หลักการ ทำงานเป็นดังภาพที่ 2-8 โดยการเคลื่อนที่ของ rapier จะรับมาจากแขนขับ(driving arm) ที่มีปลายอีกด้านเป็นจุดหมุนติดกับโครงเครื่อง ตัว driving arm ได้รับการเคลื่อนไหวมาจากชุดข้อต่อที่เชื่อมอยู่กับแขนข้อเหวี่ยง(crank) หรือวงกลมเยื้องศูนย์(eccentric)ที่ติดอยู่บน main shaft



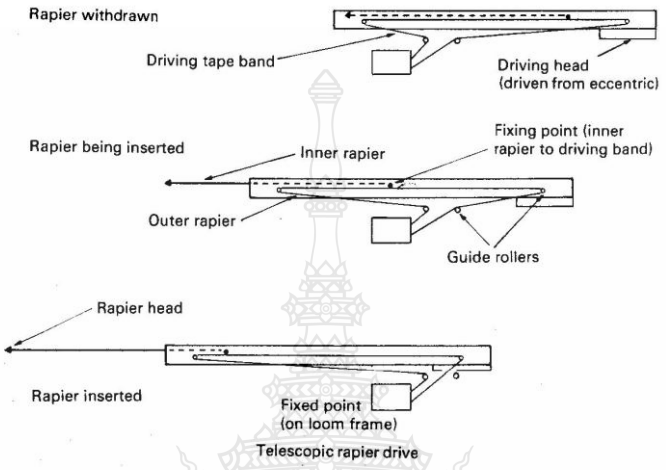
ภาพที่ 2-8 หลักการระบบขับเคลื่อนก้านส่งแบบ Crank and Balance motion

(R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

หากเป็นเครื่องทอแบบ Single rigid ที่มีหน้ากว้างไม่มากนัก กลไกทั้งหมดจะเคลื่อนที่อยู่ในแนวนอน หากเป็นแบบ double rigid กลไกจะอยู่ในแนวตั้ง กลไกขับเคลื่อน rapier แบบนี้กินพื้นที่ในการทำงานมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเอาหลักการแบบ telescopic เข้ามาทำงานประกอบกลายเป็นลักษณะตามภาพที่ 2-9 ใช้กับเครื่องทอยี่ห้อ Versamat แบบนี้ส่วนเปลือกนอกของ rapier จะถูกขับด้วยระบบ eccentric (ไม่ได้แสดงไว้ในรูป) เมื่อ driving head กระทำต่อเปลือกนอก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เข้าไปใน shed พร้อมกับที่เปลือกนอก rapier เคลื่อนที่นั้น ตัว rapier ตัวในที่มีส่วนโคนยึดติดบนสาย tape ถึงตำแหน่งกึ่งกลางเครื่องส่วนปลายของ rapier ตัวในก็จะเคลื่อนที่ถึงฝั่งตรงข้ามเครื่องเช่นกัน

การใช้ Eccentric เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน rapier มีปัญหาเกิดขึ้นสองประการ ประการแรกคือ มีมวลของชิ้นส่วนกลไกที่เคลื่อนไหวสูงมาก ทำให้เกิดการเสียหายและสึกหรอที่บริเวณจุดหมุนเกิดขึ้นบ่อยครั้ง แต่ในส่วนนี้สามารถแก้ไขได้ยาก ประการที่สองคือ การเคลื่อนไหวของ eccentric หรือ crank เป็นการเคลื่อนไหวแบบ simple harmonic ทำให้มีผลต่ออัตราความเร็วด้ายพุ่ง(weft velocity)คือ มีความเร็วสูงสุดเป็น π /2 เท่าของความเร็วเฉลี่ย ยิ่งไปกว่านั้นก็คือ การเคลื่อนที่ของ rapier จำเป็นต้องมีการหยุดในจังหวะการรับ-ส่งด้ายพุ่งที่กึ่งกลาง shed พร้อมทั้งต้องอยู่นอกริมผ้านาน ซึ่งการเคลื่อนที่แบบ simple harmonic ไม่เหมาะกับการเคลื่อนที่แบบนี้ของ rapier อย่างไรก็ตาม จากการที่ rapier เคลื่อนที่เมื่อ sley กระทบหน้าผ้าและ

คัดเลือกด้ายพุ่งได้แล้ว และจากการที่ rapier ใช้ความกว้าง shed น้อย จึงสามารถที่จะทำให้ rapier เคลื่อนที่เข้าและออกจาก shed ได้เร็วกว่าเครื่องทอกระสวยธรรมดาได้



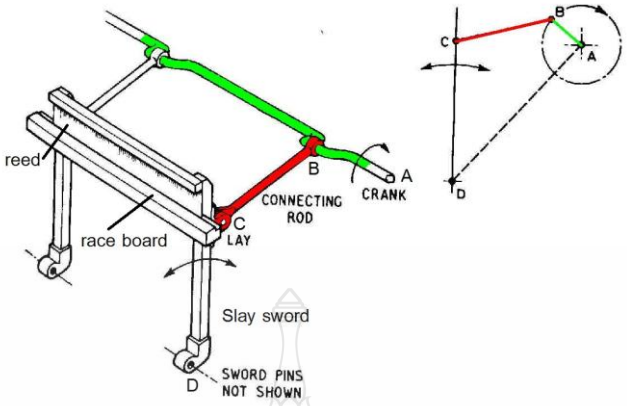
ภาพที่ 2-9 หลักการระบบก้านส่งแบบก้านชัก(Telescopic)

(R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบการส่งด้ายพุ่งแบบก้านส่งแข็ง ก้านเดี่ยว ส่งเส้นด้ายพุ่งในรูปแบบ Gabler โดยใช้ระบบลมในการทำให้ก้านส่งเคลื่อนที่ ชุดก้านส่งจะติดอยู่กับที่ สำหรับใช้ในการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

2.2.3 การกระทบเส้นพุ่ง

ภายหลังการสอดเส้นด้ายพุ่งผ่านเข้าไปในช่องด้ายยืนด้วยตัวนำด้ายพุ่งเรียบร้อยแล้ว การกระทบหน้าผ้า (Beating-up) เพื่อให้ด้ายพุ่งที่สอดเข้าไปอยู่ตำแหน่งที่ถูกต้องตรงตำแหน่งหน้าผ้า (fell)หรือชิดกับเส้นด้ายพุ่งเส้นก่อนหน้านั้น จะเกิดขึ้นเป็นลำดับต่อมา โดยการเคลื่อนที่มาด้านหน้าอย่างรวดเร็วของชุดกลไกกระทบหน้าผ้าซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสำคัญคือ ฟันหวี (reed) และรางกระสวย (lay หรือ slay) ดังแสดงในภาพที่ 2-10 แสดงลักษณะของระบบกระทบหน้าผ้าที่ใช้กับเครื่องทอกระสวยโดยทั่วไป



ภาพที่ 2-10 ระบบกระทบหน้าแบบข้อเหวี่ยง(P.R. Lord and M.H. Mohamed, 1976)

ฟันหวี(reed) ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างเส้นด้ายยืนแต่ละเส้นด้ายด้วยแผ่นโลหะที่ไม่เป็นสนิม ระยะห่าง(pith)ระหว่างแผ่นโลหะหรือช่องว่าง ถูกกำหนดด้วยความหนาของแผ่นเหล็กและช่องว่าง(space)ที่ต้องการ ซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นของด้ายยืน (warp density) ทำให้มีฟันหวีที่มีระยะห่างของช่องต่างๆ กันมาให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

การบอกขนาดของฟันหวีหรือการบอกเบอร์ฟันหวี(reed count)แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ ระบบแรกใช้จำนวนช่อง(dent)ในความยาว 2 นิ้ว เป็นตัวกำหนดขนาด เรียกว่า “Stockport systems” และเป็นระบบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้ายและผ้าจากเส้นด้ายใยสั้นอื่น เมื่อรวมกับการทอผ้าแบบลายขัดซึ่งมักนิยมทำการร้อยด้ายยืนแบบ 2 เส้นต่อช่องฟันหวี (2 ends/dent) ดังนั้นเบอร์ฟันหวีในระบบนี้จึงเท่ากับจำนวนเส้นด้ายยืนต่อนิ้วนั่นเอง ตัวอย่างเช่น 72 Stockport reed ก็หมายถึง ฟันหวีที่ 72 dent / 2 inch หรือ 36 dents/ 1 inch หากร้อยด้ายยืน 2 end ต่อนิ้วก็จะได้ 72 end / inch เท่ากับเบอร์ฟันหวี

การเคลื่อนที่เข้าและออกจากตำแหน่งปกติของฟันหวี ได้รับมาจากระบบถ่ายทอดกำลังการหมุนของชิ้นส่วนเครื่องทอ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบข้อเหวี่ยงและข้อต่อ(Crank and connecting rod) กับแบบลูกเบี้ยวคู่(Double cam) โดยการใช้ระบบขับแบบแรกจะทำให้การเคลื่อนที่ของฟันหวีเข้าใกล้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion (SHM)มากหรือน้อยตามอัตราส่วนระหว่าง ความยาวข้อเหวี่ยงกับความยาวของแขนต่อ(Slay eccentricity, e)

สำหรับระบบลูกเบี้ยวคู่เป็นการพัฒนาเพื่อทำให้ฟันหวีมีช่วงเวลาการเคลื่อนที่ตามรูปแบบที่ต้อง เนื่องจากเครื่องทอบางชนิดฟันหวีต้องอยู่นิ่งในจังหวะการส่งเส้นด้ายพุ่ง

งานวิจัยเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กนี้เลือกใช้ระบบขับเคลื่อนฟันหวีด้วยระบบลมอัด เนื่องจากง่ายต่อการควบคุมการทำงานและใช้ชิ้นส่วนน้อย

2.2.4 การคลายด้ายยืน

หน้าที่หลักของระบบคลายด้ายยืนของเครื่องทอผ้าคือ การรักษาความตึงในเส้นด้ายยืนให้คงที่เท่ากันโดยตลอด ทั้งในจังหวะเปิดช่องด้ายยืน(Shed forming) ของเส้นด้ายยืน และในจังหวะกระทบหน้าผ้า เพื่อให้ได้ช่องด้ายยืนที่สมบูรณ์ (Clear Shed or Complete Shed) และให้เส้นด้ายยืนตึงมากพอที่จะรัดด้ายพุ่งได้เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ ทั้งหมดนี้สามารถทำได้ด้วยการควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ของเส้นด้ายยืนออกจากม้วนเส้นด้ายยืน

ระบบการคลายเส้นด้ายยืน ได้รับการพัฒนาควบคู่กับเครื่องทอผ้ามาโดยตลอด ตั้งแต่แบบง่าย ทำงานด้วยระบบแรงเสียดทาน(The Friction type) ที่เครื่องทอแบบธรรมดาทั่วไปในสมัยก่อนนิยมใช้กันมาก มีข้อดีตรงที่กลไกการทำงานไม่ยุ่งยาก และราคาถูก แต่ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องทอแบบอัตโนมัติที่ทำงานได้รวดเร็ว เพราะความตึงของเส้นยืนจะมีการแปรปรวนมากตลอดระยะเวลาของการทอ Shirley Institute จึงพัฒนาระบบควบคุมการคลายโดยอัตโนมัต(Controlled Negative Automatic Let- off)ขึ้นมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว เหตุที่มีชื่อแบบนี้เพราะว่าอัตราการคลายเส้นด้ายยืนจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งลอยตัวของลูกกลิ้งรับเส้นด้ายยืน (backrest) ส่วนม้วนด้ายยืนจะหมุนด้วยแรงดึงจากแผ่นด้ายยืนที่สามารถเอาชนะแรงที่เกิดจากแรงเสียดทาน ทำให้สามารถรักษาความตึงของเส้นด้ายยืนให้คงที่ได้ตั้งแต่ต้นจนจบการทอ ระบบคลายเส้นด้ายยืนที่กล่าวมาจัดเป็นระบบคลายดด้ายยืนแบบเนกาทีฟ(Negative Let-off systems)

ต่อมามีการพัฒนาระบบคลายด้ายยืนแบบโพสิทีฟ(Positive Let-off system) โดยให้ม้วนด้ายยืนหมุนในอัตราที่รักษาความยาวระหว่างตำแหน่งหน้าผ้ากับม้วนด้ายยืนให้คงที่ แยกระบบการให้ความตึงแก่ด้ายยืนออกต่างหากจากกลไกขับเคลื่อนม้วนด้ายยืน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวด้ายยืนระหว่างหน้าผ้ากับม้วนด้าย(free length)นั้น เดิมทีนิยมใช้แบบคานพักเส้นด้ายยืน(backrest)ลอยตัวอิสระ โดยมีเส้นด้ายยืนพาดผ่านด้านบน ถ้ามีแรงกดเกิดขึ้นกับ

ด้ายยืนหรือด้ายยืนหย่อน backrest จะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแรงที่เกิดขึ้นในเส้นยืน วิธีนี้สามารถใช้ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการให้ความตึงกับด้ายยืนได้ เครื่องทออัตโนมัติส่วนมากจึงนิยมใช้ระบบการคลายด้ายแบบนี้

นอกจานี้ยังมีระบบคลายเส้นด้ายยืนอีกหลาย ๆ แบบถูกพัฒนาขึ้น เช่น ระบบการคลายเส้นด้ายยืนของบาร์ทเล็ท(The Bartlett Let -off Motion system) ระบบคลายเส้นด้ายยืนของซอเรอร์(The Saurer Let-off Motion) เป็นต้น

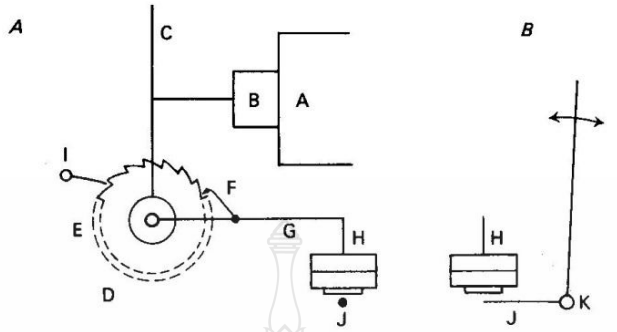
ปัจจุบันเครื่องทอผ้าเกือบทั้งหมด ใช้ระบบคลายเส้นด้ายยืนแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับระบบประมวลผลด้วยสมองกล(Computer) ให้เลือกใช้งาน โดยใช้มอเตอร์แบบควบคุมความเร็ว(Speed control motor) ที่จะปรับเปลี่ยนความเร็วการหมุนตามคำสั่งที่ได้รับจากสมองกล เป็นต้นกำลังขับม้วนด้ายยืน อัตราการหมุนขึ้นอยู่กับการประมวลผลความตึงในเส้นด้ายยืนผ่านสัณญาณที่ได้รับจากชุดตรวจสอบความตึงเส้นด้ายยืน งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบคลายด้ายยืนแบบใช้มอเตอร์ควบคุมความเร็ว ขับแกนม้วนด้ายยืนโดยตรง โดยให้ทำงานสัมพันธ์กับอัตราการม้วนผ้าในระบบม้วนผ้า ไม่มีชุดตรวจสอบความตึงเส้นด้ายยืน เนื่องจากขนาดช่องด้ายยืนเล็ก และเพื่อลดความซับซ้อนของระบบ

2.2.5 การม้วนผ้า

การม้วนผ้า(Take-up)เป็นการดึงผ้าที่ทอเสร็จแล้วออกจากพื้นที่การทอ(weaving zone) บนเครื่องทอ เพื่อให้การทอสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ แบบเนกะทีฟ(Negative Take-up) กับแบบโพสิทีฟ(Positive Take-up)

2.2.5.1 แบบเนกะทีฟ (Negative Take-up)

หลักการของระบบการม้วนผ้าแบบนี้เป็นดังภาพที่ 2-11 โดยรูป A เป็นรูปด้านหน้า และรูป B เป็นรูปด้านข้าง ในตัวอย่างนี้ผ้าจะม้วนลงบนลูกกลิ้ง A ที่ยู่บนลูกกลิ้งม้วนผ้า B โดยตรง เฟืองหนอน C ที่ติดบนเพลาลูกกลิ้งม้วนผ้า จะถูกขับด้วยเฟืองหนอน D ซึ่งติดอยู่บนเพลาเดียวกับเฟืองทางเดียว E เฟือง E จะหมุนเมื่อก้าน F ที่อยู่บนคาน G จะพยายามให้เกิดการม้วนผ้า ก้านช่วยจะป้องกันการหมุนกลับของเฟืองทางเดียว E คาน J ที่อยู่บนเพลา K จะยกขึ้นและลงตามจังหวะของรางกระสวย(โยกไปมา หน้า-หลัง)



ภาพที่ 2-11 Negative Take-up (R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

ในภาพที่ 2-11 เมื่อรางกระสวยเคลื่อนที่ไปด้านหลังของเครื่อง จะทำให้คาน J ยกน้ำหนัก H ให้ลอยขึ้นและจะยังคงค้างอยู่อย่างนั้นเมื่อรางกระสวยมาด้านหน้าอีกครั้ง ในจังหวะการกระทบหน้าผ้าน้ำหนักที่ลอยอยู่จะไม่สามารถทำให้เฟืองทางเดียวหมุนได้ เมื่อฟันหวีกระแทกหน้าผ้าทำให้เกิดระยะขจัดกับหน้าผ้า แรงดึงในผ้าจะลดลง ทำให้น้ำหนักสามารถดึงให้เฟืองทางเดียวหมุนได้ และจะหมุนตามอัตราของความหนาแน่นของเส้นพุ่ง

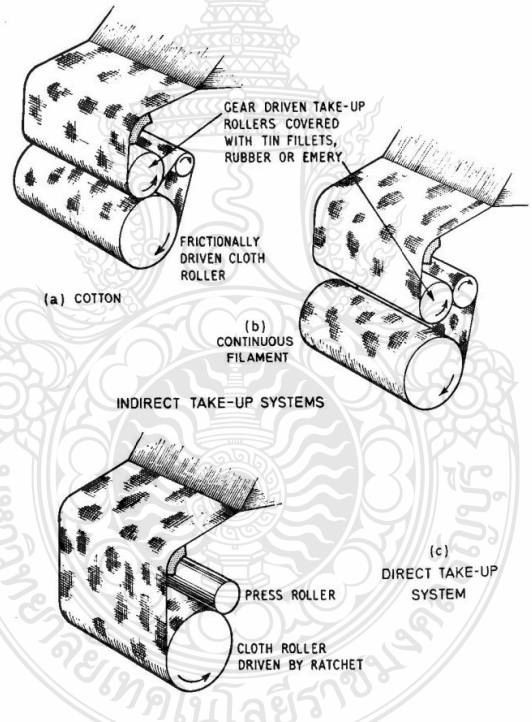
การควบคุมอัตราความหนาแน่นเฉลี่ยจะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในเส้นยืนและน้ำหนัก H ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักให้มากขึ้น อัตราการม้วนผ้าจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หรือถ้าจะลดความตึงของด้ายยืนลงก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน

ถ้าผ้าพันบนลูกกลิ้งขับโดยตรง ดังภาพที่ 2-11 หรือภาพที่ 2-12C เมื่อขนาดของม้วนผ้าโตขึ้น จำเป็นต้องทำให้น้ำหนักมากขึ้นเพื่อเพิ่มแรงที่จะใช้หมุนเฟืองทางเดียว เพื่อหลีกเลี่ยงกรณีนี้จึงมีการให้ผ้า ม้วนลงบนลูกกลิ้งที่แยกต่างหากจากลูกกลิ้งขับ ภาพที่ 2-12A, 2-12B

2.2.5.2 แบบโพสิทีฟ (Positive Take-up)

ระบบการม้วนผ้าแบบโพสิทีฟแบ่งย่อยออกได้เป็นสองแบบคือ แบบดึงผ้าอย่างต่อเนื่อง(Continuous)โดยใช้ระบบเฟืองหนอนขับเฟืองหนอน กับแบบดึงผ้าไม่ต่อเนื่อง(Intermittent)ที่ใช้ก้านดัน(Pawl)และเฟืองทางเดียว(Ratchet wheel)ขับ แต่พื้นฐานของทั้งสองแบบไม่มีอะไรแตกต่างกันมากมาย เพราะทั้งสองแบบ ผ้าจะถูกดึงม้วนไปทางด้านหน้าโดยแรงเสียดทาน

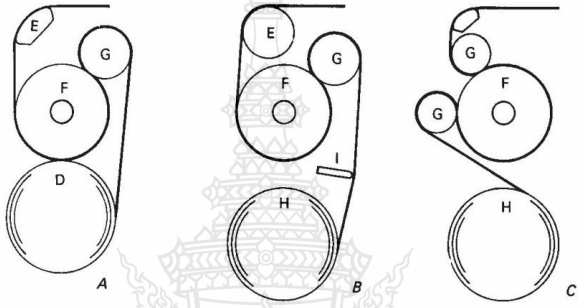
ที่เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างลูกกลิ้งดึงผ้า(Take-up roller, F) กับลูกกลิ้งช่วย(Friction roller, G)ที่กระทำกับผ้า ผ้าจะถูกม้วนเก็บบนลูกกลิ้งม้วนผ้า(Cloth roller, H)ที่แยกออกมาต่างหาก ดังภาพที่ 2-12A, 2-12B กรณีอย่างนี้เรียกว่า “Indirect take-up” แต่ถ้าผ้าม้วนบนลูกกลิ้งขับโดยตรงเหมือนกับในระบบ Negative ที่ยกตัวอย่างผ่านมา (ภาพที่ 2-12C) จะเรียกว่า “Direct take-up” ซึ่งในกรณีหลังนี้ อัตราการหมุนของลูกกลิ้งขับจะต้องลดลงในอัตราที่ก้าวหน้าตามขนาดของม้วนผ้าที่โตขึ้น เพื่อรักษาอัตราการม้วนผ้าขจัดให้คงที่ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งการม้วนผ้าระบบโพสิทีฟออกได้เป็น Continuous-indirect กับ Intermittent - indirect และ direct ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-12 แสดงระบบม้วนผ้าแบบต่าง ๆ (P.R. Lord and M.H. Mohamed, 1976)

เนื่องจากระบบม้วนผ้าแบบโพสิทีฟ เป็นการม้วนผ้าโดยอาศัยแรงเสียดทานที่เกิดจากการสัมผัส ดังนั้นหากมีการลื่นไถลเกิดขึ้นระยะห่างระหว่างเส้นด้ายพุ่ง (Pick-spacing) จะแปรปรวนทันที จึงต้องป้องกันโดยการหุ้มลูกกลิ้งม้วนผ้าด้วยวัสดุ ที่ให้ความเสียดทานสูง เช่น ยาง หรือเหล็ก

ที่ผิวไม่เรียบ นอกจากนี้ยังมีการช่วยให้แรงเสียดมากขึ้นโดยการปรับปรุงการสัมผัสให้มากขึ้นสามแบบดังภาพที่ 2-13A, 2-13B และ 2-13C สำหรับภาพที่ 2-13A เป็นวิธีที่นิยมใช้กับการทอผ้าจากเส้นด้ายใยสั้น โดยตัว Breast beam (E) จะมีหลายลักษณะและมักเป็นแผ่น โลหะที่มีผิวลื่นหรืออาจใช้ลูกกลิ้งไม่หมุนแบบรูป 2-13B ก็ได้ แต่หากเป็นแบบหลังมักจะทำร่องไว้ที่ปลายแต่ละด้านของลูกกลิ้งตรงริมฟ้า ลักษณะของร่องจะคล้ายกับร่องเกลียวและมีทิศทางตรงข้ามกันเพื่อช่วยป้องกันการยับของผ้า



ภาพที่ 2-13 ระบบการม้วนผ้าเก็บ(R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976)

ในภาพที่ 2-13A ,B และ C ที่ F จะเป็นลูกกลิ้งขับ และ G เป็นลูกกลิ้งช่วยหุ้มสักหลาดที่ให้แรงกดกับลูกกลิ้งม้วนผ้า F ด้วยสปริง ม้วนผ้า D ในภาพที่ 2-13A หมุนโดยแรงเสียดทานที่ผ้าสัมผัสกับลูกกลิ้งม้วนผ้าระบบคานและน้ำหนักหรือคานและสปริงจะช่วยให้มีแรงกดเพื่อให้เกิดแรงเสียดทานที่พอดี และให้ม้วนผ้าขยับลงไปด้านล่างได้เมื่อม้วนผ้ามีขนาดโตขึ้น

ในภาพที่ 2-13B ม้วนผ้า H ถูกขับโดยลูกกลิ้งม้วนผ้าที่ถูกถ่ายกำลังมาด้วยโซ่และซี่เฟืองแล้วใช้ครัช (clutch)เป็นตัวช่วยลดความเร็วลูกกลิ้งม้วนผ้าโตขึ้น ขณะเดียวกันก็จะรักษาแรงดึงในผ้าด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลื่นไถลและผ้ายับ ระบบนี้ จะใช้ตัวต่อต้านการยับ I ที่เป็นแท่งเหล็กเป็นตัวช่วย ส่วนรูป 2.13C จะคล้ายกับ 2.13B เว้นแต่การหมุนของลูกกลิ้งม้วนผ้าเท่านั้น ที่มีทิศทางตรงข้ามกัน เครื่องขอบางยี่ห้อเช่น Sulzer จะใช้เป็นลูกกลิ้งแทนแผ่นเหล็ก

ระบบการม้วนผ้าปัจจุบันทุกแบบจะใช้ระบบเฟืองเกียร์ ทั้งแบบใช้เฟืองห้าตัว (5-gears train) และแบบใช้เฟืองเจ็ดตัว (7-gears train)ประกอบกันเป็นชุด โดยมีเฟืองเปลี่ยน(Change

Wheel)ทำหน้าที่เป็นตัวแปรในอัตราทดของระบบหรืออัตราการม้วนผ้า การเคลื่อนที่ของม้วนผ้ามีทั้งในรูปของการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง(Continuous) และการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ(Intermittent)

ปัจจุบันเครื่องทอขนาดมาตรฐานส่วนใหญ่ ได้นำเอาความก้าวหน้าในเทคโนโลยีของระบบประมวลผลและไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เข้าประยุกต์ใช้กับระบบม้วนผ้า(take-up) และคลายด้ายยืน(let-off) กลายเป็นระบบม้วนผ้าและคลายด้ายยืนแบบอิเล็กทรอนิกส์(Electronic Let-off and Electronic Take-up) เนื่องจากมีความผิดพลาดในการทำงานน้อยกว่า ชิ้นส่วนเคลื่อนไหวมีน้อย สามารถควบคุมและปรับตั้งค่าได้ละเอียดตามที่ต้องการอย่างสะดวก โดยนิยมใช้มอเตอร์ที่มีระบบเฟืองทดในตัวขับม้วนด้ายยืนหรือขับลูกกลิ้งม้วนผ้าโดยตรง ทำงานร่วมกับระบบตรวจสอบ(Detectors)และระบบประมวลผลกลางของเครื่องทอ ผู้วิจัยจึงออกแบบให้เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กใช้ระบบม้วนผ้าด้วยการใช้มอเตอร์ควบคุมความเร็วขับเพลาม้วนผ้าโดยตรง(Direct take-up) แบบในภาพที่ 2-12C

2.3 เครื่องทอผ้าแบบตั้งบนโต๊ะ(Table looms)

ในต่างประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศแถบยุโรป งานทอผ้าด้วยมือจัดเป็นงานศิลปประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมกันทั่วไป ทำให้มีผู้ที่ทำงานทอผ้าด้วยมือเชิงศิลปและเชิงพาณิชย์เป็นจำนวนมาก เกิดการพัฒนาเครื่องทอที่รูปลักษณ์และขนาดต่าง ๆ ขึ้นอย่างหลากหลาย และทั้งหมดทำงานด้วยแรงจากมนุษย์ พอจะแบ่งเป็น 4 กลุ่มพอสังเขปดังนี้

1. Rigid heddle looms

เป็นเครื่องทอแบบลวดตะกอทำหน้าที่เป็นฟันหวีไปด้วยในตัว มีช่องสลับให้สลับตำแหน่งเส้นด้ายยืนที่ฟันหวี ทอได้แต่โครงสร้างลายขัด ตัวอย่างเครื่องทอแบบนี้เป็นดังภาพที่ 2-14

ภาพที่ 2-14 Rigid heddle loom (www.ashford.co.nz. 2014)

2. Tapestry looms

เครื่องทอแบบนี้จะวางเส้นด้ายยืนอยู่ในแนวตั้ง โครงหรือกรอบทำจากไม้ พลาสติกหรือโลหะน้ำหนักเบา มีร่องหรือหมดที่ขอบของกรอบด้านบนและด้านล่างเพื่อใช้ขึงเส้นด้ายยืน การเพิ่มจำนวนชุดเส้นด้ายยืนที่เคลื่อนที่ได้อิสระ สามารถทำได้ด้วยการเพิ่มไม้ยกเส้นด้ายยืน ที่ใช้เชือกคล้องเอาไว้เป็นชุด ๆ ทำให้ทอผ้าได้ทั้งทั้งโครงสร้างง่าย ๆ จนถึงโครงสร้างซับซ้อน ขณะทำงานอาจวางกรอบไม้กับพื้นหรือบนโต๊ะก็ได้ ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2-15

ภาพที่ 2-15 Tapestry loom (www.ashford.co.nz. 2014)

3. Table looms

เครื่องทอแบบตั้งโต๊ะเป็นเครื่องทอที่มีตะกอ ขนาดเล็กพอจะวางบนโต๊ะทำงานหรือโต๊ะเครื่องมือทั่วไปได้ สามารถควบคุมตะกอแต่ละตะกอได้อิสระ สามารถยกตะกอสลับกันหรือพร้อมกันได้ มีให้เลือกใช้ตั้งแต่ 2-16 ตะกอ แต่เครื่องจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกอ ตัวเครื่องมีระบบม้วนด้ายยืนที่มีตัวหยุดการหมุนเพื่อรักษาความตึงเส้นด้ายยืนติดตั้งที่ด้านหลังเครื่อง มีระบบม้วนผ้าทำงานร่วมกับเฟืองกันกลับ(เฟืองทางเดียว)ที่ด้านหน้า เส้นด้ายจะออกจากม้วนด้ายยืนผ่านลวดตะกอ ฟันหวี และผ้าทอแล้วพันบนระบบม้วนผ้าเหมือนเครื่องทอขนาดใหญ่ทั่วไป ที่แตกต่างคือระบบต่าง ๆ ของเครื่องทอแบบตั้งโต๊ะมักทำงานด้วยมือคนทอ และมีขนาดเล็ก บางที่มี

การออกแบบให้เครื่องทอพับได้ เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ภาพที่ 2-16 เป็นภาพตัวอย่างลักษณะเครื่องทอแบบตั้งโต๊ะบางแบบที่มีจำหน่าย

ภาพที่ 2-16 แสดงลักษณะเครื่องทอแบบตั้งโต๊ะบางแบบ (www.ashford.co.nz. 2014)

4. Floor looms

เครื่องทอตั้งพื้นคือเครื่องทอตั้งโต๊ะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนตั้งบนโต๊ะไม่ได้ ต้องตั้งบนพื้นแทน และมีระบบแป้นเหยียบเพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของตะกอ ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2-17 ถ้าเครื่องทอมีหน้ากว้างมากระบบส่งเส้นด้ายพุ่งอาจใช้การกระตุกให้ตัวนำเคลื่อนที่แทนการส่งด้วยมือ นอกจากนี้จะมีระบบต่าง ๆ เหมือนกับเครื่องทอตั้งโต๊ะทุกประการ

ภาพที่ 2-17 แสดงลักษณะเครื่องทอแบบตั้งพื้นบางแบบ

(http://www.woolery.com/store/pc/Leclerc-Looms-c45.htm. 2014)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ลักษณะเครื่องทอผ้าแบบตั้งโต๊ะในภาพที่ 2-16 เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าขนาดเล็กสำหรับงานทอผ้าตัวอย่างต้นแบบ

2.4 **ระบบลมอัด** (Pneumatic system)[1]

นิวแมติกส์มาจากคำศัพท์ภาษากรีกว่า “Pneuma” หมายถึงหายใจหรือลม แต่ในปัจจุบันหมายถึง การนำลมอัดไปใช้กับเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการนำมาใช้ขับเคลื่อนและควบคุมอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ใช้ลมเป็นต้นกำเนิดกำลังในการทำงาน

อากาศที่นำมาใช้ในระบบนิวแมติกส์ประกอบด้วย ไนโตรเจน (nitrogen) ประมาณ 78 % โดยปริมาตร ออกซิเจน ประมาณ 21 % โดยปริมาตร และส่วนประกอบอื่น ๆ ดังนี้ คาร์บอนไดออกไซด์(Carbon-dioxide) อาร์กอน (argon) ไฮดรอเจน (hydrogen) นีออน (neon) ฮีเลียม (helium) ครีพตัน (krypton) และส่วนประกอบของไอน้ำ อากาศประกอบด้วยอณูเล็ก ๆ มีอะตอมเชื่องโยงกันเป็นคู่ ๆ คล้ายลูกบอล อากาศ 1 cm3 ประกอบด้วย 27 x 1018 อณู

ในปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ได้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอย่างมาก เนื่องจากระบบที่ใช้อุปกรณนิวแมติกส์นั้นง่ายต่อการใช้งานและซ่อมบำรุง รวมทั้งมีราคาไม่แพงและยังนิยมนำมาใช้ในเครื่องจักรอัตโนมัติและเครื่องจักรกลทันสมัยมากมาย เนื่องจากมีข้อดีดังนี้

1. ทนต่อการระเบิด ลมอัดไม่มีอันตรายจากการระเบิดหรือติดไฟ อุปกรณ์ราคาไม่แพง
2. รวดเร็ว ลูกสูบมีความเร็วในการทำงาน 1 ถึง 2 m/s ถ้าเป็นลูกสูบแบบพิเศษสามารถให้ความเร็วในการทำงานได้ถึง 10 m/s
3. การส่งถ่ายง่าย สามารถเดินท่อลมอัดในระยะทางไกลได้ และลมอัดที่ใช้แล้วไม่ต้องนำกลับ สามารถปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศได้เลย (เป็นระบบเปิด)
4. การเตรียมและเก็บรักษาได้ง่าย สามารถอัดเก็บไว้ในถังลม เพื่อนำไปใช้งานได้ต่อเนื่อง
5. ความปลอดภัย อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบลมอัดจะไม่เกิดการเสียหายจากงานที่เกินกำลัง
6. ควบคุมอัตราความเร็วได้ง่าย โดยใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของลมอัด

---

[1] ระบบอากาศอัด. 2557. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก;
http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)

7. การควบคุมความดัน ความดันของลมอัดที่ต้องการสามารถควบคุมได้ง่าย โดยใช้วาล์วควบคุมความดัน
8. สะอาด ลมอัดมีความสะอาดทำให้อุปกรณ์เครื่องใช้สะอาดหมดจด
9. โครงสร้างง่ายต่อการใช้งานและดูแล

สำหรับข้อเสียของระบบลมอัดคือ

1. ลมอัดสามารถอัดตัวได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ไม่สม่ำเสมอ
2. ลมอัดมีความชื้น เมื่อเย็นตัวจะเกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำในถังเก็บลมและท่อลม
3. ลมอัดต้องการเนื้อที่มาก เมื่อต้องการใช้แรงมากต้องใช้กระบอกสูบที่ขนาดใหญ่
4. ลมอัดมีเสียงดัง เมื่อมีการระบายลมออกจากอุปกรณ์ทำงาน จำเป็นต้องใช้ตัวเก็บเสียง (Silencer)
5. ความดันของลมอัดเปลี่ยนแปลงได้ โดยความดันของลมอัดจะเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

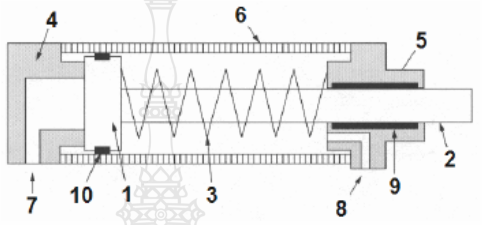
2.4.1 **อุปกรณ์พื้นฐานในระบบลมอัด**

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังในการทำงานและถูกควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยวาล์วควบคุมทิศทางของลมอัดที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ทำงาน วิธีการควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางสามารถเลือกใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น ลมอัด ไฟฟ้า แรงเชิงกล(กลไกและมนุษย์) อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังนั้น มีการเคลื่อนที่ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม อุปกรณ์ที่ให้การเคลื่อนที่เชิงเส้นได้แก่

1. กระบอกสูบทางเดียว(Single-acting cylinder) เป็นอุปกรณ์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกภายในกลวงและมีก้านสูบที่เคลื่อนที่ไปมาตามแกนกลาง ที่ปลายก้านสูบมีซีลกันลมรั่วและมีสปริงอยู่ระหว่างก้านสูบกับกระบอกสูบดังแสดงในภาพที่ 2-18 และมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในในภาพ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบมีค่าคงที่ขึ้นกับความยาวของกระบอกสูบ การสั่งงานให้ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เพียงทิศทางเดียว ด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกสูบในทิศทางต้านกับแรง

กระทำของสปริง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่และเมื่อหยุดจ่ายลมอัดให้กระบอกสูบ ก้านสูบจะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งปกติด้วยแรงกระทำจากสปริง

กระบอกสูบแบบทางเดียวมีให้เลือก 2 ลักษณะ คือ แบบปกติเข้า หรือแบบปกติออก ซึ่งการเข้าหรือออกขึ้นอยู่กับตำแหน่งสปริงภายใน ดังแสดงในภาพที่ 2-19



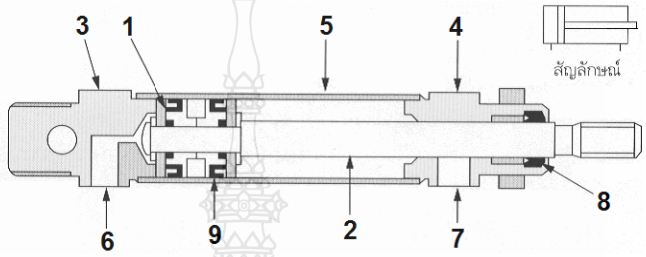
หมายเลข	รายละเอียด
1	ลูกสูบ (piston)
2	ก้านสูบ (piston rod)
3	สปริงดันกลับ Return spring
4	ฝาครอบท้าย (base end cover)
5	ฝาครอบหัว (head end cover)
6	กระบอกสูบ (cylinder tube)
7	รูต่อลม (pressure connector)
8	บูชก้านสูบ (bush and sealing element)
9,10	ซีลลูกสูบ (piston seal)

ภาพที่ 2-18 ชื่อและส่วนประกอบภายในลูกสูบทางเดียว

ภาพที่ 2-19 แสดงสัญลักษณ์ของกระบอกสูบทางเดียวแบบปกติเข้าและปกติออก

2. กระบอกสูบสองทาง(double acting cylinder) กระบอกสูบชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานและรูปลักษณ์ภายนอกเช่นเดียวกับกระบอกสูบทางเดียว แตกต่างเฉพาะภายใน สามารถสั่งงานได้ทั้งสองทิศทาง ด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกที่หัวหรือที่ท้ายกระบอกสูบจะทำให้ก้าน

สูบเคลื่อนที่เข้าหรือออก เมื่อจ่ายลมอัดเข้าที่ท้ายกระบอกสูบจะทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกและเกิดการระบายลมที่ค้างในกระบอกสูบออกทางด้านหัวกระบอกสูบ เมื่อไม่มีลมอัดจ่ายให้กระบอกสูบก้านสูบจะหยุดค้างอยู่ ณ ตำแหน่งสุดท้ายที่เคลื่อนที่ และสามารถใช้มือดึงก้านสูบได้เคลื่อนไปมาได้โดยอิสระแสดงส่วนประกอบภายในกระบอกสูบสองและชื่อส่วนประกอบภายในกระบอกสูบทางดังภาพที่ 2-20



หมายเลข	รายละเอียด
1	ลูกสูบ (piston)
2	ก้านสูบ (piston rod)
3	ฝาครอบท้าย (base end cover)
4	ฝาครอบหัว (head end cover)
5	กระบอกสูบ (cylinder tube)
6	รูต่อลมด้านลูกสูบ (pressure connector , base side)
7	รูต่อลมด้านก้านสูบ (pressure connector, head side)
8	ซีลก้านสูบ (bush and sealing element)
9	ซีลลูกสูบ (piston seal)

ภาพที่ 2-20 ชื่อและส่วนประกอบภายในลูกสูบแบบสองทาง

นอกจากกระบอกสูบในลักษณะทรงกระบอกธรรมดาแล้ว ยังมีกระบอกสูบชนิดพิเศษที่มีก้านสูบยาวทะลุกระบอกสูบทั้ง 2 ด้านและเคลื่อนที่เข้าออกสลับด้านกันเสมอ กระบอกสูบแบบช่วงชักหลายตำแหน่ง (Multi-Position cylinder) เป็นการนำกระบอกสูบสองตัวต่อกันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ 4 ตำแหน่ง และกระบอกสูบโรตารี(Rotary Actuator) กระบอกสูบชนิดนี้เมื่อจ่ายลดอัดเข้าภายใน ก้านสูบจะเกิดการหมุนไปมาได้แต่ไม่สามารถมุมรอบตัวมากกว่า 360 องศาได้ สามารถควบคุมการหมุนได้ทั้งสองทิศทาง คือ ตามเข็มและทวนเข็ม ในการเลือกใช้งานสามารถกำหนดมุมในการกวาดด้วยการปรับตั้งสลักที่ฐานหมุน

งานวิจัยนี้เลือกใช้กระบอกลมอัดแบบสองทางในการทำงานของระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง และระบบกระทบเส้นด้ายพุ่งทั้งหมด เนื่องจากมีชิ้นส่วนประกอบน้อย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในประเทศไทย การทอผ้าตัวอย่างนิยมใช้เครื่องทอที่มีอยู่แล้วทำการทอผ้าตัวอย่าง ดังนั้นจึงไม่ปรากฏงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องทอผ้าตัวอย่าง จนกระทั่ง สาธิต พุทธชัยยงค์ และ กฤษฎา จบกลศึก ได้เริ่มต้นพัฒนาเครื่องทอผ้าตัวอย่างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2530 ด้วยทุนส่วนตัว และประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2533 สามารถทอลวดลายได้ 16 ตะกอ หน้ากว้างผ้า 6 นิ้ว และปี พ.ศ. 2534 ได้มีโรงงานทอผ้า 2 แห่ง นำไปใช้งาน ต่อมาในปี พ.ศ. 2535 พัฒนาระบบการเปิดตะกอให้มีสมรรถนะการทำงานดีขึ้น และได้มีโรงงานทอผ้านำไปทดลองใช้อีก 1 แห่ง และได้นำระบบการเปิดตะกอแบบใหม่ไปเปลี่ยนให้กับโรงงาน 2 แห่งแรก ปี พ.ศ. 2536 - 2537 เป็นช่วงของการพัฒนาระบบการม้วนผ้าและการคลายเส้นด้ายยืนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และมีโรงงานนำเครื่องไปใช้เพิ่มเติมรวม 6 เครื่อง ปี พ.ศ. 2538 - 2539 พัฒนาระบบการส่งเส้นด้ายพุ่งด้วยกลไกรูปแบบใหม่ และขยายความกว้างหน้าผ้าจากเดิม 6 นิ้ว เป็น 10 นิ้ว และมีโรงงานอุตสาหกรรมนำเครื่องไปใช้เพิ่มเติมรวมเป็น 10 เครื่อง และ มีบริษัทจากต่างประเทศมาขอซื้อความคิดเพื่อนำไปผลิตขายในตลาดโลก แต่ได้ตอบปฏิเสธไป ปี พ.ศ. 2540 - 2541 พัฒนาระบบการเปิดตะกอแบบด๊อบบี้ (Dobby shedding) จากเดิม 16 ตะกอ เป็น 24 ตะกอ และมีบริษัทและโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า ได้นำไปใช้งานเพิ่มเติมรวมทั้งหมด 20 เครื่อง ราคาเครื่องทอผ้าตัวอย่างนี้ประมาณเครื่องละ400,000บาท[2]

จากการค้นคว้าพบว่านอกจากงานของ สาธิตย์ พุทธชัยยงค์ และ กฤษฎา จบกลศึก แล้วปัจจุบันยังไม่มีโครงการหรืองานวิจัยใด ๆ เกี่ยวกับเครื่องทอผ้าตัวอย่างปรากฏในประเทศไทย เฉพาะอย่างยิ่งเครื่องทอผ้าขนาดเล็กแบบตั้งโต๊ะ(table looms) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบขึ้น โดยใช้ระบบลมเป็นต้นกำลังในการทำงานให้กับระบบการเปิดช่องเส้นด้ายยืน ระบบการส่งเส้นด้ายพุ่ง และระบบการกระทบหน้าผ้า

[2] http://www.ismed.or.th/SME2/src/bin

ระบบม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืนทำงานด้วยมอเตอร์ขับโดยตรง กำหนดให้ควบคุมการทำงานให้สอดคล้องต่อเนื่องกันด้วย Programmable Logic Control(PLC) เนื่องจากน่าจะทำให้เครื่องทอมีชิ้นส่วนประกอบน้อยชิ้น ทำงานง่าย และราคาไม่สูงมาก เพื่อจะได้เป็นเครื่องมือช่วยในการพัฒนางานทอผ้าของวิสาหกิจอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม(SMEs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตผ้าทอของชุมชนทอผ้า หรือกลุ่มทอผ้าต่าง ๆ ที่กระจายกันอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศ ที่ไม่มีความจำเป็นต้องทำผ้าตัวอย่างมาก นัก เพราะเครื่องทอผ้าตัวอย่างของสาธิตย์ พุทธชัยยงค์ และกฤษฎา จบกลศึก เป็นเครื่องทอขนาดกลาง ที่เหมาะกับโรงงานทอผ้าที่ต้องมีการออกแบบลายผ้าและทอผ้าตัวอย่างใหม่ อย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงได้วางแผนและดำเนินงานวิจัยออก 3 ขั้นตอนคือ

1. ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก
2. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ
3. ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

3.1 การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากการศึกษาโดยตรงของผู้วิจัยเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพผ้าทอพื้นเมือง และระบบการทำงานของเครื่องทอผ้า ดังนี้

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพผ้าทอพื้นเมือง

การศึกษาในขั้นตอนนี้ทำเพื่อให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างผ้า รูปแบบการทอ ความหนาแน่นของเส้นด้ายยืน เพื่อนำไปใช้กำหนดในส่วนของจำนวนตะกอ กลไกยกตะกอ และอัตราการม้วนผ้าของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

3.1.2 ระบบการทำงานของเครื่องทอผ้า

การศึกษาในขั้นตอนนี้เพื่อให้ทราบถึง หลักการทำงานและส่วนประกอบจำเป็นที่สำคัญ ๆ ของเครื่องทอผ้า เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบระบบและส่วนประกอบที่จำเป็นอย่างเหมาะสมให้เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กสามารถทอผ้าได้เหมือนเครื่องจักรทอผ้าทั่วไป ดังนี้

3.1.1.1 ศึกษาแบบที่เหมาะสมของระบบเปิดช่องด้ายยืน

3.1.1.2 ศึกษาแบบที่เหมาะสมระบบม้วนผ้า

3.1.1.3 ศึกษาแบบที่เหมาะสมของระบบคลายด้ายยืน

3.1.1.4 ศึกษาแบบที่เหมาะสมของระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง

3.1.1.5 ศึกษาแบบที่เหมาะสมของระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง

3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

ภายหลังการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเรียบร้อยแล้ว จึงได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กขึ้น ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์และรายละเอียดในการออกแบบดังต่อไปนี้

3.3.1 เกณฑ์ในการออกแบบ

เกณฑ์ในการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กมีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

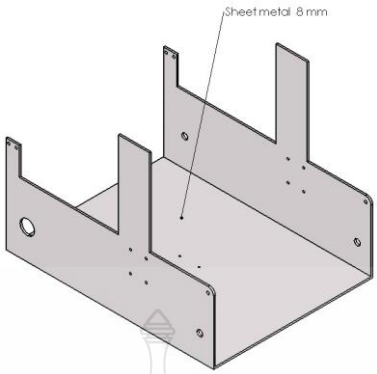
1. เครื่องต้องสามารถทำงานทอผ้าได้อย่างต่อเนื่อง
2. ผ้าที่ทอได้ต้องมีหน้ากว้างไม่ต่ำกว่า 10 นิ้ว
3. มีจำนวนตะกอให้ใช้ได้ไม่ต่ำกว่า 6 ตะกอ
4. สามารถทอผ้าลายพื้นฐาน ขนาดลายซ้ำไม่เกิน 5 ตะกอ
5. ระบบยกตะกอ ส่งด้ายพุ่ง และกระทบเส้นพุ่งทำงานด้วยระบบลมอัด(Pneumatic)
6. มีระบบม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืน

3.3.2 รายละเอียดในการออกแบบ

เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้องประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ คือ โครงเครื่อง ระบบเปิดช่องด้ายยืน ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง ระบบกระทบหน้าผ้า ระบบม้วนผ้า และระบบคลายด้ายยืน โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.1 รวมถึงการประยุกต์ใช้ความรู้และหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ และแนวทางจากลักษณะรูปร่างเครื่องทอวางบนโต๊ะ(Table looms) ภาพที่ 2-16 เพื่อให้เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กทำงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดในการออกแบบแต่ละส่วนดังนี้

3.3.2.1 โครงเครื่อง

โครงเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก ต้องมีขนาดเล็กแบบเดียวกับเครื่องทอตั้งโต๊ะที่มีการผลิตขายในต่างประเทศ สามารถวางบนโต๊ะทำงานหรือโต๊ะเรียนขนาดทั่วไป แต่เนื่องจากกำหนดให้ระบบยกตะกอ ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง และระบบกระทบเส้นพุ่งทำงานด้วยระบบลมอัด ที่มีแรงกระทำมาก จึงกำหนดให้ทำจากเหล็กแผ่นดำหนา 8 มม. เชื่อมประกอบเป็นโครงสำหรับติดตั้ง ส่วนประกอบอื่น ๆ และอุปกรณ์ต่าง ๆ แทนการใช้ไม้ ลักษณะดังภาพที่ 3-1

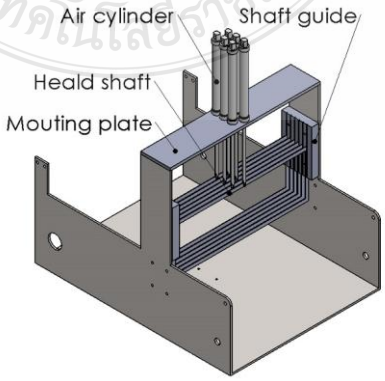


ภาพที่ 3-1 แบบโครงเครื่อง

3.3.2.2 ระบบเปิดช่องด้ายยืน

ระบบเปิดช่องด้ายยืนของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก กำหนดให้มีตะกอสำหรับใช้งาน 6 ตะกอ ทำงานด้วยระบบลมอัด(Pneumatic) ออกแบบให้ใช้กระบอกลมแบบสองทาง(Double acting air cylinders)จำนวน 6 กระบอก จัดเรียงไว้ด้านบนของโครงเครื่อง ลักณะดังแสดงในภาพที่ 3-2 ส่วนปลายของก้านสูบ ยึดกับโครงตะกอด้วยสกรู การเคลื่อนที่เข้าออกของลูกสูบควบคุมสั่งการทำงานด้วย PLC (Programmable Logic Control)

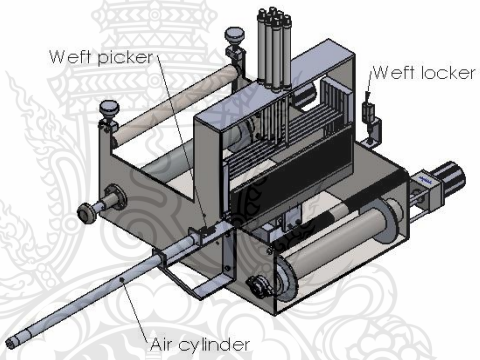
โครงตะกอทำจากเหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร ยึดติดกันเป็นกรอบรูปสี่เหลี่ยมด้วยสกรู ออกแบบให้มีขนาดที่สามารถใช้ได้กับลวดตะกอขนาดความยาว 180 มิลลิเมตร ที่ใช้ในเครื่องทอผ้าหน้าแคบ ซึ่งปกติจะมีขนาดชองช่องด้ายยืนเล็ก และกำหนดให้ค่า Slay eccentricity (ค่า “e”) ของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กมีค่ามากกว่า 1



ภาพที่ 3-2 แบบระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน

3.3.2.3 ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง

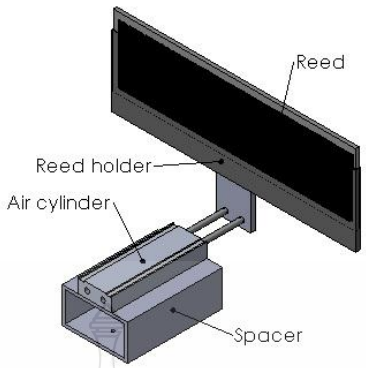
เพื่อให้ระบบส่งเส้นด้ายพุ่งของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก มีชิ้นคลื่อนไหวน้อย ไม่ซับซ้อน สามารถควบคุมช่วงเวลาในการส่งเส้นด้ายพุ่งได้ง่าย ผู้วิจัยจึงออกแบบส่วนนำพาเส้นด้ายพุ่งเป็นระบบลมแบบใช้กระบอกลมชนิดสองทางเช่นเดียวกับระบบเปิดช่องด้ายยืน โดยใช้ก้านสูบของกระบอกสูบทำหน้าที่เป็นก้านส่งเหมือนในระบบส่งเส้นด้ายพุ่งของเครื่องทอแบบก้านส่งขนาดปกติทั่วไป การส่งเส้นด้ายพุ่งเป็นแบบเส้นพุ่งคู่(double picks) เนื่องจากใช้วิธีส่งเส้นด้ายลักษณะห่วงเข้าไปในช่องเส้นด้ายยืน และมีกลไกจับเส้นด้ายพุ่งที่ริมผ้าด้านตรงข้าม ลักษณะการออกแบบจะเป็นดังแสดงในภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 แบบระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง

3.3.2.6 ระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง

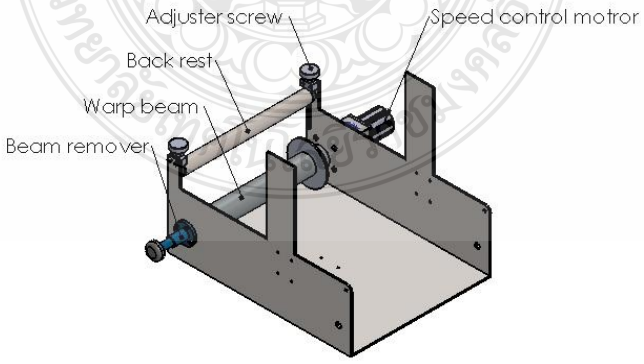
เนื่องจากระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน และระบบส่งเส้นด้ายพุ่งของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก ทำงานด้วยระบบลมอัด เพื่อให้การทำงานของการทำงานสอดคล้องกัน ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ต้นกำลังการเคลื่อนที่ระบบกระทบหน้าผ้าทำงานด้วยระบบลมอัดเช่นเดียวกัน โดยใช้กระบอกลมสองชนิดสองทางแบบสองก้านสูบ พาฟันหวีเคลื่อนที่เข้าเข้ากระทบเส้นด้ายพุ่งและถอยออกเป็นเส้นตรง การควบคุมช่วงเวลาทำงานทั้งสามระบบคือ ระบบเปิดช่องด้ายยืนระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง และระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง ให้ทำงานสอดคล้องกันตามวัฏจักรการทอผ้าผ่านทาง PLC(Programmable Logic Control) ลักษณะของระบบประกอบด้วยชิ้นส่วนดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 แบบระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง

3.3.2.5 ระบบคลายด้ายยืน

การคลายด้ายยืนของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก ออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการม้วนผ้าของระบบม้วนผ้า แกนม้วนด้ายทำจากเหล็กกลม ชุบมัน โดยกำหนดขนาดแกนม้วนด้ายยืนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนยกลางปีกม้วนด้ายเท่ากับ 130 มิลลิเมตร ปรับตั้งอัตราการคลายตามอัตราการม้วนผ้า ปรับความตึงหย่อนเส้นด้ายได้ด้วยการปรับตั้งระยะความสูงของคานพักด้ายยืนที่สกรูปรับ(Adjuster screws) ลักษณะของระบบและการติดตั้งเป็นดังภาพที่ 3-6

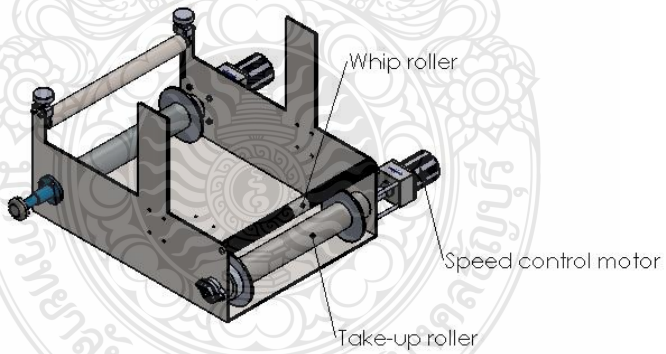


ภาพที่ 3-6 แบบระบบคลายเส้นด้ายยืน

3.3.2.4 ระบบม้วนผ้า

การม้วนผ้าของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก กำหนดออกแบบเป็นระบบม้วนผ้าแบบ Negative ให้ผ้าม้วนบนเพลาม้วนผ้าที่ถูกขับตรงด้วยมอเตอร์เกียร์โดยตรงเนื่องจากผ้าทอที่พันม้วนบนเพลาม้วนผ้ามีน้อย ความเร็วในการม้วนผ้าขึ้นอยู่กับความเร็วหมุนรอบตัวเองของเพลาม้วนผ้า จึงกำหนดให้ปรับความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งด้วยการปรับความเร็วในการการหมุนของมอเตอร์ ผ่านทางชุดควบคุมความเร็ว(speed control) ผู้วิจัยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้งม้วนผ้าไว้ที่ 60 มิลลิเมตร หรือเมื่อลูกกลิ้งม้วนผ้าหมุนครบรอบตนเอง 1 รอบ จะได้ผ้ายาว 188.5 มิลิเมตร เพลาม้วนทำจากเหล็กกลม ขัดผิวหยาบ เพื่อเพิ่มการยึดเกาะ

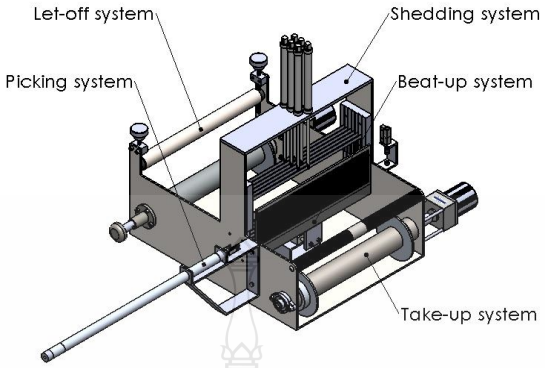
ระบบขับเพลาม้วนผ้าเป็นมอเตอร์แบบควบคุมความเร็ว(Speed control motor) ความเร็ว 90-1600 รอบต่อนาที ทำงานร่วมกับชุดเฟืออัตราทด 50:1 ให้อัตราทด 1.8:1 ลักษณะของระบบและการติดตั้งเป็นดังรูปที่ ลักษณะของระบบและการติดตั้งเป็นดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 แบบระบบม้วนผ้า

3.3.3 การสร้างเครื่องต้นแบบ

หลังจากการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก และสั่งทำชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามที่ออกแบบเรียบร้อย จึงได้สร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กตามแบบ ลักษณะดังภาพที่ 3-8 (ไม่ได้แสดงชุดควบคุมและอุปกรณ์ระบบลมไว้ในแบบ) ณ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งทอ 2 (เพิ่มเติม) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ภาพที่ 3-8 แบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

3.4 ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

หลังจากการประกอบ ทดสอบเบื้องต้น และแก้ไขข้อบกพร่องแล้ว เครื่องทอผ้าตัวอย่างต้นแบบจะถูกทดสอบและประเมินผล เพื่อหาสมรรถนะในการทำงาน โดยมีขั้นตอนในการทดสอบและบันทึกค่าเพื่อชี้ผลการทำวิจัย ดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนในการทดสอบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

1. กำหนดความกว้างผ้าที่ทอ
2. กำหนดขนาดฟันวี ขนาดเส้นด้ายยืน ขนาดเส้นด้ายพุ่ง
3. สืบเส้นด้ายยืน ร้อยตะกอ ร้อยฟันหวี
4. ปรับตั้งความเร็วรอบการทอและความเร็วม้วนผ้า
5. ทำการทอผ้าโครงสร้างลายขัด 1/1 ลายทะแยง 2/1 และลายซาติน 5 ตะกอ

3.4.2 ประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก

1. สามารมารถในการทอผ้าโครงสร้างพื้นฐาน 3 แบบคือโครงสร้างลายขัด 1/1 ลายทะแยง 2/1 และลายซาติน 5 ตะกอ

2. ความเร็วในการทอและการควบคุมความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่ง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

จากวิธีการดำเนินการวิจัยได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. การศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็ก
2. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ
3. การทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

ดังนั้นจึงแบ่งการเสนอผลการวิจัยและวิจารณ์ผลออกเป็น 4 หัวข้อ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของผ้าทอพื้นเมือง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยพบว่า ผ้าทอพื้นเมืองทั่วไป ใช้โครงสร้างไม่เกิน 3 ตะกอ ความหนาแน่นเส้นด้ายยืนอยู่ระหว่าง 40-120 เส้นต่อนิ้ว เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบที่ออกแบบและสร้างจึงมีตะกอให้ใช้ได้ 6 ตะกอ เพื่อใช้ขยายจำนวนตะกอหากเส้นด้ายมีความหนาแน่นมาก และสามารถทอผ้าทุกลายที่ใช้ตะกอไม่เกิน 6 ตะกอต่อลายซ้ำได้

4.1.2 ระบบการทำงานของเครื่องทอผ้า

จากผลการศึกษาพบว่า เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้องมีส่วนประกอบและชิ้นส่วนกลไกที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ระบบเปิดช่องด้ายยืน(Shedding systems)

ระบบกลไกเปิดช่องด้ายยืนที่เหมาะสมกับเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กคือ ระบบลมอัด (Pneumatic system) โดยใช้กระบอกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 16 มม. ความยาวก้านสูบ 140 มม. 1 กระบอกต่อ 1 ตะกอ จำนวนทั้งสิ้น 6 กระบอก ควบคุมการยกตะกอขึ้นลง ด้วย PLC (Programmable Logic Control) โปรแกรมให้ทำหน้าที่ ได้ 3 โครงสร้างหลักคือ ลายขัด 1/1 ลายทะแยง 2/1 และลายซาติน 5 ตะกอ

รูปแบการเคลื่อนที่เส้นด้ายยืนเป็นแบบ Bottom Close Shed ตำแหน่งปกติพัก(Rest position)ของเส้นด้ายยืนเป็นตำแหน่งที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออกสูงสุด ในการเคลื่อนที่ขึ้นของตะกอ

จากตำแหน่งเริ่มต้นจนกระทั่งสูงสุด(ก้านสูบเคลื่อนที่เข้ามากสุด)ระยะ 140 มิลลิเมตร และค้าง (Dwell)อยู่ในตำแหน่งนั้นตามเวลาที่กำหนด เพื่อให้เวลากับการส่งเส้นด้ายพุ่ง หลังจากนั้นก้านสูบจะเคลื่อนที่ออกพาตะกอกลับตำแหน่งเริ่มต้น รอการทำงานในวัฏจักรต่อไป

4.1.2.2 ขนาดช่องด้ายยืน

ความสูงของช่องด้ายยืนที่ด้านหน้าฟันหวีเมื่อตะกอยกขึ้นสูงสุดเท่ากับ 40 มม. ขนาดความสูงของตัวนำ(เมื่อติดตั้งไว้ที่แกนกระบอกลม)เท่ากับ 18 มม. ให้ค่า e = 2.22

4.1.2.3 ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง

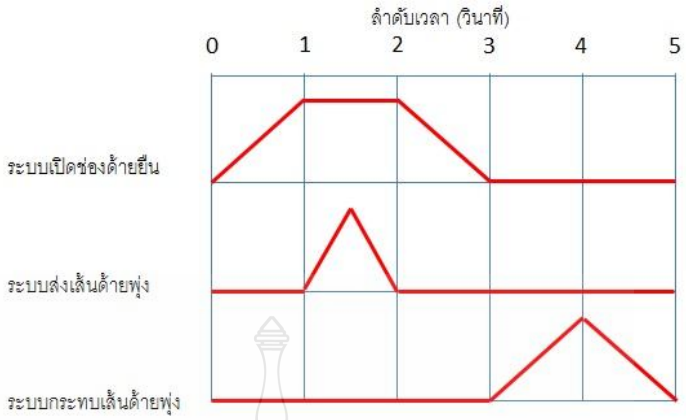
ใช้หลักการส่งเส้นด้ายพุ่งแบบก้านส่งแข็งก้านเดี่ยว ก้านส่งเคลื่อนที่ด้วยระบบลมอัด โดยใช้กระบอกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 20 มม. ความยาวก้านสูบ 600 มม. ติดตั้งอยู่กับที่ ส่งเส้นด้ายแบบดันเส้นด้ายเป็นห่วงเข้าไปในช่องด้ายยืน ที่ฝั่งตรงข้ามมีชุดจับเส้นด้ายพุ่งทำงานด้วยระบบลมอัด ระบบก้านส่งใช้ ควบคุมการทำงานด้วย PLC

ระยะทางในการเคลื่อนที่ของตัวนำเส้นด้ายพุ่งจากตำแหน่งเริ่มต้น(ก้านสูบอยู่ด้านในสุด)จนถึงตัวจับเส้นด้ายพุ่ง(ก้านสูบเคลื่อนที่ออกมากสุด)เท่ากับ 600 มิลลิเมตร หยุดค้างรอให้อุปกรณ์จับเส้นด้ายทำงาน แล้วเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น รอการทำงานในวัฏจักรต่อไป

4.1.2.4 ระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง

ระบบกระทบเส้นด้ายพุ่งของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กประกอบด้วยฟันหวีขนาดกว้าง 300 มม สูง 90 มม. เคลื่อนที่ไปมาในแนวนอนด้วยระบบลมอัด กระบอกสูบลมแบบก้านสูบคู่ ยาว 110 มม. ควบคุมการทำงานด้วย PLC เวลาในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น(ก้านสูบอยู่ด้านในสุด)จนกระทั่งฟันหวีกระทบเส้นด้ายพุ่งหรืออยู่ด้านหน้าสุด(ก้านสูบเคลื่อนที่ออกมากสุด)เท่ากับและใช้เวลาเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น

ความเร็วในการทำงานทอผ้าของเครื่องทอผ้าจึงถูกกำหนดด้วยเวลาการทำงานต่อหนึ่งวัฏจักรของการทำงานของระบบเปิดช่องด้ายยืน ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง และระบบกระทบเส้นพุ่ง เช่น กำหนดให้ใช้เวลา 5 วินาทีต่อวัฏจักร ความเร็วทำงานของเครื่องทอจะเท่ากับ 12 เส้นพุ่งต่อนาทีดังแสดงในแผนผังกำหนดเวลาทำงานของระบบในภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 แผนผังเวลาของวัฏจักรการทอของระบบลมอัด

4.1.2.5 การม้วนผ้า

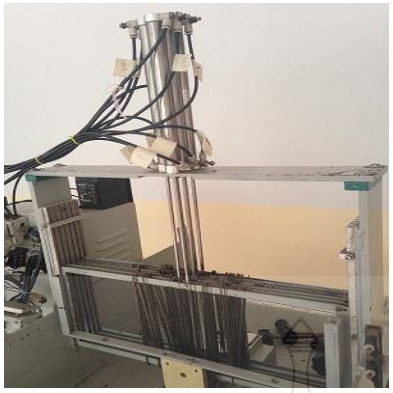
ใช้ระบบมอเตอร์ควบคุมความเร็วปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 90-1500 รอบต่อนาที กับชุดเกียร์ 3GN-50K อัตราทด 1.8-28 ขับเพลาม้วนผ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มม อัตราการหมุนรอบตนเองของเพลาม้วนผ้าจะเป็นความยาวผ้าที่ถูกดึงออกจากพื้นที่การทอ ความยาวผ้าต่อรอบเท่ากับ 7.42 นิ้ว

4.1.2.6 การคลายเส้นด้ายยืน

ใช้ระบบคลายเส้นด้ายยืนแบบสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการม้วนผ้า โดยใช้มอเตอร์ควบคุมความเร็วและชุดเกียร์ขนาดและแบบเดียวกับมอเตอร์ควบคุมความเร็วและชุดเกียร์ของระบบม้วนผ้า ควบคุมอัตราการคลายด้วยการปรับความเร็วมอเตอร์

4.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

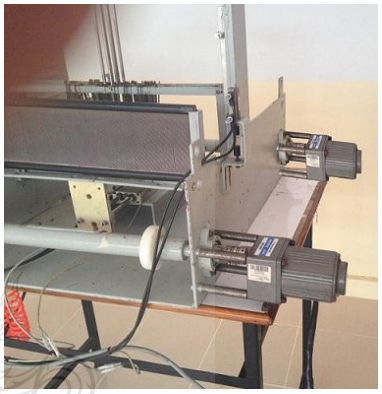
หลังการกำหนดเกณฑ์การออกแบบ ได้สร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ ประกอบด้วยชิ้นส่วนของระบบการทำงานสำคัญคือ ระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน(Shedding system) ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง(Picking system) ระบบกระทบเส้นพุ่ง(Beat-up system) ระบบม้วนผ้า(Take-up system)และคลายเส้นด้ายยืน(Let-off system) ดังภาพที่ 4-1 ตั้งแต่ ก ถึง จ ตามลำดับ



ก) ระบบเปิดช่องเส้นด้ายยืน

ข) ระบบส่งเส้นด้ายพุ่ง

ค) ระบบกระทบเส้นด้ายพุ่ง



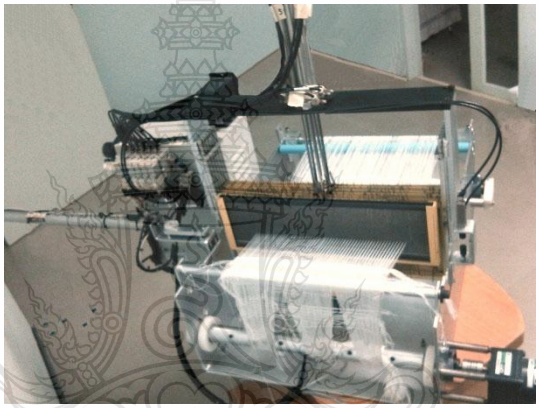
ง) ระบบม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืน

จ) เครื่องทอหลังประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด

ภาพที่ 4-2 เครื่องทอขนาดเล็กสำหรับทอผ้าตัวอย่างต้นแบบ

4.3 ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ

การการทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ ทำโดยตั้งความเร็วการทอไว้ที่ 12 เส้นพุ่งต่อนาที ความเร็วมอเตอร์ม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืนอยู่ที่ 90 รอบต่อนาที เริ่มต้นการทอด้วยโครงสร้างลายขัด 1/1 พบว่า สามารถทอได้แต่จำนวนเส้นด้ายพุ่งต่อความยาวผ้าที่ม้วนห่างมากประมาณ 1 เส้นต่อนิ้ว เนื่องจากขนาดอัตราทดของชุดเฟืองที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์ควบคุมความเร็วมีค่าน้อยเกินไป จึงปรับเปลี่ยนเป็นขนาดอัตราทด 400:1 และเปลี่ยนลูกกลิ้งม้วนผ้าให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงจาก 60 มิลลิเมตรเป็น 20 มิลลิเมตร เพื่อให้ความยาวผ้าต่อนาทีที่ถูกม้วนลดลง จึงสามารถควบคุมความหนาแน่นของเส้นด้ายพุ่งได้



ภาพที่ 4-3 เครื่องทอต้นแบบขณะทดลองทอผ้า

หลังการแก้ไข ได้ทำการทดลองทอที่ความเร็วรอบวัฏจักร 12 เส้นพุ่งต่อนาที พบว่า อัตราการขาดของเส้นด้ายยืนโดยเฉลี่ยประมาณ 1% เนื่องจากเส้นด้ายมีการเปลี่ยนแปลงความตึงถี่ตามรูปแบบของโครงสร้าง สำหรับโครงสร้างทะแยง 2/1 และซาติน 5- ตะกอ ไม่มีการขาดของเส้นด้ายยืน

ผลการทดสอบความหนาแน่นของเส้นด้ายพุ่ง พบว่า ผ้าทอลายขัด 1/1 มีความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 48 เส้นต่อนิ้ว ผ้าทอลายทะแยง 2/1 และลายซาติน 5 ตะกอมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันคือมีเส้นด้ายพุ่งโดยเฉลี่ย 46 เส้นต่อนิ้วและ 40 เส้นต่อนิ้วตามลำดับ

การทดลองปรับความเร็วรอบการทอให้เร็วขึ้นพบว่า ระบบจ่ายลมไม่สามารถสร้างแรงดันให้กระบอกลมได้ได้เนื่องจากชุดจ่ายลมมีขนาดเล็ก และมีการกระทกของระบบรุนแรง จึงไม่สามารถทดสอบประสิทธิภาพการทอได้

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย เครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบสามารถทอผ้าสำหรับนำไปใช้ทำเป็นตัวอย่างได้ตามวัตถุประสงค์ แต่สมรรถนะการทำงานยังไม่เพียงพอต่อการทำงานในเชิงพาณิชย์ ต้องการการพัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมในบางส่วน เพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ต่อไปในอนาคต

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผ้าทอพื้นเมืองเป็นสินค้าที่รัฐบาลส่งเสริมและให้การสนับสนุนมาโดยตลอด เพราะช่วยเพิ่มศักยภาพทางเศรฐษกิจและสังคมของชาวบ้านในชนบท แต่ธุรกิจผ้าทอพื้นเมืองไทยยังไม่สามารถก้าวไปสู่ความสำเร็จในทางธุรกิจได้ ซึ่งผลการศึกษาของผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับธุรกิจการผลิตผ้าทอพื้นเมืองไทย ได้สรุปและให้ข้อเสนอแนะไว้หลายประเด็น ประเด็นหนึ่งในนั้นคือ การนำเสนอผลิตภัณฑ์เชิงรุก หรือสร้างการรับรู้ในผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า เพื่อบอกให้ลูกค้ารับทราบว่า ผู้ผลิตมีสินค้าประเภทใดบ้าง สำหรับธุรกิจการผลิตผ้า จะมีการผลิตและนำเสนอผ้าตัวอย่างให้ลูกค้า เพื่อใช้ในการตัดสินใจสั่งซื้อหรือสั่งผลิต ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบสำหรับทอผ้าพื้นเมืองตัวอย่างขนาดหน้ากว้างไม่เกิน 10 นิ้ว สำหรับนำเสนอลูกค้า โดยศึกษาข้อมูลทางกายภาพของผ้าทอพื้นเมือง และระบบการทำงานของเครื่องทอจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำไปเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ สร้างเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ และทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน พบว่าเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบที่สร้างขึ้น สามารถทอผ้าโครงสร้างแบบเดียวกับผ้าทอพื้นเมืองคือ ลายขัด 1/1 และลายทะแยง 2/1 ได้ ขนาดความกว้างผ้าอยู่ในเกณฑ์ตัดรวบรวมเป็นสมุดผ้าตัวอย่างตามขนาดชิ้นตัวอย่างมาตรฐานคือ (กว้าง 5.5 นิ้ว ยาว 6.5 นิ้ว) แต่การปรับความหนาแน่นเส้นด้ายพุ่งทำได้ยากเนื่องจาก ออกแบบระบบม้วนผ้ากับระบบทำให้เส้นด้ายยืนขัดกับเส้นด้ายพุ่ง ทำงานแยกอิสะจากกัน โดยส่วนสอดขัดเส้นด้ายทำงานด้วยระบบลมอัดที่ถูกกำนดการทำงานเป็นวัฏจักรเวลาที่ 12 รอบต่อนาที ขณะที่ระบบการม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืน ใช้มอเตอร์แบบปรับความเร็วขับเพลาม้วนผ้าและคลายเส้นด้ายยืน อัตรการม้วนผ้าจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนรอบตนเองของเพลาม้วนผ้า จึงควรมีการพัฒนาต่อไป

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องทอผ้าตัวอย่างขนาดเล็กต้นแบบ พบว่าควรมีการพัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมบางประการเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ในอนาคต ดังนี้

1.พัฒนาเพิ่มเติมให้มีชุดป้อนเส้นด้ายพุ่งที่สามารถเลือกใช้เส้นด้ายพุ่งในขณะทำการทอได้มากกว่าหนึ่งเส้น เพื่อให้สามารถทอผ้าตัวอย่างที่ต้องการใช้สีเส้นด้ายพุ่งมากกว่าหนึ่งสีหรือหนึ่งชนิดได้

2. พัฒนาให้มีระบบควบคุมที่สามารถควบคุมความเร็วในการม้วนผ้าให้สัมพันธ์กับความเร็วในการทำงานของกลไกส่วนเปิดตะกอ ส่งเส้นด้ายพุ่ง และกระทบเส้นด้ายพุ่ง

3. พัฒนาให้มีชุดหนามริมผ้าช่วยดึงรั้งหน้าผ้าบริเวณด้านหน้าฟันหวี จะช่วยให้การทอผ้ามีประสิทธิภาพและผ้ามีคุณภาพเพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บรรณานุกรม

บริษัท ไทยประกันชีวิต จำกัด. 2545. ผ้าไทย หนังสือชุดภูมิแผ่นดินไทย.

ศักดา น้อยจันทร์, และคณะฯ. 2544. การรวบรวมข้อมูลทางด้านกรรมวิธีการผลิตผ้าทอพื้นเมืองไทยในรูปแบบ CAI-Multimedia. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

นคร คงช่วย, 2546. เครื่องทอไร้กระสวย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.

ระบบอากาศอัด. 2557. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก; http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay31%20Compressed%20Air.pdf

R. Marks, A.T.C. Robinson. 1976.Principle of Weaving. The Textile Institute, Hobbs the Printers Company, New York, U.S.A.,

P.R. Lord and M.H. Mohamed, 1976. Weaving: Conversion of Yarn to Fabric, Merrow Publishing Co., Ltd., England.

A Tailored suit. 2014 [online] เข้าถึงได้จาก; http://www.atailoredsuit.com/order-fabric-swatch-tailored-suit.html

How to choose the best loom for your need. 2014. [online] เข้าถึงได้จาก; http://www.theloomroom.co.uk/userfiles/file/How%20to%20choose%20the%20best%20loom%20for%20your%20needs.pdf

Table looms. 2014 [Online] เข้าถึงได้จาก; http://www.ashfordcraftshop.co.nz/cms/index.php/shop-online/weaving/looms

Floor looms. 2014. [Online] เข้าถึงได้จาก; http://www.woolery.com/Store/pc/Leclerc-Floor-Looms-c453.htm