



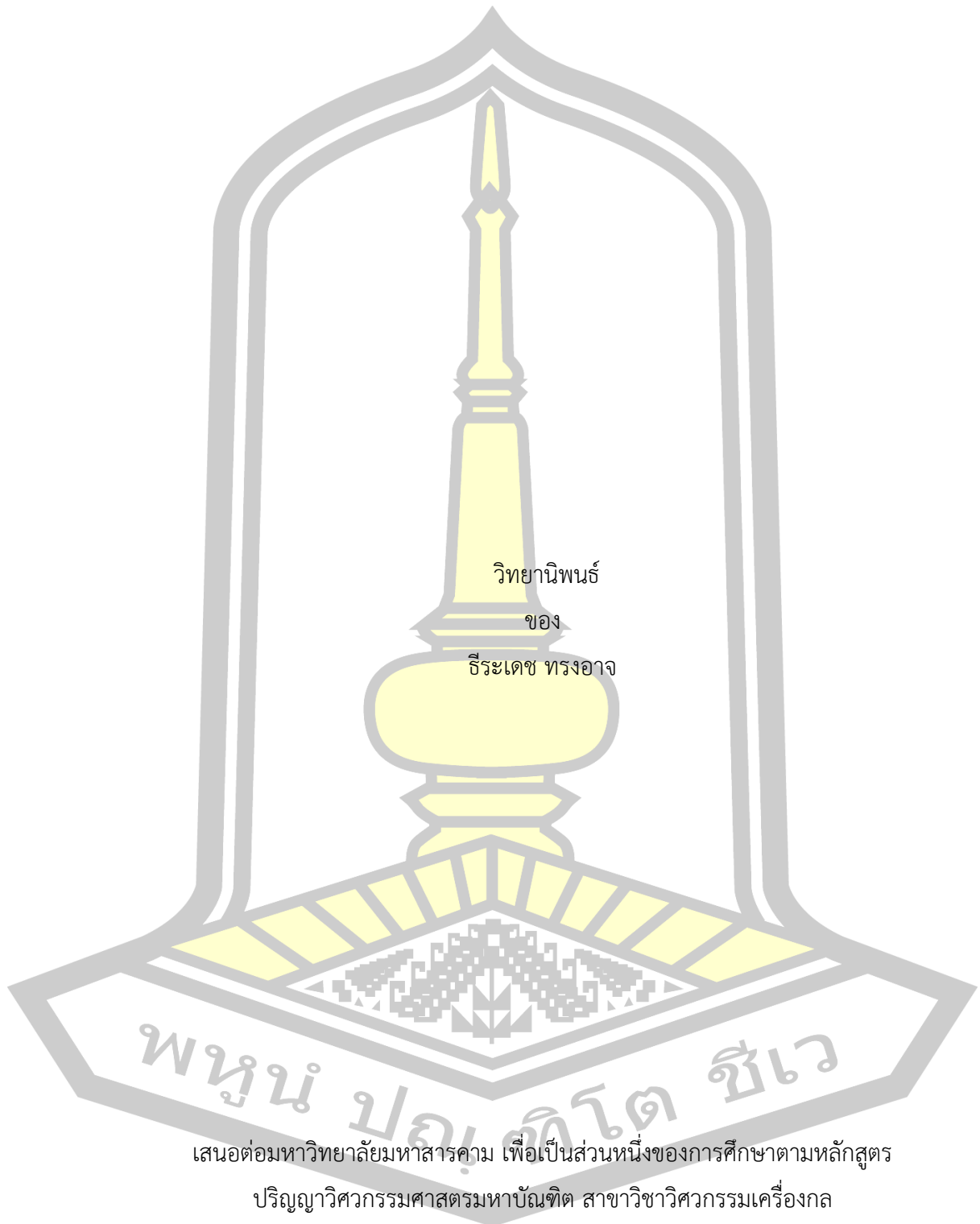
การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบชั้นเดียวเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ

วิทยานิพนธ์
ของ
ธีระเดช ทรงอาจ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มกราคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

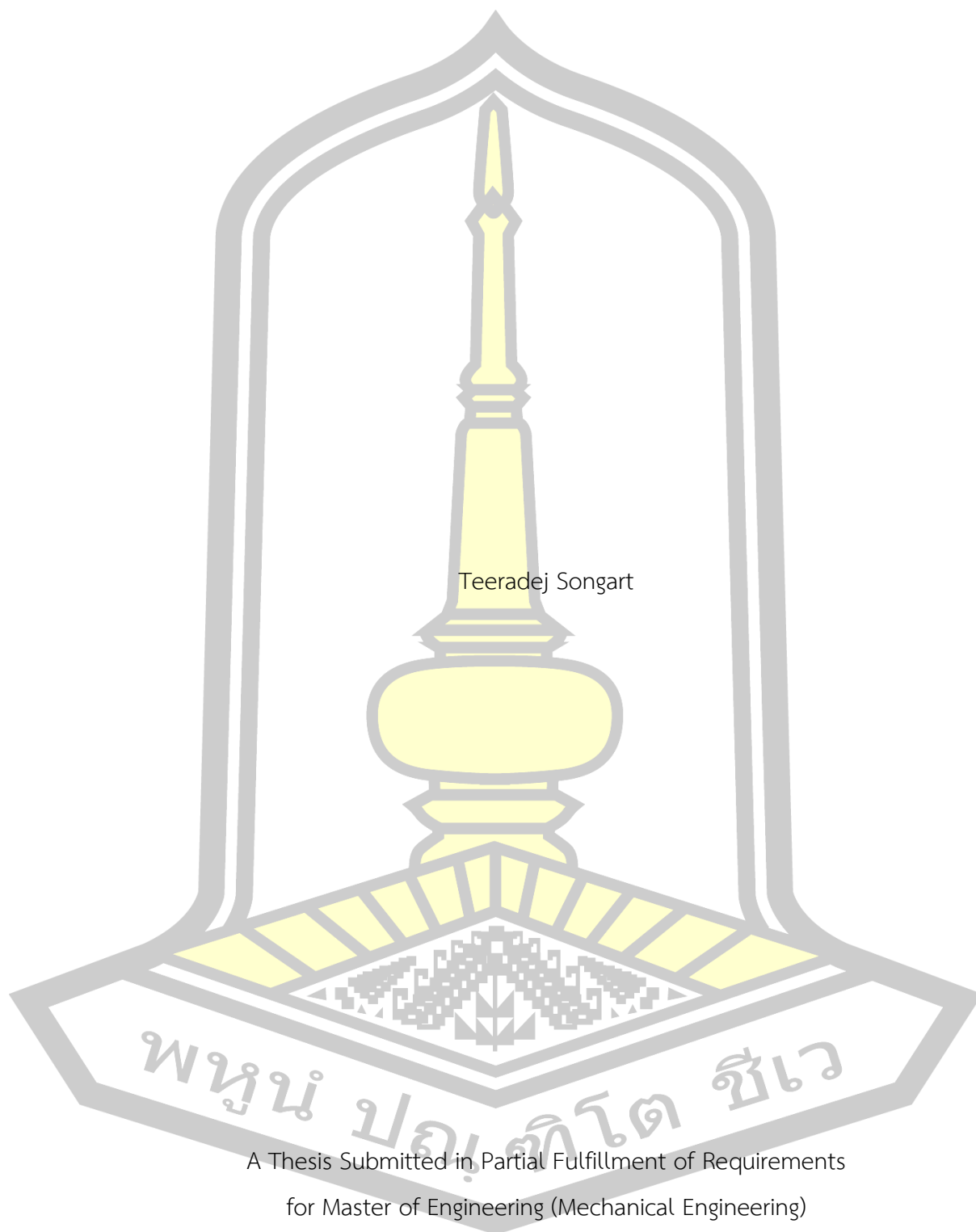
การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบชั้นเดียวเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ



มกราคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Modeling of one-layer woven fabrics to analyze air permeability



Teeradej Songart

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

January 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายธีระเดช ทรงอาจ แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. คณิศร ภูนิคม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. ยศฐา ศรีเทพ)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. สุตสาคร อินธิเดช)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบชั้นเดียวเพื่อวิเคราะห์การไหลซึมผ่านของอากาศ
 ผู้วิจัย ชีระเดช ทรงอาจ
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2567

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการพัฒนาแบบจำลองการประกอบเส้นใย 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอเพื่อทำนายการซึมผ่านของอากาศ มีการนำขั้นตอนวิธีของแบบจำลองการประกอบเส้นใย ซึ่งโครงสร้างผ้าทอที่ประกอบด้วยเส้นด้ายที่มีเส้นใยจำนวนมากโดยการบิดตามรูปร่างเส้นด้ายในทิศทางด้ายพุ่งและด้ายยืน การกระจายเส้นใยในแต่ละส่วนตัดของเส้นด้ายใช้แนวคิดตำแหน่งเสมือนที่หมุนไปตามความยาวของเส้นด้ายด้วยปริมาณที่กำหนดล่วงหน้าเพื่อให้สามารถบิดได้ เส้นโค้งเส้นใยจะประมาณโดย NURBS และแต่ละเส้นโค้งจะถูกสร้างขึ้นโดยการออกแบบไปตามเส้นทางเส้นด้าย ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS นำเสนอแบบจำลองการประกอบเส้นใย 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอลายขัด ผ้าทอลายทแยง ลาย Filling rib 4-2 และ Warp rib 2-4 โดยพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอ 16 ชิ้นถูกจำลองด้วยความหนาแน่นด้ายยืน (29.3 และ 22 ปลาย/ซม.) และความหนาแน่นด้ายพุ่ง (15 และ 20 picks/cm) ส่งผลให้เกิดความหนาแน่นที่แตกต่างกันสี่อย่างของโครงสร้างผ้าทอแต่ละชิ้น เส้นด้ายในเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง มีความหนาแน่นและวัสดุเชิงเส้นเท่ากัน โดยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองกระบวนการไหลของอากาศโดย SOLIDWORKS Flow Simulation ซึ่งดำเนินการบนพื้นที่ 1 Unit-cell แต่ละตัวอย่าง สำหรับการตรวจสอบการทดลอง การวัดการแพร่กระจายของอากาศได้ดำเนินการกับเครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ FX 3300 Labotester III ตามมาตรฐาน ISO 9237:1995 ผลที่ได้ระหว่างการจำลองแสดงให้เห็นถึงความเห็นด้วยอย่างมากกับผลการทดลองที่เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์การแพร่กระจายของอากาศของผ้าทอโดยใช้เซลล์หน่วย การใช้วิธีการนี้สามารถช่วยลดเวลาการทดสอบของเครื่องการซึมผ่านอากาศและแก้ช่วยปัญหาในการออกแบบได้อย่างมาก

คำสำคัญ : การซึมผ่านของอากาศ, การประกอบเส้นใยในโครงสร้างผ้าทอ, การออกแบบจากคอมพิวเตอร์, ไดนามิกส์ของเหลวคำนวณ

TITLE	Modeling of one-layer woven fabrics to analyze air permeability		
AUTHOR	Teeradej Songart		
ADVISORS	Associate Professor Keartisak Sriprateep , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This study is developed the 3D filament assembly model of woven fabrics structures to predict the air permeability. The algorithms of filament assembly model are proposed which a woven fabrics structures composed of yarn with many filaments by twisting along the crimp shape in the warp/weft direction. The fiber distributions in each yarn cross-section were used the virtual location concept which is rotated along the yarn length by a pre-determined amount to allow for the yarn twist. The filament curves are approximated by NURBS and each curve is created by sweeping along the yarn path. The 3D filament assembly model of plain weave, basket weave, twill 1x3 and twill 2x2 is presented by SOLIDWORKS software. The geometric parameters of 16 woven fabric structures were simulated with two warp densities (29.3 and 22 ends/cm) and two weft densities (15 and 20 picks/cm), results in four different densities of each woven fabric structures. The yarns in warp and weft directions had the same linear density and material. Computational fluid dynamics (CFD) methods were applied to simulate the air flow process by SOLIDWORKS Flow Simulation which were carried out on a unit cell of each sample. For the experimental investigation, air permeability measurements were performed with the Air Permeability tester FX 3300 Labotester III according to the ISO 9237:1995 (E) standard. The results obtained during simulation showed very good agreement with the experimental results that is an efficient model to predict air permeability of woven fabric by using a unit cell. Using this method can decrease the operational size and consequently the solution time is considerably reduced.

Keyword : Air permeability, Woven fabrics structures Filament Assemble, Model Computer aided design (CAD), Computational fluid dynamics (CFD)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ประสบความสำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือ รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ที่ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นความรู้จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร ภูนิคม ผู้ทรงคุณวุฒิประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุตสาคร อินธิเดช อาจารย์ประจำหลักสูตร รองศาสตราจารย์ ดร.ยศฐา ศรีเทพ อาจารย์ประจำหลักสูตร ที่กรุณาให้คำแนะนำคอยชี้แนะแนวทางต่าง ๆ และให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้กล่าวมาทั้งหมด ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธีระเดช ทรงอาจ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา	5
บทที่ 2	6
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าทอ	6
2.2 ตัวแปรของผ้าทอ	14
2.3 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ	18
2.4 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอ	19
2.5 ทฤษฎีการซึมผ่านของอากาศ.....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3	33

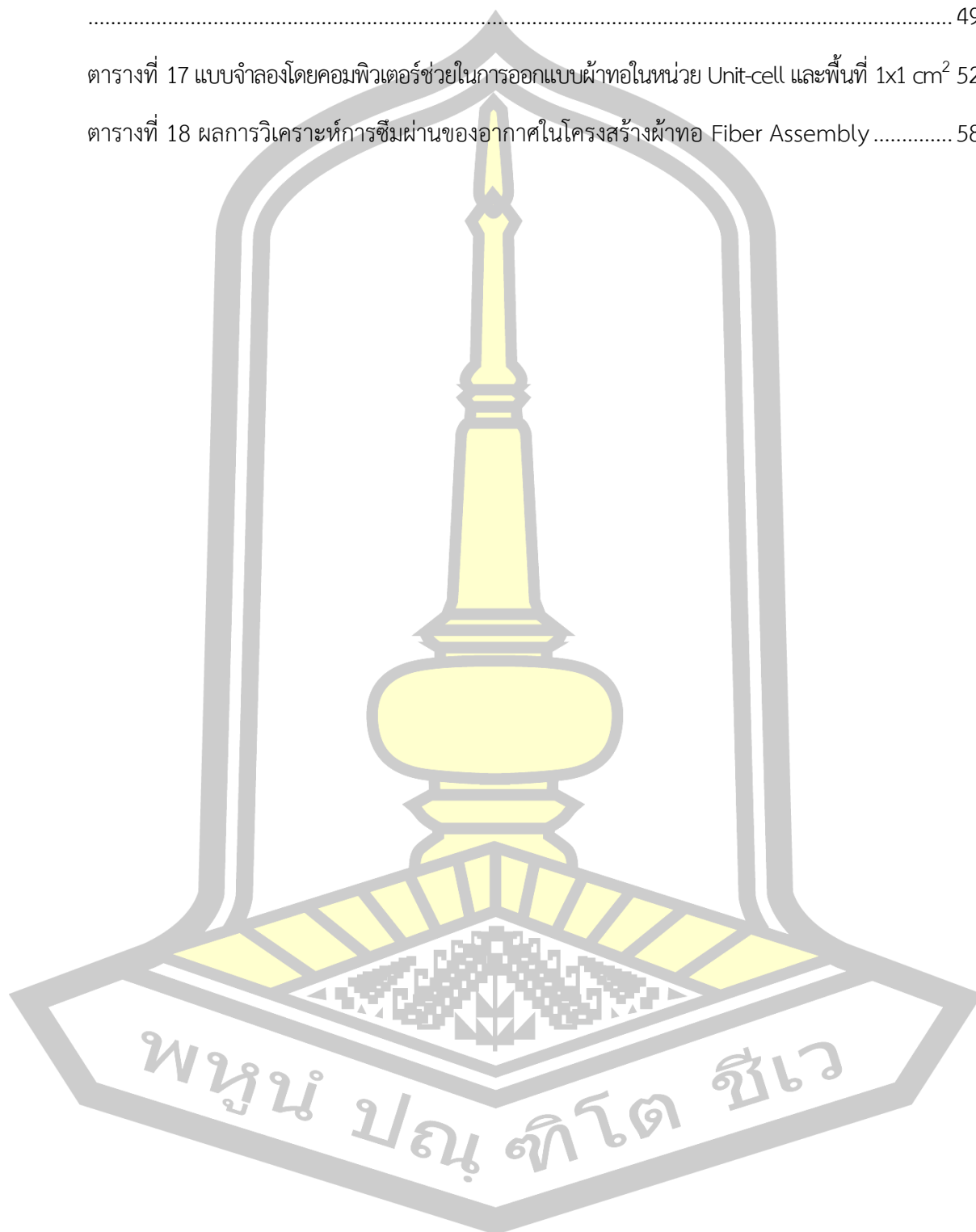
วิธีการดำเนินงานวิจัย	33
3.1 ข้อมูลในการจำลอง	35
3.2 ภาพถ่ายโครงสร้างผ้าทอ	40
3.3 โครงสร้างผ้าทอ 1 Unit cell	44
3.4 คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ	46
3.5 การเปรียบเทียบการซึมผ่านของอากาศ.....	48
บทที่ 4	50
ผลการดำเนินงาน.....	50
4.1 ผลการดำเนินงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอ.....	50
4.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ	53
4.3 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly	57
บทที่ 5	67
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 อภิปรายผล	68
5.3 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข	83
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยในเส้นด้ายสำหรับการบรรจุเปิด (Open packing).....	12
ตารางที่ 2 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 1 x 1 (PL) แบบ Single line ในหน่วย มิลลิเมตร35	
ตารางที่ 3 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 1 x 1 (PL) แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร	35
ตารางที่ 4 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 2 x 2 (TW) แบบ Single line ในหน่วย มิลลิเมตร	36
ตารางที่ 5 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 2 x 2 (TW) แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร	36
ตารางที่ 6 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 3 x 1 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร.	37
ตารางที่ 7 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 3 x 1 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร.	37
ตารางที่ 8 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 2 x 2 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร.	38
ตารางที่ 9 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 2 x 2 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร.	38
ตารางที่ 10 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Filling rib 4 x 2 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร	39
ตารางที่ 11 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Filling rib 4 x 2 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร	39
ตารางที่ 12 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Warp rib 2 x 4 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร	40
ตารางที่ 13 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Warp rib 2 x 4แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร	40
ตารางที่ 14 ภาพถ่ายโครงสร้างผ้าทอผ้าทอทั้ง 6 ชนิดที่กำลังขยาย x15 และ x20 โดยกล้องจุลทรรศน์-	42
ตารางที่ 15 ตัวอย่างผ้าทอ 24 ชิ้น ในพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร.....	43

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ในพื้นที่โครงสร้างผ้าทอ และการซึมผ่านของอากาศในการทดลองตัวอย่าง	49
ตารางที่ 17 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าทอในหน่วย Unit-cell และพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$	52
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly	58



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 แบบจำลองของ Peirce แสดงผ้าทอลายขัด.....	7
ภาพประกอบที่ 2 เส้นใยจากกล้องกำลังขยายสูง.....	10
ภาพประกอบที่ 3 พื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายที่มีรูปแบบการบรรจุแบบเปิด	10
ภาพประกอบที่ 4 (a) เรขาคณิตของเกลียวเส้นด้ายที่สมบูรณ์ (b) ภาพแผ่นคลี่ทรงกระบอกแสดงรัศมีของเกลียว (c) ภาพแผ่นคลี่แสดงรัศมีของเกลียวที่พื้นผิวชั้นนอกสุด	13
ภาพประกอบที่ 5 ความยาวของด้ายก่อนทอ (L) ความยาวของผ้าผืน (S).....	15
ภาพประกอบที่ 6 (ก) การจัดวางตำแหน่งสำหรับเส้นด้ายเดี่ยว (ข) พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย (ค) ตำแหน่งของเส้นใยในตำแหน่งจำลอง	17
ภาพประกอบที่ 7 รูปแบบจำลองพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายด้วยรูปแบบตำแหน่งจำลองแบบวงรี.....	17
ภาพประกอบที่ 8 (ก-ค) ตำแหน่งจำลองของเส้นด้ายเรยอนมุมเกลียวคือ 12.60 และ 38.8 ตามลำดับ โดยมีจำนวนเส้นใย 142 และ (ง) ที่ว่างของตำแหน่งจำลองที่มุมเกลียว 38.80 จำนวนของตำแหน่งจำลองคือ 125 (ที่มา : Sriprateep and Bohez, 2009).....	18
ภาพประกอบที่ 9 แบบจำลอง CAD สำหรับเส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นใย.....	19
ภาพประกอบที่ 10 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 1x1 (plain weave).....	20
ภาพประกอบที่ 11 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 2x2 (Basket weave).....	21
ภาพประกอบที่ 12 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 2x2 twill weaves	23
ภาพประกอบที่ 13 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 3x1 twill weaves	24
ภาพประกอบที่ 14 (a) ผ้าทอลายลูกฟูกเส้นด้ายยืน (Warp Rib Weave).....	25
ภาพประกอบที่ 15 แผนภาพของการไหลของของเหลวภายในท่อที่มีส่วนตัดที่เปลี่ยนแปลง (ที่มา : jezowiecka-Kabsch et al., 2012).....	26
ภาพประกอบที่ 16 ภาพหน้าตัดของเส้นด้ายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย x60 SEM..	41
ภาพประกอบที่ 17 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายขัด 1x1.....	44

ภาพประกอบที่ 18 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายขัด 2x2.....	45
ภาพประกอบที่ 19 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายทแยง 3x1	45
ภาพประกอบที่ 20 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายทแยง 2x2	45
ภาพประกอบที่ 21 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลาย warp rib 4/2	46
ภาพประกอบที่ 22 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลาย filling rib 2/4.....	46
ภาพประกอบที่ 23 ตัวอย่างการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอลายทแยงแบบ 2x2 และ จำนวนเส้น ด้ายยืน(warp)/ด้ายพุ่ง(weft) เท่ากับ 22/15 ตามลำดับ มีความหนาเท่ากับ โครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร.....	47
ภาพประกอบที่ 24 รูปแบบของ 1 Unit-cell ของผ้าทอลายทแยง 2x2 ก่อนการ Simulation.....	47
ภาพประกอบที่ 25 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในผ้าทอ.....	48
ภาพประกอบที่ 26 ภาพถ่ายผ้าทอแบบผ้าลายขัด 1x1 ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	51
ภาพประกอบที่ 27 การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบผ้าลายขัด 1x1 ในรูปแบบ Fiber Assembly ..	51
ภาพประกอบที่ 28 Velocity counters with single line of yarn model; (a) 1x1 PL,.....	55
ภาพประกอบที่ 29 Velocity counters with filament assemble model; (a) 1x1 PL,.....	57
ภาพประกอบที่ 30 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายขัด PL 1x1 ระหว่าง.....	60
ภาพประกอบที่ 31 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายขัด BW 2x2 ระหว่าง.....	61
ภาพประกอบที่ 32 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายทแยง TW 3x1 ระหว่าง...	62
ภาพประกอบที่ 33 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายทแยง TW 2x2 ระหว่าง...	63
ภาพประกอบที่ 34 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลาย R 4/2 ระหว่าง.....	64
ภาพประกอบที่ 35 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลาย R 2/4 ระหว่าง.....	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การซึมผ่านอากาศ คือ อัตราการไหลของปริมาณอากาศที่ไหลผ่านในพื้นที่หนึ่งที่มีความดันแตกต่างกันในหนึ่งหน่วยเวลา (Dehkordi et al., 2017) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบการสวมใส่ของเสื้อผ้า ทำให้การวิเคราะห์การซึมผ่านอากาศของผ้ามีความสำคัญเนื่องจากสามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโครงสร้างผ้ารูปแบบใหม่ และสามารถลดทรัพยากรที่ไม่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผ้า (Ielina et al., 2021) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการซึมผ่านของอากาศ และความดันภายในโครงสร้างผ้า คือขนาดของรูพรุน ลักษณะของรูพรุนบริเวณเนื้อผ้า ชนิดของของไหลผ่านเนื้อผ้าที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Havlova, 2013) รวมทั้ง ขนาด ชนิด และความหนาของเส้นด้าย ส่งผลต่อขนาดของรูพรุนในโครงสร้างผ้า ดังนั้น การควบคุมประสิทธิภาพของการซึมผ่านของอากาศ ผ่านโครงสร้างผ้าสามารถทำได้โดยควบคุมคุณสมบัติของรูพรุน คุณสมบัติของชนิดของไหล และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Burleigh et al., 1949) รูพรุนหรือช่องว่างในโครงสร้างผ้าเรียกว่า ช่องว่างที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ความพรุนภายในเส้นด้าย หรือช่องว่างระหว่างเส้นใยและผนังเส้นใย ความพรุนระหว่างใย หรือช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นใยภายในเส้นด้าย ความพรุนระหว่างด้าย หรือปริมาณช่องรูพรุนจากช่องระหว่างด้ายกับเส้นด้าย

ในอดีตนักวิจัยหลายคนได้ทำการวิจัยเพื่อทำนายการซึมผ่านของอากาศในผ้าทอ ขึ้นมาโดยใช้พารามิเตอร์โครงสร้างของผ้าเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น (Backer, 1951) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผ้าไหม 4 ประเภท โดยจะมีสมมติฐานของความยืดหยุ่นในเส้นไหม และรูปทรงหน้าตัดเส้นไหมที่เป็นทรงกลมเพื่อจำลองโครงสร้างผ้าไหมให้มีซับซ้อนน้อยลง และการซึมผ่านของอากาศผ่านผ้าไปได้ง่ายขึ้น (Penner et al., 1951) ศึกษาการซึมผ่านอากาศในโครงสร้างผ้าที่เป็นรูปปลายแหลม ผลการซึมผ่านอากาศของโครงสร้างทอถูกศึกษาในช่วงของค่าเรย์เนลด์ ระหว่าง 10 ถึง 400 ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นได้ว่าเห็นว่าพื้นที่ของรู มีจำนวนไม่เท่ากันในทุกรูปแบบ และพื้นที่จะลดลงเมื่อค่าเรย์เนลด์เพิ่มขึ้น (Kulichenko, & Langenhove, 1996) ศึกษาโดยการใช้ซอฟต์แวร์การไหลของของเหลว ผ่านผ้าทอของผ้ากรองเชือกเดี่ยว ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าลักษณะของรูในผ้ามีผลกระทบมากต่อรูปแบบการไหล

ในช่องว่างระหว่างเส้นด้าย ในการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการกำหนดค่าการซึมผ่านอากาศในสองทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยหลายคนได้ดำเนินการศึกษาการทดลองการซึมผ่านอากาศเพื่อสำรวจผลของค่าพารามิเตอร์โครงสร้างที่ส่งผลต่อการซึมผ่านอากาศในผ้าทอ นอกจากการศึกษาเหล่านี้ (Gooijer et al., 2003) พัฒนาโมเดลเพื่อการทำนายการซึมผ่านอากาศของที่มีผ้าหลายชั้น การที่จะทำนายการซึมผ่านอากาศโดยใช้ สูตร Hagen-Poiseuille เพื่อสร้างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านอากาศของโครงสร้างผ้าและการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลการทดลอง ซึ่งได้รับการศึกษาโดย (Xu, & Wang, 2005) ว่าโมเดลในการวิเคราะห์นี้แสดงความสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองอย่างใกล้ชิด นอกจากนี้ (Zupin et al., 2012) การจำลองการซึมผ่านของอากาศในผ้าทอชั้นเดียวใช้พารามิเตอร์ของช่องว่างเป็นตัวทำนาย มี 3 ตัว คือ ขนาดของรูช่องว่าง (hydraulic diameter of pores) จำนวนของรู (number of pores) และช่องรูทั้งหมด (total porosity) โดยจะใช้วิธีทางสถิติ 2 วิธี ในการประมวลผลข้อมูลของค่าการซึมผ่านอากาศ ได้แก่ ชนิดของผ้าทอที่แสดงถึงการซึมผ่านของอากาศ ทำให้การซึมผ่านอากาศและโครงสร้างผ้าทอจึงมีความสัมพันธ์กัน (Havlová, 2013) นำไปสู่การทดลองที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน จากนั้นจะแสดงถึงการทำนายการซึมผ่านอากาศของผ้า โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรในการคำนวณสมการถดถอย ส่งผลให้มีความเป็นไปได้ในการทำนายค่าความเป็นค่าการซึมผ่านอากาศ (Havlová, 2014) และ (Mohamad, 2015)

คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer-Aided Design หรือ CAD) ได้ถูกนำมาพัฒนาการสร้างโมเดล 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอ โดยการออกแบบโครงสร้างของเส้นไหมด้วยเส้นไหมเพียงเส้นเดียว (Jiang & Chen, 2005) และภายในเส้นไหมจะมีการประกอบกันของเส้นใยหลายเส้นเข้าด้วยกันโดยใช้วิธี CAD (Patumchat & Sriprateep, 2019) การใช้โมเดล CAD/CAE ร่วมกับโมเดลการของการประกอบเส้นใย จะได้กราฟที่แสดงถึงความต้านทาน การยืดของโครงสร้างเส้นใย (Mezarciöz et al., 2014) ในงานวิจัยนี้การซึมผ่านของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญ ดังนั้นความสามารถในการซึมผ่านอากาศของโครงสร้างผ้าโดยใช้เทคนิค พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computations Fluid Dynamics หรือ CFD) ในการจำลองสถานการณ์ซึมผ่านอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ได้มีนักวิจัยทำการศึกษาเพื่อการทำนายการซึมผ่านของอากาศ โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในโครงสร้างผ้าทอที่เป็นผ้าปัก โดยใช้ค่าพารามิเตอร์โครงสร้างผ้าในการวิเคราะห์ (Lina et al., 2021) การศึกษาส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปในรูปแบบของผ้าทอ ตัวอย่างเช่น (Tung et al., 2002) ศึกษาผลลัพธ์ทางโครงสร้างผ้าทอต่อการซึมผ่านอากาศของโครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอที่มีเส้นใยอยู่ภายในเส้นด้าย โดยใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT ผลลัพธ์ของงานนี้แสดงให้เห็นว่าการศึกษารูพรุนในผ้ามี

ผลกระทบมากต่อการซึมผ่านอากาศในช่องว่างระหว่างเส้นด้าย และยังแสดงให้เห็นว่าการทอแบบลายขัดที่มีความต้านทานในการไหลของของเหลวสูงสุด ในขณะที่การทอลายทแยงให้ความต้านทานที่ต่ำสุดในเส้นด้ายชนิดเดียวกัน (Kulichenko, 2005) การจำลองการซึมผ่านอากาศของผ้าทอด้วย วิธี CFD ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่ารูปร่างของรูพรุนรูปแบบ 3 มิติ จะมีเส้นใยจำนวนมาก ทำให้สามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของผ้าทอ (Wang et al., 2007) การสร้างสมการสำหรับคำนวณพื้นที่ผ้าทอ การสังเกตการไหลของผ้าทอในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายที่มีเส้นใยเป็นรูปทรงแบบวงรี การจำลองรูปแบบของรูสำหรับคำนวณความต้านทานของแรงดันของผ้า และความสัมพันธ์ทางอัลกอริทึม ระหว่างค่าศึกษาการไหลกับค่าเรย์เนลด์ (Angelova et al., 2012) การกำหนดขนาดรู รูปร่าง และการกระจายตัวในโครงสร้างผ้าทอชั้นเดียว เพื่อที่จะจำลองสถานการณ์การซึมผ่านอากาศโดยใช้วิธี CFD จะได้ผลลัพธ์ที่เป็นโมเดลที่เสมือนจริงในรูปแบบของโครงสร้างทอตามทฤษฎีของความพอร์เรสตา โดยใช้หลักการของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในโครงสร้างทอ และทฤษฎีของระบบเจติ (Angelova et al., 2013) ซึ่งเป็นการทำนายการซึมผ่านของอากาศ ผ้าทอ 15 ตัวอย่าง ที่ศึกษาแรงทั้ง 3 รูปแบบ ที่แตกต่างกันในการจำลอง : $k-\epsilon$, $k-\omega$ และค่า Reynolds ผลลัพธ์และค่าทดลองที่ได้ จะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ทดลองที่ใกล้เคียงกับค่าที่ทดลอง และการซึมผ่านอากาศแต่ละรูปแบบแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ดีมาก นอกจากนี้ การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (สมการ Reynolds averaged Navier Stokes) สามารถทำนายการซึมผ่านอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ทดสอบจริงในผ้าทอได้ (Kyosov et al., 2016) โดยใช้ทฤษฎีของระบบเจติ การไหลผ่านทุกชั้นในกลุ่มจะถูกจำลอง ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการวิจัยเกี่ยวกับกลุ่มชั้นผ้าทอได้อีกต่อไป

การศึกษาที่ใช้เทคนิค CAD และ CFD มีจำนวนที่จำกัด ในการจำลองการซึมผ่านอากาศ เพื่อนำมาความเปรียบเทียบกับค่าโครงสร้างผ้าทอแบบลายขัดและทแยง ในการศึกษาที่เราได้พัฒนาโมเดลโดยใช้ซอฟต์แวร์ในสร้างแบบจำลองในรูปแบบ 3 มิติ สำหรับ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอ และวิเคราะห์การซึมผ่านอากาศของโครงสร้างผ้าทอ จะประกอบด้วยโครงสร้างผ้าทอ 6 ชนิด ได้แก่ ลายขัด 1x1 ลายขัด 2x2 ลายทแยง 2x2 ลายทแยง 3x1 Filling rib 4/2 และ Warp 2/4 และรูปแบบของเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง 4 รูปแบบ ได้แก่ 22/15 22/20 29.3/15 และ 29.3/20 ในทิศทางของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ตามลำดับ โดยการใช้ซอฟต์แวร์ SolidWork ทำการออกแบบโครงสร้างของผ้าทอ และการจำลองการซึมผ่านอากาศโดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWork Flow Simulation จะนำผลการจำลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าการซึมผ่านของอากาศกับงานวิจัยตัวอย่างผ้าทอที่นำมาศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อจำลองโครงสร้างทางเรขาคณิตของผ้าทอลายขัด ลายทแยง ลาย filling rib และ ลาย warp rib โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และจำลองโครงสร้างผ้าในรูปแบบต่างๆ ในรูปแบบด้ายด้ายเส้นเดี่ยว (Single line of yarn path) และจำลองโครงสร้างผ้าในรูปแบบที่เส้นด้าย ประกอบด้วยเส้นใยรวมเข้าด้วยกัน (Fiber Assembly) โดยโปรแกรม SolidWork 2018

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศของโครงสร้างของผ้าทอในรูปแบบต่างๆ โดยวิธี Computational fluid dynamics (CFD) โดยใช้โปรแกรม SolidWork Flow simulation

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอ 6 ชนิด ในรูปแบบ 3 มิติ ได้แก่ ผ้าทอลายขัด (1x1 plain weave, PL), ผ้าทอลายขัด (2x2 plain weave, BW), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (3x1 Twill), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (2x2 Twill), ผ้าทอลาย Filling rib (4/2), ผ้าทอลาย Warp rib (2/4)

1.3.2 การจำลองลักษณะของเส้นด้ายจะประกอบไปด้วยเส้นใยหลาย ๆ เส้น มีจำนวน 5 ชั้น ถูกบรรจุในภาพหน้าตัดของเส้นด้าย โดยหมุนไปตามความยาวของแนวแกนกลางของเส้นด้าย (yarn path) เส้นใยแต่ละเส้นถูกนำมาประกอบกัน (assembly) ให้เป็นเส้นด้าย 1 เส้น และนำมาสร้างเป็นโครงสร้างผ้าทอทั้ง 6 ชนิด

1.3.3 ทดสอบการซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอที่มีเส้นใย 5 ชั้น ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ผ้าทอลายขัด (1x1 plain weave, PL), ผ้าทอลายขัด (2x2 plain weave, BW), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (3x1 Twill), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (2x2 Twill), ผ้าทอลาย Filling rib (4/2), ผ้าทอลาย Warp rib (2/4)

1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โปรแกรม Solid work 2018 ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องมือการทดสอบการไหลผ่านของอากาศในชิ้นงานตัวอย่าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. การใช้โปรแกรม Solid Work สามารถสร้างแบบจำลองแบบโครงสร้างของผ้าทอที่มีเส้นใยจำนวน 5 ชั้น ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ ผ้าทอลายขัด (1x1 plain weave, PL), ผ้าทอลายขัด

(2x2 plain weave, BW), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (3x1 Twill), ผ้าทอแบบลายทแยงชนิด (2x2 Twill), ผ้าทอลาย Filling rib (4/2), ผ้าทอลาย Warp rib (2/4)

1.4.2 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ได้แม่นยำใกล้เคียงกับการทดลองจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ และลดกระบวนการทดสอบชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูล

1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าทอ

ผ้าเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ของการดำรงชีวิตของมนุษย์ นอกจาก อาหาร ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค ในสังคมเกษตรจะมีการทอผ้าเพื่อใช้สอยภายในครอบครัว โดยการถ่ายทอดวิธีการทอผ้าให้แก่สมาชิกที่เป็นเพศหญิง ซึ่งนับว่าเป็นภูมิปัญญาที่ถ่ายทอดเป็นมรดกทางวัฒนธรรม (openbase.in.th, 2552)

2.1.1 ประวัติของผ้าทอ

การทอผ้าของไทยมีมาแต่โบราณ จากอดีตถึงปัจจุบันมนุษย์ได้พัฒนาการทอผ้าทั้งรูปแบบ เทคนิค การย้อมสี และการออกแบบลวดลาย ดังปรากฏในจดหมายเหตุและพงศาวดารครั้งสมัย สุโขทัย อยุธยา และกรุงรัตนโกสินทร์ ซึ่งมีการทอผ้าตามกลุ่มชนต่างๆของไทย เช่น ข่า กระเส้า กระเลิง ส่วย ฯลฯ

ผ้าทอ ในประเทศไทยแสดงถึง ศิลปะภูมิปัญญาของชุมชน ซึ่งแบ่งประเภทของผ้าทอได้เป็น 2 ประเภท ตามวัตถุประสงค์ในการทอ และกรรมวิธีในการทอ คือ

1) ผ้าทอที่แบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ ได้แก่ ผ้าย เป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย เป็นพืชเขตร้อน ชอบดินปนทราย และอากาศโปร่ง ไม่ชอบที่ร่ม เส้นใยของฝ้ายจะดูดความชื้นได้ง่าย และเมื่อดูดความชื้นแล้วจะระเหยเป็นไอน้ำ ดังนั้นเมื่อสวมใส่เสื้อผ้าที่ทำด้วยผ้าฝ้ายจะมีความรู้สึกเย็นสบาย

2) ผ้าทอที่แบ่งตามกรรมวิธีในการทอ ซึ่งมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลวดลายที่เกิดจากการทอบนพื้นผ้า เช่น ผ้ามัดหมี่ มีกรรมวิธีการทอที่ทำให้ให้เกิดลวดลายโดยการย้อมเส้นฝ้ายให้ต่าง โดยการผูกมัดให้เกิดช่องว่าง การทอผ้ามัดหมี่แต่ละผืนต้องใช้เวลาและความประณีต โดยจัดเรียงเส้นไหม และฝ้ายให้สม่ำเสมอคงที่ กรรมวิธีต้องเรียงลำดับก่อนหลังให้ถูกต้อง เพื่อทำให้เกิดลวดลายสวยงามตามต้องการ

ผ้าจก การทอจกเป็นกรรมวิธีของการทอและการปักผ้าไปพร้อม ๆ กัน การทอลวดลายใช้วิธีการเพิ่มด้ายเส้นพุ่งพิเศษเข้าเป็นช่องๆไม่ติดต่อกันตลอด หน้ากว้างของผ้า ซึ่งจะทำได้โดยใช้ไม้หรือขนเม่น หรือนิ้วมือยกขึ้น เป็นการทอผสมการปักกลาย ๆ

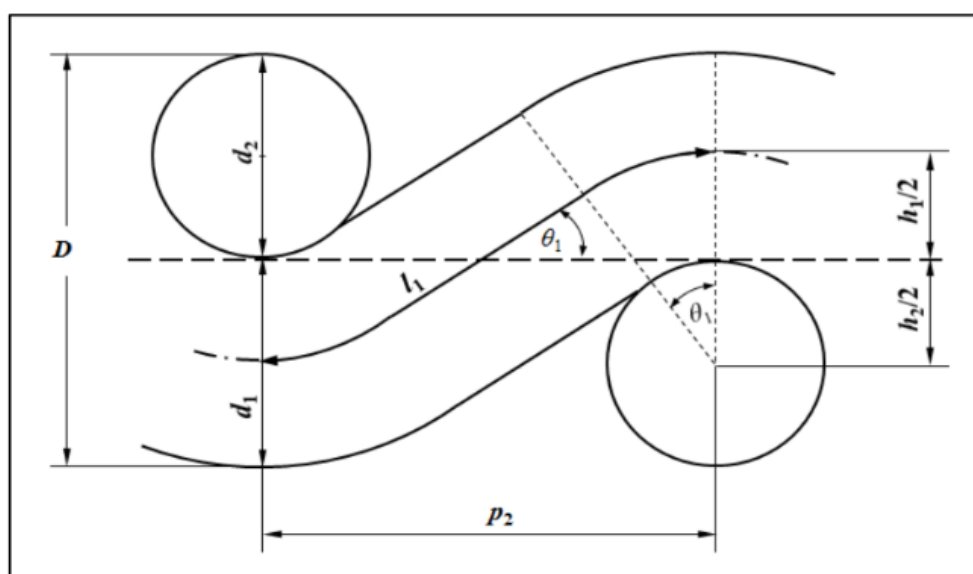
ผ้าขีด เป็นการทอผ้าด้วยกรรมวิธี เชื้อ หรือสะกิดเส้นด้ายยืนขึ้น แล้วสอดเส้นพุ่งไปตามแนวเส้นยืน จึงหะการสอดเส้นด้ายพุ่งจะทำให้เกิดลวดลายรูปแบบต่าง ๆ

ผ้าแพรวา เป็นผ้าทอมือด้วยกรรมวิธีทอผ้าให้เกิดลวดลาย ลักษณะผสมกันระหว่างลายขีดกับลายจก ผ้าแพรวาต้องมีหลายลายอยู่ในผืนเดียวกัน

ผ้ายกดอก มีกรรมวิธีการทอให้เกิดลวดลายในการยกตะกรอแยกด้ายเส้นยืน แต่ไม่ได้เพิ่มเส้นด้ายยืน หรือ เส้นพุ่งพิเศษเข้าไปในผืนผ้า แต่ในบางครั้งจะยกดอกด้วยการเพิ่มเส้นพุ่ง จำนวนสองเส้น หรือมากกว่านั้นเข้าไป

2.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเพียช (Peirce's model)

จากแบบจำลองของเพียช ซึ่งเป็นแบบจำลองเชิงเรขาคณิตเรขาคณิตของผ้าทอลายขีด ดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 1 เป็นข้อสมมุติฐานที่พิจารณาพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายมีรูปร่างเป็นวงกลม และเส้นด้ายไม่มีความต้านทานต่อการโค้งงอ แสดงในสมการ (2.1) ถึง (2.7)



ภาพประกอบที่ 1 แบบจำลองของ Peirce แสดงผ้าทอลายขีด
(ที่มา : Hearle et al, 1969)

$$p_1 = (l_2 - D\theta_2)\cos\theta_2 + D\sin\theta_2 \quad (2.1)$$

$$p_2 = (l_1 - D\theta_1)\cos\theta_1 + D\sin\theta_1 \quad (2.2)$$

$$h_1 = (l_1 - D\theta_1)\sin\theta_1 + D(1 - \cos\theta_1) \quad (2.3)$$

$$h_2 = (l_2 - D\theta_2)\sin\theta_2 + D(1 - \cos\theta_2) \quad (2.4)$$

$$D = h_1 + h_2 = d_1 + d_2 \quad (2.5)$$

$$c_1 = l_1/p_2 - 1 \quad (2.6)$$

$$c_2 = l_2/p_2 - 1 \quad (2.7)$$

จากภาพประกอบ 2.1 สามารถกำหนดสมการขึ้นมาไดโนอาศัยตัวแปรต่างๆ ในภาพเป็นโครงสร้างผ้าทอลายขัดในหนึ่งหน่วยซ้ำ ตัวแปรที่กำกับไว้ด้วยเลข 1 หมายถึง ตัวแปรนั้นแทนค่าของเส้นด้ายยืน (warp) ส่วนตัวแปรที่กำกับไว้ด้วยเลข 2 หมายถึง ตัวแปรนั้นแทนค่าของเส้นด้ายพุ่ง (weft) ในทางตรงกันข้ามอาจจะวาดภาพที่แสดงภาพตัดขวางตามแนวแกนของด้ายพุ่งตั้งฉากกับระนาบผ้าได้ด้วย ทั้งนี้ตัวเลขที่กำกับไว้ภาพดังกล่าวก็จะเปลี่ยนเป็นตัวเลขอีกเลขหนึ่งซึ่งสัญลักษณ์กำหนด ดังนี้

d_1	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของภาพหน้าตัดของเส้นด้ายยืน
d_2	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของภาพหน้าตัดของเส้นด้ายพุ่ง
p_1	=	ระยะห่างระหว่างแกนกลางของเส้นด้ายยืน
p_2	=	ระยะห่างระหว่างแกนกลางของเส้นด้ายพุ่ง
θ_1	=	มุมที่แนวแกนของด้ายยืนทำกับระนาบของผ้า
θ_2	=	มุมที่แนวแกนของด้ายพุ่งทำกับระนาบของผ้า
l_1	=	ความยาวแนวแกนของเส้นด้ายยืนระหว่างด้ายพุ่ง
l_2	=	ความยาวแนวแกนของเส้นด้ายพุ่งระหว่างด้ายยืน
$h_1/2$	=	ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของเส้นด้ายยืนกับระนาบผ้า
$h_2/2$	=	ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของเส้นด้ายพุ่งกับระนาบผ้า
D	=	ความหนาของผ้าเมื่อ $D = d_1 + d_2 = h_1 + h_2$
c_1	=	สัดส่วนความหยิกงอของด้ายยืน
c_2	=	สัดส่วนความหยิกงอของด้ายพุ่ง

จากสมการเบื้องต้นของเพียร์ร่วมกับนิยามของต่างๆ ตามสมการโครงสร้างผ้าทอดังกล่าวซึ่งมีทั้งส่วนที่หาค่าได้ง่าย เช่น ความหนาของผ้า และความหยิกงอของเส้นด้าย (จากนิยามของตัวแปร) จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว (คำนวณจากระยะห่างระหว่างด้ายที่อยู่ติดกัน คือ p_2) เบอร์ชของเส้นด้าย

(คำนวณได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางด้าย) ในขณะที่ต้องกำจัดค่าที่ไม่สามารถวัดค่าได้หรือหาค่าได้ยากออกไป เช่น l_1 และ θ_1 ดังนั้น เมื่อมุม θ_1 มีค่าน้อยมาก เราอาจประมาณได้ว่า $h_1 = l_1$; $p_2 = l_1$ และ $c_1 = \theta_1^2 / 2$ จะได้

$$h_1 = p_2 \sqrt{2c_1} \quad (2.8)$$

จากการนำสมการที่ 2.7 ได้นี้ไปแทนค่าและเปรียบเทียบกับค่าจริงที่สังเกตได้จากพื้นผ้าพบว่า สมการนี้จะถูกต้องเมื่อ c_1 มีค่าน้อย และ p_2 มีค่ามาก พบว่าการประมาณค่าที่ให้ค่าใกล้เคียงกับผ้าโดยส่วนใหญ่จะต้องมีการดัดแปลงสมการกล่าว คือ

$$\frac{h_1}{p_2} = \frac{4}{3} \sqrt{c_1} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ คำนวณหาค่าสัดส่วนความหยิกของด้ายยืน c_1 ได้ดังนี้

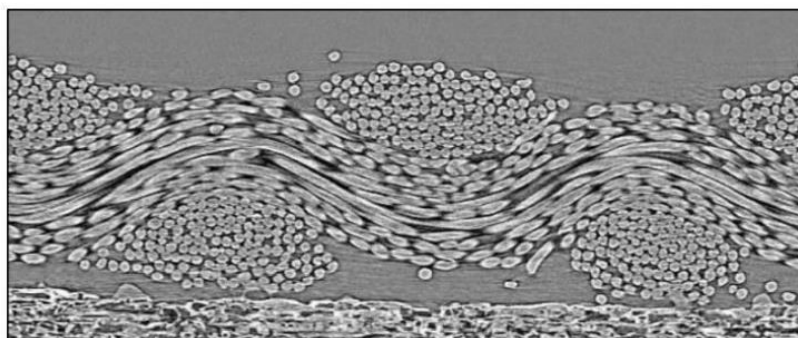
$$c_1 = \sqrt{\frac{1}{4/3} \times \frac{h_1}{p_2}} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ คำนวณหาค่าสัดส่วนความหยิกของด้ายยืน c_1 สามารถคำนวณหาความยาวแนวแกนของเส้นด้ายยืน l_1 ได้ดังนี้

$$l_1 = p_2(1 + c_1) \quad (2.11)$$

2.1.3 โครงสร้างเส้นใย

เส้นใยสิ่งทอสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ใยจากธรรมชาติ (Natural fibers) และใยจากกระบวนการผลิตโดยมนุษย์ (Manufacturing fibers) โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างภายนอกของเส้นใยสิ่งทอ เป็นลักษณะรูปร่างภายนอกของเส้นใยที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือ กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 เท่าขึ้นไป ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพนี้ ได้แก่ ลักษณะของความยาว ความกว้าง ลักษณะผิวนอก ความมัน ความหดตัว สมบัติทางความร้อน ความฟู ความรู้สึกลื่นเกิดจากการสัมผัส เป็นต้น โครงสร้างทางกายภาพเหล่านี้จะมีผลต่อความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย ตลอดจนความสวยงามเมื่อผลิตเป็นผ้าผืน

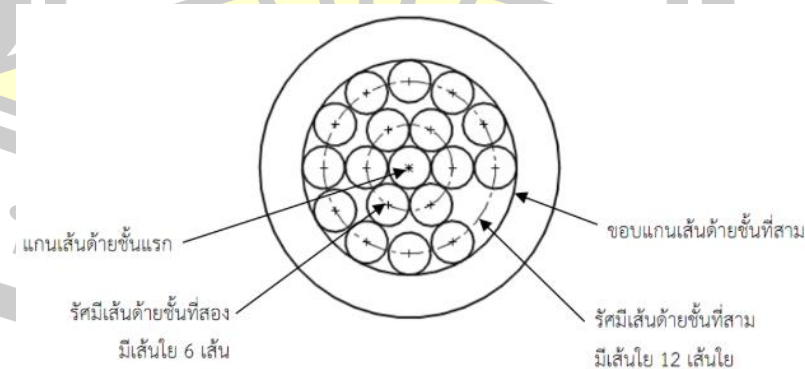


ภาพประกอบที่ 2 เส้นใยจากกล้องกำลังขยายสูง
ที่มา: (เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป, 2562)

2.1.4 โครงสร้างและลักษณะภาพตัดของเส้นด้าย

1) รูปแบบการบรรจุแบบเปิด

ในรูปแบบนี้เส้นใยอยู่ในชั้นระหว่างวงกลมต่อเนื่อง แสดงในภาพประกอบที่ 3 ในการบรรจุของเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยชั้นแรกจะมีจำนวนหนึ่งเส้นใยและมีเส้นใยรอบๆ อยู่หกล้วนเป็นชั้นที่สอง ส่วนในชั้นที่สามจะมีเส้นใยอยู่สิบสองเส้นเรียงตัวอยู่รอบๆ จำนวนเส้นใยจะเพิ่มขึ้นในแต่ละชั้นตามแกนรัศมีเส้นด้ายที่มีขนาดเพิ่มขึ้นในแต่ละชั้นจากการตั้งสมมุติฐานของเส้นด้ายที่สมบูรณ์แบบ โดยกำหนดให้เส้นใยเส้นแรกที่จุดศูนย์กลางของเส้นด้ายซึ่งนับเป็นเส้นใยชั้นที่ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวต่อเนื่องกันไปตลอดกับแนวแกนเส้นด้ายถัดมาจะเป็นเส้นใยชั้นที่ 2 ซึ่งมีเส้นใยบรรจุอยู่ในชั้นนี้ 6 เส้น



ภาพประกอบที่ 3 พื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายที่มีรูปแบบการบรรจุแบบเปิด
ที่มา : (Hearle et al,1969)

แกนกลางหรือเส้นใยชั้นที่ 1 ต่อมาในชั้นเส้นใยที่ 3 ก็จะมีเส้นใยบรรจุ 12 เส้นเรียงตัวเป็นวงกลมล้อมรอบเส้นใยชั้นที่ 2 โดยมุมเกลียวของเส้นใยที่พันอยู่รอบ ๆ เส้นใยแต่ละชั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับชั้นของเส้นใยไปจนถึงเส้นใยชั้นนอกสุดหรือเส้นใยชั้นสุดท้าย ดังนั้นเส้นใยในเส้นด้ายชั้นนอกสุดจะมีมุมเกลียวที่มากที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นมุมเกลียวของเส้นด้ายนั้น ๆ

ภาพประกอบที่ 2.3 กำหนดให้ชั้นเส้นใยใด ๆ ในพื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายแทนด้วย N_j ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ถึง N_z โดยที่ N คือจำนวนของชั้นเส้นใยทั้งหมดในเส้นด้าย และเมื่อ N_j มีค่าเท่ากับ N_z ทำให้รัศมีของเส้นรอบวง ที่ล้อมรอบเส้นใย N_j จะเท่ากับ รัศมีของเส้นใย N_z ที่เป็นเส้นใยชั้นนอกสุดและมีค่าเท่ากับรัศมีของเส้นด้ายอีกด้วย จึงสรุปได้ว่าเมื่อรัศมีชั้นที่ j ของ N_j เท่ากับรัศมีของเส้นด้ายทั้งหมด (N_z) สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$N_j = N_z = \text{รัศมีของเส้นด้าย} = R = (2N_z - 1)r_F \quad (2.12)$$

$$R_j = 2(N_j - 1)r_F \quad (2.13)$$

เมื่อกำหนดให้ R คือ รัศมีของเส้นด้าย R_j คือ รัศมีของชั้นเส้นใยชั้นที่ j ; $j = 1, 2, \dots, N_z$, r_F คือ รัศมีของเส้นใย N_j คือ ชั้นที่ j ของเส้นด้าย และ N_z คือ จำนวนชั้นของเส้นด้ายทั้งหมด

เมื่อกำหนดให้ m_j คือ จำนวนเส้นใยที่เรียงตัวกันเป็นวงกลมรอบ ๆ ในแต่ละชั้นของเส้นใย โดยมีมุมที่เกิดขึ้นระหว่างจุดศูนย์กลางเส้นด้ายกับจุดศูนย์กลางเส้นใยแต่ละเส้น (Y) ที่อยู่ติดกันและเป็นการหาจำนวนเส้นใยที่มากที่สุดที่จะสามารถบรรจุได้พอดีกับพื้นที่ในแต่ละเส้นใยตามขนาดของเส้นด้าย สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$Y = \left(\frac{360^\circ}{m_j}\right) \quad (2.14)$$

ดังนั้น รัศมีตรงกึ่งกลางในชั้นเส้นใย j หรือ ระยะของรัศมีจากจุดศูนย์กลางเส้นด้ายถึงจุดศูนย์กลางของเส้นใยของชั้นที่ j (R_{jc}) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$R_{jc} = r_F \operatorname{cosec}\left(\frac{180^\circ}{m_j}\right) \quad (2.15)$$

จำนวนเส้นใยในแต่ละชั้น ขนาดของช่องว่างในแต่ละชั้นและจำนวนรวมของเส้นใย ภายในชั้นที่ j กำหนดแสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 1 พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยในเส้นด้ายสำหรับการบรรจุเปิด (Open packing)

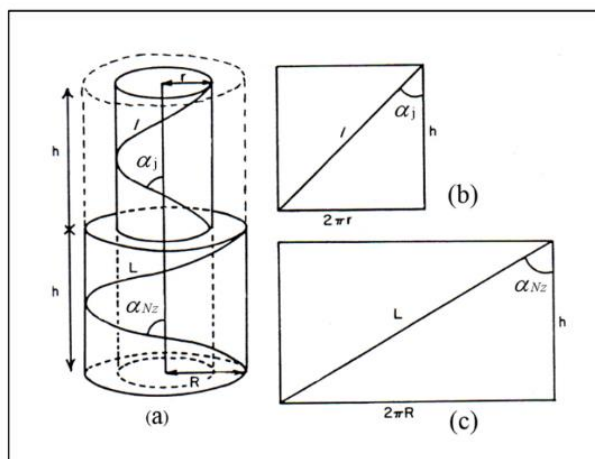
ชั้นที่	รัศมี แต่ละ ชั้น	รัศมีที่ตรงกลางของชั้น $r_F \operatorname{cosec}(180/m_j)^\circ$	จำนวนเส้น ใยที่มาก ที่สุดในชั้น	ช่องว่างใน แต่ละชั้น	รัศมี เส้นด้าย	จำนวนเส้น ใยทั้งหมด
1	0	-	1	-	r_F	1
2	$2r_F$	$2r_F$ for $m_j = 6$	6	0	$3r_F$	7
3	$4r_F$	$3.86r_F$ for $m_j = 12$ $4.18r_F$ for $m_j = 13$	12	$1.12r_F$	$5r_F$	19
4	$6r_F$	$5.76r_F$ for $m_j = 18$ $6.08r_F$ for $m_j = 19$	18	$1.68r_F$	$7r_F$	37
5	$8r_F$	$7.98r_F$ for $m_j = 25$	25	$0.12r_F$	$9r_F$	62
6	$10r_F$	$9.89r_F$ for $m_j = 31$	31	$0.84r_F$	$11r_F$	93

ที่มา: (เกียรติกศักดิ์ ศรีประทีป, 2562: 159)

2) เรขาคณิตของเกลียวเส้นด้ายที่สมบูรณ์แบบ

เส้นด้ายเกิดจากกระบวนการปั่นด้ายเพื่อผลิตเป็นเส้นด้าย โดยการทำให้เส้นใยเรียงตัว และรวมตัวเข้าด้วยกันเป็นเส้นยาวต่อเนื่องเกลียวของเส้นด้าย เกิดขึ้นจากการหมุนของความยาวเวกเตอร์ต่อเนื่องกันไปตามความยาวแกนกลางดังนั้นเกลียวเส้นด้ายจะถูกกำหนดขึ้นจากขนาดของความยาวเวกเตอร์ที่หมุนรอบไปตามความยาวแนวเส้นด้ายอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบที่ 4 (a) เรขาคณิตของเกลียวเส้นด้ายที่สมบูรณ์ (b) ภาพแผ่นคลี่ทรงกระบอกแสดงรัศมีของเกลียว (c) ภาพแผ่นคลี่แสดงรัศมีของเกลียวที่พื้นผิวชั้นนอกสุด
(ที่มา : Hearle et al, 1969)

จากพื้นฐานของโครงสร้างเส้นด้ายเส้นเดี่ยว ที่มีรูปแบบทางกายภาพที่ใช้จุดศูนย์กลางและแนวแกนเส้นด้ายรวมกันกับเกลียวเส้นด้าย ดังภาพประกอบที่ 4 จากการตั้งสมมติฐานของเกลียวที่สมบูรณ์แบบของเส้นด้ายสามารถคำนวณมุมของเกลียวเส้นด้ายจากสมการ ดังนี้

$$\tan \alpha = 2\pi Rjc \cdot n \quad (2.16)$$

$$\text{และ} \quad h = \sec \alpha = (1 + 4\pi^2 \cdot Rjc^2 \cdot n^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

เมื่อ Rjc = รัศมีจากจุดศูนย์กลางเส้นด้ายถึงจุดศูนย์กลางของเส้นใยในเลเยอร์ j

n = จำนวนของขดเกลียวต่อหน่วยความยาวแนวแกนเส้นด้าย

h = ระยะของเกลียวต่อความยาวแนวแกนเส้นด้าย

พูน ภิณ จิต ชเว

2.2 ตัวแปรของผ้าทอ

ตัวแปรของผ้าทอที่จำเป็นจะต้องทราบ เพื่อให้การอธิบายโครงสร้างของผ้าทอสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยตัวแปรที่สำคัญของผ้าทอ ได้แก่ ลายผ้า ความหนาแน่นของเส้นด้าย ความละเอียดของด้ายยืน และด้ายพุ่ง และความหยิกงอของด้ายยืนและด้ายพุ่ง (ประณัฐ โพธิยะราช, 2549)

2.2.1 ลายผ้า

ลายทอพื้นฐาน ได้แก่ ลายขัด (plain weave) ลายทแยง (twill weave) และลายต่วน (satin weave) จากลายทอพื้นฐานของผ้าเหล่านี้ เราสามารถนำไปดัดแปลงเป็นลายใหม่ๆได้โดยการกำหนดวิธีการร้อยตะกอกที่แตกต่างกันออกไป หรือการผสมผสานลายทอเข้าด้วยกันเช่น ผ้าทอลายขัด สามารถดัดแปลงเป็นลายอ็อกฟอร์ด หรือดัดแปลงเป็นลายตะกร้า เป็นต้น

2.2.2 ความหนาแน่นของเส้นด้าย

เส้นด้ายยืนแต่ละเส้นในทางทฤษฎีจะเรียกว่า end และระบุความหนาแน่นของด้ายยืนในหน่วย เส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตร (ends per centimeter, epc) ด้ายพุ่งแต่ละเส้นจะเรียกว่า picks และระบุความหนาแน่นของด้ายพุ่งในหน่วย เส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร (picks per centimeter, ppc)

2.2.3 ความละเอียดของเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง

โครงสร้างผ้า จะมีความละเอียดของเส้นด้ายเป็นสมบัติเชิงเรขาคณิต รูปร่างของภาคตัดขวางของด้ายมักถูกสมมุติให้มีรูปร่างเป็นวงกลม ทำให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ d ในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ายโดยตรง แต่จะนิยมวัดในหน่วยของน้ำหนักต่อความยาว หรือที่เรียกว่าหน่วย เท็กซ์ (tex, T) ซึ่งนิยามไว้ว่าเป็น น้ำหนักของเส้นด้ายความยาว 1,000 เมตร ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดของเส้นด้ายในหน่วย เท็กซ์ และเส้นผ่านศูนย์กลางของด้าย จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นโดยรวมเฉลี่ย (mean bulk density, D_n) ของเส้นด้าย ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเขียนแทนได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$d = 2 \sqrt{\frac{t}{100\pi D_n}} \cdot mm \quad (2.18)$$

สมการ 2.18 เป็นสมการในการประมาณค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง d เท่านั้น เนื่องจากการสมมุติให้พื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายมีรูปร่างเป็นวงกลม (flattening coefficient, e)

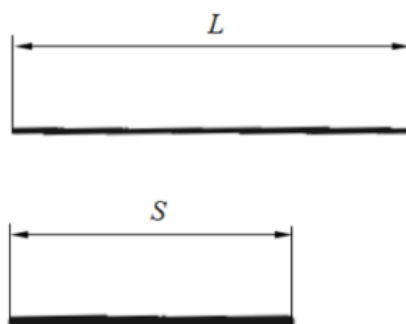
ซึ่งคำนวณได้จากค่า dv/dh และจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ดังนั้น จึงสามารถประมาณค่าของ dh และ dv ได้จากสมการต่อไปนี้

$$d_h = \frac{d}{\sqrt{e}} \quad (2.19)$$

$$d_v = d\sqrt{e} \quad (2.20)$$

2.2.4 ความหยักงอของเส้นด้าย

ก่อนที่จะมีกระบวนการทอเพื่อผลิตเป็นผ้าผืน ทั้งเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อเกิดเป็นผ้าผืนแล้ว ด้ายทั้งสองชุดจะไม่สามารถคงตัวในลักษณะความเป็นเส้นตรงได้ เนื่องจากจะต้องมีการขัดสานซึ่งกันและกัน ทำให้ด้ายแต่ละเส้นเกิดการโค้งงอและทำให้ความยาวของผ้าผืนหนึ่ง ๆ จะมีความยาวของด้ายที่ใช้มากกว่า ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าความหยักงอ (crimp) ซึ่งเป็นการอธิบายความโค้งงอของด้ายในผ้าผืน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 ความยาวของด้ายก่อนทอ (L) ความยาวของผ้าผืน (S)

(ที่มา : ประณัฐ โพธิยะราช, 2549)

ความหยักงอของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง นิยมวัดเป็นปริมาณความหยักงอ เขียนแทนด้วย c ซึ่งคำนวณได้จาก

$$c = \frac{L-S}{S} = \frac{L}{S} - 1 \quad (2.21)$$

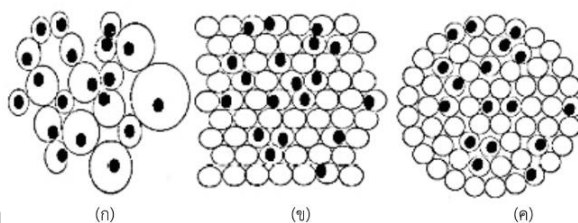
สมการข้างต้นนี้จะให้ค่าความหยิกงอในรูปทศนิยม ถ้านำค่านี้นำคูณด้วย 100 จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความหยิกงอ (crimp percentage) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งทอ

จากพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น โดยรวมแล้วจะมีความเกี่ยวเนื่องกัน ตัวอย่างเช่น หากความละเอียดของด้ายยืนและด้ายพุ่งคงที่ จะไม่มีความหนาแน่นของด้ายยืนและด้ายพุ่งที่น้อยที่สุด แต่จะมีความหนาแน่นของเส้นด้ายต่อเซนติเมตรที่มากที่สุด ซึ่งถูกกำหนดโดยความละเอียดของด้ายยืนเอง คาซิดจำกัดดังกล่าวนี้ก็จะมีความเกี่ยวข้องของต่อเนื่องต่อไปอีกเช่นกัน ความหนาแน่นด้ายพุ่งอาจเพิ่มขึ้นหากความหนาแน่นด้ายยืนลดลง หรือความหนาแน่นของด้ายพุ่งอาจลดลงเมื่อความหนาแน่นด้ายยืนเพิ่มขึ้น

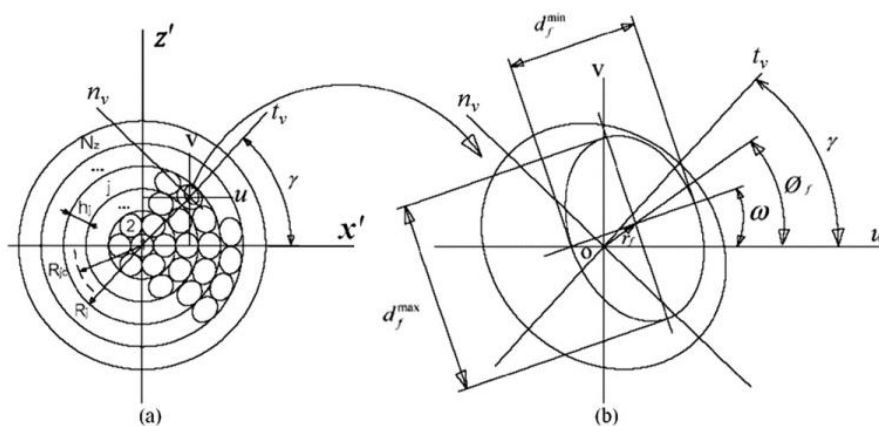
ส่วนความหยิกงอนั้น จะไม่มีค่าน้อยที่สุดสำหรับระบบเส้นด้ายหนึ่ง ๆ เนื่องจากด้ายบางเส้นอาจอยู่ในแนวเส้นตรงทำให้มีความหยิกงอเป็นศูนย์ สำหรับผาทอแล้วไม่มีทางเป็นไปได้ในการผลิตผ้าให้มีความหยิกงอของด้ายทุกเส้นเป็นศูนย์ เนื่องจากความหยิกงอจะต้องเกิดขึ้นจากการขัดสาน การแลกเปลี่ยนความหยิกงอ (crimp interchange) ระหว่างด้ายทั้งสองชุดมีความเป็นไปได้ ค่าความหยิกงอสำหรับด้ายกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อการแลกเปลี่ยนความหยิกงอเกิดขึ้นจนถึงจุดที่ด้ายเส้นหนึ่งมีความหยิกงอเป็นศูนย์ สำหรับโครงสร้างผ้าการแลกเปลี่ยนความหยิกงอจนถึงจุดดังกล่าวจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นค่าความหยิกงอที่มากที่สุดสำหรับกลุ่มเส้นด้ายในเนื้อผาจะน้อยกว่าความหยิกงอที่สามารถเกิดขึ้นได้จริง

2.2.5 รูปแบบของตำแหน่งแบบจำลองบนพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย

รูปแบบพื้นฐานในการจำลองตำแหน่งเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายมีสองรูปแบบคือ การบรรจุเส้นใยแบบเปิด และการบรรจุเส้นใยแบบปิด ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ตำแหน่งของเส้นใยเปรียบเสมือนเซลล์ที่กระจายตัวในพื้นที่หน้าตัดเส้นด้าย ซึ่งจะถูกกำหนดโดยฟังก์ชันของการกระจายตัวที่ได้จากผลการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของเส้นใยในเส้นด้ายสามารถพิจารณาจากหลักการของตำแหน่งจำลอง (virtual locations concept) โดยมีลักษณะหลายรูปแบบในการกำหนดตำแหน่งจำลองของเส้นใย ดังภาพประกอบที่ 6



ภาพประกอบที่ 6 (ก) การจัดวางตำแหน่งสำหรับเส้นด้ายเดี่ยว (ข) พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย (ค)
ตำแหน่งของเส้นใยในตำแหน่งจำลอง
(ที่มา : Grishanov et al, 1997)



ภาพประกอบที่ 7 รูปแบบจำลองพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายด้วยรูปแบบตำแหน่งจำลองแบบวงรี
(ที่มา : Sriprateep and Bohez, 2009)

พื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายเส้นเดี่ยวนั้นมีชื่อว่า รูปแบบของตำแหน่งจำลองแบบวงรี หรือ “ring configuration with ellipsoid shapes model” (Sriprateep and Bohez, 2009) รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย ซึ่งในแนวรัศมีของแต่ละชั้นจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง แต่ในแนวตั้งฉากกับแนวรัศมีนั้น รัศมีของตำแหน่งจำลองในแต่ละชั้นจะเปลี่ยนไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมของเกลียวของเส้นด้าย โดยตำแหน่งของตำแหน่งจำลองแต่ละชั้นแสดงในพิกัด 2.7 เราคาดคะเนของเกลียวเส้นด้าย

2.3 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

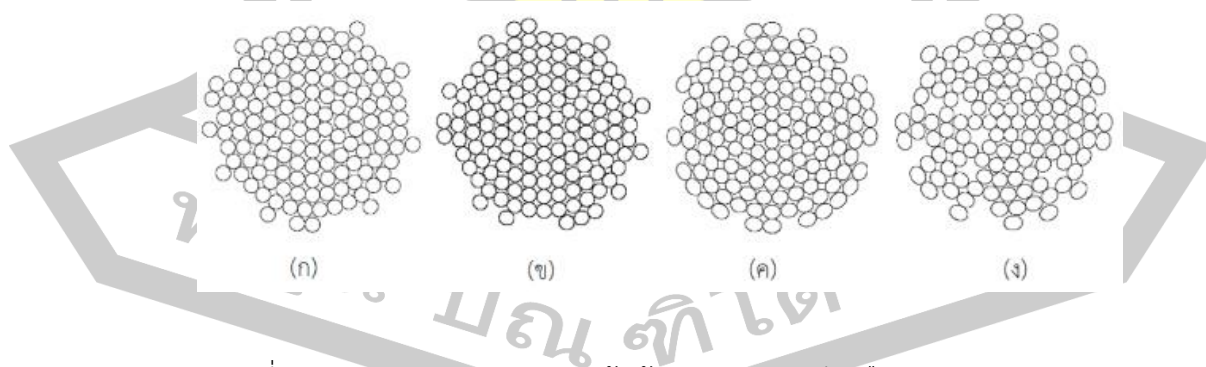
คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (CAE) ปัจจุบัน ได้เป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีความสามารถมากขึ้นเรื่อย ๆ และเป็นที่ยอมรับอย่างมากใน การออกแบบและวิเคราะห์ ในการประยุกต์ใช้กับวัสดุสิ่งทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เส้นด้าย ใน การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) สำหรับการจำลองรูปร่าง เรขาคณิตของเส้นด้ายในอดีตทั้งหมด (Jiang and Chen, 2005)

2.3.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบของเส้นด้าย

จากการสังเกตพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายจริง ซึ่งที่จุดกึ่งกลางของพื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายจะมีความหนาแน่นของเส้นใยมากกว่าพื้นที่ด้านนอก จึงได้นำเสนอตัวอย่างของความน่าจะเป็นของการกระจายตัวของเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดเส้นด้าย รูปแบบความน่าจะเป็นที่น่าเสนอในครั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระยะทางในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางเส้นด้ายออกมาด้านขอบสุดของเส้นด้าย (Morris et al, 1999)

ตัวอย่างการจำลองเส้นด้ายโดยการประกอบของเส้นใยเข้าด้วยกันด้วยการใช้ตัวแปรของกระบวนการผลิตเส้นใยจากวัสดุเรยอนมีดำเนินการตามขั้นตอนที่แสดงในภาพประกอบที่ 8

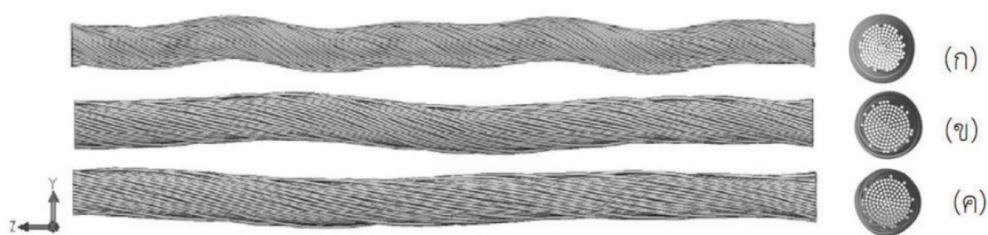
(ก) การกำหนดตำแหน่งจำลองของเส้นด้ายทำจากเส้นใยเรยอน สมมุติฐานเกี่ยวกับโครงสร้างเส้นด้ายที่สมบูรณ์แบบโดยมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมและมีการจัดเรียงของพื้นที่หน้าตัดเป็นแบบเบ็ดมีทั้งหมด 8 ชั้น (Hearle, 1965)



ภาพประกอบที่ 8 (ก-ค) ตำแหน่งจำลองของเส้นด้ายเรยอนมุมเกลียวคือ 12.60 และ 38.8 ตามลำดับ โดยมีจำนวนเส้นใย 142 และ (ง) ที่ว่างของตำแหน่งจำลองที่มุมเกลียว 38.80 จำนวนของตำแหน่งจำลองคือ 125 (ที่มา : Sriprateep and Bohez, 2009)

(ข) การย้ายตำแหน่งเส้นใยของเส้นด้ายเรยอน รูปแบบและตัวแปรของการย้ายตำแหน่งที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดเทียบเท่าและการดิ่งจะมีความเหมาะสมกับการทดลองของเส้นโค้งตามทฤษฎีของความสัมพันธ์เทียบเท่าของการย้ายตำแหน่งกับการดิ่ง (Hearle et al, 1969)

(ค) ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแสดงในภาพประกอบที่ 9 เส้นใยที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นเส้นด้ายที่ม้วนเกลียว 38.80 และ 12.60 ตามลำดับ โดยใช้ตัวแปรการย้ายตำแหน่งเส้นใยจากผลการทดลอง เส้นด้ายประกอบด้วยเส้นใยจำนวน 142 เส้น เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย เส้นด้ายและความยาวเท่ากับ 11.8 ไมครอน 0.18 มิลลิเมตร และ 3.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 9 แบบจำลอง CAD สำหรับเส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นใย

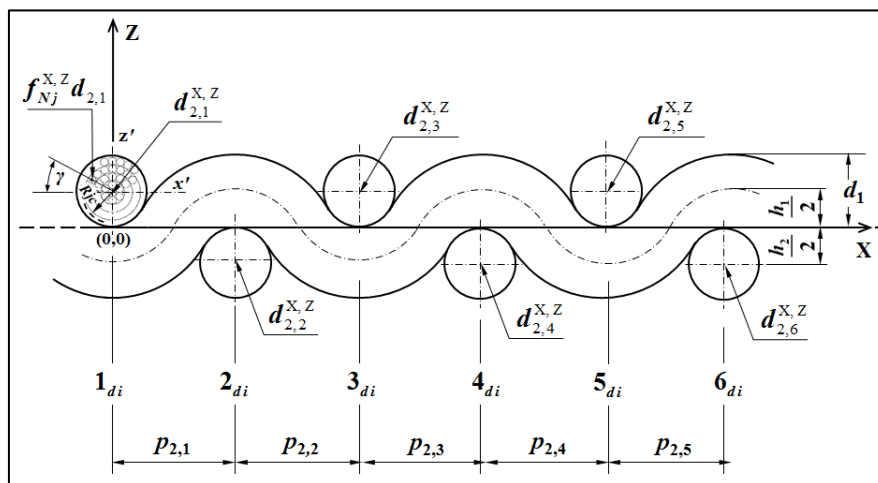
(ก-ค) ขนาดเส้นด้าย 6.0 3.0 และ 2.1 ตามลำดับ

(ที่มา : Sriprateep and Bohez, 2009)

2.4 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอ

2.4.1 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 1×1 (plain weave)

ผ้าทอลายขัดธรรมดาหรือบางที่เรียกว่า “taffeta” หรือ “tabby” มีลวดลายเหมือนกันทั้งด้านหน้าและด้านหลังของผ้า ผ้าทอลายขัดธรรมดามีใช้ประมาณ 80% ของผ้าทอทั้งหมด ผ้าลายขัดธรรมดามีความแข็งแรงที่สุด แต่ค่อนข้างยับและสกปรกได้ง่ายแม้ว่าสามารถจะทำความสะอาดได้ง่ายก็ตาม จะเห็นว่าในหนึ่งลายซ้ำ (Weave repeat) จะประกอบไปด้วยเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งอย่างละ 2 เส้น ซึ่งมีลักษณะการข้ามและการลอดตรงข้ามกัน ผ้าทอลายขัดธรรมดาที่เป็นแบบสมดุ เป็นผ้าทอที่มีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตรเท่ากับเส้นด้ายพุ่งและมีเบอร์เส้นด้ายเท่ากันทั้งสองเส้น ดังนั้นทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่งจะมีการงอตัว (crimp) ที่เท่ากัน (Joseph, 1972)



ภาพประกอบที่ 10 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 1x1 (plain weave)
(ที่มา : Patumchat and Sriprateep, 2019)

จากการกำหนดพิกัดของเส้นใยบนพื้นที่หน้าตัดเส้นด้ายในโครงสร้างผ้าทอ ตำแหน่งของเส้นด้ายในระนาบ X, Z จากภาพประกอบที่ 10 กำหนดให้เส้นด้ายพุ่งในโครงสร้างลายทอที่จะศึกษา เขียนแทนด้วย i_{d2} ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง N_p โดยที่ N_p คือ จำนวนด้ายพุ่งในหนึ่งหน่วยซ้ำ (number weft in weave repeat) และ N_e คือ จำนวนด้ายยืนในหนึ่งหน่วยซ้ำ (number warp in weave repeat) ดังนั้นการระบุพิกัดของเส้นด้ายตามแนวแกน X สามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$d_i^X = p_i(i_{di} - 1) \quad (2.22)$$

จากการศึกษาแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอ (Patumchat and Sriprateep, 2019) ที่ศึกษาทฤษฎีของ Peirce ที่มีพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองทางเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอในแบบ 2 มิติทำให้สามารถสร้างสมการขึ้นโดยอาศัยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของผ้าทอในหนึ่งซ้ำ เพื่อสร้างและกำหนดรูปร่างของแนวเส้นด้ายตามลายทอต่างๆ

การสร้างเส้นด้ายแต่ละเส้นจะถูกสร้างขึ้นโดยการกำหนดพิกัดของด้ายบนหน้าตัดเส้นด้าย โดยวิธีการ Sweeps ภาพหน้าตัดของเส้นด้าย (Yarn path) ในโปรแกรม Solid Work 2018 ภาพของเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งจะถูกนำมาประกอบเป็นโครงสร้างผ้าทอทำให้เกิดการทอผ้าลักษณะต่างๆ ในรูปแบบ 1 หน่วยซ้ำ หรือ 1 unit-cell ดังนี้

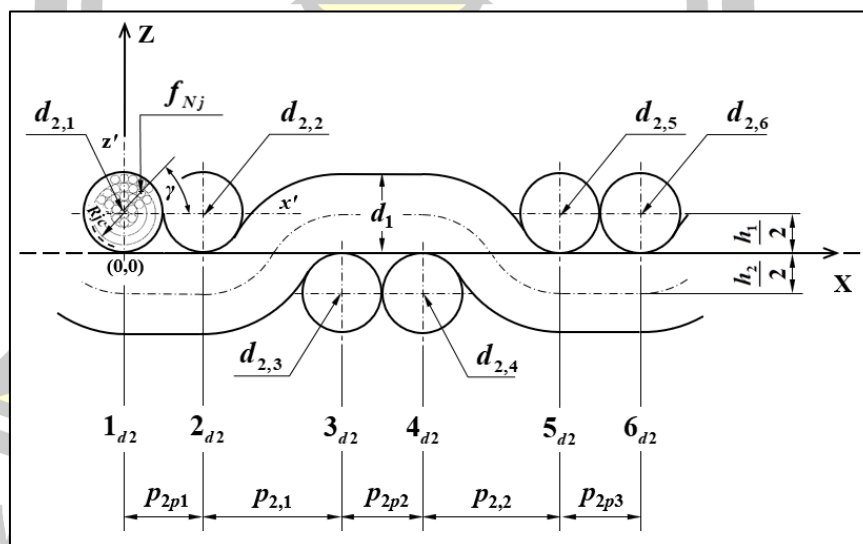
เมื่อ d_i^X = พิกัดของเส้นด้ายยืนหรือด้ายพุ่งเส้นที่ i_{di} ตามแนวแกน X
 p_i = ระยะห่างระหว่างเส้นด้ายยืนหรือด้ายพุ่ง (pitch)
 i_{di} = ลำดับของเส้นด้ายยืนหรือด้ายพุ่งในแนวแกน X

ในการกำหนดตำแหน่งให้กับเส้นด้ายในแนวแกน Z ซึ่งระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดของจุดศูนย์กลางของหน้าตัดเส้นด้าย โดยวัดตามแนวตั้งกับระนาบผ้า ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความสูงของความหยิกของเส้นด้ายหรือ $h_i/2$ นั้นเอง

$$d_i^Z = \pm h_i/2 \begin{cases} h_i/2 & \text{เมื่อ ด้ายอยู่ด้านบนระนาบผ้า} \\ h_i/2 & \text{เมื่อ ด้ายอยู่ด้านล่างระนาบผ้า} \end{cases} \quad (2.23)$$

เมื่อ d_i^Z = พิกัดของเส้นด้ายยืนหรือด้ายพุ่งในแนวแกน Z
 $h_i/2$ = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเส้นด้ายกับระนาบผ้า

2.4.2 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 2x2 (Basket weave)



ภาพประกอบที่ 11 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลายขัดชนิด 2x2 (Basket weave)

(ที่มา : Patumchat and Sriprateep, 2019)

การกำหนดพิกัดของเส้นด้ายบนโครงสร้างผ้าลายขัดแบบ 2x2 กำหนดโดยเลขลำดับของเส้นด้ายในโครงสร้างผ้า โดยด้ายเส้นแรกในพิกัด 0,0 ซึ่งนับเป็นเส้นด้ายลำดับที่ $1 = 1$ ซึ่งเป็นจำนวน

เลขคี่ 3, 5, 7 และเลขลำดับของเส้นด้ายในโครงสร้างผ้าที่เป็นเลขคู่ 2, 4, 6 เพื่อพัฒนาสมการในการกำหนดพิกัตของเส้นด้าย เมื่อค่าของระยะห่างระหว่างเส้นด้ายที่อยู่ติดกันมีค่า $P_{ipi} = (d_i + d_i)/2$ สามารถกำหนดสมการได้ ดังนี้

เมื่อเลขลำดับของเส้นด้ายในโครงสร้างผ้าเป็นเลขคู่ $i_{di=2i}$ (even number) คือ

$$d_{i=2i}^X = p_i \left[i_{di=2i} - \left(\frac{i_{di=2i}}{2} + 1 \right) \right] + p_{ipi} \left(\frac{i_{di=2i}}{2} \right); 2i = 2, 4, 6 \dots N_i \quad (2.24)$$

เมื่อเลขลำดับของเส้นด้ายในโครงสร้างผ้าเป็นเลขคี่ $i_{di=2i+1}$ (odd number) คือ

$$d_{i=2i+1}^X = p_i \left[i_{di=2i+1} - \left(\frac{i_{di=2i+1}}{2} + 0.5 \right) \right] + p_{ipi} \left[i_{di=2i+1} - \left(\frac{i_{di=2i+1}}{2} + 0.5 \right) \right]; 2i+1 = 1, 3, 5 \dots N_i \quad (2.25)$$

การกำหนดพิกัตของเส้นด้ายบนโครงสร้างผ้าทอในแนวแกน Z จะใช้สมการเดียวกันกับสมการที่ 2.24

จากภาพประกอบที่ 2.11 ในการพัฒนาสมการขึ้นมาสำหรับแบบจำลองเส้นด้าย เพื่อการสร้างและกำหนดรูปร่างของแนวแกนเส้นด้ายตามโครงสร้างลายทอแบบ 2x2 โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

จะได้

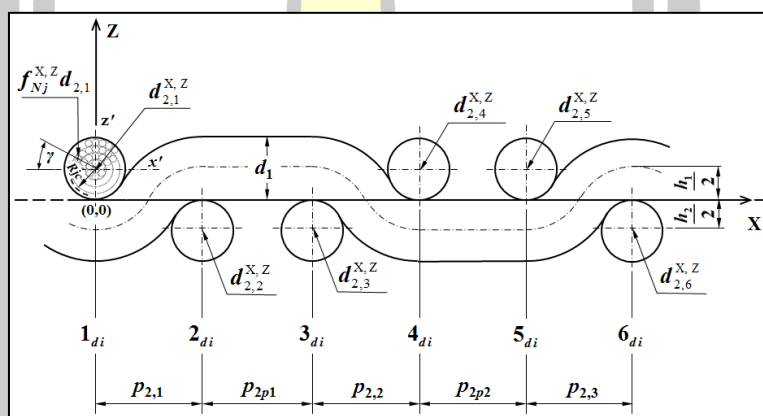
$d_{1,i}^{YZ}$	= ขนาดของเส้นด้ายยืนตามแนวแกน Y และแกน Z หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$d_{2,i}^{XZ}$	= ขนาดของเส้นด้ายยืนตามแนวแกน X และแกน Z หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$h_1/2$	= ระยะของเส้นด้ายยืนที่อยู่บนและล่างระนาบผ้า หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$h_2/2$	= ระยะของเส้นด้ายพุ่งที่อยู่บนและล่างระนาบผ้า หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$p_{1,i}^{YZ}$	= ระยะห่างระหว่างเส้นด้ายยืน หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$p_{2,i}^{XZ}$	= ระยะห่างระหว่างเส้นด้ายพุ่ง หน่วยเป็น มิลลิเมตร
D_t	= ความหนาของผ้าทอ หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	= ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในด้ายยืน (warp) หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	= ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในด้ายพุ่ง (weft) หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$P_{1,i}^{YZ}$	= ระยะห่างระหว่างเส้นด้ายยืนที่อยู่ชิดติดกัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร
$P_{2,i}^{XZ}$	= ระยะห่างระหว่างเส้นด้ายพุ่งที่อยู่ชิดติดกัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร

2.4.3 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 2x2 (twill weaves)

ผ้าทอลายทแยง (Twill weaves) ผ้าทอลายทแยงหรือเรียกว่า “ลาย สอง” เป็นลายทอที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับผ้าทอที่เป็นโครงสร้างแบบง่าย มีความแข็งแรง รองจากผ้าทอลายขัดสามารถนำไปใช้ได้ในงานหลาย ๆ ประเภท เช่น เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม และผ้าสำหรับเฟอร์นิเจอร์หรือใช้ในเครื่องเรือน ผ้าลายทแยงแบบสมดุลเป็นลายทอที่บอกลักษณะโดยแนวทแยงของเส้นด้ายยืนที่ข้ามเส้นด้ายพุ่ง พร้อมกับแนวทแยงของเส้นด้ายพุ่งที่ข้ามเส้นด้ายยืน ซึ่งปรากฏอยู่ที่

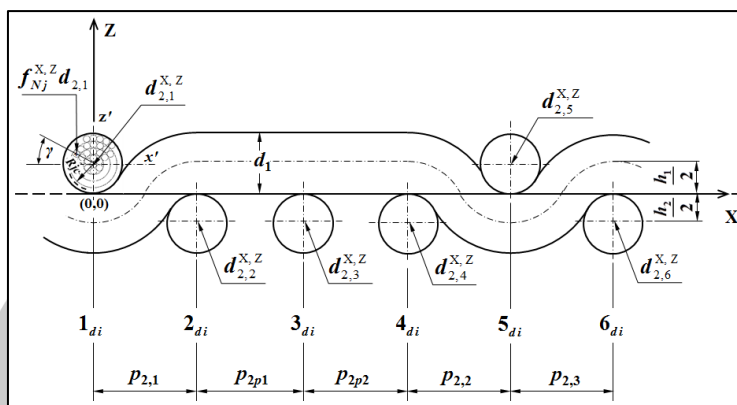
ด้านหน้าและด้านหลังของผ้า กล่าวคือ ถ้าด้านหน้าเป็นลายเอียงขวาด้านหลังจะเป็นลายเอียงซ้าย หรือถ้าด้านหน้าเป็นลายเอียงซ้ายด้านหลังจะเป็นลายเอียงขวา ทิศทางแนวทแยงบนด้านหน้าของผ้า จะตรงข้ามกับแนวทแยงด้านหลังของผ้า ในหนึ่งหน่วยซ้ำของลายทแยงจะมีจำนวนเส้นด้ายยืนเท่ากับ เส้นด้ายพุ่ง ลายทแยงที่เล็กที่สุดอย่างน้อยต้องประกอบไปด้วยเส้นด้ายยืน 3 เส้นและเส้นด้ายพุ่ง 3 เส้น เช่น ผ้าลายสองแบบ 2×1 ผ้าลายสองพื้นฐาน

โดยทั่วไปแนวทแยงของลายผ้าสามารถแบ่งเป็น 2 แนวคือ แนวทแยงขวา (Right twill) และ แนวทแยงซ้าย (Left twill) ผ้าทอแนวทแยงขวา จะมีทิศทางของแนวทแยงขึ้นไป ทางขวาหรือเรียกว่า “z-twill” มีทิศทางของแนวทแยงจะขนานกับส่วนตรงกลางของทิศทางตัวอักษร Z ดังภาพประกอบ 2.17 (b) โดยปกติ แล้วแล้วจะทอเป็นแนวทแยงขวา แต่ถ้าหากไม่มีการระบุหรือกำกับสัญลักษณ์ใด ๆ ไว้จะถือว่าลายทแยงนั้น เป็นลายทแยงขวา ในส่วนของผ้าทอแนวทแยงซ้าย จะมีทิศทางของแนวทแยงขึ้นไปทางซ้ายหรือเรียกว่า “s-twill” ซึ่งทิศทางของแนวทแยงจะขนานกับส่วนตรงกลางของทิศทางตัวอักษร S ดังภาพประกอบที่ 12



ภาพประกอบที่ 12 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 2x2 twill weaves
(ที่มา : Patumchat and Sriprateep, 2019)

2.4.4 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 3x1 (twill weaves)



ภาพประกอบที่ 13 แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงชนิด 3x1 twill weaves

(ที่มา : Patumchat and Sriprateep, 2019)

2.4.5 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลาย filling rib 4/2

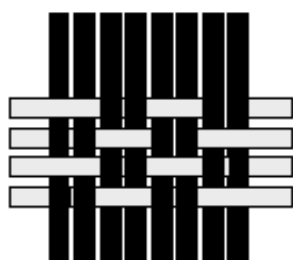
ผ้าทอลายต่วน (satin weaves) ลายต่วน หรือลายซาตินคือ ผ้าทอลายทแยงที่ไม่สมดุล กล่าวคือ ตั้งใจผลิตเพื่อให้ผิวของผ้าไม่มีลวดลายเส้นด้ายจะข้ามหรือลอยอย่างน้อย 4 เส้น ในการทอลายต่วนต้องให้ได้พุ่งและด้ายยืนขัดกันน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ตำแหน่งที่ขัดกันจะกระจัดกระจายไปทั่วบนผืนผ้าจึงทำให้พื้นผิวผ้านั้นมีแต่เส้นด้ายพุ่งหรือเส้นด้ายยืน เส้นใดเส้นหนึ่งเป็นเส้นลอย ลายต่วนแบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ ลายต่วนที่มีด้ายพุ่งเป็นเส้นลอยเรียกว่าลายต่วนด้ายพุ่ง (Filling - satin or weft satin) และที่มีด้ายยืนเป็นเส้นลอยเรียกว่า ลายต่วนด้ายยืน (Warp - satin or warp satin) ความแตกต่างระหว่างลายทั้งสองชนิดนี้อาจจะเนื่องมาจากจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว (จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว หรือต่อเซนติเมตร) เช่น ลายต่วนด้ายพุ่ง เป็นผ้าที่ทอโดยใช้จำนวนเส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร มากกว่า เส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตร จึงทำให้เส้นด้ายพุ่งโผล่พ้นอยู่ด้านบนผิวผืนผ้า เส้นด้ายพุ่งจะปิดบังเส้นด้ายยืนจึงทำให้พื้นผิวของผ้ามีผิวเรียบในทางกลับกัน ลายต่วนด้ายยืน เป็นผ้าที่ทอโดยใช้จำนวนเส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตร มากกว่า เส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร และเส้นด้ายยืนจะปิดบังเส้นด้ายพุ่งจึงทำให้ผ้ามีผิวเรียบ ผ้าลายต่วนมีลักษณะเฉพาะคือ มีความราบเรียบ (smooth) มีความเงางาม (luster) ด้านผิวสัมผัสมีความนุ่มนวล (gentle) ทนต่อการยับได้ดี มีการทิ้งตัวได้ดี ผ้าลายต่วนนี้นิยมใช้ทำเสื้อผ้าชั้นใน เพราะมีผิวที่เรียบ ใช้ทำชุดกลางคืน หรือชุดแต่งงาน เป็นต้น (อัจฉราพร ไสละสูตร, 2524) รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการทอผ้าลายต่วนและผ้าทอลายต่วนตามลำดับ

แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลาย filling rib 4/2 จะใช้การผสมผสานระหว่าง เส้นด้ายยืน
แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายขัด 2x2 และเส้นด้ายพุ่งแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายขัด 1x1
ดังภาพประกอบที่ 10 และภาพประกอบที่ 11

2.4.6 แบบจำลองสำหรับโครงสร้างผ้าทอลาย warp rib 2/4

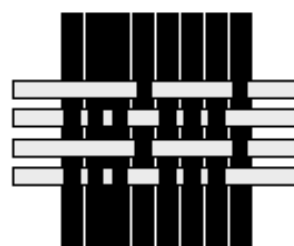
ผ้าทอลายขัดดัดแปลง ลายขัดดัดแปลง คือ ลายขัดที่เกิดจากการดัดแปลงวิธีการขัด
เส้นด้ายให้แตกต่างออกไป โดยรักษากระบวนการทอลายขัดไว้ ผ้าที่ทอกันมาก ได้แก่ ผ้าทอลาย
ลูกฟูกเส้นด้ายยืน (Warp Rib Weave) ผ้าทอลูกฟูกเส้นด้ายพุ่ง (Weft Rib Weave) และลายสานตะกล้า
(Basket Weave)

Weft rib Weaves-regular



(a)

Weft rib Weaves-irregular



(b)

ภาพประกอบที่ 14 (a) ผ้าทอลายลูกฟูกเส้นด้ายยืน (Warp Rib Weave)

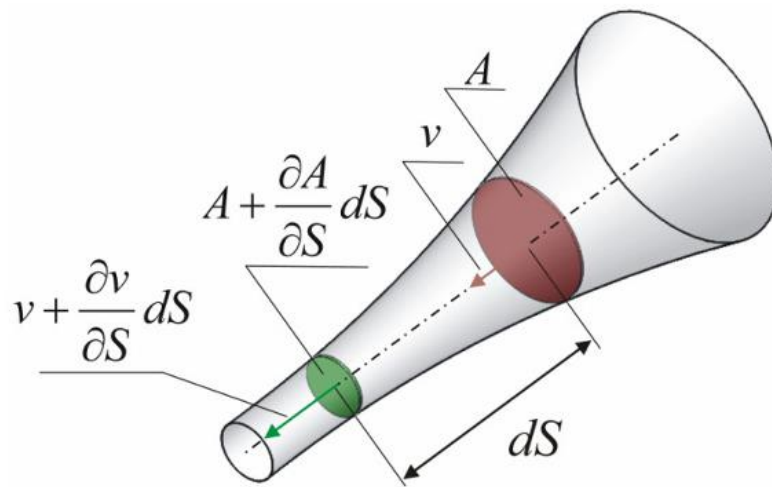
(b) ผ้าทอลูกฟูกเส้นด้ายพุ่ง (Weft Rib Weave)

(ที่มา : extileschool4u.blogspot.com)

แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลาย warp rib 2/4 จะใช้การผสมผสานระหว่าง เส้นด้ายยืน
แบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายขัด 1x1 และเส้นด้ายพุ่งแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายขัด 2x2
ดังภาพประกอบที่ 10 และภาพประกอบที่ 11

2.5 ทฤษฎีการซึมผ่านของอากาศ

ในที่นี้ได้ดำเนินการจำลองการไหลของอากาศในมิติหนึ่ง โดยที่ความเร็วขึ้นอยู่กับมิติหนึ่งโดย
ส่วนใหญ่ (ทางตรงกันข้ามกับชั้นของผ้าทอ) ให้เราพิจารณาปริมาณของของเหลวที่เข้าและออกจาก
ปริมาณที่ลดลงด้วยพื้นที่ตัดข้าม A และ $A + \frac{\partial A}{\partial s}$ ในช่วงเวลา dt (รูปภาพที่ 2.26) ค่า dS คือ
ระยะทางจากพื้นที่ตัดข้าม A ไปยังพื้นที่ตัดข้าม $A + \frac{\partial A}{\partial s}$ ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบที่ 15 แผนภาพของการไหลของของเหลวภายในท่อที่มีส่วนตัดที่เปลี่ยนแปลง
(ที่มา : jezowiecka-Kabsch et al., 2012)

มวลของของเหลวที่ไหลผ่านพื้นที่ A ด้วยความเร็ว v ในระยะเวลา dt คือ $\rho v A dt$ ในขณะที่
มวลของของเหลวที่ไหลออกที่พื้นที่ $A + \frac{\partial A}{\partial S} dS$ ในเวลาเดียวกันเท่ากับ $A + \frac{\partial A}{\partial S} dS$ เวลาคือ

$$\left(\rho + \frac{\partial \rho}{\partial S} dS\right) \left(A + \frac{\partial A}{\partial S} dS\right) \left(v + \frac{\partial v}{\partial S} dS\right) dt \quad 2.26$$

ความแตกต่างในมวลของของไหลที่เข้าและออกจากองค์ประกอบนี้เท่ากับการเพิ่มมวลในระยะเวลา dt :

$$\rho A v dt - \left(\rho + \frac{\partial \rho}{\partial S} dS\right) \left(A + \frac{\partial A}{\partial S} dS\right) \left(v + \frac{\partial v}{\partial S} dS\right) dt = \frac{\partial \rho}{\partial t} dt A dS \quad 2.27$$

หลังจากการแปลงค่าสมการที่ 2.27 จะมีรูปแบบดังนี้:

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho A v)}{\partial S} = 0 \quad 2.28$$

สำหรับของไหลที่ไม่สามารถอัดตัวได้ ($r = \text{คงที่}$), สมการ 2.28 จะมีรูปแบบดังนี้:

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho A v)}{\partial S} = 0 \quad 2.29$$

สมการ 2.29 ยังสามารถเขียนในรูปแบบอื่นได้ดังนี้:

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial S} + \rho v \frac{\partial A}{\partial S} = 0 \quad 2.30$$

ในกรณีของการไหลแบบคงที่ (พารามิเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา), สมการ 2.29 และ 2.30 จะแปลงเป็นรูปแบบดังนี้:

$$\rho A v = \text{const} \text{ (สำหรับของไหลอัดตัวได้)} \quad 2.31$$

และ

$$A v = \text{const} \text{ (สำหรับของไหลที่ไม่สามารถอัดตัวได้)} \quad 2.32$$

กรณี อากาศถือเป็นของไหลที่ไม่สามารถอัดตัวได้ นั่นคือเมื่อไหลด้วยความเร็วต่ำและระดับกลาง ความสัมพันธ์กับความเร็วของเสียง ($340.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) ในกรณีนี้การเปลี่ยนแปลงของความดันมีน้อยเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในขณะเดียวกันปริมาตรและความหนาแน่นก็เปลี่ยนไปเช่นกัน

2.5.1 การซึมผ่านของอากาศ

กระบวนการทางฟิสิกส์เป็นวิธีการประมาณค่าเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับกลศาสตร์ของเส้นใย ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามจำนวนที่กำหนดในรูปแบบของเมชหรือเอลิเมนต์และพฤติกรรมซึ่งกำหนดโดยตัวแปรที่กำหนด เมื่ออากาศซึมผ่านพื้นที่หน้าตัดของผ้าทอจะทำให้เกิดการซึมผ่านของอากาศ ในทุกเอลิเมนต์ในเส้นใยซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้วิธีการของไฟไนต์เอลิเมนต์สมการพื้นฐานที่แสดง ดังนี้

$$K = \frac{Q}{A} \quad (2.33)$$

กำหนดให้ K คือ การซึมผ่านของอากาศ

Q คือ อัตราการไหลของอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างผ้าทอ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ. 2562 พุฒิพงศ์ ประทุมชาติ ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอของ เพียร์ซ ร่วมกับแบบจำลองแนวเส้นด้าย อาร์ค แอบซิสซา (เพียร์ซ) โมเดล เริ่มจากการสร้างเส้นด้ายเดี่ยวที่สมบูรณ์มีเส้นใยหลาย ๆ เส้นบิดตัวกันเป็นเกลียวในเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งที่มีลักษณะโค้งลดขึ้นลงตามลายทอผ้าชนิดต่าง ๆ ภาพหน้าตัดของเส้นด้ายจะถูกสร้างขึ้นตามทฤษฎีเวกซ์ลอร์เคชั่น เพื่อกำหนดตำแหน่งของเส้นใยที่อยู่บนหน้าตัดของเส้นด้าย ภาพหน้าตัดเส้นใยในเส้นด้ายจะหมุนบิดเป็นเกลียวไปตามความยาวของเส้นด้ายตามค่ามุมเกลียวที่กำหนด แนวเส้นโค้งของเส้นใยถูกสร้างขึ้นจากการคำนวณหาความโค้งและเชื่อมต่อกันระหว่างหน้าตัดของเส้นใยด้วยวิธีการเนิร์ป เส้นใยแต่ละเส้นจะถูกลากกวาดไปในลักษณะปลายปิดไปตามแนวเส้นด้ายเพื่อสร้างเป็นเส้นด้ายแล้วนำมาประกอบกันเป็นผืนผ้าในรูปแบบแค้ดโมเดล ภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ถูกสร้างขึ้นจะแสดงรายละเอียดของผ้าได้ชัดเจนสมจริงและยังสามารถสร้างโครงสร้างผ้าทอที่มีความซับซ้อนได้หลากหลายชนิด ในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างผ้าทอชนิดสองและสามชั้น ผ้าทอลายทแยงชนิด 2×2 2×1 และ 3×1 ในสภาวะของเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งที่มีลักษณะเบ้เอียงไม่ตั้งฉากกัน ด้วยระเบียบวิธีการดังกล่าวเหล่านี้เป็นการเอื้อให้เกิดการพัฒนาต่อยอดสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงกลของผ้าทอในขั้นสูงต่อไป เช่น ผ้าที่ใช้วัสดุคอมโพสิต

พ.ศ. 2561 หทัยรัตน์ บุญเนตร และคณะ ได้ทำการวิจัยและออกแบบเพื่อสร้างสื่อมัลติมีเดียในการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ตำบลบ่อหิน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง การออกแบบลายพิมพ์ผ้าประยุกต์ร่วมสมัยสร้างด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากภูมิปัญญาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอนาหมื่นศรีจังหวัดตรัง มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบลายพิมพ์ผ้าประยุกต์ร่วมสมัยจากภูมิปัญญาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอนาหมื่นศรีจังหวัดตรัง 2) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้กับวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอนาหมื่นศรีจังหวัดตรัง 3) เพื่อเพิ่มผลิตภัณฑ์สินค้าของวิสาหกิจชุมชนนำไปสู่เป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคและได้ศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย พบว่าความพึงพอใจทั้งด้านแบบจำลอง 3 มิติ และด้านเทคโนโลยี AR code มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด กล่าวคือ การออกแบบลายพิมพ์ผ้าประยุกต์ร่วมสมัยสร้างด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากภูมิปัญญาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผ้าทอนาหมื่นศรีจังหวัดตรัง ถือเป็นช่องทางหนึ่งในการส่งเสริมการขายสินค้าและเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค

Pierce (1937) ได้นำเสนอแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าทอลายขัด (Peirce's model) บนข้อสมมุติฐานที่ว่า เส้นด้ายพิจารณามีความยืดหยุ่นไม่ต้านทานต่อการโค้งงอ มีหน้าตัด เป็นวงกลม และไม่สามารถถูกบีบอัดหรือดึงยืดออกได้ แบบจำลองของ Peirce นี้ถูกนำมาใช้อ้างอิงในงานวิจัยด้านโครงสร้างผ้าทออย่างแพร่หลายจนกระทั่งปัจจุบัน

Kemp (1958) ได้พิจารณาเกี่ยวกับแบบจำลองของ Peirce's model พบว่ารูป แบบจำลองของ Peirce มีความยากในการแก้ระบบสมการซึ่งเป็นแบบสมการไม่เชิงเส้น (non-linear equations) จึงได้ปรับปรุงข้อสังเกตของ Peirce ที่สมมุติให้หน้าตัดของด้ายมีรูปร่างเป็นวงกลม โดยกำหนดให้หน้าตัดของเส้นด้ายมีรูปร่างต่าง ๆ เนื่องจากในกระบวนการทอเส้นด้ายที่มีหน้าตัดเป็นวงกลมจะถูกกดทับจากการขัดสานกันทำให้หน้าตัดเส้นด้ายเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบต่าง ๆ เช่น วงรี สี่เหลี่ยมปลายมน และรูเลนส์นูน เป็นต้น

Newton Lin (1999) ได้นำเสนองานวิจัยที่น่าสนใจ ด้วยการอธิบายวิธีการสร้างและแสดงลักษณะของโครงสร้างผ้าทอในแบบ 3 มิติ โดยคอมพิวเตอร์กราฟิก ภาพจำลองของแนวเส้นด้ายจะถูกสร้างขึ้นด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการสร้างเส้นโค้งแบบ B-splines เป็นวิธีการต่อเส้นโค้งเข้าด้วยกัน ด้วยการคำนวณควบคุมแบบพื้นที่เฉพาะที่ (Local control) ที่ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของจุดควบคุม (Control point) ที่ใกล้ที่สุด ซึ่งจะมีฟังก์ชันประสาน (Blending function) เป็นตัวกำหนดรูปร่างของเส้นโค้ง ทำให้สามารถสร้างเป็นภาพจำลองของผ้าผืนที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะเส้นโค้งคลื่นของด้ายในผืนผ้าที่เกิดขึ้นตามลายทอแบบทแยง

Dehkordi et al (2017) และคณะ ได้นำเสนอวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อจำลองการซึมผ่านของอากาศของผ้าถักที่มีซี่โครงและโครงสร้างที่เชื่อมต่อกัน ประกอบด้วยผ้าถักสองประเภทที่มีโครงสร้าง 1x1 และโครงสร้างลูกโซ่ แล้วผลิตผ้าถักโดยมีความหนาแน่นของลูปต่างกันสามแบบ ทำการทดสอบการซึมผ่านของอากาศกับตัวอย่างทั้งหมด เซลล์หน่วยของแต่ละตัวอย่างถูกสร้างขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ CATIA โดยโมเดล Vassiliadis ซึ่งพิจารณารูปร่างที่แท้จริงของห่วงถักในพื้นที่สามมิติ จากนั้นทำการวิเคราะห์ CFD กับตัวอย่างทั้งหมดโดยซอฟต์แวร์ Fluent ซึ่งใช้โมเดล 2 โมเดลที่มีความปั่นป่วน $k-\epsilon$ และ $k-\omega$ สำหรับการวิเคราะห์ CFD ผลเชิงตัวเลขแสดงความเห็นตรงกันกับผลการทดลอง สรุปได้ว่าแบบจำลอง CFD เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการทำนายการซึมผ่านของอากาศของผ้าถักโดยใช้เซลล์หน่วยของโครงสร้างผ้าถัก การใช้ขั้นตอนนี้สามารถลดขนาดการทำงานและทำให้เวลาในการแก้ปัญหาลดลงอย่างมาก

Xuesen Zeng et al (2015) ได้ทำการทำนายเชิงตัวเลขของการซึมผ่านในระนาบสำหรับผ้าทอหลายชั้นที่มีการเสียรูปที่เกิดจากการผลิต โดยมีการนำเสนอแบบจำลอง Computational Fluid Dynamics แบบอิงเซลล์สำหรับการคาดการณ์การซึมผ่านของโครงสร้างผ้าหลายชั้น ในกระบวนการขึ้นรูปแบบ Liquid Composites Molding การจัดวางผ้าจะเกิดการเสียรูปที่เกิดจากการผลิต รวมทั้งการบีบอัด แรงเฉือน และการวางซ้อนระหว่างชั้น จะเริ่มต้นจากการกำหนดค่าของผ้าที่ไม่มีรูปร่าง ซึ่งการเสียรูปจะถูกจำลองทางเรขาคณิตวิธีการสร้างแบบจำลองทางเรขาคณิตถูกนำมาใช้ในซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส TexGen เทนเซอร์การซึมผ่านได้มาจากการวิเคราะห์การไหลใน ANSYS/CFX โดยอิงตามแบบจำลอง TexGen voxel การใช้ข้อมูลทางเรขาคณิตที่วัดได้สำหรับผ้าที่ไม่เสียรูปเท่านั้น ผ้าทอธรรมดาที่ผิดปกติและผ้าทอหลายทแยงถูกจำลองและคาดการณ์เทนเซอร์การซึมผ่านของผ้า

เปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่ดีโดยทั่วไปของการคาดคะเนที่ได้มา จากวิธีตัวเลขที่เสนอ

Nazarboland (2008) ได้ทำการสร้างแบบจำลองและการจำลองการกรองผ่านสื่อกอ มี จุดมุ่งหมายเพื่อหาหรือเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์ UniverFilter™ ที่สามารถสร้าง แบบจำลองทางเรขาคณิตของผ้าทอ 3 มิติ โดยเชื่อมต่อกับเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อ กำหนดเส้นทางการไหลของของไหล (และโดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลว) เชิงตัวเลข และจำลอง กระบวนการกรองโดยการแนะนำ อนุภาคที่มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ ผลกระทบของพารามิเตอร์ทาง เรขาคณิตของผ้าทอต่อการไหลของของไหลโดยใช้ผลลัพธ์จากแรงดันของของไหลและความเร็วของ ของไหลบนผ้า แสดงให้เห็นว่าการไหลของของไหลได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญในส่วนคั่นและช่อง เกือบปลายทางโดยผ้า ความต้านทานการไหลของของไหลและการสูญเสียแรงดันได้มาจากผลของ ความเร็วและความดันของของไหล ผลลัพธ์จากแรงดันของเหลวบนเนื้อผ้ายังสามารถใช้เพื่อคาดการณ์ ได้แม่นยำยิ่งขึ้นว่ารูปร่างและขนาดของรูพรุนเปลี่ยนไปอย่างไร และการสร้างเครื่องมือสร้าง แบบจำลองสำหรับการกรองผ่านสื่อกอผ้าทอ ซอฟต์แวร์นี้เป็นรากฐานของการสร้างเครื่องมือ แบบสแตนด์อโลนที่มีความสามารถในการออกแบบ ทดสอบ และปรับปรุงการออกแบบตัวกรองผ้า เพื่อคุณสมบัติการกรองที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

Adam K. Puszkarz and Izabella Krucinska (2018) ได้ทำการจำลองการซึมผ่านของ อากาศของสิ่งทอหลายชั้นโดยการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล โดยมีวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือเพื่อตรวจสอบประโยชน์ของแบบจำลองและเพื่อตรวจสอบผลกระทบของระดับของการทำแผนที่ เรขาคณิตของเส้นด้ายต่อการซึมผ่านของอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสำหรับทั้งสองรุ่นมี ความสัมพันธ์กับผลการทดลอง อย่างไรก็ตาม ค่าการซึมผ่านของอากาศที่คำนวณได้ซึ่งได้จากการ จำลองบนแบบจำลองที่แม่นยำยิ่งขึ้นนั้นใกล้เคียงกับผลการทดลองอย่างชัดเจน และแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นด้ายอาจเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างแบบจำลอง การไหลของอากาศผ่านสิ่งทอ

Xueliang Xiao (2016) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของผ้าทอภายใต้ความ กดอากาศที่เพิ่มขึ้น เพื่อเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์สำหรับการทำนายค่า TP คงที่ของผ้าทอ วิธีนี้เป็นไปตามกฎของดาร์ซีและสมการ Poiseuille โดยใช้ขอบเขตการไหลของเซลล์หน่วยสาน ธรรมดาในอุดมคติ แบบจำลองเซลล์หน่วยประกอบด้วยท่อแยกการบรรจุกันแบบค่อยเป็นค่อยไป (GCD) ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า นอกจากนี้ TP แบบไดนามิกของท่อ GCD ยังถูกสร้างขึ้นใน เชิงวิเคราะห์ในฐานะหน้าที่ของแรงดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการแยกการไหลของอากาศออกจาก ผนังท่อ GCD การแยกการไหลของอากาศออกจากผนังท่อทำให้เกิดความสัมพันธ์กำลังสองระหว่าง ความดันที่เพิ่มขึ้นและความเร็วของการไหลของอากาศ TP แบบไดนามิกและความไม่เชิงเส้นของการ ไหลของอากาศนี้ถูกจำลองด้วยตัวเลขใน CFX ตัวแก้ไดนามิกของไหลเชิงคำนวณ ท่อ GCD ห้าท่อ ภายใต้ความกดอากาศที่เพิ่มขึ้นได้รับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและเชิงวิเคราะห์ การเปรียบเทียบแสดง

ให้เห็นข้อตกลงที่ตีระหว่างแบบจำลองการวิเคราะห์ที่เสนอและการจำลอง CFD โดยมีข้อผิดพลาดสูงสุดถึง 12% การศึกษาความไวแสดงให้เห็นว่าความพรุนที่เพิ่มขึ้นหรือความหนาของวัสดุท่อที่ลดลงอาจส่งผลให้ค่า TP แบบไดนามิกมากขึ้น

Xuesen Zeng (2014) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางเรขาคณิตของการเสริมแรงแบบทอ 3 มิติสำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต: การทำนายการซึมผ่านของผ้าและคุณสมบัติทางกลของคอมโพสิตสำหรับการทอเส้นใยคาร์บอนแบบตั้งฉากแบบ 3 มิติ พารามิเตอร์เชิงเรขาคณิตที่แสดงลักษณะเฉพาะของยูนิตเซลล์ถูกหาปริมาณโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เอกซเรย์และการวิเคราะห์ภาพ ขั้นตอนใหม่ในการสร้างแบบจำลองเซลล์หน่วย สะท้อนถึงความผันแปรในท้องถิ่นอย่างเป็นระบบในเส้นทางของเส้นด้ายและส่วนตัดขวางของเส้นด้าย และการแยกส่วนเป็น voxels สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ได้ถูกนำมาใช้ใน TexGen การไหลของเรซินในระหว่างการเคลือบเสริมแรงถูกจำลองโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อทำนายการซึมผ่านในระนาบ ด้วยระดับการปรับแต่งเฉพาะของแบบจำลองทางเรขาคณิตที่เพิ่มขึ้น ข้อตกลงของการซึมผ่านที่คาดการณ์ไว้กับข้อมูลการทดลองจึงดีขึ้นอย่างมาก สังเกตผลกระทบที่มีนัยสำคัญของโครงสร้างของสารยึดเกาะที่พื้นผิวผ้าต่อการซึมผ่านได้ คุณสมบัติแรงดึงในระนาบของคอมโพสิตที่คาดการณ์โดยใช้การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบไฟไนต์ทางกลแสดงให้เห็น ข้อตกลงเชิงปริมาณที่ดีกับผลการทดลอง การสร้างแบบจำลองที่แม่นยำของชั้นพื้นผิวผ้าคาดการณ์ถึงความแข็งแรงของคอมโพสิตที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางของเส้นด้ายที่มีการจับซึ่งเกิดจากการกดทับที่จุดตัดขวางของสารยึดเกาะ

Ziva Zupin et al (2011) ได้ทำการศึกษาการทำนายการซึมผ่านของอากาศผ้าทอชั้นเดียว โดยใช้พารามิเตอร์ความพรุน การซึมผ่านของอากาศเป็นหนึ่งในคุณสมบัติพื้นฐานของสิ่งทอที่ส่งผลต่อการออกแบบเสื้อผ้าที่ใส่สบาย การซึมผ่านของอากาศขึ้นอยู่กับโครงสร้างผ้าเป็นหลัก ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นด้าย ประเภทของเส้นด้าย ความหนาแน่นของด้ายยืน/พุ่ง และการทอ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุพารามิเตอร์จำนวนเล็กน้อยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการซึมผ่านของอากาศของผ้าฝ้ายและทำให้สามารถคาดการณ์ได้ดี โดยการรวมพารามิเตอร์คอมโพสิตที่รู้จักจากทฤษฎีของไหล เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของรูพรุน รวมทั้งมีการใช้พารามิเตอร์อีก 2 ตัวในการทำนายการซึมผ่านของอากาศ ได้แก่ จำนวนรูพรุนขนาดใหญ่ และความพรุนรวมของผ้าทอ ผลการวิจัยพบว่าการทอแบบธรรมดาทั้งสี่ชิ้นมีพฤติกรรมแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งอาจอธิบายได้ด้วยโครงสร้างการทอ วิธีการทางสถิติ พหุตัวแปรนี้ยังยืนยันความเหมาะสมของพารามิเตอร์ที่เลือกไว้สามตัวสำหรับการทำนายการซึมผ่านของอากาศ ซึ่งกระทำโดยใช้การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ที่ปรับแล้วอยู่ที่ 0.94 บ่งชี้ว่าแบบจำลองอธิบายความแปรปรวนของการซึมผ่านของอากาศในระดับมาก

Guocheng Zhu et al (2017) ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านของอากาศ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของความสบายของเสื้อผ้าและสิ่งทอทางเทคนิค โดยพิจารณาจากความพรุนและขนาดรูพรุนหรือพื้นที่ที่มีรูพรุน ในงานนี้คาดการณ์เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายฝ้าย

โดยพิจารณาจากจำนวนเส้นด้าย การบิดตัว และความหนาแน่นของการบรรจุ จากนั้นจึงคาดการณ์พื้นที่รูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่เท่ากันของเนื้อผ้า เมื่อวัดความสามารถในการซึมผ่านของอากาศของเนื้อผ้าและเปรียบเทียบแบบจำลองการวิเคราะห์ที่รู้จักกันดีหลายตัวสำหรับการทำนายการซึมผ่านของอากาศ ผลการวิจัยพบว่าสมการ Hagen–Poiseuille มีการคาดคะเนได้ดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ มาก และยังมีข้อตกลงที่ดีกับผลการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับผ้าแน่นที่แรงดันตกต่ำ (60 Pa) สมการ Hagen–Poiseuille สามารถปรับปรุงได้โดยพิจารณาจากจำนวน Reynolds, interfiber interstices และการเปลี่ยนรูพรุนภายใต้แรงดันตกที่สูงขึ้น

Samander Ali Malik et al (2017) ได้ทำการวิเคราะห์และทำนายการซึมผ่านของอากาศของผ้ากั้นการทอที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ โครงสร้างผ้า และกระบวนการพารามิเตอร์ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ PES barrier fabric และพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมผ่านและพารามิเตอร์ของวัสดุการก่อสร้างและกระบวนการที่มีอิทธิพล ไม่เพียงแต่ลักษณะพิเศษเฉพาะของเส้นด้าย ผ้า และพารามิเตอร์ของเครื่องทอผ้า แต่ยังรวมถึงปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนที่อยู่ภายใต้ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยกว่าหรือหลายปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อความพรุนและการซึมผ่านของผ้า โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการแมปความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตที่ซับซ้อนดังกล่าว โมเดลโครงข่ายประสาทฟิดฟอร์เวิร์ดได้รับการฝึกฝนด้วยการผสมผสานระหว่างอัลกอริธึม Levenberg Marquardt และการสนับสนุนการทำให้เป็นมาตรฐานแบบเบย์ซึ่งรวมอยู่ในการขยายพันธุ์ย้อนหลัง ตามจำนวนตัวแปรอินพุต โมเดล ANN สามรุ่นได้รับการปรับให้เหมาะสม สังเกตได้ว่าแบบจำลองที่ได้รับการฝึกฝนด้วยปัจจัยการผลิตที่เลือกทั้งหมดนั้นให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือกับข้อมูลการทดสอบ เช่น $R^2=0.985$ และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่ 1.8%

Befru Turan & Ayse Okur (2012) ได้ศึกษาการทำนายพฤติกรรมการไหลของของไหลในระนาบและผ่านระนาบของผ้าทอ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการซึมผ่านในระนาบและทะลุผ่านระนาบ และคุณสมบัติโครงสร้างของผ้าทอที่มีพื้นที่การใช้งานจำนวนมาก เช่น เสื้อผ้า และสิ่งทอทางเทคนิค โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากกลุ่มผ้าทดสอบที่มีประเภทการทอต่างกันและการตั้งค่าด้ายพุ่งซึ่งสร้างโดยใช้ความหนาแน่นเชิงเส้นของด้ายยืนและพุ่งเท่ากัน ในการศึกษาคุณสมบัติของรูพรุนถูกตรวจสอบในสองบริเวณ: บริเวณรูพรุนระหว่างเส้นด้ายและระหว่างเส้นใย หลังจากกำหนดคุณสมบัติของรูพรุน ซึ่งกำหนดโดยคุณสมบัติทางโครงสร้างและเรขาคณิตของเนื้อผ้าตามวิธีการที่แตกต่างกัน ผลการซึมผ่านของทิศทางทั้งในระนาบและทะลุผ่านระนาบได้รับการทำนายในทางทฤษฎีโดยใช้คุณสมบัติของรูพรุนที่ได้รับในสมการการไหลเปรียบเทียบผลการซึมผ่านโดยประมาณกับผลการทดลอง และอภิปรายความเหมาะสมของวิธีการ

บทที่ 3

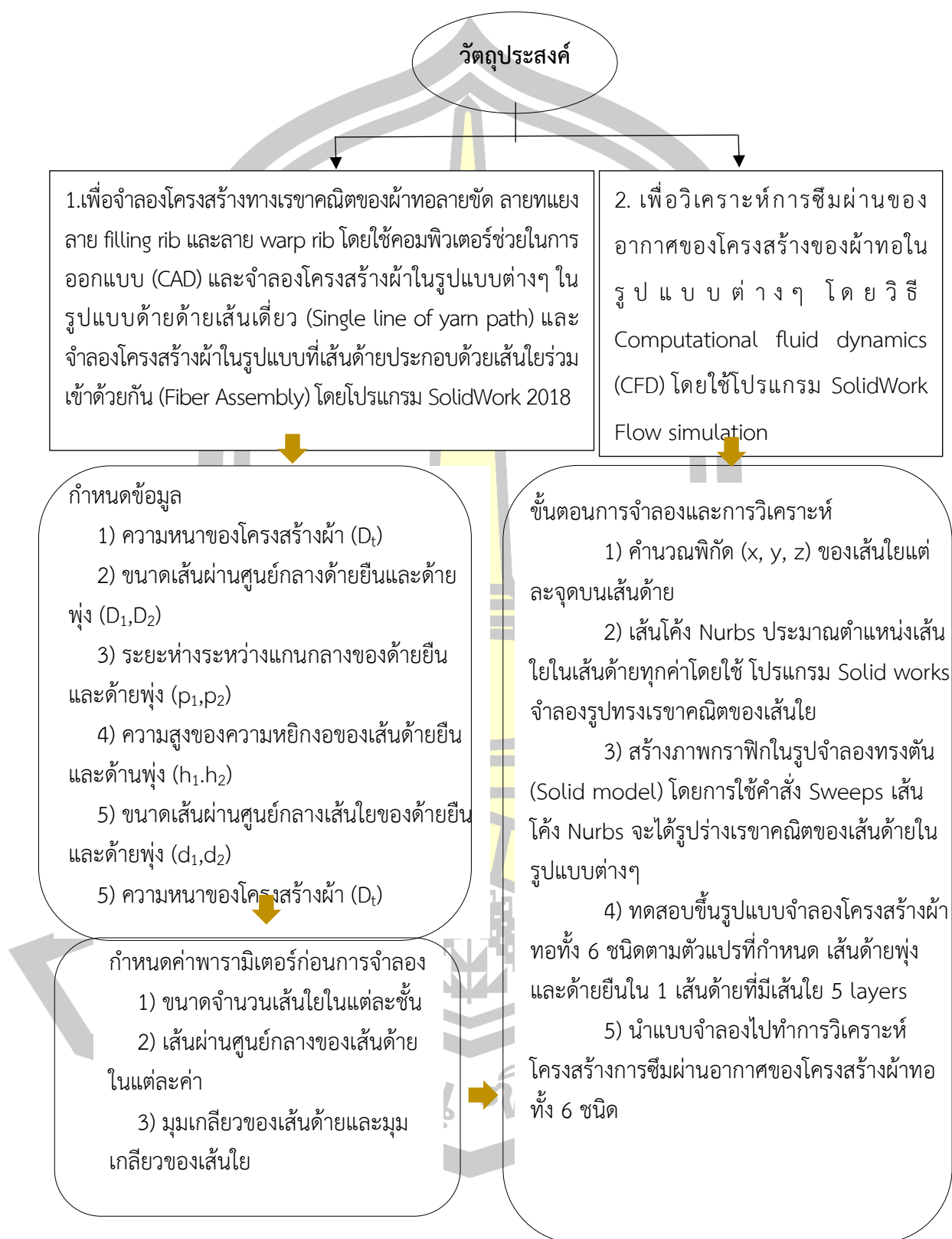
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาแบบจำลองของโครงสร้างทางคณิตขึ้นมาใหม่ และทำการวิเคราะห์ภาพจำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างผ้าทอโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ (CAD) โดยมีหลักการทฤษฎี โครงสร้างรายละเอียดของผ้าที่จะนำมาประกอบกัน เพื่อนำไปพัฒนารูปแบบจำลองของโครงสร้างทางเรขาคณิตขึ้นมาใหม่ หลังจากนั้นจะนำโครงสร้างทางเลขาคณิตที่ได้มาทำการ Simulation ในโปรแกรม Solid work จากนั้น นำค่าได้มาเปรียบเทียบกับค่าเดิม เพื่อหาว่าการซึมผ่านอากาศของตัวอย่างใหม่นั้นสามารถซึมผ่านโครงสร้างได้มากหรือได้น้อยกว่าตัวอย่างเก่าที่นำมาเปรียบเทียบกับ โดยมีสมมติฐานดังนี้ 1) การเพิ่มเส้นใยให้มีจำนวนมากในเส้นด้าย จะส่งผลให้มีโครงสร้างมีความซับซ้อน ทำให้การซึมผ่านของอากาศนั้นมีความละเอียดมากกว่าการใช้เส้นด้ายที่มีเส้นใยที่มีโครงสร้างทรงกลมตัน ไม่มีความซับซ้อนทำให้ลมสามารถผ่านได้น้อย 2) การวิเคราะห์จำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างผ้าทอโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบสามารถวิเคราะห์ค่าการไหลผ่านอากาศในโครงสร้างผ้าทอมีค่าที่แม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทดลอง ในตัวอย่างซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อตอบสมมติฐานและเพื่อบรรลุจุดประสงค์ จึงมีการทดสอบหลักดังต่อไปนี้

1. ศึกษาหลักการออกแบบโครงสร้างของผ้าทอลายขัด (plain weave) และแบบทแยง (twill weaves) ซึ่งลายทอทั้ง 2 ลายนั้น เป็นลายทอพื้นฐานที่สามารถดัดแปลงให้เป็นลายทอในลักษณะอื่นๆ ที่แตกต่างกันออกไปได้หลายๆ แบบ ดังนั้นจึงทำการศึกษาผ้าทอลายขัดชนิด 1×1 , 2×2 ผ้าทอลายทแยงชนิด 1×3 , 2×2 ลาย filling rib และลาย warp rib
2. หาค่าการซึมผ่านของอากาศและค่าความเร็วของลมผ่านเส้นด้ายที่นำมาประกอบกัน โดยวิเคราะห์จากโปรแกรม Solid Work 2018

พูน ปณ จิต ชีเว

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



3.1 ข้อมูลในการจำลอง

3.1.1 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลายขัด 1 x 1 (PL) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.439 มิลลิเมตร
- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.438 มิลลิเมตร
- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.468 มิลลิเมตร
- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.514 มิลลิเมตร
- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) และเส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 องศา

ตารางที่ 2 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 1 x 1 (PL) แบบ Single line ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t
22/15	0.2197	0.2197	0.1098	0.1098	0.4545	0.6667	0.439
22/20	0.2190	0.2190	0.1095	0.1095	0.4545	0.5	0.438
29.3/15	0.2340	0.2340	0.1170	0.1170	0.3412	0.6667	0.468
29.3/20	0.2570	0.2570	0.1285	0.1285	0.3412	0.5	0.514

ตารางที่ 3 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 1 x 1 (PL) แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	γ
22/15	0.2196	0.2196	0.1098	0.1098	0.4545	0.6667	5
22/20	0.2189	0.2189	0.1095	0.1095	0.4545	0.5	5
29.3/15	0.2339	0.2339	0.1170	0.1170	0.3412	0.6667	5
29.3/20	0.2569	0.2569	0.1285	0.1285	0.3412	0.5	5

3.1.2 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลายขัด 2 x 2 (PL) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.506 มิลลิเมตร

- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.531 มิลลิเมตร
- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.604 มิลลิเมตร
- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.567 มิลลิเมตร
- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) และเส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 20 องศา

ตารางที่ 4 ตัวแปรใน การจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 2 x 2 (TW) แบบ Single line ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	P_{1pi}^{XZ}	P_{2pi}^{XZ}	D_t
22/15	0.253	0.253	0.1265	0.1265	1.6718	0.5954	0.253	0.253	0.506
22/20	0.2655	0.2655	0.13275	0.13275	1.6718	1.5438	0.2655	0.2655	0.531
29.3/1 5	0.302	0.302	0.151	0.151	0.3907	0.9874	0.302	0.302	0.604
29.3/2 0	0.2835	0.2835	0.14175	0.14175	0.3907	1.7238	0.2835	0.2835	0.567

ตารางที่ 5 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายขัด 2 x 2 (TW) แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t	γ
22/15	0.0280	0.0280	0.2800	0.2100	1.6718	0.5954	0.439	5
22/20	0.0294	0.0294	0.2800	0.2616	1.6718	1.5438	0.438	5
29.3/15	0.0335	0.0335	0.2620	0.2100	0.3907	0.9874	0.468	5
29.3/20	0.0314	0.0314	0.2620	0.2616	0.3907	1.7238	0.514	5

3.1.3 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลายทแยง 3 x 1 (Twill) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.565 มิลลิเมตร

- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.558 มิลลิเมตร
- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.596 มิลลิเมตร
- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.586 มิลลิเมตร
- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) คือ 20 องศา เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 20 องศา

ตารางที่ 6 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 3 x 1 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร

Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	P_{1pi}^{XZ}	P_{2pi}^{XZ}	D_t
22/15	0.2825	0.2825	0.1412	0.1412	1.9963	0.8314	1.9963	0.8314	0.565
22/20	0.279	0.279	0.1395	0.1395	1.9578	1.6788	1.9578	1.6788	0.558
29.3/15	0.298	0.298	0.1490	0.1490	0.3950	0.9554	0.3950	0.9554	0.596
29.3/20	0.293	0.293	0.1465	0.1465	0.40036	1.8188	0.40036	1.8188	0.586

ตารางที่ 7 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 3 x 1 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t	γ
22/15	0.0313	0.0313	0.1412	0.1412	1.9963	0.8314	0.565	5
22/20	0.0309	0.0309	0.1395	0.1395	1.9578	1.6788	0.558	5
29.3/15	0.0330	0.0330	0.1490	0.1490	0.3950	0.9554	0.596	5
29.3/20	0.0325	0.0325	0.1465	0.1465	0.40036	1.8188	0.586	5

3.1.4 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลายทแยง 2 x 2 (Twill) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร
- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.504 มิลลิเมตร

- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.604 มิลลิเมตร
- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.568 มิลลิเมตร
- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) คือ 20 องศา เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 20 องศา

ตารางที่ 8 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 2 x 2 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร

Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	P_{1pi}^{XZ}	P_{2pi}^{XZ}	D_t
22/15	0.254	0.254	0.127	0.127	1.6828	0.6034	1.6828	0.6034	0.508
22/20	0.252	0.252	0.126	0.126	1.6608	1.4088	1.6608	1.4088	0.504
29.3/15	0.302	0.302	0.151	0.151	0.3907	0.9874	0.3907	0.9874	0.604
29.3/20	0.284	0.284	0.142	0.142	0.4100	1.7288	0.4100	1.7288	0.568

ตารางที่ 9 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลายทแยง 2 x 2 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t	γ
22/15	0.0281	0.0281	0.127	0.127	1.6828	0.6034	0.508	5
22/20	0.0279	0.0279	0.126	0.126	1.6608	1.4088	0.504	5
29.3/15	0.0335	0.0335	0.151	0.151	0.3907	0.9874	0.604	5
29.3/20	0.0315	0.0315	0.142	0.142	0.4100	1.7288	0.568	5

3.1.5 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลาย Filling rib 4 x 2 (Twill) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.591 มิลลิเมตร
- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.558 มิลลิเมตร
- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.620 มิลลิเมตร

- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.605 มิลลิเมตร
- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) คือ 20 องศา เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 20 องศา

ตารางที่ 10 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Filling rib 4 x 2 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร

Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	P_{1pi}^{XZ}	P_{2pi}^{XZ}	D_t
22/15	0.2955	0.2955	0.1477	0.1477	2.1393	0.9354	2.1393	0.9354	0.591
22/20	0.279	0.279	0.1395	0.1395	1.9578	1.6788	1.9578	1.6788	0.558
29.3/15	0.31	0.31	0.1550	0.1550	0.3821	1.0514	0.3821	1.0514	0.620
29.3/20	0.3025	0.3025	0.1512	0.1512	0.3901	1.9138	0.3901	1.9138	0.605

ตารางที่ 11 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Filling rib 4 x 2 แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t	γ
22/15	0.0327	0.0327	0.1477	0.1477	2.1393	0.9354	0.508	5
22/20	0.0309	0.0309	0.1395	0.1395	1.9578	1.6788	0.504	5
29.3/15	0.0344	0.0344	0.1550	0.1550	0.3821	1.0514	0.604	5
29.3/20	0.0335	0.0335	0.1512	0.1512	0.3901	1.9138	0.568	5

3.1.6 กำหนดตัวแปรโครงสร้างผ้า 4 รูปแบบ ของผ้าทอลาย Warp rib 2 x 4 (Twill) ดังนี้

- 1) รูปแบบที่ 1 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.549 มิลลิเมตร
- 2) รูปแบบที่ 2 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 22/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.557 มิลลิเมตร
- 3) รูปแบบที่ 3 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/15 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.471 มิลลิเมตร
- 4) รูปแบบที่ 4 จำนวนเส้นด้ายต่อเซนติเมตรของด้ายยืน (warp) ด้ายพุ่ง (weft) เท่ากับ 29.3/20 เส้นต่อเซนติเมตร และมีความหนาของโครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.480 มิลลิเมตร

- 5) จำนวนชั้น (layer) ของเส้นด้ายยืน (warp) เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 5 ชั้น
- 6) จำนวนเส้นใยในเส้นด้าย 56-60 เส้นใยต่อเส้นด้าย
- 7) มุมเกลียวของเส้นด้ายยืน (warp) คือ 20 องศา เส้นใยของเส้นด้ายพุ่ง (weft) คือ 20 องศา

ตารางที่ 12 ตัวแปรในการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Warp rib 2 x 4 แบบ Single line หน่วยมิลลิเมตร

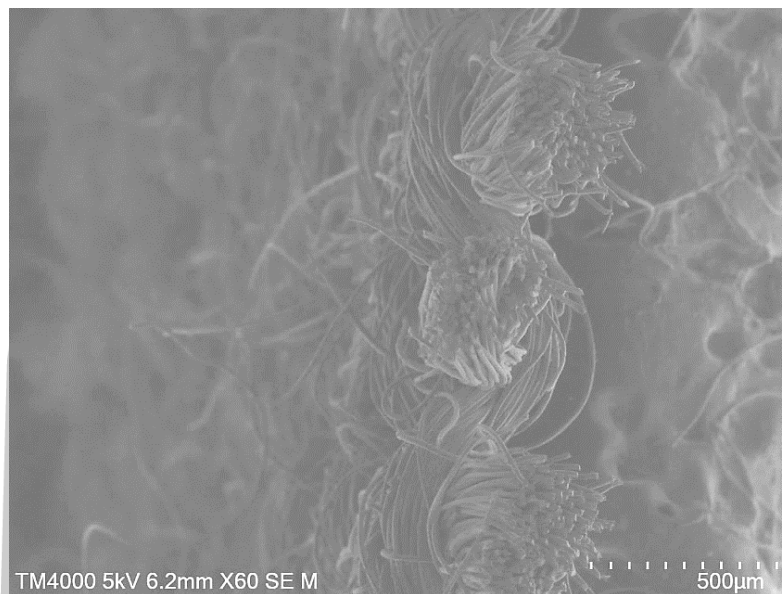
Type	$d_{1,i}^{YZ}$	$d_{2,i}^{XZ}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	P_{1pi}^{XZ}	P_{2pi}^{XZ}	D_t
22/15	0.2745	0.2745	0.1372	0.1372	1.9083	0.7674	2.1393	0.9354	0.549
22/20	0.2785	0.2785	0.1392	0.1392	1.9523	1.6738	1.9578	1.6788	0.557
29.3/15	0.2355	0.2355	0.1177	0.1177	0.4619	0.4554	0.3821	1.0514	0.471
29.3/20	0.24	0.24	0.12	0.12	0.4571	1.2889	0.3901	1.9138	0.480

ตารางที่ 13 ตัวแปรการจำลองโครงสร้างของผ้าทอลาย Warp rib 2 x 4แบบ Fiber Assembly ในหน่วย มิลลิเมตร

Type	$f_{1,i}^{YZ} d_{1,i}$	$f_{2,i}^{XZ} d_{2,i}$	$h_1/2$	$h_2/2$	$p_{1,i}^{YZ}$	$p_{2,i}^{XZ}$	D_t	γ
22/15	0.0304	0.0304	0.1372	0.1372	1.9083	0.7674	0.549	5
22/20	0.0309	0.0309	0.1392	0.1392	1.9523	1.6738	0.557	5
29.3/15	0.0261	0.0261	0.1177	0.1177	0.4619	0.4554	0.471	5
29.3/20	0.0266	0.0266	0.12	0.12	0.4571	1.2889	0.480	5

3.2 ภาพถ่ายโครงสร้างผ้าทอ

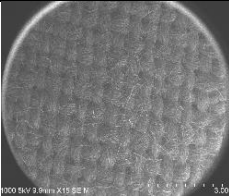
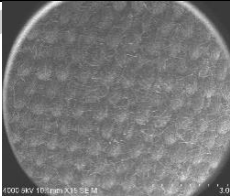
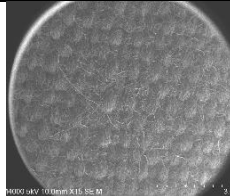
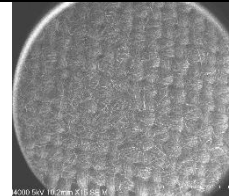
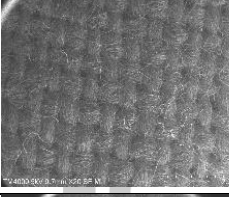
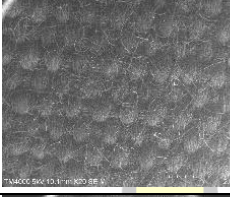
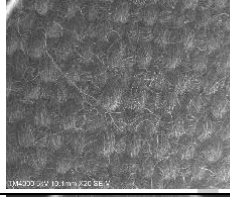
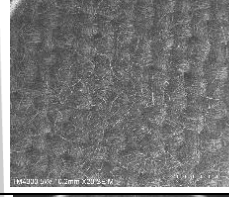
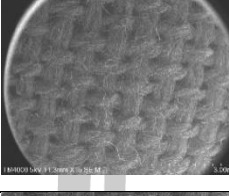
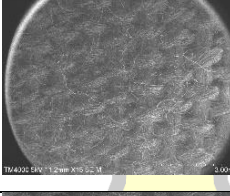
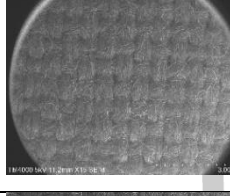
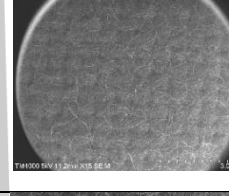
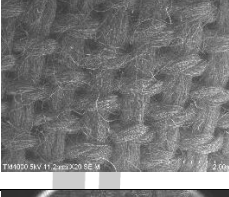
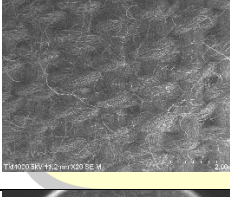
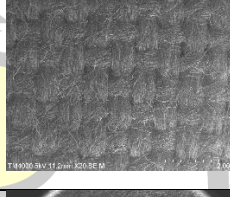
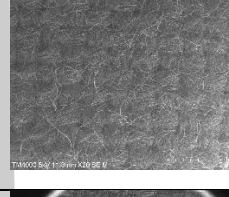
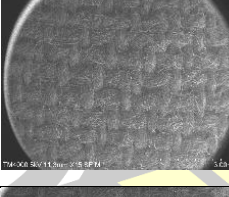
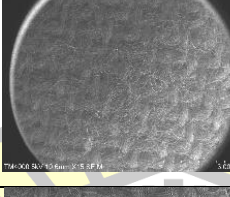
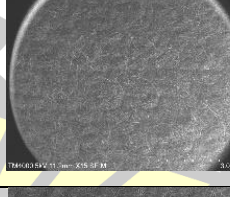
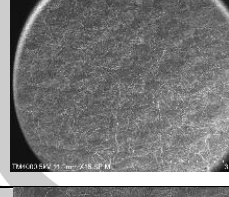
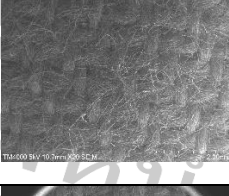
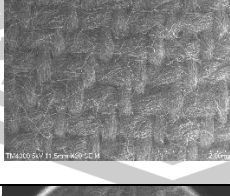
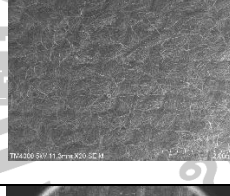
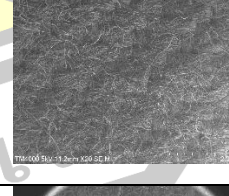
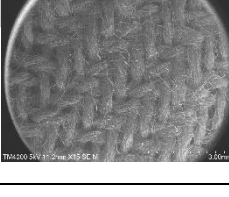
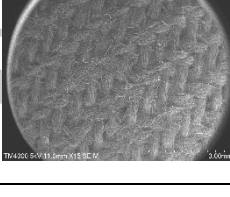
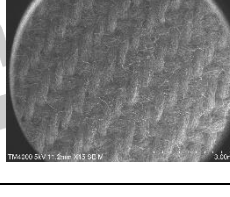
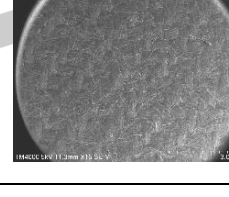
การถ่ายภาพโครงสร้างผ้าทอจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope: SEM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างผ้าทอ โดยเฉพาะศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง และเส้นใยในโครงสร้างผ้าทอในรูปแบบ 3 มิติ เนื่องจากเป็นภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนพื้นผิวบนวัตถุ ทำให้ได้ภาพที่มีลักษณะ 3 มิติ กำลังขยาย 20-800,000 เท่า มีเครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy dispersive x-ray spectrometer: EDS) (ศูนย์เครื่องกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2550) จึงสามารถศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุหรือสารมลทินบนพื้นผิว โดยในการส่องโครงสร้างผ้าทอทั้ง 6 ชนิด จะใช้กำลังขยายที่ 15 และ 20 เท่า เพื่อเหมาะสมกับการส่องลักษณะการทอ ปริมาณเส้นด้าย และเส้นใย ดังภาพประกอบที่ 16

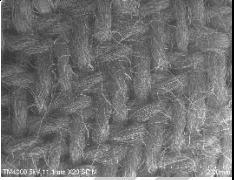
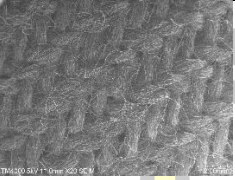
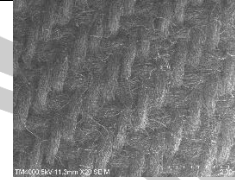
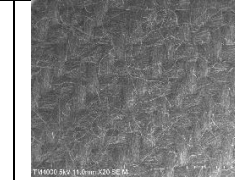


ภาพประกอบที่ 16 ภาพหน้าตัดของเส้นด้ายในกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย x60 SEM

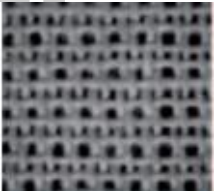
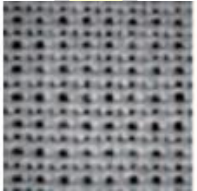
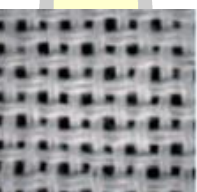
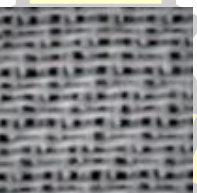
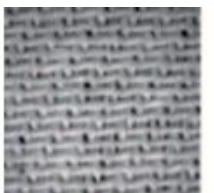
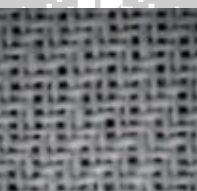
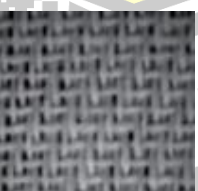
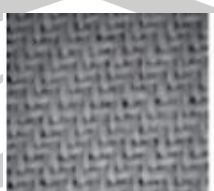


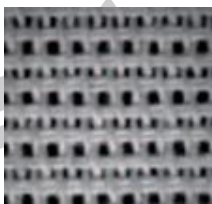
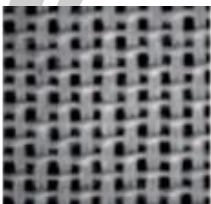
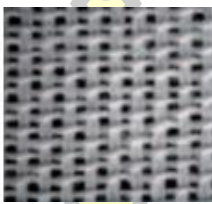
ตารางที่ 14 ภาพถ่ายโครงสร้างผ้าทอผ้าทอทั้ง 6 ชนิดที่กำลังขยาย x15 และ x20 โดยกล้องจุลทรรศน์-
อิเล็กตรอน

	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
PL 1x1 x15 SEM				
PL 1x1 x20 SEM				
BW 2x2 x15 SEM				
BW 2x2 x20 SEM				
TW 1/3 x15 SEM				
TW 1/3 x20 SEM				
TW 2/2 x15 SEM				

	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
TW 2/2 x20 SEM				

ตารางที่ 15 ตัวอย่างผ้าทอ 24 ชั้น ในพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร

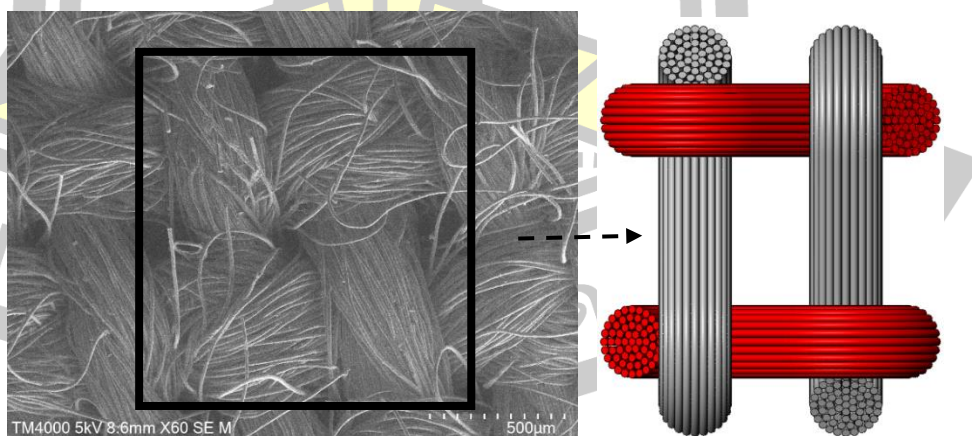
	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
PL				
BW				
T1/3				
T2/2				

	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
Filling rib (R4/2)				
Warp rib (R2/4)				

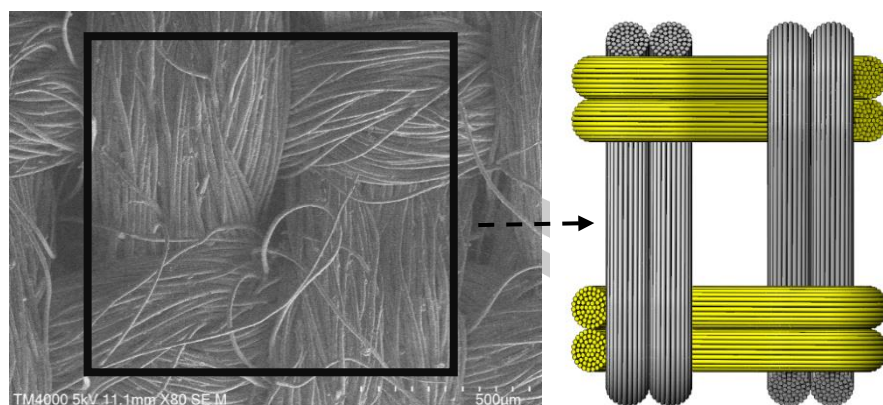
(ที่มา : Ziva Zupin, Ales Hladnik and Krste Dimitrovski, 2012)

3.3 โครงสร้างผ้าทอ 1 Unit cell

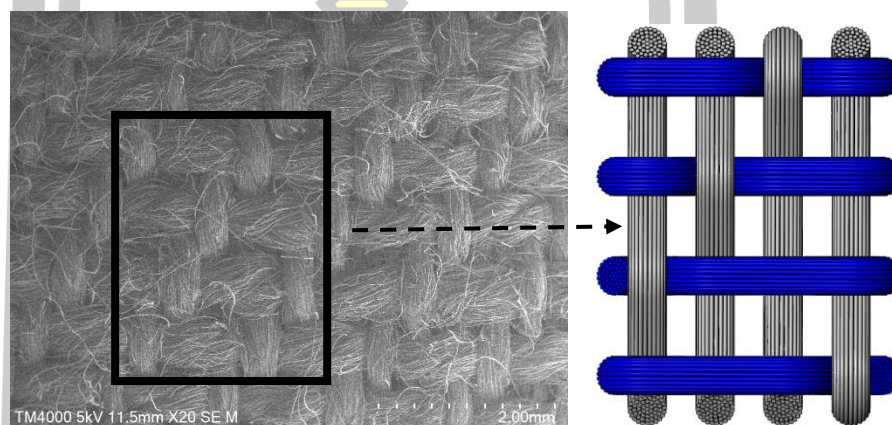
การจำลองโครงสร้างผ้าทอในรูปแบบ 1 unit-cell เป็นการแสดงถึงลักษณะของด้ายพุ่ง และ ด้ายยืนในรูปแบบการทอทั้ง 4 รูปแบบ ที่มีระยะระหว่างเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งที่แตกต่างกัน ส่งผล ทำให้การซึมผ่านของอากาศที่ต่างกัน ทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อรูปแบบการ ทดลองมีจำนวนความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบที่ 17 ถึง ภาพประกอบที่ 22



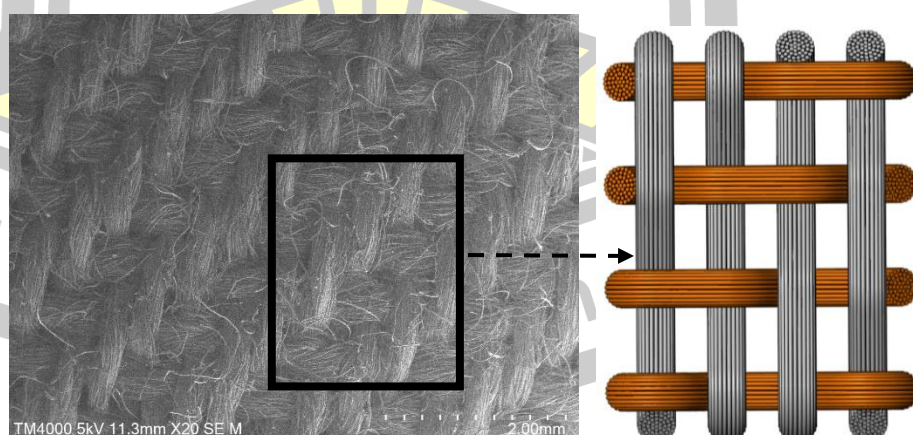
ภาพประกอบที่ 17 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายขัด 1x1



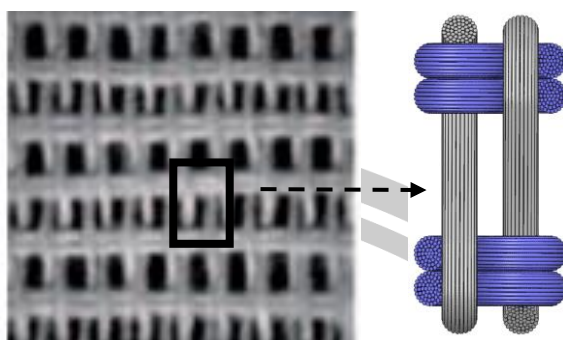
ภาพประกอบที่ 18 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายขัด 2x2



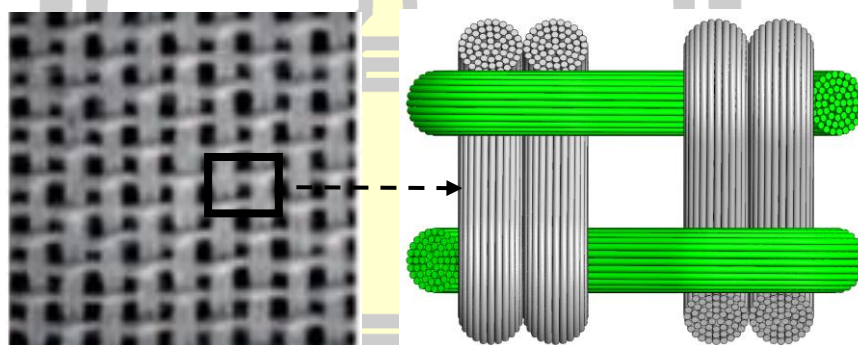
ภาพประกอบที่ 19 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายทแยง 3x1



ภาพประกอบที่ 20 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลายทแยง 2x2



ภาพประกอบที่ 21 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลาย warp rib 4/2

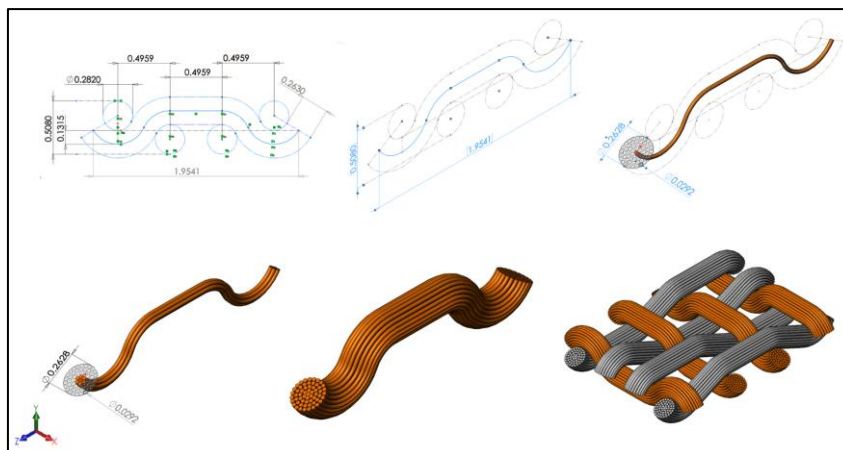


ภาพประกอบที่ 22 โครงสร้างผ้าทอขนาด 1-2 unit cells ผ้าทอลาย filling rib 2/4

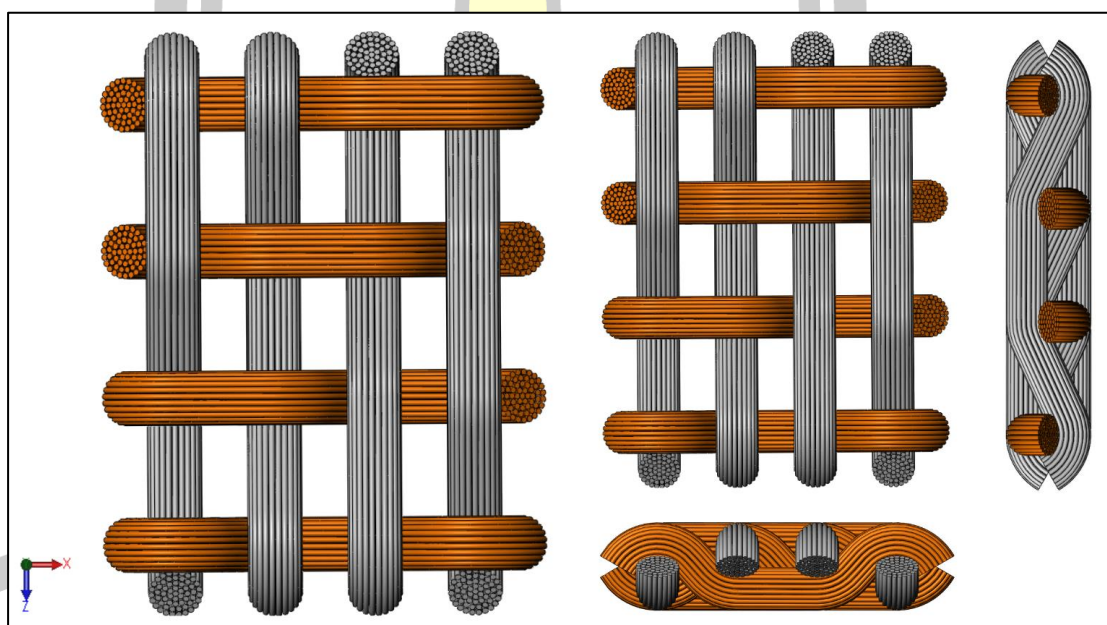
3.4 คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ

การวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศที่มีเส้นใย 59 เส้น จำนวน 5 ชั้น ทั้งหมด 6 ชนิด ดังภาพประกอบที่ 23 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยทำการเลือกระยะของโครงสร้างผ้าทอทั้ง 6 ชนิด ออกมา 1 unit-cell ชนิดละ 4 รูปแบบ ดังภาพประกอบที่ 23 โดยใช้ค่าความดัน เท่ากับ 200 Pa ในการซึมผ่านโครงสร้างผ้าทอ 1 unit-cell ดังภาพประกอบที่ 24 แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบการซึมผ่านของอากาศกับค่าทดลอง

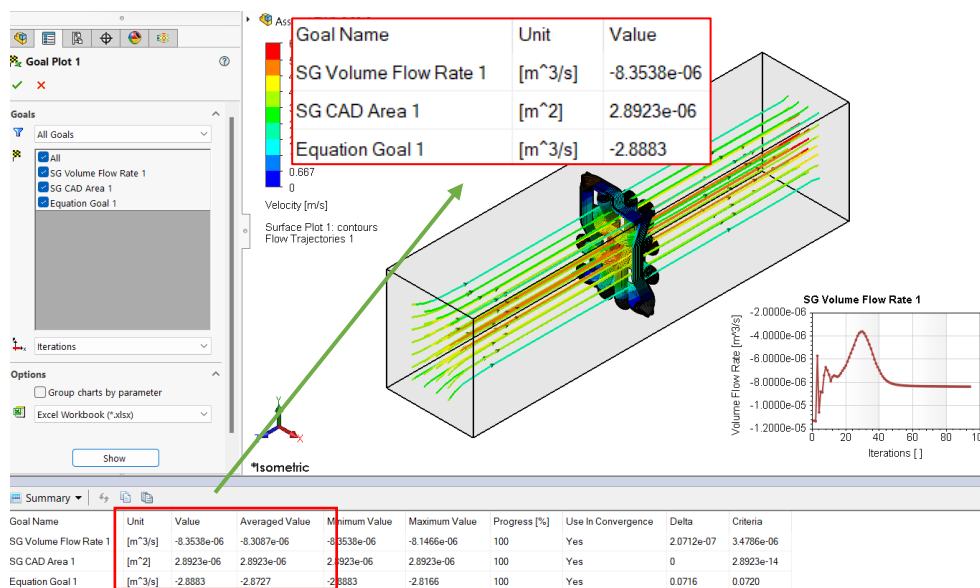
พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 23 ตัวอย่างการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอลายทแยงแบบ 2x2 และ จำนวนเส้น ด้ายยืน(warp)/ด้ายพุ่ง(weft) เท่ากับ 22/15 ตามลำดับ มีความหนาเท่ากับ โครงสร้างผ้า เท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร



ภาพประกอบที่ 24 รูปแบบของ 1 Unit-cell ของผ้าทอลายทแยง 2x2 ก่อนการ Simulation



ภาพประกอบที่ 25 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในผ้าทอ

3.5 การเปรียบเทียบการซึมผ่านของอากาศ

จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศผ่านโครงสร้างของผ้าทอแบบ Single line ที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย 1 เส้นทรงกลมตัน และแบบ Fiber Assembly มีลักษณะทรงกลมที่มีเส้นใยอยู่ในพื้นที่หน้าตัดจำนวน 59 เส้น จำนวน 5 ชั้น ทั้งหมด 6 ชนิด 4 รูปแบบ จะได้เป็นการวิเคราะห์การซึมผ่านอากาศ เป็น 24 ตัวอย่าง แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองตัวอย่างโดยใช้ตารางที่ 3.7 เพื่อหาประสิทธิภาพการซึมของอากาศการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ตารางที่ 3.14

พหุ ประทีป ชีวะ

ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์ในพื้นที่โครงสร้างผ้าทอ และการซึมผ่านของอากาศในการทดลองตัวอย่าง

Sample	Fabric Density (g/cm ³)	Total Porosity (%)	Number Of pores	Hydraulic Area (%)	Open area (%)	Cover factor (%)	Air permeability (L/m ² /s)	Coeff. Of var. (%)
PL 22/15	0.328	78.452	315	274.25	25.81	74.19	2391.67	8.20
PL 22/20	0.380	74.977	420	215.41	19.49	80.51	1571.67	1.58
PL 29.3/15	0.385	74.639	420	151.24	15.20	84.80	1268.33	1.42
PL 29.3/20	0.407	73.205	570	125.21	10.90	89.10	469.67	15.54
BW 22/15	0.278	81.716	315	274.25	25.81	74.19	3065.00	2.14
BW 22/20	0.303	80.080	440	203.77	18.35	81.65	2186.67	2.58
BW29.3/15	0.287	81.128	435	134.93	13.68	86.32	2019.17	2.08
BW29.3/20	0.345	78.664	580	118.94	10.33	89.67	1209.17	2.85
T1/3 22/15	0.250	83.534	330	255.67	24.29	75.71	3505/83	2.94
T1/3 22/20	0.291	80.865	420	215.41	19.49	80.51	2161.67	3.28
T1/3 29.3/15	0.296	80.495	442.5	126.88	12.92	87.08	1579.17	1.84
T1/3 29.3/20	0.338	77.739	604.75	110.94	9.44	90.56	833.00	2.31
T2/2 22/15	0.279	81.624	315	274.25	25.81	74.19	3016.25	1.29
T2/2 22/20	0.319	79.012	430	209.60	18.92	81.08	20023.33	2.23
T2/2 29.3/15	0.287	81.116	435	134.93	13.68	86.32	1681.67	0.91
T2/2 29.3/20	0.348	77.111	580	118.94	10.33	89.67	885.50	2.82
R4/2 22/15	0.234	84.622	300	293.20	27.33	72.67	3491.67	1.61
R4/2 22/20	0.288	81.054	420	215.41	19.49	80.51	2352.50	2.24
R4/2 29.3/15	0.277	81.802	420	151.24	15.20	84.80	2241.67	2.19
R4/2 29.3/20	0.324	78.664	560	131.44	11.48	88.52	1325.00	1.69
R2/4 22/15	0.262	82.759	308	265.40	25.48	74.52	3288.33	1.61
R2/4 22/20	0.294	80.636	429	209.22	18.94	81.06	2247.50	2.33
R2/4 29.3/15	0.382	74.841	450	118.91	12.16	87.84	1395.00	4.57
R2/4 29.3/20	0.422	72.237	620	93.55	8.04	91.96	898.33	1.76

(ที่มา : Ziva Zupin, Ales Hladnik and Krste Dimitrovski, 2012)

บทที่ 4

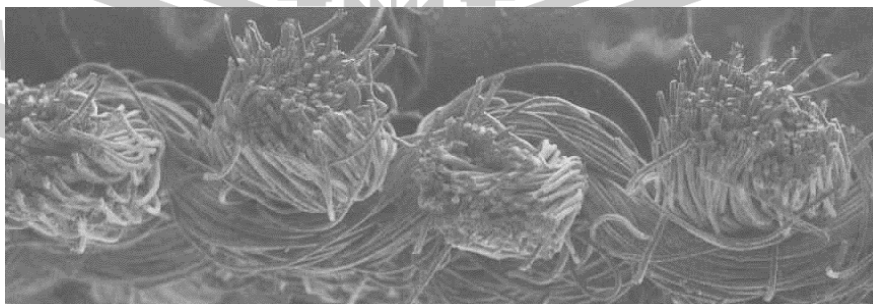
ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและการจำลองของโครงสร้างผ้าทอโดยใช้รูปทรงเรขาคณิตในการจำลอง และทำการศึกษาจากเส้นด้ายถึงระดับเส้นใยในโครงสร้างผ้าทอ เริ่มจากการนำทฤษฎีของสิ่งทอร่วมกันกับ ทฤษฎีเรขาคณิตทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองโครงสร้างผ้าทอ แล้วนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ ช่วยในการออกแบบ (CAD) การจำลองโครงสร้างผ้าทอจะมี 2 ลักษณะ ได้แก่ ผ้าทอแบบด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line) และผ้าทอแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly) โดยการจำลองโครงสร้างผ้าทอจะมีแนวเส้นด้าย ยืนที่อยูในแนวตั้ง และด้ายพุ่งที่อยูในทางทิศนอน ทำการทอกันจนเกิดผ้าทอ 1 ชนิด ดังนั้น จากการศึกษาการ ออกแบบโครงสร้างผ้าทอเพื่อนำมาวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ โดยใช้โปรแกรม Solid Work ทำให้สามารถ ออกแบบโครงสร้างผ้าทอได้ 6 ชนิด ชนิดละ 4 รูปแบบ โดยจะนำโครงสร้างผ้าทอที่ได้แต่ละชนิด ทำให้เป็น 1 Unit-cell เพื่อศึกษาลักษณะผ้าทอแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็ก ลักษณะการทอที่มีความซับซ้อน ทำการวิเคราะห์ การซึมผ่านของอากาศ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านของอากาศกับค่าที่ใช้ทดลองจริง

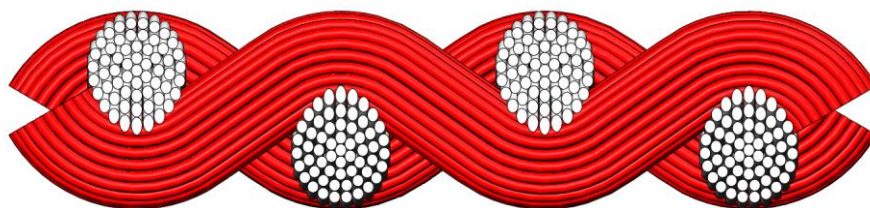
4.1 ผลการดำเนินงานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอ

จากการกำหนดตัวแปรลักษณะโครงสร้างของผ้าทอ ทำให้สามารถจำลองลักษณะโครงสร้างผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ชนิดละ 4 รูปแบบ โดยการจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบ 2 ลักษณะ ได้แก่ ผ้าทอแบบด้ายเส้น เดี่ยว (Single Line) และผ้าทอแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly) ดังตารางที่ xx

4.1.1 ผลการจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบ Single line และ Fiber Assembly



ภาพประกอบที่ 26 ภาพถ่ายผ้าทอแบบผ้าลายขัด 1x1 ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



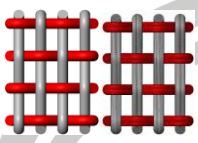
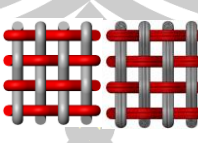
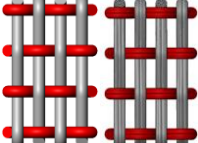
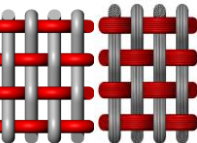
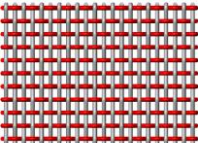
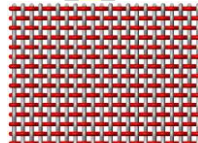
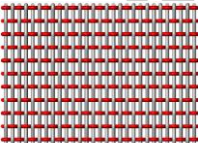
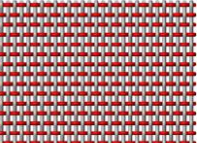
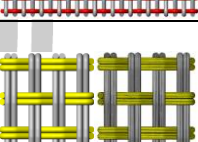
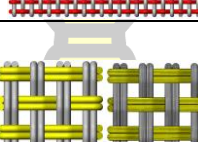
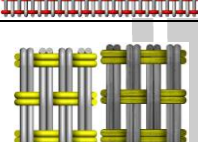
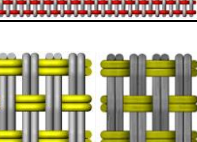
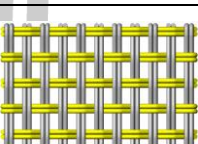
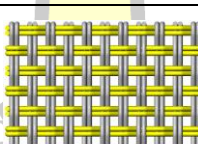
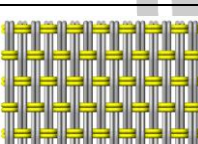
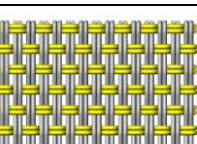
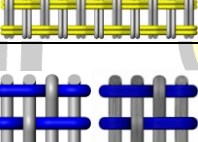
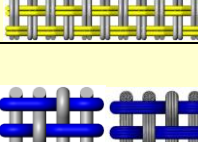
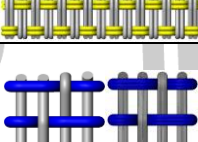
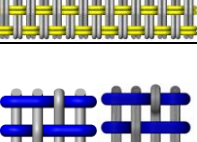
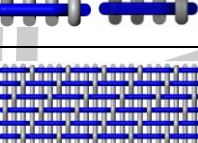
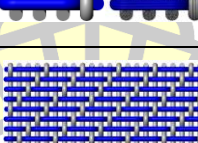
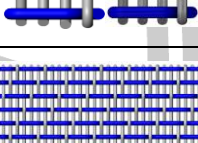
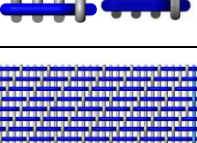
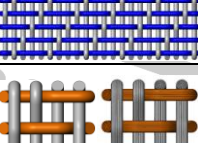
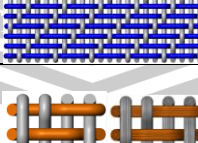
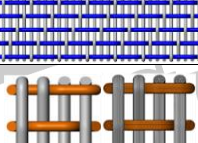
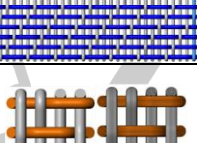
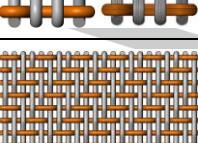
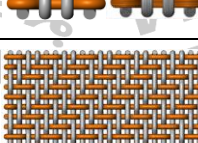
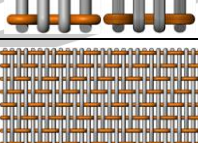
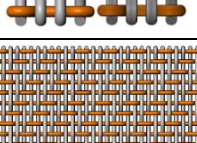
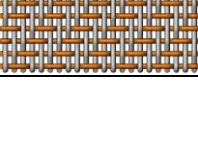
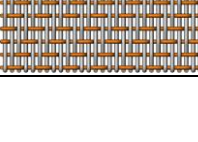
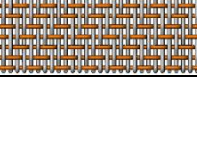
ภาพประกอบที่ 27 การจำลองโครงสร้างผ้าทอแบบผ้าลายขัด 1x1 ในรูปแบบ Fiber Assembly

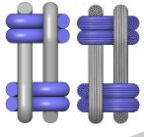
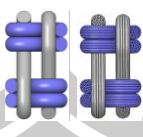
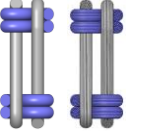
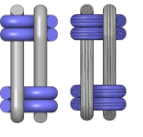
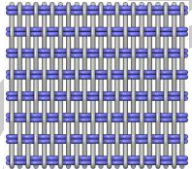
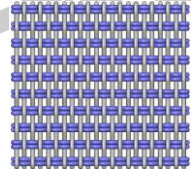
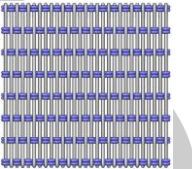
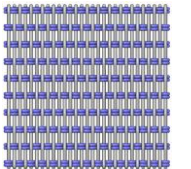
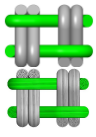
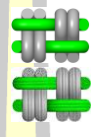
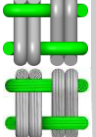
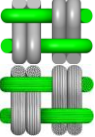
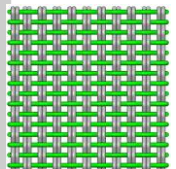
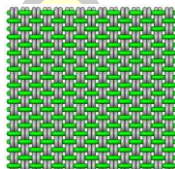
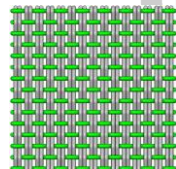
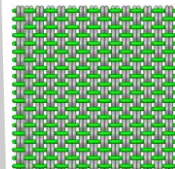
จากภาพประกอบที่ 26 ภาพถ่ายผ้าทอแบบผ้าลายขัด 1x1 (Plain weave) ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน สามารถนำลักษณะการทอของเส้นด้ายลายขัด 1x1 มาทำการจำลองโครงสร้างผ้าทอลายขัด 1x1 แบบ Fiber Assembly ดังภาพประกอบที่ 27 เป็นการตัด Cross section ด้านข้างเพื่อเปรียบเทียบ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของลักษณะของผ้าทอลายขัด 1x1 รูปแบบ 22/15

จากการศึกษาโครงสร้างผ้าทอ 6 ชนิด ชนิดละ 4 รูปแบบ ในทิศทางด้ายยืน และด้ายพุ่ง ประยุกต์เข้ากับ Piece's Model โดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอที่จำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly) ดังตารางที่ 4.1



ตารางที่ 17 แบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผ้าทอในหน่วย Unit-cell และพื้นที่ $1 \times 1 \text{ cm}^2$

	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
1x1 plain weave				
CAD model for 9-unit cell				
CAD model for $1 \times 1 \text{ cm}^2$				
2x2 plain weave				
CAD model for 9-unit cell				
CAD model for $1 \times 1 \text{ cm}^2$				
3x1 Twill				
CAD model for 1-unit cell				
CAD model for $1 \times 1 \text{ cm}^2$				
2x2 Twill				
CAD model for 1-unit cell				
CAD model for $1 \times 1 \text{ cm}^2$				

	22/15	22/20	29.3/15	29.3/20
1x1 plain weave				
CAD model for 9-unit cell				
CAD model for 1x1 cm ²				
1x1 plain weave				
CAD model for 9-unit cell				
CAD model for 1x1 cm ²				

จากตารางที่ 17 โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าทอ 6 ชนิด ชนิดละ 4 รูปแบบ จะได้การโครงสร้างจำลองทั้งหมด 48 ตัวอย่าง เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly)

4.2 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ

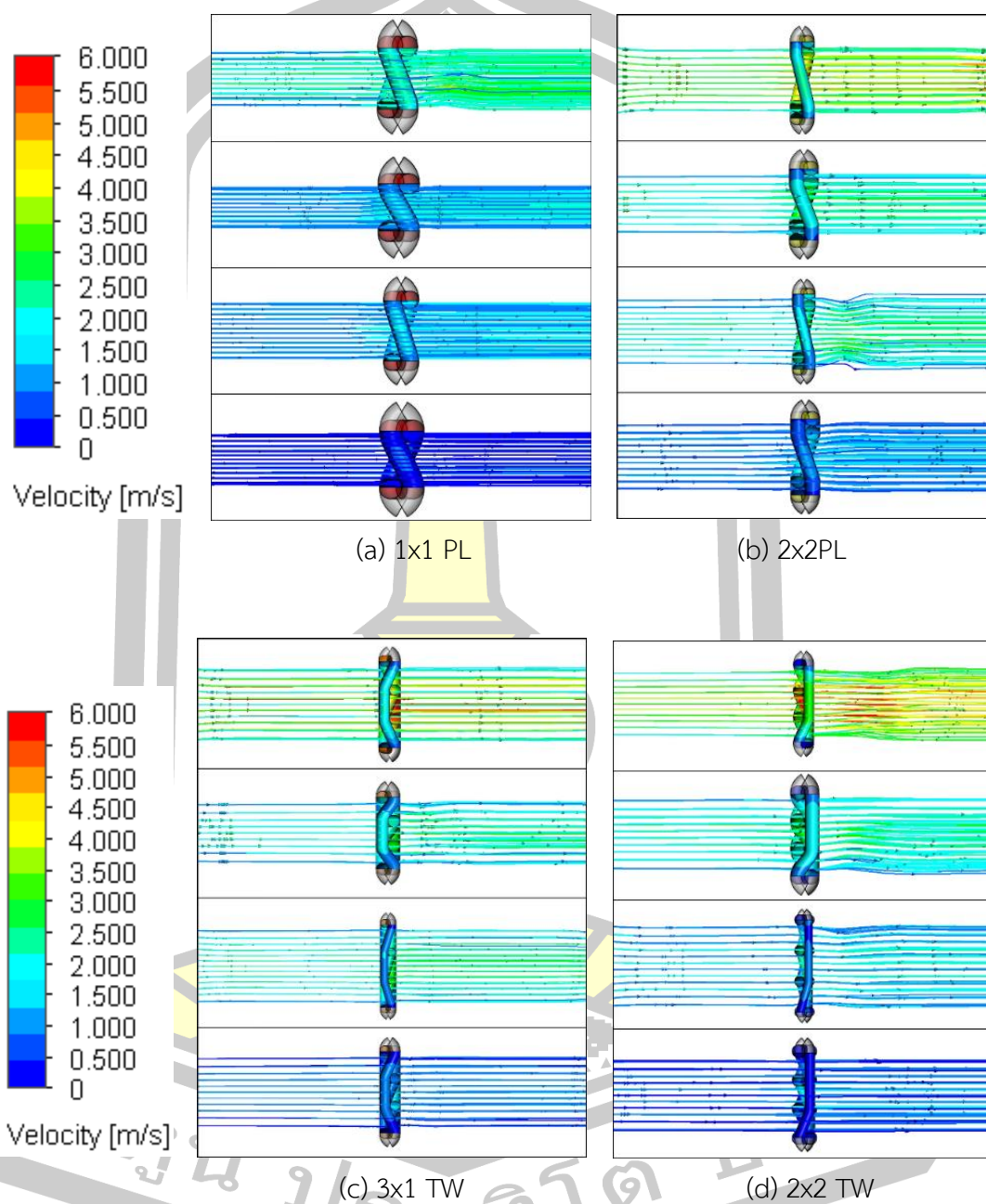
จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าทอ 6 ชนิด เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอที่จำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly) ดังภาพประกอบที่ 17

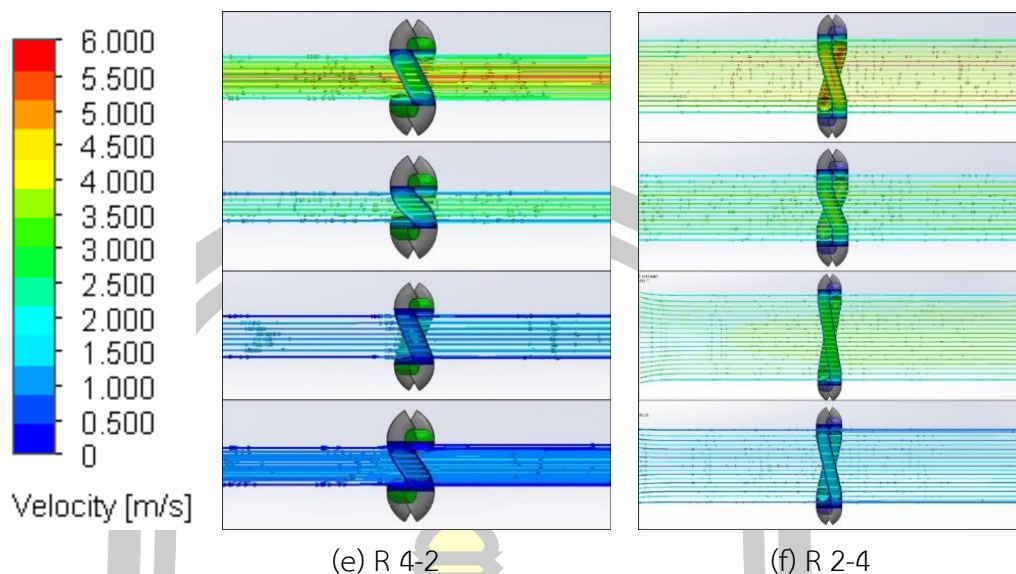
4.2.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Single line

1) Simulation Air permeability with single line of yarn

การ Simulation ผ้าทอในรูปแบบของ Single line จะแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของอากาศ เมื่อซึมผ่านโครงสร้างผ้าทอที่มีพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายมีลักษณะเป็นทรงกลมตัน และเมื่อ

อากาศซึมผ่านโครงสร้างโครงสร้างผ้าในขนาด 1 Unit-cell ของแต่ละรูปแบบ จะทำให้อากาศบีบตัวกันเพื่อผ่านโครงสร้างผ้าทอ ดังภาพประกอบที่ 28





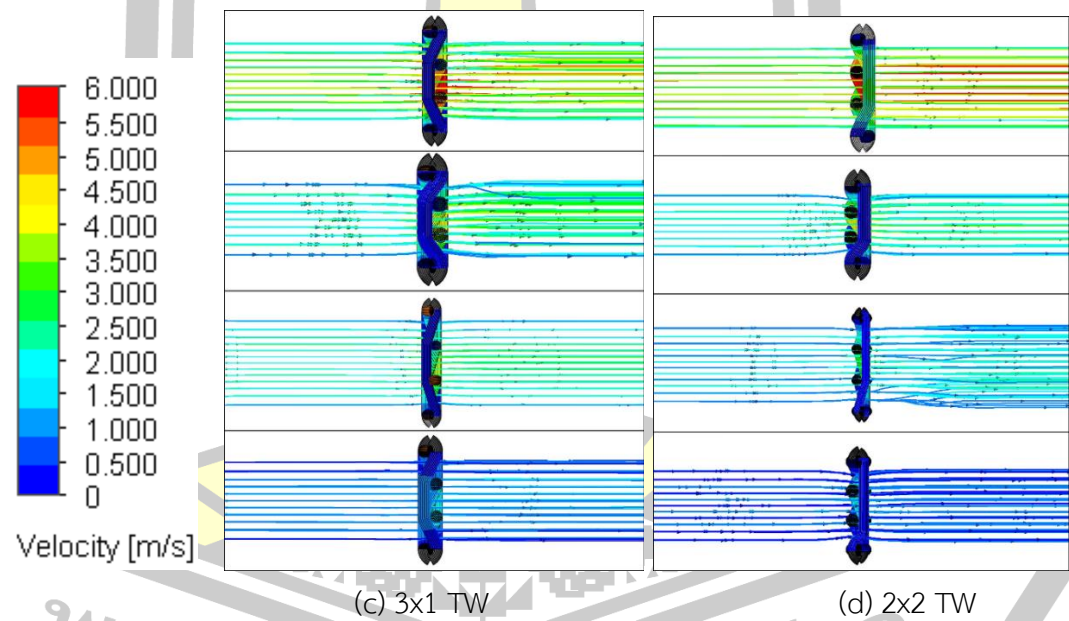
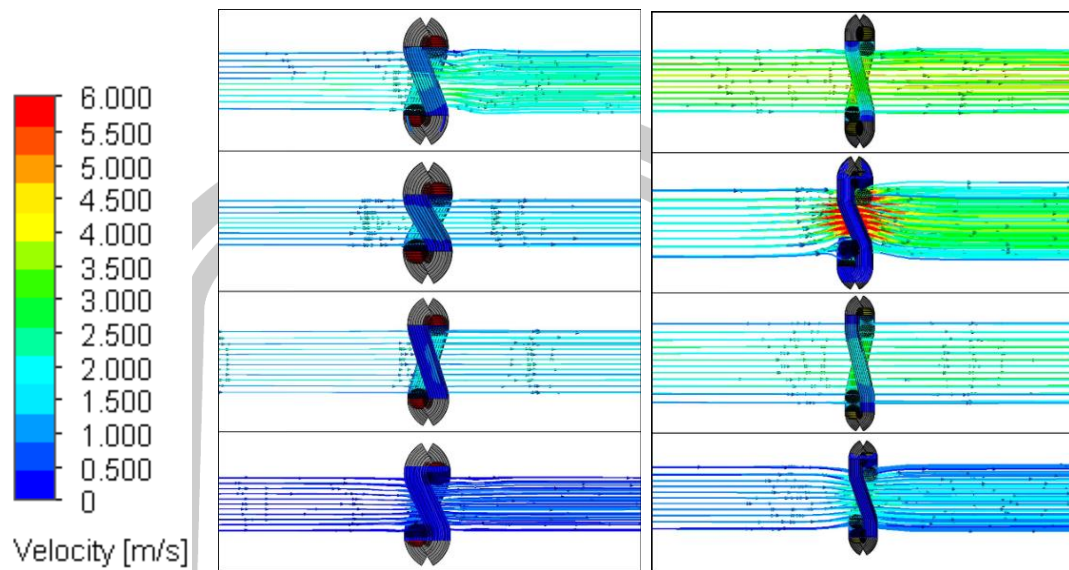
ภาพประกอบที่ 28 Velocity counters with single line of yarn model; (a) 1x1 PL, (b) 2x2PL, (c) 3x1 TW, (d). 2x2 TW, (e) R 4-2 and (f) R 2-4

จากการ Simulation ของผ้าทอในรูปแบบ Single line ของผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ดังภาพประกอบที่ 28 แสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของอากาศ ตั้งแต่เริ่มต้นไหลเข้าท่อที่มีขนาดเท่ากับ 1 Unit-cell แล้วอากาศบีบตัวกันเพื่อที่จะผ่านโครงสร้างผ้าทอ จากการจำลองสถานการณ์นั้น จะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วของอากาศ (Velocity) หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) จะมีค่าความเร็วที่สูงที่ตัวอย่าง 22/15 และค่าความเร็วที่ต่ำอยู่ที่ตัวอย่าง 29.3/20 ทั้งหมด 6 ชนิด เนื่องจากเส้นด้ายมีความแน่นของจำนวนเส้นในทิศทางด้ายพุ่ง และด้ายยืน ส่งผลให้อากาศไหลผ่านได้ยาก และมีรูผ่านที่มีขนาดเล็กลง จึงทำให้มีค่าความเร็วที่ต่ำเมื่อจำนวนเส้นด้ายเพิ่มขึ้น

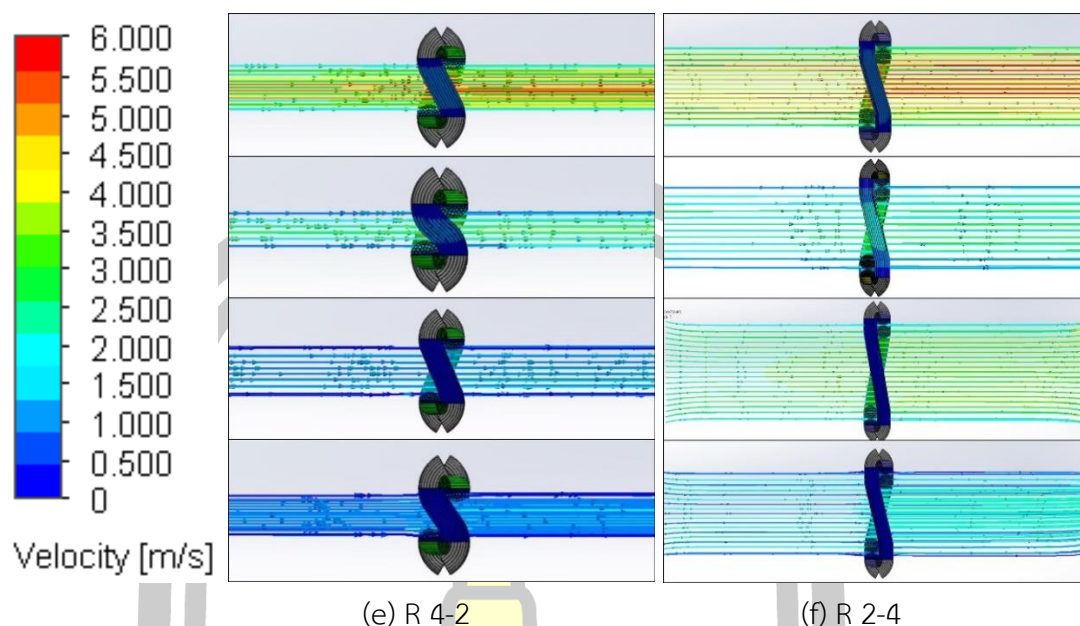
4.2.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly

1) Simulation Air permeability with filament assemble model

การ Simulation ของเส้นด้าย ในรูปแบบของ Fiber Assembly จะเป็นการจำลองลักษณะเส้นใยที่อยู่ในเส้นด้าย ในรูปแบบของ 1 Unit-cell ดังหัวข้อ 1) Simulation Air permeability with single line of yarn โดยจะมุ่งเน้นไปที่พารามิเตอร์ในเส้นใย และมุมแต่ละ Layer ที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก การทดลองในเส้นด้ายที่ศึกษามีเส้นใย และมุมเกลียวที่มีความละเอียดมาก จึงจำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์เพื่อจำลองเส้นใย ภายในเส้นด้าย ดังภาพประกอบที่ 29



พหุ ประสิทธิภาพ



ภาพประกอบที่ 29 Velocity counters with filament assembly model; (a) 1x1 PL, (b) 2x2PL, (c) 3x1 TW, (d). 2x2 TW, (e) R 4-2 and (f) R 2-4

จากการ Simulation ในเส้นด้ายในรูปแบบ Fiber Assembly ดังภาพประกอบที่ 29 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยแต่ละเส้นสัมผัสกับอากาศที่ซึมผ่านเข้ามาในโครงสร้างเส้นด้าย เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบจำเป็นต้องมีช่องว่างในการวาดเส้นโค้งและมุม จึงจำเป็นต้องให้เส้นใยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ระยะ 0.0001 มิลลิเมตร ทำให้อากาศสามารถซึมผ่านเส้นใยได้ และยังแสดงถึงสีของค่าความเร็วของการซึมผ่านอากาศที่มีความชัดเจนมากขึ้น ตั้งแต่อากาศเริ่มไหลเข้าที่ขนาด 1 Unit-cell จนถึงอากาศไหลเข้าโครงสร้างผ้าทอจะกระทั้งบีบตัวกันออกมาจากเส้นใย ผสมกันระหว่างอากาศที่ไม่ได้เข้าไปภายในเส้นใย จึงทำให้มีการซึมผ่านของอากาศที่มากกว่า Single line ที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน

4.3 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly

การทดลองการซึมผ่านของอากาศที่ได้จากการทดลองของเครื่อง FX 3300 Labotester Ili (Textest Instruments) ตามมาตรฐาน ISO 9237:1995 (E) (Zupin et al., 2012, p. 117–128) โดยจะนำค่าที่ทดลองได้จากเครื่องมือมาเปรียบเทียบกับค่าการซึมผ่านของอากาศทั้งแบบ Single line และ Fiber Assembly วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนในงานตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly

Type of weave	Set density (warp/weft)	Experimental air permeability results (m^3/s) [2]	Prediction air permeability results (m^3/s)		Error of air permeability results (%)	
			Single line of yarn	Filament assembly model	Single line of yarn	Filament assembly model
Plain weave (PL)	22/15	2,391.67	2,746.8	2,217.0	14.84	7.30
	22/20	1,571.67	1,830.4	1,590.8	16.46	1.21
	29.3/15	1,268.33	1,422.4	1,380.1	12.21	8.81
	29.3/20	469.67	509.50	562.2	16.08	8.48
Basket weave (BW2x2)	22/15	3,065.00	2,477.1	2,925.7	19.18	4.54
	22/20	2,186.67	1,924.9	1,961.7	11.97	10.28
	29.3/15	2,019.17	1,823.1	1,832.9	9.71	9.22
	29.3/20	1,209.17	1,049.5	1,061.3	13.20	12.22
Twill 3x1 (T3x1)	22/15	3,505.83	3,282.9	3,632.5	6.35	3.61
	22/20	2,161.67	1,919.6	1,942.2	11.19	10.15
	29.3/15	1,579.17	1,429.4	1,442.7	9.48	8.64
	29.3/20	833.00	799.6	813.4	4.00	2.35

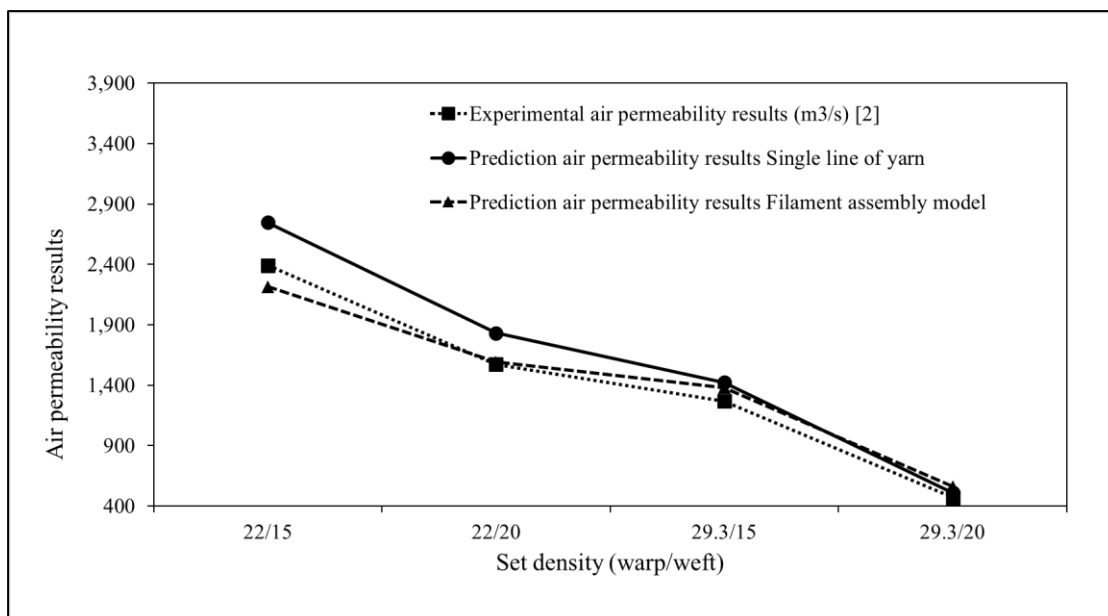
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ Fiber Assembly (ต่อ)

Twill 2x2 (T2x2)	22/15	3,016.25	2,889.0	2,930.0	4.21	2.93
	22/20	2,023.33	1,904.8	2,126.6	5.85	1.95
	29.3/15	1,681.67	1,787.1	1,622.92	5.99	3.49
	29.3/20	885.50	951.5	903.5	6.80	2.03
R 4/2	22/15	3491.67	3441.5	3427.0	1.43	1.85
	22/20	2352.50	2431.3	2416.8	3.34	2.73
	29.3/15	2241.67	2159.8	2155.8	3.65	3.83
	29.3/20	1325.00	1243.5	1243.5	5.66	5.66
R 2/4	22/15	3288.33	3332.7	3367.8	1.34	2.41
	22/20	2247.50	2341.0	2341.0	4.20	4.16
	29.3/15	1395.00	1295.8	1295.8	7.47	7.11
	29.3/20	898.33	885.20	885.2	1.16	1.46

การซึมผ่านของอากาศที่ได้จาก ตารางที่ 18 ในรูปแบบของ Single line จะได้ว่าเมื่ออากาศไหลผ่านโครงสร้างผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ที่พื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน ปรากฏว่าผ้าทอชนิดลาย R2/4 รูปแบบ 29.3/20 มีค่าการซึมผ่านอากาศ เท่ากับ $885.20 \text{ m}^3/\text{s}$ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำที่สุดอยู่ที่ 1.16 % เนื่องจากลักษณะการทอและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองโครงสร้าง ผ้าทอ R2/4 มีค่าที่ใกล้เคียงกับชิ้นงานตัวอย่าง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ได้น้อยที่สุดในการทดลอง และผ้าทอ ลาย BW 2/2 รูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศ เท่ากับ $3282.9 \text{ m}^3/\text{s}$ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่สูงที่สุดอยู่ที่ 19.18 % เนื่องจากลักษณะการไหลของอากาศที่ต้องรูดผ่านโครงสร้างผ้าทอ ที่ขัดกันในรูปแบบของด้ายคู่ ที่เป็นลักษณะเฉพาะของผ้าทอลายขัด 2x2 ทำให้มีอากาศรูดผ่านช่องที่มีเล็กน้อย เป็นเหตุ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์การซึมผ่านอากาศได้

การซึมผ่านของอากาศ ในรูปแบบของ Fiber Assembly จะได้ว่าเมื่ออากาศไหลผ่านโครงสร้างผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ที่พื้นที่หน้าตัดที่มีเส้นใยอยู่ภายในเส้นด้ายจำนวน 59 เส้น และบิดทำมุมเกลียวที่แตกต่างกันแต่ละชั้น ปรากฏว่าผ้าทอชนิดลายขัด PL 1x1 รูปแบบ 22/20 มีค่าการซึมผ่านอากาศ เท่ากับ $1,830.4 \text{ m}^3/\text{s}$ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.21 % เพราะว่าเป็นผ้าทอลายขัดชนิดที่มีลักษณะขึ้นลงที่ความซับซ้อนน้อยกว่าชนิดอื่นๆ ทำให้การจำลองมีความผิดพลาดที่น้อยกว่าการทอที่มีความซับซ้อนในตัวอย่างอื่นๆ ที่เป็นแบบ Fiber Assembly และผ้าทอลายขัด BW 2/2 รูปแบบ 22/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ เท่ากับ $3282.9 \text{ m}^3/\text{s}$ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่สูงที่สุดอยู่ที่ 19.18 % เนื่องจากลักษณะการไหลของอากาศที่ต้องรูดผ่านโครงสร้างผ้าทอที่ขัดกันในรูปแบบของด้ายคู่ ที่เป็นลักษณะเฉพาะของผ้าทอลายขัด 2x2 รวมถึงมีอากาศซึมผ่านที่เส้นใยที่บริเวณด้ายคู่ที่ติดกัน ก่อให้เกิดอากาศรูดผ่านช่องว่างระหว่างเส้นด้าย ส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนของการซึมผ่านอากาศที่มากกว่าตัวอย่างอื่น

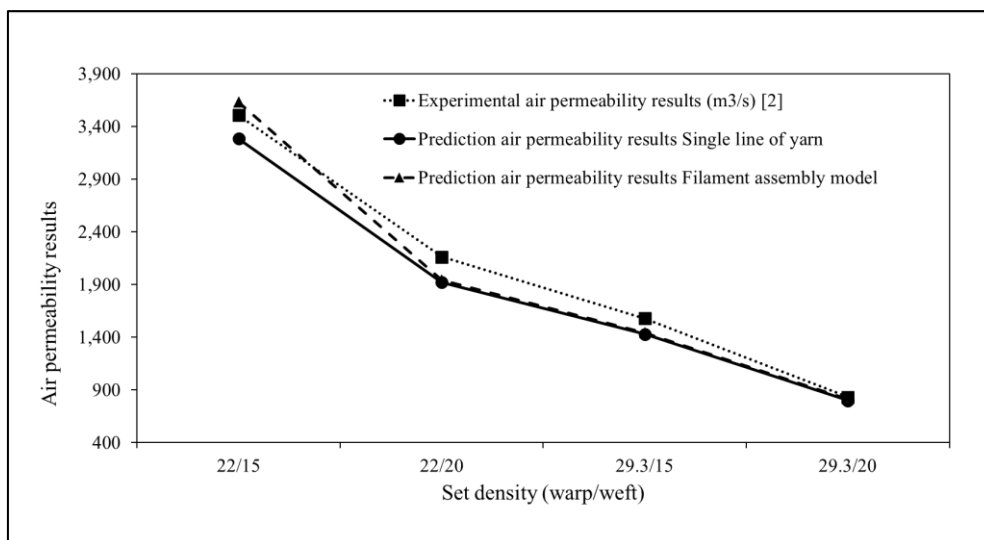




ภาพประกอบที่ 30 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายขัด PL 1x1 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 1x1 ดังภาพประกอบ 30 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 12.21 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 16.46 เปอร์เซ็นต์

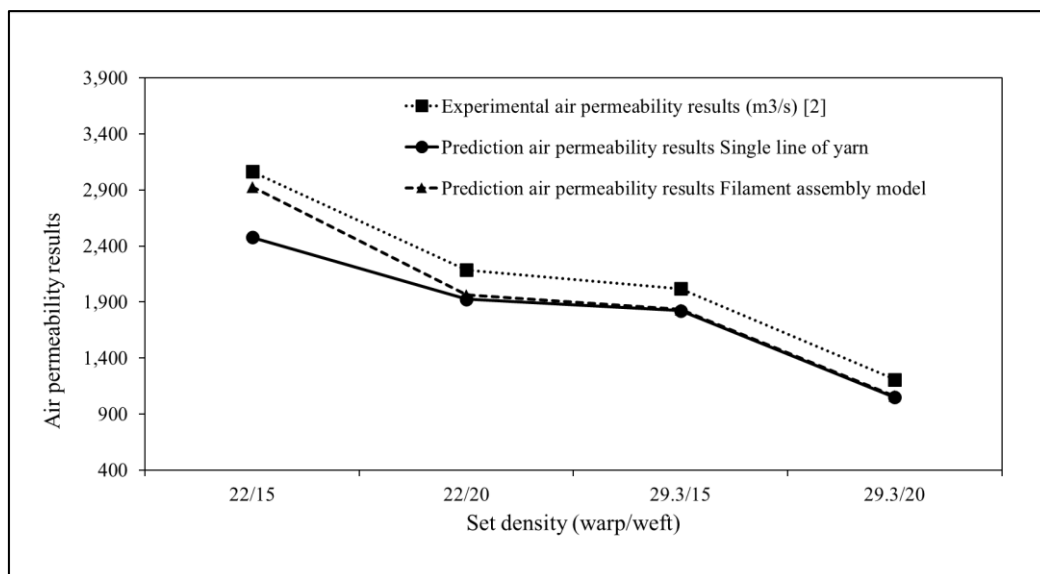
จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 1x1 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 8.81 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 31 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายขัด BW 2x2 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 2x2 ดังภาพประกอบที่ 31 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 9.71 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 19.18 เปอร์เซ็นต์

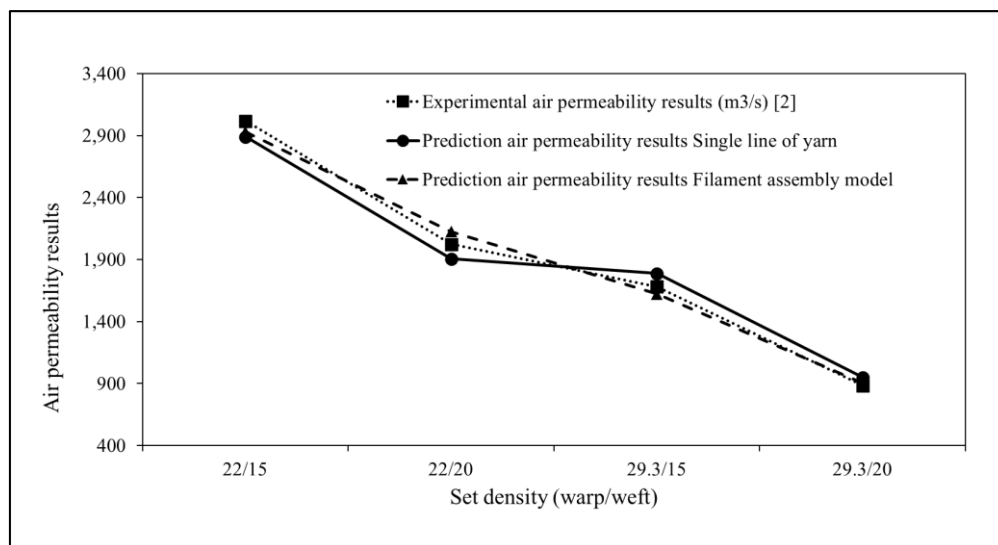
จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 2x2 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 4.54 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 4.54 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 32 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายทแยง TW 3x1 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลายทแยง 3x1 ดังภาพประกอบที่ 32 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศแบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 4.00 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 11.19 เปอร์เซ็นต์

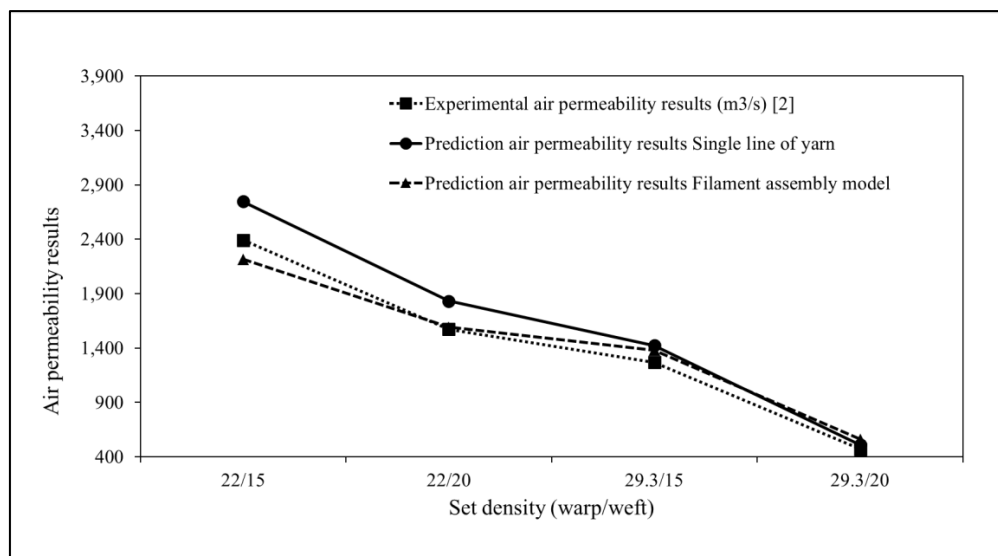
จากการ Simulation ของผ้าทอลายทแยง 3x1 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศแบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 10.15 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 33 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลายทแยง TW 2x2 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลายทแยง 2x2 ดังภาพประกอบ 33 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 4.21 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 6.80 เปอร์เซ็นต์

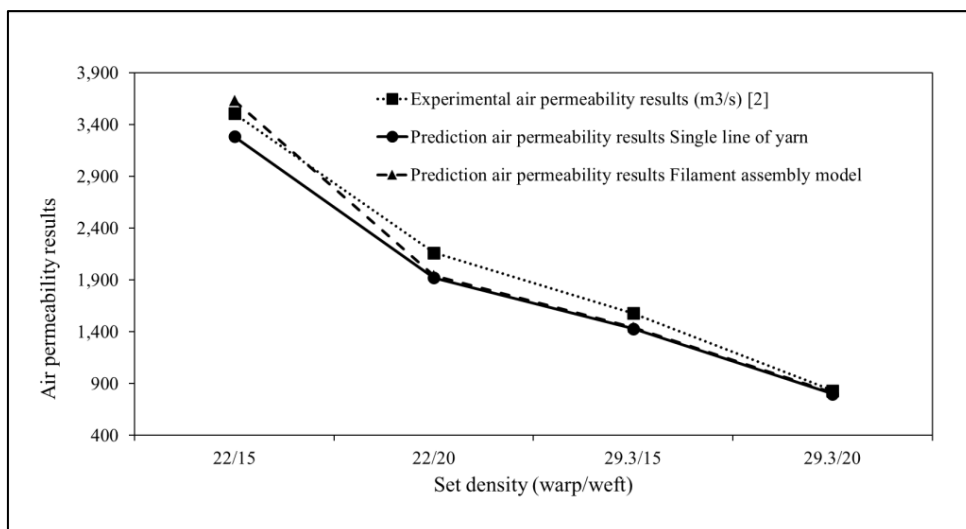
จากการ Simulation ของผ้าทอลายทแยง 2x2 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 1.95 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 3.49 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 34 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลาย R 4/2 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลาย R 4/2 ดังภาพประกอบที่ 34 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 1.43 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 5.66 เปอร์เซ็นต์

จากการ Simulation ของผ้าทอลาย R 4/2 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 1.85 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 5.66 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 35 การเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านอากาศของผ้าทอลาย R 2/4 ระหว่างแบบ Single line แบบ Fiber Assembly และค่าที่ทดลอง

จากการ Simulation ของผ้าทอลาย R 2/4 ดังภาพประกอบที่ 35 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 7.47 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 1.34 เปอร์เซ็นต์

จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 1x1 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 1.46 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 7.11 เปอร์เซ็นต์

การซึมผ่านของอากาศที่มีค่ามากที่สุดของโครงสร้างผ้าทอจากการจำลองสถานการณ์ ของผ้าทอทั้ง 6 ชนิด รูปแบบ 22/15 และมีค่าการซึมผ่านอากาศต่ำสุด เนื่องจากระยะของค่า P_i (ระยะห่างของเส้นด้าย) และมีค่าการซึมผ่านอากาศที่ต่ำที่สุดในการจำลองโครงสร้างผ้าทอ รูปแบบ 29.3/20

เนื่องจากระยะของค่า P_i (ระยะห่างของเส้นด้าย) มีค่าสูงที่สุดในการจำลองโครงสร้างผ้าทอ ดังนั้นอากาศนั้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างของเส้นด้าย

ผลจากการซึมผ่านอากาศ จากตารางที่ 4.2 ในรูปแบบของ Single line จะได้ว่าเมื่ออากาศไหลผ่านโครงสร้างผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ที่พื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน ปรากฏว่าอากาศที่ไหลผ่านมีการสัมผัสกับพื้นที่ของเส้นด้าย และบีบตัวกันเมื่อเจอกับบริเวณที่เป็นเส้นด้าย เนื่องจากผิวบริเวณที่สัมผัสเป็นบริเวณที่เรียบเนียน จึงทำให้อากาศไหลผ่านและบีบตัวกันผ่านโครงสร้างเส้นด้ายไปแบบราบรื่นในบริเวณเส้นด้าย ต่างจากการซึมผ่านอากาศในแบบ Fiber Assembly จะมีการซึมผ่านอากาศมากกว่าแบบ Single line เนื่องจากขณะที่อากาศซึมผ่านโครงสร้างผ้าทอนั้น ปรากฏว่าอากาศจะซึมผ่านช่องว่าง และมุมเกลียวระหว่างภายในเส้นใย ทำให้อากาศบีบตัวจากเส้นใย ผสมกันกับอากาศที่อยู่บริเวณผิวของเส้นด้าย จึงเกิดการไหลของอากาศรวมกัน ทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นตามเส้นใยและมุมเกลียว ดังนั้น การซึมผ่านอากาศของแบบ Fiber Assembly จึงมีค่ามากกว่า แบบ Single line



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการใหม่สำหรับการจำลองโครงสร้างผ้าทอ 6 ชนิด ได้แก่ ลายขัด 1x1 ลายขัด 2x2 ลายทแยง 2x2 ลายทแยง 3x1 ลาย Filling rib 4/2 และลาย Warp rib 2/4 ในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) โดยซอฟต์แวร์ Solid works V. 2018 เริ่มการจำลองโครงสร้างผ้าทอจากการกำหนดข้อมูลและตัวแปร (input data) ในโครงสร้างผ้าทอ และนำทฤษฎีแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอของ Peirce ประกอบกับทฤษฎีของ open packing เพื่อกำหนดตำแหน่ง และมุมของเส้นใยที่กระจายอยู่ภายในภาพหน้าตัดของเส้นด้าย เส้นใยในเส้นด้ายแต่ละเส้นจะถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการ Sweep ไปในทิศทางของความยาวของเส้นด้าย และจะมี ตำแหน่ง ตามมุมที่กำหนดในแต่ละชั้น จากนั้นจะนำเส้นด้ายแต่ละเส้นนำมาประกอบกันโดยวิธีการ fiber assembly ตามแบบการจำลองโครงสร้างผ้าทอเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด

จากการจำลองโครงสร้างผ้าทอในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ จะนำแบบจำลองผ้าทอทั้ง 6 ชนิด ไปวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ โดยใช้วิธีคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (CFD) ในซอฟต์แวร์ solid work simulation และจะนำค่าที่จำลองสถานการณ์ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบการซึมผ่านอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านอากาศในโครงสร้างผ้าทอ

จากการศึกษาการจำลองโครงสร้างผ้าทอทั้ง 6 ชนิด ในรูปแบบ 3 มิติ ในลักษณะรูปแบบต่างๆ โดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ในการจำลองโครงสร้างผ้าทอทั้ง 6 ชนิด ได้นำเสนอในรูปแบบของกราฟิกที่มีลักษณะเหมือนจริง และเส้นใยทุกเส้นจะประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างผ้าทอทั้งหมด 6 ชนิด เพื่อจะนำเสนอรูปร่างของผ้าทอ ที่มีความใกล้เคียงกับความเหมือนจริงมากที่สุดและจากขอบเขตในการศึกษาในกรณีโครงสร้างผ้าทอ มาวิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้เครื่องทดสอบ

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ผลจากคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้าทอ

จากการจำลองโครงสร้างผ้าทอ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ทำให้สามารถจำลองลักษณะผ้าทอ 6 ชนิด ชนิดละ 4 รูปแบบ ในแต่ละรูปแบบจะเพิ่มจำนวนของด้ายพุ่งและด้ายยืน เพื่อเพิ่มจำนวนของเส้นด้ายให้มีความแน่นมากขึ้นและตรงตามชิ้นงานตัวอย่าง จะได้การโครงสร้างจำลองทั้งหมด 48 ตัวอย่าง เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์การซึมผ่านของอากาศ ในโครงสร้างผ้าทอ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทดลองจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์การซึมผ่านของอากาศในโครงสร้างผ้าทอ ในลักษณะของเส้นด้ายเส้นเดี่ยว (Single Line) และเส้นด้ายแบบการประกอบเส้นใย (Fiber Assembly)

5.2.2 ผลจากการทำนายการซึมผ่านอากาศโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

1) Simulation Air permeability with Single line model

การ Simulation การซึมผ่านอากาศโครงสร้างผ้าทอในแบบ Single line ผ้าทอ 6 ชนิด จะเห็นได้ว่าความเร็วของอากาศคงที่ เมื่อผ่านเข้ามาในท่อการจำลองสถานการณ์การซึมผ่านอากาศที่มีขนาด 1 Unit-cell ของแต่ละรูปแบบ เมื่ออากาศสัมผัสผิวของเส้นด้ายทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น เนื่องจาก มีการบีบตัวเข้าของอากาศ เมื่อพื้นที่การไหลน้อยลงทำให้ความเร็วขณะไหลผ่านโครงสร้างผ้าทอเพิ่มขึ้น เมื่อเจออากาศที่บีบตัว หลังจากที่ผ่านมาโครงสร้างผ้าทอ อากาศที่บีบตัวจะเริ่มเข้าสู่ความเร็วคงที่ และจะไหลออกไปสู่ปลายท่อการจำลองสถานการณ์การซึมผ่านอากาศ

จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 2x2 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Single line จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุด อยู่ที่สุด ในรูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 เปอร์เซ็นต์ ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Single line มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 29.3/15 เท่ากับ 9.71 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 22/20 เท่ากับ 19.18 เปอร์เซ็นต์

ผลการจำลองที่ได้ของผ้าทอในรูปแบบ Single line ของผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด จากการจำลองสถานการณ์นั้นจะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วของอากาศ จะมีค่าความเร็วที่สูงที่สุดที่ตัวอย่าง 22/15 และค่าความเร็วที่ต่ำอยู่ที่ตัวอย่าง 29.3/20 ทั้งหมด 6 ชนิด เนื่องจากเส้นด้ายมีความแน่นของจำนวนเส้นใน

ทิศทางด้านพุ่ง และด้านยืน ส่งผลให้อากาศไหลผ่านได้ยาก และมีรูผ่านที่มีขนาดเล็กลง จึงทำให้มีค่าความเร็วที่ต่ำเมื่อจำนวนเส้นด้ายเพิ่มขึ้น

2) Simulation Air permeability with fiber assemble model

การ Simulation ในเส้นด้ายในรูปแบบ Fiber Assembly แสดงให้เห็นว่าเส้นใยแต่ละเส้นสัมผัสกับอากาศที่ซึมผ่านเข้ามาในโครงสร้างเส้นด้าย เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบจำเป็นต้องมีช่องว่างในการวาดเส้นโค้งและมุม จึงจำเป็นต้องให้เส้นใยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ระยะ 0.0001 มิลลิเมตร ทำให้อากาศสามารถซึมผ่านเส้นใยได้ และยังแสดงถึงสีของค่าความเร็วของการซึมผ่านอากาศที่มีความชัดเจนมากขึ้น ตั้งแต่อากาศเริ่มไหลเข้าที่ขนาด 1 Unit-cell จนถึงอากาศไหลเข้าโครงสร้างผ้าทอจะกระแทกบัพตัวกันออกมาจากเส้นใย ผสมกันระหว่างอากาศที่ไม่ได้เข้าไปภายในเส้นใย จึงทำให้มีการซึมผ่านของอากาศที่มากกว่า Single line ที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน

จากการ Simulation ของผ้าทอลายขัด 2x2 จะได้ว่าค่าการซึมผ่านของอากาศของแบบ Fiber Assembly จะมีค่าการซึมผ่านอากาศมากที่สุด ในรูปแบบ 22/15 ค่าการซึมผ่านอากาศที่น้อยที่สุดอยู่ที่รูปแบบ 29.3/20 เนื่องจากรูปแบบ 22/15 มีพื้นที่ของ 1 Unit-cell มากกว่าส่งผลทำให้อากาศซึมผ่านได้มากกว่ารูปแบบ 29.3/20 ค่าการซึมผ่านอากาศ แบบ Fiber Assembly มีความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปแบบ 22/15 เท่ากับ 4.54 เปอร์เซ็นต์ และมีความผิดพลาดมากที่สุด รูปแบบ 29.3/20 เท่ากับ 4.54 เปอร์เซ็นต์

ผลการจำลองที่ได้ของผ้าทอในรูปแบบ Fiber Assembly ของผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด จากการจำลองสถานการณ์นั้นจะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วของอากาศ จะมีค่าความเร็วที่สูงที่ตัวอย่าง 22/15 และค่าความเร็วที่ต่ำอยู่ที่ตัวอย่าง 29.3/20 ทั้งหมด 6 ชนิด เนื่องจากเส้นด้ายมีความแน่นของจำนวนเส้นในทิศทางด้ายพุ่ง ด้ายยืน และยังมีเส้นใย 59 เส้น ที่ทำการประกอบกันเป็นมุมเกลียวทำมุมกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย ทำให้การซึมผ่านอากาศมีค่ามากกว่าแบบ Single line ส่งผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยกว่าแบบ Single line และมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ทดลองมากกว่า

5.2.3 การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบการซึมผ่านของอากาศ

ผลจากการซึมผ่านอากาศ จากตารางที่ 4.2 ในรูปแบบของ Single line จะได้ว่าเมื่ออากาศไหลผ่านโครงสร้างผ้าทอ ทั้ง 6 ชนิด ที่พื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมตัน ปรากฏว่าอากาศที่ไหลผ่านมีการ

สัมผัสกับพื้นที่ของเส้นด้าย และบีบตัวกันเมื่อเจอกับบริเวณที่เป็นเส้นด้าย เนื่องจากผิวบริเวณที่สัมผัสเป็นบริเวณที่เรียบเนียน จึงทำให้อากาศไหลผ่านและบีบตัวกันผ่านโครงสร้างเส้นด้ายไปแบบราบรื่นในบริเวณเส้นด้าย ต่างจากการซึมผ่านอากาศในแบบ Fiber Assembly จะมีการซึมผ่านอากาศมากกว่าแบบ Single line เนื่องจากขณะที่อากาศซึมผ่านโครงสร้างผ้าทอนั้น ปรากฏว่าอากาศจะซึมผ่านช่องว่าง และมุมเกลียวระหว่างภายในเส้นใย ทำให้อากาศบีบตัวจากเส้นใย ผสมกันกับอากาศที่อยู่บริเวณผิวของเส้นด้าย จึงเกิดการไหลของอากาศรวมกัน ทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นตามเส้นใยและมุมเกลียว ดังนั้น การซึมผ่านอากาศของแบบ Fiber Assembly จึงมีค่ามากกว่า แบบ Single line

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การออกแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงในลักษณะต่าง ๆ หรือออกแบบจำลองในลักษณะเส้นด้ายมากกว่า 5 layers เพื่อนำเสนอกราฟิกที่มีลักษณะเหมือนจริง

5.2.2 นำไปทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (Computer Aided Engineering: CAE)

5.2.3 นำแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอลายทแยงในลักษณะต่าง ๆ ไปต่อยอดเพื่อทดสอบความแข็งแรง ความชื้น ของเส้นด้ายลวดรูปแบบ

5.2.4 การเพิ่มขนาดแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอโดยมีขนาดเส้นใยที่ขนาดแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มรูปแบบการจำลองโครงสร้างที่แตกต่างกัน



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

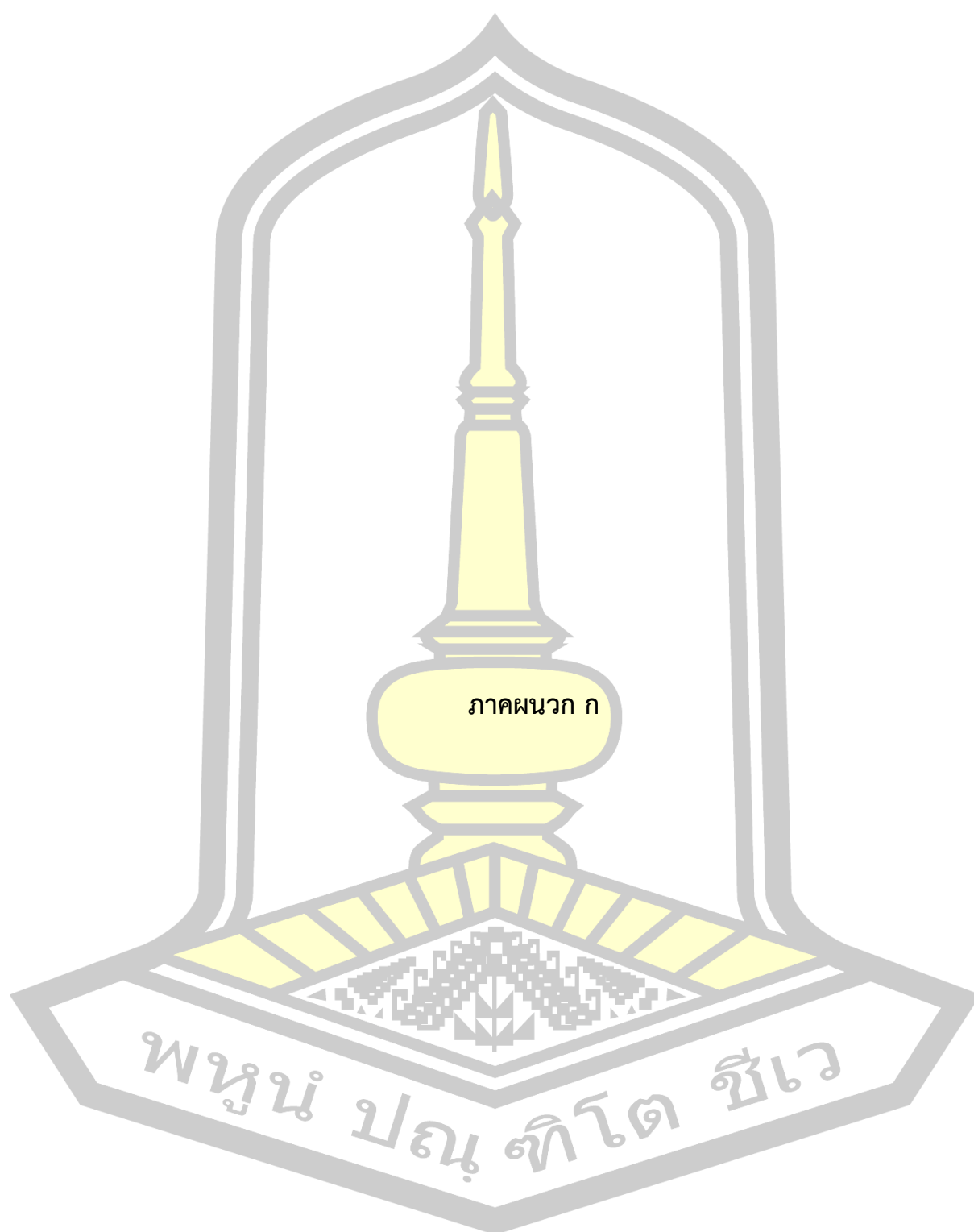
- เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป. (2562). คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบสำหรับโครงสร้างเส้นใย เส้นด้าย และผ้าทอ ,โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, พิมพ์ครั้งที่ 1.
- ประณัฐ โพธิยะราช. (2549). การจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอร์ชวลเรียลิตี โมเดลลิง: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- ประไพ ทองเชิฐ. (2548). นี่คือน้าทอพื้นบ้าน โครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการการกำหนดมาตรฐานผ้าทอ พื้นบ้านเพื่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พุดพิงศ์ ประทุมชาติ. (2562). วิธีการใหม่สำหรับคอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้างแบบจำลองของ โครงสร้างผ้าทอ. ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วนิดา ศักดิ์สงวนบุญ. (2555). อนาคตสิ่งทอไทยรุ่งหรือโรจน์. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า สันค้ำอุตสาหกรรมและธุรกิจบริการ.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2554). สถิติสิ่งทอไทย 2553/2554. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรม สิ่งทอ.
- สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2555). สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2554 และแนวโน้ม 2555.
- หทัยรัตน์ บุญเนตร. (2562). การวิจัยและออกแบบเพื่อสร้างสื่อมัลติมีเดียในการประชาสัมพันธ์ การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ตำบลบ่อหิน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. วารสารการบริหารการปกครองและ นวัตกรรมท้องถิ่น : ปีที่ 2 ฉบับที่ 1.
- อัจฉราพร ไสละสุด. ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพมหานคร: อักษรบัณฑิต, 2525.
- Amirbayat, J., & Hearle, J. W. S. (1969). Properties of unit composites as determined by the properties of the interface. Part I: Mechanism of matrix-fibre load transfer. *Fibre Science and Technology*, 2(2), 123-141.
- 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. *The Journal of the Textile Institute*, 88(4), 352-372.

บรรณานุกรม

- Guocheng Zhu et al. (2017). Prediction of structural parameters and air permeability of cotton woven fabric. *Textile Research Journal*, 0(00), 1–10
- John Gillow and Bryan Sentence (1999). *World Textiles a Visual Guide to Tradition Techniques*. London, Thames Hudson Ltd.
- Kemp, A. (1958). An extension of Pierce's cloth geometry to the treatment of noncircular threads. *Journal of The Textile Institute*, 49, T44–T48.
- Lin, H. Y. and Newton, A. (1999). Computer representation of woven fabric by using Bsplines. *The Journal of The Textile Institute*, 90, 59–72.
- Nazarboland, M. A., Chen, X., Hearle, J. W. S., Lydon, R., & Moss, M. (2008). Modelling and simulation of filtration through woven media. *International Journal of Clothing Science and Technology*.
- Patumchat, P., & Sriprateep, K. (2019). New computer geometric modeling approach with filament assembly model for woven fabric structures. *The Journal of The Textile Institute*, 110(1), 50-60.
- Pierce, F. T. (1937). Geometry of cloth structure. *Journal of The Textile Institute*, 28, 45–76.
- Pierce, F. T. (1947). Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics. *Textile Research Journal*, 17(3), 123-147.
- Pillai, K. M., & Advani, S. G. (1996). Wicking across a fiber-bank. *Journal of colloid and interface science*, 183(1), 100-110.
- Puszkarz, A. K., & Krucińska, I. (2018). Modeling of air permeability of knitted fabric using the computational fluid dynamics. *Autex Research Journal*, 18(4), 364-376.
- Puttipong Patumchat & Keartisak Sriprateep. (2019). New computer geometric modeling approach with filament assembly model for woven fabric structures. *The Journal of The Textile Institute*, 110:1, 50-60.
- R Befru Turan & Ayse Okur. (2012). Prediction of the in-plane and through-plane fluid flow behavior of woven fabrics. *Textile Research Journal* 2013, 83: 700.
- Roy, B. S., Sinha, A. K., & Pradhan, A. K. (2012). An optimal PMU placement technique for power system observability. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42(1), 71-77

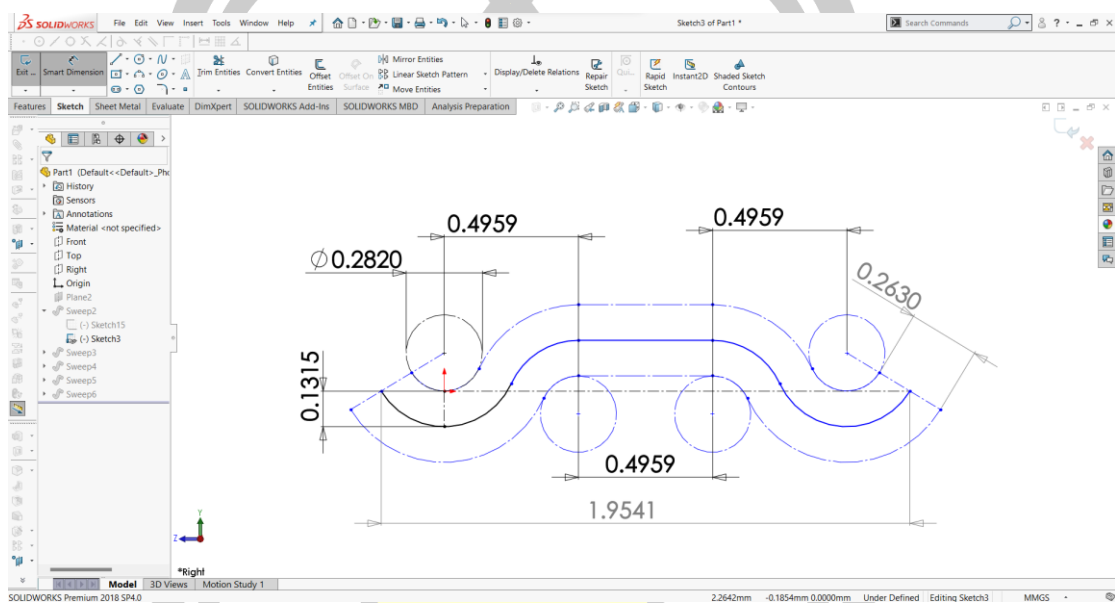
บรรณานุกรม

- Samander Ali Malik et al. (2017). Analysis and Prediction of Air Permeability of Woven Barrier Fabrics with Respect to Material, Fabric Construction and Process Parameters. *Fibers and Polymers* 2017, Vol.18, No.10, 2005-2017.
- S. D. Cimilli, E. Deniz, C. Candan, and B. Nergis, *Fibres & Text. Eas. Euro.*, 20, 90 (2012).
- Senoguz, M. T., Dungan, F. D., Sastry, A. M., & Klamo, J. T. (2001). Simulations and experiments on low-pressure permeation of fabrics: Part II—The variable gap model and prediction of permeability. *Journal of composite materials*, 35(14), 1285-1322.
- Sreprateep, K., & Bohez, E. L. (2006). Computer aided modeling of fiber assemblies. *Computer-Aided Design and Applications*, 3(1-4), 367-376.
- Sriprateep, K., & Bohez, E. L. J. (2009). A new computer geometric modelling approach of yarn structures for the conventional ring spinning process. *The journal of the textile Institute*, 100(3), 223-236.
- Tetiana Ielina, Liudmyla Halavska, , Daiva Mikucioniene , Rimvydas Milasius, Svitlana Bobrova and Oksana Dmytryk, (2021). Development of 3D Models of Knits from Multi-Filament Ultra-Strong Yarns for Theoretical Modelling of Air Permeability.
- Xiao, X., Zeng, X., Long, A., Lin, H., Clifford, M., & Saldaeva, E. (2012). An analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. *Textile Research Journal*, 82(5), 492-501.
- Z`iva Zupin et al. (2011). Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters. *Textile Research Journal* 2012, 82: 117.
- Zeng, X., Brown, L. P., Endruweit, A., Matveev, M., & Long, A. C. (2014). Geometrical modelling of 3D woven reinforcements for polymer composites: Prediction of fabric permeability and composite mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 56, 150-160.
- 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.

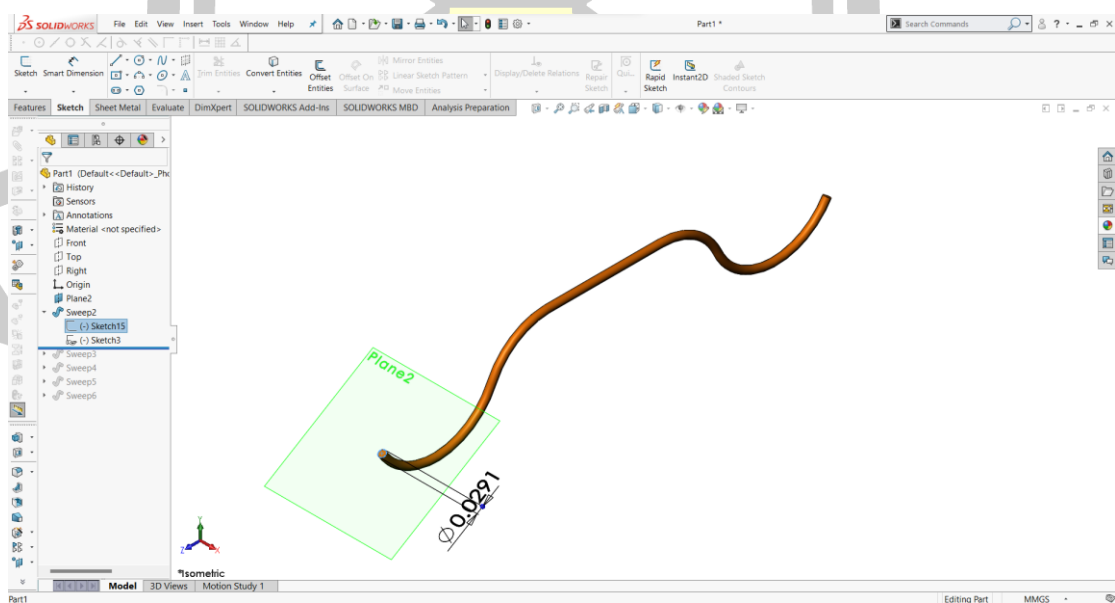


ภาคผนวก ก

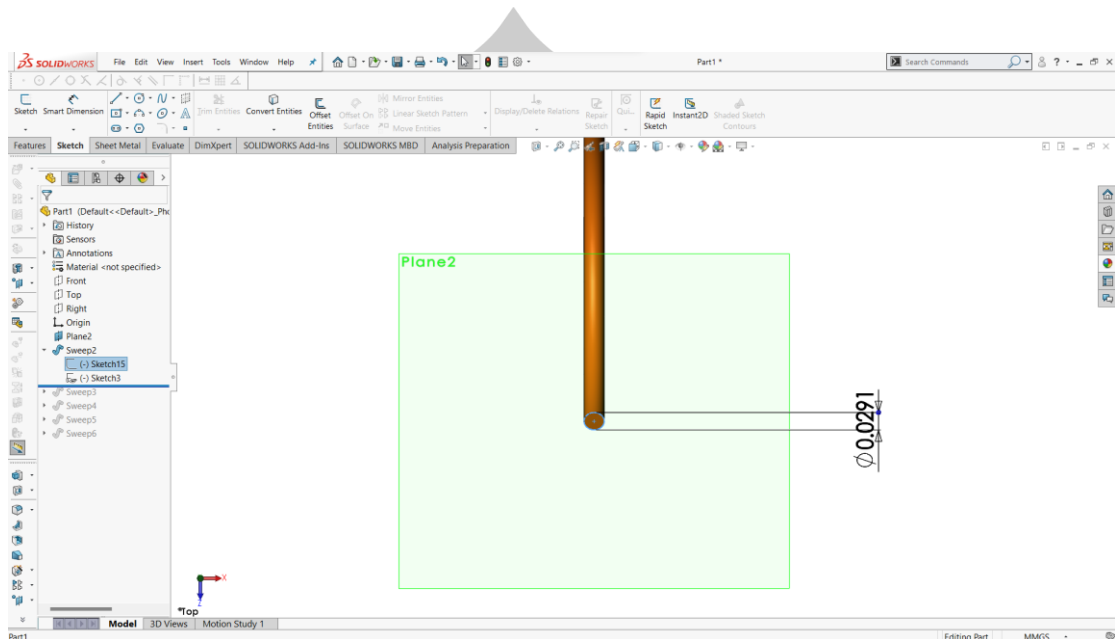
ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบโครงสร้างผ้าทอลายขัด ชนิด 1x1 ใน SOLIDWORKS 2018 ทำการคำสั่ง Sketch ในมุมมองของ Right Plane



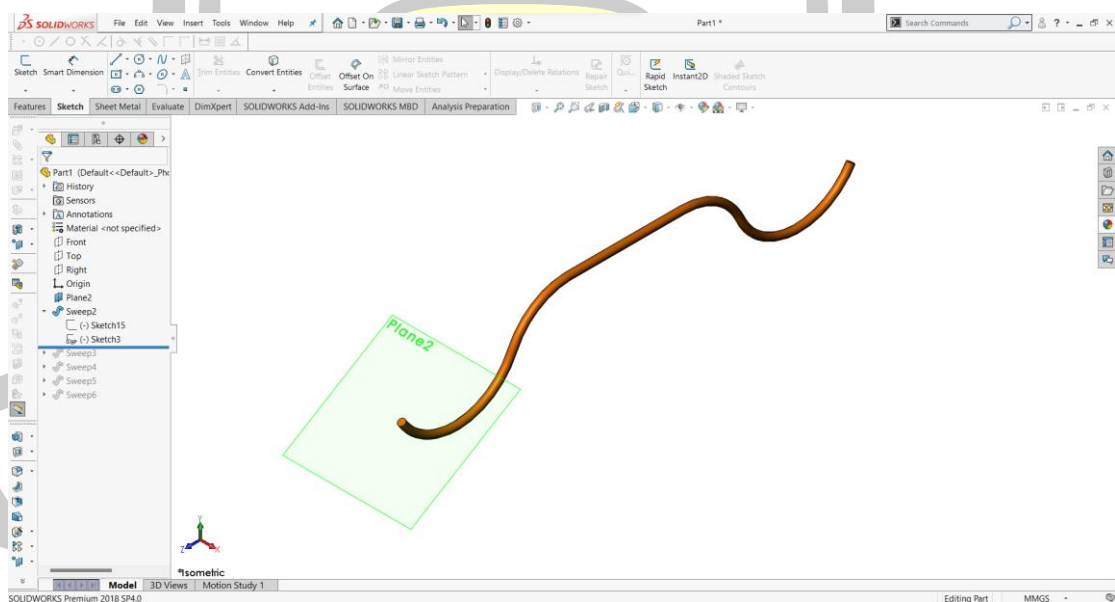
ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง Plane2 ที่เส้น Sketch



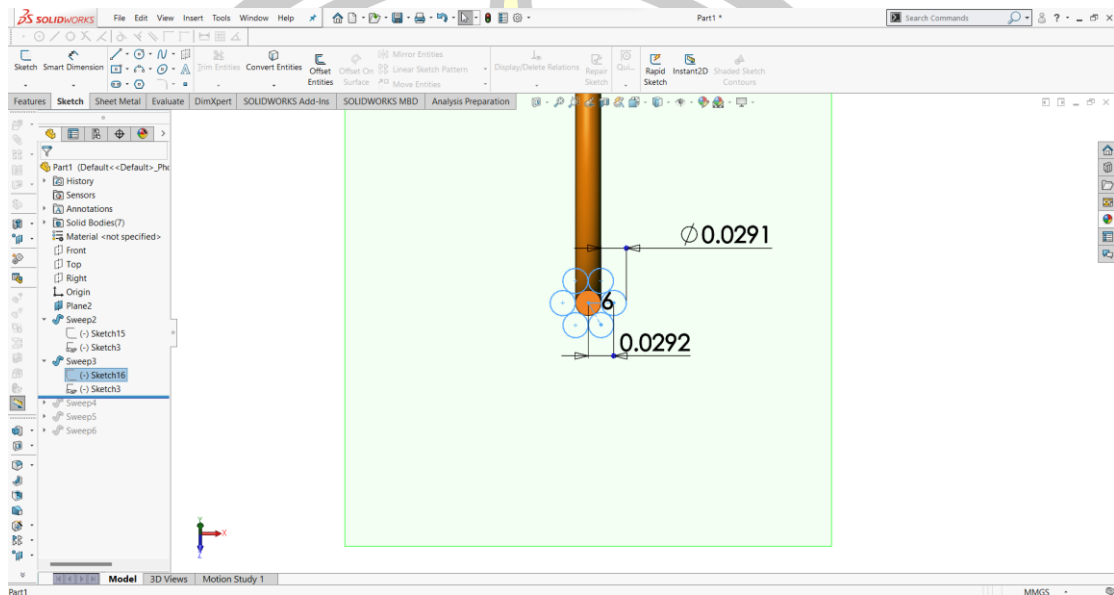
ขั้นตอนที่ 3 สร้าง Sketch วงกลม ขนาด 0.0291 มิลลิเมตร บน Plane2



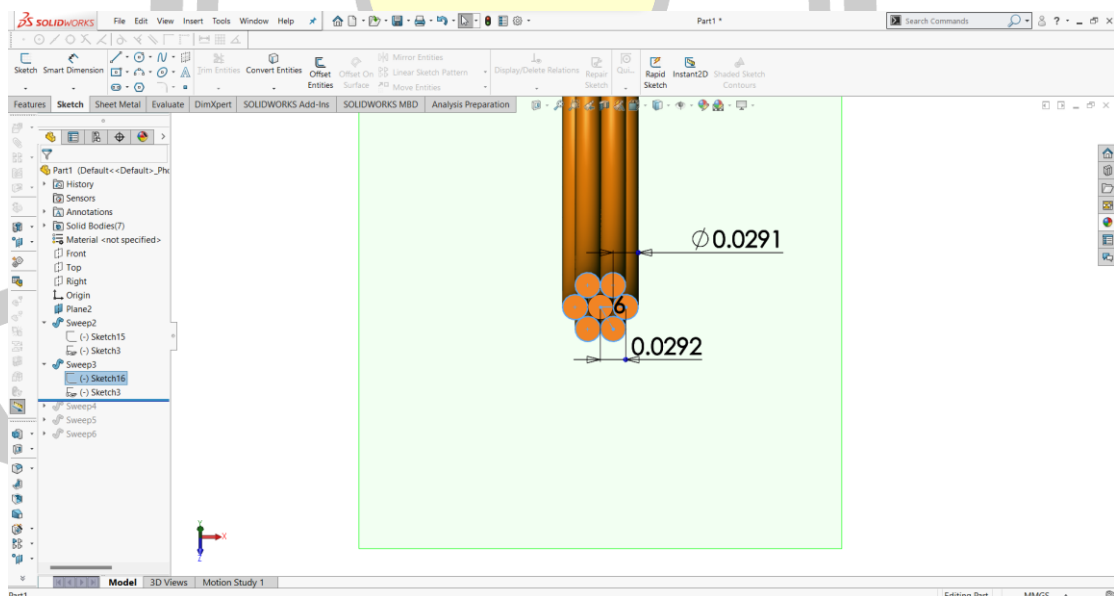
ขั้นตอนที่ 4 การขึ้นรูปเส้นใยโดยคำสั่ง Sweeps เส้นใย และกำหนดมุมเกลียวที่ 0 องศา ใน layers 1



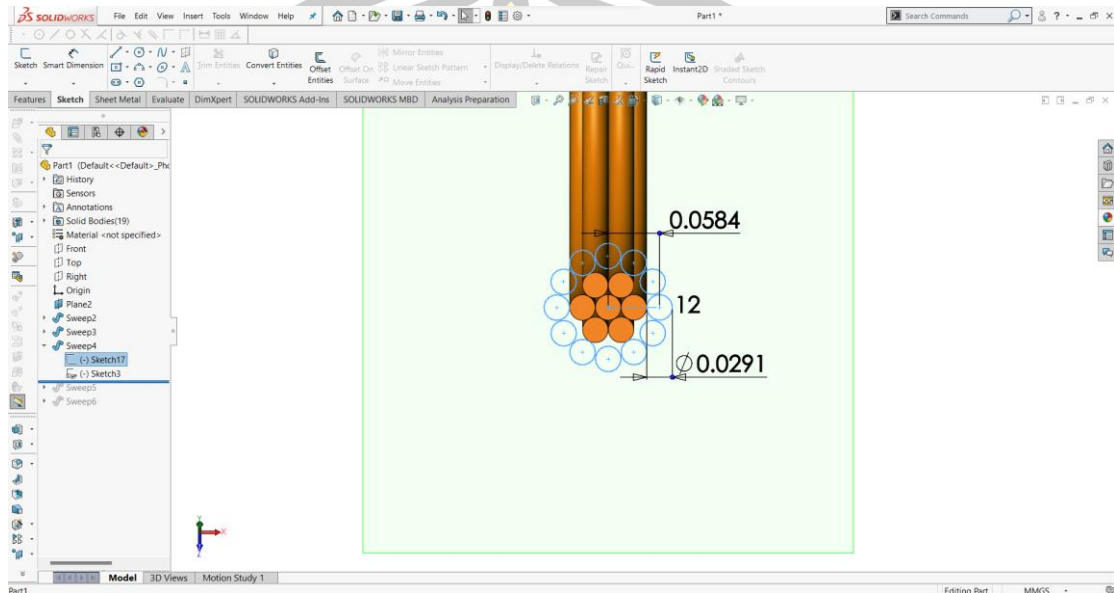
ขั้นตอนที่ 5 การ Sketch เส้นใย ที่มีขนาด 0.0292 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้นใย แล้วทำการ Sketch วงกลมที่มีขนาด 0.0291 มิลลิเมตร และการใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนเส้นใย จำนวน 6 เส้น ใน Layer ที่ 2



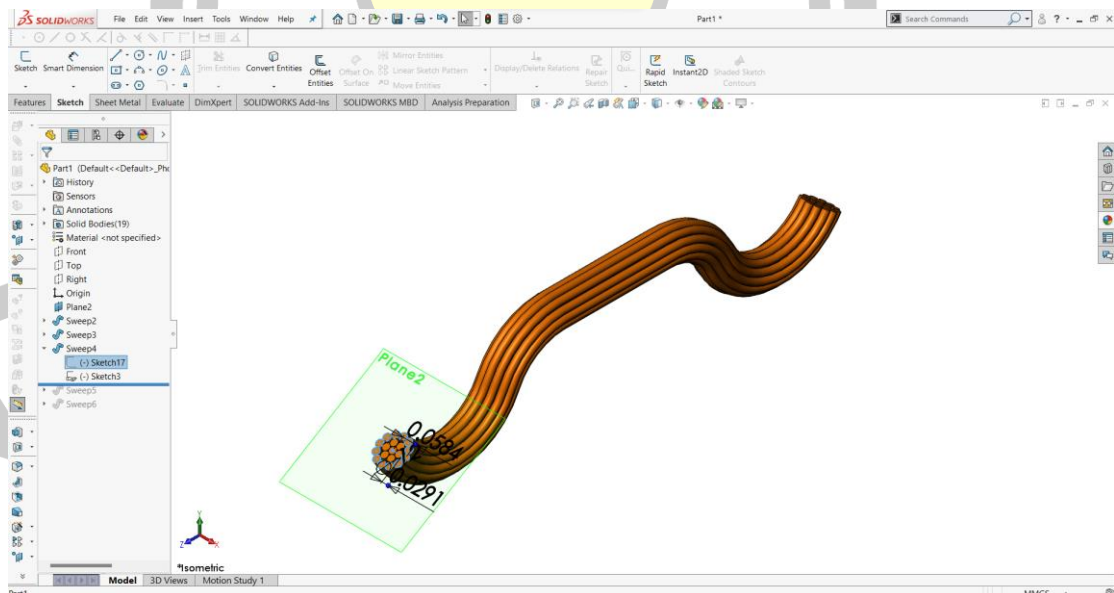
ขั้นตอนที่ 6 การ Sweeps ขึ้นรูปเส้นใย และกำหนดการสร้างมุมเกลียวที่ 1.25 องศา ใน layers ที่ 2



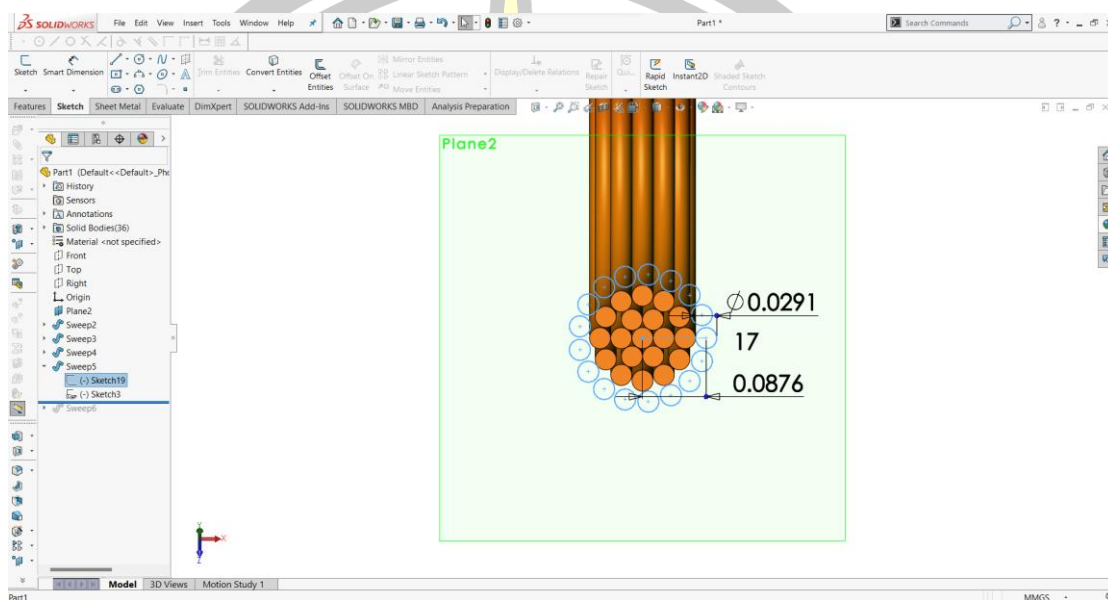
ขั้นตอนที่ 7 การ Sketch วงกลม ที่มีขนาด 0.0291 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้น centerline แล้วทำการ Sketch วงกลมที่มีขนาด 0.0584 มิลลิเมตร โดยใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนวงกลม 12 วงกลมใน Layer ที่ 3



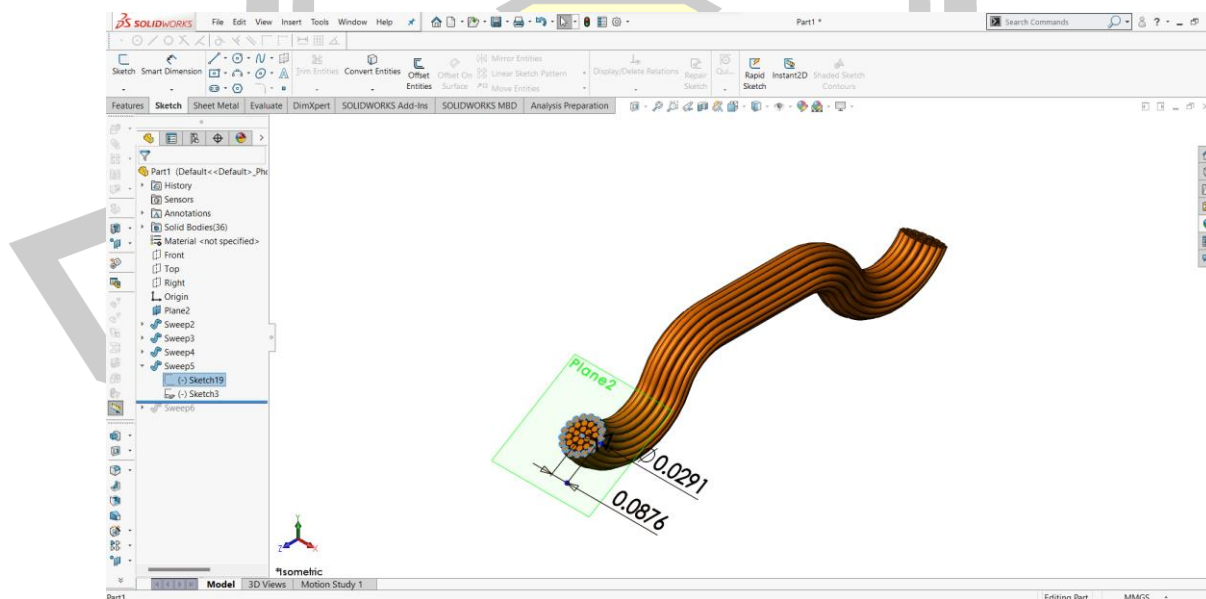
ขั้นตอนที่ 8 การ Sweeps และกำหนดเกลียวที่ 2.5 องศา ใน layers ที่ 3



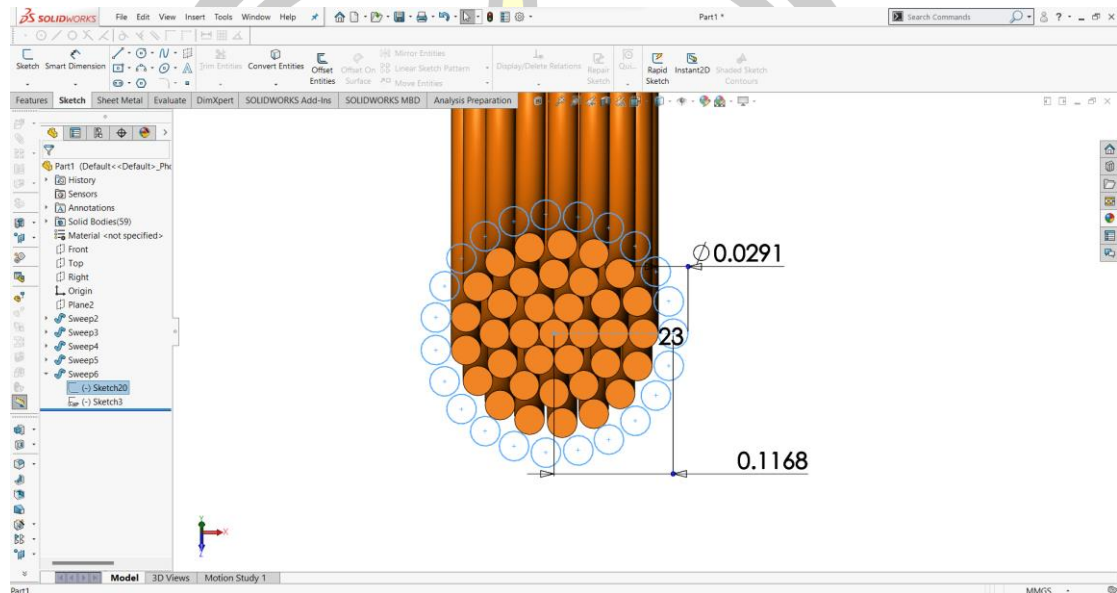
ขั้นตอนที่ 9 การ Sketch วงกลม ที่มีขนาด 0.0291 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้น centerline แล้วทำการ Sketch วงกลมที่มีขนาด 0.0291 มิลลิเมตร ใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนวงกลม 17 วงกลมใน Layer ที่ 4



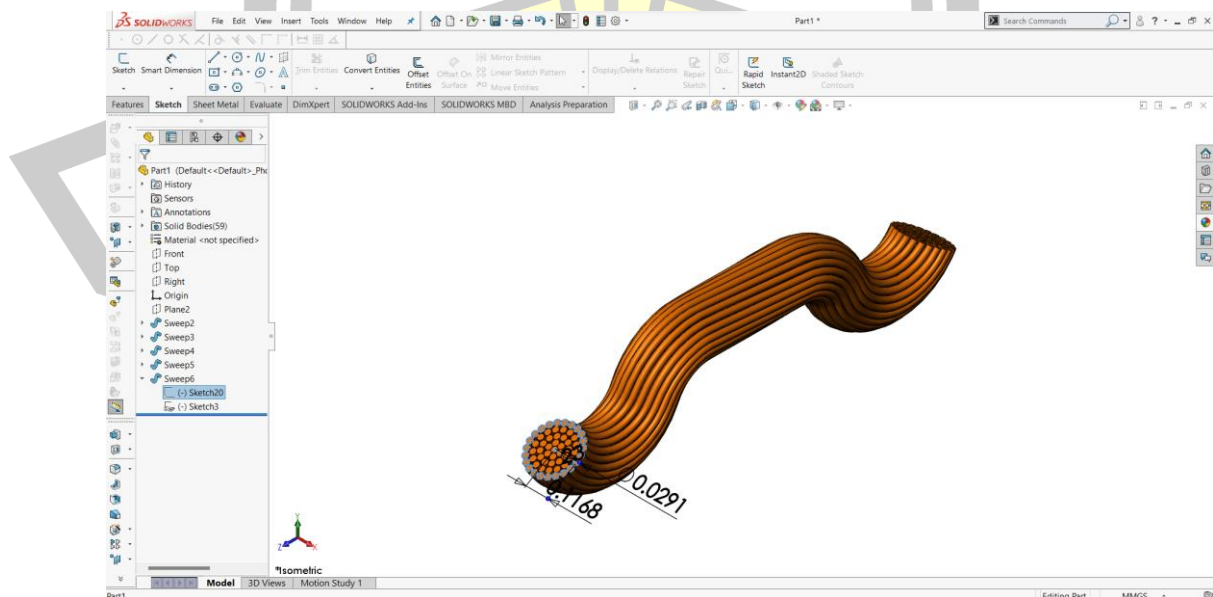
ขั้นตอนที่ 10 การ Sweeps และกำหนดเกลียวที่ 20 องศาจะได้ layers ที่ 4



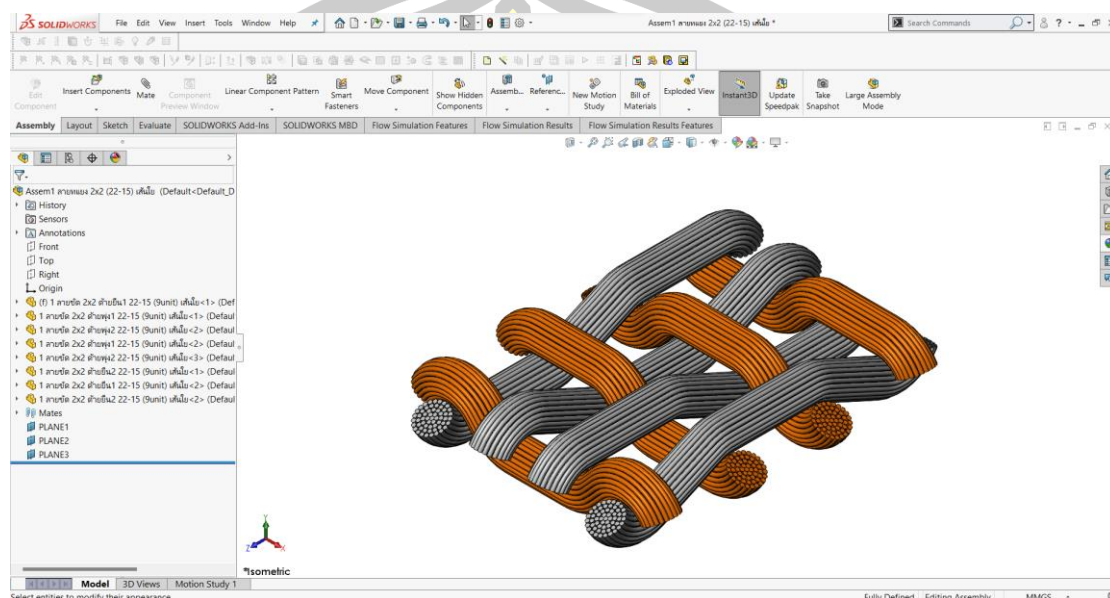
ขั้นตอนที่ 11 ทำการ Sketch เส้นตรงที่มีขนาด 0.1168 มิลลิเมตร เพื่อสร้างเป็นเส้น centerline แล้วทำการ Sketch วงกลมที่มีขนาด 0.0312 มิลลิเมตร ใช้คำสั่ง Circular Sketch Pattern กำหนดจำนวนวงกลม 23 วงกลมใน Layer ที่ 5

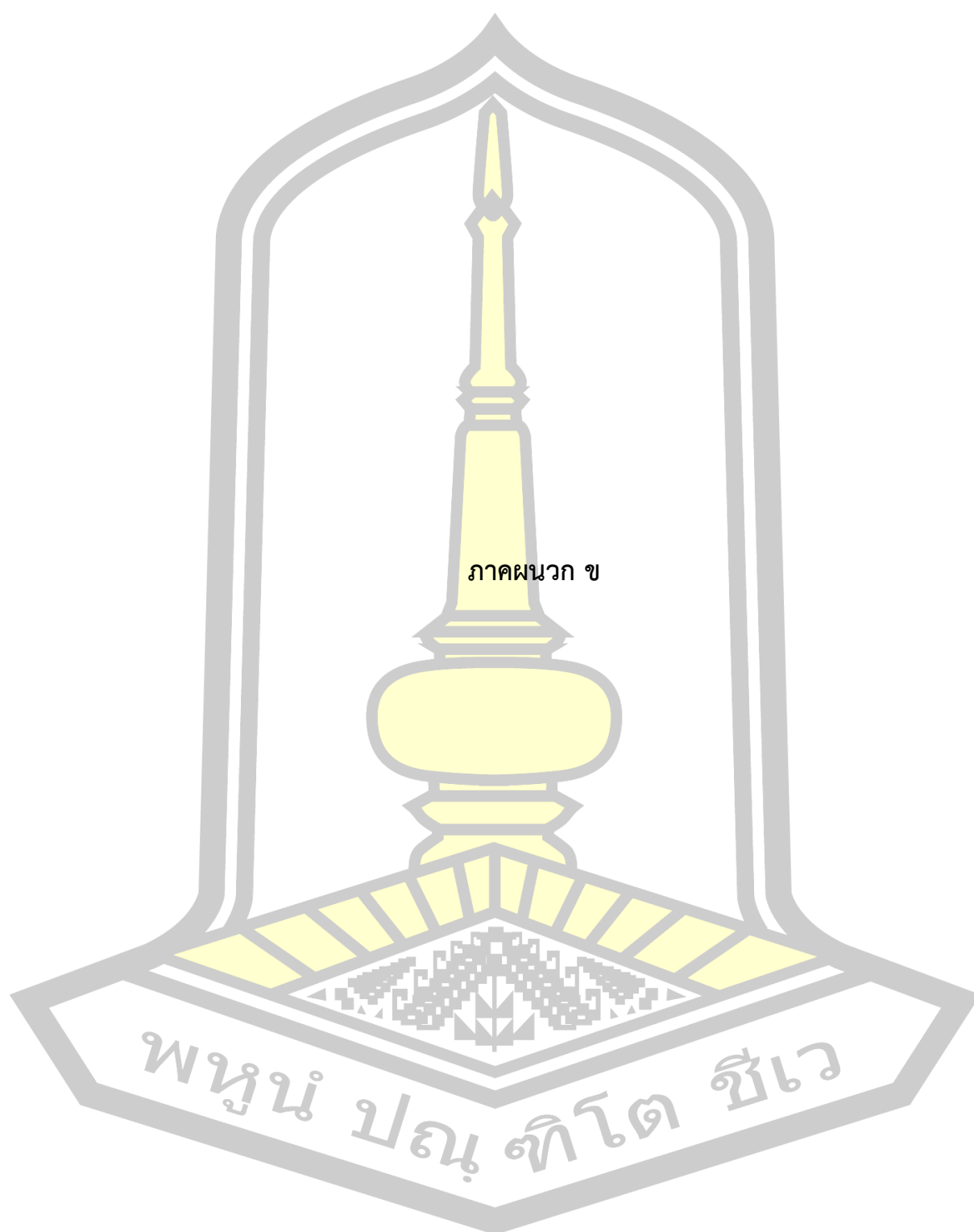


ขั้นตอนที่ 12 ทำการ Sweep และกำหนดเกลียวที่ 5 องศา จะได้ layers ที่ 5



ขั้นตอนที่ 13 การประกอบของจำนวนเส้นด้ายครบทุกเส้นแล้วจึงนำด้ายยืน ด้ายพุ่ง มาประกอบกัน โดย การ Assembly เพื่อที่จะได้โครงสร้างผ้าทอ ลายทแยง 2x2 รูปแบบ 22/15

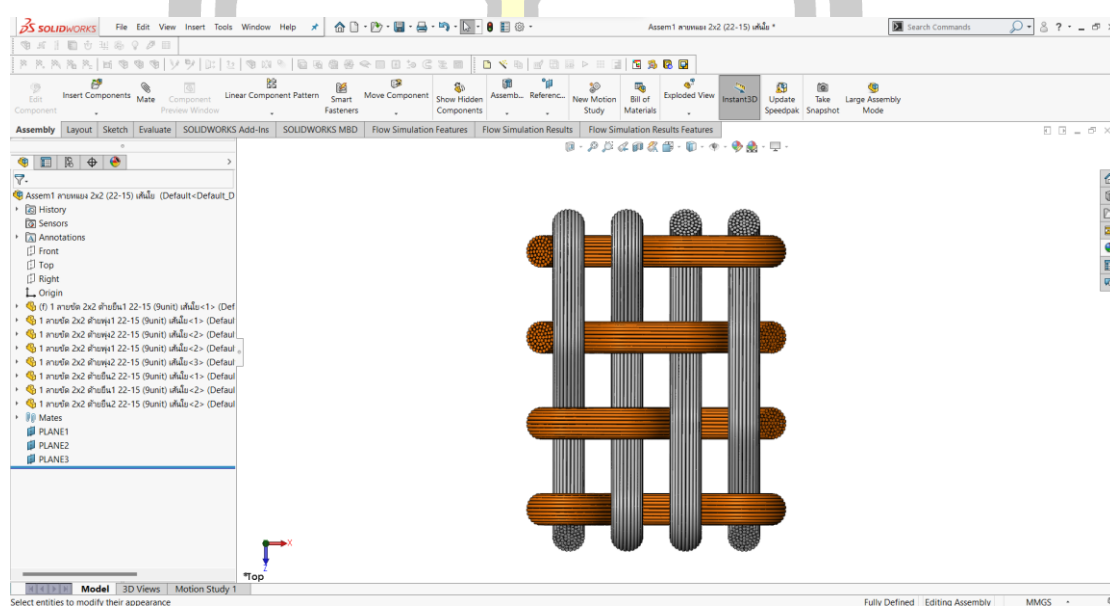




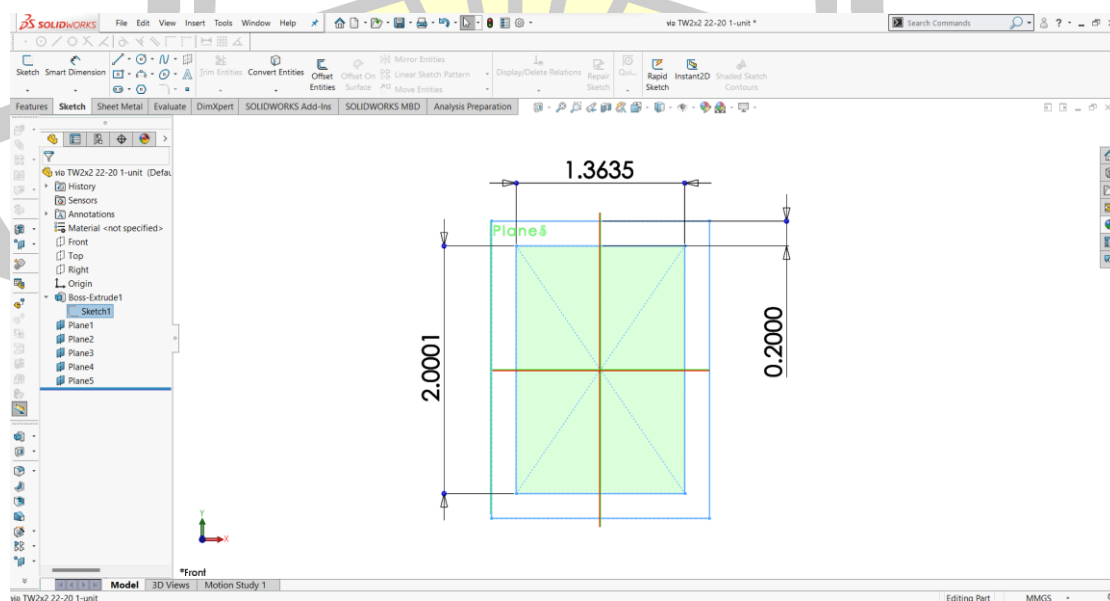
ภาคผนวก ข

แสดงวิธีการ Flow Simulation

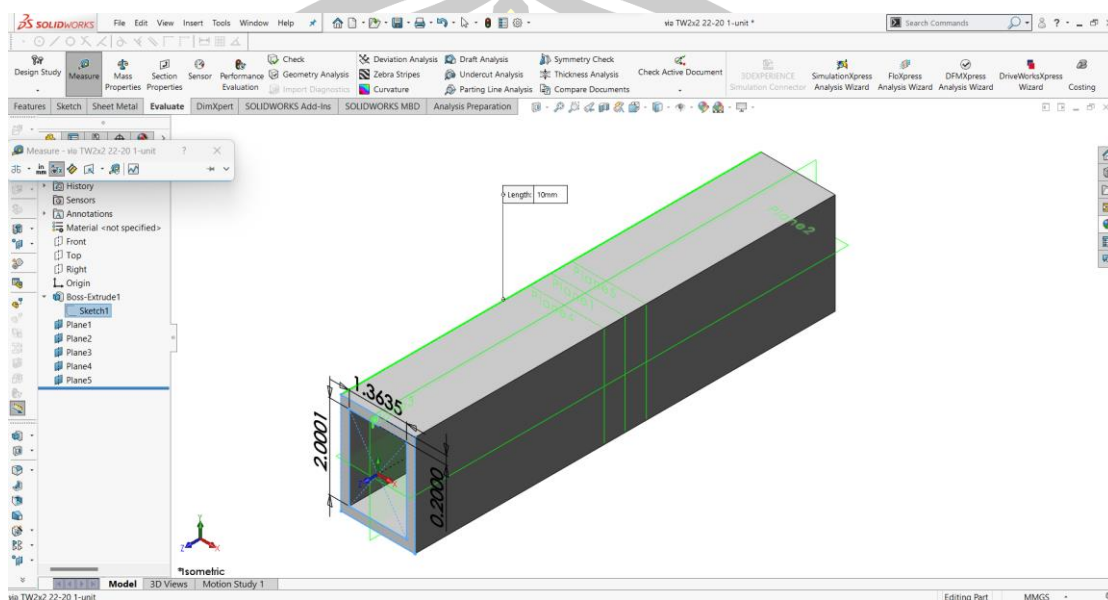
ขั้นตอนที่ 1 การนำเส้นด้ายมา Assembly ให้เป็น 1 unit cell เพื่อจะนำไปใช้ในการ Flow Simulation



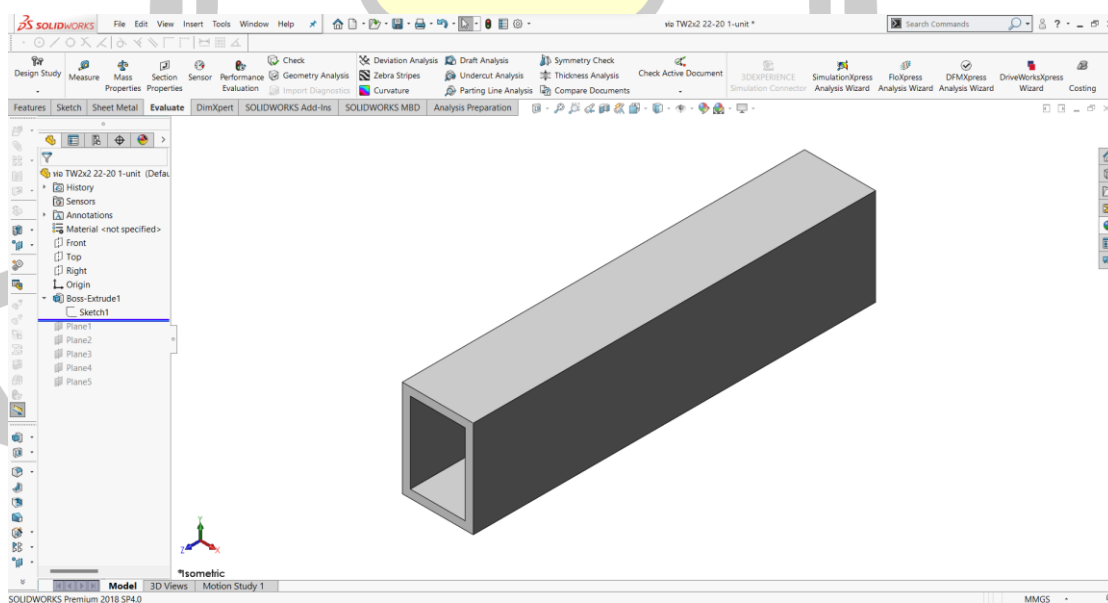
ขั้นตอนที่ 2 เลือก Front plane เพื่อ Sketch ขึ้นงาน



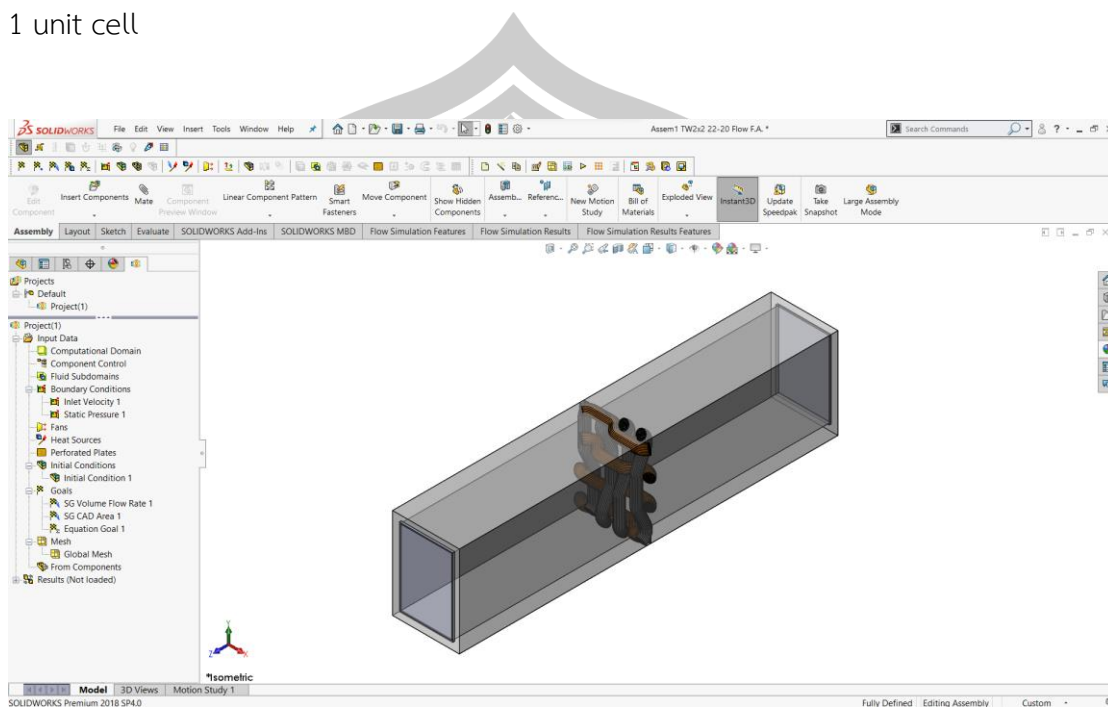
ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสี่เหลี่ยมที่มีความหนาเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 2.0001 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 1.3635 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



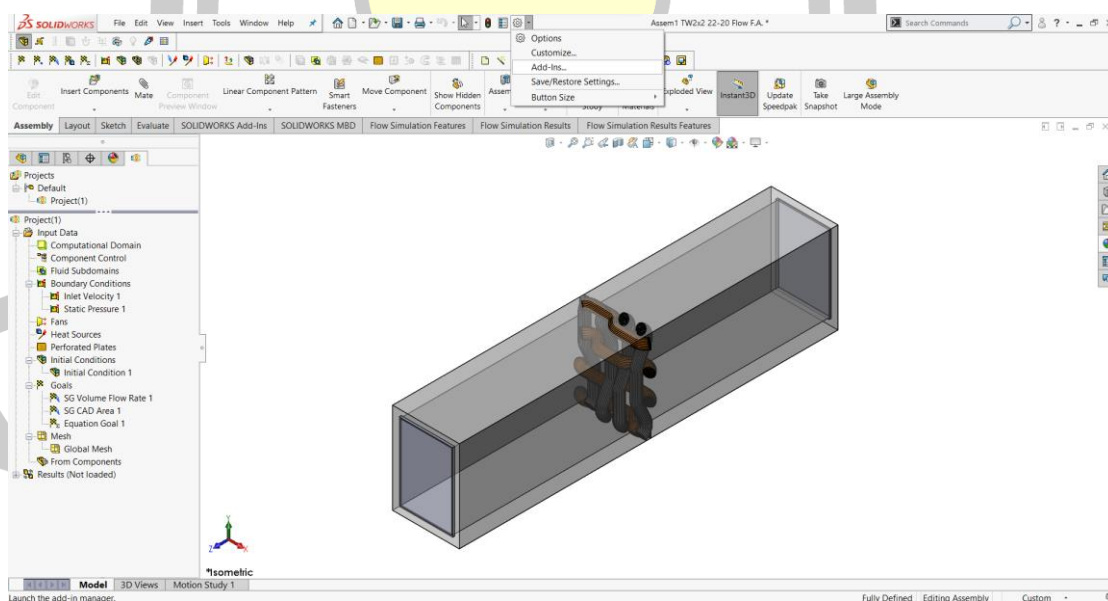
ขั้นตอนที่ 4 การ Extruded Boss/Base ใส่ความยาว Direction เท่ากับ 10 มิลลิเมตร



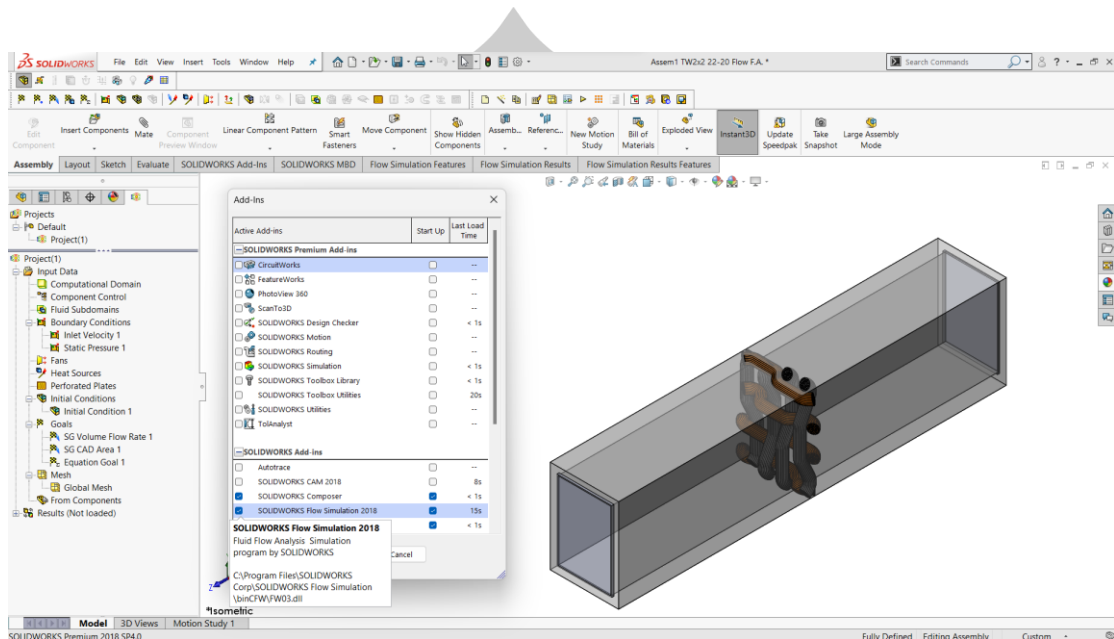
ขั้นตอนที่ 5 การนำท่อสี่เหลี่ยมมา Assembly ร่วมกับผ้าทอหลายทแยง 2x2 รูปแบบ 22/15 ในขนาด 1 unit cell



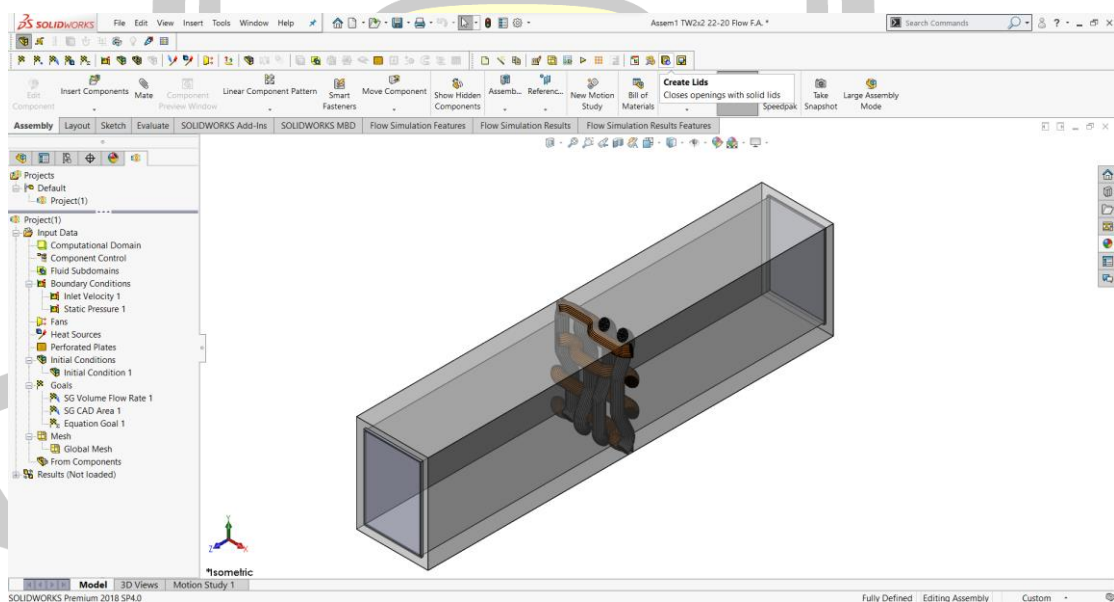
ขั้นตอนที่ 6 คลิกที่คำสั่ง Add-Ins



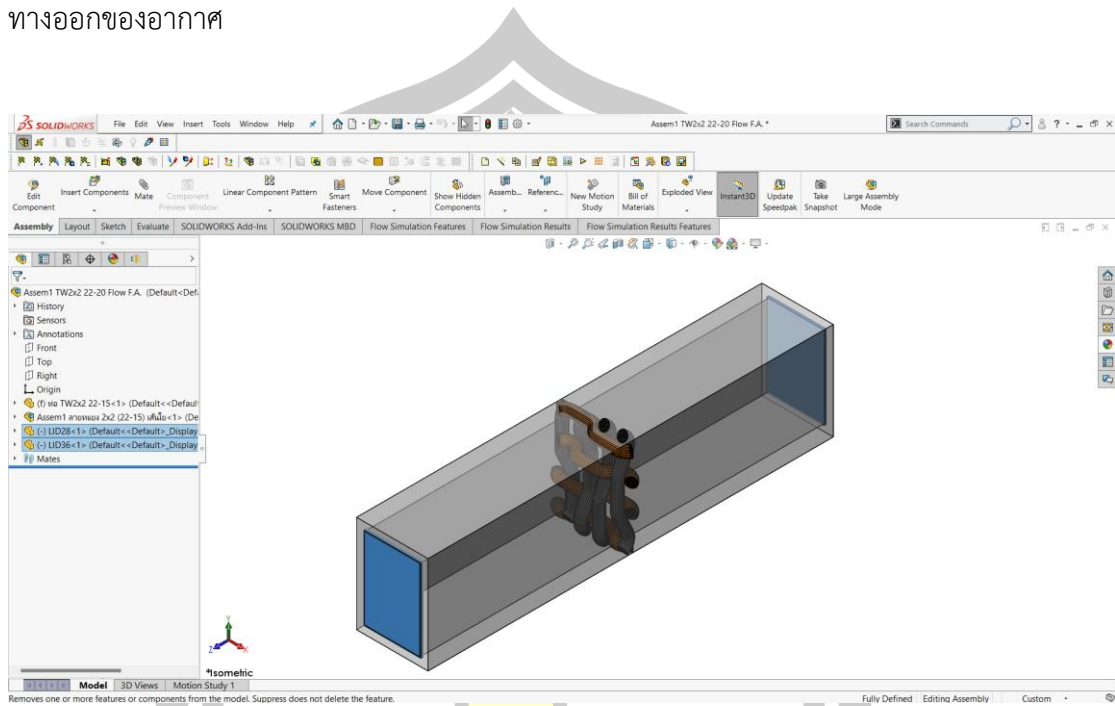
ขั้นตอนที่ 7 คลิกที่คำสั่ง Flow Simulation แล้ว กด Ok



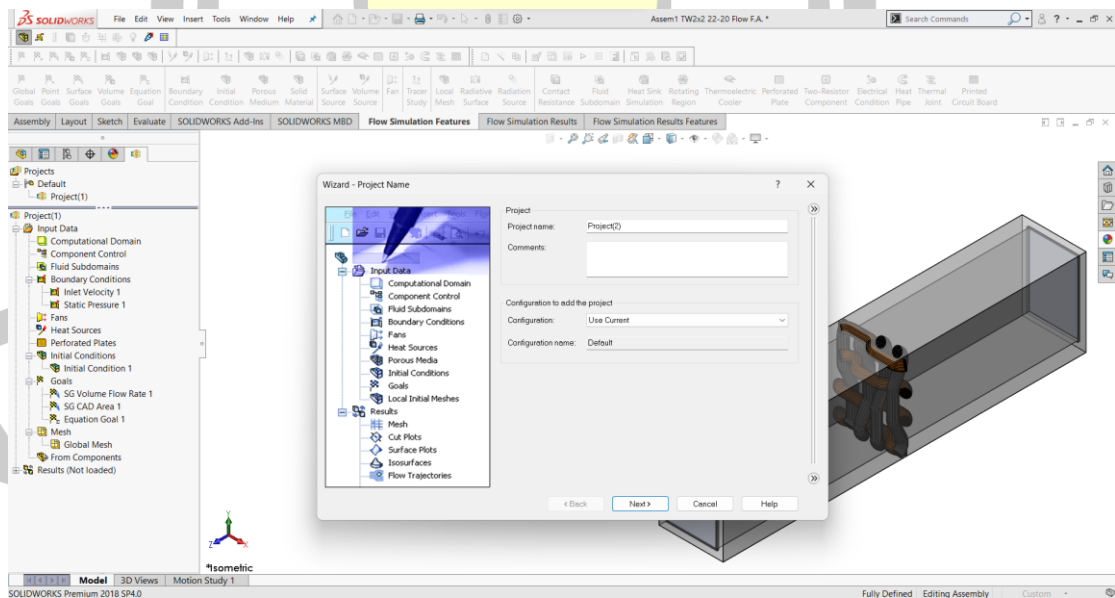
ขั้นตอนที่ 8 การเปิดใช้งาน Flow simulation แล้วจึงเลือกคำสั่ง Create Lids



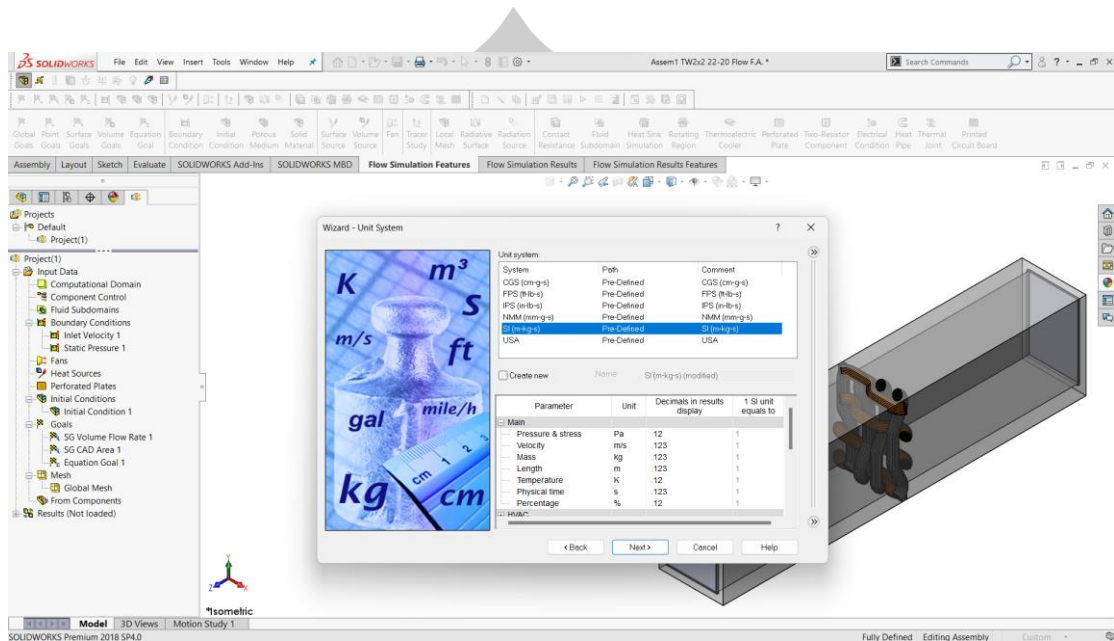
ขั้นตอนที่ 9 การสร้าง Lid เพื่อกำหนดขอบเขตการไหลของอากาศ ที่บริเวณปากท่อทางเข้า และทางออกของอากาศ



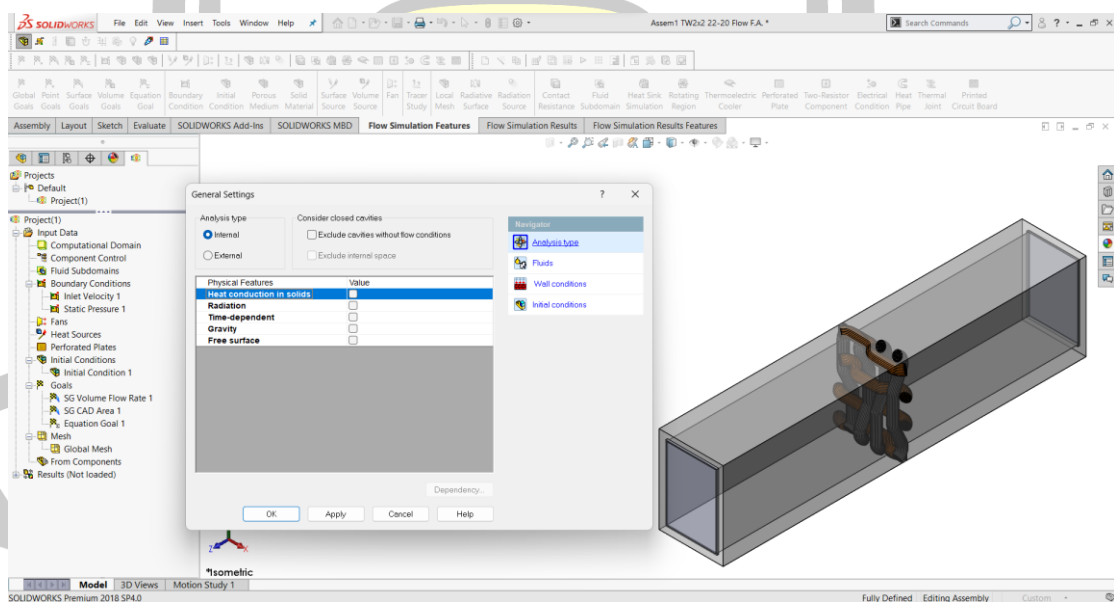
ขั้นตอนที่ 10 เลือก Wizard



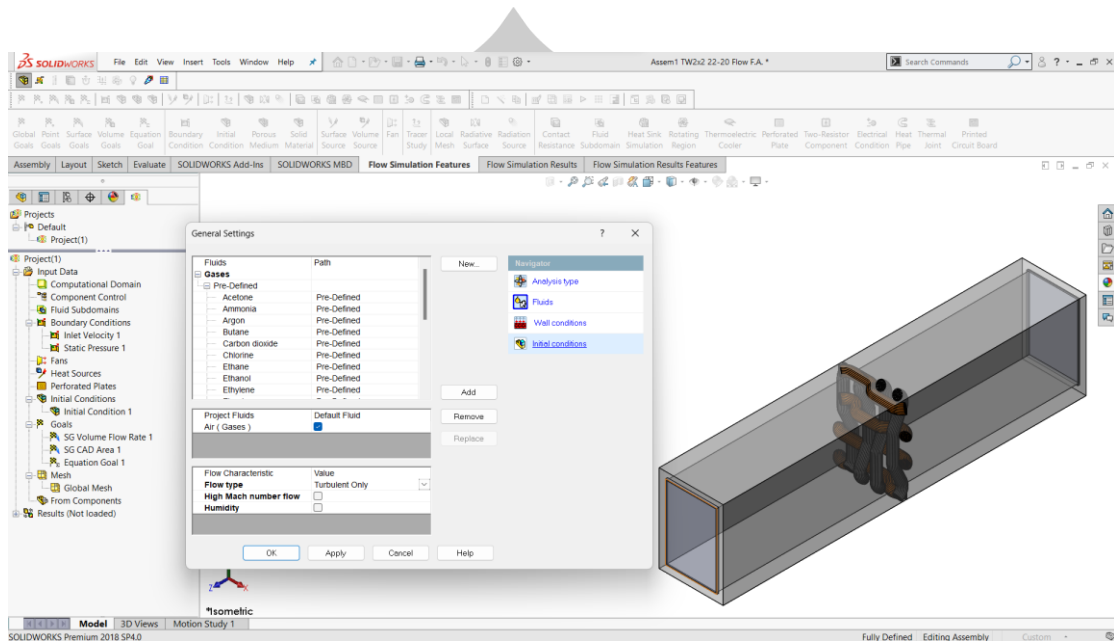
ขั้นตอนที่ 11 เลือก SI (m-k-g-s)



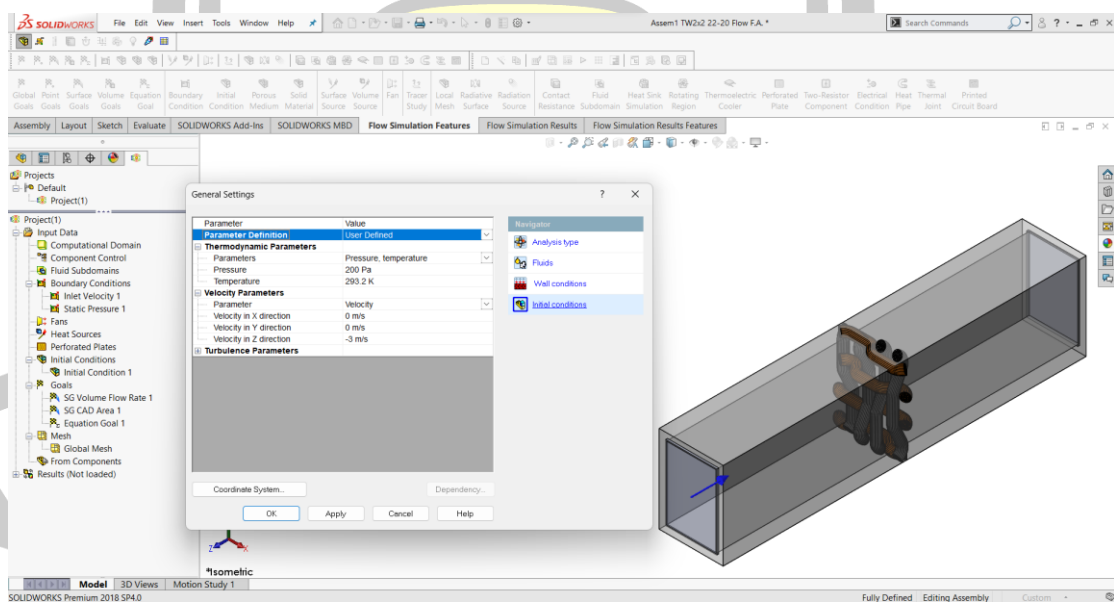
ขั้นตอนที่ 12 เลือก Internal



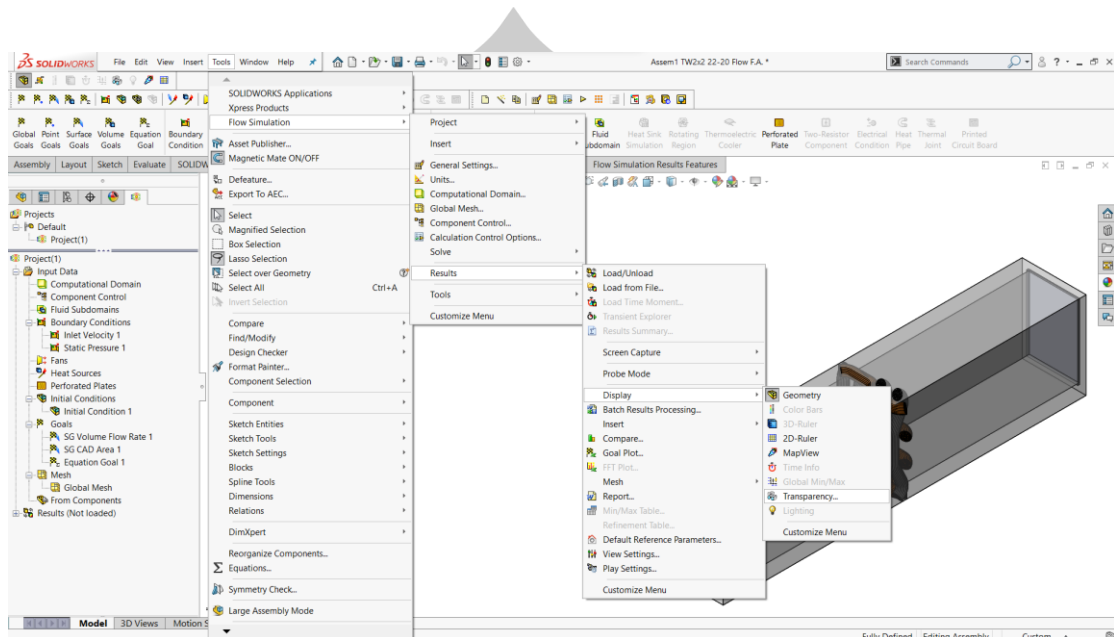
ขั้นตอนที่ 13 การเลือกของไหลก่ดที่ Gases และเลือก Air เพื่อการจำลองการวิ่งผ่านอากาศ



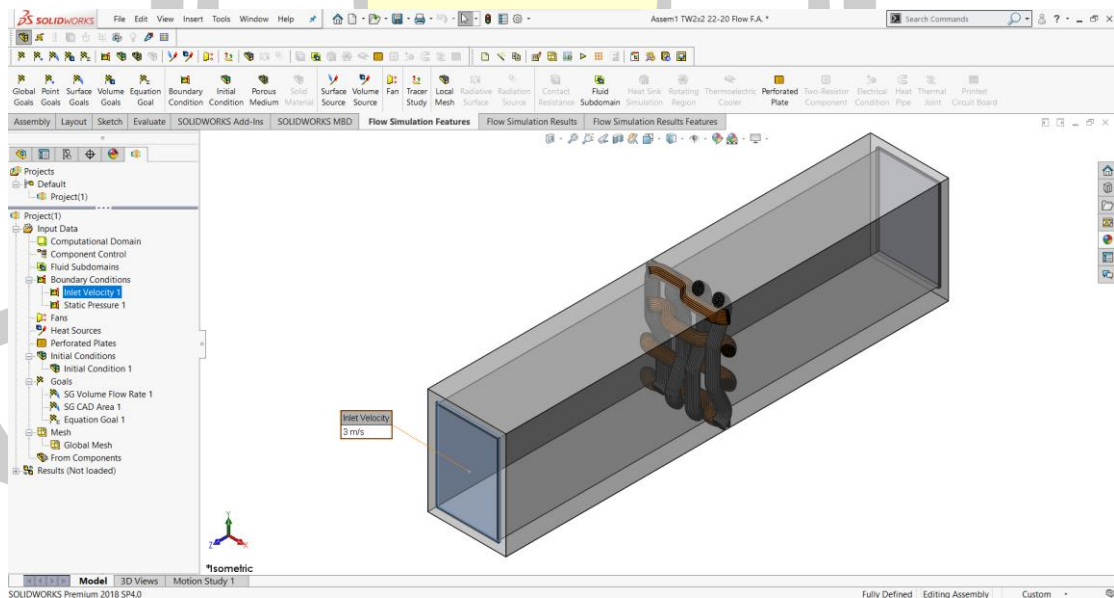
ขั้นตอนที่ 14 การใช้ขนาดความเร็วของลมที่ แกน Z



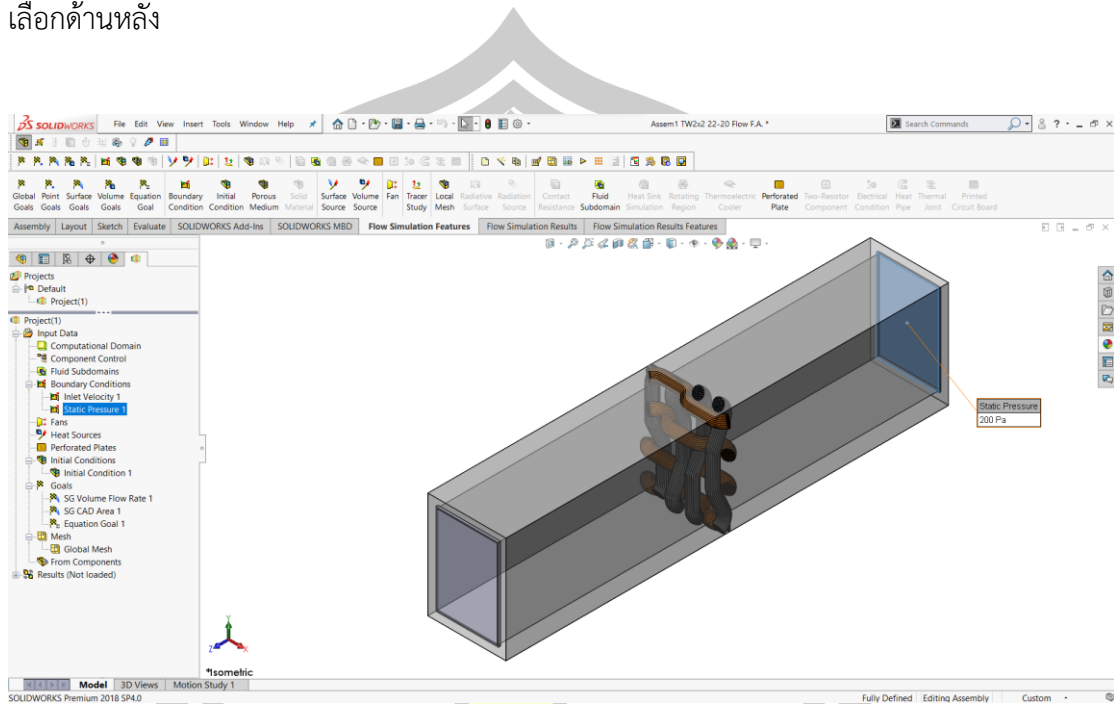
ขั้นตอนที่ 15 เลือกคำสั่ง Transparency แล้วปรับค่าเพื่อให้สามารถมองเห็นชิ้นงานมีความโปร่งใส



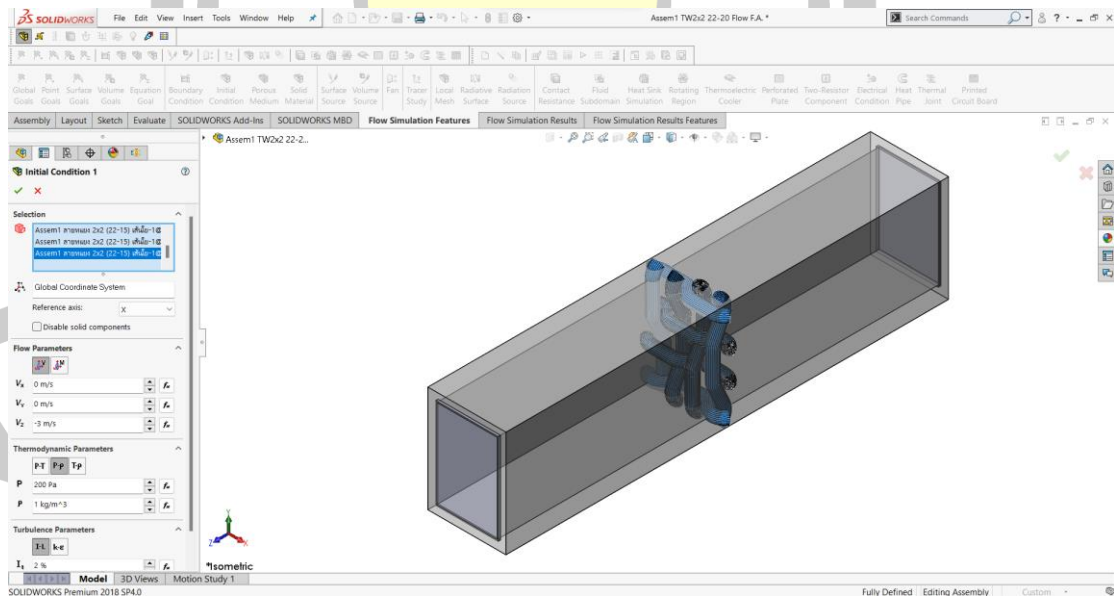
ขั้นตอนที่ 16 การเลือก Boundary Condition แล้วกด Inlet Velocity ที่ $V=3 \text{ m/s}$, $\sim P = 200 \text{ Pa}$
คลิก Ok เลือก Lid ด้านหน้า



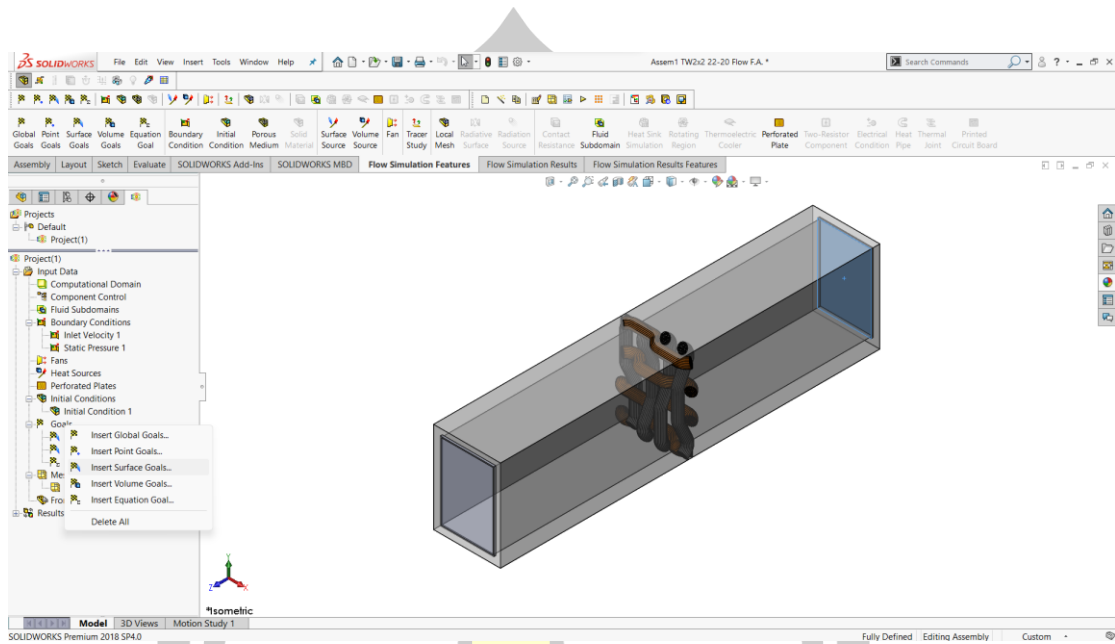
ขั้นตอนที่ 17 คลิกขวาที่ Boundary Condition => Static Pressure => ใส่ Pressure = 200 Pa เลือกด้านหลัง



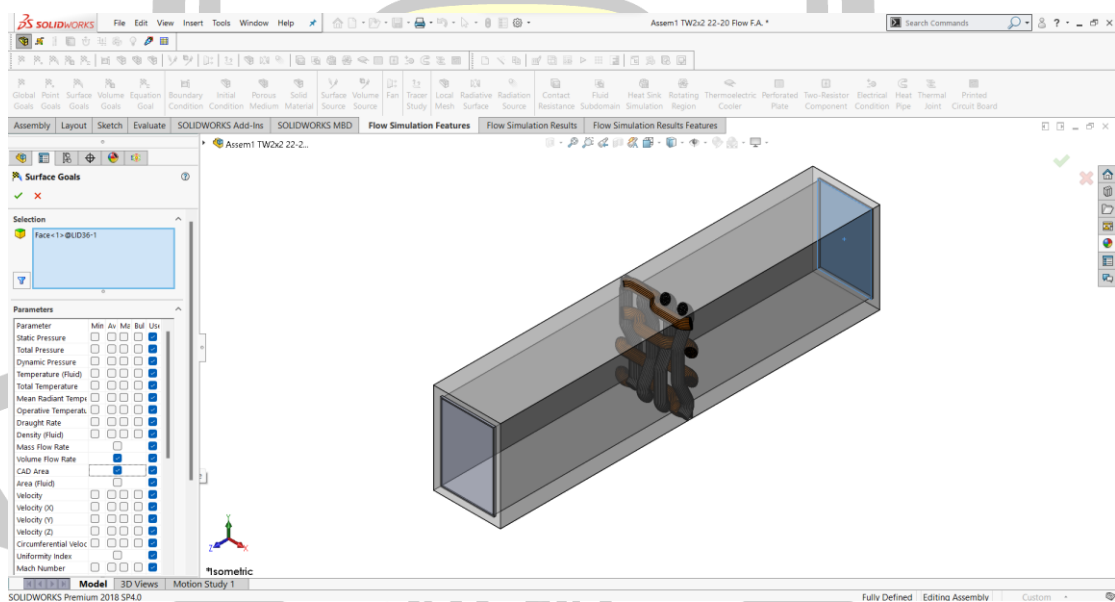
ขั้นตอนที่ 18 คลิกขวาที่ Initial Condition => ใส่ P-p = 200 Pa => เลือกบริเวณของเส้นด้ายที่ลมผ่าน



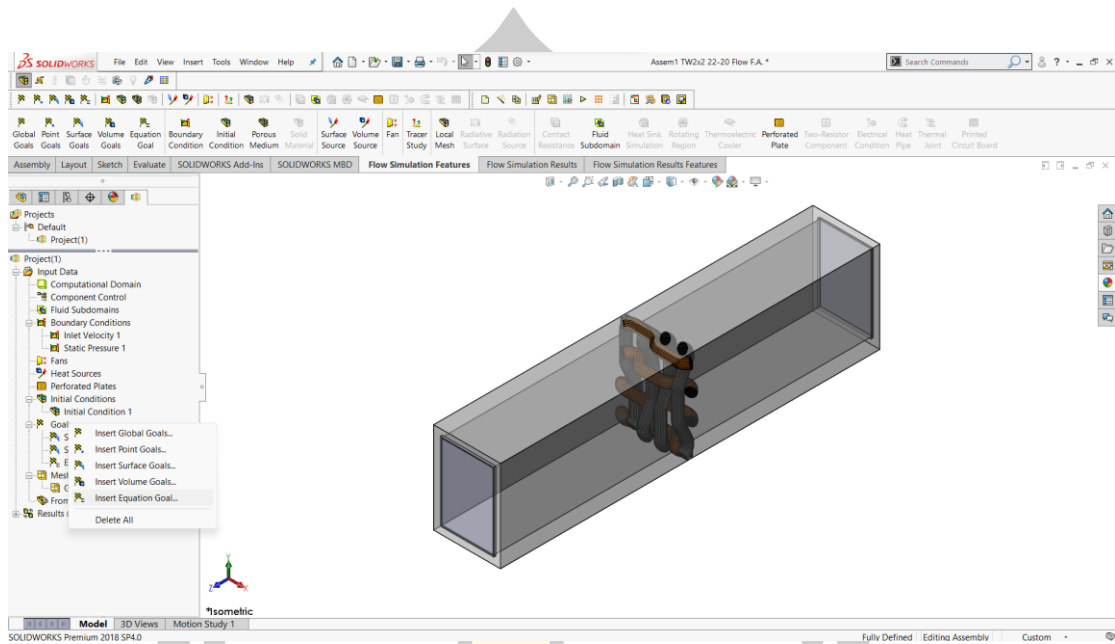
ขั้นตอนที่ 19 คลิกขวาที่ Goals เข้า Insert Surface Goals



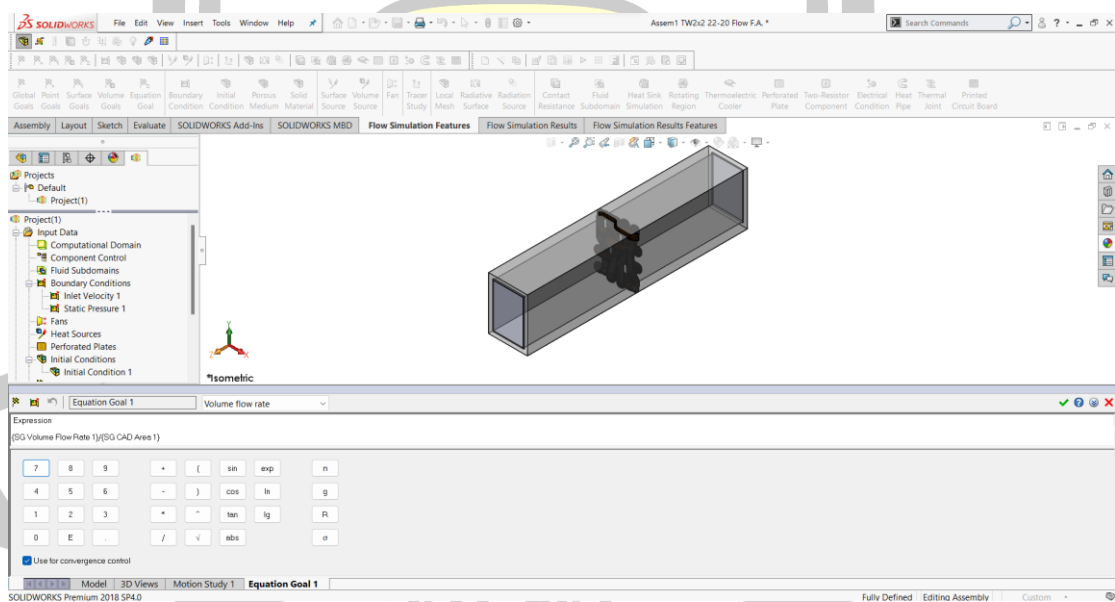
ขั้นตอนที่ 20 เลือก Volume Flow และ CAD Area บริเวณ Lid ด้านหลัง



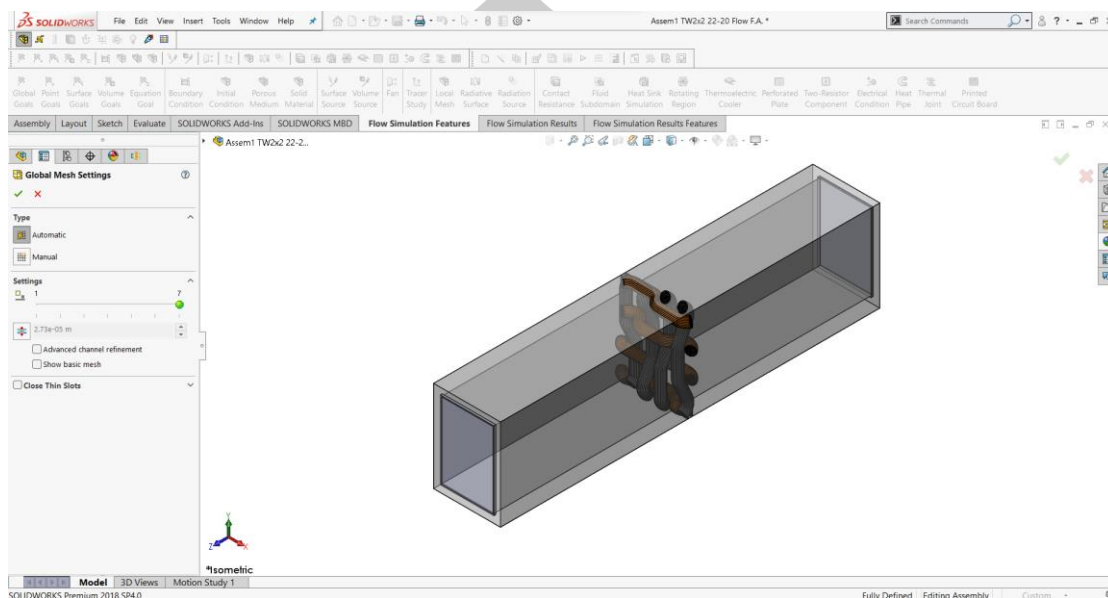
ขั้นตอนที่ 21 คลิกขวาที่ Goals และเลือก Insert Equation Goals



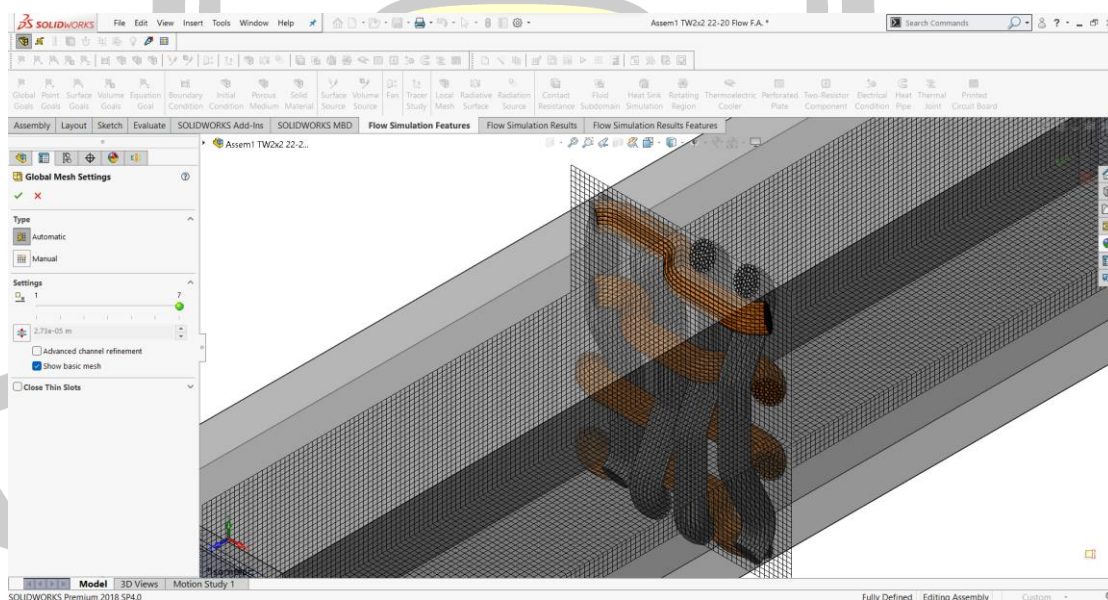
ขั้นตอนที่ 22 การเลือก SG Volume Flow Rate1 หรือ SG CAD Area 1



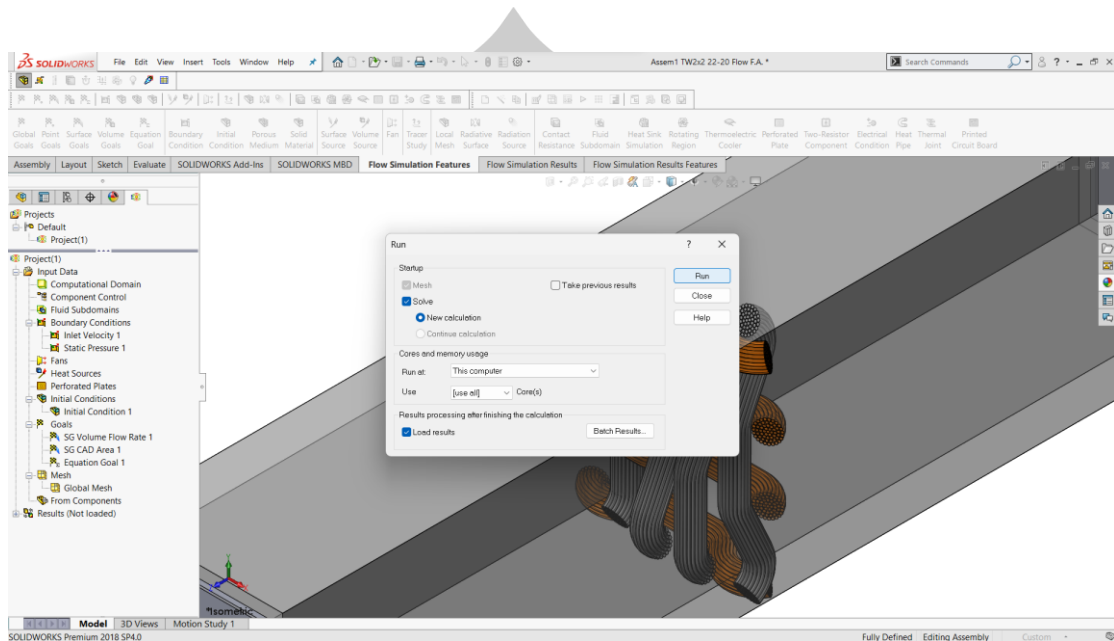
ขั้นตอนที่ 23 เลือก Global Mesh เพื่อปรับความละเอียดของการ Flow Simulation



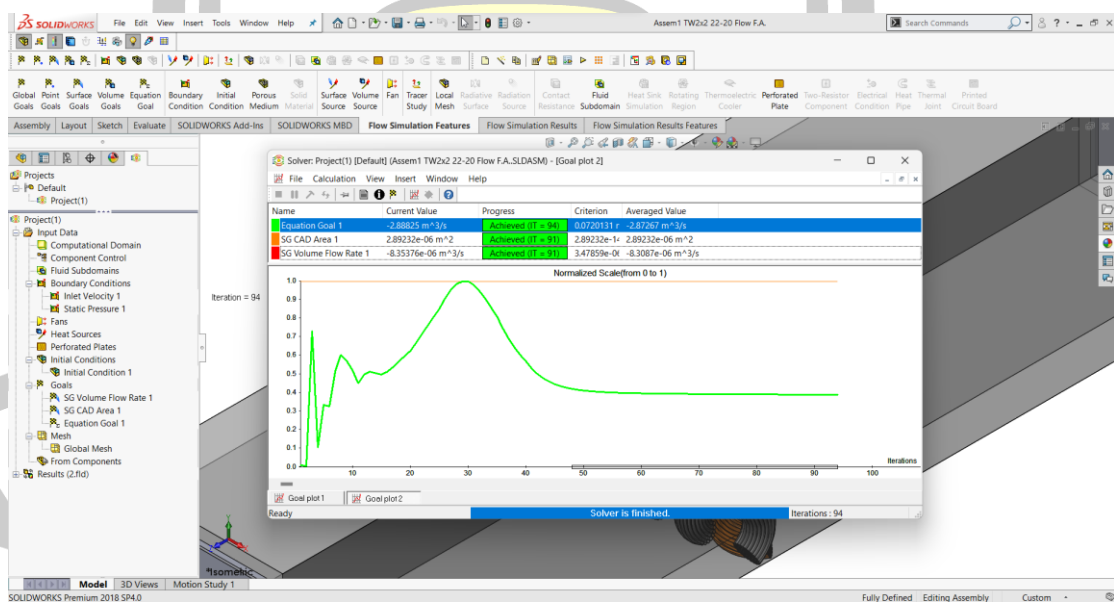
ขั้นตอนที่ 24 การปรับความละเอียดก่อนที่จะ Run โปรแกรม Solid work 2018



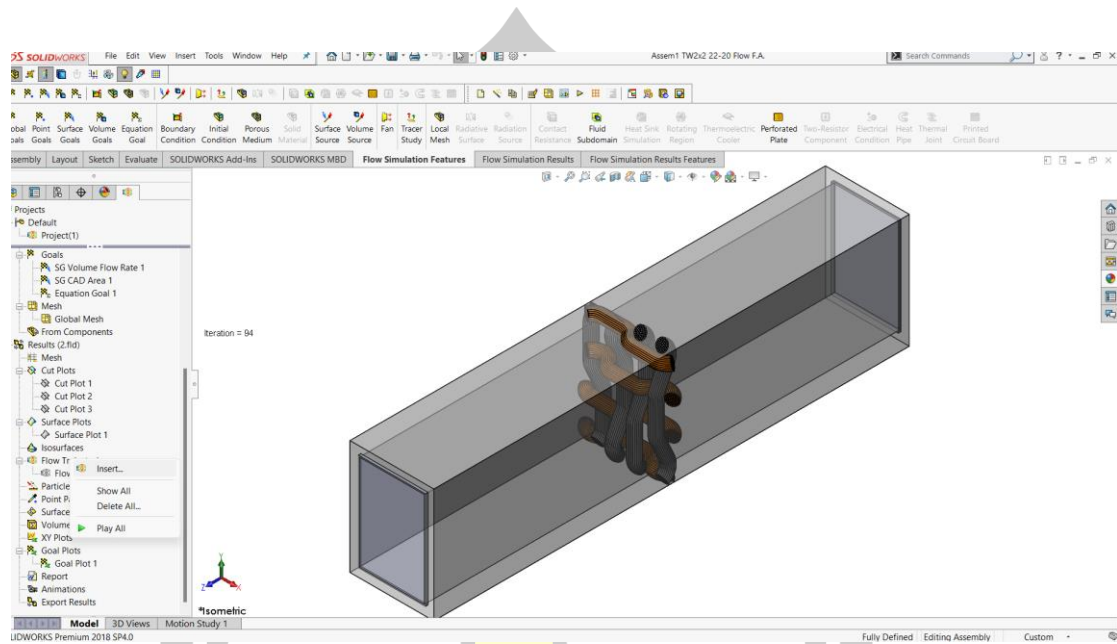
ขั้นตอนที่ 25 กดเลือก Run เพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation



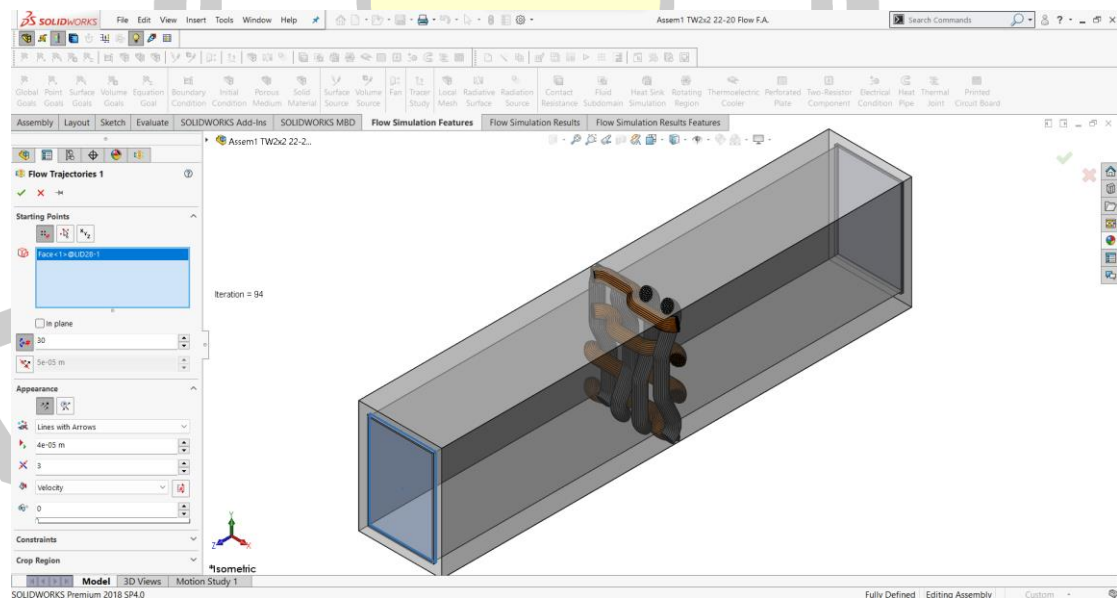
ขั้นตอนที่ 26 กราฟของค่าการซึมผ่านอากาศเมื่อผ่านโครงสร้างผ้าทอหลายทแยง 2x2 รูปแบบ 22/15



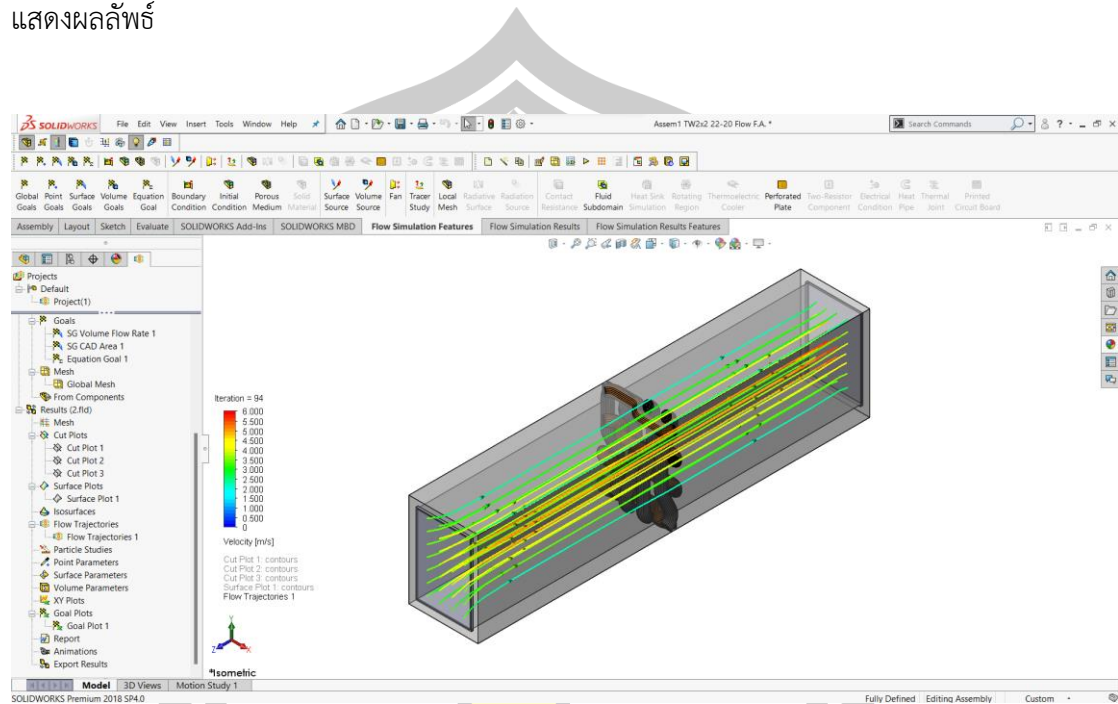
ขั้นตอนที่ 27 คลิกขวาที่ Flow Trajectories => Insert



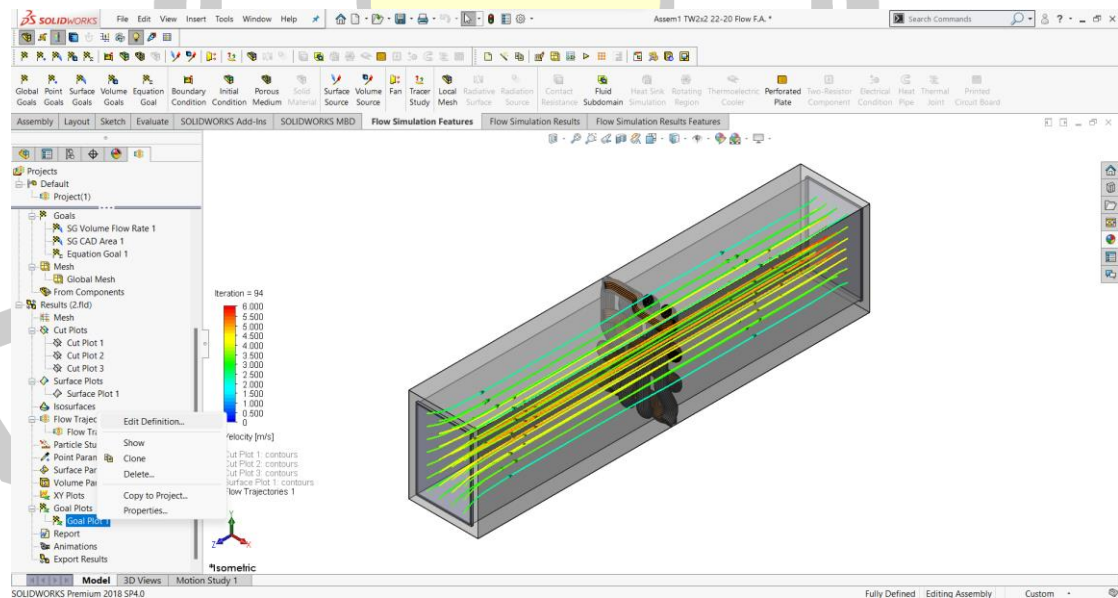
ขั้นตอนที่ 28 กำหนดขนาดของการแสดงทิศทางไหลที่จะไหลจากบริเวณ Lid ด้านหน้า ไปยัง Lid ด้านหลัง



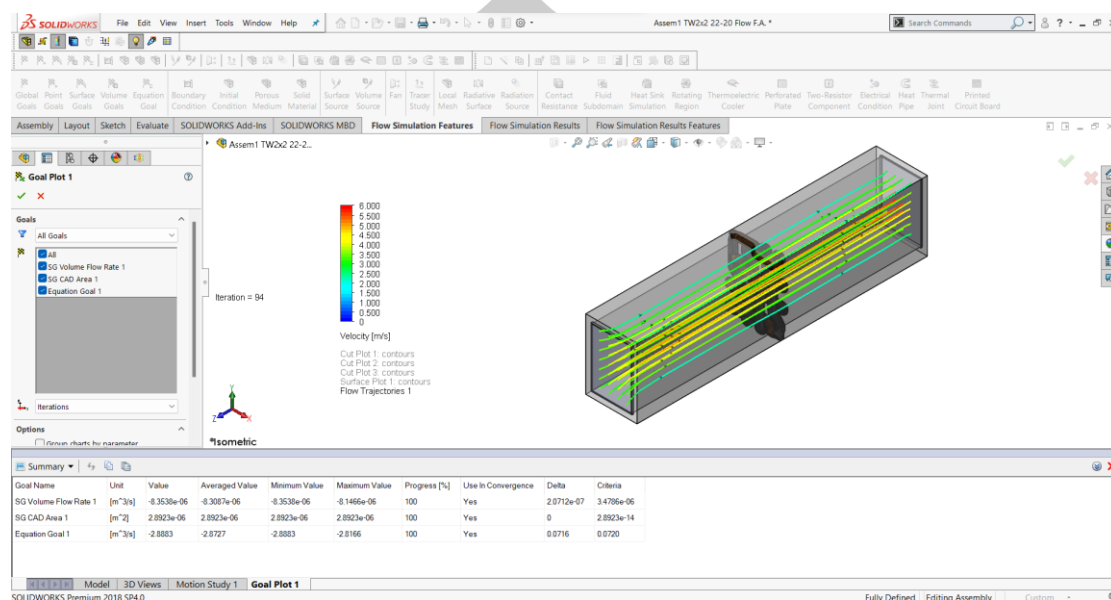
ขั้นตอนที่ 29 จะได้รูปแบบทิศทางการ Flow Simulation และแสดงความเร็วของอากาศ ได้จากสีที่แสดงผลลัพธ์



ขั้นตอนที่ 30 คลิกขวา Goal Plots => Insert =>เลือก All => Show



ขั้นตอนที่ 31 นำผลการ Flow Simulation ไปใช้ศึกษาการซึมผ่านของอากาศ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ธีระเดช ทรงอาจ
วันเกิด	19 ธันวาคม 2541
สถานที่เกิด	จังหวัดมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 100 หมู่ที่ 3 ตำบลขามเฒ่าพัฒนา อำเภอกันทรวิชัย มหาสารคาม 44150
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นักวิทยาศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเฒ่า กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2560 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2566 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ไม่มี
ผลงานวิจัย	Best Presentation Award Title Prediction of the air permeability of 2x2 Plain woven and 2x2 twill woven fabrics using Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The 15th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB2023), August 9th - 10th, 2023