



การจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบชีโครงและแบบเชื่อมเกี่ยวกันเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ

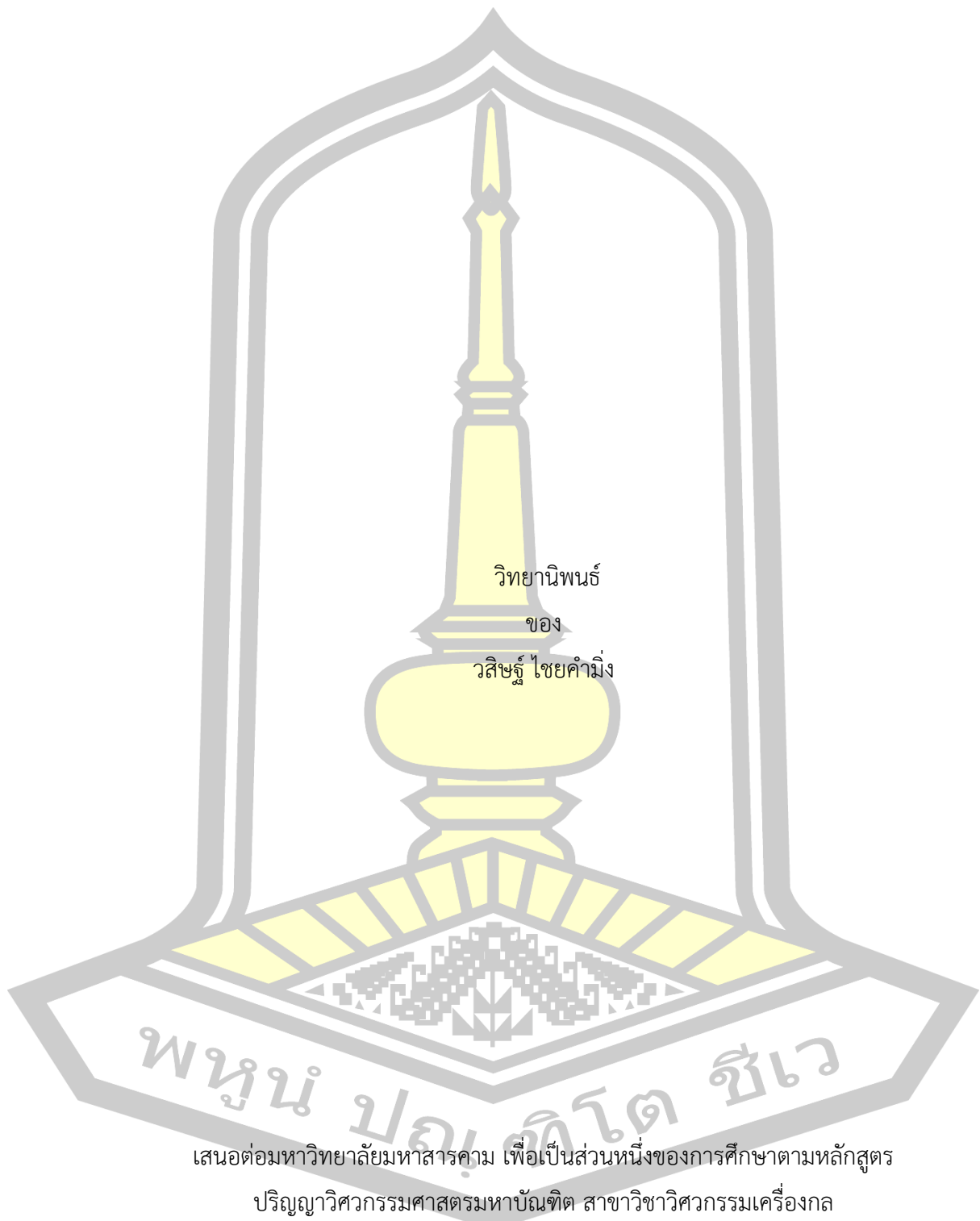
วิทยานิพนธ์  
ของ  
วณิชฐ์ ไชยคำมิ่ง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครงและแบบเชื่อมเกี่ยวกันเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ



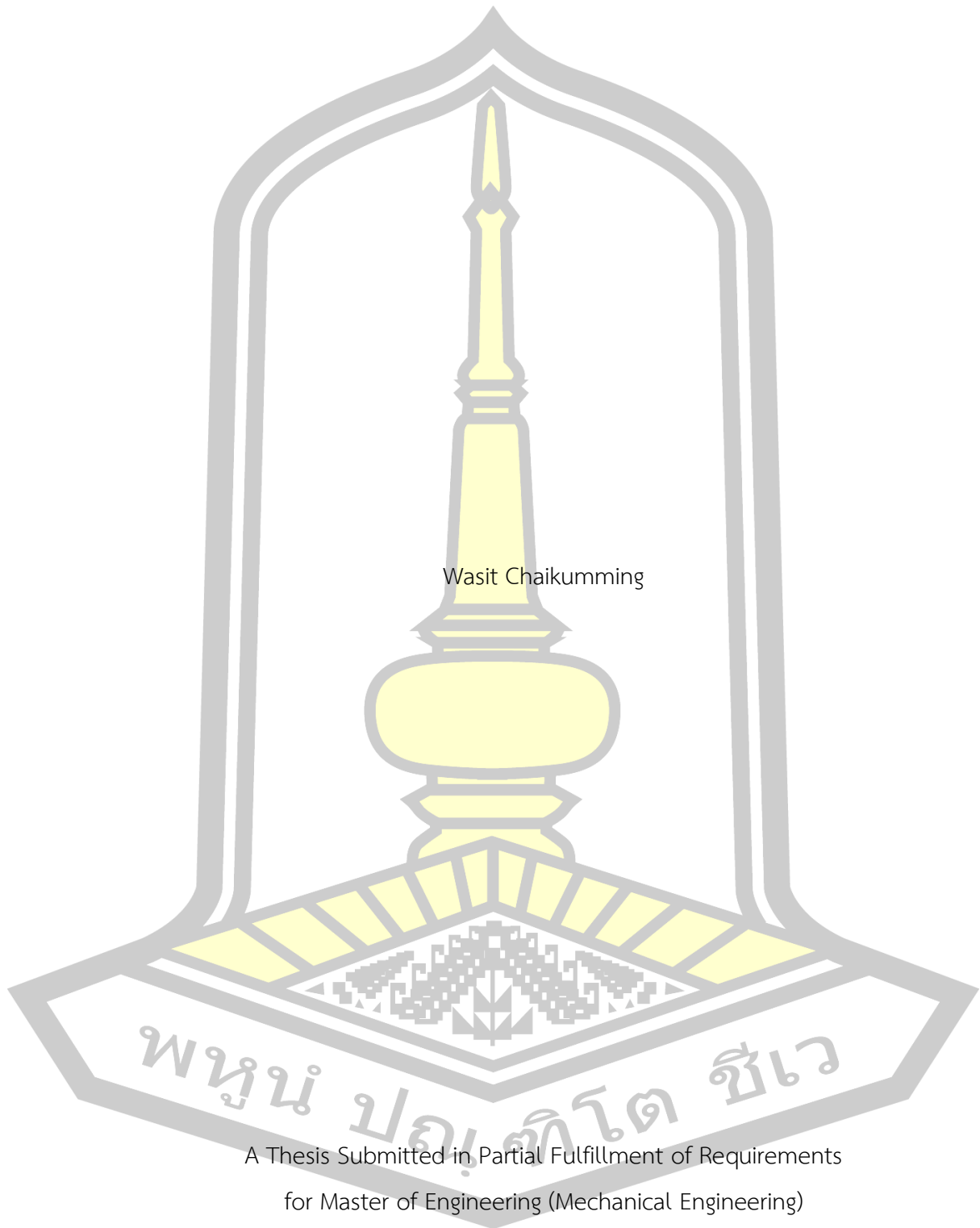
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Modeling of Rib and Interlock knitted fabric structures to analyze air permeability



Wasit Chaikumming

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

December 2024

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวิสิษฐ์ ไซยคำมิ่ง แล้ว  
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. คณิศร ภูนิคม )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป )

กรรมการ

(รศ. ดร. ยศรฐา ศรีเทพ )

กรรมการ

(รศ. ดร. สุตสาคร อินธิเดช )

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. คณิศร ภูนิคม )

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. จักรมาส เล้าหวณิช)

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

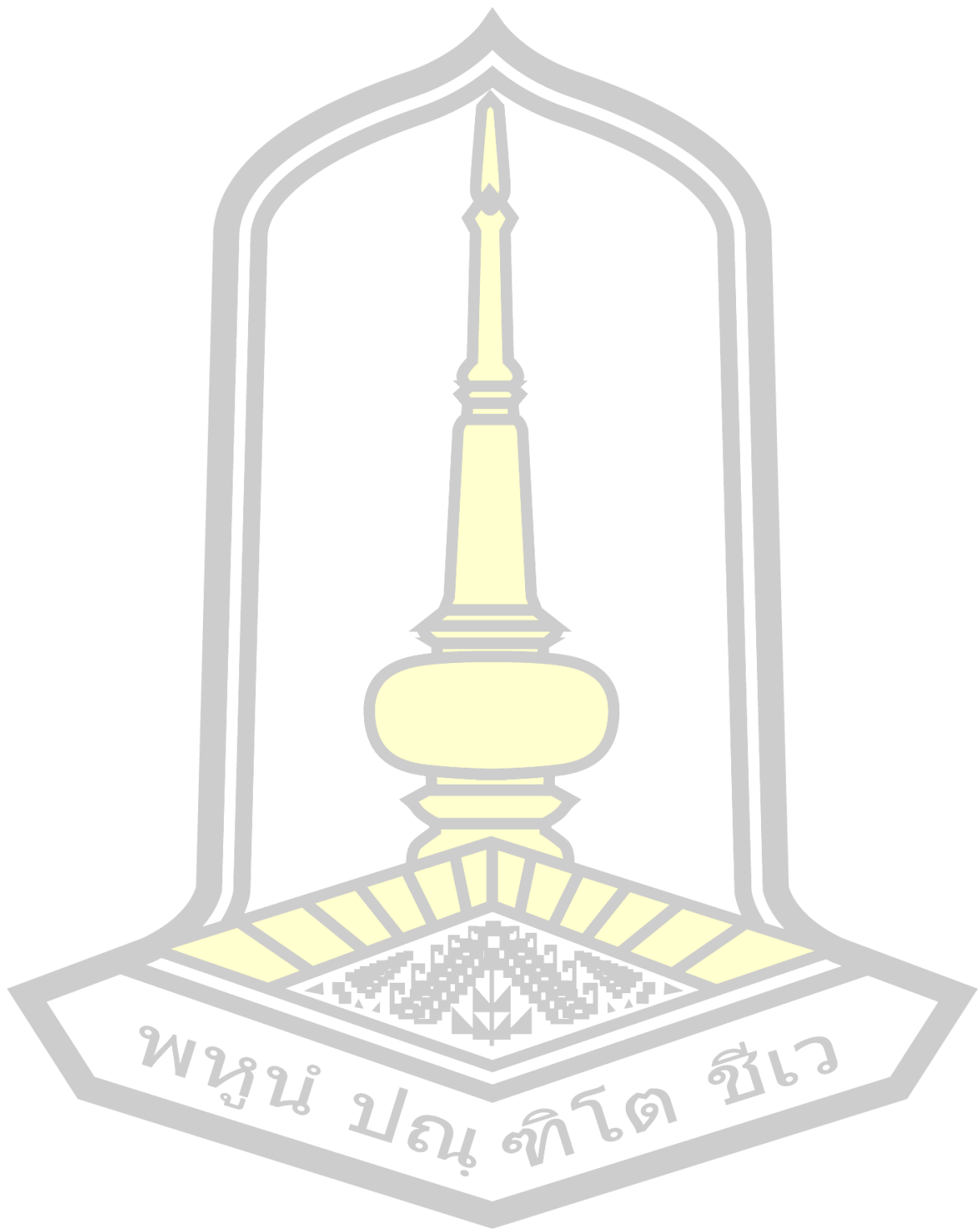
พูน บัณฑิต ชีวะ

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครงและแบบเชื่อมเกี่ยวกันเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ		
<b>ผู้วิจัย</b>	วสิษฐ์ ไชยคำมิ่ง		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป		
<b>ปริญญา</b>	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	<b>สาขาวิชา</b>	วิศวกรรมเครื่องกล
<b>มหาวิทยาลัย</b>	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	<b>ปีที่พิมพ์</b>	2567

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ใช้วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อจำลองการซึมผ่านของอากาศด้วย เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) จำนวน 5 ชั้น เส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) สำหรับผ้าถักแบบซี่โครง Rip 1x1 และผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitted fabric) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปทรงเรขาคณิตของผ้าถัก 2 ประเภท ที่มีความหนาแน่นของด้ายแนวตั้ง (Wale) และด้ายแนวนอน (Courses) ที่แตกต่างกัน ประเภทละ 3 รูปแบบ และการทดสอบการซึมผ่านของอากาศในตัวอย่างทั้งหมดจะถูกกำหนดเป็น 1 หน่วย Unit-cell แล้วจึงนำมาทำการประยุกต์กับแบบจำลองทางเรขาคณิต 4 โมเดล ของผ้าถัก ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลอง Peirce model, Leaf and Glaskin model, Kurbak model และ Vassiliadis model. ซึ่งใน 1 หน่วย Unit-cell ของแต่ละแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks ซึ่งพิจารณารูปร่างที่แท้จริงของวงถักในพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ CFD กับตัวอย่างทั้งหมด 48 ตัวอย่าง ทั้งในเส้นด้ายเส้นเดี่ยว และเส้นด้ายที่มีการประกอบกันของเส้นใย โดย SolidWorks Flow Simulation ใช้สำหรับการวิเคราะห์ CFD ผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้มานำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการจำลองของ 4 โมเดล ผลการทดลองการซึมผ่านของอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะได้จากเครื่อง SDL Atlas M021A Air Permeability Tester เพื่อหาแบบจำลองผ้าถักที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายอัตราการไหล และความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ สรุปได้ว่าแบบจำลอง CFD เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการทำนายการซึมผ่านของอากาศของผ้าถักโดยใช้หน่วย 1 Unit-cell วิธีนี้สามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในการแก้ปัญหาได้

คำสำคัญ : พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การประกอบเส้นใย, หนึ่งหน่วยยูนิตเซลล์, การจำลองการไหล, เส้นด้ายเส้นเดี่ยว



<b>TITLE</b>	Modeling of Rib and Interlock knitted fabric structures to analyze air permeability		
<b>AUTHOR</b>	Wasit Chaikumming		
<b>ADVISORS</b>	Associate Professor Keartisak Sriprateep , D.Eng.		
<b>DEGREE</b>	Master of Engineering	<b>MAJOR</b>	Mechanical Engineering
<b>UNIVERSITY</b>	Maharakham University	<b>YEAR</b>	2024

### ABSTRACT

This research investigates the air permeability of knitted fabrics using Computational Fluid Dynamics (CFD). The study focuses on two types of knitted structures, Rib 1x1 and Interlock, with different fiber arrangements in the vertical (Wale) and horizontal (Courses) directions. The simulation utilizes five layers of yarns in Single line of yarn and Fiber assemble model configurations, modeled as one Unit-cell based on theories including the Peirce, Leaf and Glaskin, Kurbak, and Vassiliadis models. SolidWorks was used to create 3D Unit-cell structures, which were then analyzed using SolidWorks Flow Simulation to study the airflow characteristics across 48 fabric configurations. The results from the CFD simulation were compared with experimental data obtained using an SDL Atlas M021A Air Permeability Tester. Findings indicated that higher yarn density reduced air permeability due to smaller pore sizes in the fabric structure. This study demonstrates the effectiveness of CFD as a predictive tool for air permeability analysis, offering significant time efficiency and reducing the need for experimental trials in fabric design and optimization.

Keyword : Computational Fluid Dynamics (CFD), fiber assembly, Unit-cell, Flow Simulation, single line

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ได้ดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือ รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ที่ให้คำปรึกษาองค์ความรู้อัน เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณิต ภูนิคม ผู้ทรงคุณวุฒิประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สุดสาคร อินธิเดช และ รองศาสตราจารย์ยุศฐา ศรีเทพ อาจารย์ประจำ หลักสูตร ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำแนวทาง ข้อคิดที่อันเกิดประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ มรรความสมบูรณ์ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ครอบครัว ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษาของผู้วิจัยมาโดย ตลอด รวมทั้งบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้กล่าวมาทั้งหมด

วสิษฐ์ ไชยคำมิ่ง



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
ตาราง.....	ฉ
ภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าถัก.....	5
2.2 โครงสร้างผ้าถัก.....	5
2.2.1 ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock Knitted fabric).....	6
2.2.2 โครงสร้างและคุณสมบัติผ้าถักแบบซี่โครง.....	7
2.3 โครงสร้างเส้นใย.....	8
2.4 จำนวนเกลียวของเส้นด้าย.....	8
2.5 ขนาดของเส้นด้าย (Yarn Size).....	10
2.5.1 ระบบตรงและหน่วยของระบบตรง.....	10

2.5.2 การคำนวณเบอร์ด้ายในระบบกลับ .....	10
2.6 ลักษณะภาพตัดของโครงสร้างเส้นด้าย .....	11
2.6.1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย .....	12
2.7 การใช้งานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างเส้นด้าย.....	15
2.7.1 การจำลองโดยหลักการของตำแหน่งจำลองแบบจำลองทั่วไป .....	16
2.7.2 การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	17
2.7.3 การวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานด้วย SolidWorks Simulation .....	18
2.7.4 การซึมผ่านของอากาศ.....	19
2.8 แบบจำลองเชิงเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการถักเส้นด้าย .....	19
2.8.1แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Peirce’ model .....	20
2.8.2 แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Model of Leaf and Glaskin.....	22
2.8.3.แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Model Kurbak.....	23
2.8.4 แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Vassiliadis’s model .....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	26
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาและวิจัยกระบวนการออกแบบการศึกษาการซึมผ่านของอากาศ ในผ้าถักด้วย CAD .....	27
3.2 ขึ้นรูปจำลองของโครงสร้างผ้าถักโดยใช้โปรแกรม SolidWorks .....	28
3.3 CFD ANALYSIS.....	29
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน .....	31
4.1 ผลการดำเนินงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถัก .....	32
4.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก.....	37
4.2.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yam) .....	37
4.2.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก (Fiber assemble model) .....	39

4.3 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก.....	40
4.3.1 การจำลองการซึมผ่านของอากาศแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Simulation Air permeability with Single line of yarn).....	41
4.3.2 การจำลองการซึมผ่านของอากาศแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยวและเส้นด้ายแบบประกอบเส้นใยSimulation Air permeability with fiber assemble model.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	52
5.2 อภิปรายผล .....	52
5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย .....	53
บรรณานุกรม.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก ก.....	58
ภาคผนวก ก การจำลองโครงสร้างผ้าถัก 3 มิติแบบ .....	59
ภาคผนวก ข แสดงวิธีการ Flow Simulation.....	62
ประวัติผู้เขียน.....	66



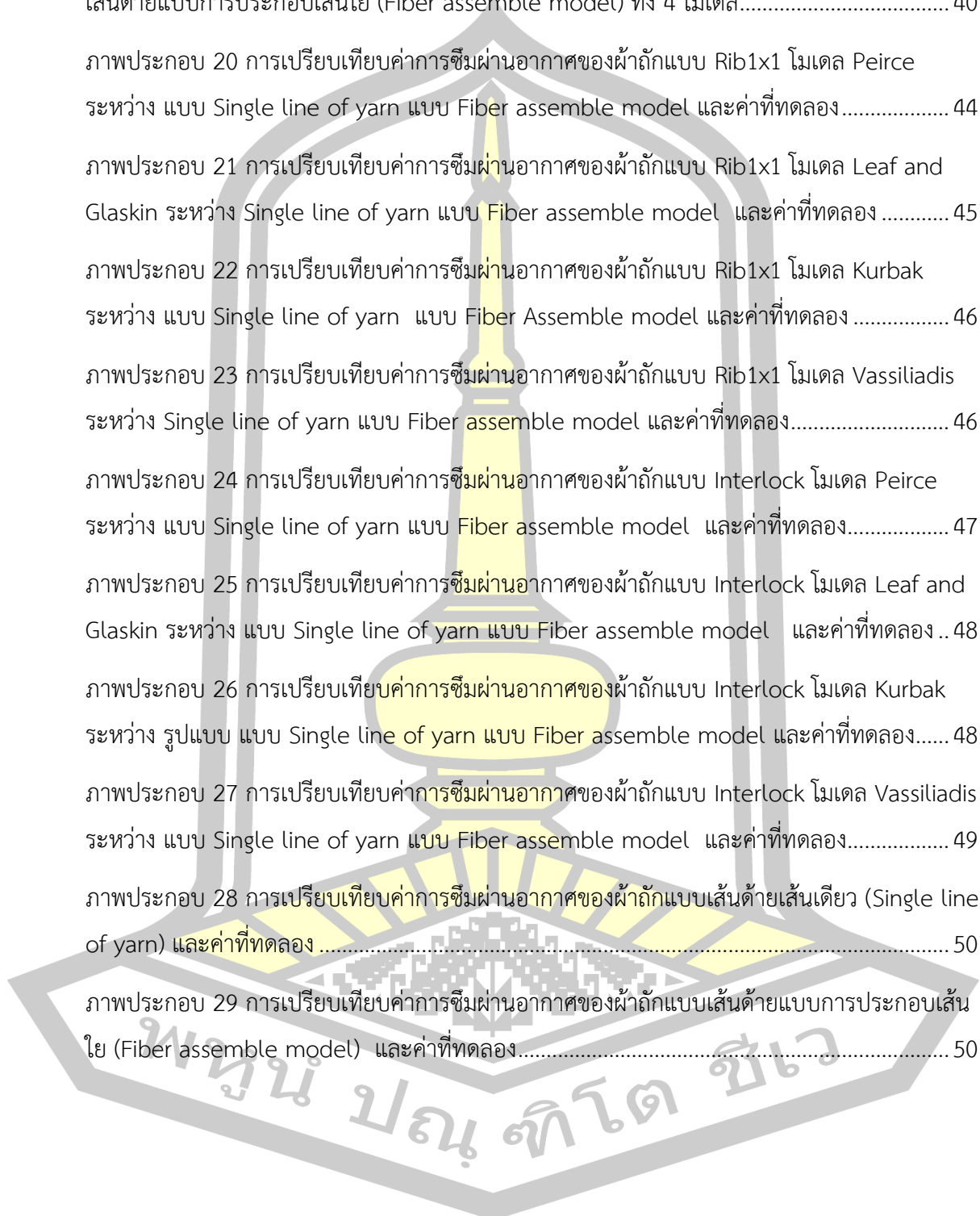
## ตาราง

	หน้า
ตาราง 1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยในเส้นด้ายสำหรับการบรรจุเปิด (open packing).....	15
ตาราง 2 สมบัติการจำลองโครงสร้างของตัวอย่างผ้าถัก.....	28
ตาราง 3 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ในหน่วยพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .....	33
ตาราง 4 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกันของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ในหน่วยพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .....	33
ตาราง 5 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib1x1 ของ (Fiber assembly model) ในหน่วยพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .....	34
ตาราง 6 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของ (Fiber assembly model) ในหน่วยพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .....	34
ตาราง 7 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 ของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ในหน่วย Unit-cell.....	35
ตาราง 8 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 (Fiber assembly model) ในหน่วย Unit-cell.....	35
ตาราง 9 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว(Single line of yarn) ในหน่วย Unit-cell.....	36
ตาราง 10 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของ (Fiber assembly model) ในหน่วย Unit-cell.....	36
ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก (Single line of yarn).....	41
ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก Fiber assemble model....	43

## ภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างรูปแบบของการถักทอของเส้นตามแนวนอนและแนวตั้ง .....	6
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างการถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitted model).....	7
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 .....	8
ภาพประกอบ 4 ทิศทางเกลียว s และ z ของเส้นด้าย .....	9
ภาพประกอบ 5 ภาพหน้าตัด open packing ของเส้นด้ายที่มีเส้นใยวงกลมบรรจุอยู่ในชั้นเลเยอร์ที่ 2 และ 3 และลักษณะวงกลม 4 ชั้นของเลเยอร์ที่ใช้จุดศูนย์กลางร่วมกัน .....	11
ภาพประกอบ 6 เรขาคณิตของเส้นด้ายในโครงสร้างแบบเกลียว (Helical Structure) ทรงกระบอก 12	
ภาพประกอบ 7 แสดงพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายด้วยวิธีการ .....	13
ภาพประกอบ 8 รูปแบบของตำแหน่งการจำลองเส้นด้าย .....	17
ภาพประกอบ 9 แบบจำลองโครงสร้างผ้าถักของ Peirce' model.....	21
ภาพประกอบ 10 มุมมองด้านข้างของห่วงบนกระบอกอ้างอิง (Peirce' model).....	21
ภาพประกอบ 11 ภาพโครงสร้างลูปบนระนาบของผ้า Model of Leaf and Glaskin.....	22
ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างลูปที่มีค่า K1 เท่ากัน.....	23
ภาพประกอบ 13 แบบจำลองโครงสร้างเรขาคณิตโมเดล Kurbak.....	24
ภาพประกอบ 14 แบบจำลองโครงสร้างทางเรขาคณิตของห่วงถัก Vassiliadis model.....	25
ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	26
ภาพประกอบ 16 การจำลองกล่องโดเมนในหน่วย Unit-cell.....	29
ภาพประกอบ 17 การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 (9/11) ของ Kurbak models ในรูปแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model).....	32
ภาพประกอบ 18 ผลการจำลองความเร็วการไหลซึมผ่านของอากาศในรูปแบบการจำลองบนผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line yarn) ทั้ง 4 โมเดล.....	38

ภาพประกอบ 19 ผลการจำลองความเร็วการไหลซึมผ่านของอากาศในรูปแบบการจำลองผ้าถักแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) ทั้ง 4 โมเดล.....	40
ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Peirce ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง.....	44
ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Leaf and Glaskin ระหว่าง Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง .....	45
ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Kurbak ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber Assemble model และค่าที่ทดลอง .....	46
ภาพประกอบ 23 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Vassiliadis ระหว่าง Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง.....	46
ภาพประกอบ 24 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Peirce ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง.....	47
ภาพประกอบ 25 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Leaf and Glaskin ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง ..	48
ภาพประกอบ 26 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Kurbak ระหว่าง รูปแบบ แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง.....	48
ภาพประกอบ 27 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Vassiliadis ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง.....	49
ภาพประกอบ 28 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) และค่าที่ทดลอง .....	50
ภาพประกอบ 29 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) และค่าที่ทดลอง.....	50



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทอย่างมากต่อการเติบโตและพัฒนาของเศรษฐกิจไทยมากกว่าหลายทศวรรษ อุตสาหกรรมนี้จัดได้ว่ามีมูลค่าอยู่ในระดับต้นๆของอุตสาหกรรมส่งออกของประเทศโดยมีตลาดสำคัญคือ กลุ่มประเทศอาเซียน สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เป็นต้น ในเชิงเศรษฐกิจนับตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมสิ่งทอมีบทบาทมากในอุตสาหกรรมการผลิตของไทยกล่าวคือ มูลค่าการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์ประชาชาติเบื้องต้น จารึก สิงห์ปรีชา (2558)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทยมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงวัตถุดิบ กระบวนการผลิตการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่รวมถึงการออกแบบให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ของไทยเองได้มีการดำเนินการตามแนว BCG เพื่อเน้นการลดของเสียให้น้อยที่สุด และการใช้วัสดุในการผลิตและการบริโภคให้นานที่สุด เช่น การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในกระบวนการผลิตลดการใช้สารเคมีลดการใช้พลังงานลดต้นทุนการนำเศษผ้าที่เหลือจากการตัดเย็บมาทอแทรก ทำให้เกิดผ้าผืนใหม่ที่มีลวดลายและผิวสัมผัสแตกต่างจากเดิมเป็นในบรรดาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ประเทศไทยผลิตได้ ผ่าถักนับว่าเป็นสินค้าที่มีส่วนแบ่งและการส่งออกในตลาดสูงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าถักให้ มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับ จึงจำเป็นต้องทราบลักษณะเฉพาะในการทำนายสมบัติของผ้าถักที่แม่นยำเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ที่โดยมีการศึกษางานวิจัยและนำเสนอลักษณะ โครงสร้างกายภาพเส้นใยและเส้นด้าย Sriprateep & Bohez (2009) และในการพันโครงการผ้าถัก นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาพัฒนาปรับปรุงควบคู่ไปกับรูปทรงเลขาคณิตในการออกแบบโครงสร้าง ผ้าถักเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหรือทราบถึงจุดดบกพร่องในการออกแบบก่อนที่จะนำไป ประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมการผลิต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเลขาคณิตของผ้าถักและได้รับการยอมรับทั้งเป็นที่รู้จัก อย่างแพร่หลายนั้นและนำมาถูกศึกษาและอ้างอิงจนถึง ณ ปัจจุบันนั้น Peirce (1947) ถึงหลักการทาง เรขาคณิตที่ใช้กับการออกแบบผ้าใช้งานได้จริง โดยอาศัยวิธีการทางเรขาคณิต เรียกว่า “แบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ของเพียซ” (Peirce’s model) แบบจำลองนี้มีการนำไปใช้ในการ คำนวณหาสมบัติเชิงโครงสร้างต่างและอีกหลายแบบจำลองที่ได้ถูก Leaf and Glaskin (1955) ศึกษาและพัฒนาต่อ

ยอดมาจากความสัมพันธ์บางอย่างระหว่างจำนวนเส้นใยแนวตั้งต่อนี้ว, จำนวนเวลส์ต่อนี้วและความยาวของเส้นด้ายที่ถักเป็นวงเดียวและมีข้อสันนิฐานเกี่ยวกับแรงบิดหรือเกลียวที่เกิดจากตัดเส้นด้ายให้เป็นรูปทรงที่เสนอ อีกทั้งแบบจำลองดังกล่าวถูกสร้างขึ้นมาจากลักษณะโครงสร้างแบบสองมิติทำให้มีปัญหาต่อการใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายสมบัติต่าง ๆ ของผ้าที่เกิดขึ้นจริงในภาวะต่าง ๆ ยุงยาก

การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบรูปทรงเรขาคณิตเพื่อจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบสามมิติ นั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น และง่ายต่อการวิเคราะห์ต่อสภาวะต่างๆทั้งมีนักวิจัยที่ได้เริ่มศึกษาพัฒนามากขึ้น ถึงพื้นฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักทอที่ซับซ้อน จุดมุ่งหมายหลักคือการสร้างแบบจำลองของผ้าซึ่งโครงสร้างขนาดสำหรับทำแบบจำลองผ้าแบบทอขนาดเล็กเพื่อปรับขนาดโดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก เพื่อให้สามารถวางแผนการผลิตผ้าได้ก่อนถักทอ Kurbak and Ekmen (1998) ,Vassiliadis et al. (2007) อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาด้านวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติของผ้าอีกหลายวิธี

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้ตรวจสอบความเค้นความเครียดการเปลี่ยนรูปร่างการถ่ายเทความร้อนการกระจายของสนามแม่เหล็ก การไหลของของเหลวและปัญหาอื่น ๆ ที่มีความต่อเนื่องซึ่งไม่เหมาะสมที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ นั้น โครงสร้างที่วิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ที่มีความต่อเนื่องและสามารถคำนวณค่าต่างๆ โดยมีคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาจากที่กล่าวไว้ในตอนต้น ความเหมาะสมของรูปแบบในทางทฤษฎีต้องมีการวิเคราะห์ เพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้และถูกประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทออีกเช่นเดียวกัน (เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป et al. (2020) อย่างไรก็ตามโปรแกรม SolidWorks และ SolidWorks Flow simulation สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองรูปทรงและวิเคราะห์คุณสมบัติทางการกายเพื่อให้ประหยัดเวลาในการทดสอบจริงได้อย่างเหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 4 รูปแบบข้างต้น มาทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง 1x1 และโครงสร้างแบบเชื่อมเกี่ยวกันเพื่อหาความแม่นยำของการคำนวณที่แม่นยำบนการใช้งานร่วมกับโปรแกรม SolidWorks และจำลองการวิเคราะห์หาอัตราการไหลซึมผ่านของอากาศบนผ้าถักต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง (Rib 1×1) และ ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitter fabric)
2. เพื่อประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการไหลและซึมผ่านของอากาศ
3. เพื่อหาแบบจำลองของโครงสร้างผ้าถัก 1 รูปแบบ ที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายอัตราการไหลและซึมผ่านของอากาศ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและสร้างแบบจำลองรูปทรงเรขาคณิตแบบ 3 มิติ ของโครงสร้างผ้าถักแบบ (Rib 1×1) และ ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitter fabric) ทั้ง 4 รูปแบบตามทฤษฎีของ (1. Peirce' model 2. Model of Leaf and Glaskin 3. Kurbak's model 4. Vassiliadis's model) ด้วยโปรแกรม SolidWorks
2. สร้างรูปแบบจำลองและวิเคราะห์หาอัตราการไหลซึมผ่านของอากาศของโครงสร้างผ้าถักแบบ (Rib 1×1) และ ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock knitter fabric (CAD, CAE) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks Flow simulation
3. แบบจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบ (rib 1×1) และ ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitter fabric) กำหนดเส้นใย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.22 มิลลิเมตร

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบรูปแบบและคุณลักษณะของรูปแบบแต่ละรูปแบบการจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบ (Rib1×1)และผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitter fabric)
2. สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรม CAD และ CAE ช่วยในการทำนายอัตราการไหลและซึมผ่านของอากาศ
3. ได้รูปแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายอัตราการไหลและซึมผ่านของอากาศ

### 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

( Rib Knitted fabric ) = ผ้าถักแบบซี่โครงธรรมดา

( Single Knitted Fabric ) = ผ้าถักแบบชั้นเดียว

( Purl Knitted fabric ) = ผ้าถักแบบน้าวน

( Interlock Knitted fabric ) = ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน

( Linear Density ) = ความหนาแน่นเชิงเส้น

( Indirect System ) = ความยาวจำเพาะเบอร์ด้ายหรือระบบกลับ

( Yarn Twist ) = เกลียวเส้นด้าย

courses per inch (CPI) จำนวนเส้นด้าย ความยาวของห่วง

Wales per inch (WPI) เวลส์ต่อนิ้ว ระบุจำนวนทั้งหมดของเวลส์ในหนึ่งนิ้วของผ้าเชิงเส้น

GSM น้ำหนักเป็นกรัมต่อตารางเมตรของผ้า

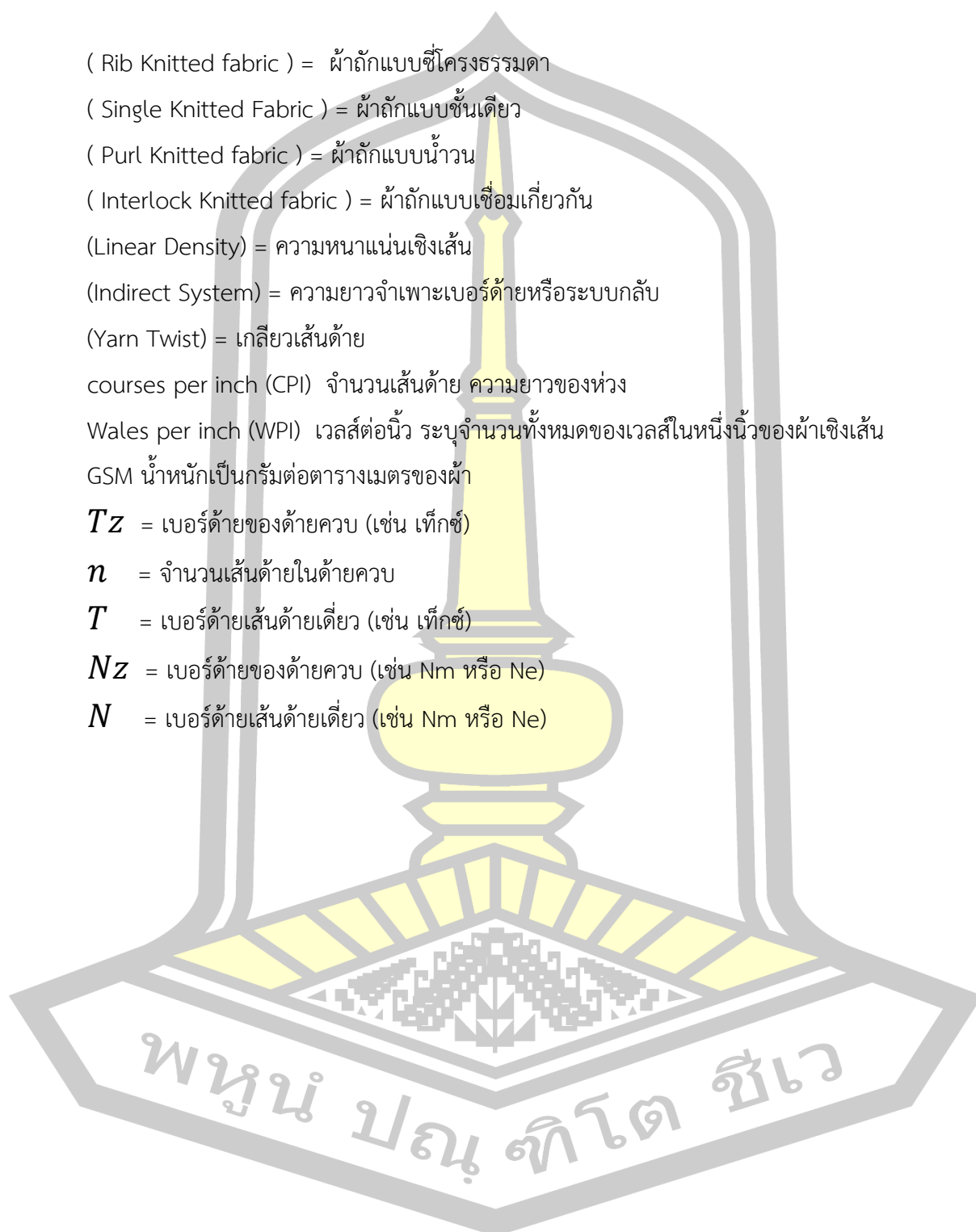
***TZ*** = เบอร์ด้ายของด้ายควบ (เช่น เท็กซ์)

***n*** = จำนวนเส้นด้ายในด้ายควบ

***T*** = เบอร์ด้ายเส้นด้ายเดี่ยว (เช่น เท็กซ์)

***Nz*** = เบอร์ด้ายของด้ายควบ (เช่น Nm หรือ Ne)

***N*** = เบอร์ด้ายเส้นด้ายเดี่ยว (เช่น Nm หรือ Ne)



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าถัก

การถัก (Knitting) เป็นกระบวนการผลิตผ้าอีกวิธีหนึ่ง โดยเส้นด้ายที่ใช้ในการถักจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของห่วง (Loop) เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นผืนผ้า การเปลี่ยนในแนวนอนหรือแนวขวาง (Weft Wise) และการเปลี่ยนในแนวตั้ง (Warp wise) ฉะนั้นการถักจะมี 2 ชนิด คือการถักตามแนวนอน (Weft Knitting) และการถักตามแนวตั้ง (Warp Knitting) แสดงเส้นด้ายที่อยู่ในรูปเส้นตรงและถูก เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของห่วง (Loop) โดยการถัก

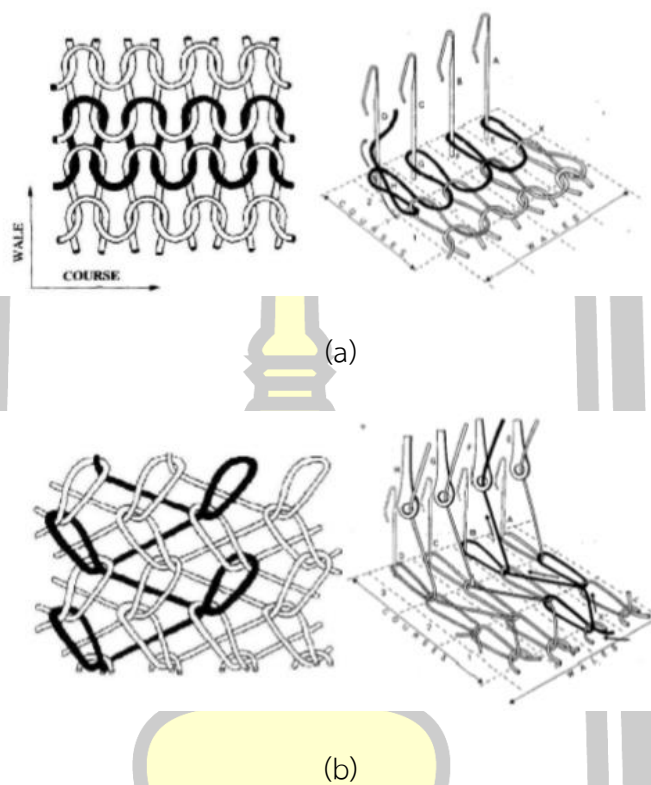
การถักผ้า (Knitting) นับตั้งแต่มีการพัฒนาทางด้านวิศวกรรมสิ่งทอ การค้นคว้าหาเส้นใยใหม่ๆ เทคนิคการผลิตเส้นด้ายแบบต่าง ๆ ตลอดจนเทคนิคการนำเอาสารเคมีใหม่ๆมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จ ทำให้ผ้าถักได้รับความนิยมมากขึ้นซึ่งรวมทั้งเทคนิคการออกแบบลายผ้าให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมและเครื่องนุ่งห่มสำเร็จรูป ถ้าหากพิจารณาตามลักษณะการผลิตผ้าถักแล้วจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของผ้าถักนั้นเด่นกว่าผ้าที่ผลิตโดยกรรมวิธีอย่างอื่นทั้งยังสามารถผลิตให้มีคุณสมบัติเหมือนผ้าชนิดอื่น ๆ เพราะธรรมชาติของผ้าถักจะมีความยืดหยุ่น สามารถยืดและคืนตัวได้แตกต่างกัน คุณสมบัติของผ้าถักแนวนอนมีความยืดหยุ่นทั้งด้านความกว้างและความยาวของผ้าแต่ในผ้าถักแนวตั้งมีความยืดหยุ่นเพียงด้านเดียวคือด้านกว้างซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไป

#### 2.2 โครงสร้างผ้าถัก

การถักผ้าเป็นกระบวนการผลิตผ้าวิธีหนึ่ง เส้นด้ายที่ใช้ในการถักจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของห่วง ( Loop ) เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นผ้าผืน การเปลี่ยนเส้นด้ายให้อยู่ในรูปห่วงโดยกรรมวิธีการถักสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การถักผ้าแนวนอน ( Weft Knitting ) คือ วิธีการผลิตผ้าโดยการถักแบบหนึ่ง ซึ่งห่วงจะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับความกว้างของผ้าจากเส้นด้ายเส้นเดียว หรือหลายเส้นก็ได้และมีลักษณะเฉพาะตรงที่เส้นด้ายแต่ละเส้นที่ป้อนเข้าไปจะทอมากกว่าหรือน้อยกว่ามุมฉากกับทิศที่เกิดขึ้นเป็นผืนผ้า

2. การถักผ้าแนวตั้ง ( Warp Knitting ) คือ วิธีการผลิตผ้าโดยการถักแบบหนึ่งซึ่งห่วงจะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับความยาวของผ้า จากเส้นด้ายชุดเดียวหรือหลายชุดก็ได้และมีลักษณะเฉพาะตรงที่เส้นด้ายแต่ละชุดที่ป้อนเข้าไปเกือบจะเป็นเส้นเดียวกันกับทิศทางที่เกิดเป็นผ้า



ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างรูปแบบของการถักทอของเส้นตามแนวนอนและแนวตั้ง

(a) แสดงตัวอย่างของการถักผ้าแนวนอน ( WEFT KNITTING )

(b) แสดงตัวอย่างการถักผ้าในแนวตั้ง ( WARP KNITTING )

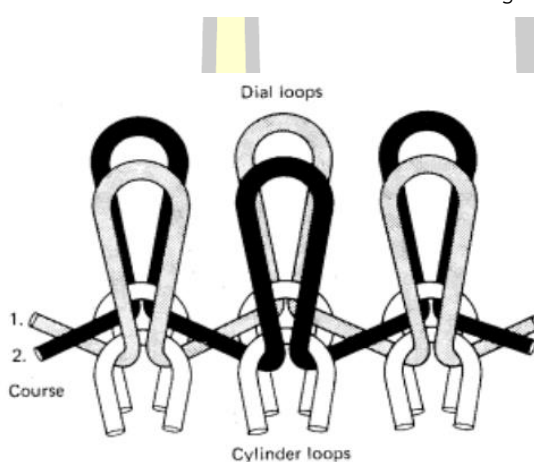
ที่มา: วัฒนา นนทวงศ์ (2559 )

### 2.2.1 ผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock Knitted fabric)

ในการทำ Interlock Gaiting Machine เราเรียกกาง่ายๆว่า Interlock จะเห็นว่าโครงสร้างผ้าประกอบด้วยผ้าทริสองผืนคล้องเขาต่อกัน Interlock เป็นอีกหนึ่งโครงสร้างแบบซีโครง 1x1 ซึ่งผลิตขึ้นจากเครื่องจักรที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเครื่องจักรเหล่านั้นมีเข็มสองชุด (เข็มสั้นและเข็มยาว) ทั้งในกระบอกสูบและเป็นหมุนและตัวป้อนอย่างน้อยสองตัว

### คุณสมบัติของผ้า Interlock

- ด้านหน้าแลพด้านหลังมีลักษณะเหมือนกัน
- การยืดตามกว้างและตามยาวเท่ากับผ้า Single Jersey
- ริมผ้าไม่งอมน้วน
- การลู่ในผ้าจะเกิดจากปลายด้ายห่วงสุดท้ายเท่านั้น ผ้า Interlock จะลู่ได้ยาวกว่าผ้า Single Jersey และ Rib
- การดึงเส้นด้ายทำได้จาก Course สุดท้ายเท่านั้นและต้องดึง 2 ครั้งถึงจะครบ 1 Course ความหนาของผ้าประมาณ 2 เท่าของผ้า Single Jersey



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างการถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน (Interlock knitted model)

ที่มา : Santanu et al. (2009)

### 2.2.2 โครงสร้างและคุณสมบัติผ้าถักแบบซี่โครง

Rib Fabric ผลิตโดยการใช้ Rib Gaiting ซึ่งแบบ เป็นแบบผ้าที่ผลิตได้ง่ายที่สุดลักษณะของผ้า ประกอบด้วย Face Wale และ Back Wale สลับกันไปคำว่า Face Waleประกอบด้วยแถวของ Face Loop ตลอดทั้งแถวแนวตั้งและ Back Wale ประกอบด้วยแถวของ BackLoop ตลอดแถวตั้ง เข็มที่ใช้ผลิตเป็นชนิดเดียวกันคือเข็ม Latch ซึ่งเป็นชนิดธรรมดาที่สุด ดังแสดงในรูปประกอบ



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างผ้าถักแบบซีโครง Rib 1x1

ที่มา: <https://assignmentpoint.com/properties-knitted-fabrics-made-ring-compact-spun-yarns>

### 2.3 โครงสร้างเส้นใย

เส้นใยสิ่งทอสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เส้นใยจากธรรมชาติ (natural fibers) และใยจากกระบวนการผลิตโดยมนุษย์ (manufactured fibers) โครงสร้างทางกายภาพ หรือภายนอกของเส้นใยสิ่งทอเป็นลักษณะรูปร่างภายนอกของเส้นใยที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า หรือกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงตั้งแต่ 100 เท่าขึ้นไป ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพนี้ ได้แก่ ลักษณะของความยาว ความกว้าง ลักษณะผิวนอก ความมัน ความหดตัวต่อสมบัติทางความร้อน ความฟู ความรู้สึกอันเกิดจากการสัมผัส เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพเหล่านี้จะมีผลต่อความสามารถในกระบวนการการปั่นเส้นใยเป็นเส้นด้ายตลอดจนความสวยงามเมื่อผลิตเสร็จสิ้นจนกลายมาเป็นผืนผ้า

### 2.4 จำนวนเกลียวของเส้นด้าย

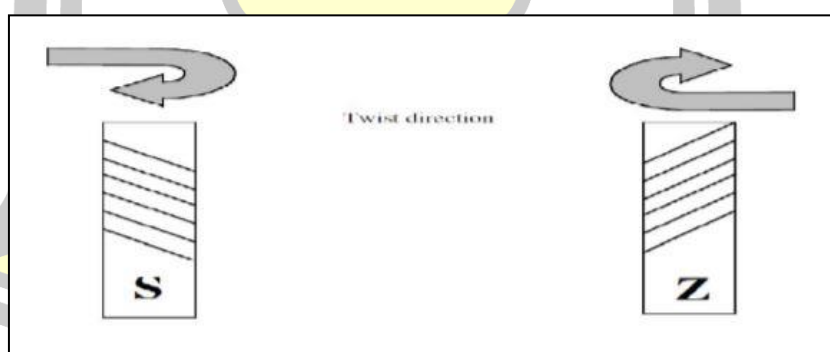
เกลียวเส้นด้าย (Yarn Twist) มีคำนิยามที่กล่าวถึงเกลียวในเส้นด้าย (Yarn Twist) หลายอย่างแต่หน้าที่หลักของการมีเกลียวในเส้นด้ายคือทำให้เกิดแรงจับตัวกันของเส้นใยเป็นเส้นด้าย โดยเฉพาะการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้น (Staple) เกลียวด้ายนับว่ามีความสำคัญต่อการผลิตเส้นด้ายเป็นอันมากกล่าวคือนอกจากจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติเส้นด้ายแล้วยังส่งผลกระทบต่อไปถึงกระบวนการผลิตผ้าทอผ้าถักฟอกย้อมตกแต่งสำเร็จตลอดจนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่น ๆ อีกด้วยเส้นด้ายที่มีเกลียวมากจะแข็งกระด้างและที่มีเกลียวน้อยจะอ่อนนุ่มต่อการสัมผัสเกลียวในเส้นด้ายมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเส้นด้ายเช่นความเหนียวความอ่อนแอของเส้นด้ายจำนวนเกลียวจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายเส้นด้ายที่มีเกลียวต่ำจะเหมาะกับการผลิต

ผ้าถักเนื่องจากมีความนุ่มมีค่าความปกคลุมสูง (Covering Power) และเพิ่มความอบอุ่นเส้นด้ายที่มีจำนวนเกลียวสูงจะมีความแข็งแรงและการยืดตัวเพิ่มขึ้นมีความทนทานต่อการขัดถูดีและมีความคงทนสูงแต่เส้นด้ายจะมีความแน่นมาก (กระด้างมาก) อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนเกลียวมากเกินไป ความแข็งแรงของเส้นด้ายจะลดลงเนื่องจากค่า Twist Angle กว้างเกินค่าที่เหมาะสมซึ่งจะมีผลทำให้เส้นใยไม่มีการเรียงตัวกันตามแนวยาวซึ่งจะพบว่าเมื่อค่าจำนวนเกลียวต่อนิ้วเพิ่มขึ้นแรงดึงของเส้นด้ายจะเพิ่มขึ้นตามจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดหลังจากนั้นเมื่อจำนวนเกลียวเพิ่มขึ้นค่าแรงดึงขาดก็จะลดลงตามไปด้วยโดยทิศทางการควบเกลียวเส้นด้ายมี 2 แบบคือ

### ทิศทางการควบเกลียว (Twist Direction)

เกลียว S หมายถึงเส้นด้ายที่มีการควบเกลียวโดยมีทิศทางการลาดเอียง (Slop) ของเส้นใย (เส้นด้ายเดี่ยว) หรือเส้นด้าย (เส้นด้ายควบ) เหมือนการลาดเอียงของเส้นกลางของอักษร S หรือเกลียวที่มีทิศทางเฉียงลงจากซ้ายไปขวาเหมือนอักษร S

เกลียว Z หมายถึงเส้นด้ายที่มีการควบเกลียวโดยมีทิศทางการลาดเอียง (Stop) ของเส้นใย (เส้นด้ายเดี่ยว) หรือเส้นด้าย (เส้นด้ายควบ) เหมือนการลาดเอียงของเส้นกลางของอักษร Z หรือเกลียวที่มีทิศทางเฉียงขึ้นจากซ้ายไปขวาเหมือนอักษร Z ดังรูปที่



ภาพประกอบ 4 ทิศทางเกลียว s และ z ของเส้นด้าย

## 2.5 ขนาดของเส้นด้าย (Yarn Size)

ขนาดของเส้นด้ายสามารถระบุเป็นเบอร์ด้ายโดยการวัดเทียบกันระหว่างมวลกับความยาว เส้นด้ายดังนั้นเบอร์เส้นด้ายจึงแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆซึ่งใช้ตามวัตถุประสงค์คือความหนาแน่นเชิงเส้น (Linear Density) และความยาวจำเพาะเบอร์ด้ายหรือระบบกลับ (Indirect System)

### 2.5.1 ระบบตรงและหน่วยของระบบตรง

เบอร์ด้าย คือ มวลต่อหน่วยความยาว ดังนั้นหน่วยของเบอร์ด้ายจึงเป็นจำนวนของหน่วยมวลที่ประกอบด้วยหน่วยความยาวที่กำหนดค่าที่มักใช้แทนเบอร์ด้ายเรียกว่าไทเทอร์ (Titer) หน่วยพื้นฐานคือหน่วยเท็กซ์ (tex) ซึ่งนิยามได้ดังนี้

$$\text{เท็กซ์} = \text{กรัม}/1000\text{เมตร} \quad \text{สัญลักษณ์ } Tt$$

การคำนวณเบอร์ด้ายในระบบตรง

$$Tz = n \times T \quad (1)$$

$Tz$  = เบอร์ด้ายของด้ายควบ (เช่น เท็กซ์)

$n$  = จำนวนเส้นด้ายในด้ายควบ

$T$  = เบอร์ด้ายเส้นด้ายเดี่ยว (เช่น เท็กซ์)

ตัวอย่าง ด้ายควบเส้นหนึ่งประกอบด้วยเส้นด้ายเดี่ยว 2 ชั้นแต่ละเส้นมีเบอร์ด้าย 20 เท็กซ์เบอร์ได้ของด้ายควบ =  $2 \times 20 = 40$  เท็กซ์ การใช้สัญลักษณ์แทนในระบบตรง  $T \times n$  ด้ายควบในตัวอย่างใช้สัญลักษณ์แทนด้วย 20 เท็กซ์  $\times 2$

### 2.5.2 การคำนวณเบอร์ด้ายในระบบกลับ

เบอร์ด้าย คือ มวลต่อหน่วยความยาว ดังนั้นหน่วยของเบอร์ด้ายจึงเป็นจำนวนของหน่วยมวลที่ประกอบด้วยหน่วยความยาวที่กำหนดเช่นเดียวกับระบบกลับ

$$Nz = \frac{N}{n} \quad (2)$$

$Nz$  = เบอร์ด้ายของด้ายควบ (เช่น Nm หรือ Ne)

$n$  = จำนวนเส้นด้ายในด้ายควบ

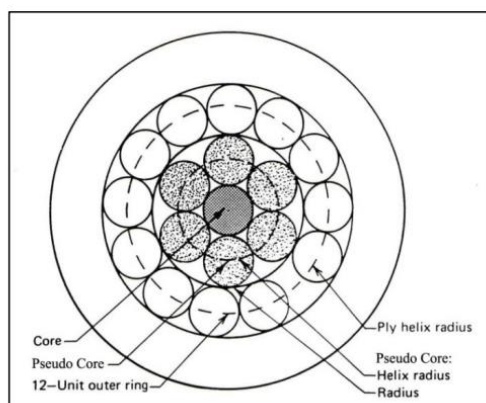
$N$  = เบอร์ด้ายเส้นด้ายเดี่ยว (เช่น Nm หรือ Ne)

ตัวอย่าง ด้ายควบประกอบด้วยเส้นด้ายเดี่ยว 2 เส้น แต่ละเส้นมี

ขนาด  $Nm$  50 เบอร์ด้ายของด้ายควบ  $Nz = 50/2 = Nm$

## 2.6 ลักษณะภาพตัดของโครงสร้างเส้นด้าย

เป็นลักษณะของเส้นใยหลาย ๆ เส้นที่ถูกบรรจุอยู่ในภาพหน้าตัดของเส้นด้ายที่มีรูปร่างวงกลม แสดงได้ดังภาพประกอบ 2 เส้นด้ายจะประกอบไปด้วยจำนวนเส้นใยหลาย ๆ เส้นมีรูปร่างเป็นวงกลม เรียงตัวกันเป็นวงแหวนหลาย ๆ ชั้นมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ซึ่งแต่ละชั้นวงแหวนที่มีเส้นใยบรรจุอยู่ เรียกว่าเลเยอร์ (layer) โดยเส้นใยแต่ละเส้นในแต่ละชั้นเลเยอร์จะถูกบิดเป็นเกลียว (twist) เพื่อให้ยึดติดกันเป็นเส้นด้าย ซึ่งเลเยอร์ชั้นข้างในสุดที่จุดศูนย์กลาง คือเส้นใยเส้นแรกและมีเส้นเดี่ยวถือเป็นแนวแกนกลางของเส้นด้ายจะเป็นเลเยอร์ชั้นที่ 1

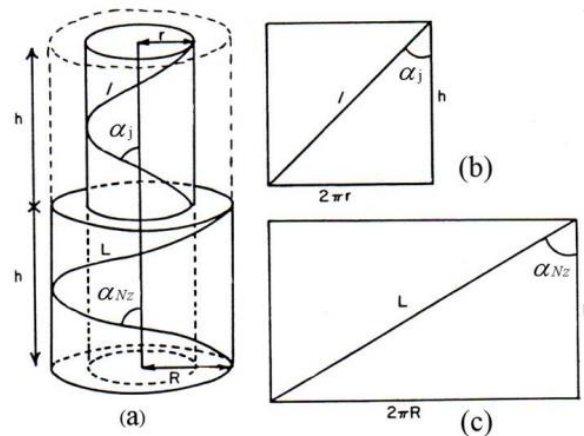


ภาพประกอบ 5 ภาพหน้าตัด open packing ของเส้นด้ายที่มีเส้นใยวงกลมบรรจุอยู่ในชั้นเลเยอร์ที่ 2 และ 3 และลักษณะวงกลม 4 ชั้นของเลเยอร์ที่ใช้จุดศูนย์กลางร่วมกัน

ที่มา: Hearle et al. (1969)

เรขาคณิตของเกลียวเส้นด้ายที่สมบูรณ์แบบเส้นด้ายเกิดจากกระบวนการปั่นด้ายเพื่อผลิตเป็นเส้นด้าย โดยการทำให้เส้นใยเรียงตัวและรวมตัวเข้าด้วยกันเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง เกลียวของเส้นด้าย

เกิดขึ้นจากการหมุนของความยาวเวกเตอร์ต่อเนื่องกันไปตามความยาวแกนกลาง ดังนั้นเกลียวเส้นด้ายจะถูกกำหนดขึ้นจากขนาดของความยาวเวกเตอร์ที่หมุนรอบไปตามความยาวแนวเส้นด้ายอย่างต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 6 เรขาคณิตของเส้นด้ายในโครงสร้างแบบเกลียว (Helical Structure) ทรงกระบอก

(a) เรขาคณิตของเกลียวเส้นด้ายที่สมบูร์ณแบบ (b) ภาพแผ่นคลี่ทรงกระบอกแสดงรัศมีของเกลียว (c) ภาพแผ่นคลี่แสดงรัศมีของเกลียวที่พื้นผิวชั้นนอกสุด

ที่มา Hearle et al. (1969)

### 2.6.1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย

พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายเส้นเดี่ยวนี้มีชื่อว่า “Ring configuration with ellipsoid shapes model” ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดย Sriprateep and Bohez (2009) แสดงในภาพประกอบที่ 3 a และ b แสดงพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย ซึ่งรัศมีของแต่ละเลเยอร์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่ในแนวตั้งฉากกับแนวรัศมีนั้น รัศมีของไฟเบอร์ในแต่ละเลเยอร์จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับมุมของเกลียวของเส้นด้ายโดยตำแหน่งของเส้นใยแต่ละเส้นแสดงในทิศพิกัด ( $R_{jcy}$ ) เมื่อกำหนดให้จุดศูนย์กลางของเส้นด้ายเป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นจากพิกัด  $[0, 2\pi]$  ของพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายเมื่อกำหนดให้จุดศูนย์กลางของเส้นด้ายเป็นจุดอ้างอิง ดังนั้นในการตำแหน่งของเส้นด้ายใดๆบนพื้นที่หน้าตัดของระบบพิกัด  $X$  และ  $Y$  หาได้จากสมการ

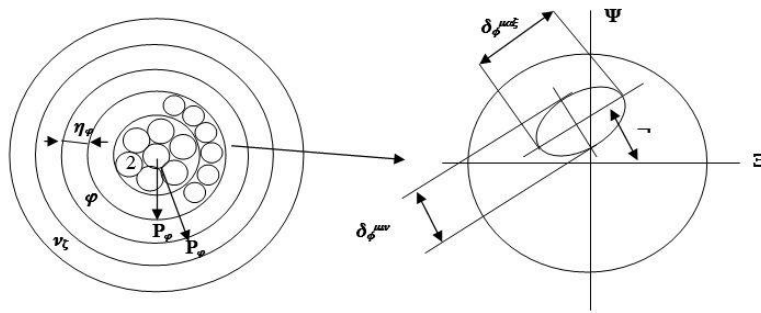
$$X = Rjc \cos y, \quad (3)$$

$$Y = Rjc \sin y, \quad (4)$$

ในการตั้งสมมติฐานของเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายในแต่ละเลเยอร์ซึ่งรูปเป็นวงรีและมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยสามารถอธิบายจากค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางจากสมการต่อไปนี้

$$df_{max} = df_{av} \quad (5)$$

$$df_{min} = \frac{d_f^{av}}{\varepsilon} \quad (6)$$



ภาพประกอบ 7 แสดงพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายด้วยวิธีการ  
(Ring configuration with ellipsoid shapes model)

ที่มา : Sriprateep and Bohez (2009)

ดังนั้นตัวอย่างของเส้นใยที่เป็นวงรีกำหนดให้มีค่าแฟกเตอร์ของวงรีคือ  $\varepsilon = d_f^{max} / d_f^{min}$  ในการกำหนดตำแหน่งของเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย โดยใช้พารามิเตอร์ในการกำหนดหาตำแหน่งของเส้นใยในรูปของตัวแปรของ  $r_f$ ,  $\phi_f$  และ พารามิเตอร์  $r_f$  และ  $\phi_f$  ซึ่งมีพิกัดตรงกลางของเส้นใยในตำแหน่งของตำแหน่งจำลอง (virtual location) กับการที่จะพิจารณาตรงกลางของพื้นที่จริงบนเส้นแกน  $uv$  พารามิเตอร์  $r_f$  และ  $\phi_f$  หรือ ในช่วง  $[0, r_{fmax}]$  และ  $[0, 2\pi]$  ตามลำดับ ดังนั้น  $r_{fmax}$  จะตรงกับตำแหน่งของเส้นใยการหาตำแหน่งของพื้นที่จริงจะได้ค่า  $\phi_f$

พารามิเตอร์  $\omega$  นี้ทำมุมเอียงกับเส้นแกนเล็กน้อยและเส้นใยที่มีลักษณะเป็นวงรีและมีพื้นที่หน้าตัดบนแกน  $ou$  พารามิเตอร์  $\omega$  นี้จะแจกแจงในช่วงเวลาที่เท่ากัน  $[-\omega max, \omega max]$ , ดังนั้นจำนวนที่มากที่สุดที่ทำให้มุมเอียง  $\omega max (r_f, \omega_f)$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นใยขนาดสูงสุด  $d_f^{max}$  เพื่อหาความยาวขนาดจริงของพื้นที่จริง

งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของตำแหน่งจำลองที่มีรูปเป็นวงกลม ตำแหน่งเส้นใยจะเริ่มจากจุดศูนย์กลางของเส้นด้วย เพราะฉะนั้นในการหาตำแหน่งพื้นที่จริงและมีระยะจุดศูนย์กลางของวงกลมหลายๆวง (Layer) ดังนั้นความกว้างของแต่ละชั้น  $jth$  คือ  $h_j = dfav + \alpha f$  รัศมีของแต่ละเลเยอร์  $jth$  ดังนั้น

$$R_{jt} = h_j j - \frac{h_j}{2}; j = 1, 2, 3, \dots, N_z \quad (7)$$

โดยที่  $R_j$  คือ รัศมีของชั้น  $j$  โดยเริ่มนับจากจุดศูนย์กลางเท่ากับ 0  
 $h_j$  คือ ความกว้างของของชั้นที่ต้องการทราบตำแหน่ง  
 ดังนั้น จะมีรัศมีจากจุดศูนย์กลางของเส้นใยในเลเยอร์ที่  $jth$  คือ

$$R_{jc} = h_j; j = 1, 2, 3, N_z$$

$$R_{jc} = N h_j; j = 0, 1, 2, 3, \dots, N_z - 1 \quad (8)$$

การหาจำนวนของตำแหน่งจำลองในพื้นที่หน้าตัดแต่ละเลเยอร์

$$M_1 = 1; M_j = \frac{2\pi R_{jc}}{\sec \alpha_j}, J = 2, 3, 4, \dots, N_z \quad (9)$$

โดยที่  $R_{jc}$  เริ่มนับจากเลเยอร์ที่ 1 = 0, เลเยอร์ที่ 2 = 1

$\alpha_j$  คือ เกลียวสวิสของเลเยอร์ ยกตัวอย่างเช่นมีเส้นด้าย 4 เลเยอร์ มุมเกลียวทวิส  $30^\circ$  จำนวนองศา/จำนวนเลเยอร์ =  $30^\circ / (n-1) = 30^\circ / 3 = 10^\circ$  ดังนั้นในทุกๆเลเยอร์ มุมเกลียวจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศา

ตาราง 1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยในเส้นด้ายสำหรับการบรรจุเปิด (open packing)

ลำดับ	รัศมีแต่ละชั้น	รัศมีที่ตรงกลางของชั้น $r_F \operatorname{cosec}(180/m_j)^\circ$	จำนวนเส้นใยที่มากที่สุดในแต่ละชั้น	ช่องว่างในแต่ละชั้น	รัศมีเส้นด้าย	จำนวนเส้นใยทั้งหมด
1	0	-	1	-	$r_F$	1
2	$2r_F$	$2r_F$ for $m_j = 6$	6	0	$3r_F$	7
3	$4r_F$	$3.84r_F$ for $m_j = 12$ $4.18r_F$ for $m_j = 13$	12	$3r_F$	$5r_F$	19
4	$6r_F$	$5.76r_F$ for $m_j = 18$ $6.08r_F$ for $m_j = 19$	18	$3r_F$	$7r_F$	37
5	$8r_F$	$7.98r_F$ for $m_j = 25$	25	$0,12r_F$	$9r_F$	62
6	$10r_F$	$9.98r_F$ for $m_j = 31$	31	$0.84r_F$	$11r_F$	93

ที่มา : เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป (2563)

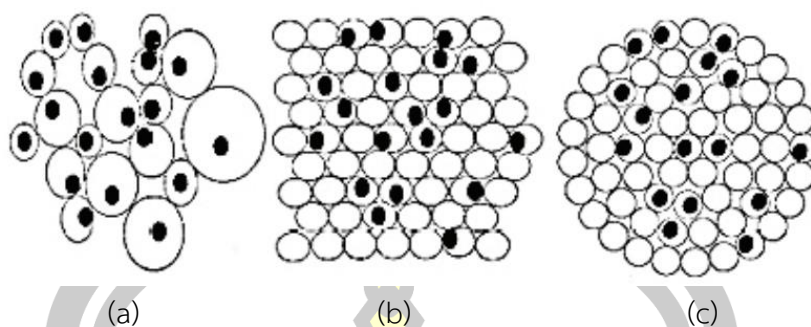
## 2.7 การใช้งานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างเส้นด้าย

คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (CAE) ได้เป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีความสามารถมากขึ้นเรื่อย ๆ และเป็นที่ยอมรับเป็นอย่างมากในการออกแบบและวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้กับวัสดุสิ่งทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นด้ายในการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) สำหรับการจำลองรูปร่างเรขาคณิตของเส้นด้ายในอดีตทั้งหมด (Keefe et al. 1992, Keefe 1994, Harwood et al. 1997, Adanur and Liao 1998, Jiang and Chen 2005) ทำการจำลองเส้นด้ายในลักษณะของเส้นด้ายแบบเส้นเดี่ยว (single line of yarn path) ซึ่งแท้จริงแล้วเส้นด้ายจะประกอบไปด้วยเส้นใยจำนวนมากมาตีเกลียวกันเพื่อให้ได้เส้นด้ายขนาดต่าง ๆ ดังนั้น Sreprateep and Bohez (2006) จึงได้นำเสนออัลกอริทึมใหม่สำหรับการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ โครงสร้างของเส้นด้ายซึ่งจำลองโครงสร้างของเส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นใยจำนวนมากมา ประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจำลองรูปร่างเส้นด้ายที่มีรูปร่างสมบูรณ์แบบและจำลองเส้นด้ายในกรณี ที่มีการย้ายตำแหน่งของเส้นใยในเส้นด้าย หลังจากนั้น Sriprateep and Bohez (2009) ได้พัฒนาต่อโดยจำลองโครงสร้างเส้นด้ายที่ผลิตจากกระบวนการปั่นด้ายแบบวง

แหวน พร้อมทั้งนำเสนอรูปแบบใหม่ในการจำลองพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย ซึ่งตำแหน่งของเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายโดยใช้หลักการของตำแหน่งจำลองและเรียกชื่อใหม่นี้ว่ารูปแบบตำแหน่งจำลองแบบวงรีและพัฒนาารูปแบบใหม่สำหรับการย้ายตำแหน่งของเส้นใยในเส้นด้ายที่เรียกชื่อว่า รูปแบบคลื่นรูปไซน์ (sine wave pattern) และการนำเสนอสมการใหม่สำหรับคำนวณตัวแปรที่ได้จากกระบวนการปั่นด้ายแบบวงแหวน หลังจากนั้นใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเพื่อ สร้างรูปร่างเรขาคณิตของเส้นด้ายที่ประกอบด้วยเกลียวของเส้นใยจำนวนมากประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้รูปร่างเรขาคณิตของเส้นด้ายที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

### 2.7.1 การจำลองโดยหลักการของตำแหน่งจำลองแบบจำลองทั่วไป

รูปแบบพื้นฐานในการจำลองตำแหน่งเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายมีสองรูปแบบ คือ การบรรจุเส้นใยแบบเปิด และการบรรจุเส้นใยแบบปิด ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ตำแหน่งของเส้นใยเปรียบเสมือนเซลล์ที่กระจายตัวในพื้นที่หน้าตัดเส้นด้าย ซึ่งจะถูกกำหนดโดย ฟังก์ชันของการกระจายตัวที่ได้จากผลการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของเส้นใยในเส้นด้าย สามารถพิจารณาจากหลักการของตำแหน่งจำลอง (virtual locations concept) โดยมีลักษณะ หลายรูปแบบในการกำหนดตำแหน่งจำลองของเส้นใย ดังที่แสดงภาพประกอบ 11 (ก) แสดงตำแหน่งจำลองแบบหนึ่งเส้นใยต่อหนึ่งตำแหน่ง (one fiber-one location) แต่ละตำแหน่ง จำลองมีรูปแบบที่หลากหลายสามารถหาขนาดได้จาก ความหนาแน่นของการบรรจุจะมีผลที่ แตกต่างกันในพื้นที่ของเส้นใย รูปแบบที่สองคือ รูปแบบหนึ่งเส้นใยต่อหลายตำแหน่ง (one fiber-several locations) ดังที่แสดง (ข) การบรรจุจุดตำแหน่งเส้นใยจะมีลักษณะ เป็นแบบปิดหรือแบบหกเหลี่ยมที่กำหนดให้อยู่ในตำแหน่งที่คงที่ ส่วนตำแหน่งของเส้นใยจะอยู่ ในตำแหน่งจำลองตามฟังก์ชันต่างๆ รูปแบบที่สามเรียกว่า รูปแบบวงแหวน มีลักษณะเป็นรูป วงแหวนที่พัฒนาโดย Grishanov et al. (1997) ลักษณะแบบนี้จะคล้าย ๆ กันกับรูปแบบที่สอง แต่การจัดการบรรจุของเส้นใยและตำแหน่งจำลองมีการบรรจุของเส้นด้ายแบบเปิด (ค) และรายละเอียดเพิ่มเติมภาพประกอบ 12 รูปแบบที่พัฒนาขึ้นจะมีความเสมือนจริง และตำแหน่งเส้นใยของแต่ละเส้นจะมีตำแหน่งที่เสมือนจริงแต่ก็ยังมีข้อสงสัยในการวิเคราะห์ และอาจจะยังมีข้อผิดพลาดในการกระจายของเส้นใยลงไปตำแหน่งต่าง ๆ ในตำแหน่งจำลอง แบบวงแหวน แต่ข้อดีของตำแหน่งจำลองรูปแบบนี้คือ ตำแหน่งของเส้นด้ายค่อนข้างเสมือนจริง ข้อเสียคือยังมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้อยู่บ้าง



ภาพประกอบ 8 รูปแบบของตำแหน่งการจำลองเส้นด้าย

(a) หนึ่งเส้นใยต่อหนึ่งตำแหน่ง (b) หนึ่งเส้นใยในหลาย ตำแหน่ง (c) รูปแบบวงแหวน

ที่มา: Grishanov et al. (1997)

## 2.7.2 การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element modeling) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการจำลองโครงสร้างความร้อนการไหลของของไหลและอิเล็กทรอนิกส์ แต่ปัญหาหลักที่มีอยู่คือการเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ เช่น การสร้างรูปร่างทางเรขาคณิต การสร้างเมช การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและแรงที่มากระทำกำหนดสมบัติของวัสดุและกำหนดชนิดของการวิเคราะห์ (สถิตศาสตร์หรือไดนามิก แบบ เส้นตรงหรือเส้นโค้ง ความเค้นหรือความเครียด เป็นต้น) กิจกรรมที่ต้องดำเนินการเหล่านี้เรียกว่า การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ปกติดำเนินการโดยการเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (pre-processor) สำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ที่กำหนดการเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (pre-processor) เริ่มจากการกำหนดเรขาคณิตของวัตถุหรือปัญหาหลักที่ต้องการวิเคราะห์ ระบบการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบดั้งเดิมมีเฉพาะฟังก์ชันการจำลองแบบพื้นฐานเท่านั้นแต่ระบบการจำลองในปัจจุบันมีความสามารถในการจำลองสูงมากหรือมีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบที่ใกล้เคียงหรือเหมือนกับรูปร่างของวัตถุ ระบบนี้จะจำลองรูปร่างเรขาคณิตของวัตถุโดยใช้ CAD หรือการเปลี่ยนข้อมูลโดยการป้อนรูปร่างทางเรขาคณิตเข้าไปวิธีการจำลองโดยใช้ CAD โดยตรงเริ่มมีการใช้งานเพิ่มขึ้นและเป็นที่ยอมรับเนื่องจากไม่ต้องมีขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียข้อมูลในบางส่วน นอกจากนี้การใช้ระบบ CAD โดยตรงจะทำให้ง่ายในการจำลองและจัดหาฟังก์ชันที่มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างสรรค์หรือการเปลี่ยนแปลงเรขาคณิตที่มีความซับซ้อนได้ในปัจจุบันระบบการจำลองแบบร่วมกัน (hybrid

modeling system) โดยการรวมการจำลองแบบ ทรงตัน พื้นผิว และโครงลวด รวมทั้งแบบอิงพารามิเตอร์) สามารถสร้างรูปทรงเรขาคณิตใด ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ระบบ FEA ที่มีอยู่สามารถป้อนข้อมูลเรขาคณิตเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้โดยใช้มาตรฐาน เช่น IGES หรือ จากระบบของ CAD โดยตรง อย่างไรก็ตามการใช้รูปทรงเรขาคณิตของ CAD ในบางครั้งไม่ได้ง่ายรูปทรงที่มองดูคล้ายว่าจะสมบูรณ์ในบางครั้งอาจจะมีข้อบกพร่องที่ระบบ FEA ไม่สามารถดำเนินการได้ โดยเฉพาะในขั้นตอนในการสร้างเมช ในปัจจุบันบางระบบฟังก์ชันที่สามารถตัดกรองเรขาคณิตที่ป้อนเข้ามา ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเรขาคณิตของ CAD ที่ได้ไม่มีข้อบกพร่องหรือรายละเอียดบางอย่างไม่จำเป็นที่จะต้องในการนำมาวิเคราะห์และบางส่วนที่ต้องการกำจัดออกตัวอย่างเช่น รายละเอียดของ fillet ไม่ต้องรวมในรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งต้องตรวจสอบว่าสิ่งเหล่านี้มีความจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์หาผลลัพธ์หรือไม่ ขั้นตอนต่อไปคือ

การสร้างเมชและการกระจายตัวของโหนดเมื่อแต่ละเมชถูกกำหนดโดยโหนดเพื่อให้ได้ไฟไนต์เอลิเมนต์การสร้างเมชเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดและเป็นขั้นตอนที่ ยากที่สุดในการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อให้ขั้นตอนนี้ง่ายขึ้นระบบในปัจจุบันจึง เสนอวิธีการสร้างเมชแบบอัตโนมัติวิธีการต่าง ๆ ที่เสนอสำหรับการสร้างเมชอัตโนมัติเช่น เมชแบบรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral) สำหรับเรขาคณิตแบบทรงตันและเอลิเมนต์แบบทรง สี่เหลี่ยม (quadrilateral) หรือ แบบทรงสามเหลี่ยม (triangular) สำหรับพื้นผิวแบบเปลือก สามมิติ (shell) หรือ เรขาคณิตแบบสองมิติในหลาย ๆ ระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้งานการลองผิดลองถูกโดยการเลือกขนาดหรือความหนาแน่นของเมชรวมทั้งสามารถกำหนดให้บางส่วนของแบบจำลองมีขนาดเมชที่เล็กลงเพื่อให้ได้ผลของการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากขึ้น เป็นต้น ความซับซ้อนของเมชที่ใช้จะตรวจสอบขนาดของเมทริกซ์ความแกร่งทั้งหมด (global stiffness matrix) ความซับซ้อนของตัวเลขและทรัพยากรในการประมวลผลที่ต้องการความถูกต้องของผลลัพธ์สามารถปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนของเมช (เอลิเมนต์) หรือโดยการใช้ฟังก์ชันของรูปร่างที่มีเลขยกกำลังที่มากขึ้นของแต่ละเอลิเมนต์ ข้อจำกัดต่อไปนี้จะเพียงพอในการสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์

### 2.7.3 การวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานด้วย SolidWorks Simulation

โปรแกรม SolidWorks Simulation ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method ; FEM ) ในการวิเคราะห์ปัญหา FEM คือ วิธีการประมาณเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อใช้คำนวณหา ผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่กำหนดมาให้ โดยการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหา

ออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า เอลิเมนต์ (Element) แล้วสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของ ปัญหานั้น โดยที่เอลิเมนต์ต่างๆ เหล่านี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Node) และจะเข้าไปแทนที่ในชิ้นงานที่มี ลักษณะซับซ้อน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณค่าตัวแปรตามที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการที่ว่า “นำปัญหา ง่ายๆ หลายๆ ปัญหาไปทดแทนปัญหาที่ยาก ซับซ้อน และทำการแก้ปัญหาร่วมกันครั้งเดียว”

#### 2.7.4 การซึมผ่านของอากาศ

กระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการประมาณค่าเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับกลศาสตร์ของเส้นใย ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามจำนวนที่กำหนดในรูปแบบของเมชหรือเอลิเมนต์และพฤติกรรมซึ่งกำหนดโดยตัวแปรที่กำหนด เมื่ออากาศซึมผ่านพื้นที่หน้าตัดของผ้าทอจะทำให้เกิดการซึมผ่านของอากาศ ในทุกเอลิเมนต์ในเส้นใยซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้วิธีการของไฟไนต์เอลิเมนต์สมการพื้นฐานที่แสดง ดังนี้

$$K = Q/A \quad (10)$$

กำหนดให้ K คือ การซึมผ่านของอากาศ

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างผ้าทอ

#### 2.8 แบบจำลองเชิงเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการถักเส้นด้าย

แบบจำลองเรขาคณิตของเส้นด้าย คือ การใช้หลักการทางเรขาคณิตเพื่อแสดงและจำลองลักษณะเชิงโครงสร้างและเชิงรูปร่างของเส้นด้ายในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในงานวิจัยด้านวิศวกรรมสิ่งทอ การออกแบบผ้า และการจำลองพฤติกรรมของเส้นด้ายในสถานการณ์ต่าง ๆ องค์ประกอบหลักของแบบจำลองเรขาคณิตเส้นด้าย เช่นการแทนเส้นด้ายเป็นเส้นโค้งในพิกัดสามมิติ (3D Curves) เส้นด้ายมักถูกแทนด้วยเส้นโค้งใน 3D ที่มีพิกัด  $(x, y, z)$  ซึ่งกำหนดตำแหน่งและรูปร่างของเส้นด้ายในพื้นที่. ใช้ เส้นโค้งพาราเมตริก (Parametric Curves) เช่น

Bézier curves หรือ splines เพื่อแสดงลักษณะโค้งงอของเส้นด้าย หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางและหน้าตัด (Cross-Sectional Geometry) เส้นด้ายมักมีหน้าตัดเป็นวงกลมหรือรูปไข่ ซึ่งกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือรูปทรงเฉพาะ. ลักษณะหน้าตัดส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรงและการเสียดทาน อีกทั้งเรขาคณิตของปมและการพันกัน (Knot and Tangle Geometry) ลักษณะการพันหรือการทับซ้อนของเส้นด้ายถูกนิยามในรูปแบบของปม (Knots) และการเชื่อมโยง (Links) ศึกษาโทโพโลยีของเส้นด้าย เช่น จำนวนการไขว้ (Crossing number) และชนิดของปม ในการกำหนดความยาวโค้ง (Arc Length) ความยาวของเส้นด้ายในแต่ละช่วงโค้งถูกคำนวณเพื่อกำหนดรูปทรงทั้งหมดและการกระจายตัว

แบบจำลองเรขาคณิตของเส้นด้ายจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้เราสามารถเข้าใจโครงสร้างที่ซับซ้อนของเส้นด้ายและพฤติกรรมของมันในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จึงได้ศึกษาแบบจำลองทั้ง 4 ต่อไปนี้

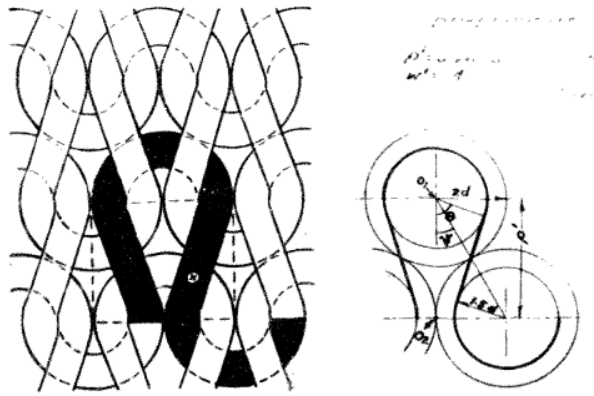
### 2.8.1 แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Peirce' model

แบบจำลองสามมิติโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแกนกลางของเส้นด้ายที่ก่อตัวเป็นเส้นทางนั้นอยู่บนพื้นผิวทรงกระบอกทรงกลมซึ่งมีแกนกลางตามเส้นของเส้นทางนั้น Peirce et al. (1947) นอกจากนี้ สมมุติว่าเมื่อฉายทรงกระบอกบนระนาบ แกนของเส้นด้ายในสภาพระนาบจะประกอบด้วยส่วนโค้งวงกลมและเส้นตรง จากการพิจารณาการสร้างแบบจำลองข้างต้น Peirce ได้ สมการ (10) ต่อไปนี้สำหรับการคำนวณความยาวของลูป

$$l = \frac{2}{c} + \frac{1}{w} + 5.94D \quad (11)$$

โดยที่  $l$  คือความยาวของเส้นด้ายในวงเดียว  $c$  คือจำนวนเส้นใยแนวตั้งต่อนี้ว ,  $w$  คือจำนวนเวลส์ต่อนี้ว ,  $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายให้  $P$  เป็นจุดใดๆ บนแกนกลาง และให้ระยะทาง  $EP$  วัดตามวงรอบเป็น  $S$  ใช้พิภักตสี่เหลี่ยม

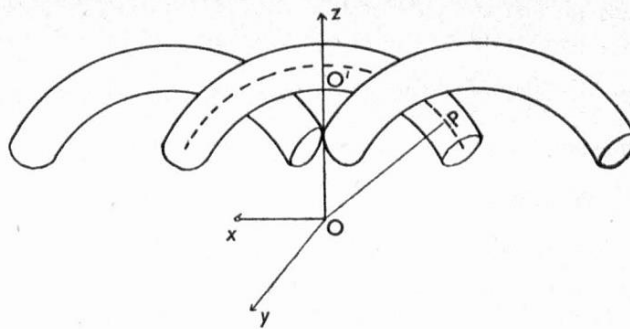
$O'XY$  ตามที่แสดงดังภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบ 9 แบบจำลองโครงสร้างผ้าถักของ Peirce' model

ที่มา : Peirce et al. (1947)

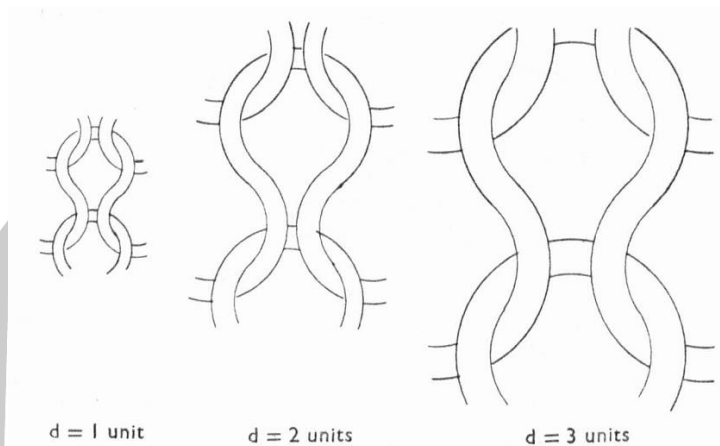
การประมาณที่สมเหตุสมผลกับในรูปแบบเมตริก เมื่อพิจารณาว่าแกนของเส้นด้ายในแต่ละหลักสูตรอยู่บนพื้นผิวของทรงกระบอกของความโค้งเพื่อให้มีที่ว่างที่ทางข้ามจุดและรูปแบบของแกนเส้นด้ายบนนี้ทรงกระบอกอาจแทนด้วยส่วนโค้งวงกลมได้ เช่นการโค้งงอรอบจุดสัมผัส (ภาพประกอบที่ 10 ) ประกอบด้วยส่วนตรงกับเรขาคณิตของลูบหนาทรงกระบอกนี้อาจศึกษาได้ดังต่อไปนี้ไปพร้อมๆ กับเส้น courses per inch แกนกลางของเส้นด้ายของทั้งสองแนวตัดกันเป็นเส้นตรงในระนาบที่พอดีกลางของผ้า ซึ่งวนซ้ำไปมาเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางบนเส้นผ่าน  $O_1$  และ  $O_2$  ลองนึกภาพทรงกระบอกสูบขึ้นซึ่งทั้งสองหลักสูตรที่ทับซ้อนกันอยู่จะหมุนเกี่ยวกับบรรทัดถึง  $O_1$  และ  $O_2$  ตามลำดับจนกระทั่งตรงกับกระบอกอ้างอิงกับ courses



ภาพประกอบ 10 มุมมองด้านข้างของห่วงบนกระบอกอ้างอิง (Peirce' model)

ที่มา: Leaf and Glasklin (1955)





ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างรูปที่มีค่า K1 เท่ากัน  
ที่มา: Leaf and Glasklin (1955)

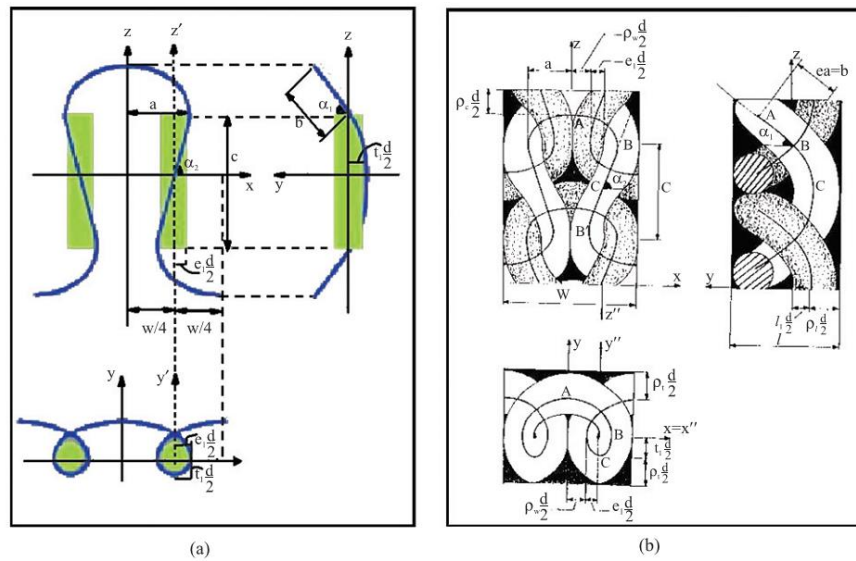
### 2.8.3.แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Model Kurbak

แบบจำลองนี้ส่วนบนและส่วนล่างของท่วงจะอยู่ในรูปของเส้นโค้งรูปไข่ และแขนของท่วงมีรูปร่างเป็นเกลียวที่พันอยู่เหนือกระบอกสุปทรงรีซึ่งจัดเรียงขนานกับทิศทางเวกส์ โดยมีมุมเกลียวแปรผัน Kurbak, et al.(1998) , Kurbak and Ekmen 2008) รัศมีหลักและรัศมีรองของหน้าตัดทรงรีของทรงกระบอกทรงรีสำหรับพันแกนกลางของแขนวงแหวนคือ

$$a = t_1 d / 2 \quad (15)$$

$$b = e_1 d / 2 \quad (16)$$

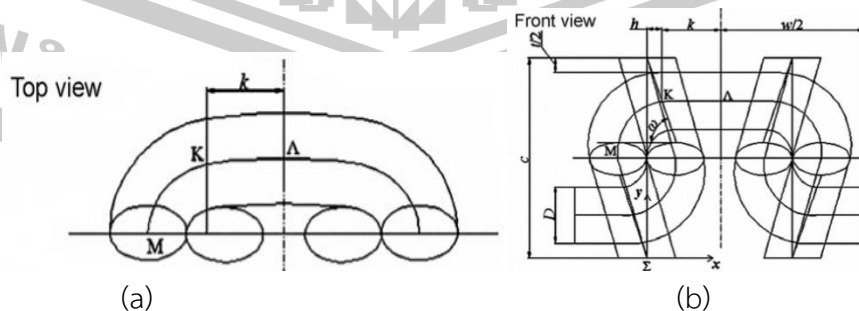
โดยที่  $a$  อยู่ในทิศทาง  $y$  (ในทิศทางความหนา)  $b$  คือในทิศทาง  $x$  (ในทิศทางของหลักสูตร)  $t_1$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกแขนเส้นด้ายตามทิศทางความหนา  $e_1$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกเส้นด้ายตลอดแนวทิศทางและ  $d$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นด้ายที่มีประสิทธิภาพ

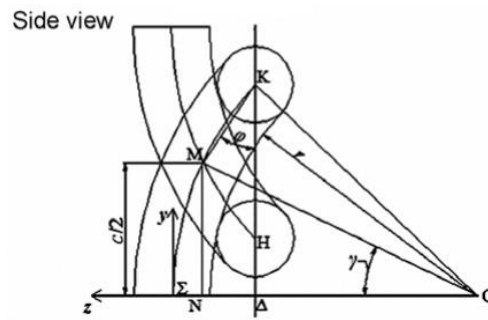


ภาพประกอบ 13 แบบจำลองโครงสร้างเรขาคณิตโมเดล Kurbak  
 (a) แผนผังของแกนกลางของลูป (b) การวาดแบบจำลองลูปจริง  
 ที่มา: Kurbak et al. (1998)

### 2.8.4 แบบจำลองเชิงเรขาคณิต Vassiliadis's model

แบบจำลอง Vassiliadis ถูกใช้เพื่อสร้างเรขาคณิต 3 มิติของห่วงผ้าถัก นี่คือโมเดล 3 มิติของลูปที่มีความเข้ากันได้สูงกับรูปร่างที่แท้จริงของลูปในโครงสร้างผ้า ห่วงถูกสร้างขึ้นจากสี่ส่วนเดียวกันในแบบจำลองนี้ และใช้สมการสำหรับหนึ่งในสี่ของลูป จะต้องกำหนดพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของโครงสร้างแบบวนซ้ำ รวมถึงระยะห่างของเวลส์ ระยะห่างของเส้นทาง และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้าย ในขณะที่คุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆ ของผ้าถักสามารถทำได้จากคุณสมบัติหลัก Vassiliadis et al, (2007) เสนอการสร้างเชิงเรขาคณิตของห่วงถัก ดังภาพประกอบที่ 14





(c)

ภาพประกอบ 14 แบบจำลองโครงสร้างทางเรขาคณิตของห้วงถัก Vassiliadis model

(a) มุมมองด้านบน (b) มุมมองด้านหน้า และ (c) มุมมองด้านข้าง

ที่มา : Vassiliadis et al. (2007)

จากภาพประกอบที่ 14 หนึ่งในสี่ของวงประกอบด้วยสามส่วน  $\Sigma M$  (จากมุมมองด้านข้าง), MK (จากมุมมองด้านหน้า) และ KA (จากมุมมองด้านบน) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดสมการเส้นโค้งสำหรับทั้งสามส่วนนี้ ส่วน  $\Sigma M$  ถือเป็นส่วนโค้งวงรีในปริภูมิ 3 มิติที่สามารถแสดงเป็นวงกลมที่มีรัศมี  $(r + \frac{D}{2})$  ในระนาบ  $YZ$  และเป็นเส้นตรงในระนาบ  $XY D$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นด้าย และสามารถคำนวณ  $r$  ได้

$$r = \left\{ \left( c - \frac{D}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 - \left( \frac{D}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right\} / (2D) \quad (17)$$

โดยที่  $c$  คือระยะห่างของสนาม และ  $t$  คือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความโค้งของลูป ( $0 \leq t \leq c - 2D$ ) ส่วนถัดไป (MK) ก็ถือเป็นส่วนโค้งวงรีในแบบ 3 มิติเช่นกัน มันถูกจัดสรรเป็นส่วนโค้งของวงกลมดังกล่าวในระนาบ  $YZ$  และหนึ่งในสี่ของวงรีของรัศมีรองและรัศมีหลัก

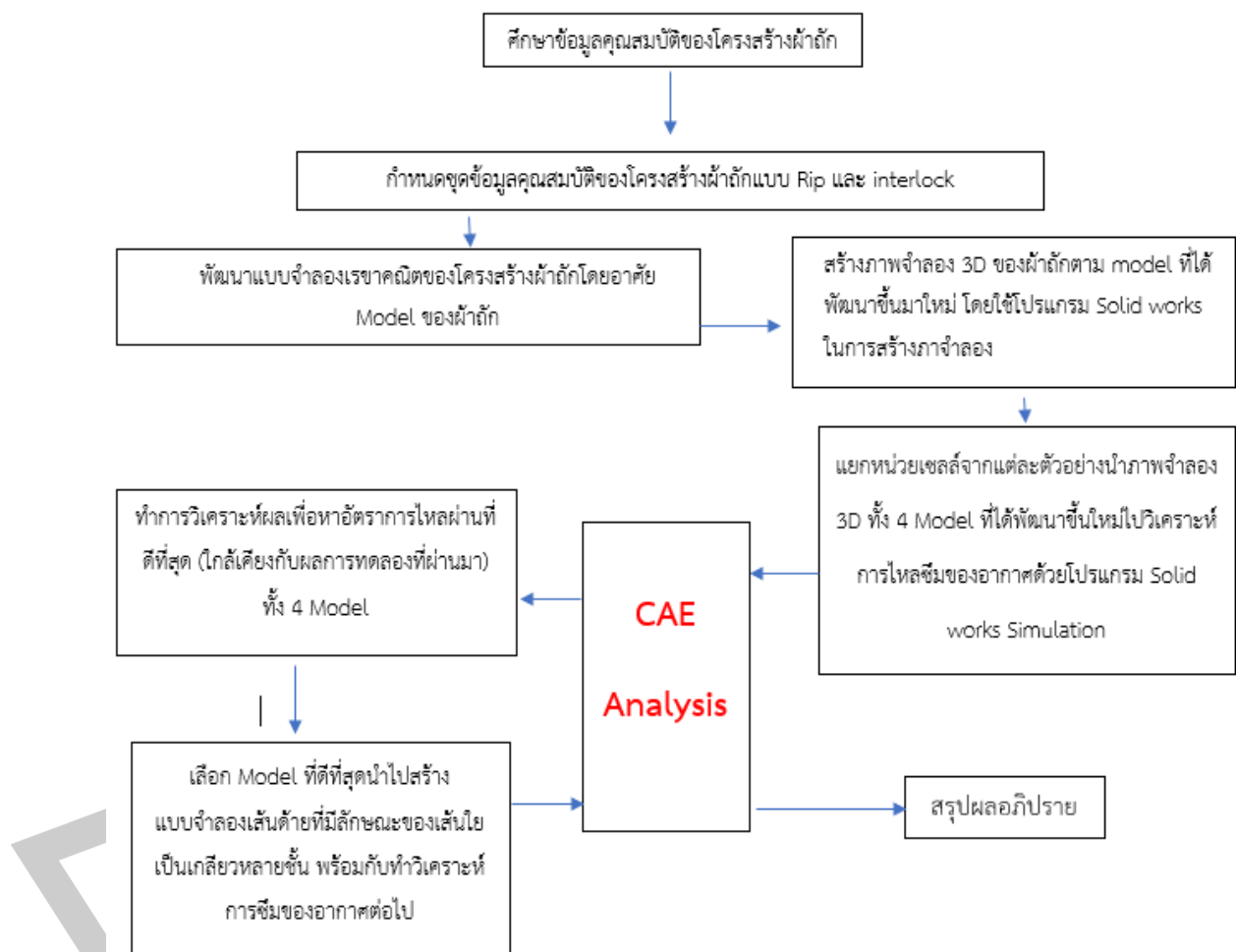
$a = \frac{D}{2+h}$  และ  $b = R$  ในระนาบ  $XY R$  สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$R = \frac{c}{2} - \frac{t}{2} - \frac{D}{2} \quad (18)$$

ดังนั้นพิกัดของส่วน  $\Sigma M$  และ MK จึงสามารถหามาได้

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานศึกษการวิจัยนี้ได้ดำเนินการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองของโครงสร้างผ้าถักในรูปลักษณะ 3 มิติ ตามรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 4 รูปแบบ และใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ CAD เข้ามาช่วยสร้างเป็นแบบจำลองตามโครงสร้างผ้าถักที่จะศึกษาตามลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาและวิจัยกระบวนการออกแบบการศึกษาการซึมผ่านของอากาศในผ้าถักด้วย CAD

#### ขั้นตอนที่ 1: การกำหนดวัตถุประสงค์และข้อมูลเบื้องต้น

1. กำหนดวัตถุประสงค์:
  - วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก.
  - เปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองการจำลอง (Simulation Models).
2. รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน:
  - ข้อมูลวัสดุเส้นด้าย เช่น ประเภทเส้นด้าย (ธรรมชาติ/สังเคราะห์), ขนาดเส้นด้าย, และความหนาแน่น.
  - โครงสร้างผ้าถัก เช่น Rib1x1 และ Interlock.

#### ขั้นตอนที่ 2: การสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักด้วย CAD

1. ออกแบบโครงสร้างผ้าถัก:
  - ใช้โปรแกรม CAD เพื่อสร้างแบบจำลองผ้าถักในรูปแบบ Rib1x1 และ Interlock
  - สร้างโครงสร้าง 3D ด้วยข้อมูลเส้นด้ายและรูปทรงทางเรขาคณิต.
2. เพิ่มความซับซ้อนของแบบจำลอง:
  - สร้างรูปแบบที่แตกต่างกันโดยการปรับจำนวนลูบแนวตั้งและแนวนอน (เพิ่มความหนาแน่นของเส้นด้าย)
  - จำลองพื้นที่ไหลของอากาศผ่านช่องว่างของโครงสร้าง

#### ขั้นตอนที่ 3: การจำลองการซึมผ่านของอากาศ

1. เลือกแบบจำลองการคำนวณ:
  - ใช้แบบจำลองที่แตกต่างกัน (Single Line of yarn และ Fiber Assemble model)
2. การจำลองในแต่ละโครงสร้าง:
  - จำลองการไหลของอากาศด้วยการกำหนดขอบเขต เช่น ความเร็วลมเริ่มต้นและแรงดัน.
  - บันทึกค่าการไหลของอากาศและแรงต้านภายในโครงสร้าง.

#### ขั้นตอนที่ 4: การวิเคราะห์ผลลัพธ์

1. เปรียบเทียบค่าจากการจำลองและการทดลองจริง:
  - วิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่างผลการจำลองและข้อมูลการทดลอง.
2. ประเมินความแม่นยำของแต่ละโมเดล:
  - วิเคราะห์โมเดลต่าง ๆ (Peirce, Leaf and Glaskin, Kurbak, Vassiliadis) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด.

#### ขั้นตอนที่ 5: การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการศึกษา:
  - ระบุโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างผ้าถักในแต่ละรูปแบบ.
2. ข้อเสนอแนะสำหรับการประยุกต์ใช้:
  - แนะนำการนำผลการวิจัยไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การพัฒนาเสื้อผ้ากีฬา, หน้ากากอนามัย, หรือวัสดุกรองอากาศ.
3. แนวทางการวิจัยต่อยอด:
  - ศึกษาโครงสร้างผ้าและวัสดุเส้นด้ายอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของการประยุกต์ใช้.

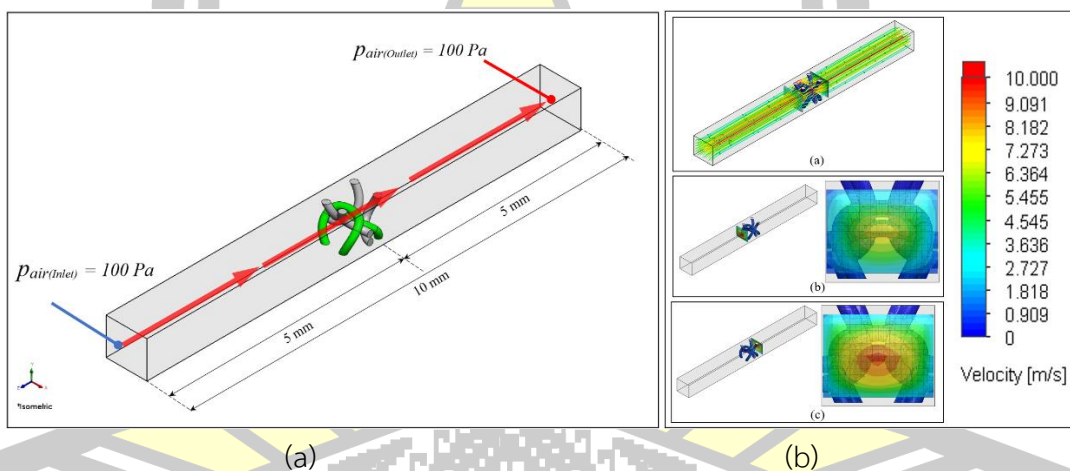
### 3.2 ขึ้นรูปจำลองของโครงสร้างผ้าถักโดยใช้โปรแกรม SolidWorks

ตาราง 2 สมบัติการจำลองโครงสร้างของตัวอย่างผ้าถัก

Simple code	pattern	Wale (cm)	Course per (Cm)	Thickness (mm)	Weight $g/m^2$
R-1	ซี่โครง1x1	9	11	0.56	130.82
R-2	ซี่โครง1x1	9	13	0.58	134.61
R-3	ซี่โครง1x1	9	14	0.63	151.23
I-1	เชื่อมเกี่ยวกัน	9	11	0.7	278.04
I-2	เชื่อมเกี่ยวกัน	11	16	0.79	246.70
I-3	เชื่อมเกี่ยวกัน	11	18	0.81	264.14

### 3.3 CFD ANALYSIS

เซลล์ที่มีหน่วยเซลล์หนึ่งเซลล์ได้รับการออกแบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 6 เพื่อพัฒนาการสร้างแบบจำลอง CFD หน่วยเซลล์จากแต่ละตัวอย่างจะถูกแยกและป้อนลงในซอฟต์แวร์ CFD โครงสร้างทางเรขาคณิตของ loop fabric ถูกจำลองในความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 3 ชุดในทิศทางของราง/เส้นทางในซอฟต์แวร์ SolidWorks และการสร้างแบบจำลอง CFD ดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks Flow Simulation ตัวอย่างถูกเชื่อมต่อในโดเมนที่มีลักษณะคล้ายไปป์ 5 มม. หลังจากทางเข้าโดเมน และ 5 มม. ก่อนทางออกของโดเมน จากการทดลองความแตกต่างของความดันระหว่างด้านผ้าทั้งสองถูกตั้งไว้ที่ 100 Pa ดังแสดงในภาพประกอบที่ 16 (a) ภาพประกอบที่ 16 (b) แสดงตัวอย่างวิธีคำนวณสำหรับตัวอย่างของแบบจำลอง Vassiliadis ที่มีการกระจายความเร็วลมสำหรับเซลล์หนึ่งหน่วยของผ้าที่เชื่อมต่อกันซึ่งวางตำแหน่งโดยตรงด้านบน ด้านล่างโดยตรง และการแสดงรูปร่างของเส้นการไหลของอากาศ เนื่องจากโมเดลมีขนาดค่อนข้างเล็ก การใช้เซลล์หน่วยจึงส่งผลให้ความละเอียดของเวลาลดลง



ภาพประกอบ 16 การจำลองกล่องโดเมนในหน่วย Unit-cell

(a) เงื่อนไขขอบเขตและแรงกดดันที่ตั้งไว้ (b) การกระจายความเร็วลมสำหรับหนึ่งหน่วยเซลล์ของผ้าประสานที่อยู่ในตำแหน่งตรงด้านบน ด้านล่างโดยตรง

ค่าการซึมผ่านของอากาศ (R) คำนวณตามสมการต่อไปนี้

$$R = Q / At \quad (19)$$

โดยที่ คือพื้นที่ผ้าที่ทดสอบ *At* ผลลัพธ์ของเครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศคืออัตราการไหลของอากาศสำหรับผ้า (Q)

การซึมผ่านของอากาศหมายถึงความเร็วลมที่ไหลผ่านเนื้อผ้า ผลการจำลองสำหรับสนามความเร็วสำหรับตัวอย่างทั้งหมดจะแสดงในภาพประกอบที่ 16 (b) โดยจะเห็นว่าการไหลของอากาศเคลื่อนจากทางเข้าไปยังทางออกและความแตกต่างของความดันระหว่างสองด้านของตัวอย่าง



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยเป็นการศึกษาและจำลองโครงสร้างผ้าถักเพื่อการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ เพื่อออกแบบและพัฒนาโครงสร้างผ้าถักถือเป็นกระบวนการสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ต้องอาศัยความเข้าใจในโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุอย่างละเอียด งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD) เพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะทาง เช่น การซึมผ่านของอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในงานออกแบบสิ่งทอที่เน้นประสิทธิภาพ เช่น เสื้อผ้ากีฬา และวัสดุการแพทย์ งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาโครงสร้างผ้าถักในมิติทางเรขาคณิตและลึกถึงระดับเส้นด้ายและเส้นใย โดยใช้วิธีการจำลองโครงสร้างในสองลักษณะ ได้แก่ ผ้าถักแบบด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line of yarn) การจำลองโครงสร้างที่มุ่งเน้นการถักเส้นด้ายเดี่ยวในรูปแบบพื้นฐาน ผ้าถักแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) การผสมผสานเส้นด้ายให้เกิดโครงสร้างเส้นใยที่ซับซ้อนมากขึ้น โครงสร้างการถักถูกกำหนดจากการถักของเส้นด้ายในสองทิศทางหลัก ได้แก่ เส้นด้ายในแนวตั้ง (Wale) และเส้นด้ายในแนวนอน (Courses) ซึ่งถูกออกแบบให้ถักสานกันเพื่อเกิดเป็นห่วงเส้นด้าย (Loop) โครงสร้างของผ้าถักที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก: Rib 1x1 โครงสร้างที่เส้นด้ายถูกถักสลับระหว่างด้านหน้าและด้านหลัง Interlock โครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นโดยมีการถักเส้นด้ายแบบสอดประสาน การออกแบบแบบจำลองโครงสร้างผ้าถัก โครงสร้างผ้าถักได้รับการจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 4 ชนิด ได้แก่ Peirce model , Leaf and Glaskin model , Kurbak model , Vassiliadis model แต่ ละแบบจำลองถูกออกแบบใน 6 รูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติของผ้าถักในมิติต่าง ๆ

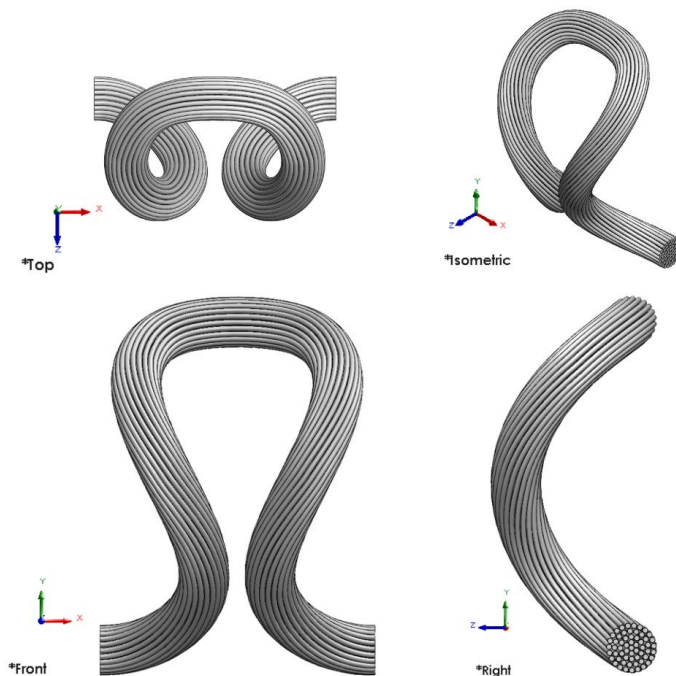
การวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ การซึมผ่านของอากาศเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างผ้าถักในแง่ของการระบายอากาศและความสบายในการใช้งาน การวิเคราะห์ทำโดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก 3 แหล่งข้อมูลหลักคือ ค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบจริง ค่าที่ได้จากผ้าถักแบบด้ายเส้นเดี่ยว ค่าที่ได้จากผ้าถักแบบการประกอบเส้นใย โครงสร้างผ้าถักที่ได้จากการจำลองจะถูกย่อส่วนให้เป็น Unit-cell ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะและความซับซ้อนของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำ

ผลลัพธ์และความสำคัญของงานวิจัย งานวิจัยนี้ช่วยพัฒนาความเข้าใจในโครงสร้างผ้าถักอย่างลึกซึ้ง และนำไปสู่การสร้างแบบจำลองที่สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้หลากหลายมิติ ไม่เพียงแต่ช่วย

เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD) แต่ยังคงช่วยให้การผลิตสิ่งทอมีความแม่นยำสูงขึ้น โดยเฉพาะการควบคุมคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น การซึมผ่านของอากาศ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานสิ่งทอเฉพาะทาง

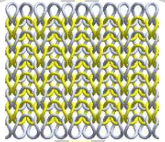
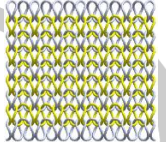
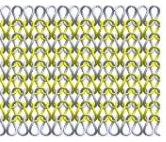
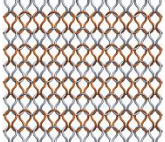
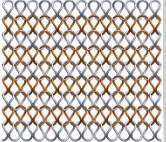
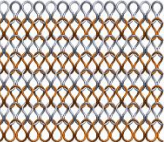
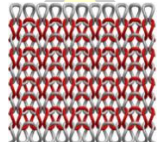
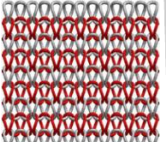
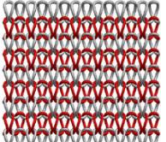
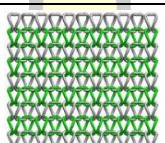
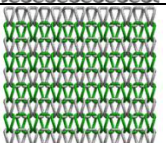
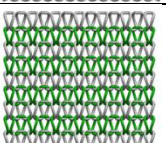
#### 4.1 ผลการดำเนินงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถัก

##### 4.1.1 ผลการจำลองโครงสร้างผ้าถักเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model)

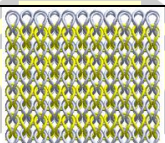
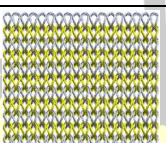
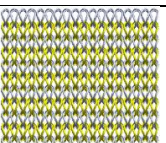
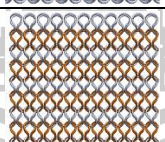

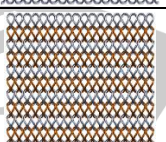
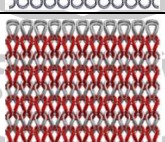
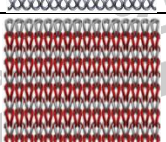
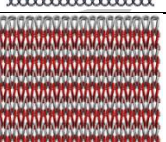
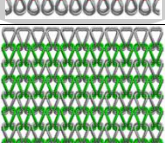
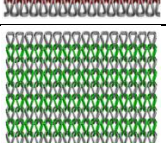
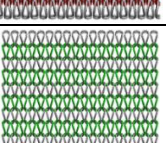


ภาพประกอบ 17 การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 (9/11) ของ Kurbak models ในรูปแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model)

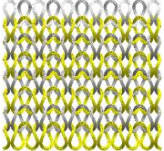
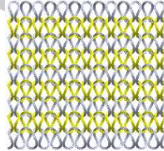
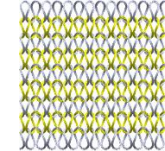
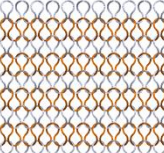
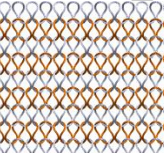
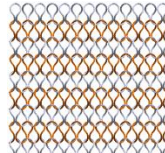
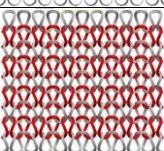
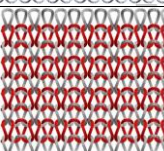
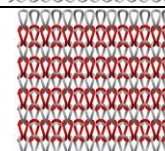
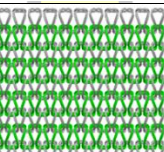
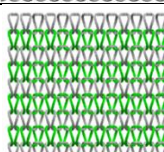
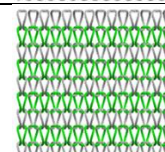
ตาราง 3 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ในหน่วยพื้นที่  $1 \times 1 \text{ cm}^2$

Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Rib 1x1	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

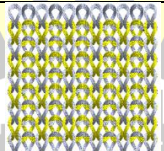
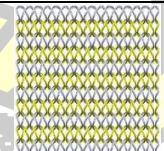
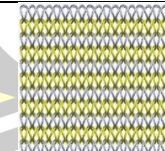
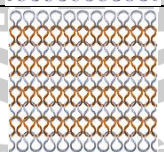
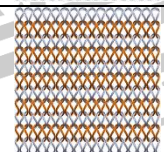
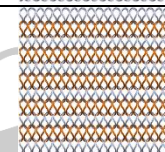
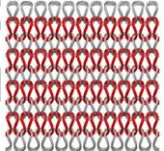
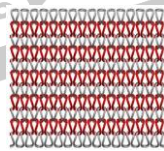
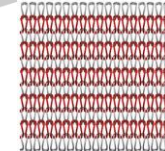
ตาราง 4 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกันของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ในหน่วยพื้นที่  $1 \times 1 \text{ cm}^2$

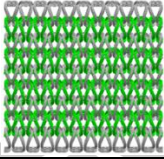
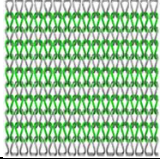
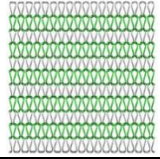
Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Interlock	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

ตาราง 5 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib1x1 ของ (Fiber assembly model) ในหน่วยพื้นที่  $1 \times 1 \text{ cm}^2$










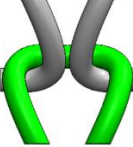

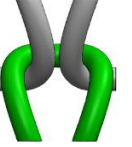
Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Rib 1x1	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

ตาราง 6 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของ (Fiber assembly model) ในหน่วยพื้นที่  $1 \times 1 \text{ cm}^2$

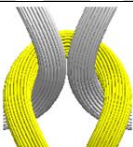


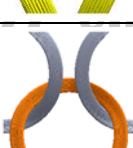
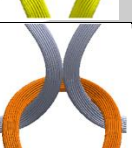
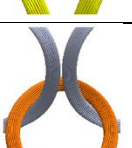
Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Interlock	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			




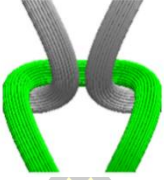
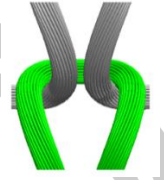
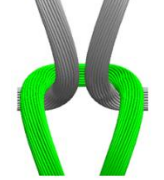
	Vassilidis models			
--	-------------------	---	--	---

ตาราง 7 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 ของเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) ในหน่วย Unit-cell


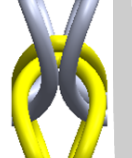






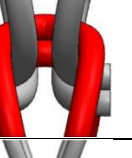



Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Rib 1x1	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

ตาราง 8 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบซี่โครง Rib 1x1 (Fiber assembly model) ในหน่วย Unit-cell

Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	9/13	9/14
Rib 1x1	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			





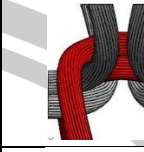
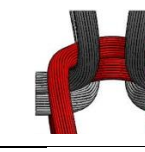
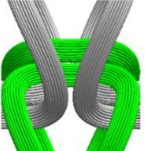
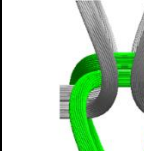
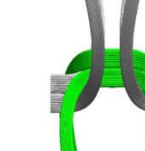
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

ตาราง 9 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว(Single line of yarn) ในหน่วย Unit-cell

Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	11/16	11/18
Interlock	Peirce models			
	Leaf and Glaskin models			
	Kurbak models			
	Vassilidis models			

ตาราง 10 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าถักแบบเชื่อมเกี่ยวกัน Interlock ของ (Fiber assembly model) ในหน่วย Unit-cell

Sample code	Model	Wale/Course		
		9/11	11/16	11/18
Interlock	Peirce models			

Leaf and Glaskin models			
Kurbak models			
Vassilidis models			

จากตารางที่ 3 ถึง ตารางที่ 10 โดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าถัก 4 โมเดล โมเดล ละ 12 รูปแบบ จะได้การโครงสร้างจำลองทั้งหมด 48 ตัวอย่าง เพื่อนำนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศ ในโครงสร้างผ้าถัก แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line of yarn) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assemble model)

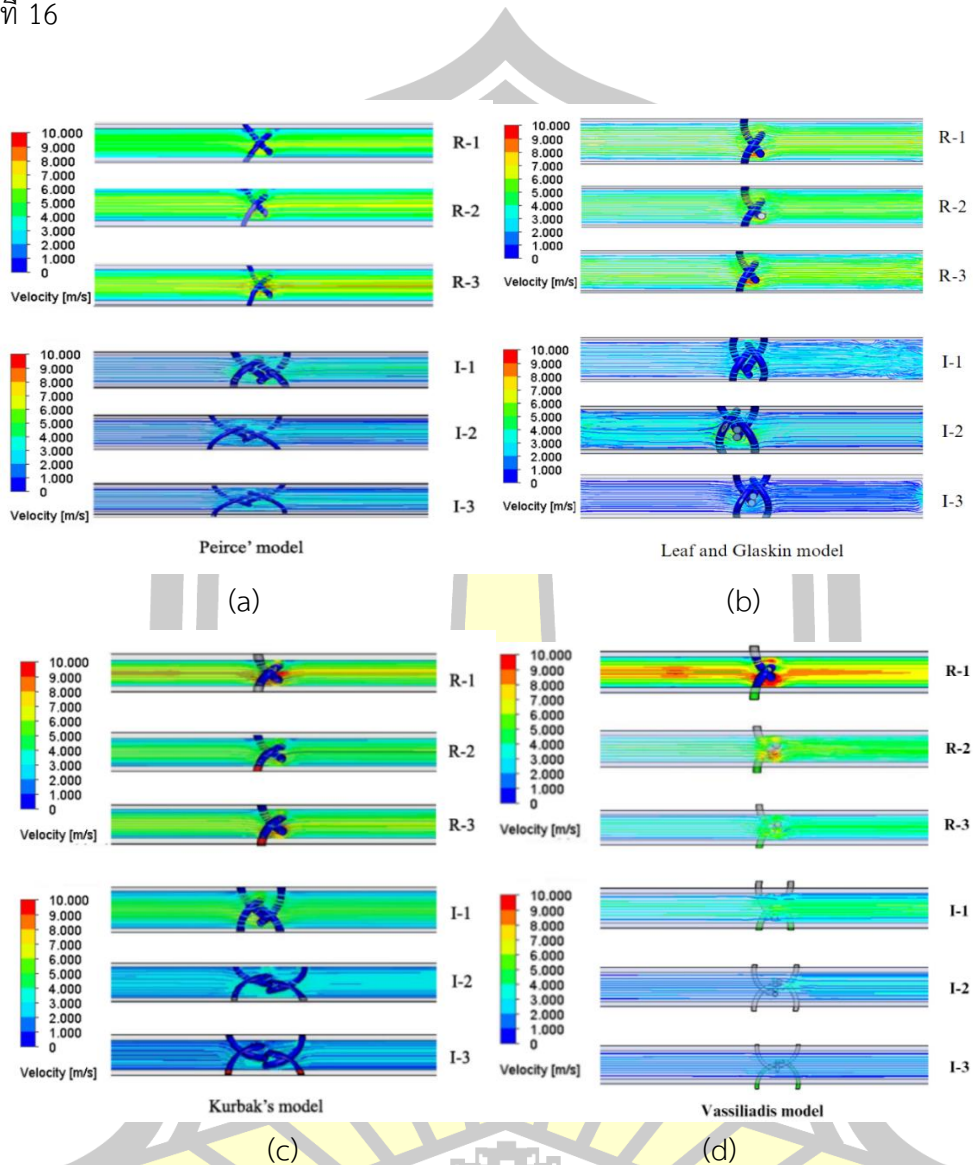
#### 4.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก

จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าถัก 4 โมเดล เพื่อนำนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถักที่จำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line of yarn) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assemble model)

##### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn)

การจำลอง (Simulation) ผ้าถัก รูปแบบของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) จะแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของอากาศ เมื่ออากาศซึมผ่านโครงสร้างผ้าถักที่มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายมีลักษณะเป็นทรงกลมตัน และเมื่ออากาศซึมผ่านโครงสร้างโครงสร้างผ้าถักในขนาด 1 Unit-cell จะ

ทำให้อากาศบีบตัวกันเพื่อผ่านโครงสร้างผ้าถัก และผ่านไปจากโครงสร้างผ้าถัก ดังภาพประกอบ  
ที่ 16



ภาพประกอบ 18 ผลการจำลองความเร็วการไหลซึมผ่านของอากาศในรูปแบบการจำลองบนผ้าถัก  
แบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line yarn) ทั้ง 4 โมเดล

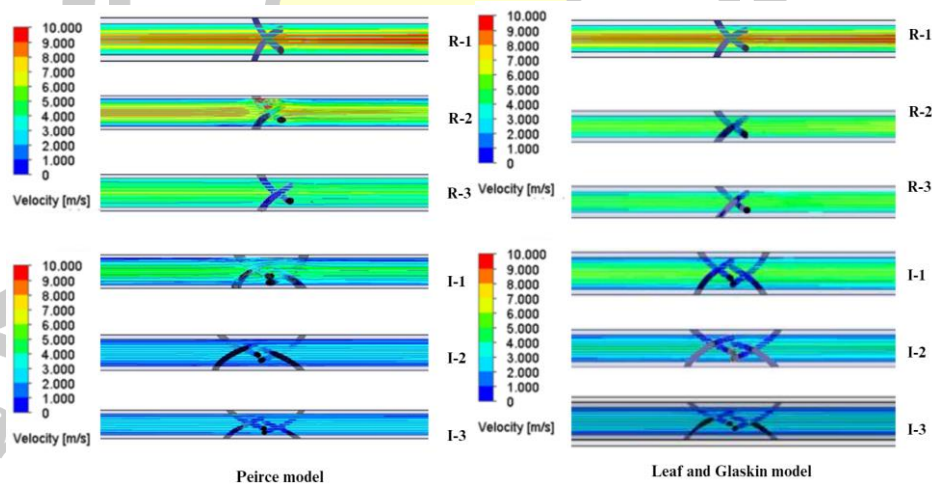
(a) Peirce model (b) Leaf and Glaskin model (c) Kurbak model (d) Vassiliadis model

จากภาพประกอบที่ 18 การจำลองโครงสร้างผ้าถักแบบแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) ทั้ง 24 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นถึงทิศทางและความเร็วการไหลของอากาศ (Velocity) โดยเริ่มจากการไหลเข้าท่อที่มีขนาด 1 Unit-cell ก่อนจะถูกบีบตัวเพื่อผ่านโครงสร้างผ้าทอ ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าค่าความเร็วอากาศสูงสุด พบในตัวอย่าง Rib 1x1 เนื่องจากมีโครงสร้างที่เปิดมากกว่า ค่า

ความเร็วอากาศต่ำสุด พบในตัวอย่าง Interlock ของทั้ง 4 โมเดล เนื่องจากเส้นด้ายมีความหนาแน่นในแนวตั้ง (Wale) และแนวนอน (Courses) สูง ส่งผลให้รูผ่านอากาศเล็กกลง

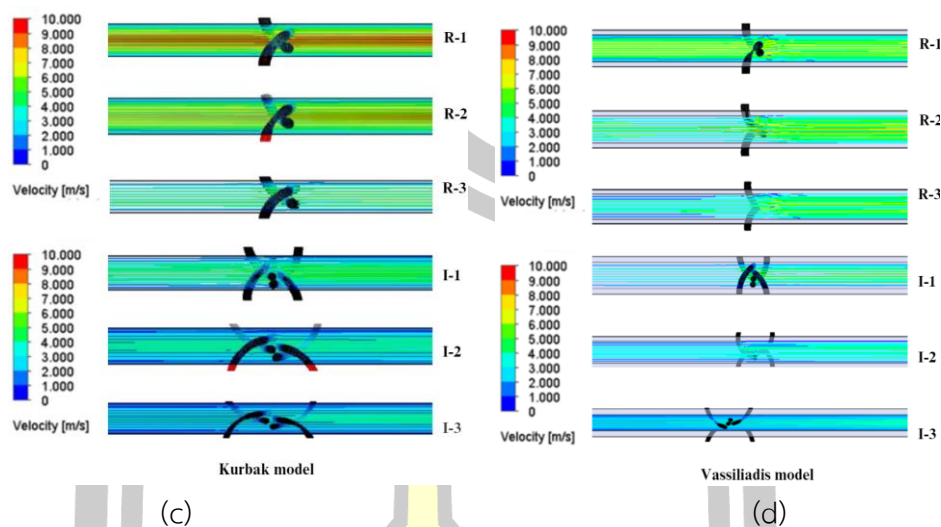
#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก (Fiber assemble model)

การจำลองเส้นด้ายในรูปแบบ Fiber Assemble Model เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างและพฤติกรรมของเส้นด้ายโดยเน้นที่เส้นใยภายใน (Fiber) ซึ่งประกอบกันในรูปแบบ Unit-Cell เพื่อแทนโครงสร้างย่อยของเส้นด้าย การจำลองนี้พิจารณาพารามิเตอร์สำคัญ เช่น ขนาดเส้นใย มุมเกลียวในแต่ละชั้น และความหนาแน่นของเส้นใย (Packing Density) ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพ เช่น การซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) มุมเกลียวแต่ละชั้น ( $\alpha$ ) จะกำหนดช่องว่างในเส้นด้าย ส่งผลต่อการไหลของอากาศ การคำนวณมักใช้การจำลองเชิงตัวเลข เช่น Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อแสดงการไหลของอากาศและความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผลลัพธ์ช่วยให้เข้าใจความซับซ้อนของโครงสร้างเส้นด้ายและนำไปพัฒนาสิ่งทอที่มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ความโปร่งหรือความต้านทานแรงดันอากาศดังภาพประกอบที่ 19



(a)

(b)



ภาพประกอบ 19 ผลการจำลองความเร็วการไหลซึมผ่านของอากาศในรูปแบบการจำลองผ้าถักแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) ทั้ง 4 โมเดล

(a) Peirce model (b) Leaf and Glaskin model (c) Kurbak model (d) Vassiliadis model

จากการจำลอง Simulation ในเส้นด้ายในรูปแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) ดังภาพประกอบที่ 19 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยแต่ละเส้น เมื่ออากาศทำการไหลเข้าโครงสร้างเส้นด้ายและไหลลึกเข้าไปจนถึงเส้นใย เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ จำเป็นต้องมีช่องว่างในการวาดเส้นโค้งและมุมเกลียวของเส้นใย ทำให้อากาศสามารถซึมผ่านเส้นใยได้ และยิ่งแสดงถึงสีของค่าความเร็วของการซึมผ่านอากาศที่มีความชัดเจนมากขึ้น ตั้งแต่อากาศเริ่มไหลเข้าท่อขนาด 1 Unit-cell จนถึงอากาศไหลเข้าโครงสร้างผ้าทอจะกระทั่งบีบอัดตัวกันออกมาจากเส้นใย ร่วมกันระหว่างอากาศที่ไม่ได้เข้าไปภายในเส้นใย จึงทำให้มีการซึมผ่านของอากาศที่มากกว่า Single line ที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก

การทดลองการซึมผ่านของอากาศที่ได้จากการทดลองของเครื่อง SDL Atlas M021A Air Permeability Tester (Textest Instruments) ตามมาตรฐาน ASTM D737-96 (Dehkordi, Ghane, 2017) โดยจะนำค่าที่ทดลองได้จากเครื่องมาเปรียบเทียบกับค่าการซึมผ่านของอากาศทั้งแบบ Single line of yarn และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนในงานตัวอย่างทั้งหมด 48 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 11 และ ตารางที่ 12

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก (Single line of yarn)

Simple code	Experimental air permeability results ( $ml/s.cm^2$ )	Prediction air permeability results ( $m^3/s$ ) (Single line of yarn)				Error of air permeability results (%) (Single line of yarn)			
		Peirce model	Leaf and Glaskin model	Kurbak model	Vassiliadis model	Peirce model	Leaf and Glaskin model	Kurbak model	Vassilia dis model
R-1	364	404.8	424.9	412.2	413.4	11.2	16.7	13.2	13.6
R-2	321	359.5	374.5	353.2	379.2	11.9	16.6	10.1	18.1
R-3	290	325.6	335	321.1	340.9	12.2	15.5	10.7	17.6
I-1	275	317.4	308.4	312.3	309.1	15.4	12.1	13.5	12.4
I-2	156	180.7	177.7	171.4	184.0	15.8	13.9	9.8	17.9
I-3	140	156.9	159.8	156.7	158.8	12.1	14.1	11.9	13.4

#### 4.3.1 การจำลองการซึมผ่านของอากาศแบบเส้นด้ายเส้นเดียว (Simulation Air permeability with Single line of yarn)

จากผลการจำลองการซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ในโครงสร้างผ้าถักโดยใช้ Single Line Model พบว่าโครงสร้างผ้าถักแบบ Rib 1x1 และ Interlock มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศตามพื้นที่การไหลที่แตกต่างกัน เมื่ออากาศเคลื่อนผ่านเข้าไปในท่อจำลองขนาด 1 Unit-cell ของแต่ละรูปแบบ ความเร็วอากาศจะคงที่ในช่วงแรก แต่เมื่อสัมผัสกับผิวเส้นด้าย อากาศจะถูกบีบตัวเนื่องจากพื้นที่ไหลลดลง ส่งผลให้ความเร็วเพิ่มขึ้นขณะไหลผ่านโครงสร้างผ้าถัก หลังจากนั้น เมื่ออากาศผ่านพ้นโครงสร้างไป ความเร็วจะเริ่มลดลงและกลับเข้าสู่ค่าคงที่ก่อนปลายท่อการจำลอง

การเปรียบเทียบความแม่นยำของโมเดลต่าง ๆ แสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่น่าสนใจในแต่ละรูปแบบ

- **Peirce Model** มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำในบางประเภทเส้นด้าย เช่น I-1 (12.3%) และ I-3 (12.1%) อย่างไรก็ตาม ในเส้นด้าย R-1 (11.2%) และ R-2 (11.9%) ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลนี้มีความแม่นยำอยู่ในระดับปานกลาง.
- **Leaf and Glaskin Model** แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูงในเกือบทุกประเภทเส้นด้าย โดยเฉพาะเส้นด้าย R-1 (16.7%) และ R-2 (16.6%) ซึ่งบ่งบอกถึงข้อจำกัดของโมเดลนี้ในการทำนายค่าการซึมผ่านอากาศในเส้นด้ายเหล่านี้.
- **Kurbak Model** มีความแม่นยำสูงที่สุด โดยเฉพาะในเส้นด้าย I-2 (9.8%) และ I-3 (11.9%) แสดงถึงความเหมาะสมสำหรับการทำนายค่าการซึมผ่านในเส้นด้ายที่มีความหนาแน่นสูงและค่าการซึมผ่านต่ำ
- **Vassiliadis Model** ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ Peirce Model โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนปานกลาง เช่น R-1 (13.6%) และ I-3 (13.4%) สะท้อนถึงความเหมาะสมในระดับปานกลาง

จากการศึกษาการซึมผ่านของอากาศในเส้นด้าย พบว่า Kurbak Model ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงที่สุดในกรณีของเส้นด้ายที่มีค่าการซึมผ่านต่ำ เช่น I-2 และ I-3 เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ สำหรับ Peirce Model และ Vassiliadis Model ยังคงสามารถทำนายค่าการซึมผ่านได้ในระดับปานกลาง โดยมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่มีความแม่นยำน้อยกว่า Kurbak Model ในขณะเดียวกัน Leaf and Glaskin Model แสดงข้อจำกัดที่สำคัญในกรณีของเส้นด้ายที่มีความหนาแน่นสูงและค่าการซึมผ่านต่ำ โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองนี้มีความคลาดเคลื่อนสูง สรุปได้ว่า Kurbak Model เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายค่าการซึมผ่านของอากาศในเส้นด้ายที่มีความหนาแน่นสูงและการซึมผ่านต่ำ ขณะที่ Peirce Model และ Vassiliadis Model อาจเหมาะสำหรับการใช้งานในกรณีทั่วไป อย่างไรก็ตาม Leaf and Glaskin Model ไม่เหมาะสมในกรณีนี้เนื่องจากความแม่นยำต่ำและข้อจำกัดในการพยากรณ์ค่าการซึมผ่านของอากาศ

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก Fiber assemble model

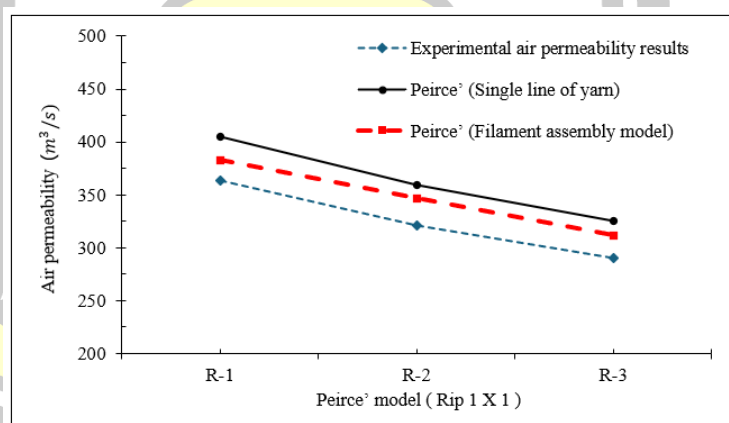
Simple code	Experimental air permeability results ( $ml/s.cm^2$ )	Prediction air permeability results ( $m^3/s$ ) (Fiber assemble model)				Error of air permeability results (%) (Fiber assemble model)			
		Peirce model	Leaf and Glaskin model	Kurbak model	Vassiliadis model	Peirce model	Leaf and Glaskin model	Kurbak model	Vassiliadis model
R-1	364	383.1	396.4	381.6	379.6	5.2	8.9	4.8	4.3
R-2	321	346.7	346.6	327.1	345.9	8.0	8.0	1.9	7.8
R-3	290	311.7	310.6	309.1	313.1	7.5	7.1	6.6	8.0
I-1	275	254.6	295	287.6	296.1	7.4	7.3	4.6	7.7
I-2	156	164.6	167.3	158.4	156.9	5.5	7.2	1.5	0.6
I-3	140	147.6	151.3	149.8	147.3	5.4	8.1	7.0	5.2

#### 4.3.2 การจำลองการซึมผ่านของอากาศแบบเส้นด้ายเส้นเดียวและเส้นด้ายแบบประกอบเส้นใย Simulation Air permeability with fiber assemble model

จากตารางที่ 12 การจำลอง Simulation Air permeability with fiber assemble model ในเส้นด้ายในรูปแบบ Fiber assemble model แสดงให้เห็นว่าเส้นใยแต่ละเส้นสัมผัสกับอากาศที่ซึมผ่านเข้ามาในโครงสร้างเส้นด้ายทั้งแบบ Rib1x1 และ Interlock เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบจำเป็นต้องมีช่องว่างในการวาดเส้นโค้งและมุม จำนวนรูป ความหนาที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละรูปแบบ จึงจำเป็นต้องให้เส้นใยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ระยะ 0.0001 มิลลิเมตร ทำให้อากาศสามารถซึมผ่านเส้นใยได้ และยังแสดงถึงลักษณะความเข้มข้นของค่าความเร็วของการซึมผ่านอากาศที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ตั้งแต่อากาศเริ่มไหลเข้าที่ขนาด 1 Unit-cell จนถึงอากาศไหลเข้าโครงสร้างผ้าถักจะกระแทกบียดตัวกันออกมาจากเส้นใย ผสมกันระหว่างอากาศที่ไม่ได้เข้าไปภายในเส้นใย จึงทำให้มีการซึมผ่านของอากาศลดลงมากกว่า รูปแบบ Single line

การทำนายแบบจำลอง (Peirce, Leaf and Glaskin, Kurbak, และ Vassiliadis) ให้ผลการคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองในหลายประเภทของเส้นด้าย แต่ก็มีความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันในแต่ละโมเดล การวิเคราะห์โมเดลแต่ละประเภท Peirce model มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำในหลายประเภทของเส้นด้าย โดยเฉพาะในเส้นด้าย R-1 (5.2%) และ I-1 (7.3%) ซึ่งแสดงถึงความ

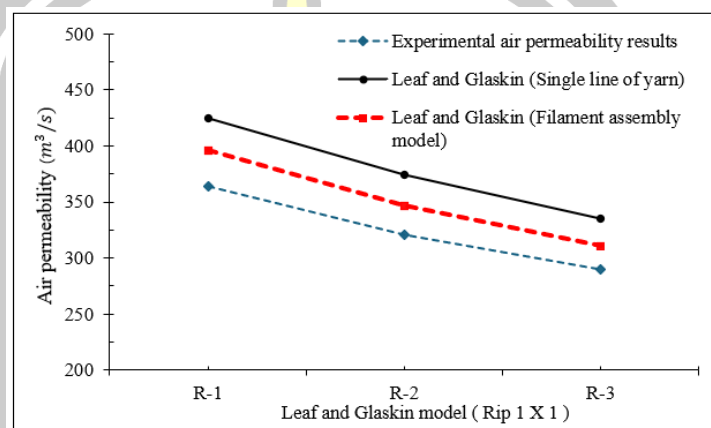
แม่นยำที่ดีในการทำนาย แต่ค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเส้นด้าย I-3 (5.4%) Leaf and Glaskin model มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในเส้นด้าย R-1 (8.9%) และ I-1 (8.0%) แสดงว่าโมเดลนี้อาจไม่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าการซึมผ่านในตัวอย่างเส้นด้ายนี้ Kurbak model ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดในหลายกรณี เช่น R-2 (1.9%) และ R-1 (4.8%) ซึ่งแสดงว่าโมเดลนี้อาจมีความแม่นยำสูงและมีประสิทธิภาพในการทำนายมากที่สุดในโครงสร้างแบบ Rib1x1 ในส่วน Vassiliadis model มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำในเกือบทุกประเภทของเส้นด้าย เช่น R-1 (4.3%) และ I-3 (5.2%) ซึ่งแสดงว่ามีความแม่นยำในระดับที่ดีเมื่อเทียบกับโมเดลอื่น ๆ โมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายค่าการซึมผ่านของอากาศในตัวอย่างเส้นด้ายนี้ Vassiliadis model เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดในหลายประเภทของเส้นด้าย แสดงถึงความแม่นยำที่ดีกว่าโมเดลอื่น ๆ โดยเฉพาะในเส้นด้าย R-1 (4.3%) และ I-3 (5.2%) แม้ว่าค่า error ของ Vassiliadis model จะไม่ได้ต่ำที่สุดเสมอไปในทุกประเภทของเส้นด้าย (เช่น Kurbak model อาจมี error ต่ำกว่าในบางกรณี แต่ Vassiliadis model ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในระดับที่น้อยกว่า 10% ในทุกตัวอย่างเส้นด้าย ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอของโมเดลในการทำนาย โมเดลนี้จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการทำนายค่าการซึมผ่านของอากาศสำหรับเส้นด้ายประเภทต่างๆ และเป็นโมเดลที่สามารถใช้งานได้ดีในสถานการณ์ที่ต้องการผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง



ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Peirce ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

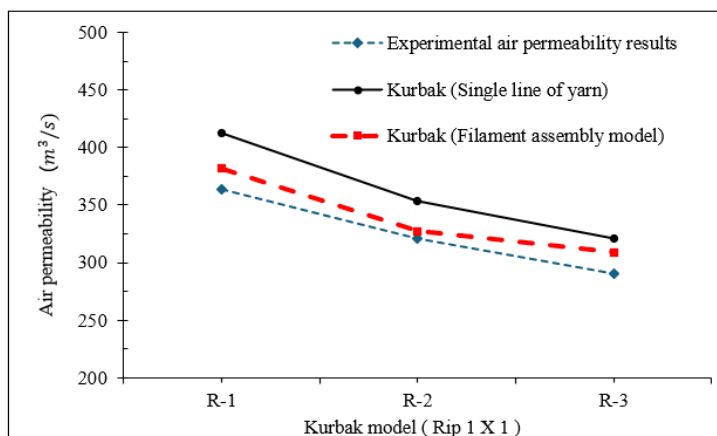
ภาพประกอบที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ โมเดล Peirce ใน 2 แบบเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model)

โมเดล Peirce จะดีที่สุดใโมเดล R-1 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 5.2 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ R-2 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์



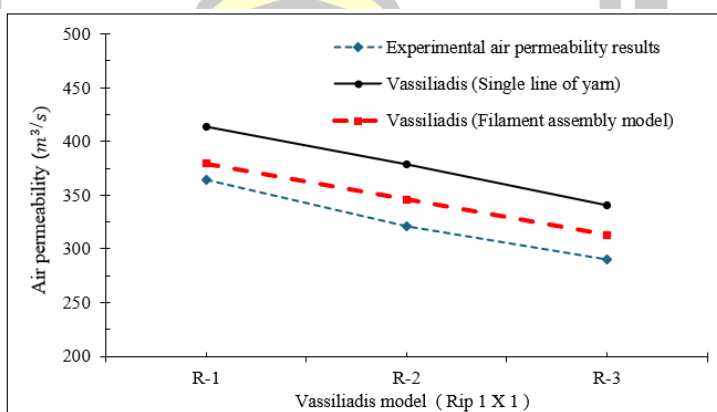
ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Leaf and Glaskin ระหว่าง Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองสองรูปแบบ ได้แก่ Leaf and Glaskin Model และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) โดยมีเป้าหมายเพื่อวัดความแม่นยำของแบบจำลองในแต่ละรูปแบบ R-1, R-2 และ R-3. Leaf and Glaskin Model แสดงผลที่ดีที่สุดในรูปแบบ R-3 โดยค่าความผิดพลาดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับค่าการทดลองจริง นอกจากนี้ยังสะท้อนถึงความสอดคล้องสูงกับค่าการทดลองเมื่อใช้โมเดลนี้. ในทางกลับกันเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีผลความผิดพลาดน้อยที่สุดในรูปแบบ R-3 โดยมีค่าผิดพลาดเพียง 7.1% แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการทำนายค่าการซึมผ่านในบางรูปแบบ. อย่างไรก็ตามเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีข้อเสียเมื่อใช้ในรูปแบบ R-1 เนื่องจากแสดงผลค่าความผิดพลาดสูงสุดถึง 8.9% ซึ่งบ่งชี้ถึงข้อจำกัดของโมเดลในกรณีที่มีโครงสร้างเส้นใยซับซ้อนหรือการจัดเรียงที่ไม่สม่ำเสมอ. สรุปได้ว่า แม้ทั้งสองโมเดลจะแสดงผลที่น่าสนใจ แต่การเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสมกับสถานการณ์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด.



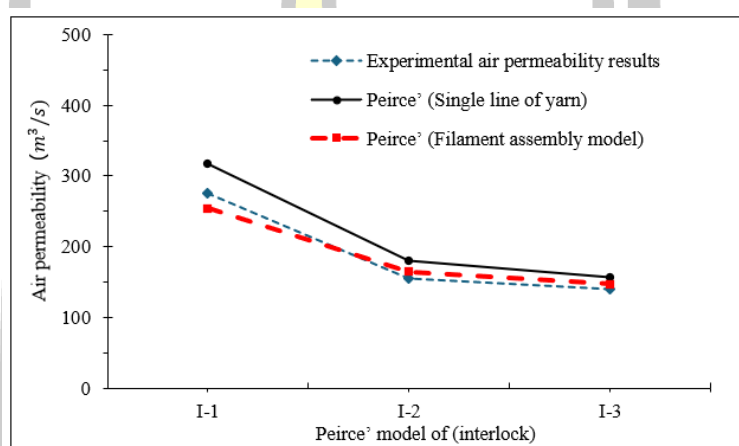
ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Kurbak ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber Assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Kurbak ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) แบบจำลอง Kurbak จะดีที่สุดในโมเดล R-2 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ R-3 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 6.6 เปอร์เซ็นต์



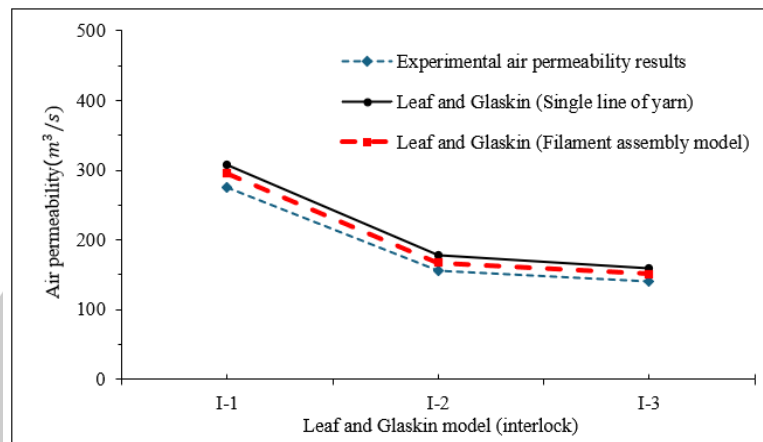
ภาพประกอบ 23 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Rib1x1 โมเดล Vassiliadis ระหว่าง Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Vassiliadis ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) แบบจำลอง Vassiliadis จะดีที่สุดในโมเดล R-1 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 4.3 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ R-3 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์



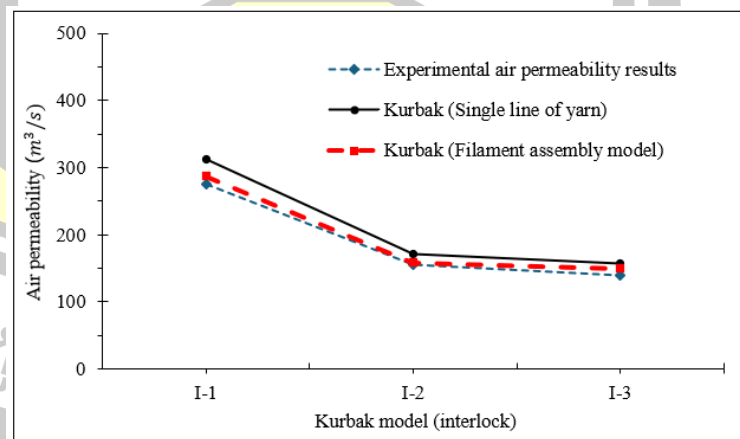
ภาพประกอบ 24 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Peirce ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Peirce ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) โมเดล Peirce จะดีที่สุดในโมเดล I-3 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 5.4 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด Filament assembly model รูปแบบ I-1 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ Filament assembly model มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 7.4 เปอร์เซ็นต์



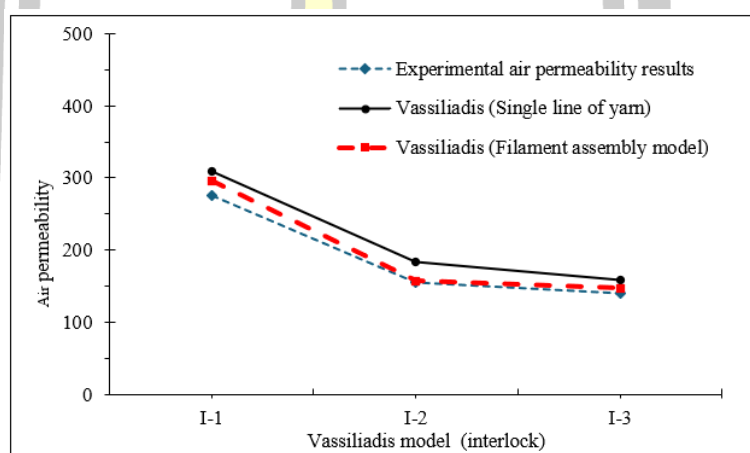
ภาพประกอบ 25 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Leaf and Glaskin ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Vassiliadis ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) โมเดล Leaf and Glaskin จะดีที่สุดในโมเดล I-2 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 7.2 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ I-3 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 8.1 เปอร์เซ็นต์



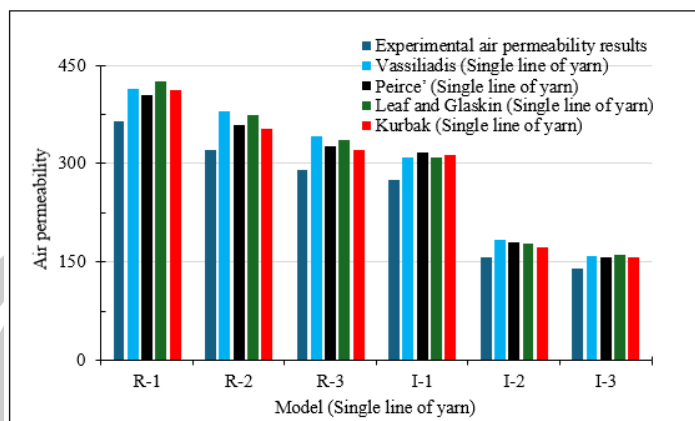
ภาพประกอบ 26 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Kurbak ระหว่าง รูปแบบ แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Kurbak ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) โมเดล Kurbak จะดีที่สุด ในโมเดล I-2 Fiber Assembly เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ I-3 เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์



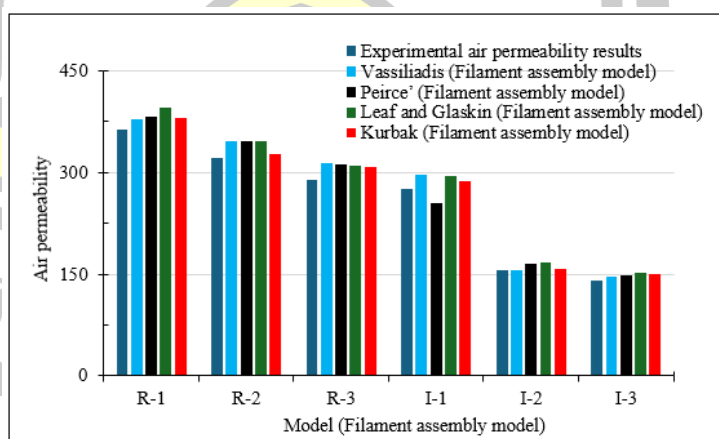
ภาพประกอบ 27 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบ Interlock โมเดล Vassiliadis ระหว่าง แบบ Single line of yarn แบบ Fiber assemble model และค่าที่ทดลอง

ภาพประกอบที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบ "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) ระหว่างค่าการทดลองและแบบจำลองของ Vassiliadis ใน 2 แบบ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และ แบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) โดย model Vassiliadis แบบเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) จะดีที่สุด ในโมเดล I-2 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.6 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ I-2 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ รูปแบบแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) มีความผิดพลาดมากที่สุด เท่ากับ 17.3 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 28 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn) และค่าที่ทดลอง

กราฟนี้แสดงค่า "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) เปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองต่างๆ ซึ่งเป็นเส้นด้ายเดี่ยว (Single line of yarn) แยกตามโครงสร้าง Rib และ Interlock ที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาจากกราฟ แบบจำลองของ Vassiliadis ดูใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองมากที่สุดในหลายๆ โมเดล เช่น R-1, R-2, และ R-3 ในขณะที่แบบจำลองของ Peirce Leaf and Glaskin และ Kurbak มีค่าที่ต่ำกว่าค่าทดลองในบางกรณี โดยเฉพาะโมเดล I-2 และ I-3 ดังนั้น แบบจำลองของ Vassiliadis น่าจะให้ผลที่ดีที่สุดเพราะใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด



ภาพประกอบ 29 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าถักแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) และค่าที่ทดลอง

กราฟนี้แสดงค่า "ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ" (Air permeability) เปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองต่างๆ ซึ่งเป็นเส้นด้ายแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) แยกตามโครงสร้าง Rib และ Interlock ที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณากราฟแบบจำลองของ Vassiliadis ดูใกล้เคียงกับค่าทดลองในโมเดล R-1, R-2, R-3 มากที่สุด Peirce , Leaf and Glaskin , และ Kurbak ก็มีผลใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างชัดเจนในบางโมเดล โดยเฉพาะใน I-2 และ I-3 ซึ่งค่าต่ำกว่าค่าทดลองมาก ดังนั้น แบบจำลองของ Vassiliadis ยังคงใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองมากที่สุดในกราฟนี้



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการใหม่ในการจำลองโครงสร้างผ้าถัก 3 มิติแบบเสมือนจริง โดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks V. 2022 เพื่อออกแบบโครงสร้างผ้าถักสองประเภท ได้แก่ Rib 1x1 และ Interlock กระบวนการเริ่มจากการกำหนดข้อมูลและตัวแปร (input data) ที่จำเป็น จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าถักด้วยโมเดลที่พัฒนาโดย Peirce, Leaf and Glaskin, Kurbak, และ Vassiliadis เพื่อระบุตำแหน่งและมุมของเส้นใยภายในเส้นด้าย โดยการสร้างเส้นใยในเส้นด้ายแต่ละเส้นทำได้โดยวิธีการ Sweep ไปในทิศทางความยาวของเส้นด้ายตามตำแหน่งและมุมที่กำหนด จากนั้นจึงประกอบเส้นด้ายทุกเส้นเข้าด้วยกันในลักษณะ เส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถัก 3 มิติ

หลังจากสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าถักแล้ว ได้นำแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ (Rib และ Interlock ในโครงสร้างจาก Peirce, Leaf and Glaskin, Kurbak, และ Vassiliadis) ไปวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ของไหล (CFD) ในซอฟต์แวร์ SolidWorks Simulation จากนั้นนำค่าการซึมผ่านที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบการซึมผ่านอากาศ เพื่อประเมินความแม่นยำของการจำลองและประสิทธิภาพของโมเดลทั้ง 4

จากการทดลองนี้ พบว่า การจำลองโครงสร้างผ้าถักทั้ง 4 ตัวอย่างในรูปแบบ 3 มิติ ช่วยให้สามารถแสดงลักษณะของผ้าถักที่มีความสมจริงสูง เส้นใยทั้งหมดถูกรวมเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสมในโครงสร้าง Rib และ Interlock ซึ่งทำให้ได้แบบจำลองที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างผ้าถักจริง และในการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของอากาศ โมเดลทั้ง 4 มีความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับค่าทดสอบจริง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก

#### 5.2 อภิปรายผล

จากการจำลองโครงสร้างผ้าถัก โดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าถักทั้งแบบ Rib1x1 และ Interlock จำนวนการจำลองตามรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 4 ชนิดละ 6 รูปแบบ ในแต่ละรูปแบบจะเพิ่มจำนวนลูปแนวตั้งและแนวนอน เพื่อเพิ่มจำนวนของเส้นด้ายให้มีความแน่นมากขึ้นและตรงตามชิ้นงานตัวอย่าง จะได้การโครงสร้างจำลองทั้งหมด 48

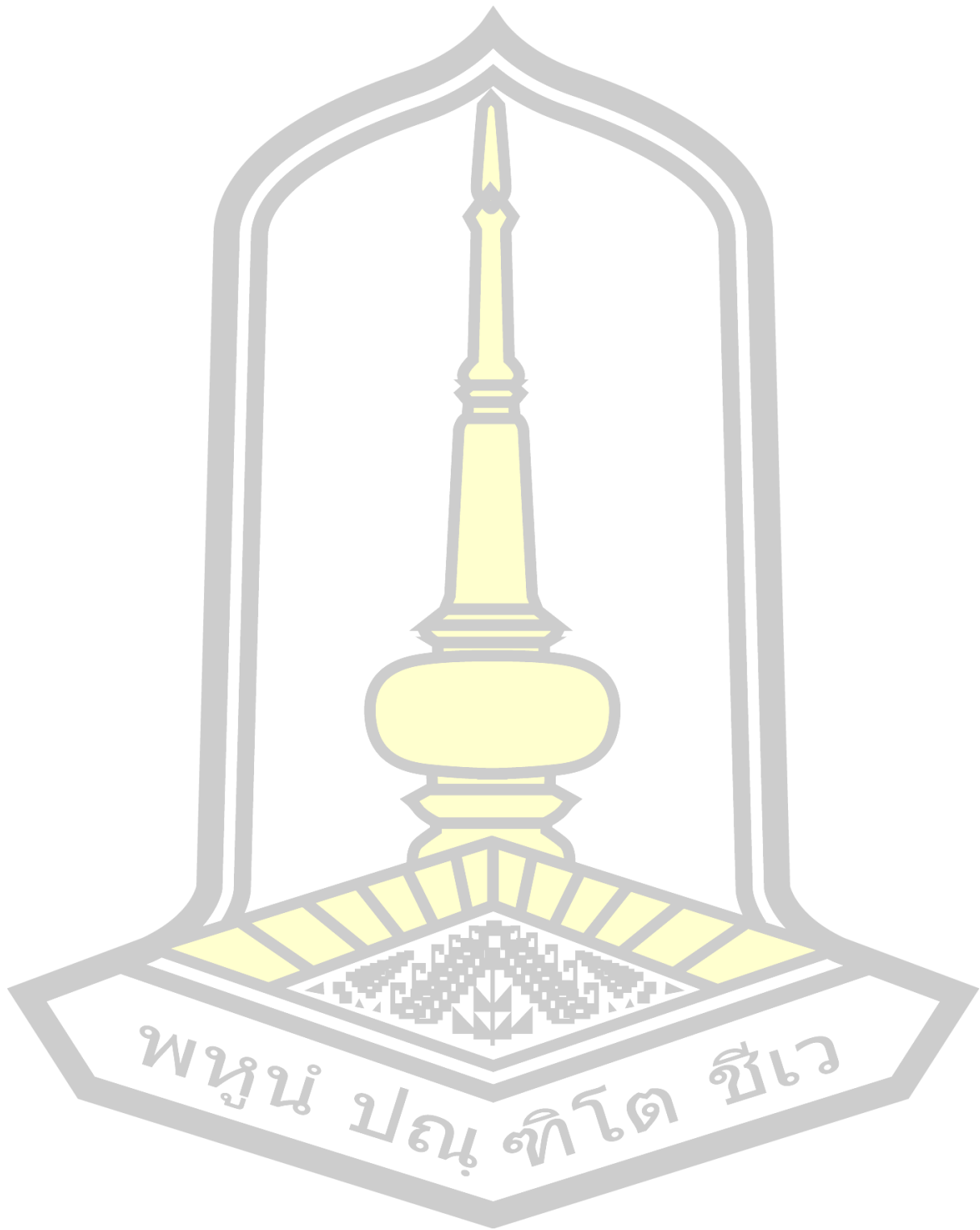
ตัวอย่าง เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศ ในโครงสร้างผ้าถัก แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าถัก ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) และแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model)

ผลจากการซึมผ่าน ในรูปแบบของ เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) จะได้ว่าเมื่ออากาศไหลผ่านโครงสร้างผ้าถัก ที่พื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน ปรากฏว่าอากาศที่ไหลผ่านมีการสัมผัสกับพื้นที่ของเส้นด้าย และบีบตัวกันเมื่อเจอกับบริเวณที่เป็นเส้นด้าย เนื่องจากผิวบริเวณที่สัมผัสเป็นบริเวณที่เรียบเนียน จึงทำให้อากาศไหลผ่านและบีบตัวกันผ่านโครงสร้างเส้นด้ายไปแบบราบรื่นในบริเวณเส้นด้าย ต่างจากการซึมผ่านอากาศในแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) จะมีการซึมผ่านอากาศมากกว่าแบบเส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn) เนื่องจากขณะที่อากาศซึมผ่านโครงสร้างผ้าทอนั้น ปรากฏว่าอากาศจะซึมผ่านช่องว่าง และมุมเกลียวระหว่างภายในเส้นใย ทำให้อากาศบีบตัวจากเส้นใย ผสมกันกับอากาศที่อยู่บริเวณผิวของเส้นด้าย จึงเกิดการไหลของอากาศรวมกัน ทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นตามเส้นใยและมุมเกลียว ดังนั้นการซึมผ่านอากาศของแบบเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber assemble model) จึงมีค่ามากกว่า เส้นด้ายเส้นเดียว (Single line of yarn)

### 5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

การศึกษาการซึมผ่านของอากาศในผ้าถักโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) เป็นก้าวสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ยังมีโอกาสพัฒนางานวิจัยในหลายมิติ เช่น การขยายการศึกษาไปยังโครงสร้างผ้าถักหลากหลายรูปแบบ การวิเคราะห์วัสดุเส้นด้ายที่หลากหลาย การพัฒนาโมเดลการจำลองที่มีความแม่นยำ การทดสอบภายใต้สภาวะการใช้งานจริง การพิจารณาอายุการใช้งานในระยะยาว และการเชื่อมโยงกับแนวคิดความยั่งยืน ข้อเสนอแนะเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างงานวิจัยที่ครอบคลุมและตอบโจทย์ความต้องการของอุตสาหกรรมในอนาคตอย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม

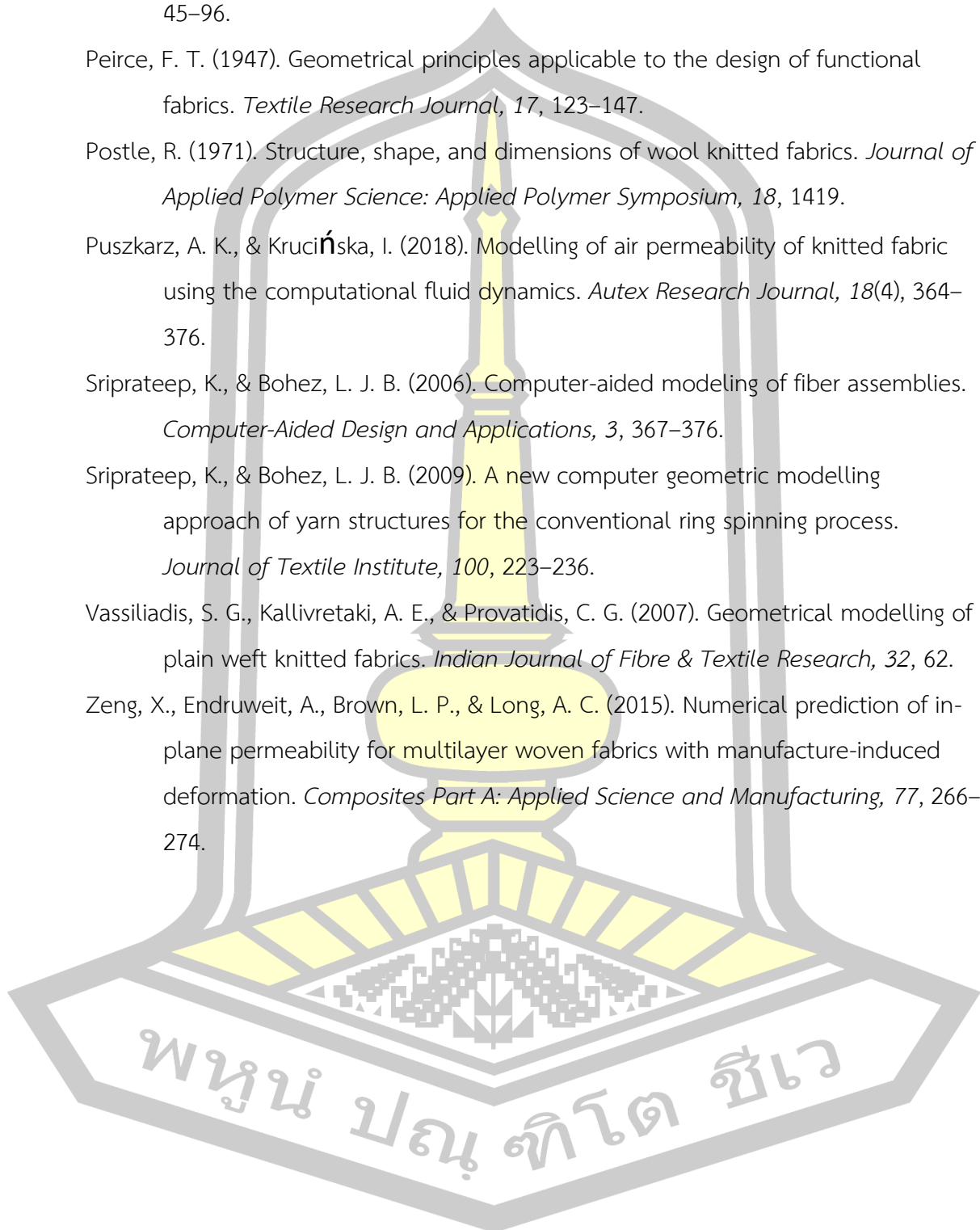


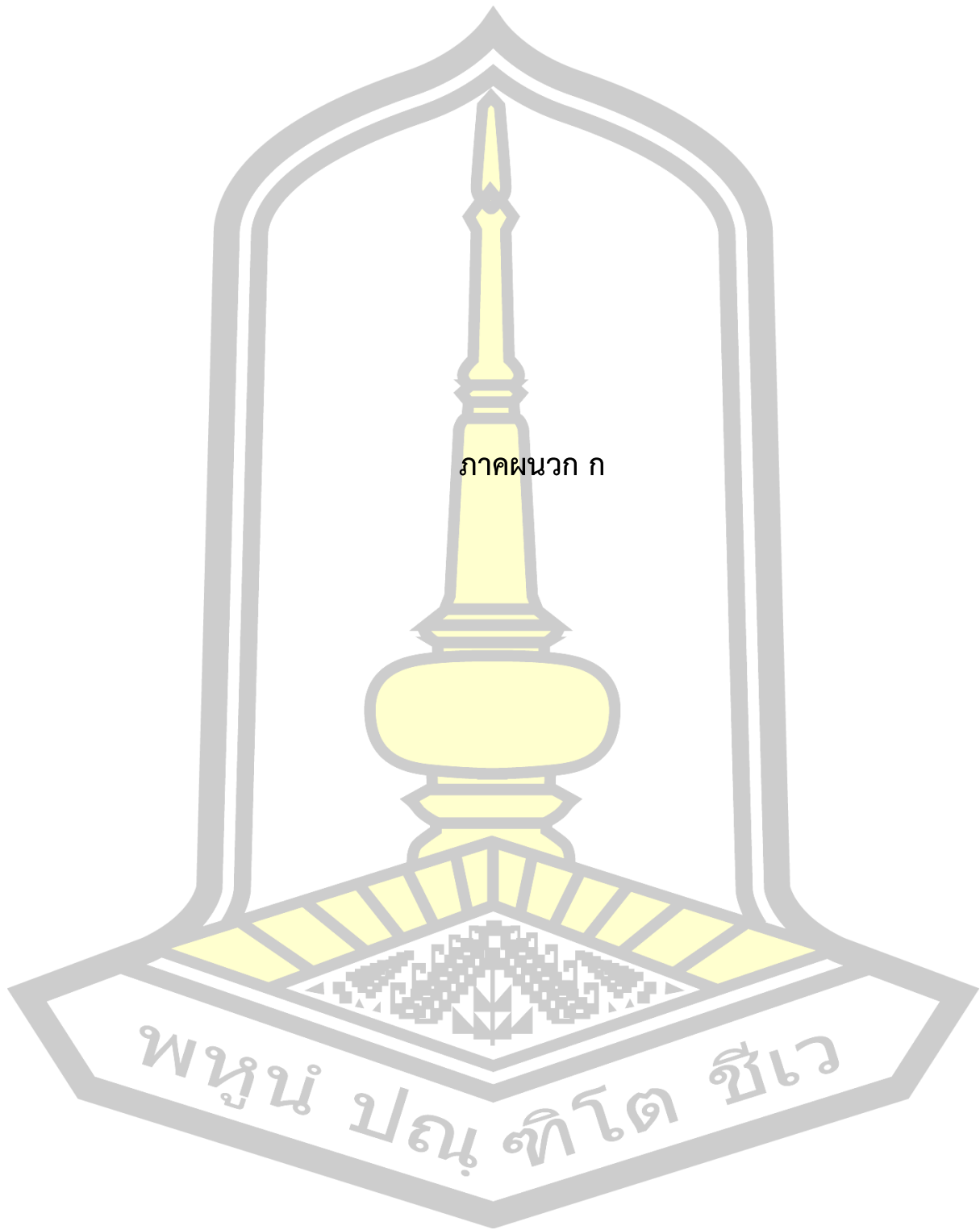
## บรรณานุกรม

- เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป. (2563). คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบสำหรับโครงสร้างเส้นใย เส้นด้ายและ  
ผ้าทอ. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา จังหวัดขอนแก่น 350 หน้า.
- จารึก สิงห์ปรีชา. (2558) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรภาคการเกษตรต่อความ  
มั่นคง ในการผลิตอาหารภาคเกษตรของไทย. สมาคมนักวิจัย สาขามนุษยศาสตร์และ  
สังคมศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ, (2560) ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พุดพิงศ์ ประทุมชาติ. (2562). วิธีการใหม่สำหรับคอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้างแบบจำลองของ  
โครงสร้างผ้าทอ. ปริญญาโทปริญญาตรีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วัฒนา นนทวงศ์และรชต ทรวงชัยสงวน.คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองเรขาคณิตโครงสร้างของผ้าถัก  
แนวนอน:มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,2556สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2554).  
สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.
- สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2555). สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี  
2554 และแนวโน้ม 2555.
- Adanur, S., & Liao, T. (1998). 3D modeling of textile composite performs. *Composites  
Part B*, 29, 787–793.
- Burleigh, E. G., Wakeham, H., Honold, E., & Skau, E. L. (1949). Pore-size distribution in  
textiles. *Textile Research Journal*, 19(9), 547–555.
- Chamberlain, J. (1949). *Hosiery yarns and fabrics* (Vol. II). Leicester College of  
Technology and Commerce.
- Dehkordi, S. S. H., Ghane, M., Abdellahi, S. B., & Soultanzadeh, M. B. (2017). Numerical  
modeling of the air permeability of knitted fabric using computational fluid  
dynamics (CFD) method. *Fibers and Polymers*, 18(9), 1804–1809.
- Grishanov, S. A., Lomov, S. V., Cassidy, T., & Harwood, R. J. (1997). The simulation of  
the geometry of a two-component yarn: Part II: Fibre distribution in the yarn  
cross-section. *Journal of Textile Institute*, 88, 352–372.
- Harwood, R. J., Grishanov, S. A., Lomov, S. V., & Cassidy, T. (1997). Modelling of two-  
component yarns: Part I: The compressibility of yarns. *Journal of Textile  
Institute*, 88, 373–384.

- Hearle, J. W. S., Grosberg, P., & Backer, S. (1969). *Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics*. John Wiley & Sons.
- Hearle, J. W. S. (1965). Theoretical analysis of the mechanics of twisted staple fiber yarns. *Textile Research Journal*, 35, 1060–1071.
- Hearle, J. W. S., Gupta, B. S., & Merchant, V. B. (1965). Migration of fibers in yarns: Part I: Characterization and idealization of migration behavior. *Textile Research Journal*, 35, 329–334.
- Jiang, Y., & Chen, X. (2005). Geometric and algebraic algorithms for modelling yarn in woven fabrics. *Journal of Textile Institute*, 96, 237–245.
- Keefe, M. (1994). Solid modeling of fibrous assemblies: Part I, twisted yarns. *Journal of Textile Institute*, 85, 338–349.
- Keefe, M., Edwards, D., & Yang, J. (1992). Solid modeling of yarn and fibre assemblies. *Journal of Textile Institute*, 83, 185–196.
- Kurbak, A. (1998). Plain knitted fabric dimensions (Part II). *Textile Asia*, 36, 41–44.
- Kurbak, A., & Ekmen, O. (2008). Basic studies for modeling complex weft knitted fabric structures: Part I: A geometrical model for widthwise curlings of plain knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 78(3), 198–208.
- Leaf, G. A. V. (1960). Models of the plain-knitted loop. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 51(2), T49–T58.
- Leaf, G. A. V., & Glaskin, A. (1955). Geometry of plain-knitted loop. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 46, 587–605.
- Morris, P. J., Merkin, J. H., & Rennell, R. W. (1999). Modeling of yarn properties from fiber properties. *Journal of Textile Institute*, 90, 322–335.
- Munden, D. L. (1959). The geometry and dimensional properties of jersey knit fabrics. *Journal of Textile Institute*, 50, 448–471.
- Patumchat, P., & Sriprateep, K. (2019). New computer geometric modeling approach with filament assembly model for woven fabric structures. *Journal of Textile Institute*, 110, 50–60.
- Patumchat, P., & Sriprateep, K. (2023). Computer geometric modeling approach with filament assembly model for 2x2 twill woven fabrics structures. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 48, 132–140.

- Peirce, F. T. (1937). The geometry of cloth structure. *Journal of Textile Institute*, 28, 45–96.
- Peirce, F. T. (1947). Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics. *Textile Research Journal*, 17, 123–147.
- Postle, R. (1971). Structure, shape, and dimensions of wool knitted fabrics. *Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium*, 18, 1419.
- Puszkarz, A. K., & Krucińska, I. (2018). Modelling of air permeability of knitted fabric using the computational fluid dynamics. *Autex Research Journal*, 18(4), 364–376.
- Sriprateep, K., & Bohez, L. J. B. (2006). Computer-aided modeling of fiber assemblies. *Computer-Aided Design and Applications*, 3, 367–376.
- Sriprateep, K., & Bohez, L. J. B. (2009). A new computer geometric modelling approach of yarn structures for the conventional ring spinning process. *Journal of Textile Institute*, 100, 223–236.
- Vassiliadis, S. G., Kallivretaki, A. E., & Provatidis, C. G. (2007). Geometrical modelling of plain weft knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 32, 62.
- Zeng, X., Endruweit, A., Brown, L. P., & Long, A. C. (2015). Numerical prediction of in-plane permeability for multilayer woven fabrics with manufacture-induced deformation. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, 266–274.





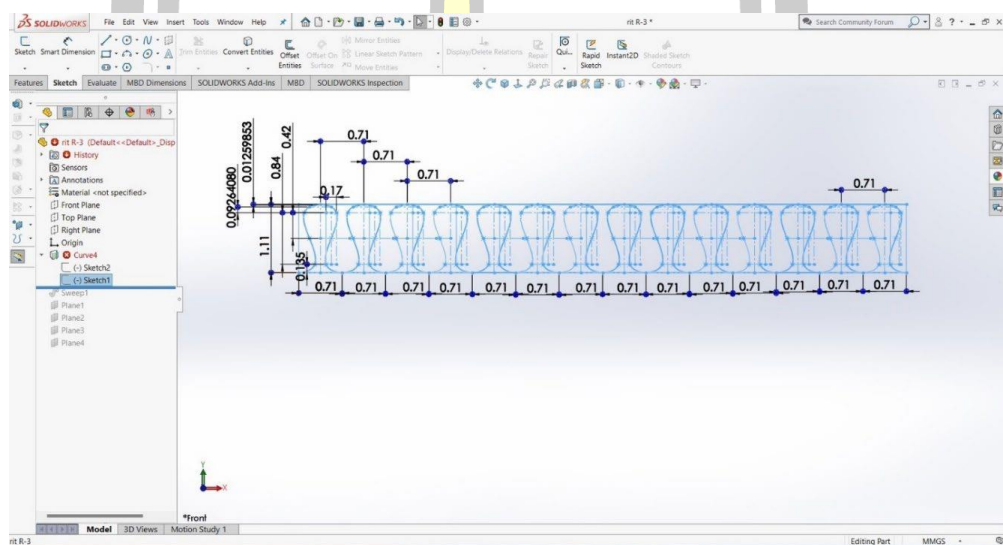
ภาคผนวก ก

พูนํ ปณํ ทิโต ชีเว

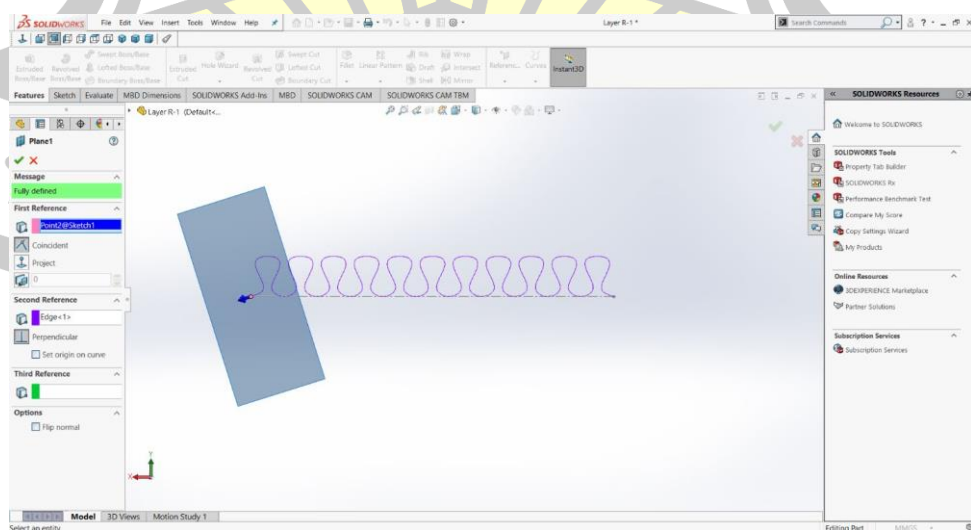
## ภาคผนวก ก

## การจำลองโครงสร้างผ้าถัก 3 มิติแบบ

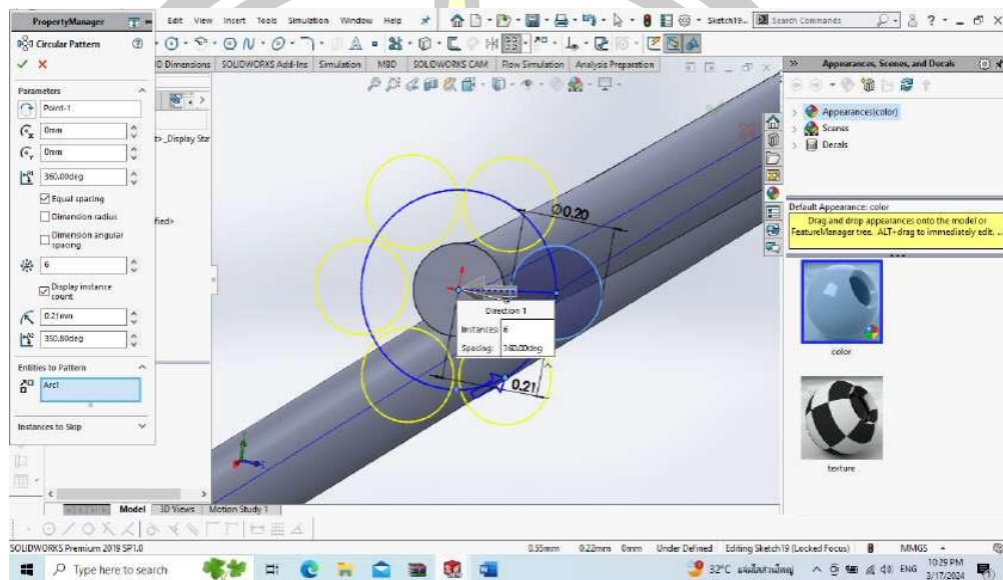
ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบโครงสร้างผ้าทอลายขัด ชนิด 1x1 ใน SOLIDWORKS 2018 ทำการคำสั่ง Sketch ในมุมมองของ Right Plane



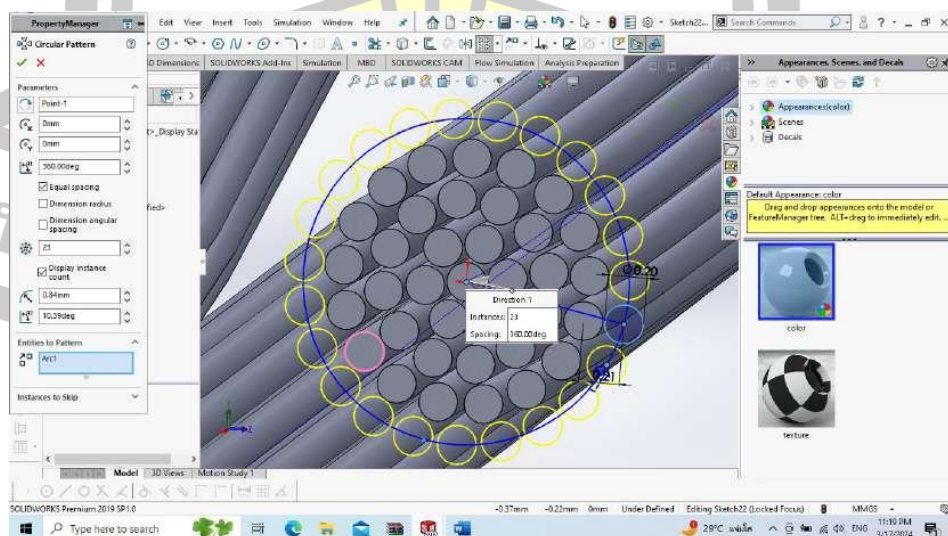
ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง Plane2 ที่เส้น Sketch กำหนดทิศทางเพื่อใช้คำสั่ง Sweeps เส้นใย และกำหนดมุมเกลียวที่ 0 องศา ใน layers 1



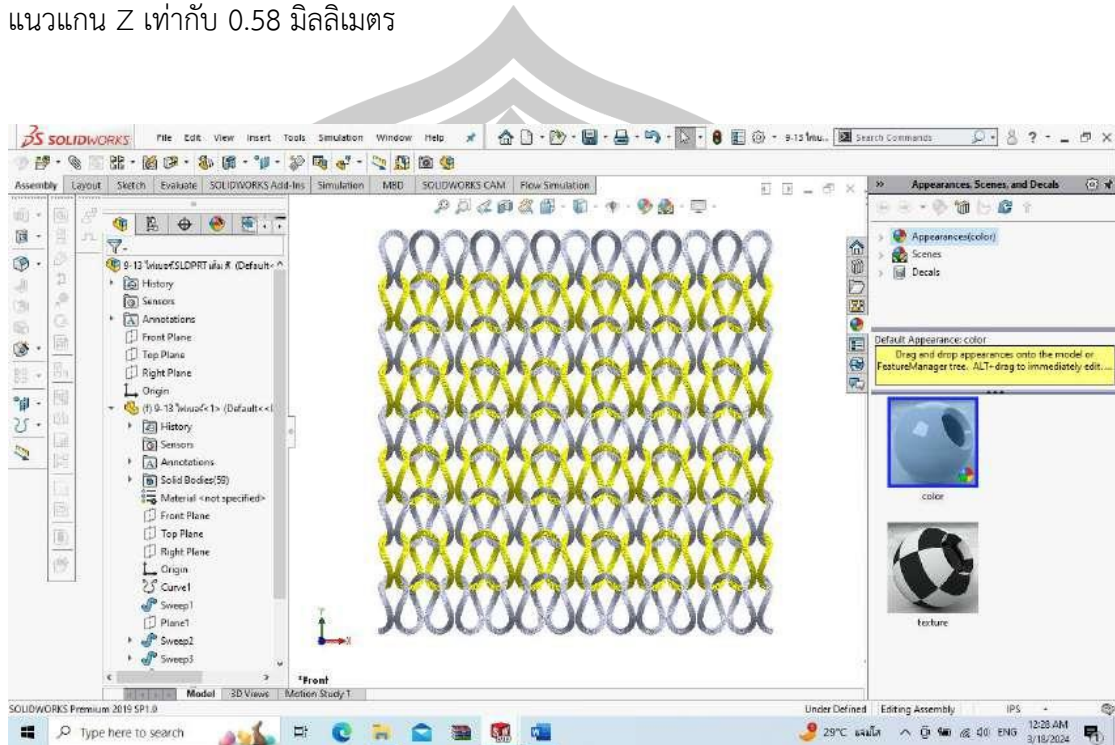
**ขั้นตอนที่ 3** การ Sketch เส้นใย ที่มีขนาด 0.022 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้นใย แล้วทำการ Sketch วงกลม ที่มีขนาด 0.022 มิลลิเมตร และการใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนเส้นใย จำนวน 6 เส้น ใน Layer ที่ 2



**ขั้นตอนที่ 4** การ Sketch เส้นใย ที่มีขนาด 0.022 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้นใย แล้วทำการ Sketch วงกลม ที่มีขนาด 0.022 มิลลิเมตร และการใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนเส้นใยใน Layer ที่ 2-5



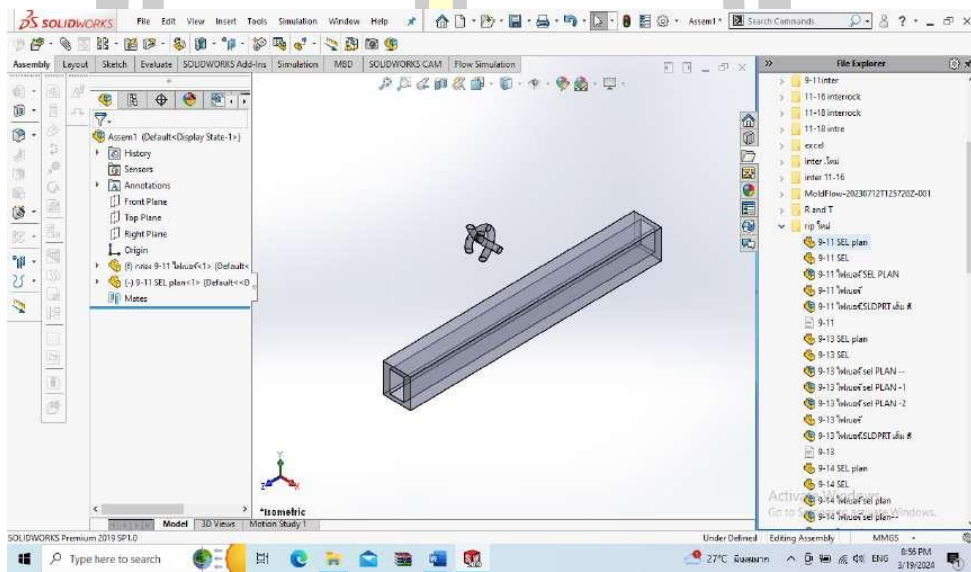
ขั้นตอนที่ 5 นำมาการ Assembly ประกอบกับให้โครงสร้าง ซีโครง $1 \times 1 \frac{9}{13}$  ความหนาในแนวแกน Z เท่ากับ 0.58 มิลลิเมตร



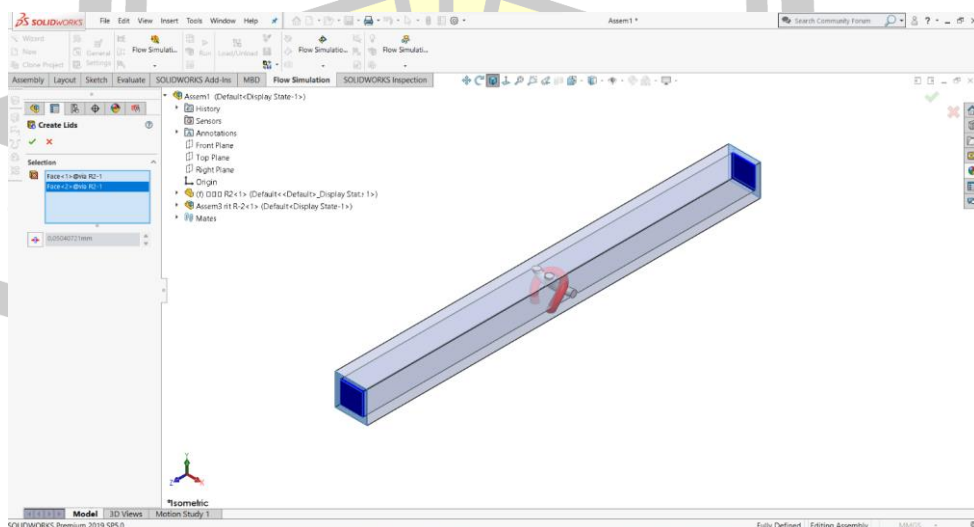
## ภาคผนวก ข

### แสดงวิธีการ Flow Simulation

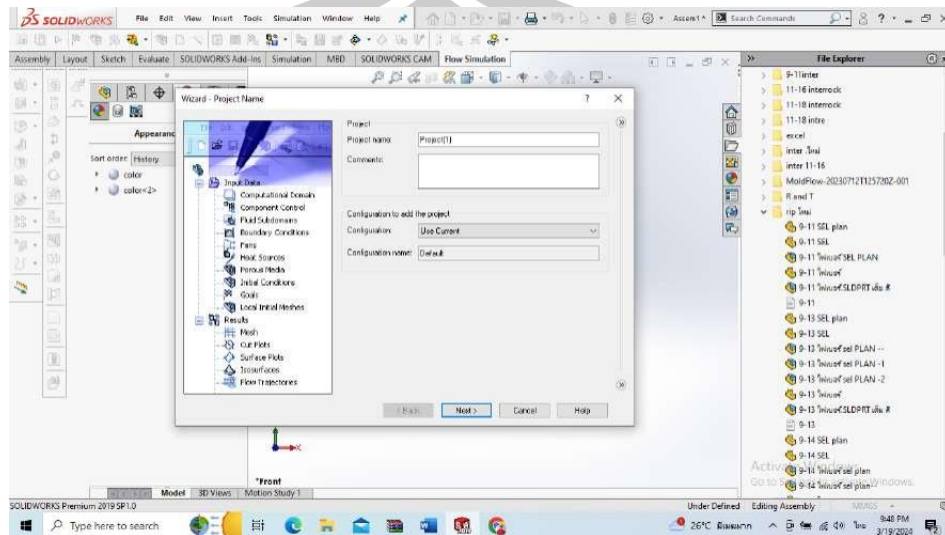
ขั้นตอนที่ 1 การนำเส้นด้ายมา Assembly ให้เป็น 1 unit cell เพื่อจะนำไปใช้ในการ Flow Simulation และ ก่อ้งโดเมน Extruded Boss/Base ใส่ความยาว Direction เท่ากับ 10 มิลลิเมตร



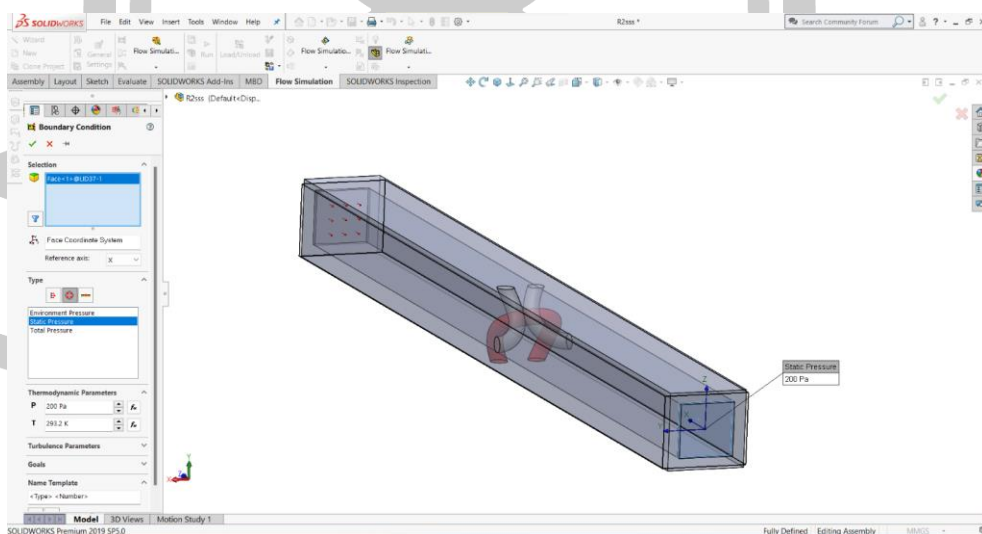
ขั้นตอนที่ 2 การเปิดใช้งาน Flow simulation แล้วจึงเลือกคำสั่ง Create Lids



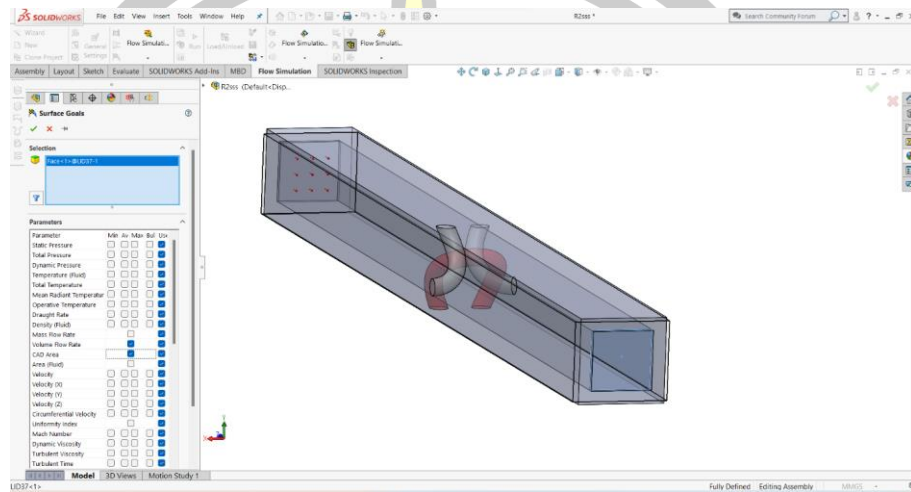
ขั้นตอนที่ 3 คำสั่ง Add-Ins เลือก Wizard ถัดไปคำสั่ง Flow Simulation หน่วยวัด SI (m-kg-s) กำหนดไหลกตที่ Gases และ Air เพื่อการจำลองการซึมผ่านอากาศ



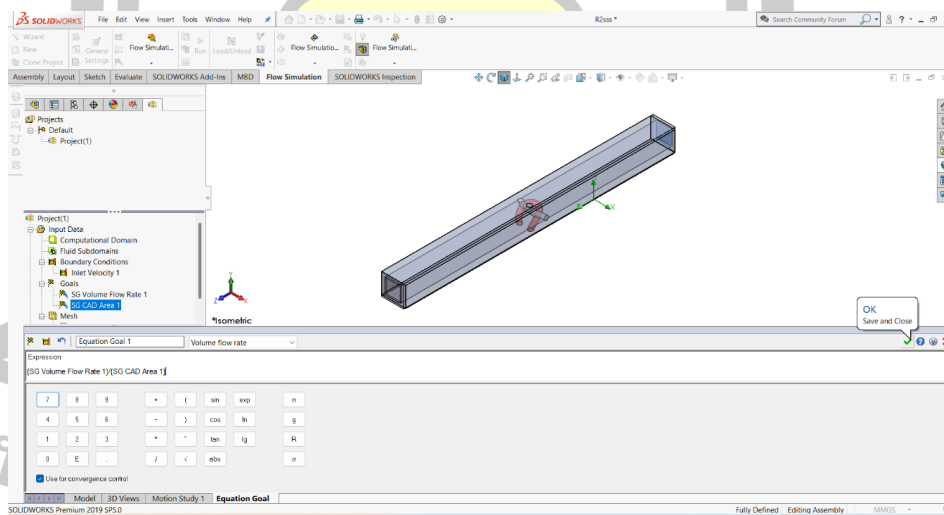
ขั้นตอนที่ 4 คำสั่ง set Insert Boundary Condition ความเร็วของลมที่ แกน Z Boundary Condition กำหนด Inlet Velocity ที่  $V=3 \text{ m/s}$ ,  $\sim P = 200 \text{ Pa}$  / Static Pressure กำหนด Pressure = 200 Pa อากาศไหลด้านหลัง Initial Condition กำหนด  $P-p = 200 \text{ Pa}$  เลือกบริเวณของเส้นด้ายที่ ลมผ่าน



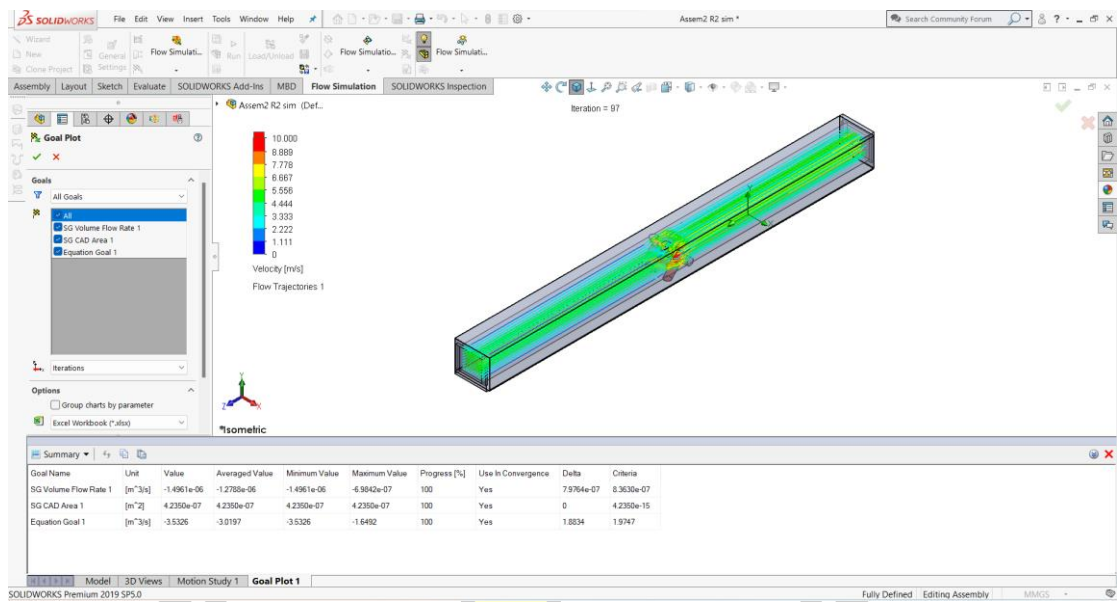
ขั้นตอนที่ 5 Volume Flow และ CAD Area บริเวณ Lid ด้านหลัง กำหนดค่า Goals และเลือก Insert Equation Goals การกำหนด Global Mesh เพื่อปรับความละเอียดของการ Flow Simulation การปรับความละเอียดก่อนที่จะ Run โปรแกรม Solid work



ขั้นตอนที่ 6 การเลือก SG Volume Flow Rate1 / SG CAD Area 1



## ขั้นตอนที่ 7 นำผลการ Flow Simulation ไปใช้ศึกษาการซึมผ่านของอากาศ



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย วสิษฐ์ ไชยคำมิ่ง
วันเกิด	วันที่ 28 มีนาคม 2533
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 261 หมู่ 5 ตำบลอุ่มเม่า อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46120
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

