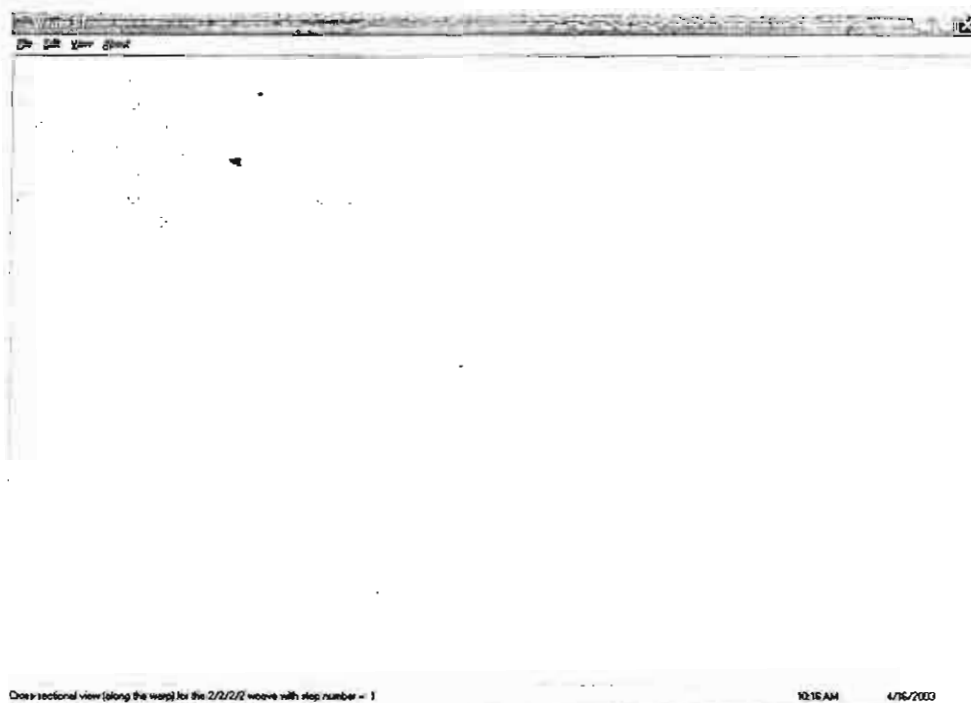
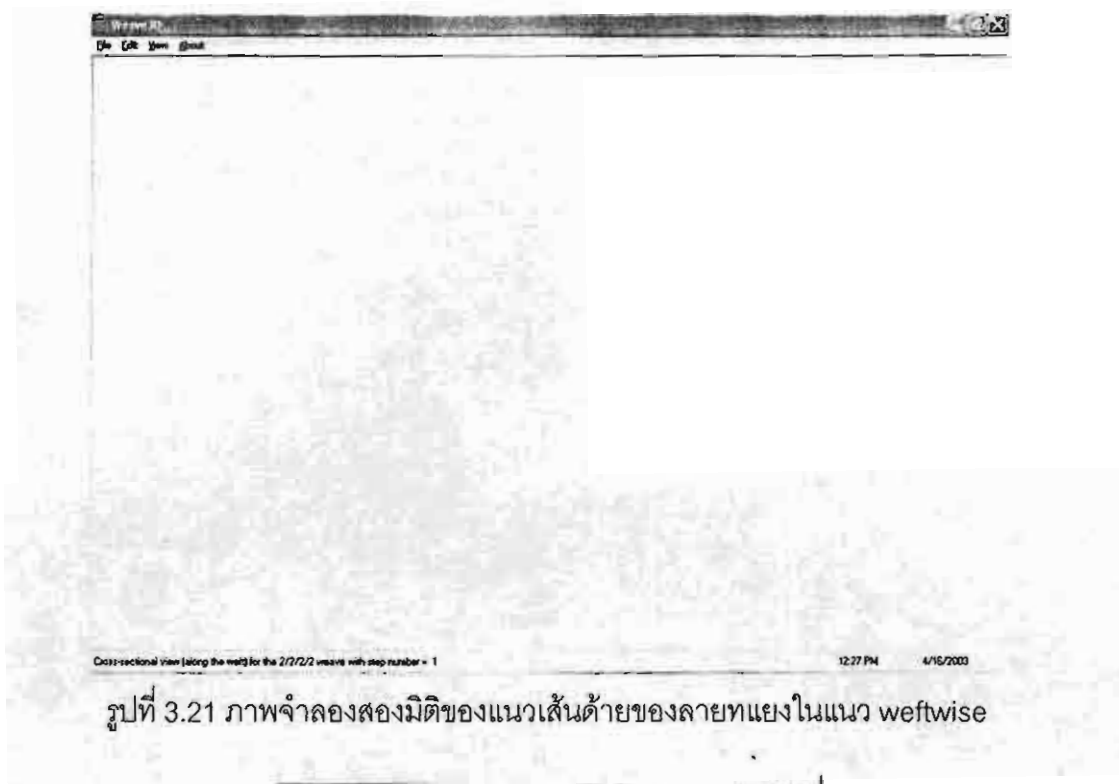




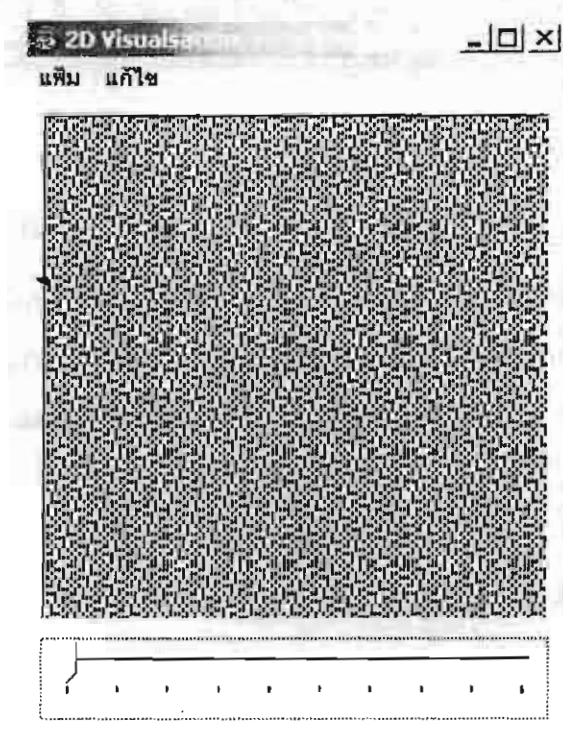
รูปที่ 3.19 ภาพแสดง weave pattern ของลายทแยง



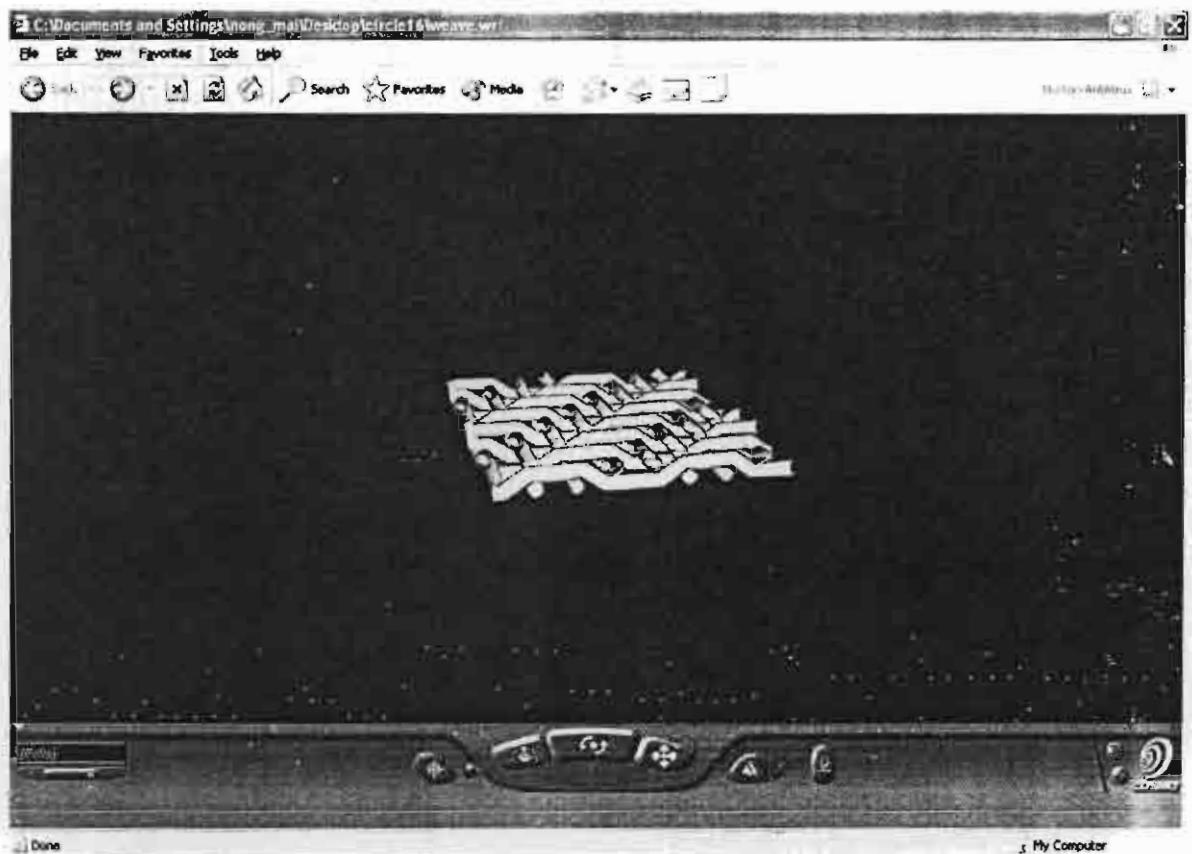
รูปที่ 3.20 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว warpwise



รูปที่ 3.21 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว weftwise



รูปที่ 3.22 การจำลองภาพสองมิติแสดงผิวหน้าของผ้า



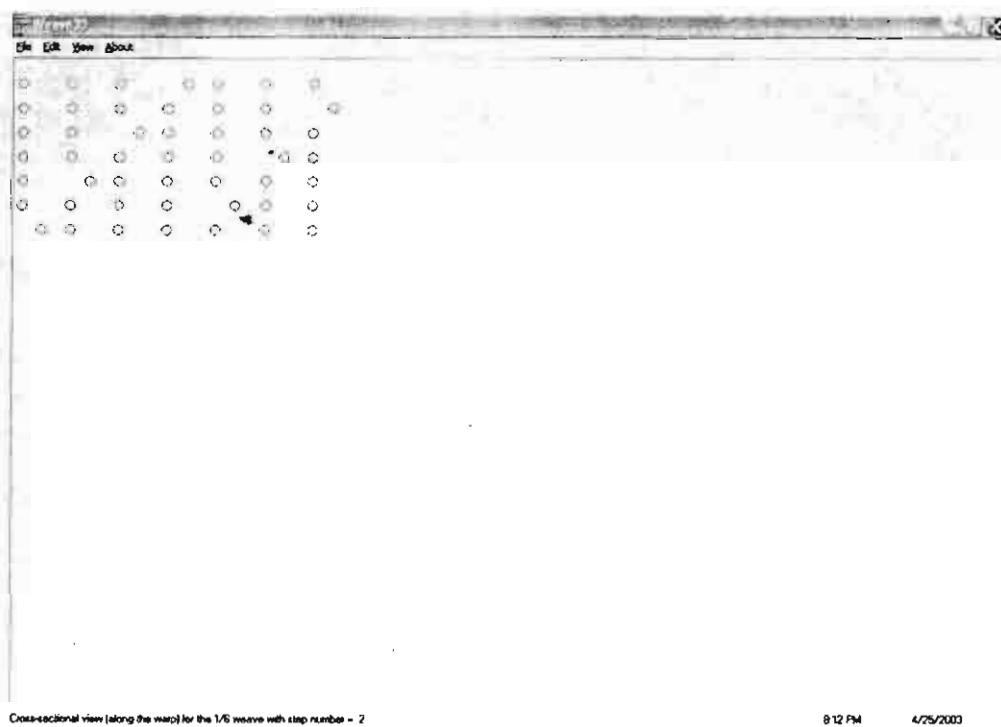
รูปที่ 3.23 ภาพจำลองสามมิติของลายทแยง

3.5.3 ลายตัวน

ผู้ใช้สามารถป้อนค่าลายตัวนเข้าไป เช่น 1/6 ลงไปในช่อง Weave pattern รวมทั้งค่าตัวนที่ที่เหมาะสม เมื่อกรอกข้อมูลของลายที่ต้องการแล้ว ลายตัวนจะถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกับลายทแยง ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 3.24 weave pattern ของลายต่วน



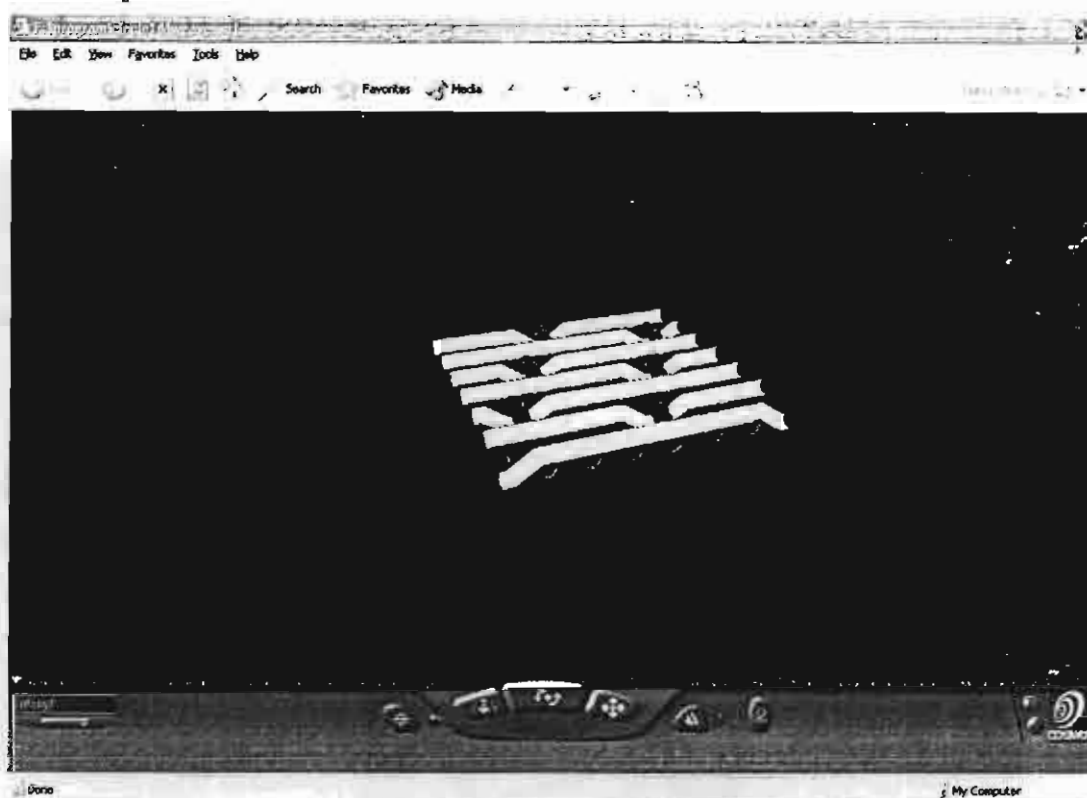
รูปที่ 3.25 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายต่วนในแนว warpwise



Cross-sectional view (along the weft) for the 1/6 weave with step number = 2

8:13 PM 4/75/2003

รูปที่ 3.26 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายตัวนในแนว weftwise



รูปที่ 4.32 ภาพจำลองสามมิติของลายตัวน

3.5.4 การเปลี่ยนสีเส้นด้าย

การเปลี่ยนสีเส้นด้ายจะทำให้ลักษณะของลายเปลี่ยนไป สีของเส้นด้ายแสดงไว้บนแถบสีรอบๆ ส่วนที่เป็นกระดาดนอกแบบ เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Warp Color สีของเส้นด้ายยืนจะเปลี่ยนไปตามสีที่ผู้ใช้เลือก และเมื่อกดปุ่ม Weft Color จะเป็นการเลือกสีของด้ายพุ่งได้ตาม

บทที่ 4

การทำนายสมบัติเชิงโครงสร้างของผ้าทอ บนพื้นฐานแบบจำลองของเพียช

4.1 จำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวในผ้าทอ

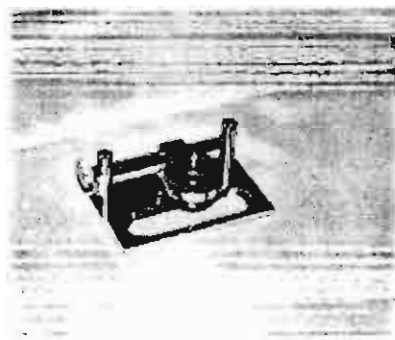
4.1.1 การทดสอบหาจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวในผ้าทอ

4.1.1.1 วัตถุประสงค์

- 1) ผ้าทอลายขัดที่ต้องการทดสอบ
- 2) แวนขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว หรือ Traversing Thread Counter
- 3) เหล็กปลายแหลมหรือเข็มสำหรับนับเส้นด้าย
- 4) ไม้บรรทัดเหล็กความยาว 30 เซนติเมตร

4.1.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) ใช้ไม้บรรทัดวัดระยะความยาว 1 นิ้ว โดยทำการวัดทางด้านเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ด้านละ 3 ตำแหน่งที่แตกต่างกันในลักษณะการสุ่มตัวอย่าง
- 2) ทางด้านเส้นด้ายยืนทำการวางแวนขยาย บนตำแหน่งแรกเพื่อทำการนับจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว (1 นิ้ว) ทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดสอบ หลังจากนั้นทำการนับจำนวนเส้นด้ายในตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ต่อไป
- 3) ทำการนับจำนวนเส้นด้ายพุ่งต่อหน่วยความยาว (1 นิ้ว) ตามวิธีในข้อ 2 แล้วบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 4.1 วิธีการทดสอบความหนาของผ้า

4.1.1.3 ผลการทดสอบ

เนื่องจากความหนาแน่นของผ้าในการทอ ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของผ้าทอ เช่น หากทอผ้าที่มีความหนาแน่นมากๆ ก็ทำให้ผ้ามีความหนา และสมบัติการปกปิดที่ดี นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความหยิกงอของเส้นด้ายขึ้นในผืนผ้ามากขึ้นด้วย เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าทอ จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำการทดสอบหาความหนาแน่นของผ้าทอ (fabrics density) หรือจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว

ผลการทดสอบได้แบ่งออกตามชนิดของลายการทอ ชนิดของเส้นใยในผ้าทอและตามแนวของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว

ชนิดของผ้า	จำนวนเส้นด้ายยืน/ซม.	จำนวนเส้นด้ายพุ่ง/ซม.
ผ้าฝ้ายลายขัด	19.824	34.646
ผ้า T/C ลายขัด	29.921	26.772
ผ้าพอลิเอสเตอร์ลายขัด	22.441	18.898
ผ้าฝ้ายลายทแยง 2/1	51.181	23.622
ผ้า T/C ลายทแยง 2/1	37.088	28.346
ผ้าพอลิเอสเตอร์ลายทแยง 2/1	30.709	25.591
ผ้าฝ้ายลายตัวน	37.402	19.685
ผ้า T/C ลายตัวน	38.583	22.835
ผ้าพอลิเอสเตอร์ลายตัวน	77.953	39.370

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบของจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว หรือจำนวนเส้นด้ายในความยาวหนึ่งเซนติเมตร จากผลการทดสอบจะสังเกตว่าจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของผ้าทอแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากจุดประสงค์ของการทอเพื่อที่จะนำผ้าไปใช้งานในด้านต่างๆ

ค่าที่ได้จากผลการทดลองเหล่านี้ สามารถนำไปแก้ในระบบสมการของแบบจำลองเพื่อคำนวณหาความหยิกงอ ของเส้นด้ายต่อไป

4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้าย

อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นด้ายและช่องว่างเส้นด้าย (yam diameter/yam spacing, d/p ดังในรูปที่ 3.4) บ่งบอกระดับการติดกันของชุดเส้นด้ายที่ขนานกัน เช่น เส้นด้ายยืน

หรือเส้นด้ายพุ่งในผ้าทอ ความใกล้ชิดกันของเส้นด้ายมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของผ้า เช่นความแน่น การทึงตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาอัตราส่วน d/p นี้สำหรับเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งในผ้าทอ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะคำนวณหาอัตราส่วน อันนี้เราต้องทราบเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายและระยะช่องว่างของเส้นด้าย (yam spacing)

ถ้าทราบจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว (n) มันเป็นการง่ายที่จะหาช่องว่างเส้นด้าย (p) เพราะขนาดของช่องว่างเป็นส่วนกลับของจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว นั่นคือ $p=1/n$ การหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายมีหลายวิธี ซึ่งอาจจะแบ่งเป็นวิธีที่หาเมื่อเส้นด้ายอยู่ภายใต้การกดหรือวิธีที่หาเมื่อเส้นด้ายไม่อยู่ในสภาวะถูกกดทับ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่อยู่ภายใต้สภาวะถูกกดทับ (เส้นผ่านศูนย์กลางที่อิสระ) บางทีจะเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นมากกว่า แต่เส้นผ่านศูนย์กลางที่อยู่ภายใต้สภาวะถูกกดทับจะมีประโยชน์สำหรับการศึกษาเรขาคณิตของโครงสร้างผ้า

ตัวอย่างการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใต้สภาวะการกดทับ เช่น โดยการพันเส้นด้ายรอบแท่งทรงกระบอกโดยให้เส้นด้ายแต่ละรอบชิดกัน ดังนั้นส่วนกลับของจำนวนรอบต่อนิ้วก็คือค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายเป็นนิ้ว อย่างไรก็ตามผลที่ได้ขึ้นอยู่กับความตึงที่ใช้ขณะพัน มุมที่เส้นด้ายพันบนทรงกระบอก และการกดทับของเส้นด้าย

สำหรับการหาขนาดความโตภายใต้สภาวะไม่ถูกกดทับอาจจะทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ โดยกล้องเหล่านั้น มีช่องบอกค่าขนาดความโตของเส้นด้ายและเมื่อทราบกำลังขยายที่แท้จริงก็สามารถบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายได้

อย่างไรก็ตามเพื่อจุดประสงค์ของการศึกษาโครงสร้างผ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ได้ใช้วิธีคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายโดยใช้เบอร์ด้ายเป็นพื้นฐาน

สมการของ Peirce เมื่อทำการทดลองกับเส้นด้ายฝ้ายดีเกลียวและสรุปว่าปริมาตรจำเพาะของเส้นด้ายฝ้ายเป็น 1.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (g/cm^3) ความหนาแน่นของเส้นใยฝ้ายประมาณ 1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ดังนั้นปริมาตรจำเพาะของเส้นใยฝ้ายคือ $1/1.52$ หรือ $0.658 \text{ cm}^3/\text{g}$ ดังนั้นปริมาตรจำเพาะ 1.1 ตรงกับเส้นด้ายที่ประกอบด้วย $(0.658/1.1) \times 100\%$ หรือหมายความว่าในเส้นด้ายนั้น ประมาณ 60% เป็นเส้นใย ส่วนที่เหลือ 40% เป็นช่องว่างอากาศ

การสมมุติให้ปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 1.1 ทำให้ในการทดลองนี้ได้สูตรสำหรับการหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้าย

จะเห็นว่าสมการนี้ได้พยายามทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สำหรับเส้นใยและเส้นด้ายที่ต่างกัน สมการนี้สามารถใช้ในการหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นด้ายในเบื้องต้นของเบอร์ด้ายฝ้าย

$$d = \frac{1}{28\sqrt{N}} \quad (4.1)$$

เมื่อใช้สูตรของ Peirce เพื่อหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นด้ายในระบบเบอร์ด้ายอื่นที่ไม่ใช่ฝ้าย จำเป็นต้องแปลงเบอร์ด้ายให้เป็นเบอร์ด้ายฝ้ายก่อน

ปกติแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นด้ายมีค่าเป็นเศษส่วนของหนึ่งนิ้ว และมันจะเป็นการง่ายกว่าที่จะบอกว่า ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mils ซึ่งเท่ากับ 1/1000 นิ้ว ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายจึงกลายเป็น

$$d = \frac{1}{28\sqrt{N}} \quad (4.2)$$

$$d = \frac{36}{\sqrt{N}} \quad (4.3)$$

4.3 ความหยิกของเส้นด้าย

4.3.1 การทดสอบความหยิกของเส้นด้าย

4.3.1.1* วัสดุอุปกรณ์

- 1) Shirley crimp tester
- 2) กรรไกร
- 3) ไม้บรรทัด
- 4) ผ้าที่ต้องการทดสอบ

4.3.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 20 ซม. x 20 ซม. จำนวน 2 ชิ้นแล้วทำการเลาะเส้นด้ายยื่นและพุ่งออกจากผ้าที่ต้องการทดสอบด้านละ 10 เส้น
- 2) วางเครื่องทดสอบบนโต๊ะให้ได้ระดับ
- 3) ปรับ sliding weight
- 4) ค่อย ๆ ใส่เส้นด้ายในที่หนีบ (clamp) ใน balancing head
- 5) ดึง sliding grip ให้มีความยาวน้อยกว่า ความยาวของเส้นด้ายให้ปลายของเส้นด้ายอยู่ในที่หนีบติดขอบพอดี

- 6) ค่อยๆ ดึง sliding grip ไปทางขวามือ แล้วค่อยถูกกระจกจนกระทั่งเครื่องหมายตรงกัน
- 7) อ่านความยาวของเส้นด้ายบนสเกลบันทึกผล

4.3.1.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบได้แบ่งออกตามชนิดของลายการทอและชนิดของเส้นใยในผ้าทอ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความหยิกของเส้นด้ายในผ้าทอลายขัด

ชนิดของผ้า	ความหยิก	เปอร์เซ็นต์ความหยิก
ผ้าฝ้าย		
เส้นยืน	0.0425	4.25
เส้นพุ่ง	0.0545	5.45
ผ้า T/C		
เส้นยืน	0.0445	4.45
เส้นพุ่ง	0.0640	6.40
ผ้าพอลิเอสเตอร์		
เส้นยืน	0.0325	3.25
เส้นพุ่ง	0.0597	5.97

จากผลการทดสอบหาความหยิกของเส้นด้ายในผืนผ้า ค่าความหยิกของเส้นด้ายพุ่งมีความหยิกมากกว่าความหยิกของเส้นด้ายยืน โดยการวัดจากการนำผ้าทอจริงไปทำการทดสอบ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่อไป

เนื่องจากในผ้าทอลายขัดมีจุดขัดสานกันค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าทอจากชนิดลายทออื่นๆ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความหยิกของผ้าทอลายขัดมีค่ามากตามไปด้วย

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความหยิกของเส้นด้ายในผ้าทอลายทแยง 2/1

ชนิดของผ้า	ความหยิก	เปอร์เซ็นต์ความหยิก
ผ้าฝ้าย		
เส้นยืน	0.0870	8.700
เส้นพุ่ง	0.0427	4.275

ผ้า T/C		
เส้นยืน	0.136	13.600
เส้นพุ่ง	0.0710	7.100
ผ้าพอลิเอสเตอร์		
เส้นยืน	0.1012	0.120
เส้นพุ่ง	0.0504	5.040

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความหยิกของเส้นด้ายในผ้าทอลายตัวน

ชนิดของผ้า	ความหยิกอ	เปอร์เซ็นต์ความหยิกอ
ผ้าฝ้าย		
เส้นยืน	0.0080	0.805
เส้นพุ่ง	0.0120	1.204
ผ้า T/C		
เส้นยืน	0.0070	0.703
เส้นพุ่ง	0.0101	1.014
ผ้าพอลิเอสเตอร์		
เส้นยืน	0.0070	0.700
เส้นพุ่ง	0.0167	1.675

4.3.2 การคำนวณหาความหยิกของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง

จะเห็นได้ว่าการขัดสานกันของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ทำให้เส้นด้ายเหล่านี้มีลักษณะเป็นคลื่น ระบายของคลื่นจะตั้งฉากกับระนาบของผ้า การเป็นคลื่นเรียกว่า "Crimp" และถูกแสดงเป็นปริมาณในรูปเศษส่วน (fraction, C) หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ (percentage, c%)

ค่าของ Crimp อาจแทนในเชิงปริมาณเป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ จากการแก้ระบบสมการข้างต้น เมื่อนำค่าที่คำนวณได้มาแทนในสมการคำนวณหาความหยิกก็ทำให้สามารถหาคำตอบได้ สมการหาความหยิกแสดงในสมการที่ 4.4

$$\text{Crimp} = \frac{(l_1 - p_2)}{P_2}$$

$$\% \text{Crimp} = \frac{(l_1 - p_2)}{P_2} \times 100 \quad (4.4)$$

เมื่อ l_i คือ ความยาวของผ้า
 p_{2i} คือ ความยาวของเส้นด้ายที่ไม่สิ้นไกล

4.3.3 ความหยิกงอของผ้าทอ

ในผ้าฝ้ายทอหลายชนิดผลการคำนวณของแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบของผ้าทอ ความหยิกงอของเส้นด้ายยืนและความหยิกงอของเส้นด้ายพุ่ง สามารถหาได้จาก 5 ตัวแปรดังต่อไปนี้

- 1) ความหนาแน่นของเส้นด้ายยืน
- 2) ความหนาแน่นของเส้นด้ายพุ่ง
- 3) เบอร์เส้นด้ายยืน
- 4) เส้นด้ายพุ่ง
- 5) ความหยิกงอของเส้นด้ายพุ่ง

ซึ่งตัวแปรทั้ง 5 ตัวนี้เมื่อนำมาแทนค่าในระบบสมการของแบบจำลอง ทำให้ทราบค่าความหยิกงอของเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายโดยในเบื้องต้นกำหนดให้

$$d = \frac{1}{28\sqrt{N}}$$

ตารางที่ 4.5 เป็นการคำนวณหาความหยิกงอของเส้นด้ายยืน ซึ่งคำนวณโดยอาศัยแบบจำลองของเพียช จะเห็นว่าบางโครงสร้างของผ้าทอ ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับผลการทดสอบผ้า ค่าผลการทดสอบที่ได้ยังไม่ใกล้เคียงกัน เมื่อให้ค่าปรับแก้ (k) มีค่าเท่ากับ 28 เนื่องจากเส้นด้ายในผ้าทอเมื่อถูกกดทับ ทำให้รูปร่างเปลี่ยนไปเป็นรูปร่างในลักษณะอื่นๆ ที่ไม่ใช่วงกลม เช่น วงรี สี่เหลี่ยมปลายมน หรือรูปเลนส์นูน เป็นต้น

เนื่องจากค่าปรับแก้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามโครงสร้างและชนิดของผ้าทอ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 เป็นค่าปรับแก้ของเส้นใย 3 ชนิดคือ ฝ้าย ฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ และพอลิเอสเตอร์ และทำการเปลี่ยนไปตามสภาพที่แตกต่างกันถึง 3 ภาวะ คือ ภาวะแบบแห้ง ภาวะแบบเปียกและภาวะแบบแห้งด้วยการอบให้แห้ง (Tumble dryer)

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความหยิกงอของเส้นด้ายฝ้ายในลายทอต่างๆ

ชนิดของผ้า	เบอร์ เส้นด้าย (Ne)	ความหนาแน่น ของเส้นด้าย/ ซม.	เปอร์เซ็นต์ความ หยิกงอจากการ ทดสอบ	เปอร์เซ็นต์ของความ หยิกงอที่ได้จาก แบบจำลองของเพียซ
ลายขัด				
เส้นยืน	60	19.824	4.25	2.63
เส้นพุ่ง	60	34.646	5.45	3.32
ลายทแยง 2/1				
เส้นยืน	30	51.181	8.7	4.46
เส้นพุ่ง	30	23.622	4.275	3.15
ลายตัวน				
เส้นยืน	16	37.402	0.805	0.530
เส้นพุ่ง	16	19.685	1.204	0.978

ดังนั้นเมื่อทราบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้าย มีการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อถูกกดทับในผ้าทอ จึงได้มีการคิดหาค่าปรับแก้ที่เหมาะสม (k) เพื่อให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบของผ้าทอมากที่สุด จึงมีการกำหนดค่าปรับแก้ (k) ใหม่และค่าปรับแก้นี้จะเปลี่ยนไปตามโครงสร้างของผ้า จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละโครงสร้างของผ้า หากมีจุดขัดสานกันแน่นในผ้าทอมากก็จะส่งผลทำให้ค่าปรับแก้มีค่ามากตามไปด้วย และในทำนองเดียวกันหากมีจุดขัดสานกันเบาในโครงสร้างผ้าก็จะทำให้ค่าปรับแก้มีค่าน้อยตามไปด้วย ดังในตารางที่ 4.6

ค่าปรับแก้ใหม่นี้จะทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งได้จากการปรับปรุงแบบจำลองของเพียซ อ้างอิงจากข้อมูลที่เคยมีการพัฒนาไว้ก่อนหน้านี้และจากข้อมูลการทดลอง โดยอาศัยภาวะของการผ่อนคลายในแบบต่างๆ ของผ้าทอแต่ละชนิดเส้นใยในผ้าทอ

ตารางที่ 4.6 ค่าปรับแก้จากการพัฒนาแบบจำลองใช้กับการคำนวณหาความหยิกงอ

ชนิดของผ้าทอ	ค่าปรับแก้ (k)
ลายขัด	46.82
ลายทแยง 2/1	34.07
ลายตัวน	30.64

4.4 ความหนาของผ้าทอ

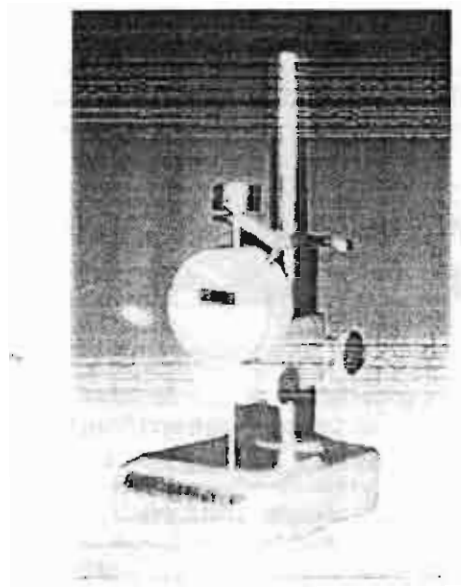
4.4.1 การทดสอบความหนาของผ้าทอ

4.4.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- 1) ผ้าที่ต้องการทดสอบ
- 2) Thickness tester
- 3) Interchangeable presser-feet
- 4) Means for moving the presser-foot
- 5) Gauge
- 6) นาฬิกาจับเวลา

4.4.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) ทำความสะอาด interchangeable presser-feet พร้อมทั้งตรวจสอบดูว่าเคลื่อนที่ได้
อย่างอิสระหรือไม่
- 2) ทำความสะอาด reference plate
- 3) ปรับ thickness gauge ให้อยู่ตรงที่เลขศูนย์
- 4) วางชิ้นผ้าที่ทำการทดสอบบน reference plate โดยจะต้องให้บริเวณที่จะทำการทดสอบ
เรียบมากที่สุด เพราะถ้ามีรอยยับจะทำให้ได้ผลที่ผิดพลาด
- 5) ค่อยๆ กด presser-foot ให้มากดทับบนผ้าใช้เวลา 30 วินาที ในการวัดนั้นใน 20% ของ
เวลา 30 วินาทีนั้น เข็มของ gauge จะต้องอยู่คงที่ตลอดถือว่าค่าที่วัดได้เป็นค่าที่ถูกต้องบันทึกผล
- 6) ทำการวัดความหนาของผ้าทั้งหมด 10 จุด โดยไม่ให้ซ้ำที่เดิม
- 7) นำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย
- 8) ถ้าค่าที่วัดได้ เกิน 0.1 mm. จะต้องมีความเที่ยงตรง 1%
- 9) ถ้าค่าที่วัดได้ไม่เกิน 0.1 mm. จะมีค่าใกล้เคียงกับ 0.001 mm.



รูปที่ 4.2 เครื่องทดสอบความหนาของผ้าทอ

4.4.1.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบหาความหนาของผ้า ซึ่งได้ทำการอธิบายวิธีการทดสอบไว้ในหัวข้อ 3.1.2 แล้ว นั้น ผลการทดสอบได้แบ่งออกตามชนิดภาวะของการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความหนาของผ้า (ภาวะแห้ง)

ครั้งที่	ความหนาของผ้า (เซนติเมตร)								
	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใย ฝ้าย	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใย ผสม (T/C)	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใยพอ ลิสเตอร์	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยฝ้าย	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยผสม (T/C)	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยพอล ิสเตอร์	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ผสม (T/C)	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ผสมพอล ิสเตอร์	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ผสมพอล ิสเตอร์
1	0.021	0.029	0.033	0.036	0.044	0.047	0.015	0.016	0.017
2	0.020	0.030	0.034	0.037	0.045	0.047	0.015	0.017	0.017
3	0.022	0.031	0.031	0.037	0.044	0.048	0.014	0.017	0.018
4	0.021	0.029	0.034	0.039	0.045	0.048	0.015	0.017	0.017
5	0.019	0.030	0.034	0.038	0.044	0.047	0.014	0.016	0.018
6	0.019	0.029	0.032	0.039	0.043	0.048	0.014	0.016	0.018
7	0.020	0.028	0.034	0.038	0.046	0.048	0.014	0.016	0.017
8	0.021	0.029	0.034	0.038	0.045	0.047	0.015	0.016	0.017
9	0.020	0.030	0.034	0.038	0.044	0.047	0.015	0.017	0.017

10	0.021	0.031	0.035	0.037	0.045	0.048	0.014	0.017	0.017
ค่าเฉลี่ย	0.0204	0.0296	0.0335	0.0377	0.0445	0.0475	0.0145	0.0165	0.0173

ผลการทดสอบหาความหนาของผ้าทอในตารางที่ 4.7 ผ้าก่อนที่ทำการทดสอบจะเก็บอยู่ในห้องควบคุมความชื้น และอุณหภูมิ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อให้ผ้ามีการผ่อนคลายตัวมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากที่สุด

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความหนาของผ้า (ภาวะเปียก)

ครั้งที่	ความหนาของผ้า (เซนติเมตร)								
	ผ้าทอลายขัดเส้นใยฝ้าย	ผ้าทอลายขัดเส้นใยผสม (T/C)	ผ้าทอลายขัดเส้นใยพอลิเอสเตอร์	ผ้าทอลายทแยงเส้นใยฝ้าย	ผ้าทอลายทแยงเส้นใยผสม (T/C)	ผ้าทอลายทแยงเส้นใยพอลิเอสเตอร์	ผ้าทอลายตัวนเส้นใยฝ้าย	ผ้าทอลายตัวนเส้นใยผสม (T/C)	ผ้าทอลายตัวนเส้นใยพอลิเอสเตอร์
1	0.021	0.030	0.034	0.046	0.044	0.048	0.015	0.017	0.018
2	0.022	0.030	0.033	0.045	0.045	0.048	0.015	0.016	0.017
3	0.022	0.031	0.033	0.047	0.046	0.047	0.014	0.016	0.018
4	0.022	0.029	0.033	0.046	0.044	0.047	0.015	0.017	0.018
5	0.021	0.030	0.034	0.046	0.044	0.047	0.015	0.017	0.018
6	0.020	0.030	0.035	0.046	0.044	0.048	0.015	0.017	0.017
7	0.023	0.029	0.034	0.047	0.044	0.048	0.015	0.016	0.017
8	0.022	0.031	0.034	0.046	0.046	0.048	0.015	0.016	0.018
9	0.022	0.030	0.035	0.046	0.045	0.047	0.014	0.016	0.017
10	0.022	0.030	0.034	0.046	0.045	0.048	0.014	0.016	0.017
ค่าเฉลี่ย	0.0217	0.0300	0.0339	0.0461	0.0447	0.0476	0.0148	0.0169	0.0175

จากตารางที่ 4.8 เป็นผลการทดสอบความหนาของผ้าทอ ผ้าเหล่านี้ถูกทำให้เปียกโดยการนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นจึงทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาทีเพื่อให้ผ้าแห้งออกจากผ้าจำนวนหนึ่ง จากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อนำค่าที่เปลี่ยนแปลงไป คำนวณหาค่าปรับแก้ (k) ของผ้าที่อยู่ในภาวะที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความหนาของผ้า (ภาวะTumble dryer)

ครั้งที่	ความหนาของผ้า (เซนติเมตร)								
	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใย ฝ้าย	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใย ผสม (T/C)	ผ้าทอ ลายขัด เส้นใยพอ ลิสเตอร์	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยฝ้าย	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยผสม (T/C)	ผ้าทอ ลาย ทแยงเส้น ใยพอลิส เตอร์	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ฝ้าย	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ผสม (T/C)	ผ้าทอ ลายตัว เส้นใย ผสมพอล ิสเตอร์
1	0.026	0.033	0.046	0.054	0.045	0.049	0.015	0.017	0.018
2	0.027	0.032	0.044	0.052	0.048	0.048	0.015	0.017	0.018
3	0.026	0.032	0.044	0.051	0.046	0.049	0.015	0.018	0.018
4	0.026	0.033	0.045	0.053	0.045	0.048	0.015	0.017	0.018
5	0.025	0.032	0.046	0.051	0.046	0.048	0.015	0.017	0.018
6	0.026	0.034	0.045	0.052	0.045	0.049	0.015	0.017	0.018
7	0.025	0.034	0.045	0.053	0.046	0.049	0.014	0.018	0.017
8	0.026	0.033	0.045	0.051	0.046	0.049	0.015	0.018	0.018
9	0.027	0.034	0.046	0.052	0.045	0.049	0.015	0.018	0.018
10	0.025	0.032	0.044	0.053	0.045	0.049	0.015	0.016	0.017
ค่าเฉลี่ย	0.0259	0.0329	0.0450	0.0522	0.0457	0.0487	0.0149	0.0173	0.0178

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลการทดสอบความหนาของผ้า ผ้าที่ทำการทดสอบต้องนำไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อให้เส้นใยในผ้าซึมซับน้ำหลังจากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน แล้วพักไว้เป็นเวลา 45 นาทีจึงนำผ้ามาทำการทดสอบ

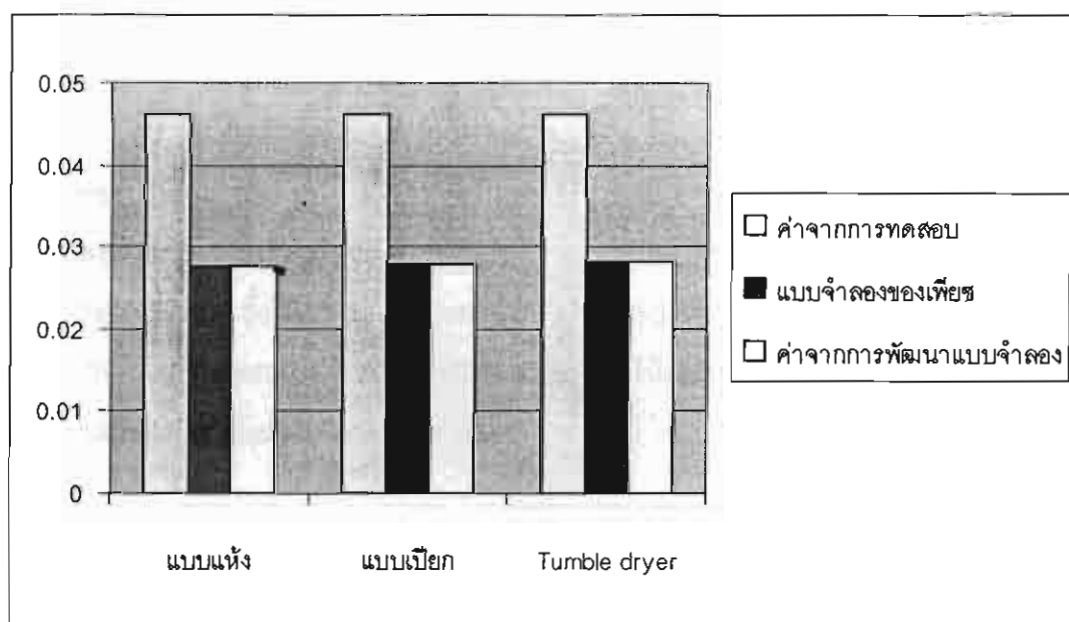
เมื่อเปรียบเทียบความหนาของผ้าทอทั้ง 3 ภาวะการทดสอบ คือ เปียก แห้ง และแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง (Tumble dryer) ผลการทดสอบความหนาของผ้าทอที่ภาวะ Tumble dryer มีความหนามากกว่าภาวะแห้งและภาวะเปียก

4.4.2 การคำนวณความหนาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยปกติแล้วหากต้องการทราบค่าความหนาบางของผ้าทอก็สามารถหาได้จาก การแก้สมการในแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าทอ ซึ่งผลจากการแก้ระบบสมการเชิงเรขาคณิตของผ้าทอโดยพื้นฐานแบบจำลองของเปียกทำให้ ค่าที่ได้จากการแก้ระบบสมการนั้นยังไม่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบของผ้าทอจริง สาเหตุเนื่องจากในแบบจำลองของเปียกนั้นยังตั้งอยู่บนสมมติที่ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายในผ้าทอ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แต่ในหลักการความเป็นจริงแล้วเมื่อเส้นด้ายในผ้าทอมีจุดขัดสานกันทำให้เส้นด้าย ได้รับแรงถูกกดทับจากเส้นด้ายในบริเวณที่

ใกล้เคียงกัน เช่น เส้นด้ายยืนจะถูกกดทับจากเส้นด้ายพุ่งและขณะเดียวกันเส้นด้ายพุ่งก็จะถูกกดทับจากเส้นด้ายยืนเป็นผลทำให้เส้นด้ายได้รับแรงกดทับ ดังนั้นรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นด้ายจึงเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบที่แตกต่างกันในหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับแรงกดทับที่ได้รับมากหรือน้อย กล่าวคือหากได้รับแรงกดทับน้อยเส้นด้ายในผ้าทอก็เปลี่ยนรูปร่างไปเพียงเล็กน้อย เช่น รูปวงรี หรือสี่เหลี่ยมปลายมุมมน แต่หากเส้นด้ายในผ้าทอได้รับแรงกดทับมากรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นด้ายก็อาจจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างภาคตัดขวางเป็นรูปเลนส์นูน ซึ่งเหตุผลดังที่ได้กล่าวมานั้นเป็นผลทำให้ ความหนาบางของผ้ามีค่ามากน้อยไม่เท่ากัน ในแต่ละโครงสร้างของผ้าทอ

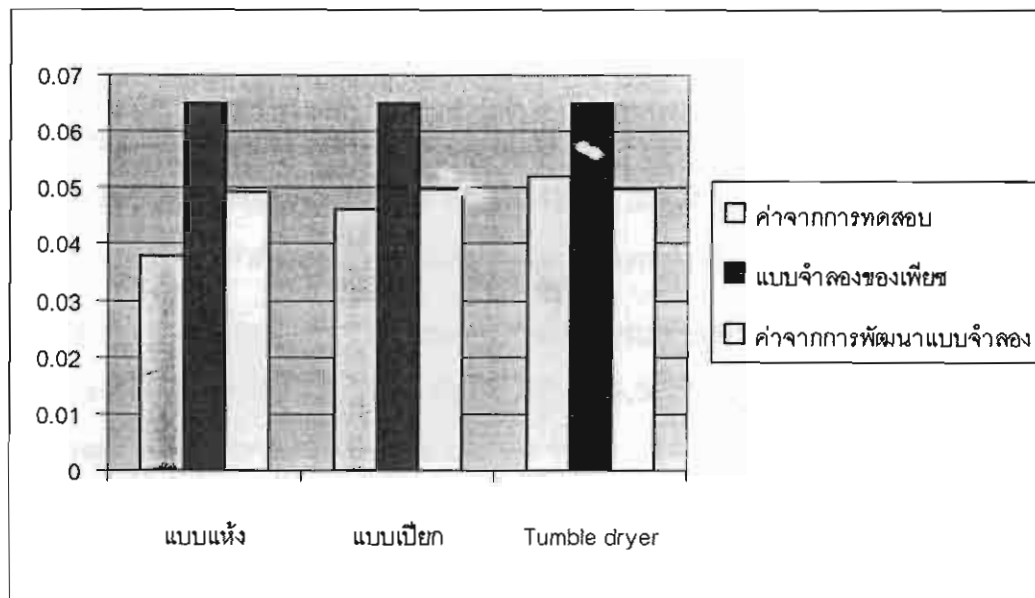
นอกจากนี้แล้วอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ ความหนาของผ้าทอมีค่าเปลี่ยนแปลงไปคือการผ่อนคลายของผ้าทอที่ใน ภาวะที่แตกต่างกัน เช่น ในภาวะเปียกกับภาวะแห้ง ความหนาของผ้าทอก็แตกต่างกันไปเนื่องจากการบวมตัวของเส้นใยในผ้าทอ หรือการหดตัวของเส้นใยที่อยู่ในผ้าทอ หรือแม้กระทั่งช่องว่างของอากาศที่อยู่ภายในของเส้นด้าย ก็เป็นผลทำให้ขนาดของเส้นด้ายในผ้าทอมีขนาดเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.3 ความหนาของผ้าทอฝ้ายลายขัดที่ภาวะต่างกัน

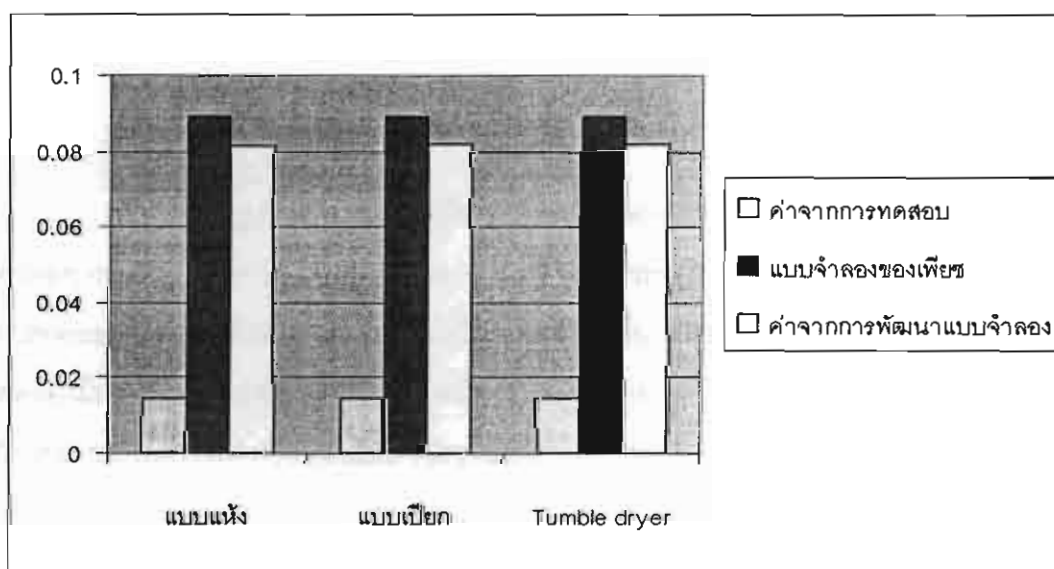
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองกับผลการทดสอบ ในแบบจำลองของเปียชนั้นความถูกต้องยังน้อยอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้พื้นฐานแบบจำลองของเปียช เหตุผลเนื่องจากในแบบจำลองของเปียชเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายเป็นวงกลมเสมอเมื่อมีแรงกดทับ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของเปียชจะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบของผ้าทอจริงอยู่มากด้วยเหตุผลข้างต้น เมื่อมีการพัฒนาแบบจำลองให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นด้ายเปลี่ยนแปลงไป ตามโครงสร้างของผ้าทอแต่ละชนิดแสดงให้เห็นว่า

ค่าที่ได้จากผลการทดลอง กับค่าที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 ความหนาของผ้าทอฝ้ายลายทแยง 2/1

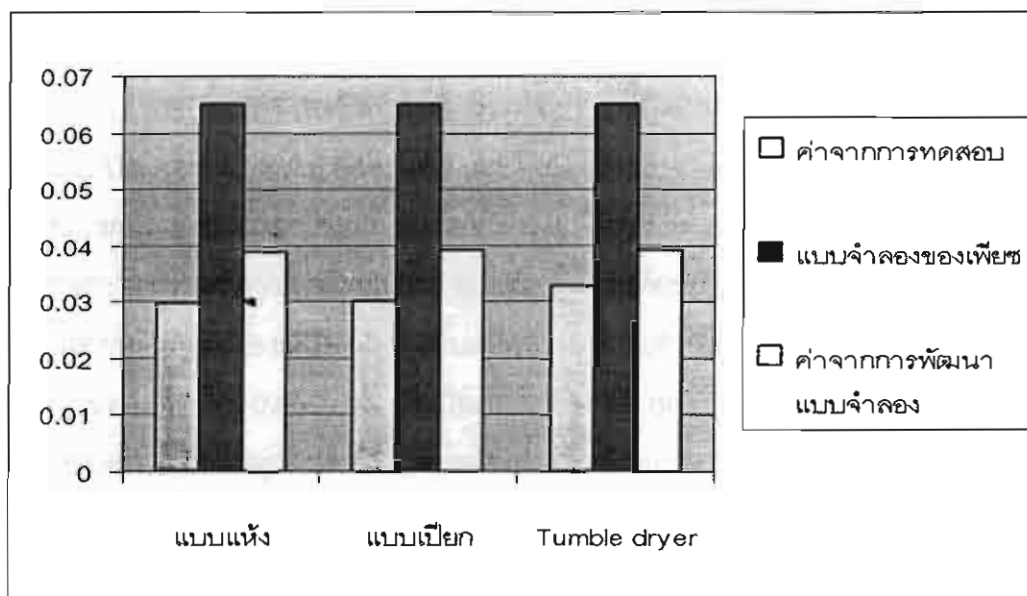
จากรูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง ในภาวะแบบแห้งด้วยกันแล้วค่าผลการทดลองระหว่างแบบจำลองของพืชกับค่าผลการทดลองจากการพัฒนาแบบจำลอง ค่าผลการทดลองจากการพัฒนาแบบจำลอง มีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองของพืช ซึ่งได้ค่าผลการทดลองเท่ากับ 0.0493 ซม. ค่าจากการทดลองผ้าทอเท่ากับ 0.0377 ซม. มีความแตกต่างกันอยู่ 0.166 ซม. และแนวโน้มของความหนาเพิ่มขึ้น ในภาวะแบบแห้ง แบบเปียก และ Tumble dryer ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ความหนาของผ้าทอฝ้ายลายตัวน

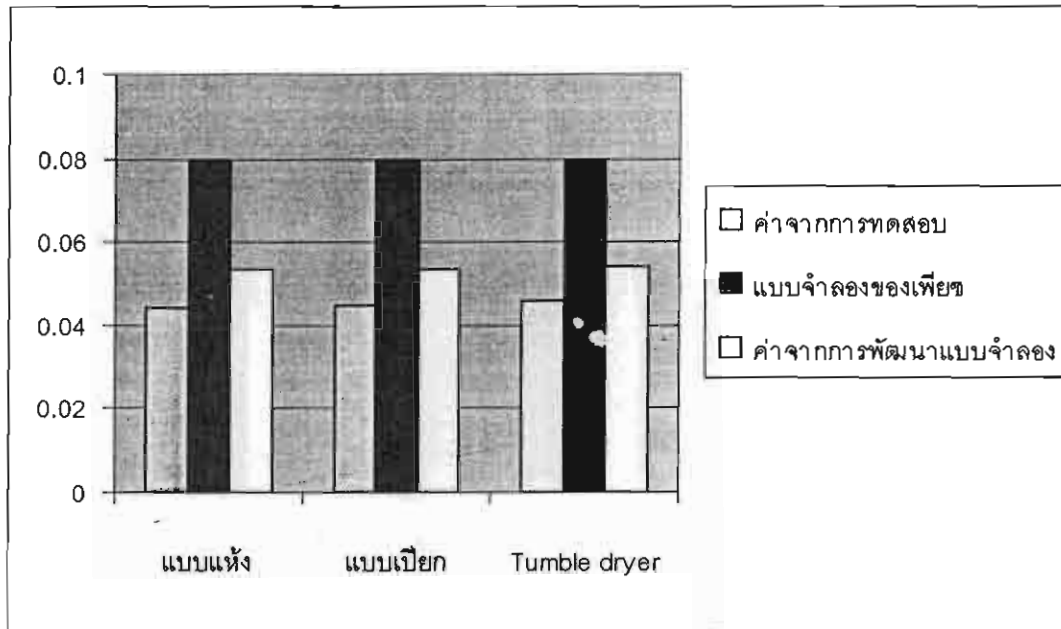
จากรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบผ้าทอจริงกับผลการทดลอง จากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากในผ้าทอลายตัวนมีจุดขัดสานกันค่อนข้างน้อย เมื่อนำค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางมาแทนในสมการของแบบจำลองทำให้ค่าผลการทดลองเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าทอในทุกภาวะผลการทดลองมีความใกล้เคียงกัน ค่าผลการทดลองที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองเปรียบเทียบกันทุกภาวะ ในภาวะแบบแห้งค่าผลการทดสอบเท่ากับ 0.0815 ซม. ภาวะแบบเปียกเท่ากับ 0.817 ซม. และภาวะแบบ Tumble dryer เท่ากับ 0.0821 ซม.

ผลการทดลองจากแบบจำลองของพืชเมื่อเปรียบเทียบกันทุกภาวะของการทดสอบ ผลการทดลองที่ได้มีค่าเท่ากันในทุกภาวะ คือมีค่าเท่ากับ 0.0892 ซม. แต่ไม่ใกล้เคียงกับค่าจากผลการทดสอบคือมีค่าผลการทดสอบดังต่อไปนี้ ในภาวะแบบแห้งเท่ากับ 0.0145 ซม. ในภาวะแบบเปียก 0.0148 ซม. และในภาวะแบบ Tumble dryer 0.0149 ซม.



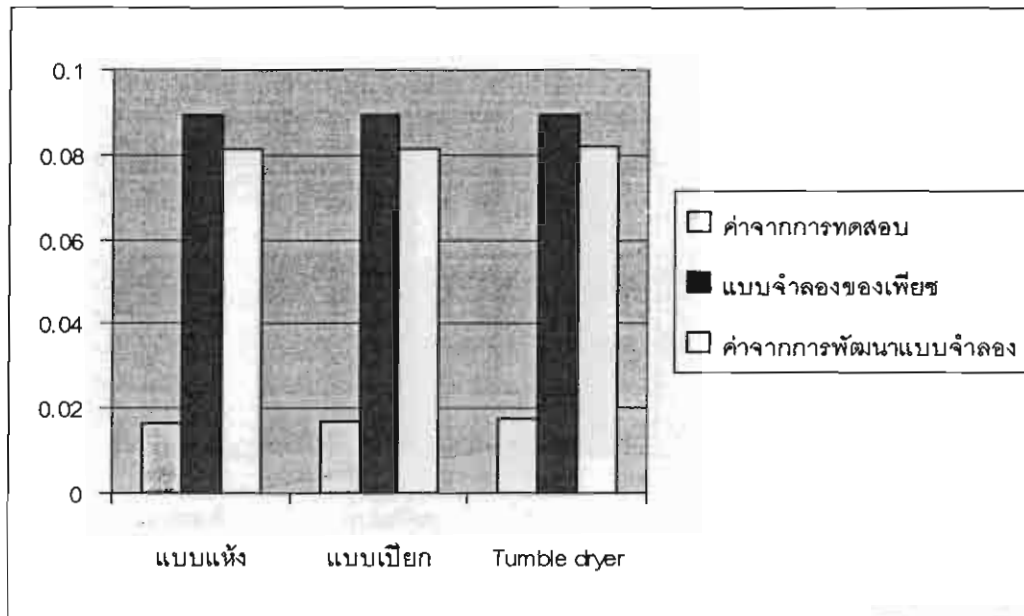
รูปที่ 4.6 ความหนาของผ้าทอฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ (T/C) ลายขัด

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองของพืชกับค่าผลการทดลองที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองค่าผลการทดลองทั้งสองนี้ในเส้นใย (T/C) มีค่าผลการทดลองเปลี่ยนไปน้อยมาก เมื่อเทียบกับชนิดเส้นใยอื่นๆ ที่ภาวะแตกต่างกันออกไป ผลจากการทดลองมีลายระเอียดดังนี้ ในภาวะแบบแห้งค่าผลการทดลองที่ได้คือ การนำผ้าไปทดสอบจริงหนา 0.0296 ซม. ผลการทดลองจากแบบจำลองของพืช 0.0652 ซม. และผลการทดลองการพัฒนาแบบจำลอง 0.0386 ซม. ค่าผลการทดลองจากการพัฒนาแบบจำลองมีความถูกต้องมากกว่าค่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองของพืช 0.266 ซม.



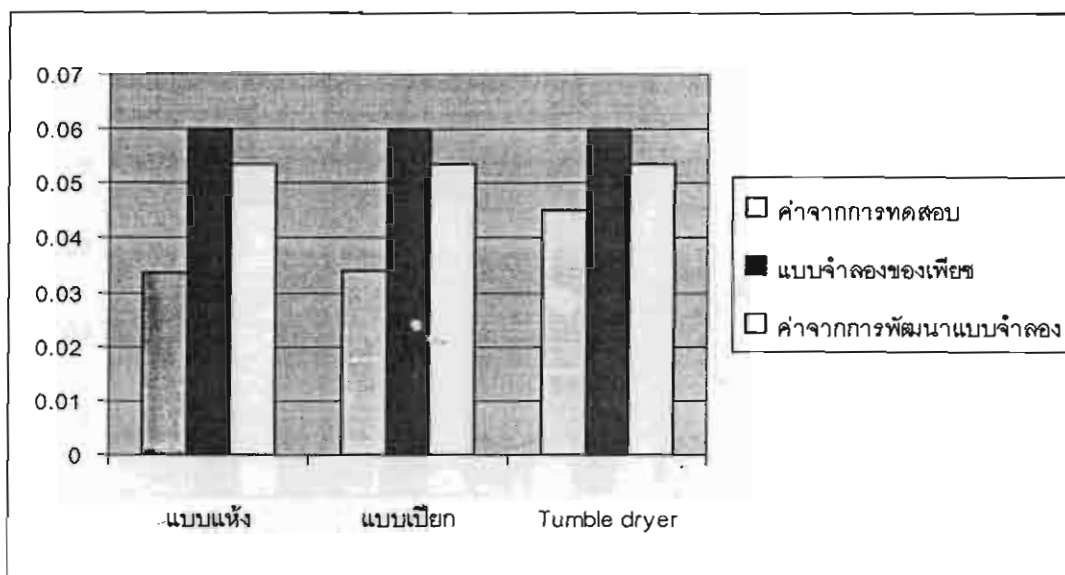
รูปที่ 4.7 ความหนาของผ้าทอฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ (T/C) ลายทแยง 2/1

จากรูปที่ 4.7 เป็นผลการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบความหนาของผ้าฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ ลายทแยง 2/1 ผลการทดสอบของผ้าทอจริงในภาวะแบบแห้งมีความหนาเท่ากับ 0.0445 ซม. ในภาวะแบบเปียกมีความหนา 0.0447 ซม. และในภาวะแบบ Tumble dryer มีความหนาเท่ากับ 0.057 ซม. ผลการทดสอบความหนาของผ้าเพิ่มขึ้น และความหนาจากแบบจำลองของเปียกในทุกภาวะของการทดสอบมีความหนา 0.0798 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากการพัฒนาแบบจำลองความหนาของผ้าในภาวะแบบแห้งความหนาเท่ากับ 0.0535 ซม. ภาวะแบบเปียกความหนาของผ้าเท่ากับ 0.0538 ซม. และในภาวะ Tumble dryer มีความหนา 0.0539 ซม. ซึ่งผลการทดสอบความหนาในทุกภาวะของการทดสอบแบบ Tumble dryer ความหนาของผ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น



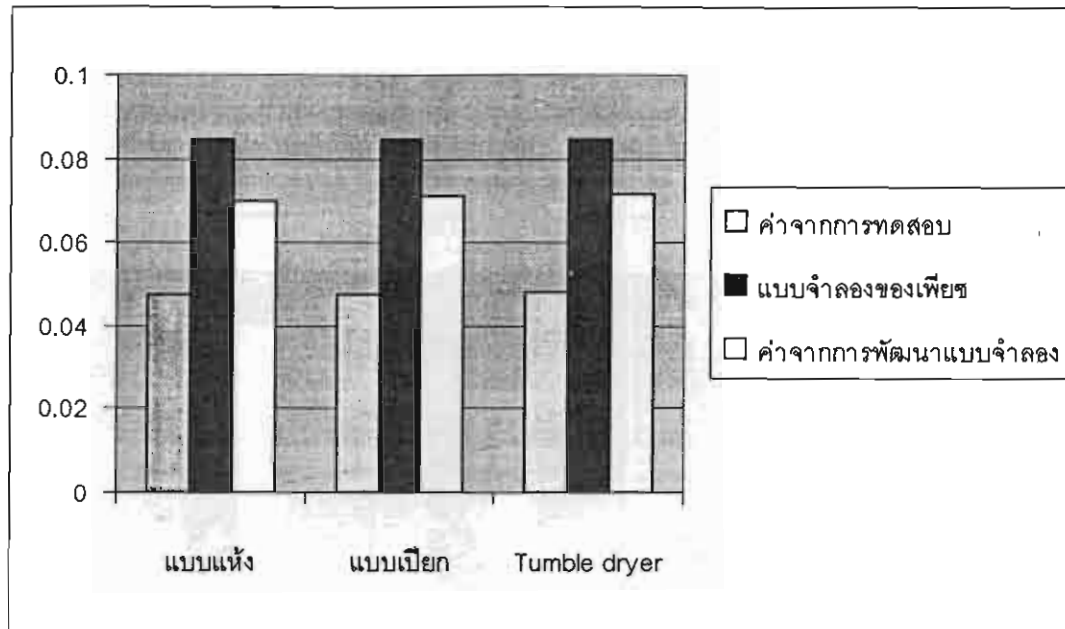
รูปที่ 4.8 ความหนาของผ้าทอฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ (T/C) ลายตัวน

จากรูปที่ 4.8 เป็นผลการเปรียบเทียบความหนาของผ้าทอฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ลายตัวน ความหนาจากการทดสอบผ้าทอจริงในภาวะแบบแห้งมีความหนา 0.0165 ซม. ภาวะแบบเปียกมีความหนา 0.0169 ซม. และในภาวะแบบ Tumble dryer มีความหนา 0.0173 ซม. ซึ่งความหนามีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และความหนาที่ได้จากแบบจำลองของพืชในทุกภาวะของการทดลองมีความหนาเท่ากับ 0.0892 ซม. เมื่อเปรียบเทียบความหนาจากการพัฒนาแบบจำลองมีรายละเอียดดังนี้ ความหนาของผ้าในภาวะแบบแห้ง 0.0815 ซม. ในภาวะแบบเปียก 0.0816 ซม. ในภาวะแบบ Tumble dryer มีความหนาของผ้าเป็น 0.0822 ซม. ซึ่งความหนาของผ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับผลการทดสอบผ้าทอจริง



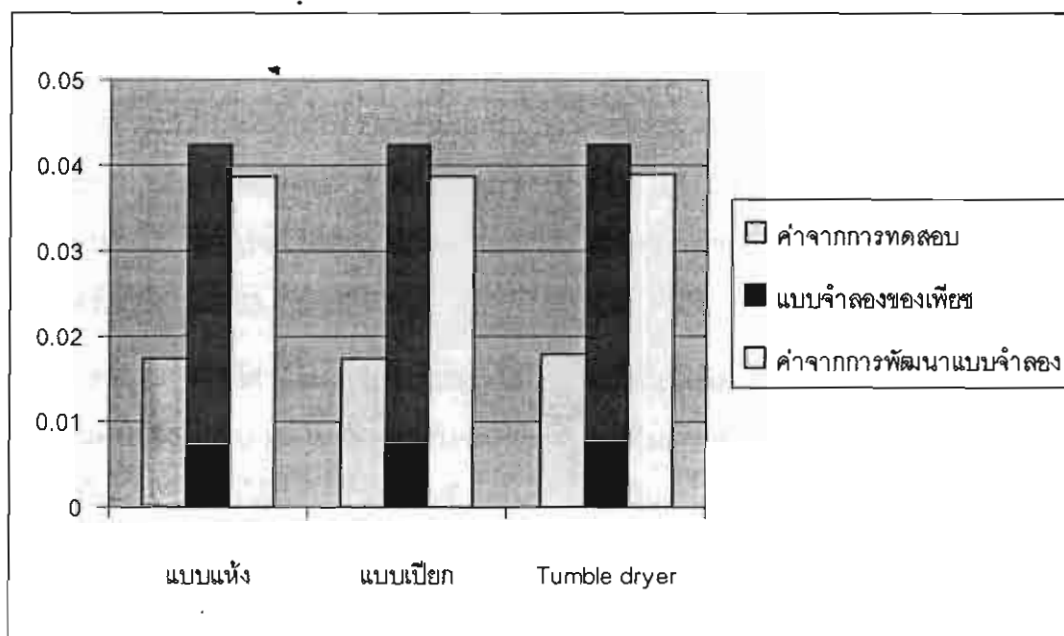
รูปที่ 4.9 ความหนาของผ้าทอพอลิเอสเตอร์ลายขัด

จากรูปที่ 4.9 เป็นการอธิบายความหนาของผ้าทอพอลิเอสเตอร์ 100% ในการทดสอบแบบแห้ง แบบเปียกและแบบ Tumble dryer เปรียบเทียบจากการทำการทดสอบจากการนำผ้าทอจริงไปทำการทดสอบ ผลการทดลองจากแบบจำลองของเปียชและจากการพัฒนาแบบจำลอง มีรายละเอียดดังนี้ ผลการทดสอบผ้าทอจริงในภาวะการทดสอบแบบแห้งมีความหนา 0.0335 ซม. แบบเปียกมีความหนา 0.0339 ซม. ในภาวะแบบ Tumble dryer มีความหนา 0.0450 ซม. ค่าความหนาของผ้าทอจากแบบจำลองของเปียชในทุกภาวะการทดสอบมีความหนา 0.06 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองในภาวะแบบแห้งมีความหนา 0.0535 ซม. แบบเปียกมีความหนา 0.0535 ซม. และในภาวะแบบ Tumble dryer มีความหนา 0.0537 ซม. จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าความหนาของผ้าจากการพัฒนาแบบจำลอง ในภาวะแห้งกับภาวะเปียกมีความหนาเท่ากันคือ 0.0535 ซม.

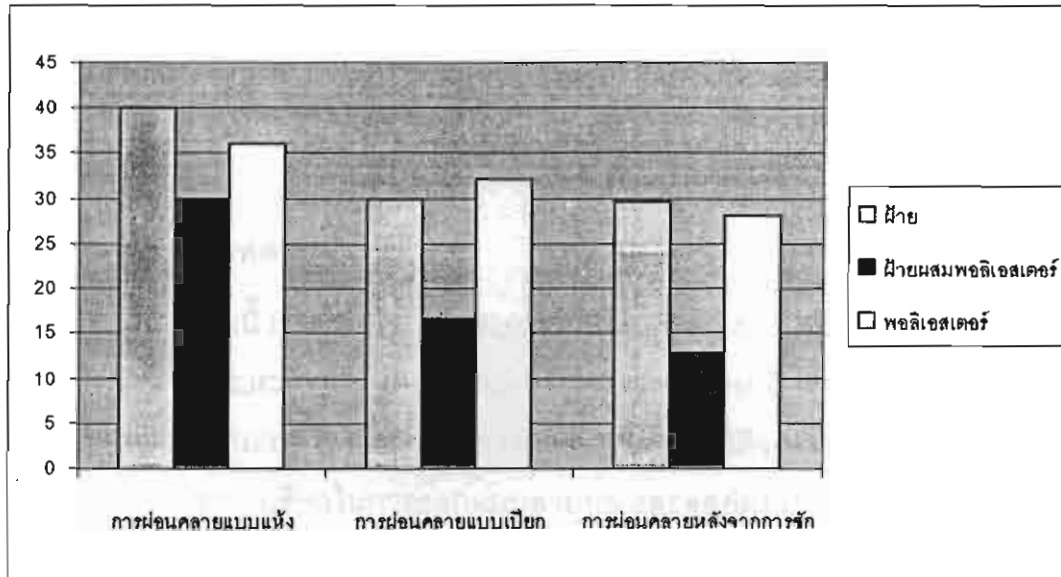


รูปที่ 4.10 ความหนาของผ้าทอพอลิเอสเตอร์ลายทแยง 2/1

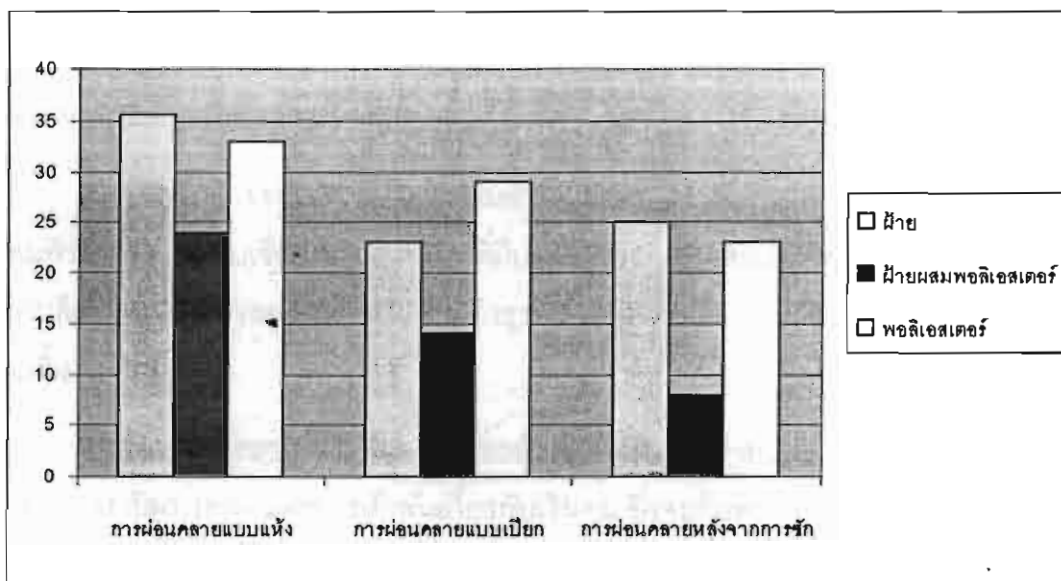
จากรูปที่ 4.10 ความหนาจากการทดสอบของผ้าทอจริง ความหนาจากแบบจำลองของพืช และความหนาจากการพัฒนาแบบจำลอง ในรายละเอียดแต่ละภาวะของการทดสอบมีความหนาใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.11 ความหนาของผ้าทอพอลิเอสเตอร์ลายตัวน



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าปรับแก้ (k) จากสภาวะการผึ่งนคลายของผ้าทอลายทแยง 2/1



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าปรับแก้ (k) จากสภาวะการผึ่งนคลายของผ้าทอลายตัวน

จากรูปที่ 4.13 และ 4.16 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าปรับแก้ (k) ของผ้าทอลายทแยง 2/1 และผ้าทอลายตัวน ผลการทดลองพบว่าค่าปรับแก้มีแนวโน้มลดลงจากสภาวะการผึ่งนคลายแบบแห้ง เปียกและ Tumble dryer ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในสภาวะแบบ Tumble dryer มีการผึ่งนคลายมากที่สุดจึงทำให้ค่าปรับแก้มีค่าลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ เราสามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้เข้าไปประยุกต์ใช้และพัฒนาในอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยเฉพาะกระบวนการทอ การผลิตผ้าผืน และด้านเสื้อผ้า ซึ่งทางโรงงานสิ่งทอสามารถใช้โปรแกรมการจำลองภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มทางเลือกในการออกแบบลายทอ และลดอัตราความบกพร่องในระหว่างกระบวนการทอ

ผู้ใช้โปรแกรมสามารถออกแบบลายทอใหม่ๆ ได้ตามต้องการ และตัดสินใจเลือกลายทอได้จากภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ทำการจำลองขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดขนาด, ความหนาแน่น มุมการทอ (weave angle) และสีของเส้นด้ายได้ตามต้องการ ทำให้ลายที่ออกแบบได้มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น

ปัจจุบันสื่อสารสนเทศเข้ามามีความสำคัญกับระบบธุรกิจ และการรวมกันเป็นกลุ่มของคอมพิวเตอร์ที่มีระบบเชื่อมโยงการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ เป็นตัวบ่งบอกถึงการปฏิวัติทางด้านการผลิต ในการก่อตัวของความสัมพันธ์เชิงธุรกิจ และการพัฒนาของส่วนแบ่งทางการตลาดที่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น จะส่งเสริมให้โรงงานผ้าทอ กล้าพอที่จะเผชิญหน้ากับการจัดการ วัฒนธรรม และการพัฒนาเกี่ยวกับเงินทุน ซึ่งจะค้นพบได้ด้วยตัวมันเองในจุดที่จะแข่งขันกับตลาดโลก

โปรแกรมการจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิงที่สามารถทำการวิจัยได้นี้ มีหน้าที่การใช้งานได้ดังนี้

- 1) สามารถป้อนค่าลายทอ, ค่าความหนาแน่นของเส้นด้าย และมุมที่ใช้ในการทอเข้าไปในโปรแกรมได้ตามต้องการ (Fabric input value selection)
- 2) สามารถทำการจำลอง yarn path ของแต่ละลายทอได้ทั้งในแนว warpwise และ weftwise (Fabric 2D and yarn path simulation)
- 3) สามารถทำการจำลองลวดลายการทอ (weave pattern) ซึ่งเหมือนกับการเขียนลายทอลงบนกระดาษออกแบบลายทอ

4) สามารถทำการจำลองภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ (Fabric 3D structure simulation)

5) สามารถทำการจำลอง yarn path ในสภาวะ jammed (jammed condition)

และจากการทดสอบสมบัติเชิงโครงสร้างได้แก่ ความหนา และความหยิกงอ ของผ้าทอที่ทำจากเส้นใย 3 ชนิดได้แก่ ฝ้าย ฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์และพอลิเอสเตอร์ ในโครงสร้างลายทอ ลายขัด ลายทแยง 2/1 และลายตัวน ที่ภาวะแห้ง เปียก และปั่นแห้ง พบว่า โครงสร้างของลายผ้า และความหนาแน่นของเส้นด้ายในผ้าทอมีผลต่อความหนาและความหยิกงอของเส้นด้าย โดยที่ภาวะปั่นแห้ง ผ้าทอมีความหนาเพิ่มขึ้นมากกว่าภาวะแห้งและภาวะเปียก โดยเมื่อนำผลการทดสอบ มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองของเพียช พบว่ามีค่าแตกต่างกันมาก จากการทดลองปรับปรุงแบบจำลองโดยการหาค่าปรับแก้ที่เหมาะสม โดยการคำนวณจากความหยิกงอ และคำนวณจากความหนา พบว่าเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองโดยใช้ค่าปรับแก้ มาเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบอีกครั้ง ค่าปรับแก้ที่คำนวณได้จากความหยิกงอจะให้ผลที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าค่าปรับแก้ที่คำนวณได้จากความหนา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง จะพบปัญหาเกี่ยวกับการเลือกสีของเส้นด้าย ในกรณีที่เลือกสีเส้นด้ายเป็นสีอ่อนๆ เมื่อภาพจำลองถูกสร้างขึ้น สีของเส้นด้ายที่ถูกจำลองขึ้นจะแสดงออกเป็นโทนสีเทา เนื่องจากการอ่านค่าสีในภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิงยังมีข้อจำกัด ทำให้การแปลค่าสีที่เลือกจากในโปรแกรม ได้สีที่เพี้ยนไปจากสีจริงที่เลือกไว้ นอกจากนี้สีของเส้นด้ายที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ จะแสดงออกได้เฉดสีไม่ตรงกับเฉดสีที่เลือกจากกล่องโต้ตอบเพื่อเลือกสีเส้นด้าย ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับข้างต้นที่ได้กล่าวถึงแล้ว

แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาในอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยโดยเฉพาะกระบวนการทอ การผลิตผ้าผืน ซึ่งทางโรงงานสิ่งทอสามารถใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไปแก้ปัญหาในการตัดสินใจ ในการผลิตผ้าให้ได้ตรงตามความต้องการมากที่สุด เนื่องจากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ทำให้สามารถทราบถึงแนวโน้มของสมบัติเชิงโครงสร้างของผ้าทอก่อนที่จะทำการผลิต คือ ความหยิกงอที่เกิดขึ้น ความหนาของผ้าที่จะทำการทอ แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นประโยชน์กับโรงงานทอผ้า ในด้านการลดเวลาและต้นทุนของเสียที่จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทดลองทอ ส่งผลทำให้สามารถแข่งขันในด้านคุณภาพและราคาในตลาดโลกได้ ในยุคที่มีการแข่งขันสูงในปัจจุบันและอนาคตต่อไปได้

ค่าปรับแก้ของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของผ้าทอ ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถทำนายแนวโน้มสมบัติเชิงกลของผ้าทอได้ แต่พบว่าการแก้ระบบสมการ จะต้องใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมาก จึงอาจต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของแต่ละโครงสร้างผ้าทอ เพื่อเพิ่มตัวแปรที่ทราบค่าให้แก่ระบบสมการเชิงเรขาคณิตตามแบบจำลองของเพียซ

เอกสารอ้างอิง

- เจนวิทย์ เหลืองอร่าม และ ปิยวิทย์ เหลืองอร่าม, *การเขียนโปรแกรมสำหรับ Client/Server ด้วย Visual Basic 6 และ ASP, VBScript, Access, SQL Server*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544: หน้า 721-724.
- ชีวาวัฒน์ บุญศิวนนท์, *VRML เทคนิคการสร้างกราฟิก 3 มิติบนอินเทอร์เน็ต*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544.
- ยุพินศรี สายทอง, *หลักการทอเบื้องต้น, งานทอ*. พิมพ์ครั้งที่ 1, วังบูรพา กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2528: หน้า 1-3.
- อัจฉราพร ไชยะสูตร, *การออกแบบทอ, การออกแบบลายผ้าและเทคนิคการพิมพ์*. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สหประชาพาณิชย์, 2524.
- อัจฉราพร ไชยะสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, *การทอและการถักผ้ายัด, วิศวกรรมสิ่งทอ*. กรุงเทพฯ: บริษัท ดวงกลม จำกัด, 2520: หน้า 105-106.
- Ames A.L., Nadeau D.R., Moreland J.L. *The VRML Sourcebook*. New York: Wiley., 1996.
- Bell G., Parisi A., Pesco M., *The Virtual Reality Modeling Language, Version 1.0C Specification*. London: Elsevier., 2001.
- Chen, X., Knox, R.T. McKenna, D.F. and Mather, R.R., Automatic Generation of Weaves for the CAM of 2D and 3D Woven Textile Structures, *Journal Textile Institute*, 1996, **87**(2), Part 1, 356.
- Chen, X, and Potiyaraj P., CAD/CAM for Complex Woven Fabrics Part I: Backed Cloths, *Journal Textile Institute*, 1998, **89**(3), Part I, 532.
- Chen, X, and Potiyaraj P., Mather, R.R., McKenna, D.F. and Knox R.T., Modeling and Simulation Systems for 3D Complicated Woven Structure, *Textile Asia*, 1998, **29**(10), 33.
- Fujita T., Warp Lifting Plan of Weaving Calculated with Matrices. *Journal Textile Mechanical Society*. Japan (Eng Ed.), 1962a, **8**(1), 29.

- Go Y., Matsushashi F., and Shinohara A., Fundamental Studies on the Textile Weaves, Journal Society Textile Cellulose Industry, Japan, 1961, 17, 989.
- Jeon B.S., Chun S.Y., and Hong C.J., Structural and Mechanical Properties of Woven Fabrics Employing Peirce's Model. *Textile Research Journal*, 73 (2003): 929-933.
- Kemp, A. An Extension of Pierce 's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular threads, *Journal of the Textile Institute*. 49:T44-T48, 1958.
- Leandro Soares Indrusiak, Ricardo Augusto da Luz Reis, 3D integrated circuit Layout visualization using VRML. *Future Generation Computer Systems*.:17 (2001)
- Leaf, G. The Mechanics of Plain Woven Fabrics, *International of Clothing Science and Technology*. 16 (2004) : pp. 97-107.
- Love, L. Graphical Relationships in Cloth Geometry for Plain, Twill and Sateen Weaves. *Textile Research Journal*. 24(12)(December 1954) : pp.1073-1083.
- Panadiker R. and Pourdeyhimi B., Computer-aided Woven Fabric Design: Determination of Weave Size in Twill Weaves, *Ars Textma*, 1989, 12, 93.
- Peirce, F. T. The Geometry of Cloth Structure. *Journal of Textile Institute* 28 (1937): 45-76.

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ

1. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

ได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง Identification and Simulation of Woven Fabric เพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร Textile Research Journal (impact factor = 0.557) ขณะนี้ยังอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาของบรรณาธิการ

2. การนำเสนอผลงานในการประชุมระดับนานาชาติ

นำเสนอผลงานแบบบรรยายในที่ประชุมระดับนานาชาติ The Textile Institute 83rd World Conference "Quality Textiles for Quality Life" ณ ShanghaiMart, Shanghai, China ระหว่างวันที่ 23 – 27 พฤษภาคม 2547 โดยมีผู้เข้าร่วมการประชุมกว่า 400 คน จาก 33 ประเทศ

3. การผลิตบัณฑิต

มีนิสิตระดับมหาบัณฑิต 1 คน นายนิพนธ์ พนมเขต ได้ทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องที่เกี่ยวข้องเรื่อง "การทำนายสมบัติเชิงโครงสร้างของผ้าทอบนพื้นฐานแบบจำลองของเพียซ" โดยสำเร็จการศึกษาในภาคการศึกษาปลายปีการศึกษา 2547

ภาคผนวก ก
ร่างบทความที่ส่งให้กับ
วารสาร Textile Research Journal

Identification and Simulation of Woven Fabric Structures

P. Potiyaraj and W. Udomkichdecha

*Center of Excellence in Textiles, Department of Materials Science Faculty of Science,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330 THAILAND*

Abstract

Weave patterns affect end-use properties of woven fabrics. Identification of weave patterns has been done traditionally by visual evaluation. This is prone to errors as depends on the skill of inspectors. In addition, three-dimensional simulation of woven fabric structures has been done for some years but limited to high performance computers and long rendering times. As performance of computers become much more powerful, the simulation can be accomplished using ordinary computers with shorter rendering times. This research aims to develop an algorithm and a computer program for identification of weave which was then simulated as a three-dimensional image of the woven fabric structure using VRML (virtual reality modeling language) based on geometrical models. The fabric images were analyzed by calculation color differences between each pixel. It was found that color different data obtained directly could not be used. Thus, the autocorrelation technique was performed on the image prior to the calculation. A diagram acquired from the calculated color differences were made available. Position of each yarn float was then obtained by detecting upper and lower peak of the curve in the diagram. Length of each float can be obtained using information about yarn size. A Visual Basic program was developed based on the above algorithm. Images of a square-inch woven fabric were obtained using an ordinary scanner with resolution of 600 dots per inch and saved in bitmap format. Users were asked to specify the scanning lines, vertically and horizontally. Weave pattern was then displayed. It was found that preciseness of the program to analyze number of yarns in each direction and the weave pattern can be identified depended on the selected scanning lines. Average scanning time for each fabric is around 15 seconds. As for weave simulation, warp and weft yarn paths were constructed according to weave patterns. Three-dimensional image of each yarn was created by the extrusion method that is a cross-sectional image was swept along the yarn path. The generated warp and weft yarn images were

assembled to form the woven fabric structure. A user-friendly program for simulating woven fabric structures was developed using Visual Basic language. In this program, users will be asked to provide a weave pattern. Various weave parameters are also available for adjusting, including yarn sizes, warp and weft densities, yarn colors and yarn cross-sectional shapes. Accordingly, a three-dimensional image of the specified structure can be displayed. The program is able to correctly simulate various woven structures including elementary weaves, namely, the plain weave, twill weaves and satin/sateen weaves. The average rendering time on a 1.8MHz PC is less than 2 seconds.

Introduction

Woven fabrics are constructed by interlacement of warp and weft yarns at 90 degrees to each other. At a particular intersection, the warp end can be placed either over or under the pick. Combination of these arrangements forms the fabric. The area that contains one complete weave is termed as a weave repeat. The numbers of ends and picks required in a repeat are called the warp repeat and the weft repeat, respectively. The smallest possible weave repeat contains two ends and two picks. Figure 1 shows a woven fabric which can be represented by a weave repeat in Figure 2.



Fig.1 A three-dimensional simulation of a woven fabric showing warp-over-weft and weft-over-warp interlacing points



Fig.2 A weave repeat representing the fabric in Figure 1

Weave pattern greatly affects optical and mechanical properties of fabrics. Traditionally, a weave pattern can be determined by visual inspection of woven fabrics. However, visual inspection is time consuming and depends on skills of the inspector. This research thus proposes a computerized method for evaluation of weave patterns

from fabrics. Fabric evaluation using computerized systems are well established based on image analysis technique. Generally, fabric images are captured using digital image capturing systems which are complicated. [Ohta et al 1986] Some efforts have been made so that a simple scanner can be used as a capturing tool. [Sakaguchi et al 2000] Weave pattern evaluation is conversely little studied. [Kinoshita et al 1989, Huang et al 2000 and Kang et al 1999]

The main challenge for applying 3D computer graphics to the simulation of woven fabric structures is to understand sufficiently the woven fabric structures [Hearle 1994]. A number of mathematical models have been developed in order to represent the thread paths in a woven fabric. One of the most important models is that of Peirce [Peirce 1937]. The model for the plain weave is shown in Figure 3, assuming that yarn is incompressible, flexible and of circular cross-section.

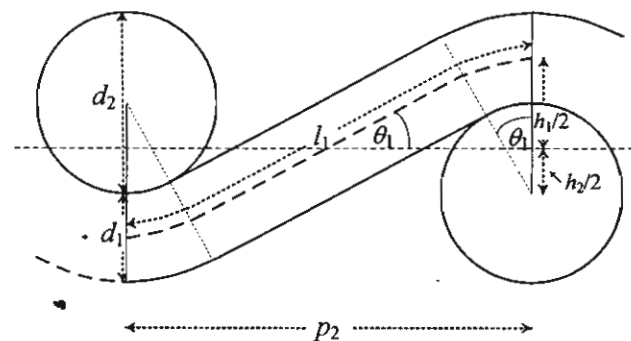


Fig.3 Peirce's model of the plain weave structure (The notation used is shown in Table I)

Table I Notation used in the Peirce's model

h_1	warp thread amplitude or warp crimp height	h_2	weft thread amplitude or weft crimp height
l_1	the length of warp thread axis	p_2	weft spacing
d_1	the diameter of warp thread	d_2	the diameter of weft thread
θ	the angle of the thread axis to plane of cloth	D	sum of the warp and weft diameter $D = d_1 + d_2 = h_1 + h_2$

This geometrical model has been adopted and modified by many researchers [Lin 1996]. None of these models was believed to be the actual path, but all were

reasonable approximations. The paths in real fabrics are complicated and depend upon yarn properties and forces, which cause the yarns to arrange themselves in positions of minimum energy subject to external constraints and frictional effects [Lin and Newton 1999]. The structures can be represented in 2D fashion, taking the weave and some simple fabric properties such as warp and weft density into account. However, the 2D visualisation cannot be totally satisfactory for today's textile applications.

Later, several programs were produced which resulted in graphics showing the thread path of fabrics in three dimensions, particularly that of Xu [Xu 1992]. Her work made progress on the representations of varieties of single-layer weaves as well as a limited range of multi-layer fabrics. The employed method followed sine curves and straight lines to represent the yarn path within a fabric based on Peirce's geometrical model for the plain weave and Love's Peirce-like parameters based on Peirce's geometrical model for non-plain weaves. Since then, other researchers have published papers that demonstrate solid-modeling techniques, for example, Keefe and his colleagues [Keefe et al 1992, Keefe 1994a, 1994b]. Keefe's work provides new possibilities for the simulation of woven fabrics, that is, the 3D models generated can be used further used for mechanical property analysis, and for engineering design and analysis of 3D woven fabrics. Lin also developed a program to generate and display various woven fabric structures in three-dimensions by computer graphics [Lin 1992]. The thread paths displayed are generated by using cubic B-splines, the mathematics of which is well developed, mainly for other areas of engineering design, especially in aerospace engineering. This work emphasized on the true 3D solid model of limited typical weave structures. The program requires high performance computers to process the simulation. Chen and his colleagues have developed a computerized simulation system for 3D woven fabrics based on their mathematical models [Chen et al 1992]. The structure has been parameterized and modeled mathematically [Chen et al 1993a, 1993b].

Because of some limitations in computer technology, 3D simulation of woven structures was mostly performed on very expensive and high performance computer systems. The advance in computer technology permits the 3D graphics to be available

in microcomputer systems. These affordable systems are sufficient enough to perform 3D graphics simulation. This is a great advantage as it can give much more insight to the structure. There are many 3D simulation techniques available nowadays. The VRML (Virtual Reality Modeling Language) was firstly used for visualization of some woven structures based on the extrusion method that is the yarn cross-sectional image was swept along the predetermined yarn path [Chen and Potiyaraj 1999]. The structures were limited to angle-interlock and orthogonal structures. In this work, most of the weave parameters were also not taken into account. VRML is a computer language used for describing objects in a scene. VRML codes are simple ASCII text that can be parsed by a VRML interpreter [Ames et al 1996]. These interpreter programs are often called VRML Browser and are freely available as an add-on for several Internet browsers.

Apart from identification of weave patterns by image analysis technique, in this work, VRML was used for generating 3D images of woven structures based on geometrical models. 3D image of each yarn was created by the extrusion method. The generated warp and weft yarn images were assembled to form the woven fabric structure. A user-friendly program for simulating woven fabric structures was also developed using Visual Basic language. In this program, users will be asked to provide a weave pattern. Various weave parameters are also available for adjusting, including yarn sizes, warp and weft densities, yarn colors and yarn cross-sectional shapes. Accordingly, a three-dimensional image of the specified structure can be displayed.

Weave Identification

Fabric Image Preparation

Two major types of woven fabrics were considered in this research, namely, plain and twill fabrics. They were scanned using a HP scanjet 5470c at the resolution of 600 dpi. The scanned images were kept in bitmap format. The images were converted to grayscale mode. Equalization was then performed on the images in order to make distinction between free spaces and yarn-occupied spaces. The examples were shown in Figure 4.

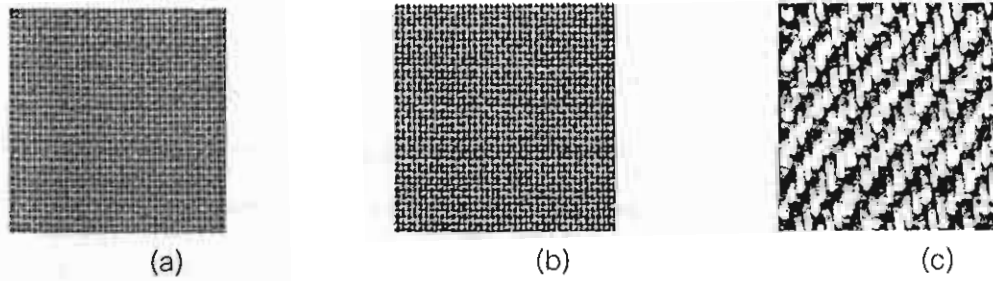


Fig.4 Scanned images of (a) a plain fabric (b) a plain fabric after equalization (c) a twill fabric after equalization

Image Analysis

When scanning through a selected line in a prepared fabric image, one would encounter alternate bright and dark area. A bright area is found when the yarn float is present while a dark area is found when the yarn goes down to interlace with the corresponding yarn or at the space which was not covered by warp or weft. Luminance at each pixel along a selected line in a fabric image can be calculated from RGB data according to Grassmann's law. A plot of luminance at each pixel is shown in Figure 4. It can be seen that peaks are present in various width and height. The interpretation could be error easily.

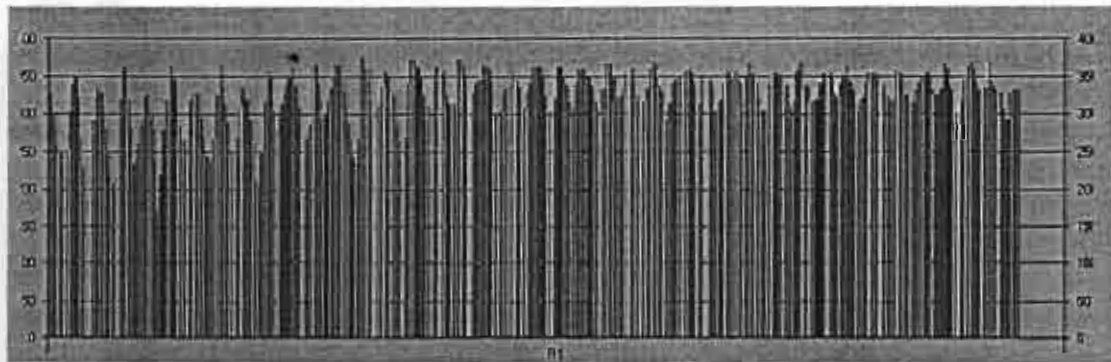


Fig.5 Luminance curve of a plain fabric

In order to make these peaks uniform, the autocorrelation method can be adopted using the following equations.

$$C_{x,0} = \sum_i^M \sum_j^N G_{i,j} G_{i-x,j} \quad (1)$$

$$C_{0,y} = \sum_i^M \sum_j^N G_{i,j} G_{i,j-y} \quad (2)$$

where $G_{i,j}$ luminance at coordinate (i, j)

M the maximum scanning point in the warp direction

N the maximum scanning point in the weft direction

$C_{x,0}$ autocorrelation values at points along the warp

$C_{0,y}$ autocorrelation values at points along the weft

x and y are the coordinates of pixel in the warp and weft direction, respectively.

The same data using in Figure 5 was then recalculated and consequently gave a plot with uniform peaks as shown in Figure 6.

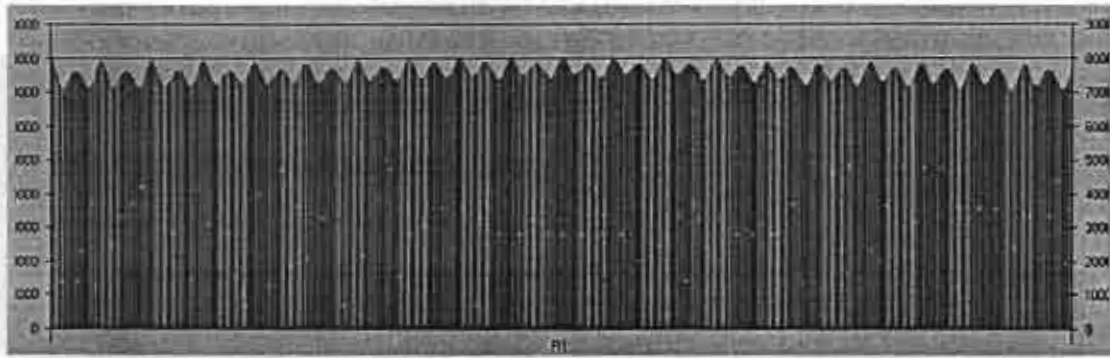


Fig.6 Autocorrelation curve of a plain fabric

Applying the same technique, twill fabrics were evaluated. The autocorrelation curve of a twill fabric can be shown as in Figure 7.

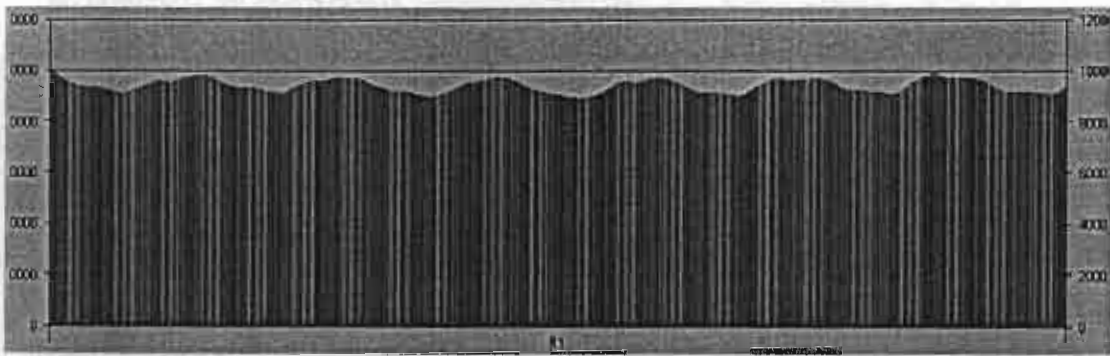


Fig.7 Autocorrelation curve for a twill fabric

Weave Identification

Width of each peak can be calculated by detecting the lowest point at each wave. This lowest point is the point where the slope of curve changes. This can be determined using the following equation.

$$C_{x,0} = (C_{(x+1),0} - C_{(x,0)}) / (x+1) - x \quad (3)$$

$$C_{0,y} = (C_{0,(y+1)} - C_{(0,y)}) / (y+1) - y \quad (4)$$

Width of each peak can be then compared. For the plain weave, width of peaks is approximately equal in warp and weft directions. Contrarily, for twill fabrics, width of peaks is markedly different in warp and weft directions. This information can be interpreted so that the weave pattern is successfully identified.

Algorithm Implementation

Visual Basic 6.0 was used for developing a program based on Windows platform. The program as shown in Figure 8 can analyze fabrics images and then weave patterns are identified. Users choose a file which contains the equalized image of fabric. Then, scanning lines would be selected (shown as crossed lines in Figure 8). The program can calculate the number of yarns in each direction and also the weave pattern of the fabric.

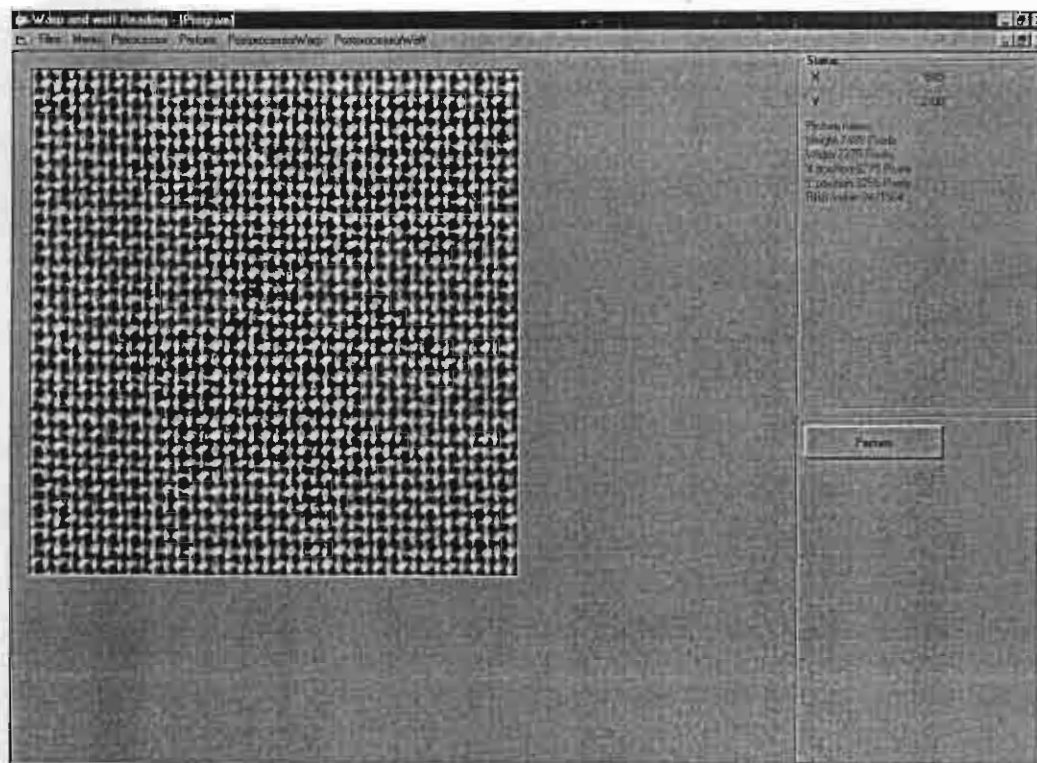


Fig.8 Weave identification program interface

The experimental results indicated that the program can identify most of plain fabrics correctly. However, in the case of twill fabrics, the correct scanning was around 70%. This is due to the fact that twill weaves are much more complicated than the plain weave. The precision of counting the number of yarns was about 90%. It was realized

that the position where users choose the scanning lines is very important. It should align perfectly with a warp yarn and the corresponding weft yarn. This may be difficult to achieve since yarns in fabrics tend to offset from the straight and perpendicular lines. The scanning times were reported by the program. It was pointed out that the average time used was 15 seconds. Obviously, this is quicker comparing with visual inspection.

Woven Fabric Structure Simulation

Generation of Yarn Path Images

In order to represent a weave mathematically, a two-dimensional binary matrix is used to keep the data of the weave. An element value of the binary matrix is either 0 or 1. The value of 1 means the same as a mark on design paper indicating a warp-over-weft cross-over, and the value of 0, corresponding to a blank on design paper, means a weft-over-warp cross-over. The position of each element in the matrix is located by a coordinate (i, j) , indicating the i^{th} column from the left and the j^{th} row from the bottom. Such a matrix is, hereafter, called a weave matrix. A weave matrix has $w_{i,j}$ as its the element, where $1 < i < r_e$ and $1 < j < r_p$; r_e and r_p are the warp and weft repeats of the weave, respectively.

Mathematical modelling of yarn paths in single layer woven fabric structure was developed based on Peirce's model combining with weave pattern. The yarn path can be divided into three sections, namely, the overfloat section where the warp is floated over the weft, the underfloat section where the weft is floated over the warp and the linking section where the former two sections are joined.

Warp yarn path coordinates, $E(x_i, y_i)$, were determined according to Eq. 5 and 6.

$$x_i = x_{i-1} + \left(\frac{1}{ppc} \right) \quad (5)$$

$$y_i = \begin{cases} D/4 & | w_{i,j} = 1 \\ -D/4 & | w_{i,j} \neq 1 \end{cases} \quad (6)$$

where ppc is the weft density (picks per centimetre).

D is the summation of warp thickness (d_1) and weft thickness (d_2) (centimeter)

Weft yarn path coordinate, $P(x_i, y_i)$, was calculated in the same way.

Generation of Yarn Cross-section Images

Several yarn cross-sections were employed in this work, namely, circular, ellipse and racetrack. Peirce's model was based on the assumption that a circular cross-sectional yarn in consideration is incompressible. In the actual situation, as shown in Figure 9, yarns are deformed so that two diameters must be considered, namely, D_h and D_v which correspond to yarn width and yarn thickness in the structures, respectively. The extent which a yarn will be deformed is flattening coefficient which can be determined from D_h/D_v . This value is always less than 1.

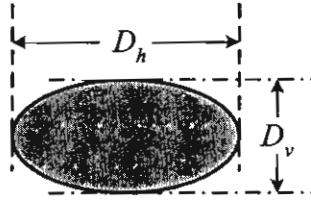


Fig.9 Compressed yarn cross-section

Circular Cross-section

Peirce's model dealt with circular cross-sectional yarn which $D_{h_1} = D_{v_1}$ and $D_{h_2} = D_{v_2}$ where D_{v_1} is the warp thickness, D_{v_2} is the weft thickness, D_{h_1} is the warp width, D_{h_2} is the weft width.

Warp yarn cross-sectional image's ($E_x(x_i, y_i)$) coordinate was calculated based on the equation of circle.

$$Dv_1^2 = x_i^2 + y_i^2 \quad (7)$$

Weft yarn-cross-sectional co-ordinate $P_x(x_i, y_i)$ was calculated similarly.

Ellipse Cross-section

In case of ellipse cross-section, $E_x(x_i, y_i)$ is acquired using Equation 8.

$$Dv_1^2 = \frac{x_i^2}{D_{h_1}} + \frac{y_i^2}{D_{h_2}} \quad (8)$$

$P_x(x_i, y_i)$ is determined similarly.

Racetrack Cross-section

Race track cross-section can be divided into 3 sections as shown in Figure 10. Section 1 and 3 is a half-circle with $r = h_2$. Section 2 is a rectangular with h_1 and $Dh_1 - Dv_1$ as its width and length, respectively.

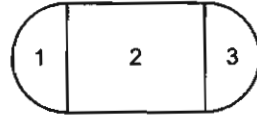


Fig.10 Racetrack cross-section divided into three sections

Lenticular Cross-section

Lenticular cross-section image is formed by two incomplete circles as shown in Figure 11. Equation for circle is adopted with only selected co-ordinate.

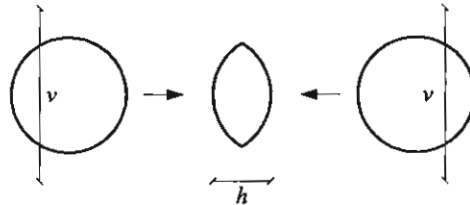


Fig.11 Assembling of lenticular cross-section

Yarn Image Formation by Extrusion Technique

In VRML, an object can be created using the extrusion technique. This technique involves sweeping a 2D cross-section along a line, which is called a spine, resulting in 3D images. If the yarn path is used as the spine, then an image of this yarn with circular cross-section can be generated. If the simulated yarn is the components of a woven structure, integration of these yarns at appropriate positions gives the 3D image of the structure.

Programming Implementation

According to the established models, a computer program 'Weave3D' was developed using Visual Basic 6.0. In order to display 3D images, a web browser must be installed with corresponding VRML plug-in which is freely available on the Internet. The woven structures must be input by users. Users are also available to alter relevant weave parameters, i.e., warp and weft densities, the size and colour of yarns. The yarn cross-section must also be specified.

The program is able to simulate all elementary weaves, namely, the plain weave, twill weaves and satin/sateen weaves. The users specify the weave and its parameters and the VRML browser is automatically invoked. Consequently, the 3D image of the specified woven structure is shown as an example in Figure 12.

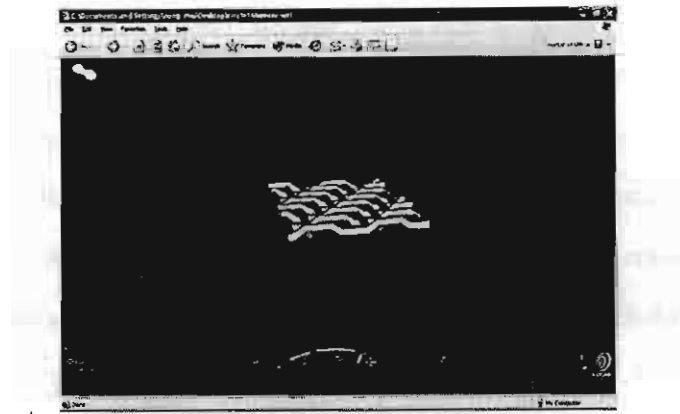


Fig.12 3D visualization of a twill weave

Colors affect the appearance of woven fabrics. In the program, users can specify the different colors of warp and weft yarns. However, it was found that, due to the limitation of VRML, some colors may deviate from users' specified colors, especially those of lighter shade.

The program is able to calculate each structure in the jammed condition. This is very useful information for practical purposes. However, mechanical analysis would be of interest for further analyzing of weaving conditions.

Conclusions

A computer program for identification of weave patterns from woven fabrics was developed. The fabrics were first scanned using an ordinary scanner. The fabric images were converted to grayscale figures and were processed using equalization method. Autocorrelation was performed at every pixel in the equalized images and autocorrelation curves were then plotted. The distances between peaks of autocorrelation curves were used to distinguish between the plain and twill weaves. The data could also be used to interpret the position of each interlacing point. Consequently, weave patterns were identified. It was found that the program can identify about 70% of fabrics correctly. Preciseness of the program to analyze weave patterns depended on the selected scanning lines. The scanning time was about 15 seconds for each fabric.

Additionally, 3D simulation of woven fabric structures was done by generating each warp and weft yarn images and assembling them into fabric images. Various yarn cross-section, namely, circular, lenticular and racetrack, was employed. Yarn paths were analysed according to several parameters. The yarn cross-section images were then swept through the yarn path images using VRML extrusion node. A computer program was developed enabling users to specify a weave, and its relevant parameters. A weave is transformed into a binary matrix and the data is used to generate yarn path and yarn cross-section co-ordinates based on the developed model. The VRML file is then generated and is displayed in a VRML browser. Elementary weaves, including, the plain weave, twill weaves and satin weaves were successfully simulated. The average rendering time on a 1.8MHz PC is less than 2 seconds. However, it was found that the specified yarn colours were sometime changed in 3D images, especially the light ones.

References

- Ames A.L., D.R. Nadeau, and J.L. Moreland, *VRML 2.0 Source Book*, 2nd ed., Wiley, Toronto 1996.
- Chen X., R.T. Knox, D.F. McKenna, and R.R. Mather, 'A Parametric Modelling and Simulation system for Multi-layer Fabric Reinforcements', *The Fifth International Conference on Fibre Reinforced Composites*, Newcastle upon Tyne 1992.
- Chen X., R.T. Knox, D.F. McKenna, and R.R. Mather, 'Solid Modelling and Integrated Manufacturing of Textile Interlinking Structures', *Proceedings of International Conference: Design to Manufacture in Modern Industry*, 1993, Part 2, 682.
- Chen X., R.T. Knox, D.F. McKenna, and R.R. Mather, 'Composite Reinforcements: De-idealised Solid modelling and Computer Integrated Manufacturing', *Proceedings of the Conference on Managing Integrated Manufacturing*, 1993, 2, 365.
- Chen X., P. Potiyaraj, 'CAD/CAM for Orthogonal and Angle-Interlock Woven Structures for Industrial Applications', *Textile Research Journal*, 1999, 69(9), 648.
- Hearle J.W.S., 'Textile for Composites', *Textile Horizons*, 1994, 14(6), 12.

- Huang C.C., S.C. Lui, and W.H. Yu, 'Woven Fabric Analysis by Image Processing Part I: Identification of Weave Patterns', *Textile Research Journal*, 2000, 70(6), 481.
- Kang T.J., C.H. Kim, and K.W. Oh, 'Automatic Recognition of Fabric Weave Patterns by Digital Image Analysis', *Textile Research Journal*, 1999, 69(2), 77-83.
- Keefe M., D.C. Edwards, and J. Yang, 'Solid Modelling of Yarn and Fiber Assemblies', *Journal of Textile Institute*, 1992, 83(2), 185.
- Keefe M., 'Solid Modelling Applied to Fibrous Assemblies - Part I: Twisted Yarns', *Journal of Textile Institute*, 1994a, 85(3), 338.
- Keefe M., 'Solid Modelling Applied to Fibrous Assemblies - Part II: Woven Fabric', *Journal of Textile Institute*, 1994b, 85(3), 350.
- Kinoshita M., Y. Hashimoto, R. Akiyama, and S. Uchiyama, 'Determination of Weave Type in Woven Fabric by Digital Image Processing', *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, Proceedings, 1989, 35(2), 1.
- Lin H.Y., 'The simulation of Woven Fabric Structure by 3D Computer Graphics', Ph.D. Thesis, UMIST 1996.
- Lin H.Y., and A. Newton, 'Computer Representation of Woven Fabrics by using B-splines' *Journal of Textile Institute*, 1999, 90(1), Part 1, 59.
- Ohta K., K. Sakaue, and H. Tamura, 'Pattern Recognition of Fabrics Surfaces', *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, Proceedings, 1986, 32(1), 7.
- Perice F.T., 'The Geometry of Cloth Structure' *Journal of Textile Institute Transaction*, 1937. T45.
- Sakaguchi A., H. Kim, Y. Matsumoto, and K. Toriumi, 'Woven Fabric Quality Evaluation Using Image Analysis', *Textile Research Journal*, 2000, 70(11), 950.
- Xu Y.H., 'Computer Representation of Woven Fabric Structure', M.Sc. Thesis, UMIST 1992.

Acknowledgements

Sincere gratitude must be given to the Thailand Research Fund (TRF) for funding this project.

Correspondence Address

P. Potiyaraj

Center of Excellence in Textiles, Department of Materials Science, Faculty of Science,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330 THAILAND

Phone: +66(0)22185544 Fax: +66(0)22185561 E-mail: pranut.p@chula.ac.th

ภาคผนวก ข
บทความสำหรับการเผยแพร่

โครงการวิจัยเรื่อง “การจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอ ด้วยภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง”

ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เจริญก้าวหน้าไปมากและยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบในด้านเศรษฐกิจตามมาอีกด้วย ดังนั้นความรู้ในศาสตร์ที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอจึงเป็นสิ่งที่เราควรศึกษาและทำความเข้าใจ สำหรับประเทศไทย อุตสาหกรรมสิ่งทอได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีการส่งออกสูง การจะเพิ่มกำลังการส่งออกสิ่งทอของไทยนั้น ต้องอาศัยข้อได้เปรียบของอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย นั่นคืออุตสาหกรรมสิ่งทอไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ทำให้สามารถปรับตัวได้ง่ายทำให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว (quick response) กอปรกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวมากขึ้น (customization) สิ่งเหล่านี้จะเป็นกุญแจสำคัญที่จะสร้างความแข็งแกร่งให้กับอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย

สมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ขึ้นกับลักษณะทางโครงสร้างหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใย ลักษณะการจัดเรียงเส้นใยเพื่อสร้างเป็นเส้นด้าย ตลอดจนลักษณะการจัดเรียงเส้นด้ายเพื่อประกอบเป็นโครงสร้างผ้าผืน ลักษณะเหล่านี้สามารถนำมาอธิบายหรือทำนายสมบัติในการใช้งานของผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ การวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของเส้นใยและเส้นด้ายได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางมาเป็นเวลานาน ในขณะที่การวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของผ้าผืนยังอยู่ในวงจำกัด เนื่องมาจากความซับซ้อนของลักษณะทางโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าผืนที่เป็นที่รู้จักกันดีได้แก่งานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าทอของ F.T. Pierce ซึ่งตีพิมพ์ใน Journal of Textile Institute เมื่อปี ค.ศ.1937 และยังถูกนำมาใช้อ้างอิงอยู่เสมอในงานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของผ้าทอจนกระทั่งปัจจุบันนี้

ผ้าทอเกิดจากการขัดสานกันของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ 2 มิติ ในการศึกษาการจัดเรียงตัวของเส้นด้าย สามารถดูได้จากโครงสร้างการจัดเรียงตัวที่พื้นผิวของผ้าซึ่งพื้นผิวของผ้านั้นก็คือพื้นผิวของเส้นด้ายนั่นเอง หรือดูได้จากลักษณะของช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นด้าย 2 เส้น ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางแสงและสมบัติเชิงกลของผ้า ในทางปฏิบัติคุณภาพของผ้าทอมีความสัมพันธ์กับรูปร่างและความไม่สม่ำเสมอของการกระจายตัวของลายทอ ส่วนสมบัติการมองเห็นและสัมผัสของผ้ามีความสัมพันธ์กับโครงสร้างพื้นผิวของผ้า ดังนั้นการวิเคราะห์ผ้าจึงเป็นการทำเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของผ้า โดยทั่วไปการตรวจสอบจะกระทำโดยการมองด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก และขาดความแม่นยำ

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่แสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ในขณะที่คอมพิวเตอร์ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการใช้งานต่างๆ ได้มากขึ้นแต่กลับมีราคาถูกลง ทำให้มีการใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างกว้างขวาง คอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานในงานทางด้านสิ่งทอเพิ่มมากขึ้น และมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสิ่งทอด้วยภาพจำลองสามมิติ ไม่ว่าจะเป็นอาศัยแบบจำลองเชิงกล (mechanical modeling) หรือแบบจำลองเชิงเรขาคณิต (geometrical modeling) ซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์สมบัติของสิ่งทอทำได้ง่ายขึ้น คอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อแสดงภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างสิ่งทอชนิดต่างๆ โดยเริ่มมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นเวลาหลายปีแล้ว แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านสมรรถนะของคอมพิวเตอร์เมื่อเทียบกับราคา รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ทำให้การพัฒนาเกี่ยวกับการสร้างภาพจำลองสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์เป็นไปอย่างจำกัด

การสร้างภาพจำลองสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์เริ่มกลับเข้ามาเป็นที่สนใจอีกครั้ง เมื่ออุตสาหกรรมสิ่งทอจำเป็นต้องหันมาปรับตัวให้เข้ากับสภาพทางธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือจำเป็นต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้วยการตอบสนองที่รวดเร็ว และตรงต่อความต้องการที่เป็นเอกลักษณ์ของของลูกค้า จึงเริ่มมีการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างภาพจำลองสามมิติของสิ่งทอเพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านธุรกิจ เช่น การสร้างภาพจำลองสามมิติของผ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเคลื่อนไหว เพื่อนำมาใช้ในการแสดงแบบเสื้อผ้าเสมือน (virtual fashion show) การลองเสื้อผ้าเสมือน (virtual garment trial) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ระบบการวัดตัวอัตโนมัติ (automatic measuring system) เป็นต้น

นอกจากความต้องการในเชิงธุรกิจแล้ว เมื่อขอบเขตการใช้งานสิ่งทอในปัจจุบันเพิ่มขึ้น นอกเหนือไปจากการใช้สวมใส่เพื่อความสวยงาม โดยขยายไปสู่ทางด้านเทคนิคัลเท็กซ์ไทล์ (technical textiles) เช่น สิ่งทอโยธา (geotextiles) สิ่งทอเพื่อการปกป้อง (protective textiles) สิ่งทอสำหรับงานเกษตรกรรม รวมทั้งสิ่งทอที่เป็นส่วนเสริมแรงวัสดุเชิงประกอบ ทำให้เราจำเป็นต้องทราบหรือทำนายสมบัติของสิ่งทอที่แน่นอน การสร้างแบบจำลองของโครงสร้างสิ่งทอ จะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์สมบัติของสิ่งทอจะต้องเป็นไปด้วยความเที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้น

งานวิจัยเรื่อง “การสร้างภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง” ทำให้สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้เข้าไปประยุกต์ใช้และพัฒนาในอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยเฉพาะกระบวนการทอ การผลิตผ้าผืน และด้านเสื้อผ้า ซึ่งทางโรงงานสิ่งทอสามารถใช้โปรแกรมการสร้างภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มทางเลือกในการออกแบบลายทอ และลดอัตราความบกพร่องในระหว่างกระบวนการทอ

ผู้ใช้โปรแกรมสามารถออกแบบลายทอใหม่ๆ ได้ตามต้องการ และตัดสินใจเลือกลายทอได้จากภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ทำการจำลองขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดขนาด, ความหนาแน่น มุมการทอ (weave angle) และสีของเส้นด้ายได้ตามต้องการ ทำให้ลายที่ออกแบบได้มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น

และจากการทดสอบสมบัติเชิงโครงสร้างได้แก่ ความหนา และความหยิกงอ ของผ้าทอที่ทำจากเส้นใย 3 ชนิดได้แก่ ฝ้าย ฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์และพอลิเอสเตอร์ ในโครงสร้างลายทอลายขัด ลายทแยง 2/1 และลายตัวน ที่ภาวะแห้ง เปียก และปั่นแห้ง พบว่า โครงสร้างของลายผ้าและความหนาแน่นของเส้นด้ายในผ้าทอมีผลต่อความหนาและความหยิกงอของเส้นด้าย โดยที่ภาวะปั่นแห้ง ผ้าทอมีความหนาเพิ่มขึ้นมากกว่าภาวะแห้งและภาวะเปียก โดยเมื่อนำผลการทดสอบ มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองของเพียช พบว่ามีค่าแตกต่างกันมากจากการทดลองปรับปรุงแบบจำลองโดยการหาค่าปรับแก้ที่เหมาะสม โดยการคำนวณจากความหยิกงอ และคำนวณจากความหนา พบว่าเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองโดยใช้ค่าปรับแก้ มาเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบอีกครั้ง ค่าปรับแก้ที่คำนวณได้จากความหยิกงอจะให้ผลที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าค่าปรับแก้ที่คำนวณได้จากความหนา

ปัจจุบันสื่อสารสนเทศเข้ามามีความสำคัญกับระบบธุรกิจ และการรวมกันเป็นกลุ่มของคอมพิวเตอร์ซึ่งมีระบบเชื่อมโยงการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ เป็นตัวบ่งบอกถึงการปฏิวัติทางด้านการผลิต ในการก่อตัวของความสัมพันธ์เชิงธุรกิจ และการพัฒนาของส่วนแบ่งทางการตลาดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น จะส่งเสริมให้โรงงานผ้าทอ กล้าพอที่จะเผชิญหน้ากับการจัดการ วัฒนธรรม และการพัวพันเกี่ยวกับเงินทุน ซึ่งจะค้นพบได้ด้วยตัวมันเองในจุดที่จะแข่งขันกับตลาดโลก

ภาคผนวก ค
โปสเตอร์งานวิจัย



3D SIMULATION OF WOVEN FABRIC STRUCTURES USING VRML

P. Potiyaraj and C. Subhakalin

Center of Excellence in Textiles,
Department of Materials Science,
Faculty of Science, Chulalongkorn University
Bangkok 10330 THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions

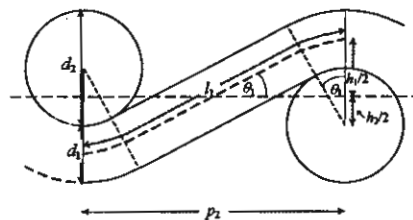


CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



INTRODUCTION

- A number of mathematical models have been developed in order to represent the thread paths in a woven fabric.
- One of the most important models is that of Peirce.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





INTRODUCTION

- Several geometrical models were developed according to Peirce's model in order to approximate the actual yarn paths which depend upon yarn properties and forces which cause the yarns to arrange themselves in positions of minimum energy.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



INTRODUCTION

- Because of some limitations in computer technology, 3D simulation of woven structures was mostly performed on very expensive and high performance computer systems.
- The advance in computer technology permits the 3D graphics to be available in microcomputer systems.
- These affordable systems are sufficient enough to perform 3D graphics simulation.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





INTRODUCTION

- In this research VRML (Virtual Reality Modeling Language) was used to generate yarn 3D images.
 - VRML is a computer language used for describing objects in a scene.
 - VRML codes are simple ASCII text that can be parsed by a VRML interpreter.
 - The interpreter programs are often called VRML Browser and are freely available as an add-on for several Internet browsers.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



INTRODUCTION

- VRML was firstly used by *Chen* and *Potiyaraj* at UMIST for visualization of some woven structures based on the extrusion method that is the yarn cross-sectional image was swept along the predetermined yarn path.
 - The structures were limited to angle-interlock and orthogonal structures.
 - Most of the weave parameters were also not taken into account.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





INTRODUCTION

- In this work, VRML was used for generating 3D images of woven structures based on geometrical models.
 - 3D image of each yarn was created by the extrusion method.
 - The generated warp and weft yarn images were assembled to form the woven fabric structure.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



INTRODUCTION

- A user-friendly program for simulating woven fabric structures was also developed using Visual Basic language.
 - Users will be asked to provide a weave pattern.
 - Various weave parameters are also available for adjusting, including yarn sizes, warp and weft densities, yarn colours and yarn cross-sectional shapes.
 - Accordingly, a three-dimensional image of the specified structure can be displayed.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



YARN PATH IMAGES

- The yarn path can be divided into three sections:
 - overfloat section: the warp is floated over the weft
 - underfloat section: the weft is floated over the warp
 - linking section: the former two sections are joined.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





YARN PATH IMAGES

- Warp yarn path coordinates, $E(x_i, y_i)$, were determined as follow:

$$x_i = x_{i-1} + \left(\frac{1}{ppc} \right) \quad y_i = \begin{cases} D/4 & | w_{i,j} = 1 \\ -D/4 & | w_{i,j} \neq 1 \end{cases}$$

- ppc is the weft density (picks per centimetre).
- D is the summation of warp thickness (d_1) and weft thickness (d_2) (centimeter)
- Weft yarn path coordinates, $P(x_i, y_i)$, were calculated in the same way.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions

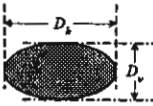


CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



YARN CROSS-SECTION IMAGES

- Peirce's model was based on the assumption that a circular cross-sectional yarn in consideration is incompressible.
- In the actual situation, yarns are deformed so that two diameters must be considered; D_h and D_v .
- The extent which a yarn will be deformed is flattening coefficient which can be determined from D_h/D_v .



- This value is always less than 1.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



YARN CROSS-SECTION IMAGES

- Circular cross-section
 - $D_h = D_{v_1}$
 - $D_{h_2} = D_{v_2}$
- Warp yarn cross-section coordinate ($E_x(x_i, y_i)$) was calculated based on the equation of circle.

$$Dv_1^2 = x_i^2 + y_i^2$$

- Weft yarn-cross-section coordinate ($P_x(x_i, y_i)$) was calculated similarly.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





YARN CROSS-SECTION IMAGES

- Ellipse cross-section
 - Warp yarn cross-section coordinate ($E_X(x_i, y_i)$) is acquired as follow:

$$Dv_1^2 = \frac{x_i^2}{D_{h_1}} + \frac{y_i^2}{D_{h_2}}$$

- Weft yarn-cross-section coordinate ($P_X(x_i, y_i)$) was calculated similarly.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



YARN CROSS-SECTION IMAGES

- Racetrack cross-section
 - Race track cross-section can be divided into 3 sections.
 - Section 1 and 3 is a half-circle with $r = h_2$.
 - Section 2 is a rectangular with h_1 and $Dh_1 - Dv_1$ as its width and length, respectively.

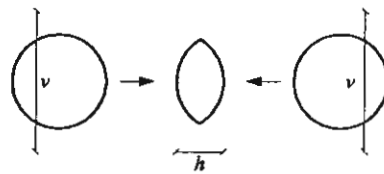


CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



YARN CROSS-SECTION IMAGES

- Lenticular Cross-section
 - Lenticular cross-section image is formed by two incomplete circle.



- Equation for circle is adopted with only selected co-ordinate.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





YARN IMAGE FORMATION BY EXTRUSION TECHNIQUE

- In VRML, an object can be created using the extrusion technique.
 - This technique involves sweeping a 2D cross-section along a line, which is called a spine, resulting in 3D images.
 - If the yarn path is used as the spine, then an image of this yarn with circular cross-section can be generated.
 - If the simulated yarn is the components of a woven structure, integration of these yarns at appropriate positions gives the 3D image of the structure.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





PROGRAMMING IMPLEMENTATION

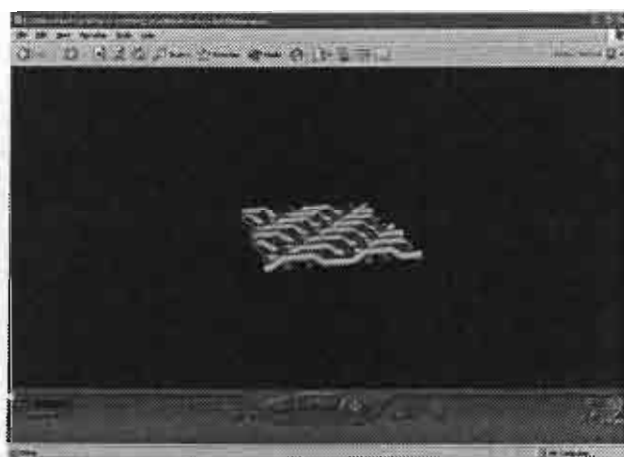
- A computer program 'Weave3D' was developed using Visual Basic 6.0.
 - The woven structures must be input by users.
 - Users are also available to alter relevant weave parameters, i.e., warp and weft densities, the size and colour of yarns. The yarn cross-section must also be specified.
- The program is able to simulate all elementary weaves, namely, the plain weave, twill weaves and satin/sateen weaves.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



PROGRAMMING IMPLEMENTATION



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





PROGRAMMING IMPLEMENTATION

- Colours affect the appearance of woven fabrics. In the program, users can specify the different colours of warp and weft yarns.
 - Due to the limitation of VRML, some colours may deviate from users' specified colours, especially those of lighter shade.
- The program is able to calculate each structure in the jammed condition.
 - This is very useful information for practical purposes.
 - However, mechanical analysis would be of interest for further analysing of weaving conditions.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



OUTLINE

- Introduction
- Yarn path images
- Yarn cross-section images
- Yarn image formation by extrusion technique
- Programming implementation
- Conclusions



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND





CONCLUSIONS

- 3D simulation of woven fabric structures was done by generating each warp and weft yarn images and assembling them into fabric images. Various yarn cross-section, namely, circular, lenticular and racetrack, was employed.
- Yarn paths were analysed according to several parameters.
- The yarn cross-section images were then swept through the yarn path images using VRML extrusion node.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



CONCLUSIONS

- A computer program 'Weave3D' was developed enabling users to specify a weave, and its relevant parameters.
 - A weave is transformed into a binary matrix and the data is used to generate yarn co-ordinates based on the developed model.
 - The VRML file is then generated and is displayed in a VRML browser.
 - The average rendering time on a 1.8MHz PC is less than 2 seconds.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



CONCLUSIONS

- The program is able to correctly simulate various woven structures including elementary weaves, namely, the plain weave, twill weaves and satin/sateen weaves.
- The program is able to calculate each structure in the jammed condition.
 - This is very useful information for practical purposes.
 - However, mechanical analysis would be of interest for further analysing of weaving conditions.



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



ACKNOWLEDGEMENT

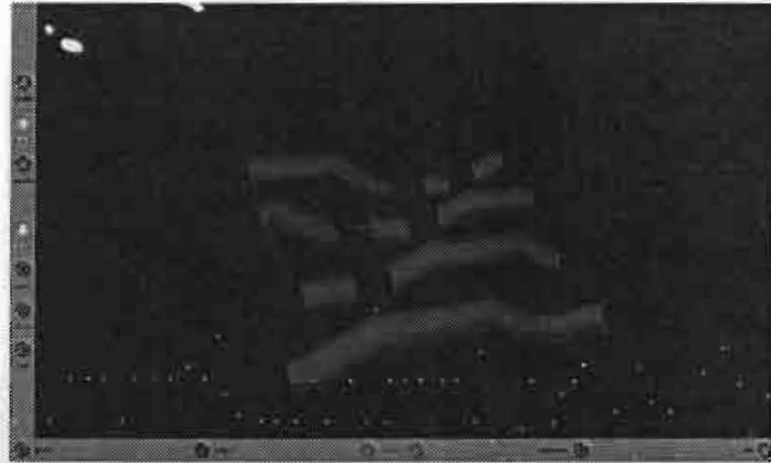
- The Thailand Research Fund (TRF)
- Ratchadaphisek Somphot Endowment (Chulalongkorn University)
- Faculty of Science, Chulalongkorn University



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND

○○○

2/2 TWILL (ONE REPEAT)



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



○○○

2/2 TWILL (JAMMED CONDITION)

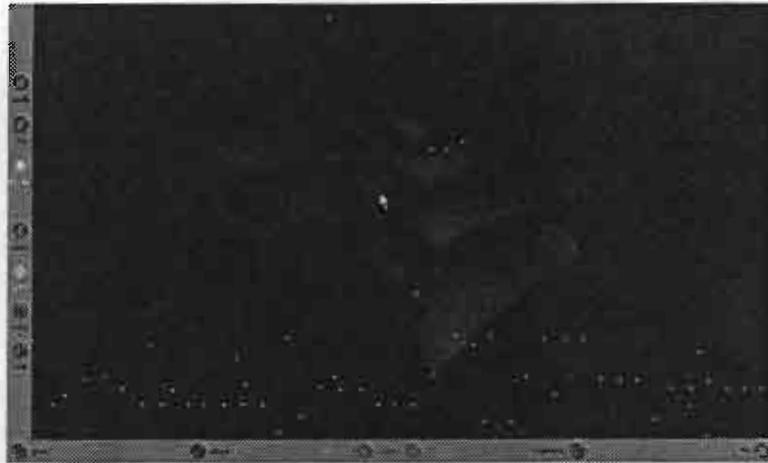


CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



○○○

2/2 TWILL (LENTICULAR)



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



○○○

2/2 TWILL (RACETRACK)

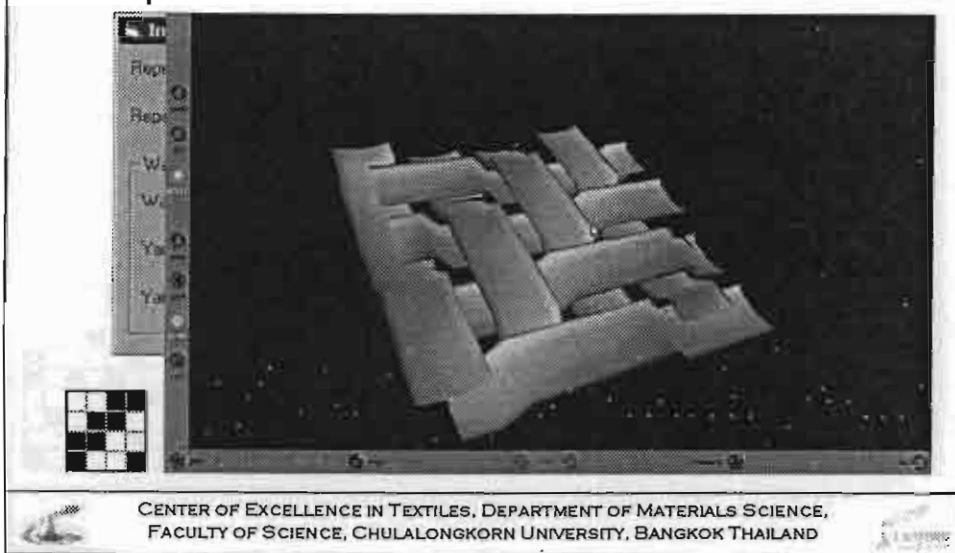


CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND



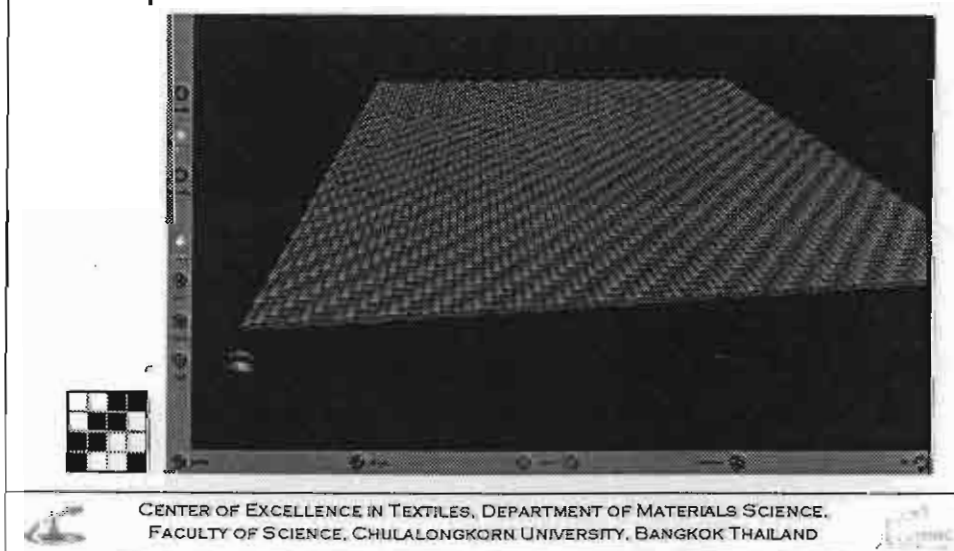
○○○

2/2 TWILL (ELLIPSE/LIGHT COLOURS)



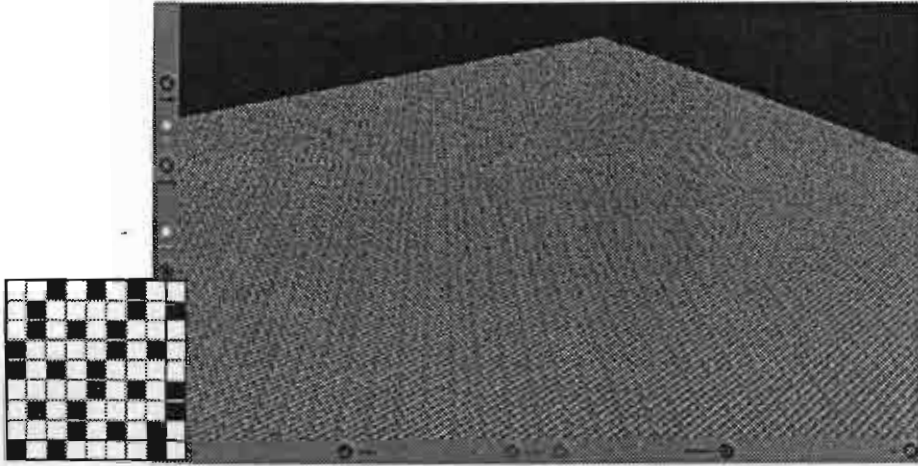
○○○

2/2 TWILL (20 REPEATS)



○○○

1/3/2/3 TWILL (STEP NUMBER = 2)



CENTER OF EXCELLENCE IN TEXTILES, DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY, BANGKOK THAILAND

