

การจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอริซวลเรียลิตีโมเดลลิง



นางสาวชุติภาค ศุภะกะลิน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2908-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3D SIMULATION OF WOVEN STRUCTURES BY VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE



Miss Chutipak Subhakalin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2908-1

นางสาวชุตติภักดิ์ ศุภะกะลิน : การจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอรัชวลเรียลลิตีโมเดลลิง. (3D SIMULATION OF WOVEN STRUCTURES BY VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ประณัฐ โปธิยะราช, 107 หน้า. ISBN 974-17-2908-1.

การวิจัยเกี่ยวกับการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอได้รับความสนใจมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ด้วยข้อจำกัดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ ทำให้การจำลองภาพต้องทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง และต้องใช้เวลาในการสร้างภาพ เมื่อคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น การจำลองภาพจึงสามารถทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไป ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการสร้างภาพสั้นลง งานวิจัยนี้เป็นการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทออาศัยภาษาเวอรัชวลเรียลลิตีโมเดลลิง โดยเริ่มจากการสร้างแนวเส้นด้ายตามลายทอ โดยอาศัยแบบจำลองของเพียง ภาพของด้ายแต่ละเส้นจะถูกสร้างขึ้นโดยการลากภาพของหน้าตัดของเส้นด้ายไปตามแนวเส้นด้าย ภาพของด้ายทุกเส้นจะประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างผ้าทอ โปรแกรมที่ทำหน้าที่สร้างภาพจำลองดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาวิชวลเบสิก โดยเน้นให้เป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่าย โดยเริ่มจากผู้ใช้ป้อนลายทอที่ต้องการจำลองภาพ พร้อมทั้งปรับค่าการทอที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขนาดของด้าย ความหนาแน่นของด้าย ยืนและด้ายพุ่ง สีของด้าย รวมทั้งลักษณะหน้าตัดของด้าย จากนั้นภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอตามลายทอที่กำหนดจะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติ รวมทั้งมีการแสดงภาพตัดขวางสองมิติของโครงสร้างตามแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งอีกด้วย โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างลายทอพื้นฐานได้แก่ ลายขัด ลายทะแยง และลายต่วน ภายใต้ค่าการทอที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4472251523 : MAJOR MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: 3D SIMULATION / VRML / WOVEN STRUCTURE

CHUTIPAK SUBHAKALIN : 3D SIMULATION OF WOVEN STRUCTURES BY VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE. (THESIS TITLE) THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRANUT POTIYARAJ, Ph. D., 107 pp. ISBN 974-17-2908-1.

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 simulations can be accomplished using ordinary computers with shorter rendering times. In this research, three dimensional simulations of woven fabric structures were performed using VRML (virtual reality modeling language). Warp and weft yarn paths based on Peirce's cloth model were constructed according to weave patterns. Three-dimensional image of each yarn was created by extrusion method that is the cross-sectional image was swept along the yarn path. The generated yarn images were integrated 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 colours and yarn cross-section. Then, three-dimensional image of woven structures can be displayed, as well as the cross-sectional image of structures, two-dimensionally either along the warp or along the weft. The program is able to correctly simulate all elementary woven fabric structure, namely, the plain weave, twill weaves and satin/sateen weaves.

Department of Materials Science

Student's signature.....

Field of study APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY Advisor 's signature.....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่สำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. ประณัฐ โพธิยะราช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ใคร่ขอขอบพระคุณ รศ.เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข รองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และอาจารย์ ดร. ดุษฎี สุนทรารชุน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาคีชาววัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์วิจัยและทดสอบสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณบัณฑิต พงศาโรจน์ บริษัท ไทยนำโชค เท็กซ์ไทล์ ที่ให้อำนวยความสะดวกเรื่องทอ วัสดุดิบในการทอ

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ภาคีชาววัสดุศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยเหลือประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทรรศน์.....	4
2.1 การทอ.....	4
2.1.1 หลักการทอเบื้องต้น.....	4
2.1.2 กลไกการทอ.....	5
2.2 กระดาษออกแบบ และลายทอ.....	8
2.2.1 ลายขีด.....	11
2.2.2 ลายทแยง.....	12
2.2.3 ลายตัวน.....	14
2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลายทอ.....	17
2.4 พารามิเตอร์ของการทอ.....	18
2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ	
การจำลองภาพสามมิติของผ้าทอ.....	24
2.6 ภาษาวิซวลเบสิค.....	26
2.7 ภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง.....	27
2.7.1 องค์ประกอบของภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง.....	30
2.7.2 โครงสร้างวัตถุในภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง.....	33
2.7.2.1 ส่วนหัวของไฟล์.....	33
2.7.2.2 โหนดรูปร่างของวัตถุ.....	34
2.7.2.3 โหนดรูปทรงเชิงเรขาคณิต.....	34

	หน้า
2.7.2.4 โหนดคุณสมบัติของวัตถุ.....	34
2.7.2.5 โหนดการรวมกลุ่มวัตถุ.....	36
2.7.2.6 โหนดกดอัด.....	37
2.8 รูปแบบของแฟ้มข้อมูล.....	38
3 กระบวนการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอ.....	42
3.1 การพัฒนาแบบจำลองของลายทอ.....	42
3.2 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผ้าทอ.....	45
3.3 พิกัดสำหรับแนวเส้นด้าย.....	48
3.4 พิกัดของภาพหน้าตัดของด้าย.....	49
3.4.1 ภาพหน้าตัดรูปวงกลม.....	50
3.4.2 ภาพหน้าตัดรูปวงรี.....	50
3.4.3 ภาพหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมุมมน.....	50
3.4.4 ภาพหน้าตัดรูปเลนส์นูน.....	50
3.5 การสร้างภาพสามมิติของชุดเส้นด้ายด้วยเทคนิค Extrusion.....	51
3.5.1 พื้นที่หน้าตัด.....	51
3.5.2 แนวเส้นในการกดอัด.....	52
3.5.3 การกดอัดพื้นที่หน้าตัดตามแนวเส้น.....	52
3.5.4 การกำหนดขนาดของพื้นที่หน้าตัด.....	52
3.5.5 ไวยากรณ์ของโหนดกดอัด.....	53
4 การพัฒนาโปรแกรม.....	56
4.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม.....	56
4.2 การเตรียมเบราเซอร์ของภาษา VRML.....	57
4.2.1 การเตรียมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์.....	58
4.2.1.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ต้องการ.....	58
4.2.1.2 อุปกรณ์ซอฟต์แวร์ที่ต้องการ.....	58
4.2.2 การปรับแต่งคุณสมบัติเบราเซอร์ให้สนับสนุนไฟล์ของภาษา VRML.....	58
4.2.3 การติดตั้งโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน.....	59
4.2.4 วิธีการใช้แผงควบคุม (Dashboard) ของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน.....	61

4.2.5 การปรับแต่งการทำงาน.....	65
4.2.5.1 แท็บเมนู World.....	67
4.2.5.2 แท็บเมนู Performance.....	67
4.2.5.3 แท็บเมนู Graphics.....	68
4.2.5.4 แท็บเมนู Advanced.....	69
4.3 การทำงานของโปรแกรม Weave3D.....	71
4.4 การสร้างลายทอพื้นฐาน.....	76
4.4.1 ลายขีด.....	77
4.4.2 ลายทแยง.....	79
4.4.3 ลายตัว.....	81
4.4.4 การเปลี่ยนสีเส้นด้าย.....	84
4.4.5 Jammed condition.....	85
4.5 ภาพหน้าตัดของเส้นด้าย.....	82
5 สรุปผลการทดลอง.....	87
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	87
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขนาดของหน่วยซ้ำและตัวนับที่เป็นไปได้.....	16
ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียในการออกแบบลายทอด้วยวิธีต่างๆ.....	17
ตารางที่ 2.3 การผสมสีในระบบ RGB.....	35
ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวแปรลายทอสำหรับลาย 1/2/3/1.....	43
ตารางที่ 4.1 คำสั่งต่างๆ ของคีย์บอร์ดในการควบคุมทิศทาง.....	65



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

ฎ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 การเปิดด้ายยืนเมื่อมีการขัดด้ายพุ่ง.....	5
รูปที่ 2.2 ภาพวาดตัดตามขวางแสดงการแยกหมุดด้ายยืน.....	5
รูปที่ 2.3 การขัดกันของเส้นด้ายในผ้าทอ.....	7
รูปที่ 2.4 ตะกอ.....	8
รูปที่ 2.5 จุดขัดสานในผ้าทอ.....	9
รูปที่ 2.6 ส่วนหนึ่งของกระดาศอกแบบ.....	9
รูปที่ 2.7 เครื่องหมายในกระดาศอกแบบ (แถวกลาง) เทียบกับการวางตัวของเส้นด้าย.....	10
รูปที่ 2.8 ลายทแยง 2/2 โดยมีส่วนที่เป็นสีเข้มแสดงหน่วยซ้ำ.....	10
รูปที่ 2.9 การทอลายขัด.....	11
รูปที่ 2.10 ลายขัด.....	11
รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางของผ้าลายขัด.....	11
รูปที่ 2.12 การทอลายทแยง.....	12
รูปที่ 2.13 ลายทแยงเฉียงขวาแนว Z.....	12
รูปที่ 2.14 ลายทแยงเฉียงขวาแนว S.....	12
รูปที่ 2.15 ลายทแยงตามตัวอย่าง.....	13
รูปที่ 2.16 ลายทแยง 1/3/2/1.....	13
รูปที่ 2.17 ลายทแยง 2/3 ซึ่งมีเลขชั้นเท่ากับ (ก) 1 (ข) และ (ค) -1.....	14
รูปที่ 2.18 การทอลายต่วน.....	15
รูปที่ 2.19 ลายต่วนที่มีขนาดหน่วยซ้ำ (หรือจำนวนตะกอ) เท่ากับ 5 มีต่วนับเท่ากับ 3.....	16
รูปที่ 2.20 ลายต่วนขนาด 6 เส้นด้ายยืน มีต่วนับเป็น 1,3,5,2,6,4.....	17
รูปที่ 2.21 ลายทอพื้นฐานทั้ง 3 ชนิด.....	19
รูปที่ 2.22 แผนภาพแสดงโครงสร้างลายขัดที่มีลักษณะต่างกัน.....	20
รูปที่ 2.23 ภาพตัดขวางของโครงสร้างผ้าลายขัด 3 ชนิด.....	21
รูปที่ 2.24 ภาคตัดขวางของด้ายที่ถูกทำให้แบนลง.....	22
รูปที่ 2.25 ความยาวของด้ายก่อนทอ (L) และความยาวของผ้าผืน (S).....	23
รูปที่ 2.26 ภาพพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายในรูปแบบต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.27 โปรแกรม “Fabric 3D Design and Analysis System”.....	25
รูปที่ 2.28 ระบบแกน 3 มิติ.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

ฎ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.29 แนวการหมุนรอบแกนแต่ละแกนในระบบแกน 3 มิติ.....	31
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของโหนด.....	32
รูปที่ 2.31 ค่าของสีในระบบ RGB.....	35
รูปที่ 2.32 การรวมวัตถุไว้ในฉากเดียวกัน.....	36
รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบความสัมพันธ์โครงสร้างของโหนดกับโครงสร้างมนุษย์.....	37
รูปที่ 2.34 ภาพจำลองสามมิติรูปทรงกระบอกจากตัวอย่าง.....	39
รูปที่ 2.35 ภาพจำลองสามมิติรูปทรงกระบอกจากตัวอย่างที่ 2.2.....	41
รูปที่ 3.1 ลายทอ 1/2/3/1 ที่มีเลขชั้นเท่ากับ 1.....	42
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของ Pierce แสดงผ้าทอลายขัดหนึ่งหน่วยซ้ำ.....	45
รูปที่ 3.3 แบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าฝ้าย.....	46
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของรูปสี่เหลี่ยมมุมมน.....	50
รูปที่ 3.5 การสร้างรูปเลนส์นูน.....	51
รูปที่ 4.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม Weave3D.....	57
รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งโปรแกรมเสริม.....	59
รูปที่ 4.3 การเลือกเบราเซอร์ที่สนับสนุน.....	60
รูปที่ 4.4 การสร้างโพลเดอรัของ Cosmo Player.....	61
รูปที่ 4.5 ลักษณะของแผงควบคุมใน VRML จากเบราเซอร์ของคอสมโอ.....	61
รูปที่ 4.6 การคลิกปุ่ม Change Control.....	62
รูปที่ 4.7 แผงควบคุม (dashboard) แบบหมุนวัตถุ.....	62
รูปที่ 4.8 ปุ่ม Preferences.....	66
รูปที่ 4.9 หน้าจอของการปรับแต่งการทำงานของแผงควบคุม.....	66
รูปที่ 4.10 แสดงแท็บเมนู Performance.....	67
รูปที่ 4.11 แสดงแท็บเมนู Graphics.....	69
รูปที่ 4.12 แสดงแถบสีแสดงข้อผิดพลาด.....	70
รูปที่ 4.13 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D.....	71
รูปที่ 4.14 การป้อนค่าต่างๆ ที่จำเป็น.....	72
รูปที่ 4.15 กล้องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่าลายทอ.....	72
รูปที่ 4.16 กล้องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่า weave parameter.....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

ฐ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.17 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D แสดง weave pattern.....	73
รูปที่ 4.18 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D ที่ใช้ในการจำลองภาพสองมิติของแนวเส้นด้าย.....	74
รูปที่ 4.19 ภาพจำลอง สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ.....	75
รูปที่ 4.20 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้เลือกพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย.....	76
รูปที่ 4.21 ภาพแสดง weave pattern ของลายขัด.....	77
รูปที่ 4.22 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายขัดในแนว warpwise.....	77
รูปที่ 4.23 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายขัดในแนว weftwise.....	78
รูปที่ 4.24 ภาพจำลองสามมิติของลายขัด.....	78
รูปที่ 4.25 ภาพแสดง weave pattern ของลายทแยง.....	79
รูปที่ 4.26 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว warpwise.....	80
รูปที่ 4.27 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว weftwise.....	80
รูปที่ 4.28 ภาพจำลองสามมิติของลายทแยง.....	81
รูปที่ 4.29 ภาพแสดง weave pattern ของลายต่วน.....	82
รูปที่ 4.30 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายต่วนในแนว warpwise.....	82
รูปที่ 4.31 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายต่วนในแนว weftwise.....	83
รูปที่ 4.32 ภาพจำลองสามมิติของลายต่วน.....	83
รูปที่ 4.33 กล้องโต้ตอบเพื่อเลือกสีเส้นด้าย.....	84
รูปที่ 4.34 ภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ถูกเปลี่ยนสีแล้ว.....	85

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เจริญก้าวหน้าไปมากและยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบในด้านเศรษฐกิจตามมาอีกด้วย ดังนั้นความรู้ในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอจึงเป็นสิ่งที่เราควรศึกษาและทำความเข้าใจ ในประเทศไทย อุตสาหกรรมสิ่งทอได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีการส่งออกสูง สำหรับในปี 2545 (มกราคม ถึง กันยายน) มูลค่าการส่งออกสิ่งทอ โดยรวมยังคงชะลอตัวลดลงโดยมีมูลค่าการส่งออก 3,791.7 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ลดลงจากช่วงระยะเดียวกันของปีที่ผ่านมาร้อยละ 4.9 ซึ่งมีมูลค่า 3,988.2 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ โดยมูลค่าลดลงทั้งกลุ่มเครื่องนุ่งห่มและกลุ่มสิ่งทอ ร้อยละ 7.8 และ 0.7 ตามลำดับ เป็นผลต่อเนื่องจากภาวะเศรษฐกิจในตลาดโลกและตลาดหลักยังไม่ฟื้นตัว ประกอบกับค่าเงินสหรัฐฯ ที่ผ่านมามีอัตราค่าเงินบาทที่เพิ่มขึ้น 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 และยังคงถูกนำมาใช้อ้างอิงอยู่เสมอในงานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างของผ้าทอจนกระทั่งปัจจุบันนี้

การวิเคราะห์โครงสร้างของสิ่งทอด้วยภาพจำลองสามมิติ ไม่ว่าจะเป็นอาศัยแบบจำลองเชิงกล (mechanical modeling) หรือแบบจำลองเชิงเรขาคณิต (geometrical modeling) จะช่วยให้การวิเคราะห์สมบัติของสิ่งทอทำได้ง่ายขึ้น คอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อแสดง

ภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างสิ่งทอชนิดต่างๆ 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

ด้วยสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ที่สูงมากขึ้น ทำให้ปัจจุบันงานวิจัยในด้านนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยอาจแบ่งระดับการสร้างแบบจำลองเป็น 2 ระดับ คือการสร้างแบบจำลองในเชิงรายละเอียด (micro-scale modeling) เน้นไปที่การสร้างแบบจำลองในระดับโครงสร้างต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลทั้งทางด้านเรขาคณิต และด้านสมบัติเชิงกล การสร้างแบบจำลองในลักษณะนี้ เช่น การสร้างแบบจำลองของเส้นด้ายหรือโครงสร้างผ้าฝืนในภาวะต่างๆ ส่วนการสร้างแบบจำลองในเชิงภาพรวม (macro-scale modeling) เช่น การจำลองลักษณะการเปลี่ยนรูปของผ้าฝืนในภาวะต่างๆ เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษาในการสร้างภาพสามมิติ คือภาษาเวอร์ชวลเรียลลิตีโมเดลลิง (Virtual Reality Modeling Language, VRML) ภาพของเส้นด้ายแต่ละเส้นจะถูกสร้างขึ้นด้วยหลักทางเรขาคณิต นั่นคือด้ายแต่ละเส้นจะมีแนวเส้นด้าย (yarn path) ต่างกันไปตามลายทอ (weave pattern) เมื่อนำมา

ประกอบกันจะได้โครงสร้างของผ้าทอที่ต้องการศึกษา นอกจากนี้ยังทดลองใช้หน้าตัดของด้ายในลักษณะต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้างผ้าทอที่ได้ด้วย

ในงานวิจัยนี้การจำลองภาพสามมิติ เริ่มจากการนำทฤษฎีทางสิ่งทอและทางคณิตศาสตร์ มาประยุกต์ร่วมกันในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างผ้าทอ นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มาสร้างภาพจำลองสามมิติของโครงสร้างผ้าทอโดยใช้ภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง สำหรับโปรแกรมที่เป็นส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (user interface) นั้น พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำเข้ามาใช้ในขั้นตอนก่อนเกิดกระบวนการทอจริง โดยโปรแกรมที่ได้นี้ เพื่อคุณลักษณะของผืนผ้าที่จะเกิดในแต่ละลวดลายต่างๆ ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการออกแบบก่อนการทอ แล้วจึงนำไปทอเป็นผ้าผืนที่แท้จริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

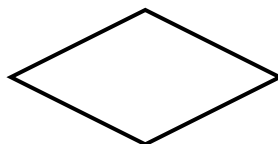
2.1 การทอ

2.1.1 หลักการทอเบื้องต้น

การทอผ้าเป็นงานหัตถกรรมที่เก่าแก่มากที่สุดในโลกงานหนึ่ง ถึงแม้ว่าจุดกำเนิดของการทอจะไม่มีการกล่าวถึงก็ตาม ก็สามารถบอกและค้นพบได้อย่างง่าย ๆ ที่เป็นหลักฐาน เช่น การนำไม้มาขัดกัน ทำรั้ว หรือทำฝานั่งใช้สำหรับที่อยู่อาศัย เป็นต้น ในเมืองไทยเราจะเห็นว่าใช้ไม้ไผ่สาน นอกจากจะทำรั้ว สร้างที่อยู่อาศัยแล้วยังใช้สานภาชนะ และของใช้ต่างๆ มากมาย หลักฐานต่างๆ เหล่านี้คือที่มาของการทอนั่นเอง หลักฐานที่กล่าวแล้วนี้ เป็นลักษณะหนึ่งของการทอที่ไม่ได้ใช้เครื่องทอ และเป็นการใช้วัสดุที่จำกัดความยาว

หลักการทอ คือ การทำให้เส้นด้ายสองพวกขัดกันโดยทั้งสองพวกตั้งฉากกัน เส้นด้ายพวกหนึ่ง เรียกว่าด้ายยืน และอีกพวกหนึ่งเรียกว่าด้ายพุ่ง ทำนองเดียวกับการสานด้วยไม้ไผ่ หรือการสานด้วยกระดาษ ลักษณะของการขัดกันของด้ายพุ่งและด้ายยืนจะขัดกันแบบธรรมดา ที่เรียกกันว่า ลายขัด หรือจะกำหนดให้เป็นลายอื่นๆ ก็ได้ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป (ยุพินศรี สายทอง, 2528: 1-3)

ผ้าทอจะประกอบไปด้วยเส้นด้ายที่ขนานไปตามความยาวของผ้าที่เรียกว่า ด้ายยืน (warp) และเส้นที่ขนานไปตามขวางของผ้าเรียกว่า ด้ายพุ่ง (weft หรือ filling) เส้นด้ายทั้งสองเส้นนี้จะสอดขัดกันไปตามลักษณะโครงสร้างของผ้าแต่ละชนิด ก่อรูปเป็นลวดลายต่างๆ ด้ายยืนอาจเรียกว่า chain หรือ twist ก็ได้ ด้ายยืนแต่ละเส้นเรียกว่า end ส่วนด้ายพุ่งแต่ละเส้นเรียกว่า pick ลักษณะที่ด้ายพุ่งจะสอดเข้าขัดกับด้ายยืนได้นั้นจะต้องแบ่งด้ายยืนออกเป็น 2 หมู่อาจเป็นเส้นเว้นเส้นหรือหลายเส้นขึ้นอยู่กับการออกแบบ เวลาขัดด้ายพุ่งจะเปิดด้ายยืนออกเป็นช่องดังแสดงในรูปที่ 2.1



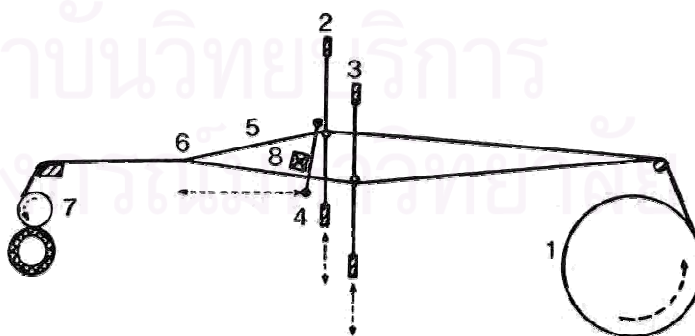
รูปที่ 2.1 การเปิดด้ายยืนเมื่อมีการขั้ด้ายพุ่ง (ศ.อัศจรรย์พร ไศละสูตร, 2524)

เมื่อดูจากด้านข้างของเครื่องทอ จะเห็นช่องว่างที่เกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่า warp shed เป็นช่องทางซึ่งจะสอดด้ายพุ่งเข้าไประหว่างกลาง เมื่อด้ายพุ่งวิ่งผ่านช่องว่างดังกล่าวแล้วจะมีการกระทบ (ตี) ฟันหวีให้พาด้ายพุ่งเข้ามาชิดกัน ทำสลับก้นไปมาจะได้เป็นผืนผ้า

2.1.2 กลไกการทอ

กระบวนการทอในปัจจุบันเป็นกระบวนการที่ได้ปรับปรุงขึ้นมาก โดยเฉพาะการทอเร็วให้ได้ผ้าจำนวนมากใช้เวลาแต่น้อย เครื่องจักรทำงานได้ถูกต้องและแน่นอนยิ่งขึ้น เครื่องทอจึงมีหลายแบบเริ่มแต่แบบง่าย ๆ ไม่แตกต่างไปจากเชิงกลโบราณ แต่อย่างใดจนกระทั่งถึงแบบที่ยากยิ่งขึ้น ทอเป็นลายรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างดีและสวยงาม (อัศจรรย์พร ไศละสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, 2520)

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นลักษณะเส้นด้ายที่อยู่ในเครื่องทออย่างง่าย ๆ แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของอุปกรณ์การทอและการแยกหมู่เส้นด้ายยืนเพื่อให้ด้ายพุ่งสอดเข้าไปขัดกับเส้นยืนได้



รูปที่ 2.2 ภาพวาดตัดตามขวางแสดงการแยกหมู่ด้ายยืน
(อัศจรรย์พร ไศละสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, 2520)

หมายเลข 1 คือ แขน (beam) ม้วนด้ายยืนที่ได้สาวให้เรียงตัวกันเป็นเส้นขนาน ผ่านกระบวนการเตรียมเส้นด้ายเพื่อให้แข็งแรงและทนต่อการเสียดสีของเส้นด้ายด้วยตัวเอง หรือกับ ฟันหวีและตะกอล

หมายเลข 2 และ 3 คือ ตะกอลแบ่งออกเป็น 2 ตะกอล สำหรับทอลายขัด ดังนั้นด้ายยืนเส้นที่ 1 จะร้อยเข้าตาในลวดตะกอลของตะกอลที่ 1 เส้นยืนเส้นที่ 2 ก็ร้อยเข้าที่ตาลวดตะกอลเส้นที่หนึ่งใน ตะกอลที่ 2 สลับกันเส้นต่อเส้นจนกว่าจะหมด

หมายเลข 4 คือ ฟันหวี มีขนาดต่าง ๆ กันตามจำนวนเส้นด้ายใน 1 เซนติเมตร ด้ายยืนเมื่อ ร้อยเข้าตะกอลแล้วจะสับเข้าในช่องระหว่างฟันหวีให้เรียงตามลำดับตามทีออกมาจากแกนด้ายยืน และตะกอล

หมายเลข 5 คือ ด้ายยืนหมู่หนึ่งที่ยกขึ้น เพื่อแยกตัวออกจากด้ายยืนหมู่ที่ 2 เปิดออกเป็น ช่องสำหรับให้ด้ายพุ่งสอดเข้าขัด การบังคับตะกอลให้เปิดเป็นช่องนี้เรียกว่า shedding

หมายเลข 6 คือ แนวผ้าที่ทอได้หรือแนวที่ด้ายพุ่งและด้ายยืนขัดกันแล้วถูกฟันหวีกระทบ ให้เข้ามาอยู่ชิดกันเป็นผ้า

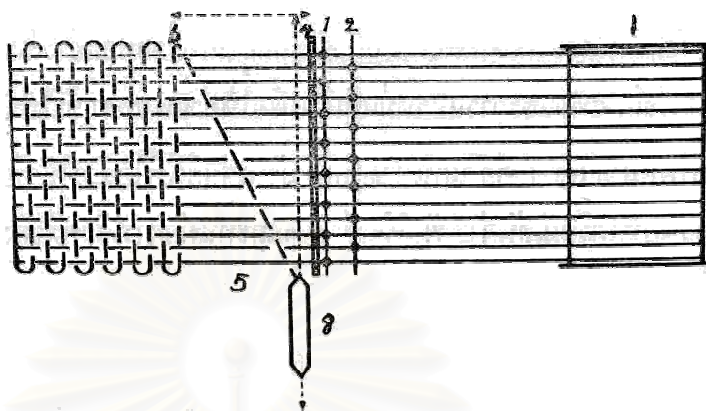
หมายเลข 7 คือ แขน (beam) สำหรับม้วนผ้าที่ทอแล้ว ถ้าเป็นการทอมือ แขนม้วนผ้าจะ อยู่ชิดด้านหน้าของผู้ทอ

หมายเลข 8 คือ กระจวย มีด้ายพุ่งกรอใส่หลอดขนาดเล็ก บรรจุในตัวกระจวยที่จะทำด้าย พุ่งให้สอดไปมาในระหว่างด้ายยืน

กระบวนการเชิงกลของการทอแบ่งออกเป็น 3 ชั้น หมุนเวียนกันไป ได้แก่

- 1) การเปิดช่องด้ายยืน (shedding)
- 2) การสอดเส้นพุ่ง (picking)
- 3) การกระทบด้ายพุ่งให้เข้ามาชิดกัน

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นลักษณะการขัดของด้ายพุ่งและด้ายยืนในผ้า ฟังสังเกตตำแหน่งของด้ายพุ่งที่สอดขัดเป็นเส้นทแยง เพื่อเวลากระทบให้เข้ามาชิดกัน จะไม่ตึงตังจนเกินไป



รูปที่ 2.3 การขัดกันของเส้นด้ายในผ้าทอ

(อัจฉราพร ไสละสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, 2520)

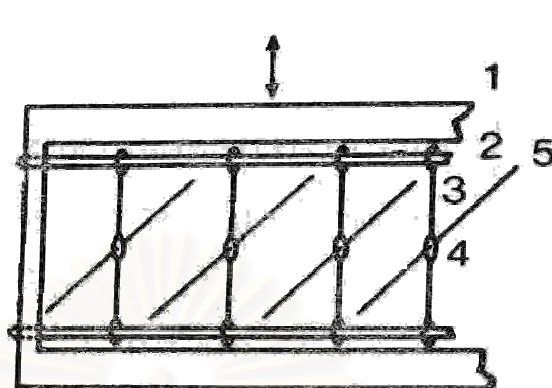
กระบวนการเชิงกลอันดับ 2 และ 3 จะไม่ค่อยมีปัญหา ผู้ทอกำหนดเป็นหลักตายตัวได้ว่า จะให้สอดด้ายพุ่งช้าหรือเร็ว กระทบเส้นด้ายให้ชิดกันมากเท่าใด แต่เชิงกลเปิดช่องเส้นด้ายยืนนั้น สำคัญมาก เปรียบได้กับหัวใจของการขัดเส้นด้ายให้เกิดลวดลาย เปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการ ดังนั้นผู้ออกแบบลายทอควรเข้าใจเชิงกลการทอจึงจะสามารถออกลายให้ใช้ทอได้จริงๆ

ถ้าเป็นกระบวนการทอด้วยเครื่องอัตโนมัติ กระบวนการต่อไปนี้ เครื่องทอจะทำงานไปตัวเอง แต่ถ้าเป็นเครื่องทอมือ ผู้ทอจะต้องกระทำด้วยตนเอง ได้แก่

- 1) การคลายด้ายยืน เมื่อทอไปได้ระยะหนึ่ง ฟันหวีจะกระทบด้ายยืนไม่ได้แรงเท่าที่ต้องการ กลไกการคลายด้ายยืน จะทำงานปล่อยด้ายยืนออกมาให้ยาวพอสมควร
- 2) การม้วนผ้า ด้ายยืนที่ปล่อยออกจะหย่อนยาน เชิงกลการม้วนผ้าจะทำงานม้วนผ้าที่ทอแล้วเข้าไปด้ายยืนตึงพอดีสำหรับทอต่อไป

อุปกรณ์เลือกสีด้ายพุ่ง จะมีติดอยู่เฉพาะเครื่องทอที่ติดตั้งไว้เพื่อทอด้วยเส้นพุ่งย้อมสี เชิงกลนี้จะทำงานเองโดยอัตโนมัติ ปัจจุบันสามารถเลือกสี (shade) แตกต่างกันได้ถึง 8 สี

การทอให้เกิดลวดลายสวยงาม ตะกอมมีความสำคัญยิ่งอีกอย่างหนึ่งที่จะต้องแยกด้ายยืน ออกเป็นหมู่ตามต้องการ ดังรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นลักษณะของตะกอม คือ



รูปที่ 2.4 ตะกอม (อัจฉราพร ไศละสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, 2520)

ส่วนประกอบของตะกอมสามารถแบ่งได้เป็น

- 1) กรอบตะกอม ทำด้วยไม้หรือโลหะ
- 2) ดิ้วตะกอม ทำด้วยไม้หรือโลหะขนาดพอดีที่ห่วงปลายลวดตะกอมจะสอดใส่ได้

สะดวก

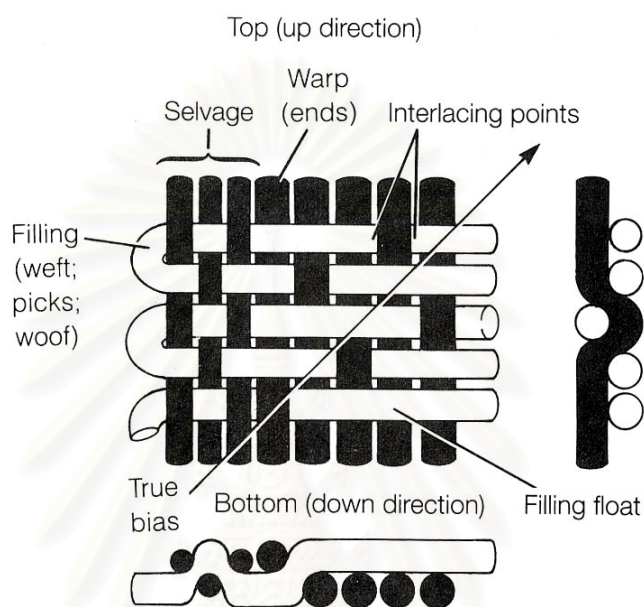
3) ลวดตะกอม ปลายสองข้างเป็นห่วงหรือช่องสำหรับสอดเข้าในดิ้วตะกอมสำหรับ ยึดตะกอมให้อยู่คงที่ ตรงกลางมีตาหรือช่อง (หมายเลข 4 ในรูปที่ 4) สำหรับร้อยด้ายยืน ลวดตะกอม 1 อัน ร้อยด้ายยืนได้เพียงเส้นเดียว

ด้ายยืนที่ร้อยหรือสับเข้าในตาตะกอม จะต้องสับเรียงตามลำดับที่ละเส้น ไม่สลับลำดับ มิฉะนั้นจะทอให้เกิดลวดลายไม่ได้

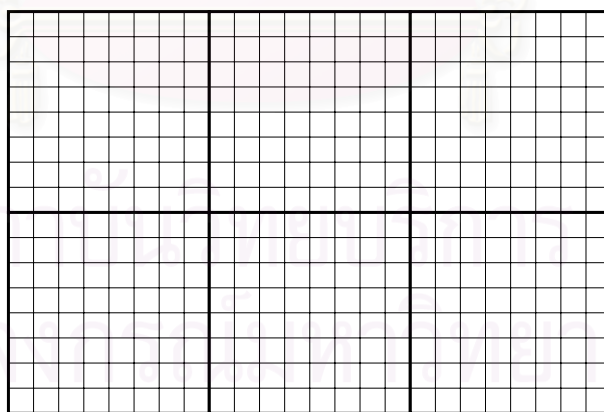
2.2 กระดาษออกแบบ และลายทอ (Design Paper and Weave Repeat)

การทอเป็นกระบวนการผลิตผ้าที่เก่าแก่ที่สุด และก็ยังคงเป็นวิธีที่สำคัญในการผลิตผ้าฝ้าย ในกระบวนการทอ ด้ายยืน หรือเส้นด้ายที่วางตัวในแนวยาวจากด้านหลังมายังด้านหน้าของเครื่อง ทอ จะขัดสานด้วยมุม 90° กับด้ายพุ่ง ซึ่งเป็นเส้นด้ายที่วางตัวในแนวขวาง ณ จุดขัดสาน

(interlacing point) กันนี้เอง ด้ายยืนและด้ายพุ่งจะมีลักษณะการจัดวางตัวได้ 2 ลักษณะ ก็คือ ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง และด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืน รูปที่ 2.5 แสดงจุดที่ขัดสานในผ้าทอ โดยการสลับสับเปลี่ยนลักษณะการวางตัวของด้ายพุ่งและด้ายยืนนี้เอง ทำให้เกิดเป็นผ้าผืนขึ้นมาได้ การสลับสับเปลี่ยนนี้อาจเกิดขึ้นซ้ำๆ กัน เพื่อสร้างให้เกิดผ้าผืนใหญ่ทั้งหมด ลักษณะการสลับสับเปลี่ยนนี้ สามารถเขียนแทนได้โดยใช้กระดาษออกแบบ (design paper) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 จุดขัดสานในผ้าทอ

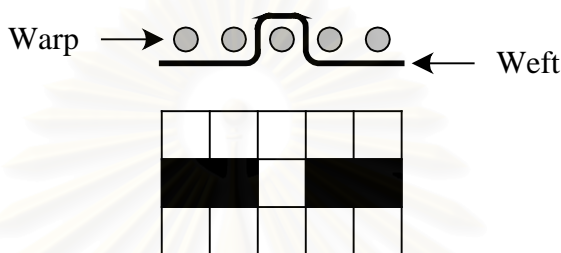


รูปที่ 2.6 ส่วนหนึ่งของกระดาษออกแบบ

กระดาษออกแบบมาตรฐานมีลักษณะคล้ายกระดาษกราฟ แต่จะตีเส้นหน้าทุกๆ 8 ช่อง ช่องตามแนวตั้งเป็นสัญลักษณ์แทนด้ายยืน ส่วนช่องตามแนวนอนเป็นสัญลักษณ์แทนด้ายพุ่ง ดัง

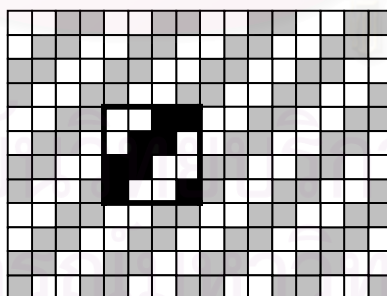
นั่นแต่ละช่องเป็นสัญลักษณ์แทนแต่ละจุดที่มีการขัดสานกัน (interlacing point) ของด้ายพุ่งและด้ายยืน

ช่องที่มีเครื่องหมายแสดงว่า ณ ตำแหน่งนั้น ด้ายยืนจะอยู่เหนือด้ายพุ่ง ส่วนช่องว่าง จะแทนตำแหน่งที่ด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืน รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการจัดวางตัวของด้ายยืนและด้ายพุ่ง เมื่อเทียบกับเครื่องหมายบนกระดาษออกแบบ เครื่องหมายนี้ อาจอยู่ในรูปของกากบาท จุด หรือสัญลักษณ์ใดๆ ก็ถือว่าเป็นตำแหน่งที่แสดงแทนการที่ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง



รูปที่ 2.7 เครื่องหมายในกระดาษออกแบบ (แถวกลาง) เทียบกับการวางตัวของเส้นด้าย

จำนวนช่องที่น้อยที่สุด ซึ่งเมื่อจัดวางตัวเส้นด้ายตามเครื่องหมายแล้ว นำมาทอตามซ้ำๆ กันในทุกๆ ทิศทางแล้ว แล้วได้ผ้าผืนที่สมบูรณ์เรียกว่า หน่วยซ้ำ (weave repeat) ยกตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.8 ส่วนที่เป็นสีเข้มแสดงหน่วยซ้ำของผ้าลายทแยง 2/2 หน่วยซ้ำนี้ประกอบไปด้วยด้ายยืน 4 เส้น ขัดสานกับด้ายพุ่ง 4 เส้น นั่นคือลายทแยง 2/2 นี้มีหน่วยซ้ำขนาด 4x4 หรืออาจกล่าวได้ว่าขนาดของหน่วยซ้ำของลายทแยง เท่ากับ 4

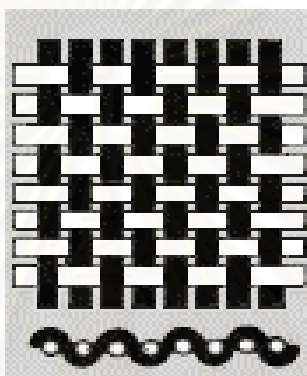


รูปที่ 2.8 ลายทแยง 2/2 โดยมีส่วนที่เป็นสีเข้มแสดงหน่วยซ้ำ

ในส่วนต่อไป จะกล่าวถึงลายทอพื้นฐาน 3 ชนิดได้แก่ ลายขัด ลายทแยง และลายต่วน

2.2.1 ลายขัด (Plain Weave)

ลายขัดเป็นลายทอที่ง่ายที่สุด และมีการใช้เป็นจำนวนมากด้วย หน่วยซ้ำของลายขัดนี้ ประกอบไปด้วยด้ายยืน 2 เส้นและด้ายพุ่ง 2 เส้น ด้ายยืนและด้ายพุ่งจะขัดสานสลับกัน ขึ้นบนแล้ว ลงล่าง เป็นวิธีทอที่นิยมกันมากที่สุด ผ้าที่ทอได้ค่อนข้างเหนียวมาก ลักษณะการทอลายขัดแสดง ในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 แสดงหน่วยซ้ำของลายขัด



รูปที่ 2.9 การทอลายขัด ([http://www.bond-laminates.de/ cs/](http://www.bond-laminates.de/cs/))



รูปที่ 2.10 ลายขัด (สังเกตว่าทั้งสองภาพจะให้ผ้าที่เหมือนกัน)

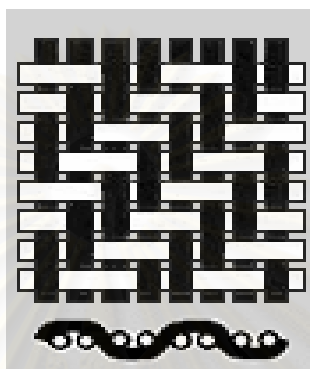
ลายขัดสามารถทอได้ด้วยตะกอเพียง 2 ตะกอเท่านั้น แต่ในบางกรณีเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างที่ยกตะกออาจใช้ตะกอได้มากกว่า 2 ตะกอ เช่น 4 ตะกอ หรือ 8 ตะกอ รูปที่ 2.11 แสดงภาพตัดขวางของผ้าลายขัด



รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางของผ้าลายขัด

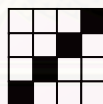
2.2.2 ลายทแยง (Twill Weaves)

ลักษณะเฉพาะของลายทแยงก็คือ จะเห็นเส้นเฉียงในเนื้อผ้าอย่างชัดเจน ดังนั้นเวลาทต้องสอดด้ายยืนและด้ายพุ่งให้ขัดข้ามกันและเหลื่อมกัน รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นการทลายสอง 3 เส้น แต่ลายสองอาจท 4 หรือ 5 เส้นก็ได้ ลายทแยงสามารถนำไปใช้ได้ในงานหลายๆ ประเภท เช่น เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม และผ้าสำหรับเฟอร์นิเจอร์

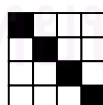


รูปที่ 2.12 การทลายทแยง ([http://www.bond-laminates.de/ cs/](http://www.bond-laminates.de/cs/))

ลายทแยงนี้อาจอยู่ได้ทั้งสองแนว คือ เอียงขวา เรียกว่าแนว Z และเอียงซ้าย เรียกว่าแนว S ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ตามลำดับ โดยปกติ หากไม่ได้ระบุ จะถือว่าลายทแยงเป็นลายทแยงเอียงขวา



รูปที่ 2.13 ลายทแยงเอียงขวาแนว Z



รูปที่ 2.14 ลายทแยงเอียงซ้ายแนว S

ในการทผ้าลายทแยง จำเป็นต้องใช้ด้ายพุ่งและด้ายยืนที่น้อยที่สุด 3 เส้นในแต่ละแนว เพื่อสร้างหน่วยซ้ำหน่วยหนึ่ง หน่วยซ้ำของลายทแยงสามารถแทนได้ด้วยตัวเลข ยกตัวอย่างเช่น

$$\frac{1}{2}$$

ตัวเลขที่อยู่บนเส้นเรียกว่า “ด้ายยืนอยู่บน” ส่วนตัวเลขที่อยู่ใต้เส้นเรียกว่า “ด้ายยืนอยู่ล่าง” ซึ่งหมายถึงจุดที่ด้ายยืนอยู่ด้านบนหรือด้านใต้ของด้ายพุ่งนั่นเอง เมื่อบวกตัวเลขทั้งหมดเข้าด้วยกัน จะได้ขนาดของหน่วยซ้ำของลายทแยง หน่วยซ้ำลายทแยงตามตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลายทแยงตามตัวอย่าง

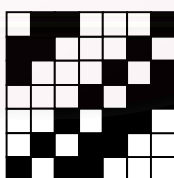
จะเห็นได้ว่าลายทแยงตามตัวอย่างเป็นการอ่านตัวแทนด้ายยืน ในบางกรณีก็สามารถอ่านตามแนวด้ายพุ่งได้เช่นกัน เพื่อความสะดวก การเขียนแทนลายทแยง สามารถเขียนโดยสลับตัวเลขด้ายยืนอยู่บนและด้ายยืนอยู่ล่าง โดยคั่นด้วยเครื่องหมายทับ “/” ตัวอย่างเช่น

$$1/2$$

หรือในตัวอย่างต่อไปนี้

$$\frac{1 \ 2}{3 \ 1}$$

เขียนแทนได้ด้วย 1/3/2/1 รูปที่ 2.16 แสดงหน่วยซ้ำของลายทแยงนี้

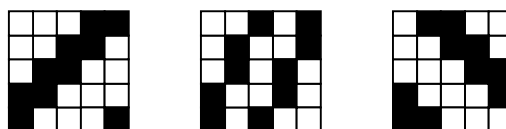


รูปที่ 2.16 ลายทแยง 1/3/2/1

แม้ว่าเราจะสามารถออกแบบลายทแยงให้มีขนาดเท่าใดก็ได้ แต่ควรระมัดระวังให้มีจุดขาดสานเพียงพอที่จะไม่ทำให้โครงสร้างหลวมเกินไป จนทำให้ด้ายลื่นออกจากกัน ทำให้ผ้าใช้งานไม่ได้ตามที่ต้องการ โดยทั่วไปค่าด้ายยืนอยู่บนหรือด้ายยืนอยู่ล่างไม่ควรมากกว่า 7

ความชันของเส้นทแยงกำหนดด้วยตัวแปรที่เรียกว่าเลขขั้น (step number) ยิ่งเป็นเลขจำนวนสูงๆ ก็จะมีความชันมากขึ้น เลขขั้นนี้ได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งแสดงถึงเส้นเฉียงตามแนว

Z และแนว S ตามลำดับ ถ้าไม่กำหนดจะถือว่า ค่าตัวบอกชั้นมีค่าเท่ากับ 1 รูปที่ 2.17 แสดงลายทแยง 2/3 ซึ่งมีเลขชั้นเท่ากับ 1, 2 และ -1 ตามลำดับ



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.17 ลายทแยง 2/3 ซึ่งมีเลขชั้นเท่ากับ (ก) 1 (ข) 2 และ (ค) -1

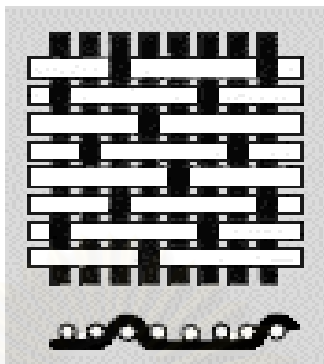
ลายทแยงยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือลายทแยงแบบสมดุล (balanced or even sided twill) และลายทแยงแบบไม่สมดุล (unbalanced or uneven sided twill) ลายทแยงแบบสมดุลจะมีทั้งสองด้านเหมือนกัน ไม่ว่าจะมองจากด้านไหน เพียงแต่แนวของเส้นทแยงจะกลับกัน กล่าวคือ ถ้าด้านหน้าเป็นลายเอียงขวา ด้านหลังจะเป็นลายเอียงซ้าย ส่วนถ้าด้านหน้าเป็นลายเอียงซ้าย ด้านหลังจะเป็นลายเอียงขวา ตัวอย่างของลายทแยงแบบสมดุลย์ เช่น ลาย 4/4 หรือ 6/6 เป็นต้น ส่วนลายทแยงแบบไม่สมดุลย์จะมีด้านหน้าและด้านหลังแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ตัวอย่างเช่น ลาย 2/3/2/1 หรือ 4/2/1/2/1/2

2.2.3 ลายต่วน (Satin/Sateen Weaves)

ผ้าลายต่วนมีลักษณะเฉพาะ คือ มีความราบเรียบ (smooth) และเงา (lustre) ผ้าต่วนใช้กับงานเสื้อผ้า เครื่องเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่งบ้าน ในหน่วยซ้ำของลายต่วน ด้ายยืนและด้ายพุ่งแต่ละเส้นจะมีการขัดสานกันได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น

ในการทอต่วน ต้องให้ด้ายพุ่งและเส้นยืนขัดกันน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ตำแหน่งที่ขัดกระจัดกระจายทั่วไป ดังนั้นผิวผ้าด้านหน้า จึงมีแต่เส้นพุ่งหรือเส้นยืนเส้นใดเส้นหนึ่งเป็นเส้นลอย การทอต่วนที่มีด้ายยืนเป็นเส้นลอยที่ผิวผ้าเรียกว่า ต่วนด้ายยืน ส่วนที่มีเส้นลอยเป็นด้ายพุ่งเรียกว่า ต่วนด้ายพุ่ง การทอต่วนครบ 1 รอบ อาจประกอบด้วยด้ายยืนและด้ายพุ่งรวมกัน 5 เส้น หรือ 8 เส้น หรือ 12 เส้น หรืออื่นๆก็ได้ การทอแบบนี้นิยมเรียกชื่อตามจำนวนเส้นด้ายที่ใช้ทอใน 1 รอบ ตามตัวอย่างข้างบนนี้ จะเรียกว่า ทอต่วน 5 เส้น (เวลาทอใช้ตะกอ 5 ตะกอ) หรือ ทอต่วน 8 เส้น หรือ 12 เส้นตามลำดับ ต่วนทั้ง 3 ชนิด ที่กล่าวนี้มีใช้กันมาก ผ้าทอต่วนมีเนื้อนุ่ม เป็นมัน ไม่ทน

การเสียดสี และอื่นๆ ทั้งนี้เพราะเหตุว่าเส้นด้ายขัดกันน้อย ตัวอย่างของลายต่วนแสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การทอลายต่วน ([http://www.bond-laminates.de/ cs/](http://www.bond-laminates.de/cs/))

การทอลายต่วนสามารถเปลี่ยนแปลง หรือรวมเอาวิธีทอทั้ง 3 ชนิด กล่าวคือ การทอลายขัด การทอลายสอง และการต่วนเข้าด้วยกัน เกิดเป็นลายผ้าชนิดใหม่ วิธีทอทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวเรียกว่า วิธีทอเบื้องต้น ผ้าทอนอกจากจะแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามขบวนการทอแล้ว ยังแบ่งออกตามชนิดของเส้นใยอีกด้วย เช่น ผ้าฝ้าย ผ้าลินิน ผ้าขนสัตว์ ผ้าไหม ผ้าใยเรยอน ผ้าใยผสม ผ้าใยสังเคราะห์ ฯลฯ

นอกจากนั้นการสร้างลายต่วนยังต้องอาศัยตัวนับ (count number) โดยตัวนับจะต้องเป็นไปตามกฎต่อไปนี้

- 1) มีค่ามากกว่า 1
- 2) มีค่าน้อยกว่าขนาดของหน่วยซ้ำ อย่างน้อย 2
- 3) ขนาดของหน่วยซ้ำ และตัวนับ ต้องไม่มีตัวประกอบร่วมกัน

ลายต่วนสามารถเขียนแทนได้โดยใช้ตัวเลข เช่นเดียวกับลายทแยง ส่วนจำนวนด้ายพุ่งและด้ายยืนที่น้อยที่สุดในหน่วยซ้ำ เท่ากับ 5 ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของหน่วยซ้ำ และตัวนับที่เป็นไปได้ ดังนั้นการบอกชนิดของลายต่วนจะต้องบอกขนาดของหน่วยซ้ำ และตัวนับ เช่น ลายต่วนขนาด 5 ด้ายยืน ตัวนับเท่ากับ 3 เป็นต้น

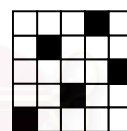
ตารางที่ 2.1 ขนาดของหน่วยซ้ำและตัวนับที่เป็นไปได้

ขนาดของหน่วยซ้ำ	ตัวนับที่เป็นไปได้	ตัวนับที่ไม่เป็นไปตามกฎ	ตัวนับที่เป็นไปตามกฎ
2	1	1	ไม่มี
3	1,2	1,2	ไม่มี
4	1,2,3	1,2,3	ไม่มี
5	1,2,3,4	1,4	2,3
6	1,2,3,4,5	1,2,3,5	ไม่มี
7	1,2,3,4,5,6	1,6	2,3,4,5

ความแตกต่างของลายตัวนด้ายยืน (satin) และลายตัวนด้ายพุ่ง (sateen) ก็คือ ลายตัวนด้ายยืน เป็นลายตัวนที่มีจำนวนของจุดขัดสานที่ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง มากกว่าจุดขัดสานที่ด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืน ในทางตรงกันข้าม ลายตัวนด้ายพุ่ง เป็นลายตัวนที่มีจำนวนของจุดขัดสานที่ด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืนมากกว่าจุดขัดสานที่ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง อย่างไรก็ตามหากผ้าตัวนด้านใดเป็นลายตัวนด้ายยืน อีกด้านจะเป็นลายตัวนด้ายพุ่งเสมอ หรือถ้าด้านหนึ่งเป็นลายตัวนด้ายพุ่ง อีกด้านหนึ่งจะเป็นลายตัวนด้ายยืน รูปที่ 2.19(ก) และ (ข) แสดงลายตัวนด้ายยืน และลายตัวนด้ายพุ่ง ที่ใช้ตะกอจำนวน 5 ตะกอในการผลิต



(ก) ลายตัวนด้ายยืน (satin)

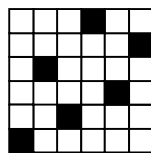


(ข) ลายตัวนด้ายพุ่ง (sateen)

รูปที่ 2.19 ลายตัวนที่มีขนาดหน่วยซ้ำ (หรือจำนวนตะกอ) เท่ากับ 5 มีตัวนับเท่ากับ 3

โดยทั่วไปแล้ว ผ้าลายตัวนจะทอด้วยลายตัวนด้ายพุ่ง (sateen) ทั้งนี้เนื่องจากในการทอลายดังกล่าว จะยกตะกอเพียงครั้งละ 1 ตะกอ ซึ่งทำให้สภาพความตึงในเครื่องทอสามารถถูกควบคุมได้ง่าย

จากตารางข้างต้น จะเห็นว่าสำหรับหน่วยซ้ำบางขนาด ไม่สามารถหาตัวนับที่ตรงตามกฎได้ แต่สามารถสร้างลายตัวนได้ด้วยการเปลี่ยนตัวนับไปเรื่อยๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ลายตัวขนาด 6 เส้นด้ายยืน มีตัวนับเป็น 1,3,5,2,6,4

2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลายทอ

การสร้างลายทอสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างลายด้วยมือเปล่า (freehand editing) การสืบค้นจากฐานข้อมูล (database) และการสร้างด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical modeling) แต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียในการออกแบบลายทอด้วยวิธีต่างๆ

	ถูกต้องแม่นยำ	มีลายไม่จำกัด	ประหยัดเวลา	ประหยัดเนื้อที่จัดเก็บ
Freehand		√		√
Database	√		√	
Mathematical	√	√	√	√

ด้วยวิธีการต่างๆ เหล่านี้ จะเห็นได้ว่าการสร้างลายทอด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถสร้างลายได้ไม่จำกัด ไม่จำเป็นต้องใช้เนื้อที่จัดเก็บมากนัก ประหยัดเวลา และความถูกต้องสูง มีผู้วิจัยหลายท่านได้รายงานเกี่ยวกับการสร้างลายทอด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ไว้ ดังจะได้กล่าวต่อไป

โดยทั่วไปนักออกแบบจะเขียนลายทอ (weave design) ด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ บนกระดาษตารางที่เรียกว่ากระดาษออกแบบ (design paper) วิธีนี้ต้องการนักออกแบบที่มีความรู้และทักษะเกี่ยวกับการออกแบบลายทอเป็นอย่างดี และอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย (Fujita, 1962a) ดังนั้นจึงได้มีความพยายามในการแสดงลายทอด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยพยายามทำให้เป็นระบบ (systematise) นักวิจัยที่สำคัญได้แก่ T. Renaud L. Lejeune, J. Soroge, M. Tanaka, H. Tsukiyama และ T. Broggi ต่อมา Go ได้แนะนำให้ใช้วิธีการแสดงลายทอที่เรียกว่า N-adic expansion method และ Prime number method (Go, et al., 1961) ด้วยวิธีทั้งสอง ลายทอ

หนึ่งๆ สามารถแสดงแทนได้ด้วยเลขจำนวนเต็มเพียงจำนวนเดียว แต่การแปรผลจากตัวเลขเป็นลายทอนั้น ยังมีความยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลายทอมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับลายทอที่ใหญ่และซับซ้อน

Fujita (Fujita, 1962a) พัฒนาระบบในการแสดงลายทอด้วยเมตริกซ์ รวมทั้งอธิบายคุณลักษณะเฉพาะ (specification) ของลายทอด้วยระบบคณิตศาสตร์ ในวิธีนี้เมตริกซ์ สองมิติ ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงลายทอ โดยที่แต่ละอิเลิเมนต์ในเมตริกซ์แสดงถึงจุดขัดสาน (interlacing point) ของด้ายพุ่งและด้ายยืน ดังนั้นอิเลิเมนต์ของเมตริกซ์ลายทอจะประกอบไปด้วยค่าเพียง 2 ค่า คือ 1 กับ 0 โดยให้ค่า 1 แสดงจุดที่ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง และให้ค่า 0 แสดงจุดที่ด้ายยืนอยู่ใต้ด้ายพุ่ง นอกจากนี้ Fujita ยังเสนอว่านอกจากลายทอที่สามารถแสดงได้ด้วยวิธีนี้แล้ว draft และ lifting plan ก็สามารถแสดงได้ด้วยวิธีเดียวกัน งานวิจัยยังขยายไปถึงการออกแบบผ้าสองชั้นด้วย [Fujita 1962b] ผู้วิจัยหลายท่านได้นำวิธีของ Fujita มาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสั้นๆ สำหรับสร้างลายทอต่างๆ หรือลายทออนุพันธ์ (Panadiker and Pourdeyhimi 1989, Pourdeyhimi 1988, 1989, Chen et al 1996, 1998) สำหรับงานวิจัยนี้จะอาศัยวิธีของ Fujita ในการเก็บและสร้างลายทอ

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการออกแบบลายทอโดยอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ก็คือ นอกจากจะใช้ได้กับลายทอธรรมดาแล้ว ยังใช้ได้กับลายทอผ้าชนิดพิเศษ เช่น ผ้าหลายชั้น (multilayer) ผ้าออร์โธ-โกนอล (orthogonal) และผ้าแองเกิลอินเตอร์ล็อก (angle-interlock) เป็นต้น (Chen et al 1996, Chen and Potiyaraj 1998, 1999a, 1999b) ซึ่งผ้าทอชนิดพิเศษดังกล่าว กำลังเป็นที่ต้องการเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอใหม่ๆ โดยเฉพาะเทคนิคัลเท็กซ์ไทล์ (technical textiles)

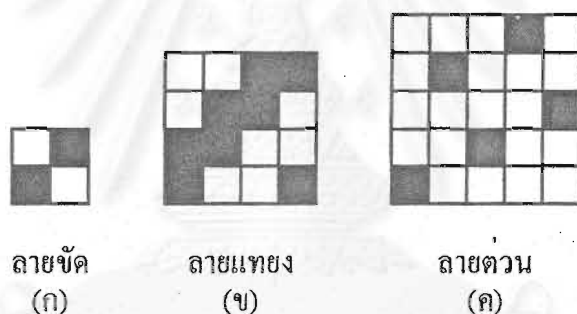
2.4 พารามิเตอร์ของการทอ

วัตถุประสงค์ของการทอ คือการผลิตผ้าผืน (fabric) โดยการขัดสาน (interlacing) เส้นด้ายสองชุดที่เรียกว่าด้ายยืน (warp) และด้ายพุ่ง (weft) ซึ่งวางตัวอยู่บนระนาบเดียวกัน แต่ทำมุมฉากซึ่งกันและกัน ในระบบหนึ่งๆ ประกอบไปด้วยจำนวนเส้นด้าย และรูปแบบของการขัดสานที่ต่างกันไปเรียกว่าลายทอ (weave)

ลักษณะที่ด้ายยืนและด้ายพุ่งวางตัวทับซ้อนและสอดได้ซึ่งกันและกัน ในความกว้างยาวของผ้าทอผืนหนึ่งๆ อาจแปรไปอย่างมีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่แน่นอนก็ได้ มีข้อจำกัดก็เพียงจะต้องไม่มีเส้นด้ายเส้นใดเส้นหนึ่ง อยู่บนด้านใดด้านหนึ่งของผ้าทอในระยะที่ยาวเกินไปที่จะสามารถทนต่อการใช้งานที่ต้องการได้ ในทางปฏิบัติมักจะออกแบบให้ผ้าผืนหนึ่งประกอบไปด้วยลักษณะการทับซ้อนและสอดได้ที่มีรูปแบบและขนาดที่แน่นอน อยู่ซ้ำๆ กัน ลักษณะการทับซ้อนและสอดได้

ลักษณะการทักซ้อนและลวดได้ที่มีรูปแบบและขนาดที่แน่นอน อยู่ซ้ำๆ กัน ลักษณะการทักซ้อนและลวดได้นี้เรียกว่าลายทอ (weave repeat หรือมักเรียกว่า weave) ขนาดของลายทออาจมีตั้งแต่ 0.01 ตารางมิลลิเมตร ไปจนถึง 1,000,000 ตารางมิลลิเมตร ในกรณีที่ลายทอมีความซับซ้อนมากๆ

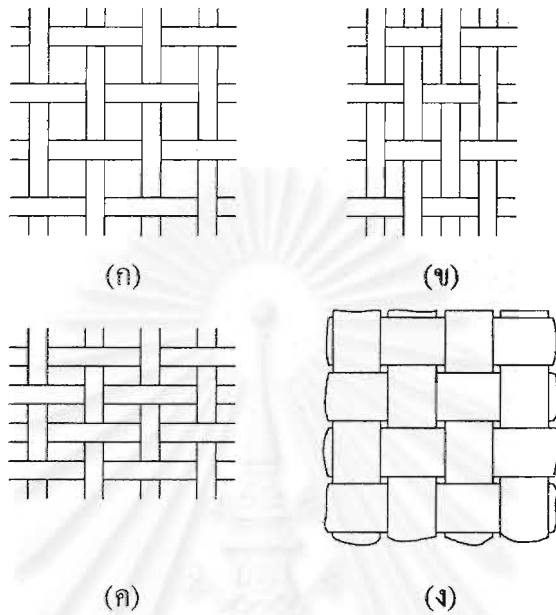
ลายทอพื้นฐานอาจแบ่งเป็น 3 ชนิด คือลายขัด (plain weave) ลายทแยง (twill/weave) และลายต่วน (satin/sateen weave) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.21 ภาพที่แสดงนั้นอยู่ในลักษณะของกระดาษออกแบบ (design paper หรือ point paper) กระดาษออกแบบมีลักษณะคล้ายกระดาษกราฟ โดยมีเส้นขนานวางตัวในแนวนอนและแนวตั้ง ช่องว่างระหว่างเส้นตั้งที่ขนานกันเป็นตัวแทนของด้ายยืน ส่วนช่องว่างระหว่างเส้นนอนที่ขนานกันแสดงด้ายพุ่ง ดังนั้นในแต่ละช่องสี่เหลี่ยมเป็นตัวแทนของจุดขัดสาน (interlacing point) ซึ่งด้ายยืนและด้ายพุ่งวางตัวทักซ้อนและลวดได้ซึ่งกันและกัน ช่องสี่เหลี่ยมที่มีสีทึบ หรือมีการทำเครื่องหมาย แสดงให้เห็นถึงการที่ด้ายยืนวางตัวอยู่เหนือด้ายพุ่ง ส่วนช่องสี่เหลี่ยมเปล่าแสดงถึงการที่ด้ายพุ่งวางตัวอยู่เหนือด้ายยืน



รูปที่ 2.21 ลายทอพื้นฐานทั้ง 3 ชนิด

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างลายทอพื้นฐานทั้งสามชนิดหากใช้ด้ายชนิดเดียวกันและมีความหนาแน่นของเส้นด้ายเท่ากัน (มีระยะห่างระหว่างเส้นด้ายแต่ละเส้นในผ้าทอเท่ากัน) ลายขัด จะให้ผ้าที่มีความแข็ง (stiffness) มากที่สุด ผ้าลายทแยงมีความแข็งในระดับปานกลาง ส่วนลายต่วนจะให้ผ้าที่มีความอ่อนนุ่มมากที่สุด ผ้าลายขัดจะมีลักษณะปรากฏเหมือนกันทั้งสองหน้า ผ้าลายทแยงจะมีลักษณะปรากฏบนด้านทั้งสองคล้ายกันแต่เป็นภาพสะท้อนซึ่งกันและกัน แต่ผ้าต่วนจะมีลักษณะปรากฏต่างกันในแต่ละหน้าโดยสิ้นเชิง ด้านหนึ่งจะมีด้ายยืนแทบทั้งหมด ส่วนอีกด้านหนึ่งจะมีด้ายพุ่งแทบทั้งหมด ผ้าทอที่ผลิตมากที่สุดคือผ้าทอลายขัด และในการพิจารณาผลของกระบวนการทอ มักจะนิยมศึกษาการทอผ้าลายขัด ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาหลายข้อ เป็นจริงสำหรับลายทออื่นๆ ด้วยเช่นกัน

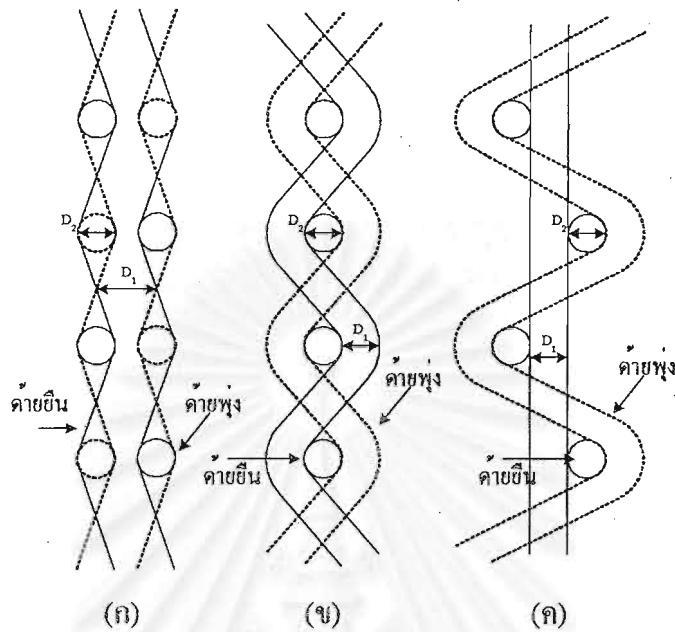
การแสดงผลทอบนกระดานออกแบบจะให้ข้อมูลที่จำกัดเกี่ยวกับโครงสร้างของผ้าทอ ในรูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างของผ้าทอหลายชนิดทั้ง 4 ชนิด แต่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับลักษณะของเส้นด้าย และการจัดวางตัวของเส้นด้ายนั่นเอง



รูปที่ 2.22 แผนภาพแสดงโครงสร้างหลายชนิดที่มีลักษณะต่างกัน

ผ้าที่แสดงในรูปที่ 2.22(ก) มีความหนาแน่นของเส้นด้ายเท่ากันทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่ง โครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า square cloth ผ้าที่แสดงในรูปที่ 2.22(ข) มีความหนาแน่นของด้ายพุ่งเท่ากับผ้าในรูปที่ 2.22(ก) แต่มีความหนาแน่นของด้ายยืนเพิ่มขึ้น ผ้าในรูปที่ 2.22(ค) มีความหนาแน่นของด้ายยืนเท่ากับผ้ารูปที่ 2.22(ก) แต่มีความหนาแน่นของด้ายพุ่งเพิ่มขึ้น ผ้าในรูปที่ 2.22(ง) มีความหนาแน่นของด้ายยืนและด้ายพุ่งเท่ากับผ้าในรูปที่ 2.22(ก) แต่ด้ายที่ใช้เป็นด้ายยืนและด้ายพุ่งมีเส้นใหญ่กว่ามาก ผ้าทั้งสี่ประเภทที่แสดงนี้มีสมบัติเชิงเรขาคณิตและเชิงกลที่แตกต่างกัน อาจสรุปได้ว่านอกเหนือจากสายทอแล้ว จำเป็นจะต้องระบุความหนาแน่นของด้ายยืนและด้ายพุ่ง รวมทั้งความละเอียดของด้ายทั้ง 2 ชุดที่ใช้ด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณเหล่านี้ยังไม่สามารถอธิบายโครงสร้างผ้าได้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.23 เมื่อโครงสร้างที่แตกต่างกันแสดงในภาพตัดขวางตามแนวด้ายยืน โครงสร้างทั้งสามนี้แสดงถึงผ้าตามรูปที่ 2.21(ก) และรูปที่ 2.22 แต่มีความแตกต่างของสมบัติเชิงเรขาคณิตและเชิงกล อันเนื่องมาจากความหยิกงอของด้ายยืนและด้ายพุ่งที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 2.23(ก) ด้ายยืนและด้ายพุ่งมีความหยิกงอเท่ากัน ในขณะที่รูปที่ 2.23(ข) ด้ายยืนวางตัวในแนวเส้นตรงด้ายพุ่งเท่านั้นที่มีความหยิกงอ รูปที่ 2.23 ค) ด้ายพุ่งเส้นหนึ่งวางตัวในแนวเส้นตรง แต่ด้ายยืนจะวางตัวในแนวเส้นตรงสลับกับด้ายยืนซึ่งมีความหยิกงอ

โครงสร้างที่แสดงนี้เป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างเต็มที่ แต่ในทางปฏิบัติ การกระจายความหยิกงอของด้ายยืนและด้ายพุ่งจะมักจะมีค่าอยู่ระหว่างปานกลางซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.23 ภาพตัดขวางของโครงสร้างผ้าลายขัด 3 ชนิด

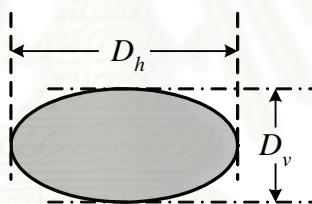
จากการศึกษารูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 เราสามารถสรุปพารามิเตอร์ของผ้าทอที่จำเป็นจะต้องระบุเพื่อให้การอธิบายโครงสร้างของผ้าสมบูรณ์ซึ่งได้แก่

- 1) ลายทอ
- 2) ความหนาแน่นของด้าย ด้ายยืนแต่ละเส้นจะเรียกว่า end และระบุความหนาแน่นของด้ายยืนในหน่วย เส้นด้ายยืนต่อเซนติเมตร (ends per centimeter, *epc*) ด้ายพุ่งแต่ละเส้นเรียกว่า picks และระบุความหนาแน่นของด้ายพุ่งในหน่วย เส้นด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร (picks per centimeter, *ppc*)
- 3) ความละเอียดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ในแง่ของโครงสร้างผ้า ความละเอียดของเส้นด้ายเป็นสมบัติเชิงเรขาคณิต รูปร่างของภาคตัดขวางของด้ายมักถูกสมมุติให้มีลักษณะเป็นวงกลม ทำให้ด้ายก็คือทรงกระบอกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ D ในทางปฏิบัติ เป็นการยากที่จะวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ายโดยตรง แต่จะนิยมวัดในหน่วยของน้ำหนักต่อความยาวที่เรียกว่าหน่วยเท็กซ์ (tex, t) ซึ่งนิยามไว้ว่าเป็นน้ำหนักของด้ายความยาว 1,000 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดของเส้นด้ายในหน่วยเท็กซ์ และเส้นผ่านศูนย์กลางของด้าย จะขึ้นกับความหนาแน่นรวมโดยเฉลี่ย (mean bulk density, d) ของด้ายในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการที่ต่อไปนี

$$D = 2\sqrt{\frac{t}{100\pi d}} \text{ mm} \quad (2.1)$$

จะต้องย้ำว่าสมการนี้เป็นการประมาณโดยหยาบๆ เท่านั้น เนื่องจากเกิดขึ้นจากการสมมุติว่าภาคหน้าตัดของด้ายมีลักษณะเป็นวงกลม ในทางปฏิบัติเส้นด้ายที่ปรากฏในผ้าฝ้ายจะถูกทำให้เสียรูปร่างแบนลงตามแนวระนาบของผ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.24 เพื่อความถูกต้อง เราจะต้องคำนึงถึงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ตัว คือ D_h และ D_v โดยที่ D_h เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดในแนวระนาบเดียวกับผ้า ส่วน D_v เป็นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดในแนวตั้งฉากกับระนาบของผ้า เส้นด้ายจะแบนลงมากหรือน้อยขึ้นกับโครงสร้างผ้า ปริมาณความมากน้อยนี้มักจะกล่าวถึงในรูปของสัมประสิทธิ์ความแบน (flattening coefficient, e) ซึ่งคำนวณได้จาก D_v/D_h ค่าของสัมประสิทธิ์นี้จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ



รูปที่ 2.24 ภาคตัดขวางของด้ายที่ถูกทำให้แบนลง

เมื่อค่าของ D สามารถหาได้จากสมการข้างต้นแล้ว เราสามารถประมาณค่าของ D_h และ D_v ได้จากสมการ

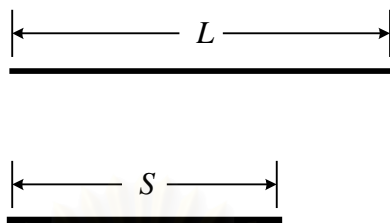
$$D_h = \frac{D}{\sqrt{e}} \quad (2.2)$$

$$D_v = D\sqrt{e} \quad (2.3)$$

ค่าของ D_v นั้นเกี่ยวข้องกับค่าการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับความหนาของผ้า และความหยิกของด้าย ส่วนค่า D_h เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการปกปิด และความโปร่งของผ้า

4) ก่อนที่จะทอเป็นผ้าฝ้าย ทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อเกิดเป็นผ้าฝ้ายแล้ว ด้ายทั้งสองชุดจะไม่สามารถคงลักษณะความเป็นเส้นตรงได้ เนื่องจากจะต้องมี

การขัดสานซึ่งกันและกัน ทำให้ด้ายแต่ละเส้นเกิดการโค้งงอ ทำให้ในความยาวของผ้าผืนหนึ่งๆ จะมีความยาวของด้ายที่ใช้มากกว่า ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าความหยิกงอ (crimp) ซึ่งเป็นการอธิบายความโค้งงอของด้ายในผ้าผืน ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ความยาวของด้ายก่อนทอ (L) และความยาวของผ้าผืน (S)

ความหยิกงอของด้ายยืนและด้ายพุ่ง นิยมวัดเป็นปริมาณความหยิกงอ (C) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$C = \frac{L - S}{S} = \frac{L}{S} - 1 \quad (2.4)$$

สูตรข้างต้นให้ค่าความหยิกงอในรูปทศนิยม ถ้านำค่านี้คูณด้วย 100 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความหยิกงอ (crimp percentage) ซึ่งนิยมใช้มากกว่า

พารามิเตอร์ทั้ง 4 นี้ โดยรวมแล้วมีความเกี่ยวเนื่องกัน แต่เนื่องจากเราจะศึกษาเฉพาะลายขัด จึงจะอธิบายแต่พารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์หลัง ตัวอย่างเช่น หากความละเอียดของด้ายยืนและด้ายพุ่งคงที่ จะไม่มีค่าความหนาแน่นด้ายยืนและความหนาแน่นด้ายพุ่งที่น้อยที่สุด แต่จะมีความหนาแน่นเส้นด้ายที่มากที่สุด ซึ่งถูกกำหนดโดยความละเอียดของด้ายนั่นเอง ค่าขีดจำกัดบนนี้ก็มีความเกี่ยวเนื่องต่อไปเช่นกัน ความหนาแน่นด้ายพุ่งอาจเพิ่มเพิ่มขึ้นหากความหนาแน่นด้ายยืนลดลง หรือความหนาแน่นด้ายพุ่งอาจลดลงเมื่อความหนาแน่นด้ายยืนเพิ่มขึ้น

ส่วนความหยิกงอนั้น จะไม่มีค่าที่น้อยที่สุดสำหรับระบบเส้นด้ายหนึ่งๆ โครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นว่าด้ายบางเส้นอาจอยู่ในแนวเส้นตรง ทำให้มีความหยิกงอเป็นศูนย์สำหรับผ้าทอแล้ว ไม่มีทางเป็นไปได้ในการผลิตผ้าให้ความหยิกงอของด้ายทุกเส้นเป็นศูนย์ เนื่องจากความหยิกงอจะต้องเกิดขึ้นจากการขัดสาน การแลกเปลี่ยนความหยิกงอ (crimp interchange) ระหว่างด้ายทั้งสองชุดมีความเป็นไปได้ ค่าความหยิกงอสำหรับด้ายกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อการแลกเปลี่ยนความหยิกงอเกิดขึ้นจนถึงจุดที่ด้ายอีกชุดหนึ่งมีความหยิกงอเป็นศูนย์ สำหรับโครงสร้างบางโครงสร้าง การแลกเปลี่ยนความหยิกงอจนถึงจุดดังกล่าวจะไม่

สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นค่าความหยิกงอที่มากที่สุดสำหรับกลุ่มเส้นด้ายในเนื้อผ้าจะน้อยกว่าความหยิกงอที่สามารถเกิดได้จริงในเส้นด้าย

2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองภาพสามมิติของผ้าทอ

Pierce's model (Love, 1954) เป็นแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าทอลายขัด ดังแสดงใน รูปที่ 2.26 เป็นข้อสมมุติฐานที่พิจารณาพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายที่มีรูปร่างเป็นวงกลม และอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าเส้นด้ายไม่มีความต้านทานต่อการโค้งงอ

ในปีค.ศ.1954 Love (Love, 1954) ได้พิจารณาเกี่ยวกับ Pierce's model ที่ถูกประยุกต์ใช้ ซึ่งพบว่าใช้ได้ยากกับปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านสิ่งทอ เขาได้แนะนำว่าความยากของการแก้ระบบของ Pierce ของ non-linear equations ทำให้มีปัญหาต่อการใช้งานของแบบจำลอง

ในปีค.ศ. 1958 Kemp (Kemp, 1958) เป็นคนแรกที่ปรับปรุง Pierce's model เพื่อสังเกตสมมุติฐานของ Pierce ของเส้นด้ายที่มีพื้นที่หน้าตัดให้มีรูปแบบต่างๆ เนื่องจากในกระบวนการทอเส้นด้ายยี่นที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมจะถูกกดทับจากด้ายพุ่ง ทำให้พื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบต่าง ๆ เช่น วงกลม วงรี สี่เหลี่ยมปลายมน รูปเลนส์นูน ดังแสดงในรูปที่ 2.26

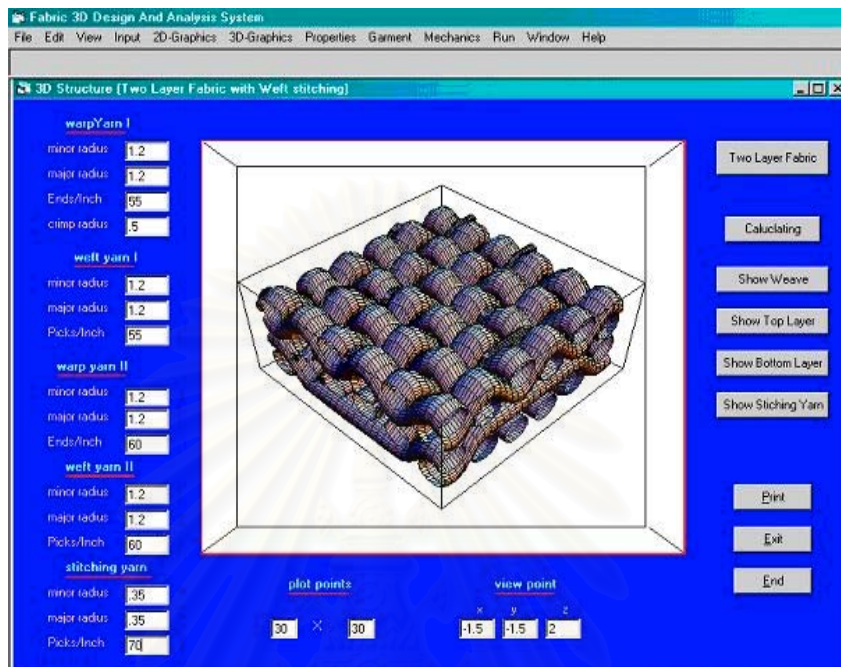


รูปที่ 2.26 ภาพพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายในรูปแบบต่างๆ (Kemp, 1958)

จากการวิจัยก่อนหน้าของ S. Adanur (<http://www.robotic.dlr.de/Joerg.Vogel/Vrml/lib.html>) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรม Integrated Computer – based Design System ดังแสดงใน

รูปที่ 2.27 ที่มีศักยภาพ ซึ่งใช้สร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอแบบสามมิติ โดยจะทำการจำลองรูปแบบของสิ่งภายใต้พื้นฐานทางวิชาการและเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน เข้ามาช่วยในการออกแบบโครงสร้างผ้า สองมิติ และ 3มิติ ใช้ทำนายสมบัติ

เชิงกลและคุณลักษณะในการใช้งานรูปร่าง สามมิติ โดยการออกแบบโปรแกรมจะทำการจำลองแยกเป็นแต่ละชั้น (layer) ของผืนผ้า ซึ่งสามารถทำเป็นผ้าผืนได้ถึง 3 ชั้น ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น และมีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงการออกแบบมากขึ้น



รูปที่ 2.27 โปรแกรม “Fabric 3D Design and Analysis System”

(<http://www.eng.auburn.edu/~sadanur/Virtual-3D.html>)

การวิจัยของ Dimitris Protopsaltou, Christina Luible, Marlene Arevalo, Nadia Magnenat-Thalmann (Dimitris Protopsaltou, et al., 2002) ได้ทำการศึกษาวิธีใหม่ในการผลิตผ้าผืน สามมิติ ให้มีลักษณะเหมือนจริง ทำให้ผู้ใช้มีความรู้สึกเหมาะกับรายละเอียดของเสื้อผ้า และงานวิจัยนี้ยังมีแนวทางขึ้นเพื่อร้านค้าที่ต้องการนำเสนอสินค้าที่เป็นที่ถูกใจ, ดึงดูด และมีความเหมือนจริงสูง ทำให้ลูกค้า และผู้ที่แวะเข้ามาชมสินค้าสามารถเลือกแบบเสื้อผ้าที่มีความหลากหลาย และทางร้านค้าเองก็สามารถทำการจำลองเสื้อผ้าลงบนร่างกายที่จำลองขึ้นตามสัดส่วนของลูกค้า (animated bodies) ซึ่งจะนำเข้าไปใช้ในอุตสาหกรรมแฟชั่น (fashion industry), ใช้ในการออกแบบเสื้อผ้า และสำหรับจำลองมนุษย์ที่สวมใส่เสื้อผ้าที่ได้ทำการออกแบบ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่ที่จะลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิด และมุ่งไปยัง garment visualization

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ VRML ได้ถูกนำมาใช้ในการอธิบายผังวงจรรวม (layout of integrated circuits) ซึ่งจากภาษานี้จะทำให้สามารถเห็นรูปร่างของวงจรเป็น สามมิติ (Leandro Soares Indrusiak and Ricardo Augusto da Luz Reis, 2001) โดย VRML เป็นรูปแบบเพิ่มมาตรฐานสำหรับ virtual reality description และภาษานี้ยังสร้างสื่อ สามมิติของโลกเสมือนจริงที่

สามารถเชื่อมต่อกับ WWW ได้ดีขึ้นอีกด้วย และจากการทดลองของ Bell et al. (G. Bell, et al., 2001) ได้ทำการจำลองจากระบวนการรู้สึกตัวของมนุษย์ (human process of consciousness) โดยในการทำงานของ VRML นี้จะแบ่งเป็นส่วน ๆ ส่วนหลักจะส่งไปยังส่วนย่อยอีกทอดหนึ่ง จากแนวคิดนี้มีความสำคัญมากโดยเฉพาะสำหรับผู้ศึกษาและผู้ฝึกสอน แบบวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก (A.L. Ames, et al., 1996)

2.6 ภาษาวิซวลเบสิก (Visual Basic Language)

ภาษาวิซวลเบสิก (พ.อ.เจนวิทย์ เหลืองอร่าม และ ปิยวิทย์ เหลืองอร่าม, 2544) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (programming language) ที่มีจุดเด่น คือ ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียนโปรแกรมเลยก็สามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว เมื่อเทียบกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เช่น ภาษาซี ภาษาปาสคาล ฟอทราน หรือแอสเซมบลี

ภาษาวิซวลเบสิกในปัจจุบัน คือ เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งออกจำหน่ายในปี 1998 ได้เพิ่มความสามารถในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล รวมทั้งปรับปรุงเครื่องมือและการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (object oriented programming) ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มเครื่องมือต่างๆ อีกมากมายที่ทำให้ใช้ง่ายและสะดวกขึ้นกว่าเดิม

สาเหตุที่วิซวลเบสิกเป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมนั้นเนื่องจากวิซวลเบสิก มีข้อดีหลายประการ คือ

- 1) ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเอง และเครื่องมือการใช้งาน ดังชื่อที่บอกอยู่แล้วว่า basic ซึ่งเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- 2) ความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษา Basic นั้นเป็นภาษาที่มีคนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร์
- 3) การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านของตัวภาษา และความเร็วของการประมวลผล และในเรื่องของความสามารถใหม่ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
- 4) ผู้พัฒนาสำคัญของวิซวลเบสิก คือ บริษัทไมโครซอฟท์ ซึ่งจัดว่าเป็นยักษ์ใหญ่ของวงการคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เราจึงสามารถมั่นใจได้ว่าวิซวลเบสิก จะยังมีการพัฒนา ปรับปรุงและคงอยู่ไปอีกนาน

นอกจาก วิชวลเบสิก มาตรฐานแล้วยังมีภาษาที่เป็นแบบเดียวกันอีก 2 แบบ คือ

1) Visual Basic for Application Edition (VBA) ที่มาพร้อมกับชุด Microsoft Office และผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมายบน Windows® เพื่อเพิ่มความสามารถในการเขียนโปรแกรมให้กับแอปพลิเคชันเหล่านั้น

2) VB Script Edition ที่มีการเขียนโปรแกรมเหมือนกับภาษา Visual Basic แทบทุกประการแต่มีการเขียนเป็น script หรือเป็นชุดคำสั่ง (คล้ายกับ batch file ใน DOS) ในปัจจุบัน VB script มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการเขียนสร้างโฮมเพจในอินเทอร์เน็ต หรือในโปรแกรมประยุกต์ที่มีการติดต่อกับระบบฐานข้อมูลและระบบเครือข่าย

2.7 ภาษาเวอร์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง (virtual reality modeling language)

VRML ย่อมาจาก Virtual Reality Modeling Language (Virtual Reality World) หรือเรียกว่า “เวอร์มอล” ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สร้างรูปเสมือนจริงเป็นรูปภาพกราฟิก 3 มิติ ประกอบกับความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้ทันที (real-time interactive) ที่ผ่านทางเบราว์เซอร์ของระบบ World Wide Web (WWW) ของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเสมือนกับว่าผู้ใช้เข้าไปอยู่ในโลกสามมิตินั้นจริงๆ นอกจากความสามารถทางด้านกรรภาพสามมิติแล้ว ยังสามารถนำเสนอด้วยสื่อมัลติมีเดียเพื่อเพิ่มความสมจริงมากยิ่งขึ้น เช่น ระบบเสียงที่เป็นลักษณะสามมิติ ภาพเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถโต้ตอบการเปลี่ยนแปลงมุมมองของผู้ใช้ได้ในเวลาจริง (real time interaction) โดยผ่านการรับรู้และเปลี่ยนแปลงมุมมองต่างๆ ภายในฉากสามมิติ ลักษณะเด่นๆ ของภาษา VRML อาจสรุปได้ดังนี้ (ชีวาวัฒน์ บุญศิวนนท์, 2544)

- 1) สร้างแบบจำลองกราฟิก สามมิติ (3D graphic model)
- 2) สร้างการโต้ตอบกับผู้ใช้ทันที (real-time interactive)
- 3) สร้าง แสง เสียงในระบบ สามมิติ (light and sound 3D)
- 4) สร้างภาพเคลื่อนไหว (animation)
- 5) มุมมองในการชมแบบจำลอง สามมิติ 3 วิธี คือ

ก. การเดิน (walk)

ข. การหมุน (rotate)

ค. การบิน (fly)

ภาษา VRML นั้นอาศัยหลักการแสดงผลกราฟิกทั้งสองมิติ และ สามมิติ โดยอาศัยวิธีการแบบ “OpenGL” ซึ่งเป็นวิธีการแสดงผลของบริษัท Silicon Graphic ที่ถูกนำเสนอในปี ค.ศ. 1992 ใช้สำหรับการแสดงค่าของวัตถุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่ง (coordinate) รายละเอียดพื้นผิว (texture) จุดเด่นของ OpenGL คือไม่ขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์ จึงทำให้ผู้พัฒนาโปรแกรมไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงว่าจะใช้กับเครื่องชนิดใดและระบบปฏิบัติการแบบใด ในการสร้างภาพนั้น OpenGL จะทำการสร้างภาพวัตถุโดยโครงสร้างรูปร่างพื้นฐานของวัตถุก่อน และเก็บใน frame buffer ภาพวัตถุพื้นฐานในระบบคอมพิวเตอร์ คือ จุด เส้นตรง ภาพหลายเหลี่ยม และ บิตแมป (bitmap) ภาพของวัตถุที่ถูกสร้างขึ้นนั้นส่วนประกอบแต่ละส่วนจะเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุหรือภาพจึงไม่ต้องกระทำทั้งวัตถุ เพียงแต่กระทำเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้น เมื่อภาพของวัตถุที่แยกเป็นรูปพื้นฐานถูกเก็บใน frame buffer แล้วการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในเรื่องของคุณสมบัติของวัตถุจะถูกควบคุมโดย OpenGL โดยตรงไม่ว่าจะเป็น การเปลี่ยนตำแหน่ง ขนาด สี หรือการกำหนดค่าความเข้มของแสงต่างๆ ส่วนการนำผลของค่าที่อยู่ใน frame Buffer มาแสดงเป็นหน้าต่างของวินโดวส์ว่าจะแสดงค่าใดในจอภาพ

ภาษา VRML มีลักษณะเด่นในการแสดงวัตถุทั้งคงที่และเคลื่อนไหว และยังสามารถทำงานร่วมกับมัลติมีเดียอื่น ๆ เช่น เสียง (voice), ภาพ (image), ภาพยนตร์ (movies) โดยผ่านตัวประมวลผล คือ เบราเซอร์ (browser) นอกจากนั้นยังสนับสนุนลักษณะ 3 มิติแบบ Application Programming Interface (API) อีกด้วย ภาษา VRML ได้รับการรับรองจาก ISO (International Organization for Standardization) และ IEC (International Electronic Commission) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ควบคุมมาตรฐานต่างๆ ของอินเทอร์เน็ต โดยอนุญาตให้มาตรฐาน ISO/IEC 14772 ภายใต้หัวข้อของ Information Technology-Computer graphics and Image Processing –vertabral Reality Modeling Language (VRML)

ในการประมวลผลกราฟิกใช้หลักการของ OpenGL รองรับการผลิตกราฟิกของโปรแกรมกราฟิกทั้ง สองมิติ และ สามมิติ ซึ่งมีการใช้กันในปี ค.ศ. 1992 OpenGL กลายเป็นอุตสาหกรรมมากและยังสนับสนุนกราฟิก สองมิติ และ สามมิติ Application Programming Interface

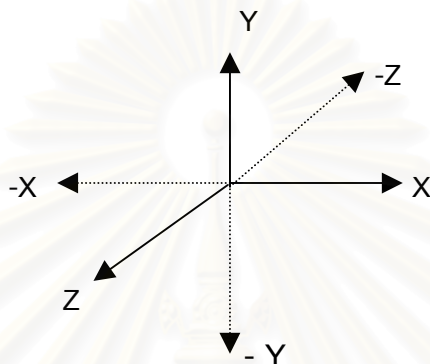
(API) ซึ่ง OpenGL มีความสามารถในการประมวลผลพื้นผิว (Texture) การปะติดภาพ (Mapping) และทำให้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง

ภาษา VRML ทำงานภายใต้แบบอย่างพื้นฐานของ Web browser-server ทั่วไป โดยอาศัยรูปแบบ URL ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับระบบ World Wide Web (WWW) โดยกำหนดให้เริ่มต้นด้วย HTTP (hypertext protocol) โดยเซิร์ฟเวอร์ภาษา VRML จึงถือว่าเป็นเครื่องมือในการสร้างโลกเสมือนจริงแบบใหม่ที่เรียกว่า “สังคมไร้พรมแดน” (cyberspace) และ “สังคมเสมือนจริง” (on-line Virtual Com minations) ขึ้นมาจำลองสังคมมนุษย์ในโลกแห่งความจริงมาไว้ในโลกของคอมพิวเตอร์ สามมิติ ทำหน้าที่แปลคำร้องขอของเบราว์เซอร์ขณะดาวน์โหลด (download) เซิร์ฟเวอร์ทำการส่งเอกสารที่เป็น Tag ของเอกสารหรือเรียกว่า multipurpose internet mail extension (MIME) ซึ่งภาษา VRML มีลักษณะเป็น cross-world/cross-vrml (x-world/x-vrml) โดยผู้ใช้สามารถดูด้วยเบราว์เซอร์ ที่เรียกว่า VRML Browser ได้ โดยอาศัยไฟล์ข้อมูลในรูปแบบ VRML (*.vrl) ซึ่งเป็นรูปแบบกลาง สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล สามมิติ อาศัยการนำเสนอวัตถุ (object) เป็นแบบเนสต์ (nesting) โดยส่งข้อมูลรูปแบบทั้งหมดมาก่อนและตามด้วยระดับความละเอียดภายหลังอาศัยหลักการ LOD (level of detail) เปลี่ยนแปลงไปมาโดยอัตโนมัติ และทำการเรนเดอร์ เพื่อสร้างแบบจำลองกราฟิก สามมิติ ที่ VRML เบราว์เซอร์นั่นเอง ส่วนเอกสารที่เป็นเสียงหรือวีดิโอจะถูกส่งมาตามลำดับ

ลักษณะเด่นของภาษา VRML อาจเรียกได้ว่า ภาษา VRML มีลักษณะเป็นโฮมเพจ สามมิติ (3D-homepage) มีลักษณะภาษาคอมพิวเตอร์ชนิดง่าย ๆ ไม่ขึ้นอยู่กับระบบคอมพิวเตอร์ใดๆ พร้อมทั้งตีพิมพ์เอกสารโฮมเพจที่เป็น สามมิติบนบริการเวิลด์ ไรด์ เว็บ (World Wide Web) ของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมทั้งการนำเสนอข้อมูลจะเกิดประโยชน์สูงสุดเมื่อสามารถเคลื่อนไหวเปลี่ยนมุมมองได้ ผู้เข้าชมสามารถมีส่วนร่วมในการโต้ตอบกับวัตถุที่อยู่ในฉากได้ ถือได้ว่าภาษา VRML เป็นเทคโนโลยีการนำเสนอข้อมูลหลายรูปแบบทั้งกราฟิก สองมิติ และ สามมิติ รวมทั้งข้อมูลมัลติมีเดีย เช่น ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และระบบเสียง สามมิติ ทำให้เกิดระบบการติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ในรูปแบบใหม่ขึ้นมาโดยระบบ สองมิติ ที่ใช้อยู่ปัจจุบันกลายเป็นส่วนประกอบย่อยภายในระบบ สามมิติ

2.7.1 องค์ประกอบของภาษาเวอร์ซวลเรียลิตีโมเดลลิง

ก่อนที่จะเริ่มทำการสร้างโลกเสมือนจริงด้วยภาษา VRML นั้น ควรจะมีการเข้าใจโครงสร้างและองค์ประกอบของภาษาก่อน ภาษา VRML มีการทำงานภายใต้ระบบแกนสามมิติ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างวัตถุเอง รวมถึง ระบบแสงและเสียงต่างๆ เพื่อเพิ่มมิติให้เกิดความสมจริงยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจระบบแกนสามมิติ ซึ่งภาษา VRML มีการใช้กฎมือขวาดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ระบบแกน 3 มิติ (ซีวาว์ดมันน์ บุญศิริวนนท์, 2544)

ระบบแกนสามมิติ ประกอบไปด้วย 3 แกน คือ แกน X,Y,Z โดยที่

- 1) แกน X มีทิศทางไปด้านขวาจากจุดกำเนิด (origin)
- 2) แกน Y มีทิศทางไปด้านบนจากจุดกำเนิด (origin)
- 3) แกน Z มีทิศทางตั้งฉากกับแกน X และแกน Y (มีทิศพุ่งออกมาทางนอกฉากนั่นเอง) ซึ่งจะเห็นได้ว่าภายในแต่ละแกนจะสามารถหมุนรอบแกนมันเอง ดังรูปที่ 2.29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.29 แนวการหมุนรอบแกนแต่ละแกนในระบบแกน 3 มิติ (ชีวาวัฒน์ บุญศิวนนท์, 2544)

ในแต่ละแกนยังประกอบไปด้วยค่าบวกและค่าลบ ถ้ามีค่าเป็นบวกจะอยู่ด้านขวา (แกน X) และด้านบน (แกน Y) และด้านหน้า (แกน -Z) เช่น 1 0 1 แสดงว่า ขึ้นไปอีก 1 หน่วย (ทางขวาของแกน X) และไปด้านหน้าอีก 1 หน่วย ในแกน Z เป็นต้น ส่วนค่าลบจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับค่าบวกที่กล่าวมาข้างต้น รวมทั้งสามารถหมุนพร้อมกันได้โดยอาศัยการหมุนรอบจุดกำเนิด แต่ควรระวังหากต้องการที่จะหมุนโดยไม่มีกรออกนอกบริเวณที่ตั้งเดิมนั้นจะต้องทำการเคลื่อนจากจุดกำเนิดก่อนแล้วจึงหมุน

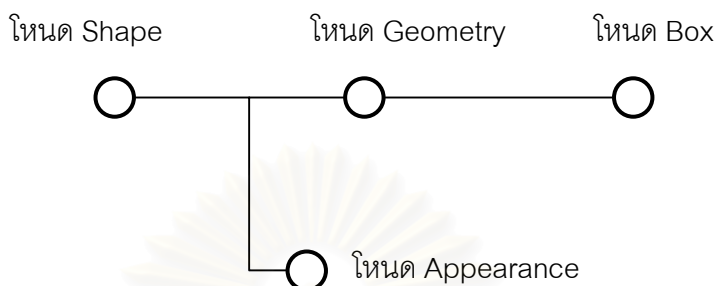
รวมทั้งสามารถหมุนพร้อมกันได้โดยอาศัยการหมุนรอบจุดกำเนิด แต่ควรระวังหากต้องการที่จะหมุนโดยไม่มีกรออกนอกบริเวณที่ตั้งเดิมนั้นจะต้องทำการเคลื่อนจากจุดกำเนิดก่อนแล้วจึงหมุน

การสร้างวัตถุในโลกเสมือนจริงของภาษา VRML นั้นเกิดขึ้นจากองค์ประกอบพื้นฐาน คือ

1) โหนด (node)

โหนด (node) คือ หน่วยพื้นฐานในไฟล์ของภาษา VRML ทำหน้าที่เก็บค่าคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของฟิลด์ เช่น โหนด Shape, โหนด TimeSensor, โหนด TouchSensor เป็นต้น ซึ่งโหนดมีโครงสร้างอิสระสามารถกำหนดโหนดเดียวภายในไฟล์ได้ แต่ฟิลด์ไม่สามารถกำหนดเองได้

ต้องอาศัยโหนดภายในไฟล์ สามารถกำหนดโหนดอื่นได้ (ในแต่ละโหนดจะมีฟิลด์ที่ใช้เก็บคุณสมบัติต่าง ๆ) เช่น โหนด Shape จะประกอบไปด้วยโหนด Geometry และโหนด Appearance ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 โครงสร้างของโหนด (ชีวาวัฒน์ บุญศิริวรรณ, 2544)

ภายในโหนด Geometry ยังสามารถแตกโหนดย่อยลงไปอีกได้ หรือเรียกว่า children เช่น โหนด Box และโหนด Appearance เป็นโหนดลูกของโหนด Shape เป็นต้น สังเกตได้ว่าชื่อโหนดจะมีลักษณะการเขียนขึ้นต้นด้วยตัวอักษรใหญ่เสมอ จึงควรระวัง เพราะจะทำให้เบรเซอร์เข้าใจเป็นฟิลด์แทน เนื่องจากชื่อฟิลด์จะขึ้นต้นด้วยตัวอักษรตัวเล็กเสมอ

2) ฟิลด์ (field)

ฟิลด์ คือ หน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของภาษา VRML โดยทำหน้าที่เก็บค่าคุณสมบัติของโหนดนั้น ๆ เช่น โหนด Box ก็จะมีฟิลด์รองรับค่า ความกว้าง ความยาว ความสูงภายในนั่นเอง จึงอาจสรุปได้ว่าหลาย ๆ ฟิลด์ประกอบกันเป็นโหนดและในทำนองเดียวกันหลาย ๆ โหนดก็จะรวมกันเป็นวัตถุ (object) ขึ้นมาชั้นหนึ่ง ฟิลด์ในภาษา VRML จะมีส่วนคล้ายกับตัวแปรของภาษา Java คือมี 2 ชนิดดังนี้

. single เป็นตัวแปรชนิด single

. multi เป็นตัวแปรอาร์เรย์ของตัวแปรชนิด single

2.7.2 โครงสร้างวัตถุในภาษาเวอรัลเรียลไทม์โมเดลลิง

โครงสร้างการสร้างวัตถุในภาษา VRML โดยยกตัวอย่างจากการสร้างรูปทรงกระบอก ซึ่งไฟล์จะมีโครงสร้างง่ายและสั้นง่ายต่อความเข้าใจซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1) ส่วนหัวของไฟล์ (file header)
- 2) โหนดรูปร่างของวัตถุ (shape node)
- 3) โหนดรูปทรงเชิงเรขาคณิต (Geometry node)
- 4) โหนดคุณสมบัติของวัตถุ (Appearance node)
- 5) โหนดการรวมกลุ่มของวัตถุ (Grouping node)

วัตถุอื่นอาจจะมีโหนดเกี่ยวข้องมากกว่านี้ แต่ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างคล้ายกัน โดยมีองค์ประกอบพื้นฐานคือฟิลด์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าโหนดเป็นเสมือนคลาสของภาษา Java ส่วนฟิลด์คล้ายตัวแปรซึ่งเก็บค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ไว้

2.7.2.1 ส่วนหัวของไฟล์ (file header)

ทุกครั้งที่เราเขียนโปรแกรมต้องขึ้นต้นโดยมีรูปแบบไวยากรณ์ดังนี้

```
# VRML V2.0 Utf8
```

Utf8 คือ รูปแบบตัวอักษรมาตรฐาน ที่สามารถเป็นที่เข้าใจและใช้ได้ตามมาตรฐาน ISO 10646 เนื่องจากมีการตรวจสอบหัวของเอกสาร ดังนั้น Utf8 จะใช้อ้างอิงรูปแบบตัวอักษรมาตรฐาน ISO นอกจากนั้น Utf8 ยังสนับสนุนภาษา VRML เวอร์ชัน 2.0 ซึ่งภาษา VRML เวอร์ชัน 1.0 ใช้รูปแบบตัวอักษรมาตรฐานเป็น ASCII ซึ่งใช้ single byte ต่อตัวอักษร ขณะที่ Utf8 อนุญาตให้ใช้ 2 ไบต์หรือมากกว่าได้

2.7.2.2 โหนดรูปร่างของวัตถุ (Shape node)

โหนด Shape เป็นโหนดในการสร้างรูปทรงของวัตถุ ก่อนที่จะสร้างวัตถุต้องเข้าใจโครงสร้างของโหนด Shape ซึ่งจะมีโหนดที่เกี่ยวข้องด้วยเพื่อเพิ่มความสมจริงให้กับวัตถุ เช่น โหนด Appearance จะเก็บคุณสมบัติที่จะปรากฏกับวัตถุ เช่น สี, พื้นผิววัสดุ, โหนด Geometry จะเป็นการสร้างรูปทรงของวัตถุเป็นรูปทรงต่างๆ เช่น รูปทรงกระบอก รูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น

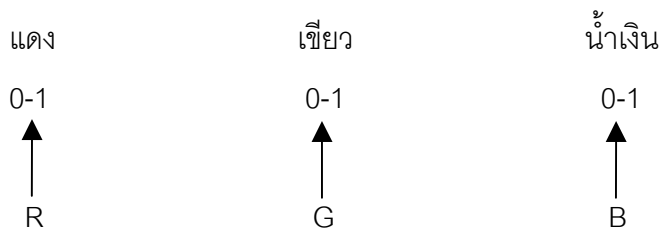
2.7.2.3 โหนดรูปทรงเชิงเรขาคณิต (Geometry node)

ภาษา VRML ได้เตรียมรูปทรงพื้นฐานต่าง ๆ ไว้ในการสร้างแบบจำลองกราฟิกสามมิติ หากต้องการสร้างรูปทรงที่ซับซ้อนขึ้นจะต้องใช้โหนด IndexedFaceset ในการเชื่อมพื้นผิววัตถุ นอกจากนั้นภายในโหนด Geometry จะประกอบไปด้วยฟิลด์ที่เก็บคุณสมบัติของวัตถุ เช่น รัศมี ความสูงและความกว้าง เป็นต้น โดยจะเก็บค่าตัวแปรประเภทจำนวน integer หรือจำนวน floating แล้ว การสร้างวัตถุหากไม่มีการกำหนดค่าฟิลด์ ภาษา VRML จะใช้ค่าพื้นฐาน (default value) ของมันเองโดยอัตโนมัติ เช่น ฟิลด์ cylinder จะมีค่าพื้นฐานของรัศมีเท่ากับ 1 ความสูงเท่ากับ 2 รวมถึงพื้นผิวก็จะใช้ค่าพื้นฐานของมันเช่นกัน ส่วนตำแหน่งของวัตถุก็จะไปอยู่ที่ศูนย์กลางด้านขวาของแกนโดยอัตโนมัติ

2.7.2.4 โหนดคุณสมบัติของวัตถุ (Appearance node)

โหนด Appearance เป็นโหนดที่เก็บฟิลด์คุณสมบัติของพื้นผิววัตถุ เช่น สี, ความยาวของพื้นผิวและค่าความสว่าง ปกติใช้ร่วมกับโหนด Material และโหนด Texture (ImageTexture, MovieTexture และ PixelTexture) การใช้งานจากตัวอย่างต่อไป เป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้แก่พื้นผิวของวัตถุ โดยประกอบไปด้วยฟิลด์ diffuseColor และฟิลด์ shininess ในส่วนของโหนด Appearance

ฟิลด์ diffuseColor จะทำหน้าที่เก็บค่าของสี 3 ค่า คือ แดง เขียว และน้ำเงิน (red, green, blue) ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสีในระบบ RGB โดยมีลักษณะดังรูปที่



รูปที่ 2.31 ค่าของสีในระบบ RGB ที่เก็บ (ซีวาวัดณ์ บุญศิวนนท์, 2544)

โดยค่าทั้ง 3 มีค่าตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.0 ซึ่งแต่ละตัวจะเกิดสีต่างๆ ขึ้น จากการผสมสีในระบบ RGB ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การผสมสีในระบบ RGB (ซีวาวัดณ์ บุญศิวนนท์, 2544)

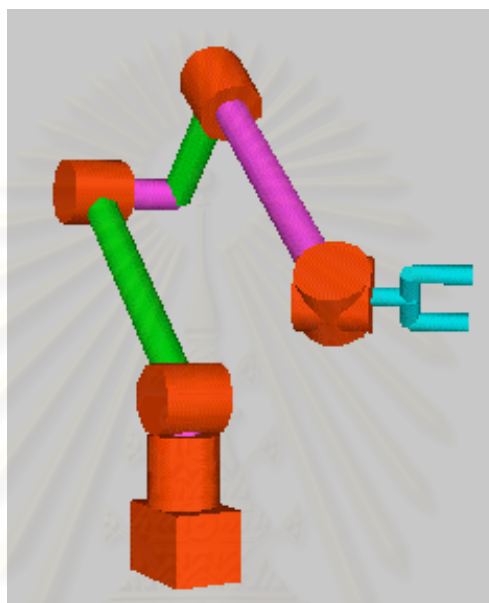
R (red)	G (green)	B (blue)	สีที่ผสมได้
0	0	0	ดำ
0.5	0.5	0.5	ม่วง
1	1	1	ขาว
1	0	0	แดง
0	1	0	เขียว
0	0	1	น้ำเงิน

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าสีม่วงเกิดจากการผสมสีในระบบ RGB โดยมีส่วนผสมของสีแดง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าเท่ากับ 0.5 สีน้ำเงิน 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งอาศัยวิธีการเบื้องต้นสร้างสีขึ้นมาเองได้จากหลักการผสมสีข้างต้นในระบบ RGB

ฟิลต์ shininess มีค่าระหว่าง 0.0 และ 1.0 ซึ่งทำหน้าที่เก็บคุณสมบัติของค่าความสว่างวัตถุ โดยถ้ากำหนดค่าน้อยมากๆ วัตถุ จะรู้สึกมืดมากขึ้น และในทางตรงกันข้าม หากค่ามาก ๆ วัตถุจะรู้สึกสว่างมากขึ้น

2.7.2.5 โหนดการรวมกลุ่มวัตถุ (grouping node)

การรวมกลุ่มวัตถุในภาษา VRML คือ การรวมกลุ่มของวัตถุให้อยู่ภายในฉากเดียวกัน โดยอาศัยโหนดที่ใช้ในการรวมกลุ่มวัตถุ คือ โหนด Group, Transform, LOD, Switch, Anchor, Inline และ Collection ดังรูปที่ 2.32

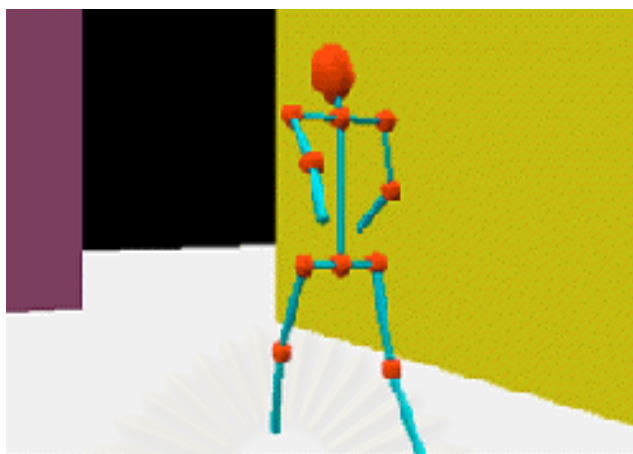


รูปที่ 2.32 การรวมวัตถุไว้ในฉากเดียวกัน

(<http://www.robotic.dlr.de/Joerg.Vogel/Vrml/lib.html>)

จากรูปที่ 2.32 เป็นการแสดงการรวมกลุ่มโหนดโดยใช้โหนด Transform และยังสามารถเพิ่มโหนดลูก (children) ของโหนดรวมกลุ่มวัตถุ การรวมกลุ่มวัตถุจะทำหน้าที่เก็บโหนดอื่นๆ ในฟิลด์ children โดยแบ่งเป็นระดับชั้นกันลงไป

ฟิลด์ children คือ 1 ระดับที่ต่อจ้องแตกออกจากโหนดแม่ (parent node) เราสามารถเปรียบเทียบกับมนุษย์ได้ดังรูปที่ 2.33 ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบโครงสร้างของภาษา VRML ได้ดี เช่น นิ้วมือ และมือเป็นโหนดลูกของโหนดแม่ คือ แขน และแขนเป็นโหนดลูกของโหนดแม่ คือ ลำตัว เป็นต้น



รูปที่ 2.33 เปรียบเทียบความสัมพันธ์โครงสร้างของโหนดกับโครงสร้างมนุษย์

(<http://www.robotic.dlr.de/Joerg.Vogel/Vrml/lib.html>)

โดยทั่วไปจุดประสงค์การรวมกลุ่มของวัตถุใช้โหนด Group กรณีที่คุณต้องการรวมกลุ่มของวัตถุในที่ว่างนั้น โดยใช้โหนด Transform เป็นตัวรวมวัตถุและต้องการเคลื่อนย้ายหรือหมุนวัตถุภายในที่ว่าง 3 มิติ นั้น โดยเป็นไปตามขนาด และสัดส่วนของวัตถุนั้นด้วย

2.7.2.6 โหนดกดอัด (Extrusion node)

โหนดกดอัด หรือ extrusion node เป็นโหนดคำสั่งที่ใช้กับรูปร่างเชิงเรขาคณิต โดยมีพื้นฐานจากการ extrude ผ่านภาคหน้าตัด สองมิติออกมาเป็นแกนในแนว สามมิติ โดยเราสามารถกำหนดขนาดของพื้นที่หน้าตัด และหมุนได้ในจุดต่างๆ ของแกน (spine) ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้

1) กราฟของพื้นที่หน้าตัด (cross-section curve) จะเริ่มที่ระนาบ xz คือค่าแรก ที่แกน X และค่าที่ 2 อยู่ที่แกน Z ซึ่งจุดแรกที่เป็นจุดเริ่มต้นก็คือค่าแรก (origin) ของตัวแปรที่กำหนดให้

2) ระนาบนี้จะหมุนรอบจุด origin โดยตัวแปรในการจัดเรียงตัวแรก (first orientation parameter) จะถูกแปลงโดย vector ซึ่งเป็นเสมือนจุดยอดของ spine curve

3) รูปร่าง สามมิติที่เราต้องการจะถูก extrude ผ่านช่องว่าง มาตามส่วนตัดแรก ของรูปของ spine curve

- 4) จากนั้นรูปร่าง สามมิติ จะถูก scale และหมุนโดย scale อันดับที่ 2

2.8 รูปแบบของแฟ้มข้อมูล VRML

จากการศึกษาได้นำ ภาษาเวอริวอลเรียลิตีโมเดลลิง (VRML) เข้ามาใช้ในการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอ ภาษา VRML ได้เตรียมรูปทรงพื้นฐานต่างๆ ไว้ในการสร้างแบบจำลองกราฟิก สามมิติ หากต้องการสร้างรูปทรงที่ซับซ้อนขึ้นจะต้องใช้โหนด IndexedFaceset ในการเชื่อมพื้นผิววัตถุ นอกจากนั้นภายในโหนด Geometry จะประกอบไปด้วยฟิลด์ที่เก็บคุณสมบัติของวัตถุ เช่น รัศมี ความสูง และความกว้าง เป็นต้น โดยจะเก็บค่าเป็นตัวแปรประเภท จำนวนเต็ม Integer หรือจำนวนเลขทศนิยม (floating) ในการสร้างวัตถุหากไม่มีการกำหนดค่าฟิลด์ ภาษา VRML จะใช้ค่าพื้นฐาน (default value) ของมันเองโดยอัตโนมัติ เช่น ฟิลด์ cylinder จะมีค่าพื้นฐานของรัศมีเท่ากับ 1 ความสูงเท่ากับ 2 รวมถึงพื้นผิวก็จะใช้ค่าพื้นฐานของมันเช่นกัน ส่วนตำแหน่งของวัตถุจะอยู่ที่ศูนย์กลางด้านขวาของแกนโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างที่ 2.1 แสดงการสร้างวัตถุรูปทรงกระบอก

ตัวอย่างที่ 2.1 การสร้างวัตถุรูปทรงกระบอก

```
#VRML v2.0 utf8
```

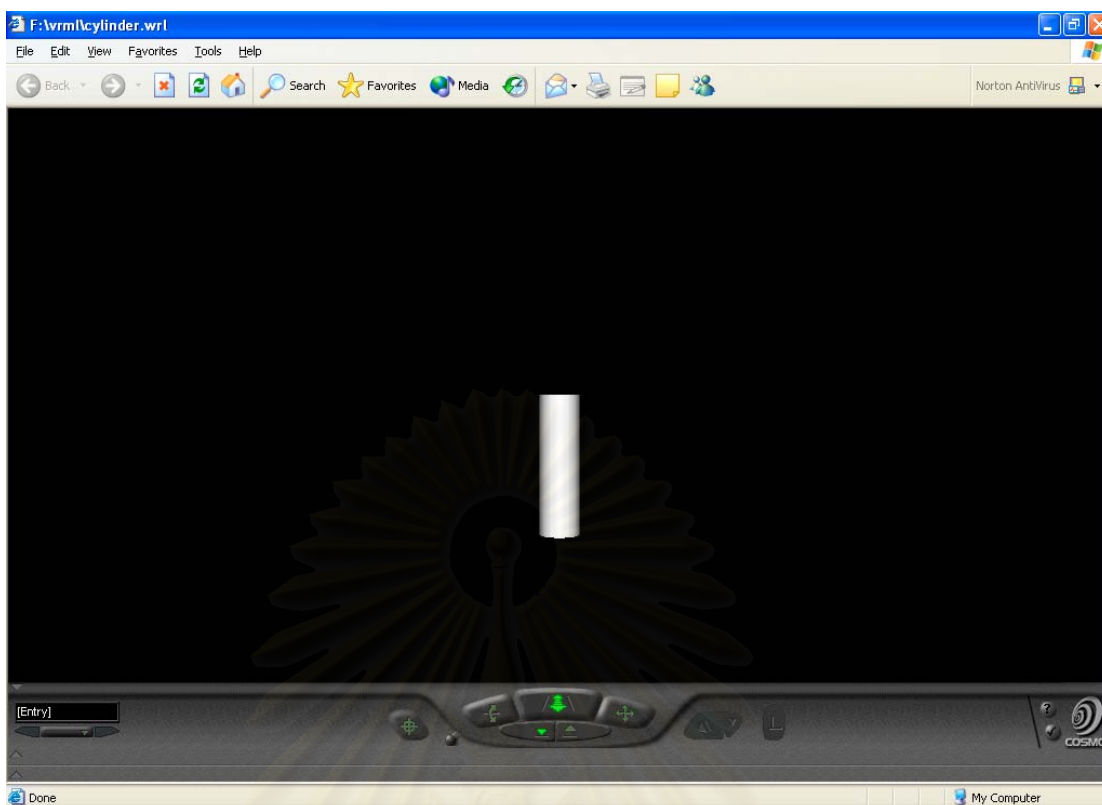
```
Shape{
```

```
    appearance Appearance{material Material{}}
```

```
    Geometry Cylinder{}
```

```
}
```

แฟ้มข้อมูล VRML จะมีนามสกุลเป็น wrl เช่น cylinder.wrl จากตัวอย่างที่ 2.1 เบราเซอร์ จะทำการประมวลผลภาพกราฟิก หรือเรนเดอร์ออกมาในรูปกราฟิกสามมิติ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ภาพจำลองสามมิติรูปทรงกระบอกจากตัวอย่างที่ 2.1

จากตัวอย่างที่ 2.1 อาศัยค่าพื้นฐานของภาษา VRML ซึ่งสามารถกำหนดคุณสมบัติใหม่ลงไปในพื้นที่ภายในโหนด Geometry ได้ เช่น ต้องการกำหนดค่าดังตัวอย่างที่ 3.2 เป็นการสร้างวัตถุโดยกำหนดขึ้นเอง

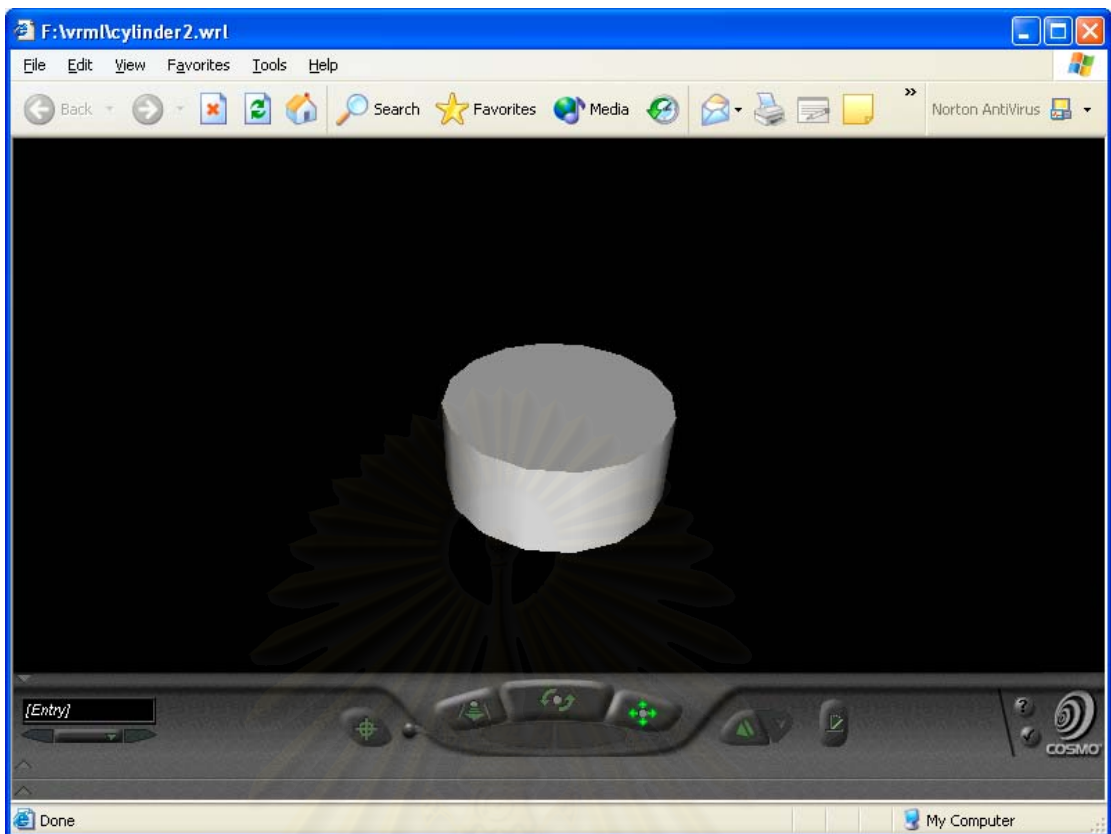
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 2.2 การสร้างวัตถุโดยกำหนดค่าเอง

```
#VRML v2.0utf8
Shape{
  appearance Appearance{ material Material{}}
  geometry Cylinder {
    radius 3
    height 2.5
    top    TRUE
    side   TRUE
  }
}
```

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากตัวอย่างที่ 2.2 ผลลัพธ์ออกมาจะมีลักษณะคล้ายกระป๋องปลากระป๋อง โดยกำหนดค่าในฟิลด์ของพื้นผิวได้ทั้งวิธีปะภาพ หรือใช้สีเนื้อของวัตถุแทน เพื่อเพิ่มความสมจริงยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.35 ภาพจำลองสามมิติรูปทรงกระบอกตัวอย่างที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

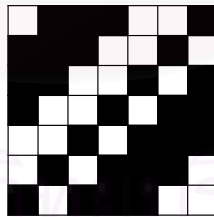
บทที่ 3

กระบวนการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอ

3.1 การพัฒนาแบบจำลองของลายทอ

เมื่อพิจารณาลายทอพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical modeling) และอัลกอริทึม (algorithm) ร่วมกันได้ ลายขัดและลายต่วนสามารถอธิบายด้วยวิธีการเดียวกับการอธิบายลายทแยง นั่นคือการใช้ตัวเลขบอกลายและเลขชั้น ลายขัดก็คือลายทแยง 1/1 และมีเลขชั้นเท่ากับ 1 หรือ -1 นั่นเอง ต่วนด้ายพุ่ง 5 ตะกอที่มีต่วนนับเท่ากับ 2 ในแนวด้ายยืน ก็คือลายทแยง 1/4 ที่มีเลขชั้นเท่ากับ 2 ดังนั้นเราจึงสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเดียวกันในการอธิบายลายทอทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเป็นลายทอพื้นฐาน (elementary weave) ที่ใช้กันโดยทั่วไปนั่นเอง

จากลายทแยง 1/2/3/1 ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 พบว่าจำนวนของด้ายลอย (float) ซึ่งแทนด้วย N_f เท่ากับ 4 ซึ่งแทนด้วยตัวเลขแต่ละตัวนั่นเอง ตัวแปร F_i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, N_f$ ใช้ในการอธิบายเฟลตเหล่านี้ ถ้า i เป็นเลขคี่ ตัวแปร F_i จะหมายถึงความยาวของด้ายลอยที่เป็นด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง และถ้า i เป็นเลขคู่ จะหมายถึงความยาวของด้ายลอยที่เป็นด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืน ข้อมูลที่ได้นี้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลายทอ 1/2/3/1 ที่มีเลขชั้นเท่ากับ 1

ตารางที่ 3.1 ค่าของแต่ละตัวแปรลายทอสำหรับลาย 1/2/3/1

ตัวแปรลายทอ	ค่าของตัวแปร
N_f	4
F_1	1
F_2	2
F_3	3
F_4	1

ขนาดของหน่วยซ้ำตามแนวด้ายพุ่ง (R_p) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R_p = \sum_{i=1}^{N_f} F_i \quad (3.1)$$

จากตัวอย่างก่อนหน้านี ขนาดของหน่วยซ้ำตามแนวด้ายพุ่งของลาย 1/2/3/1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_p = 1 + 2 + 3 + 1 = 7 \quad (3.2)$$

เลขชั้น ซึ่งแทนด้วย S อาจระบุในแนวด้ายยืนหรือแนวด้ายพุ่งก็ได้ สำหรับในงานวิจัยนี้จะให้เลขชั้นระบุในแนวด้ายยืนเท่านั้น ค่าสัมบูรณ์ของเลขชั้นควรจะน้อยกว่าขนาดของหน่วยซ้ำตามแนวด้ายพุ่ง นั่นคือ

$$|S| < R_p \quad (3.3)$$

เลขชั้น อาจมีค่าเป็นลบ หรือเป็นบวกก็ได้ ค่าบวกหมายถึงลายทแยงที่มีแนว 'Z' ส่วนค่าลบหมายถึงลายทแยงที่มีแนว 'S' เลขชั้นที่เป็นลบ (S_n) อาจถูกแปลงให้เป็นเลขชั้นที่เป็นบวก (S_p) ได้ดังนี้

$$S_p = R_p + S_n \quad (3.4)$$

เลขชั้นที่เป็นลบที่เป็นไปตามกฎดังกล่าวจะให้ลายทแยงที่เหมือนกับเลขชั้นที่เป็นบวก อาจแสดงให้เห็นดังนี้ สำหรับลายทแยง $2/2$ ซึ่งมีขนาดของหน่วยซ้ำตามแนวซ้ายพุ่ง (R_p) เท่ากับ 4 เลขชั้นที่เป็นไปได้จะเป็นจำนวนเต็มที่อยู่ระหว่าง -3 ถึง -1 และ 1 ถึง 3 to -1 และ 1 to 3 เลขชั้นบางตัวอาจให้ลายที่มีลักษณะเหมือนกัน

$S_p = 3$ และ $S_n = -1$ จะให้ลายที่มีลักษณะเหมือนกัน เพราะ $3 = 4 + (-1)$

$S_p = 2$ และ $S_n = -2$ จะให้ลายที่มีลักษณะเหมือนกัน เพราะ $2 = 4 + (-2)$

$S_p = 1$ และ $S_n = -3$ จะให้ลายที่มีลักษณะเหมือนกัน เพราะ $1 = 4 + (-3)$

ขนาดของหน่วยซ้ำตามแนวซ้ายพุ่ง (R_e) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R_e = \begin{cases} R_p / |S| & \text{if } R_p \bmod |S| = 0 \\ R_p & \text{if } R_p \bmod |S| \neq 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

โอเปอเรเตอร์ 'mod' ในสมการ (3.5) ย่อมาจาก modulus หรือ remainder operator ซึ่งใช้ในการหาเศษจากการหารตัวเลขที่ 1 ด้วยตัวเลขที่ 2 เช่น $19 \bmod 7$ มีค่าเท่ากับ 5 นอกจากนี้ค่า $|S|$ จะต้องเป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $|S_p|$ และ $|S_n|$ ที่ให้ลายทแยงเหมือนกัน

พารามิเตอร์ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในอัลกอริทึมสำหรับสร้างลายพื้นฐาน ได้แก่ เลขลาย (F_i) เมื่อ i เป็นจำนวนเต็มซึ่ง $1 \leq i \leq N_f$ และเลขชั้น (S) ค่าของ R_p และ R_e สามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์เหล่านี้ ด้วยสมการ (1-1) และ (1-4)

เมทริกซ์ W ใช้เป็นตัวแทนของลายทแยงนี้ โดยที่สมาชิกของเมทริกซ์ ($W_{x,y}$) เป็นตัวแทนของลายทแยงที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนต (x, y) เมื่อ $1 \leq x \leq R_e$ และ $1 \leq y \leq R_p$ คอลัมน์แรกของเมทริกซ์สามารถสร้างขึ้นจากสมการต่อไปนี้

$$W_{1,y} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } i \text{ เป็นเลขคี่จำนวนเต็ม} \\ 0 & \text{เมื่อ } i \text{ เป็นเลขคู่จำนวนเต็ม} \end{cases} \quad (3.6)$$

เมื่อ y คือ $\left(\sum_{j=1}^i F_j - F_i + 1 \right)$ to $\sum_{j=1}^i F_j$ และ $1 \leq i \leq N_f$

ส่วนที่เหลือของเมทริกซ์ จะได้รับการกำหนดค่าดังนี้

$$W_{x,z} = W_{1,y} \quad (3.7)$$

$$z = \begin{cases} y + [S \times (x-1)] + R_p & \text{if } \{y + [S \times (x-1)]\} < 1; \\ y + [S \times (x-1)] & \text{if } 1 \leq \{y + [S \times (x-1)]\} \leq R_p; \\ y + [S \times (x-1)] - R_p & \text{if } \{y + [S \times (x-1)]\} > R_p; \end{cases}$$

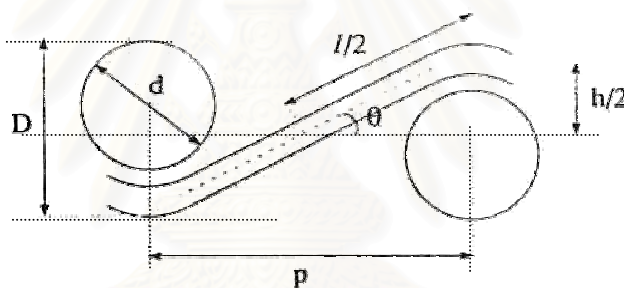
เมื่อ

$$2 \leq x \leq R_e$$

$$1 \leq y \leq R_p$$

3.2 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผ้าทอ

Pierce's model (Love, 1954) เป็นแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าทอหลายชุด ดังแสดงใน รูปที่ 3.2 เป็นข้อสมมุติฐานที่พิจารณาพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายที่มีรูปร่างเป็นวงกลม และอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าเส้นด้ายไม่มีความต้านทานต่อการโค้งงอ ดังสมการ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของ Pierce แสดงผ้าทอหลายชุดหนึ่งหน่วยซ้ำ (Love, 1954)

$$p = (l - D\theta)\cos\theta + D\sin\theta \quad (3.8)$$

$$h = (l - D)\sin\theta + D(l - \cos\theta) \quad (3.9)$$

เมื่อ	h_1	คือ thread amplitude ของเส้นด้ายยืน หรือความสูงของความหยิกงอของด้ายยืน (warp crimp height)
	h_2	คือ thread amplitude ของเส้นด้ายพุ่ง หรือความสูงของความหยิกงอของด้ายพุ่ง (weft crimp height)
	p_1	คือ ช่องว่างระหว่างด้ายยืน (warp spacing)
	p_2	คือ ช่องว่างระหว่างด้ายยืน (weft spacing)
	θ	คือ มุมของการทอ (weave angle)

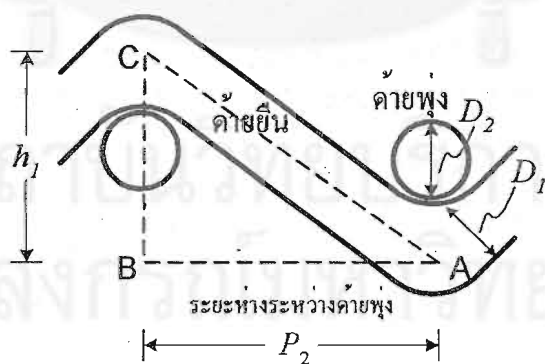
- d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของด้ายยืน
 d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของด้ายพุ่ง
 c_1 คือ ความหยิกงอของเส้นด้ายยืน
 c_2 คือ ความหยิกงอของเส้นด้ายพุ่ง
 l_1 คือ ความยาวของด้ายยืน
 l_2 คือ ความยาวของด้ายพุ่ง
 D คือ ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นด้าย

ค่า D สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ ต่อไปนี้

$$D = d_1 + d_2 = h_1 + h_2 \quad (3.10)$$

สมการนี้ถูกนำมาเข้ามามีเพื่ออธิบายการเกี่ยวกันของเส้นด้าย เส้นด้ายชุดหนึ่ง คือ ด้ายยืน และ อีกชุดคือด้ายพุ่ง โดยแบบจำลองนี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับหาความสามารถในการทอของโครงสร้างผ้าฝ้ายโดยเฉพาะ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สถานะที่เส้นด้ายจัดเรียงตัวกันได้สูงสุด (maximum yarn packing) อาจจะใช้ความหนาแน่นของเส้นด้าย (yarn density) และ Pierce's model ช่วยในการหา

การศึกษาการกระจายความหยิกงอสามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองเชิงเรขาคณิตดังแสดงใน รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองเชิงเรขาคณิตของผ้าฝ้าย

h_1 คือความสูงของความหยิกงอ หรือเรียกว่าความสูงมอดูลาร์ของด้ายยืน (warp modular height) ในแบบจำลองนี้ เราสมมติให้แนวด้ายยืนมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยอาศัยนิยาม

ของความหยิกงอในผ้าฝ้าย ความยาวมอดูลาร์ของด้ายยืน (ความยาวในหนึ่งหน่วย) ประมาณได้
เป็น

$$\overline{AC} = P_2(1 + C_1) \quad (3.11)$$

โดยทฤษฎีบทของพีทาโกรัส สามารถคำนวณได้ว่า

$$h_1 = \sqrt{\overline{AC}^2 - P_2^2} = \sqrt{P_2^2(1 + C_1)^2 - P_2^2} \quad (3.12)$$

นั่นคือ

$$h_1 = P_2\sqrt{(1 + C_1)^2 - 1} \quad (3.13)$$

เช่นเดียวกับในทิศทางของด้ายพุ่งพบว่า

$$h_2 = P_1\sqrt{(1 + C_2)^2 - 1} \quad (3.14)$$

$$P_1\sqrt{(1 + C_2)^2 - 1} + P_2\sqrt{(1 + C_1)^2 - 1} = D_1 + D_2 \quad (3.15)$$

ความหยิกงอของด้ายยืนและด้ายพุ่ง นิยมวัดเป็นปริมาณความหยิกงอ (c) ซึ่งคำนวณได้
จาก

$$c_1 = \frac{\theta_1^2}{2} \quad (3.16)$$

$$\theta_1 = \sqrt{2c_1} \quad (3.17)$$

เพราะฉะนั้น

$$\theta_2 = \sqrt{2c_2} \quad (3.18)$$

ส่วนค่า thread amplitude (h) ของเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งนั้นมีค่าดังสมการที่ และ
ตามลำดับ

$$h_1 = \frac{4}{3}P_2\sqrt{c_1} \quad (3.19)$$

$$h_2 = \frac{4}{3}P_1\sqrt{c_2} \quad (3.20)$$

3.3 พิกัดสำหรับแนวเส้นด้าย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแนวเส้นด้าย (yarn path) พัฒนาขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานของแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของโครงสร้างผ้าทอที่พัฒนาขึ้นโดย Pierce ร่วมกับข้อมูลเกี่ยวกับลายทอ แนวเส้นด้ายไม่ว่าจะเป็นแนวด้ายยืน หรือแนวด้ายพุ่ง อาจจำแนกออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงใน คือ

- 1) ส่วนที่อยู่เหนือด้ายพุ่งในกรณีแนวด้ายยืน หรือส่วนที่อยู่เหนือด้ายยืนในกรณีแนวด้ายพุ่ง
- 2) ส่วนที่อยู่ใต้ด้ายพุ่งในกรณีแนวด้ายยืน หรือส่วนที่อยู่ใต้ด้ายยืนในกรณีแนวด้ายยืน
- 3) ส่วนที่เชื่อมระหว่างส่วนที่ 1) และส่วนที่ 2)

ถ้ากำหนดให้ลายทอที่เรากำลังศึกษา เขียนแทนด้วยเมทริกซ์ W ซึ่งมีสมาชิกคือ $w_{i,j}$ โดยที่ $w_{i,j}$ มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อแทนตำแหน่งที่ด้ายยืนอยู่เหนือด้ายพุ่ง ส่วน $w_{i,j}$ มีค่าเท่ากับ 0 เพื่อแทนตำแหน่งที่ด้ายพุ่งอยู่เหนือด้ายยืน i มีค่าระหว่าง 1 ถึง r_e ส่วน j มีค่าระหว่าง 1 ถึง r_p โดยที่ r_e คือจำนวนด้ายยืนต่อลาย (warp repeat) ส่วน r_p คือจำนวนด้ายพุ่งต่อลาย

พิกัดของแนวด้ายยืน (warp yarn path coordinate) คือ $E(x_i, y_i)$ โดยที่

$$x_i = x_{i-1} + \left(\frac{1}{ppc} \right) \quad (3.21)$$

$$y_i = \begin{cases} D/4 & | w_{i,j} = 1 \\ -D/4 & | w_{i,j} \neq 1 \end{cases} \quad (3.22)$$

เมื่อ ppc คือ ความหนาแน่นของด้ายพุ่งต่อเซนติเมตร

D คือ ความหนาของด้ายยืน (d_1) + ความหนาของด้ายพุ่ง (d_2) (เซนติเมตร)

ส่วนพิกัดของแนวด้ายพุ่ง (weft yarn path coordinate) คือ $P(x_i, y_i)$ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$x_i = x_{i-1} + \left(\frac{1}{epc} \right) \quad (3.23)$$

$$y_i = \begin{cases} D/4 & | w_{i,j} \neq 1 \\ -D/4 & | w_{i,j} = 1 \end{cases} \quad (3.24)$$

เมื่อ epc คือ ความหนาแน่นของด้ายยืนต่อเซนติเมตร

D คือ ความหนาของด้ายยืน (h_1) + ความหนาของด้ายพุ่ง (h_2) (เซนติเมตร)

เมทริกซ์ W ที่ได้แสดงได้ดังนี้

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3.4 พิกัดของภาพหน้าตัดของด้าย

ภาพหน้าตัดของด้ายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างผ้าทอมีหลายลักษณะ ตามแบบจำลองของ Peirce สมมุติให้ภาพหน้าตัดเป็นรูปวงกลม ทำให้ทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่งมีความหนาและความกว้างของด้ายเท่ากัน นั่นคือ $D_{h_1} = D_{v_1}$ และ $D_{h_2} = D_{v_2}$

เมื่อ D_{v_1} คือ ความหนาของด้ายยืน

D_{v_2} คือ ความหนาของด้ายพุ่ง

D_{h_1} คือ ความกว้างของด้ายยืน

D_{h_2} คือ ความกว้างของด้ายพุ่ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของภาพหน้าตัดชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

3.4.1 ภาพหน้าตัดรูปวงกลม (Circular Cross-section)

พิกัดของภาพหน้าตัดตัดด้วยเส้นในกรณีที่มีภาพหน้าตัดเป็นรูปวงกลม คือ $E_x(x_i, y_i)$ พัฒนามาจากสมการของวงกลม นั่นคือ

$$Dv_1^2 = x_i^2 + y_i^2 \quad (3.25)$$

ในการทำงานเดียวกัน พิกัดของภาพหน้าตัดตัดด้วยฟังก์ชัน $P_x(x_i, y_i)$ คำนวณมาจาก

$$Dv_2^2 = x_i^2 + y_i^2 \quad (3.26)$$

3.4.2 หน้าตัดรูปวงรี (Ellipse Cross-section)

พิกัดของภาพหน้าตัดตัดด้วยเส้นในกรณีที่มีภาพหน้าตัดเป็นรูปวงรี คือ $E_x(x_i, y_i)$ พัฒนามาจากสมการของวงกลม นั่นคือ

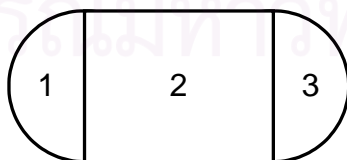
$$Dv_1^2 = \frac{x_i^2}{D_{h_1}} + \frac{y_i^2}{D_{h_2}} \quad (3.27)$$

ในการทำงานเดียวกัน พิกัดของภาพหน้าตัดตัดด้วยฟังก์ชัน $P_x(x_i, y_i)$ คำนวณมาจาก

$$Dv_2^2 = \frac{x_i^2}{D_{h_1}} + \frac{y_i^2}{D_{h_2}} \quad (3.28)$$

3.4.3 ภาพหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมุมมน (Racetrack Cross-section)

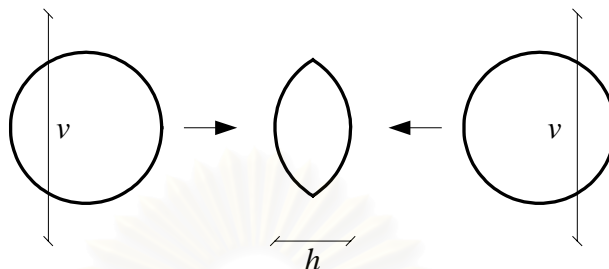
รูปสี่เหลี่ยมมุมมนประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.4 ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 คือครึ่งวงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ h_2 สำหรับด้านซ้ายและด้านขวาตามลำดับ ส่วนที่ 2 คือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีขนาดกว้าง h_1 และยาวเท่ากับ $Dh_1 - Dv_1$



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของรูปสี่เหลี่ยมมุมมน

3.4.4 ภาพหน้าตัดรูปเลนส์นูน (Lenticular Cross-section)

ภาพหน้าตัดรูปเลนส์นูนนี้ มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมไม่สมบูรณ์ สองส่วนที่มาประกบกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สมการที่ใช้คือสมการวงกลม แต่จะเลือกเฉพาะบางจุดที่ต้องการเท่านั้น



รูปที่ 3.5 การสร้างรูปเลนส์นูน

3.5 การสร้างภาพสามมิติของชุดเส้นด้ายด้วยเทคนิค Extrusion

หลักการและวิธีการจำลองภาพสามมิติของชุดเส้นด้าย ทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืน สามารถทำได้ โดยใช้โหนดกดอัด (extrusion node) ซึ่งเป็นคำสั่งที่สามารถจำลองการโค้งงอของเส้นด้ายในรูปแบบที่เกิดการขัดกันของแต่ละลายทอได้อย่างเหมาะสม extrusion node เป็นคำสั่งที่ใช้สร้างรูปร่างที่มีช่องกว้างของรูปร่างโดยทั่วไป การทำงานของคำสั่งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 อย่างดังนี้ (A.L. Ames, et al., 1996)

- 1) พื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในการกดอัดเป็นรูป (extrude)
- 2) แนวสัน (spine) เฉพาะที่เป็นทางเดินในการกดอัด (extrusion)
- 3) ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวสัน
- 4) การจัดเรียงตัวของพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวสัน

3.5.1 พื้นที่หน้าตัด (Cross-section)

พื้นที่หน้าตัดมีโครงร่างเป็นรูปร่างสองมิติใด เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม สี่เหลี่ยมปลายมน รูปเลนส์นูน เป็นต้น กำหนดพื้นที่หน้าตัดโดยใช้พิกัดสองมิติ (2D coordinate) ซึ่งจะถูกแจ้งไว้ใน crossSection field ของ extrusion node

พื้นที่หน้าตัดที่ถูกกดอัดออกมาสามารถเป็นพื้นที่หน้าตัดแบบเปิด หรือแบบปิดก็ได้ ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้ายนั้นเป็นพื้นที่หน้าตัดแบบปิดโดยทั้งหมด โดยพื้นที่หน้าตัดเหล่านี้จะถูกกำหนดให้ใช้เป็นพิกัดสองมิติในแนวระนาบ XZ

3.5.2 แนวสันในการกดอัด (Spine)

แนวสันในการกดอัดเป็นเส้นทางรูปร่างสามมิติที่ใช้สำหรับการกดอัด ซึ่งอาจจะเป็นไปในแนวเส้นตรง หรือเส้นโค้ง แนวสันนี้ (extrusion spine) สามารถใช้เป็นแนวเปิด เช่น เส้นเกลียว (spiral) ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายต่างจุดกัน หรือแนวปิด เช่น วงกลม ที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายร่วมกัน

3.5.3 การกดอัดพื้นที่หน้าตัดตามแนวสัน (Extruding a Cross Section along a Spine)

เราสามารถสร้าง extrusion shape โดยการกวาดพื้นที่หน้าตัดไปตามแนวแกนสามมิติ ซึ่งขณะที่พื้นที่หน้าตัดถูกกวาดไปตลอดแนวแกน ก็จะเป็นกลุ่มของพื้นที่หน้าตัดที่สร้างผิวของรูปร่างที่ถูกกดอัด (extruded shape)

3.5.4 การกำหนดขนาดของพื้นที่หน้าตัด (Cross-section Scaling)

กระบวนการในการกดอัด (extrusion process) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) พื้นที่หน้าตัดจะถูกแทนที่ตำแหน่งพิกัดแรกสุดบนแนวสัน
- 2) เส้นาของพื้นที่หน้าตัดจะถูกแทนที่ลงบนตำแหน่งไปตามแนวสัน
- 3) ผิวหน้าจะถูกสร้างขึ้นซึ่งจะเชื่อมโยงกับพื้นที่หน้าตัดแรกสุดไปยังตำแหน่งที่สอง ได้เป็นพื้นผิวของแนวสัน (extrusion skin)
- 4) ทำซ้ำดังขั้นตอนที่ 2 และ 3 สำหรับส่วนถัดไปในแนวสัน จนกระทั่ง สิ้นสุดที่ปลายของแนวสัน

เราสามารถกำหนดขนาดให้เพิ่มขึ้น หรือลดลงได้โดยกำหนด scale factor ใน scale field ของ extrusion node ซึ่งเราสามารถกำหนดปัจจัยขนาดสำหรับความกว้างและความลึกของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นสองมิติ เมื่อใช้การกำหนดขนาดที่แต่ละจุดพิกัดตามแนวสัน จะสามารถทำให้เป็นรูปร่างกว้างหรือแคบได้ ตัวอย่างเช่น เราสามารถวางส่วนที่หมุนในตำแหน่งกลางของการกดอัดที่มีแนว

เส้นร่วมกันสามแนว โดยปรับขนาดพื้นที่หน้าตัดให้เพิ่มขึ้นที่จุดร่วมกันของแนวเส้นซึ่งอยู่ตรงกลาง และไม่ปรับขนาดที่แนวเส้นแรกสุดและท้ายสุดที่ร่วมกัน

3.5.5 ไวยากรณ์ของโหนดกดอัด (The Extrusion Node Syntax)

โหนดกดอัดจะสร้างพื้นผิวของรูปทรง และอาจถูกใช้เป็นค่าของ geometry field ใน Shape node

Extrusion{			
	CrossSection[1.0 -1.0,		
		-1.0 -1.0,	
		-1.0 1.0,	
		1.0 1.0]	# field MFVec2f
	Spine[0.0 0.0 0.0,		
		0.0 1.0 0.0]	# field MFVec3f
	Scale 1.0 1.0		# field MFVec2f
	Orientation 0.0 0.0 1.0 0.0		# field MFRotation
	beginCap TRUE		# field SFBool
	endCap TRUE		# field SFBool
	ccw TRUE		# field SFBool
	solid TRUE		# field SFBool
	convex TRUE		# field SFBool
	creaseAngle 0.0		# field SFFloat
	set_spine		# eventIn MFVec3f
	set_crossSection		# eventIn MFVec2f
	set_scale		# eventIn MFVec2f
	set_orientation		# eventIn MFRotation

ค่าของ crossSection field ใช้อธิบายการของพิกัดสองมิติ ซึ่งบ่งชี้โครงร่างเปิด หรือปิดเพื่อที่จะถูกกดอัดผ่านตามแนวเส้นของการกดอัด พื้นที่หน้าตัดที่เห็นได้ดีที่สุดจะถูกสร้างบนระนาบ XZ ดังนั้นค่าแรกของแต่ละจุดร่วมแบบ สองมิติ เป็นระยะทางไปตามแนวแกน X และค่าที่สองจะอยู่ในแนวแกน Z ยิ่งไปกว่านั้นผิวของพื้นที่หน้าตัดจะอยู่ในแนวแกน Y ค่าที่ถูกตั้งไว้สำหรับ crossSection field จะถูกกำหนดไว้เป็นสี่เหลี่ยม

ค่าของ spine field เป็นจุดพิกัดแบบสามมิติ ซึ่งบ่งชี้เส้นทางเปิด หรือปิดที่พื้นที่หน้าตัดจะกวาดไปเพื่อสร้างการกอดอัด ค่าที่ถูกต้องไว้สำหรับ spine field จะถูกกำหนดไว้เป็นเส้นตรง ตามแนวแกน Y

ค่าของ scale field เป็นรายการของการหมุนพื้นที่หน้าตัด ซึ่ง scale-factor เป็นค่าร่วมกันตามแนวเส้น ดังนั้นค่าแรกของแต่ละจุดร่วมแบบสองมิติอยู่ในแนวแกน X และค่าที่สองจะอยู่ในแนวแกน Z สำหรับพื้นที่หน้าตัดที่มีค่า scale-factor อยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 ใช้ในการเพิ่มหรือลดขนาดพื้นที่หน้าตัด ค่าที่ถูกต้องไว้สำหรับ scale field คือ single scale-factor pair โดยมีขนาด 1.0 ในแนวแกน X และ Z

ค่าของ orientation field ใช้บอกรายการของการหมุนพื้นที่หน้าตัดที่ใช้ในแต่ละจุดร่วมตามแนวเส้น ค่าของการหมุนแต่ละค่าจะบอกถึงแกนและมุมในการหมุน ค่าที่ถูกต้องไว้ของ orientation field ถูกตั้งมุมในการหมุนเท่ากับ 0.0 radians

VRML Browser สามารถสร้าง รูปร่างที่ถูกกอดอัดโดยใช้ พื้นที่หน้าตัด (cross section) แนวเส้น (spine) การกำหนดขนาด (scaling) และค่าในการหมุน (rotation values) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) สร้างพื้นที่หน้าตัดจาก crossSection field ตามแนวระนาบ XZ ในองค์ประกอบนี้
- 2) กำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดเกี่ยวกับจุดเริ่มต้นที่ใช้กับจุดร่วม X และ Z ตามแนวเส้น
- 3) จะมีการจัดเรียงตัวของพื้นที่หน้าตัดอัดโนมิติ เพื่อที่จะให้ไปตามแกน Y ตลอดแนวเส้น ที่แนวเส้นร่วมในขณะนั้น
- 4) การหมุนพื้นที่หน้าตัดนั้นจะใช้แกนการหมุนของแนวเส้นร่วมขณะนั้น และมุมที่เป็นค่าที่กำหนดอยู่ใน orientation field
- 5) จะเกิดการแปลค่าพื้นที่หน้าตัดโดยอัดโนมิติส่งไปยังแนวเส้นร่วมนั้นๆ โดยการใช้อัดโนมิติสามมิติ ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดอยู่ใน spine field

- 6) ถ้าจุดร่วมในแนวเส้นจากขั้นตอนที่ 5 ไม่เป็นจุดแรกของแนวเส้นร่วมในขณะนั้นแล้ว จะสร้างพื้นผิวที่เชื่อมโยงพื้นที่หน้าตัดของแนวเส้นร่วมไปยังพื้นที่หน้าตัดที่แนวเส้นร่วมก่อนหน้านี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

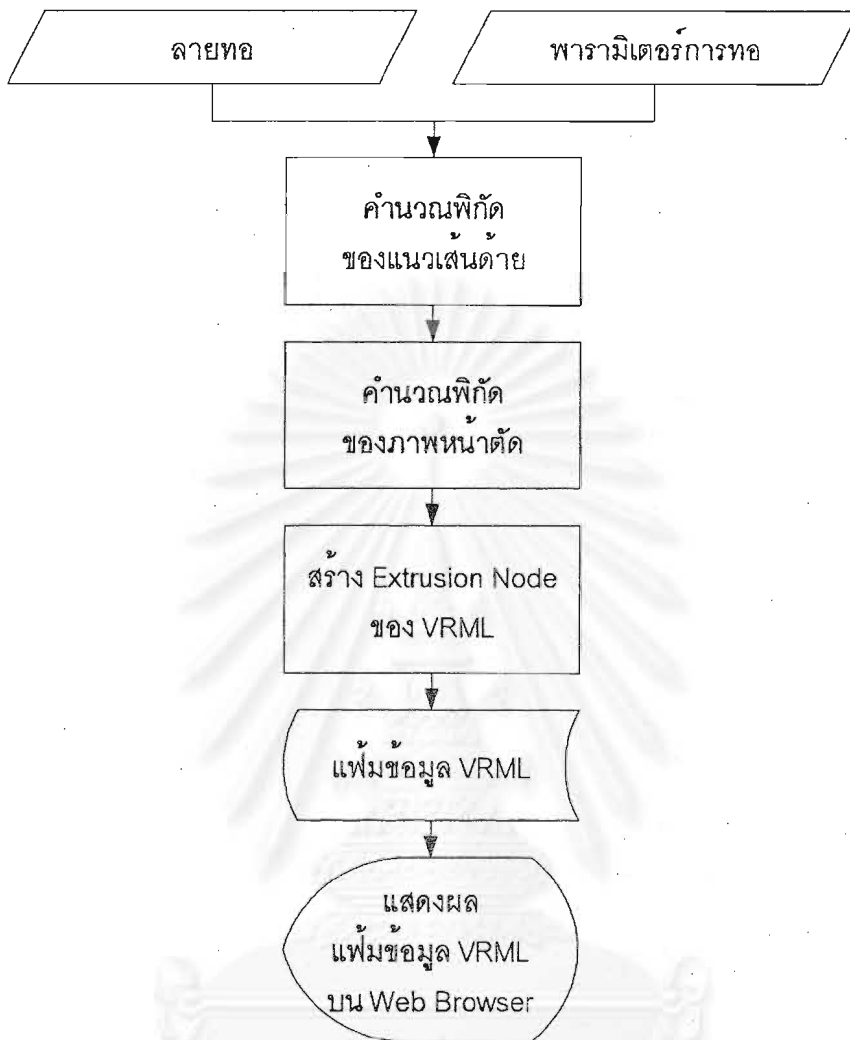
บทที่ 4

การพัฒนาโปรแกรม

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นดังอธิบายในบทที่ 3 ได้นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในชื่อ Weave3D เพื่อจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอ ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย โดยใช้ภาษาวิชวลเบสิกในการพัฒนาโปรแกรมหดังกล่าว ในบทนี้จะอธิบายถึงสถาปัตยกรรมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งวิธีการใช้โปรแกรมหดังกล่าว

4.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม

สถาปัตยกรรมของโปรแกรม Weave3D แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากการที่โปรแกรมอ่านค่าลายทอในรูปแบบของไบนารีเมทริกซ์ จากนั้นนำมาเปลี่ยนเป็นข้อมูลพิกัดแนวเส้นด้าย และพิกัดภาพหน้าตัด โดยใช้ข้อมูลพารามิเตอร์การทอมาประกอบ ข้อมูลพิกัดแนวเส้นด้ายและข้อมูลพิกัดภาพหน้าตัดจะถูกนำมาสร้างเป็น extrusion node แล้วบันทึกไว้ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูล VRML โปรแกรมจะสั่งให้แสดงผลแฟ้มข้อมูล VRML โดยอัตโนมัติ ผ่านโปรแกรมเวบเบราว์เซอร์ (web browser) ที่ได้ติดตั้งปลั๊กอิน (plug-in) ที่เหมาะสมสำหรับการแสดงภาพจำลอง VRML ไว้



รูปที่ 4.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม Weave3D

4.2 การเตรียมเบราว์เซอร์ของภาษา VRML

จากที่ได้กล่าวถึงการทำงานของภาษา VRML แล้ว จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้หน้าที่ในการเรนเดอร์หรือประมวลผลกราฟิก (rendering) แบบจำลองกราฟิก สามมิติ จำเป็นต้องมีเบราว์เซอร์ที่สามารถสนับสนุนภาษา VRML หรือเรียกว่า VRML Browser ขึ้นเพื่อรองรับการทำงานของภาษา VRML โดยการติดตั้งโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน (plug-in) ให้แก่เว็บเบราว์เซอร์ เช่น Microsoft® Internet Explorer หรือ Netscape โดยสามารถแยกการเตรียมออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

4.2.1 การเตรียมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

4.2.1.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ขั้นต่ำที่จำเป็น

- 1) ไมโครโปรเซสเซอร์ เพนเทียม 133 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป หรือเทียบเท่า
- 2) หน่วยความจำหลัก (RAM) อย่างน้อย 32 เมกะไบต์
- 3) การ์ดแสดงผลแบบ VGA หรือ SuperVGA แรมแสดงผล 2 เมกะไบต์ จำนวนสี 256 สีขึ้นไป หรือชนิดที่สนับสนุนการทำงาน ลักษณะ สามมิติ
- 4) ฮาร์ดดิสก์ควรมีเนื้อที่ว่าง 100 เมกะไบต์ขึ้นไป

4.2.1.2 อุปกรณ์ซอฟต์แวร์ที่จำเป็น

- 1) ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ขึ้นไป
- 2) เว็บเบราว์เซอร์ คือ โปรแกรม Netscape Navigator เวอร์ชัน 3.01 ขึ้นไป หรือ โปรแกรม Internet Explorer เวอร์ชัน 3.0 ขึ้นไป ที่สามารถสนับสนุนภาษา VRML
- 3) โปรแกรมเสริมปลั๊กอิน (plug-in) คือ SGI's Cosmo Player หรือโปรแกรมเสริมตัวอื่นก็ได้ที่สามารถสนับสนุนภาษา VRML

4.2.2 การปรับแต่งคุณสมบัติเบราว์เซอร์ให้สนับสนุนไฟล์ของภาษา VRML

โปรแกรม Microsoft® Internet Explorer เป็นเว็บเบราว์เซอร์ที่มีคุณสมบัติในการเรียกใช้บริการอื่นๆ ที่มีในอินเทอร์เน็ต และยังมีคุณสมบัติสำหรับระบบปฏิบัติการ (operating system) ต่างๆ รวมทั้งสถาปัตยกรรมของ Internet Explorer เองมีความยืดหยุ่นให้บริษัทผู้พัฒนารายอื่น ขยายขีดความสามารถของเบราว์เซอร์ออกไป โดยการสร้างโปรแกรมเสริมประเภทปลั๊กอิน เข้ามาใช้บนเบราว์เซอร์ของ Internet Explorer ได้ด้วย ซึ่งมีปลั๊กอินอยู่มากมายตั้งแต่ปลั๊กอินเกี่ยวกับเสียง วิดีโอ มัลติมีเดีย ไปจนถึงการแสดงผลภาพ สามมิติในรูปแบบเสมือนจริง (virtual reality) นอกจากนั้นยังสามารถสนับสนุนภาษา Java และ Javascript อีกด้วย

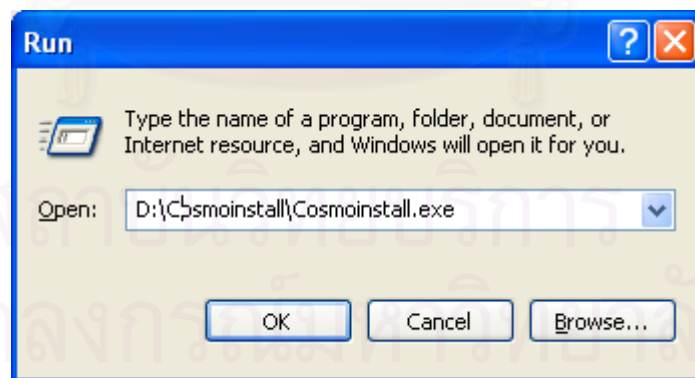
4.2.3 การติดตั้งโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน (plug-in)

ในการทดลองนี้ เลือกใช้ปลั๊กอิน Cosmo Player พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Silicon Graphic จำกัด โปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player เป็นโปรแกรมเสริมโปรแกรมหนึ่งที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนพาหนะที่พาเข้าไปสำรวจในโลกเสมือนจริง โดยใช้เมาส์ หรือคีย์บอร์ด ในการควบคุมทิศทาง จากแผงควบคุม (dashboard) ของโปรแกรม Cosmo Player ที่มีความสามารถสนับสนุนระบบแสง และเสียงในระบบ สามมิติ รวมทั้งยังเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม (debugger) อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถสนับสนุนพฤติกรรมต่างๆ จากภาษา Javascript ที่เขียนขึ้นมาควบคุมการทำงานของภาษา VRML ให้สมจริงยิ่งขึ้น

การติดตั้งโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) คลิก Start ที่แถบงาน (taskbar menu)
- 2) คลิก Run
- 3) คลิก Browse แล้วเลือกไฟล์ชื่อ Cosmoinstall.exe แล้วคลิกปุ่ม OK ดังแสดงใน

รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งโปรแกรมเสริม

- 4) คลิกปุ่ม Next

5) เลือกเบราว์เซอร์ที่สนับสนุน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เช่น C:\Program Files\Internet Explorer\IEXPLORER.exe



รูปที่ 4.3 การเลือกเบราว์เซอร์ที่สนับสนุน (<http://www.szentesinfo.hu/vrml>)

6) คลิก Browse เพื่อกำหนดเส้นทางของไฟล์เดออร์ ที่รองรับโปรแกรมเสริมของเบราว์เซอร์ Internet Explorer เช่น C:\Program Files\Internet Explorer \plug-in

7) คลิกสร้างไฟล์เดออร์ของ cosmo player เพื่อเก็บไฟล์เกี่ยวกับปลั๊กอิน เช่น C:\Program Files\Cosmosoftware ดังแสดงในรูปที่ 4.4

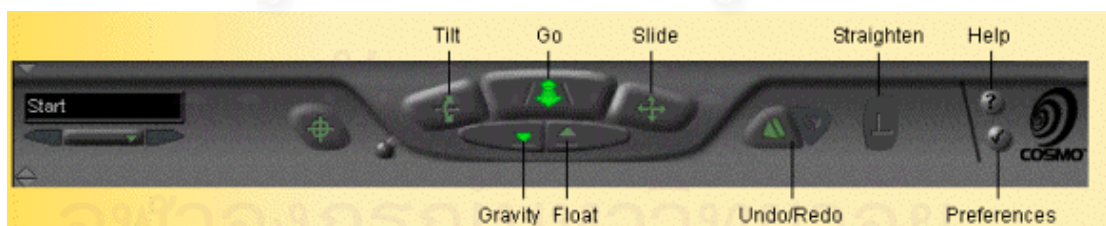
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 การสร้างโฟลเดอร์ของ Cosmo Player (<http://www.szentesinfo.hu/vrml>)

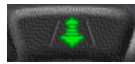
4.2.4 วิธีการใช้แผงควบคุม (Dashboard) ของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน (plug-in)

แผงควบคุม คือ เครื่องมือที่อยู่ใน VRML Browser เป็นตัวควบคุมการติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ในการบังคับทิศทางแบบเคลื่อนที่เข้าไปในโลกเสมือนจริงและหมุนวัตถุโดยอาศัยเหตุการณ์จากเมาส์ หรือคีย์บอร์ดจากผู้ใช้ แผงควบคุมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.5

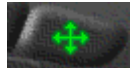


รูปที่ 4.5 ลักษณะของแผงควบคุมใน VRML จากเบราว์เซอร์ของคอสมโอ
(<http://www.ch.ic.ac.uk/rzepa/vrml/>)

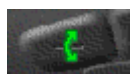
การบังคับทิศทางแบบการเคลื่อนที่เข้าไปในโลกเสมือนจริง โดยคลิกเลือกปุ่ม Go, Slide หรือ Tilt ของแผงควบคุม หลังจากนั้นลากเมาส์ไปตามทิศทางที่ต้องการภายในหน้าจอของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player ซึ่งแต่ละปุ่มมีหน้าที่ดังนี้



Go คลิกและลากเมาส์เพื่อเคลื่อนที่เข้าและออก



Slide คลิกและลากเมาส์เพื่อเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ขวา ล่าง หรือ บน



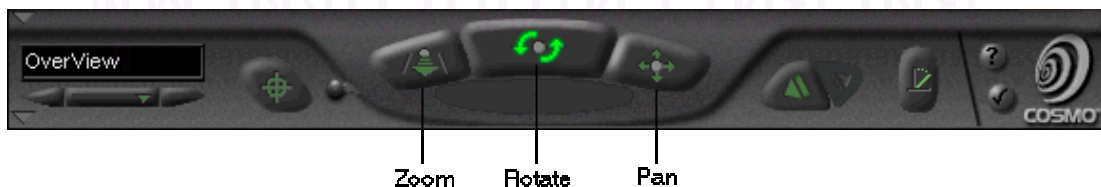
Tilt คลิกและลากเมาส์เพื่อปรับมุมมองขึ้น ลง

การบังคับทิศทางแบบการหมุนวัตถุใช้หลักการเดียวกันกับแบบการเคลื่อนที่เข้าไปในโลกเสมือนจริง คือ คลิกเลือกปุ่มแล้วจึงใช้เมาส์ลากไปตามทิศทางที่ต้องการภายในหน้าจอของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player แต่ต้องเปลี่ยนโดยการคลิกที่ปุ่ม Changes Controls ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การคลิกปุ่ม Change Control (<http://www.szentesinfo.hu/vrml>)

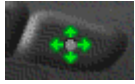
เพื่อทำการสลับไปมา ระหว่างแบบการหมุนวัตถุและแบบการเคลื่อนที่เข้าไปในโลกเสมือนจริง หลังจากคลิกปุ่ม Change Control แล้ว แผงควบคุมจะมีลักษณะเปลี่ยนเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งแต่ละปุ่มมีหน้าที่ดังนี้



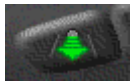
รูปที่ 4.7 แผงควบคุม (dashboard) แบบหมุนวัตถุ (<http://www.szentesinfo.hu/vrml>)



Rotate คลิกและลากเมาส์เพื่อหมุนวัตถุ

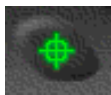


Pan คลิกและลากเมาส์เพื่อเคลื่อนวัตถุไปทางซ้าย ขวา บน หรือล่าง



Zoom คลิกและลากเมาส์ขึ้นเพื่อขยายเข้า หรือขยายออก

วัตถุที่มีการใส่ตัวตรวจจับ (sensor) จากโหนด TouchSensor, PlaneSensor หรือโหนดตัวตรวจจับอื่นๆ ก็ตาม เพื่อกำหนดเหตุการณ์คลิกหรือดับเบิลคลิกให้เกิดเสียง หรือภาพเคลื่อนไหวแก่วัตถุ เมื่อคุณลากเมาส์พอยน์เตอร์ผ่านวัตถุ พอยน์เตอร์จะเปลี่ยนเป็นรูป starburst ปรากฏที่วัตถุนั้น บางครั้งยากที่จะใช้ปุ่มเพื่อเคลื่อนที่เข้าไปในโลกเสมือนจริงหรือหมุนวัตถุ โดยใช้ปุ่ม Go, Slide, Tilt, Rotate, Pan หรือ Zoom ภายในโลกเสมือนจริงที่มีมากและยากจะเข้าถึง จึงใช้ปุ่ม Seek เพื่อนำคุณไปยังวัตถุที่ต้องการ โดยผ่านวัตถุอื่นที่ไม่ต้องการ ปุ่ม Seek มีหน้าที่ดังนี้



Seek คลิกปุ่มแล้วจึงใช้คลิกวัตถุที่ต้องการเข้าถึง

บางครั้งในการเข้าไปสู่โลกเสมือนจริงเกิดมุมมองที่ไม่ได้อยู่ในระดับสายตา เราสามารถใช้ปุ่ม Straighten ของแผงควบคุมเพื่อปรับให้มาอยู่ในระดับสายตา ทำให้ง่ายต่อการเที่ยวชมโลกเสมือนจริง ปุ่ม Straighten มีลักษณะและหน้าที่ดังนี้



Straighten คลิกปุ่มหรือกดคีย์ End เพื่อปรับระดับสายตา

การปรับการเคลื่อนไหวกลับไปล่าสุด โดยคลิกที่ปุ่ม undoing หรือ redoing เพื่อกลับไปยังมุมมองหรือการเคลื่อนไหวที่ผ่านมาล่าสุดซึ่งมีลักษณะหน้าที่ดังนี้



Undo/Redo
Move

Undo Move/Redo Move โดยคลิกที่ปุ่ม undoing หรือ Redoing

เพื่อกลับไปยังมุมมองหรือการเคลื่อนไหวที่ผ่านมาล่าสุด

สามารถใช้คีย์บอร์ดในการควบคุมทิศทางได้ โดยใช้ปุ่มคีย์บอร์ดขึ้น ลง ซ้าย หรือ ขวาแทนทิศทางตามรูปของลูกศร หากกดปุ่ม Shift+ขึ้น จะทำให้เป็นการเคลื่อนไปยังวัตถุนั้นอย่างรวดเร็วด้วยการใช้ปุ่ม seek บนแผงควบคุม

ในการควบคุมทิศทางเพื่อเข้าชมโลกเสมือนจริงโดยใช้แผงควบคุม นอกจากจะใช้เมาส์ในการคลิกเลือกปุ่ม และควบคุมทิศทางแล้ว ยังสามารถใช้คีย์บอร์ดในการควบคุมแทนเมาส์ได้ด้วย โดยมีหน้าที่ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 คำสั่งต่างๆ ของคีย์บอร์ดในการควบคุมทิศทาง (ซีววัฒน์ บุญศิวนนท์, 2544)

Action	Keyboard Command
Switch Movement/Examine Controls	'[back quote],~[tilde] หรือ - [เครื่องหมายลบบน numeric keypad]
Slide (Movement)	Alt
Tilt (Movement)	Ctrl
Pan (Examine)	Alt
Zoom (Examine)	Ctrl
Move/Examine with selected control	arrow keys
Turbo (accelerates Go and Slide)	Shift
Previous viewpoint	Page up
Next viewpoint	Page Down
Return to entry viewpoint	Home
Straighten	End
Undo move	Delete หรือ Backspace
Redo move	Insert หรือ Shift+Backspace
สลัด Gravity/Float	Tab or + [เครื่องหมายบวกบน numeric keypad]
สลัด headlight on/off	* [เครื่องหมายคูณบน numeric keypad]

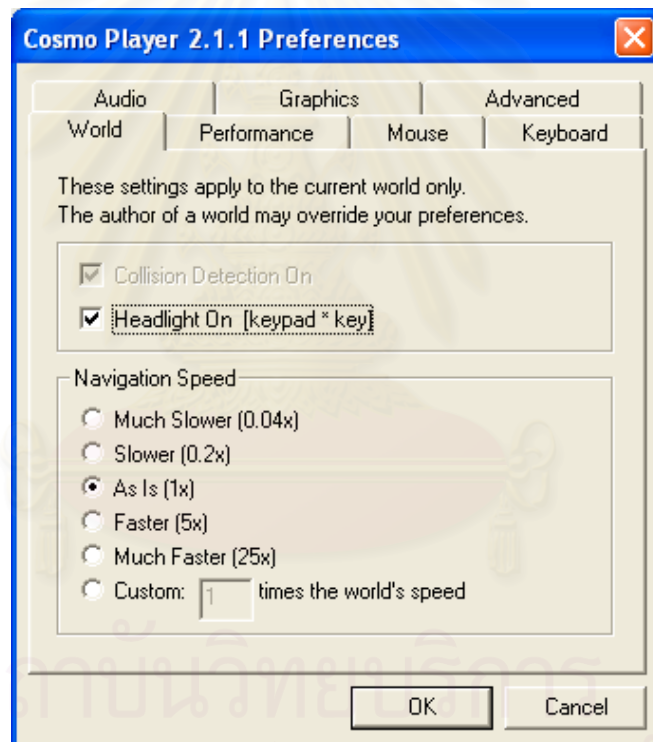
4.2.5 การปรับแต่งการทำงาน (Setting Preferences)

การปรับแต่งการทำงาน เป็นการตั้งค่าคุณสมบัติต่างๆ ให้แก่แผงควบคุม เพื่อให้การทำงานของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยคลิก Preferences ด้านขวาล่างของแผงควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ปุ่ม Preferences (<http://www.szentesinfo.hu/vrml>)

หลังจากคลิกปุ่มแล้วจะปรากฏหน้าจอของการปรับแต่งการทำงานของแผงควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.9



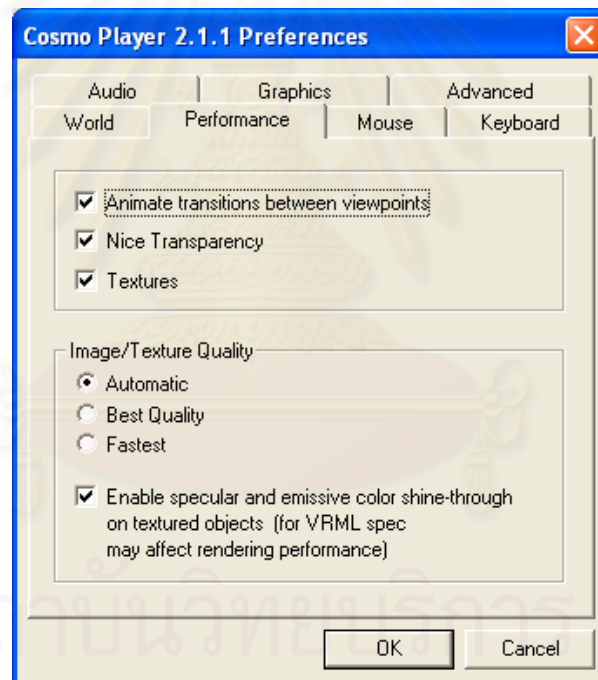
รูปที่ 4.9 หน้าจอของการปรับแต่งการทำงานของแผงควบคุม

สามารถคลิกเลือกแท็บเมนู world / performance / Mouse / Keyboard / Audio / Graphic เพื่อกำหนดค่าคุณสมบัติให้แก่ปลั๊กอิน Cosmo Player ได้ โดยแต่ละแท็บเมนูมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

4.2.5.1 แท็บเมนู World (รูปที่ 4.9)

- 1) Collision Detection On หากคลิกเลือก Collision Detection On แผงควบคุมจะทำการตรวจสอบการชนกับวัตถุ ทำให้ไม่สามารถผ่านวัตถุนั้นไปได้ เนื่องจากวัตถุจะมีลักษณะตัน
- 2) Headlight On [Keypad*key] เป็นการกำหนดการเปิดปิดไฟ หากคลิกเลือก Headlight On แผงควบคุมจะทำการเปิดไฟให้แก่วัตถุอัตโนมัติทุกครั้งที่มีการเรนเดอร์
- 3) Navigation Speed เป็นการปรับเปลี่ยนความเร็วขณะเคลื่อนที่เข้าไปในโลก เสมือนจริงในลักษณะเป็นเฟรมคล้ายทำภาพเคลื่อนไหว

4.2.5.2 แท็บเมนู Performance (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 แท็บเมนู Performance

- 1) Animate Transition between Viewpoints เป็นการกำหนดการสร้างภาพเคลื่อนไหวในการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง
- 2) Nice Transparency เป็นการรวมสีแบบโปร่งใสแก่วัตถุ

3) Textures เป็นการกำหนดให้เบร่าเซอร์ทำการปะติดภาพพื้นผิวและสร้างภาพฉากหลัง ซึ่งจะมีผลต่อการแสดงรายละเอียดของภาพด้วย

4) Image / Texture Quality เป็นการกำหนดคุณภาพของภาพที่นำมาสร้างพื้นผิวและภาพฉากหลัง ซึ่งจะมีผลต่อการแสดงรายละเอียดของภาพด้วย

5) Automatic เป็นการปรับเปลี่ยนคุณภาพของภาพโดยอัตโนมัติ

6) Best Quality เป็นการปรับเปลี่ยนคุณภาพของภาพให้มีคุณภาพดี แต่จะทำให้ความเร็วในการทำงานลดลง

7) Fastest เป็นการปรับเปลี่ยนคุณภาพของภาพอย่างหยาบๆ เพื่อการทำงานได้เร็วขึ้น

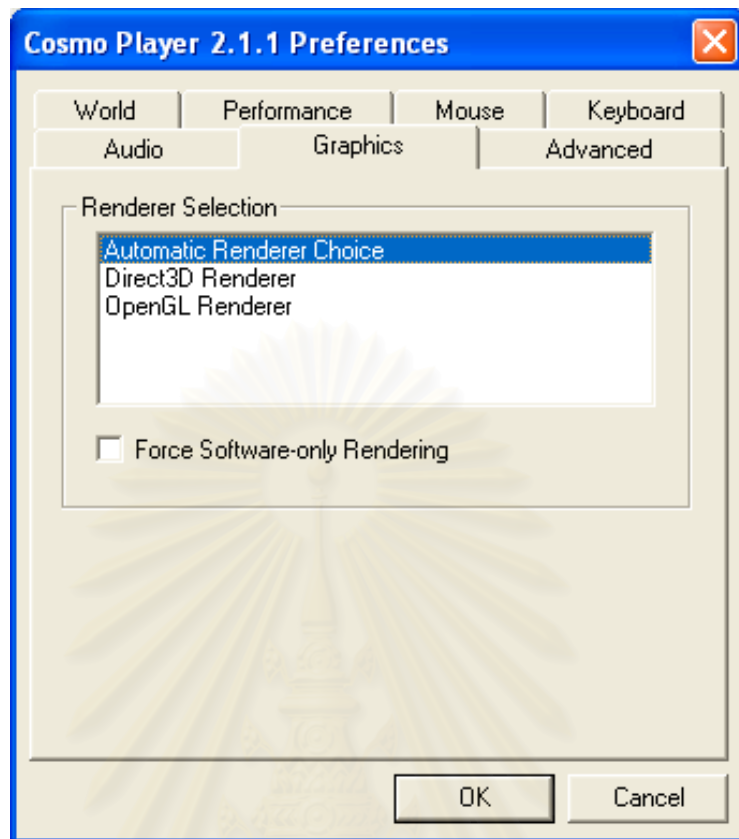
8) Enable specular and emissive color shine-through on textured objects เป็นการปรับเปลี่ยนคุณภาพสีและค่าความสว่างของภาพพื้นผิว

4.2.5.3 แท็บเมนู Graphics (รูปที่ 4.11)

แท็บเมนู Graphics เป็นการปรับแต่งคุณสมบัติด้านการเรนเดอร์ (Render) โดยเฉพาะการเรนเดอร์กราฟิก สามมิติ เป็นเป็นการเลือกชนิดการเรนเดอร์กราฟิก สามมิติ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) Automatic render choice เบร่าเซอร์จะทำการเลือกชนิดการเรนเดอร์ให้อัตโนมัติตามความเหมาะสมของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีอยู่

2) OpenGL และ Direct3D เป็นการเลือกวิธีการเรนเดอร์กราฟิก สามมิติ



รูปที่ 4.11 แท็บเมนู Graphics

4.2.5.4 แท็บเมนู Advanced

แท็บเมนู Advanced เป็นการปรับแต่งคุณสมบัติต่างๆไปของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน

1) Examine Viewer Style เป็นการกำหนดรูปแบบมุมมองของการหมุนวัตถุแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

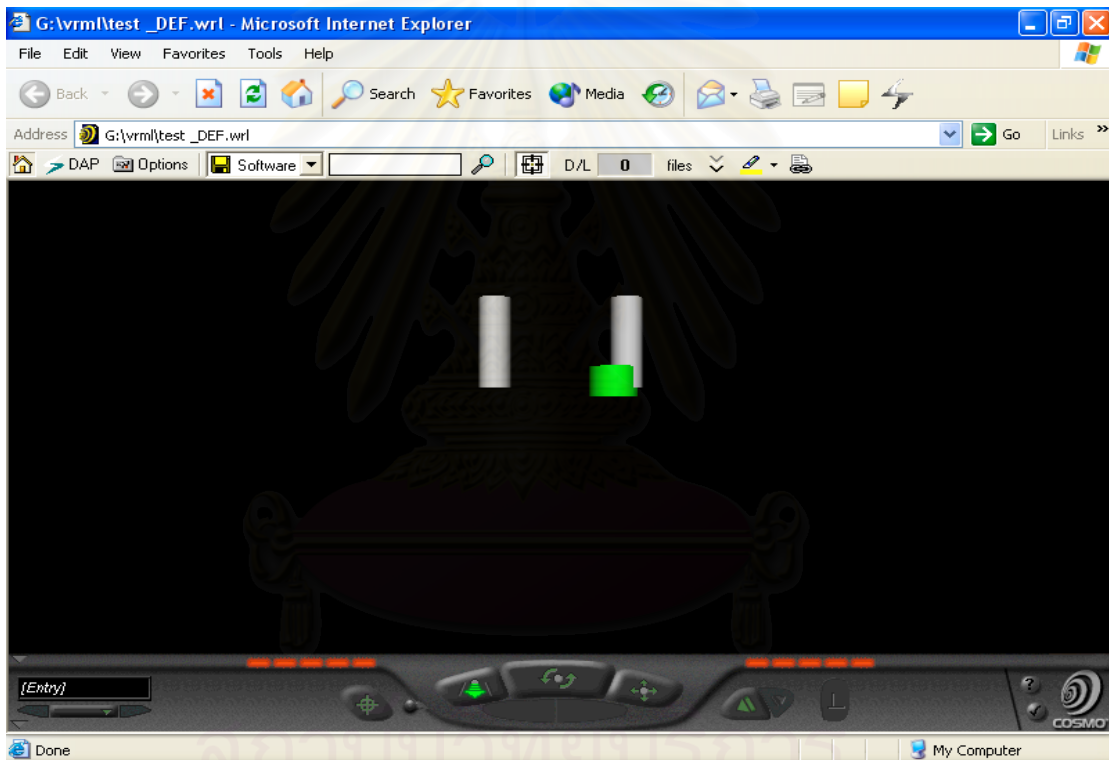
. Standard Examiner เป็นการหมุนธรรมดาตามทิศทางการลากเมาส์

. Virtual Trackball เป็นการหมุนอิสระบนฉากในลักษณะทรงกลม

2) VRML Console Behavior เป็นการกำหนดการแสดงผลข้อผิดพลาดในการเรนเดอร์วัตถุในแต่ละครั้ง โดยจะปรากฏแถบสี 2 สีคือ

ก. สีเหลือง คือการเตือนข้อผิดพลาดและอนุญาตให้เรนเดอร์ต่อไป โดยจะแสดงผลของข้อผิดพลาดขึ้นมาให้ดูทั้งหมด เช่น ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการไม่พบแหล่งเก็บเสียงไฟล์เสียงที่กำหนดในโปรแกรม เป็นต้น

ข. สีแดง คือการแสดงข้อผิดพลาดและไม่อนุญาตให้ทำการเรนเดอร์ต่อไป โดยจะแสดงข้อผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เช่น ข้อผิดพลาดที่เกิดจากรูปแบบไวยากรณ์ (syntax) ไม่ถูกต้อง เป็นต้น



รูปที่ 4.12 แถบสีแสดงข้อผิดพลาด

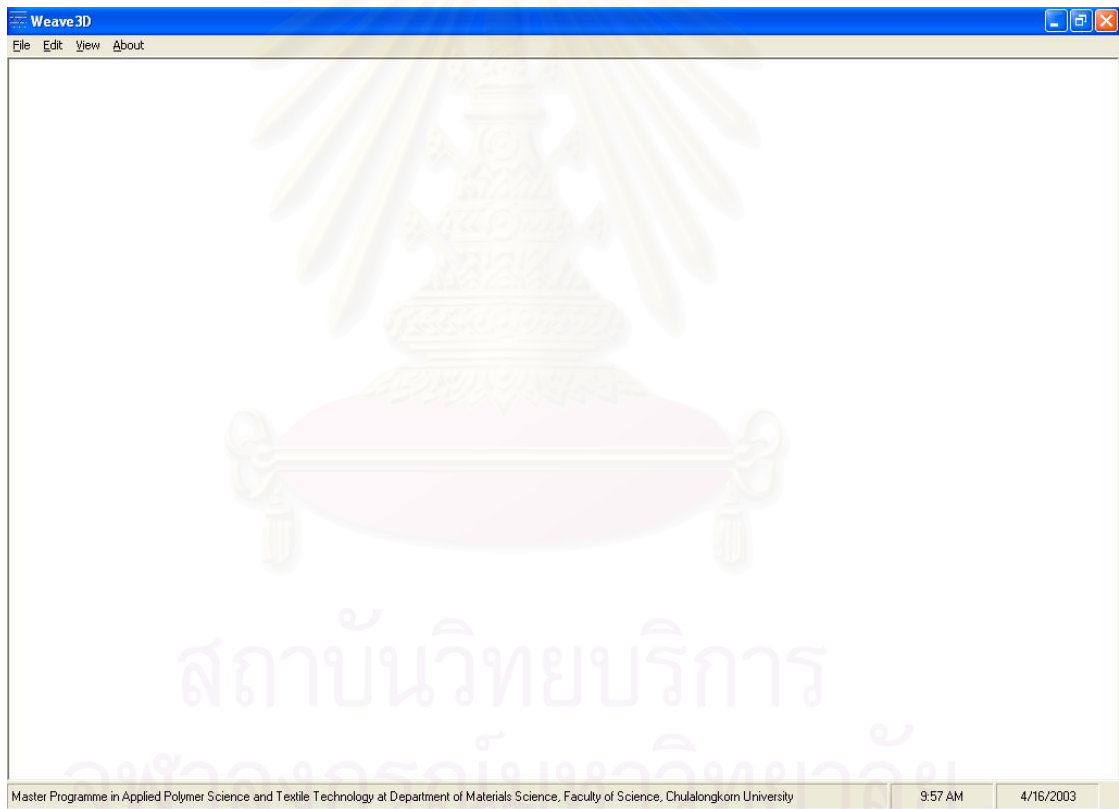
3) Show console on error or warning เป็นการกำหนด VRML console แสดงข้อความเมื่อมีข้อผิดพลาดหรือคำเตือน

4) Show console on error startup เป็นการกำหนด VRML console แสดงข้อความเมื่อมีข้อผิดพลาดหรือคำเตือน ทุกครั้งเมื่อเริ่มโหลดโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player

5) Feedback on Cosmo Player คลิกเพื่อส่งความคิดเห็นไปยังบริษัทเจ้าของโปรแกรมเสริมปลั๊กอิน Cosmo Player

4.3 การทำงานของโปรแกรม Weave3D

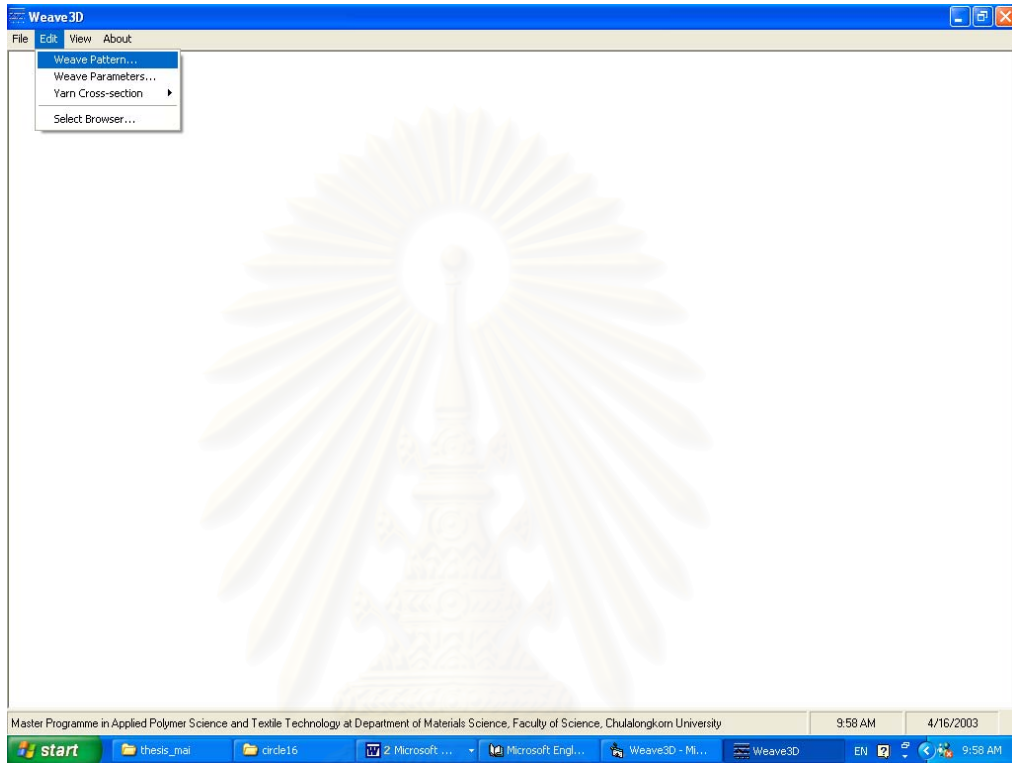
เมื่อเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Weave3D จะปรากฏหน้าจอตั้งแสดงในรูปที่ 4.13 ผู้ใช้สามารถเปิดหน้าต่างป้อนข้อมูลได้ในกรณีที่ปิดไป โดยคำสั่ง edit / weave pattern เพื่อป้อนค่าลายทอ และ step number ส่วนการป้อนค่าตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติมสามารถป้อนค่าได้โดยคำสั่ง edit / weave parameter ซึ่งจะสามารถเลือกป้อนค่าความหนาแน่น, ขนาด และสีของเส้นด้าย นอกจากนี้ยังสามารถเลือกดูความสามารถในการขัดกันของเส้นด้ายในสถานะ jammed (jammed condition)



รูปที่ 4.13 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D

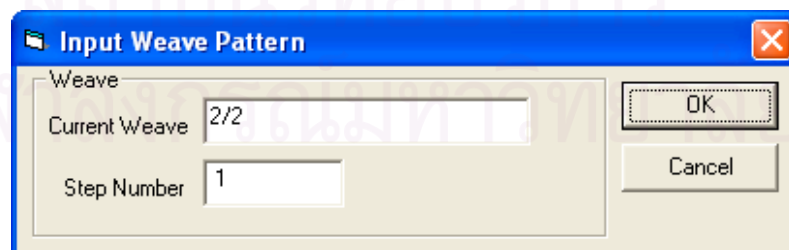
โดยปกติค่าเริ่มต้นของโปรแกรมจะถูกตั้งค่าไว้ที่ลายทแยง คือ ลาย 2/2 ค่าความหนาแน่นของด้ายพุ่ง (weft density) ,ความหนาแน่นของด้ายพุ่ง มีค่าเท่ากับ 40 *ppc*. และ 40 *epc*. ตามลำดับ

โดยขนาดของด้ายพุ่งและด้ายยืนมีขนาดเท่ากัน เท่ากับ 0.1 mm. เมื่อผู้ใช้จะเริ่มใช้โปรแกรม จะต้องทำการป้อนค่าลายทอ และ step number โดยกดปุ่มคำสั่ง edit / weave pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.14



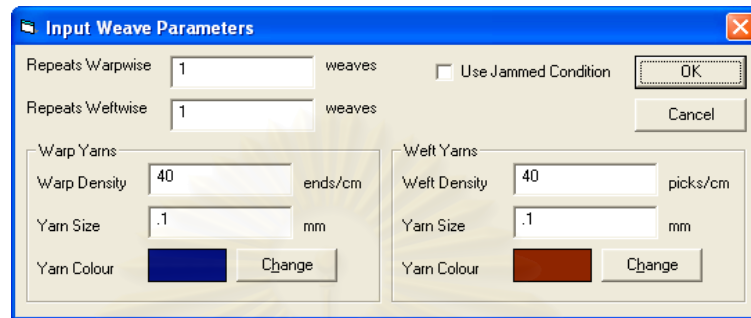
รูปที่ 4.14 การป้อนค่าต่างๆ ที่จำเป็น

จากนั้นจะปรากฏ กล่องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่าลายทอ และเลขขั้น (step number) ดังแสดงในรูปที่ 4.15



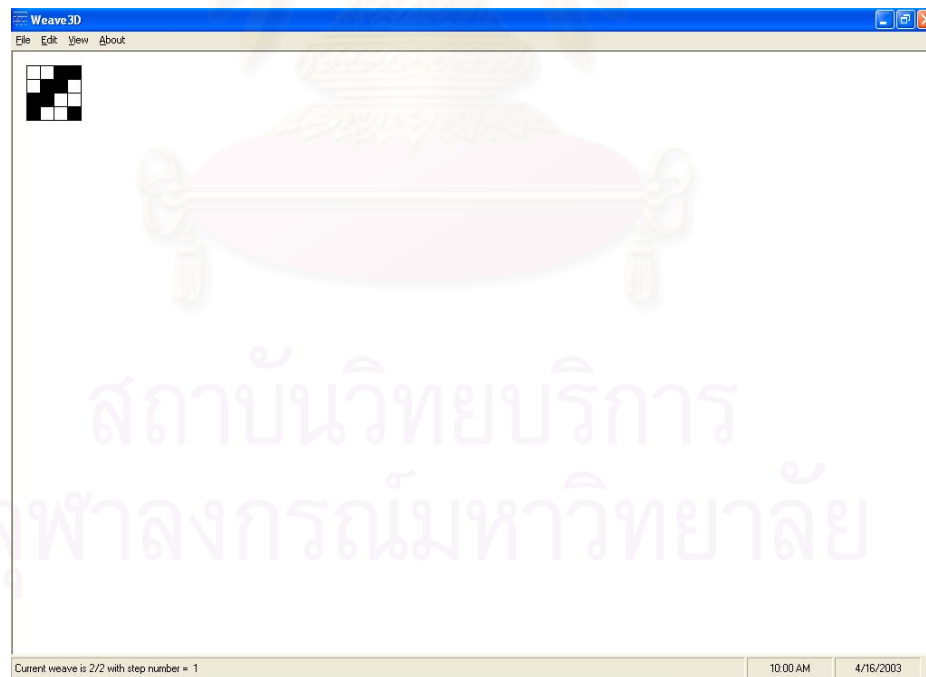
รูปที่ 4.15 กล่องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่าลายทอ

ส่วนค่า weave parameter ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่นของเส้นด้าย ทั้งในแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง, ขนาดของเส้นด้าย และสีเส้นด้าย สามารถป้อนค่าได้ โดยกดปุ่มคำสั่ง edit / weave parameter จะปรากฏ กล่องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่าพารามิเตอร์ของการทอ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



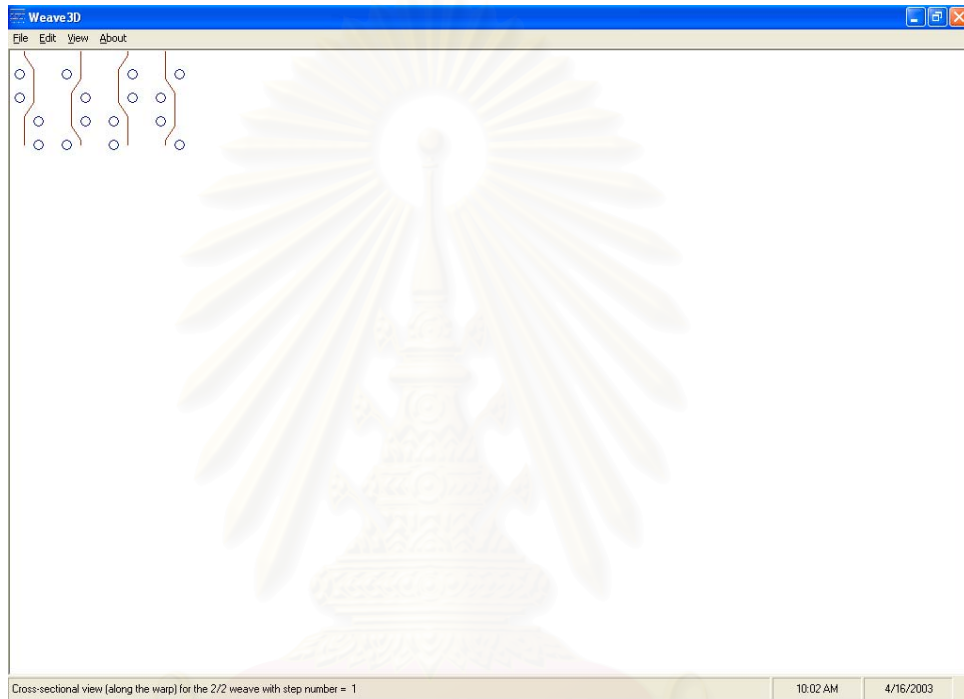
รูปที่ 4.16 กล่องโต้ตอบที่ใช้ป้อนค่า weave parameter

การป้อนค่า weave parameter นั้น จำเป็นจะต้องป้อนให้ครบเสียก่อนจึงจะสามารถจำลองภาพโครงสร้างผ้าทอได้ โดยถ้าผู้ใช้ต้องการดู weave pattern สามารถทำได้โดยกดปุ่มคำสั่ง view / weave pattern จะปรากฏภาพของลายทอ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



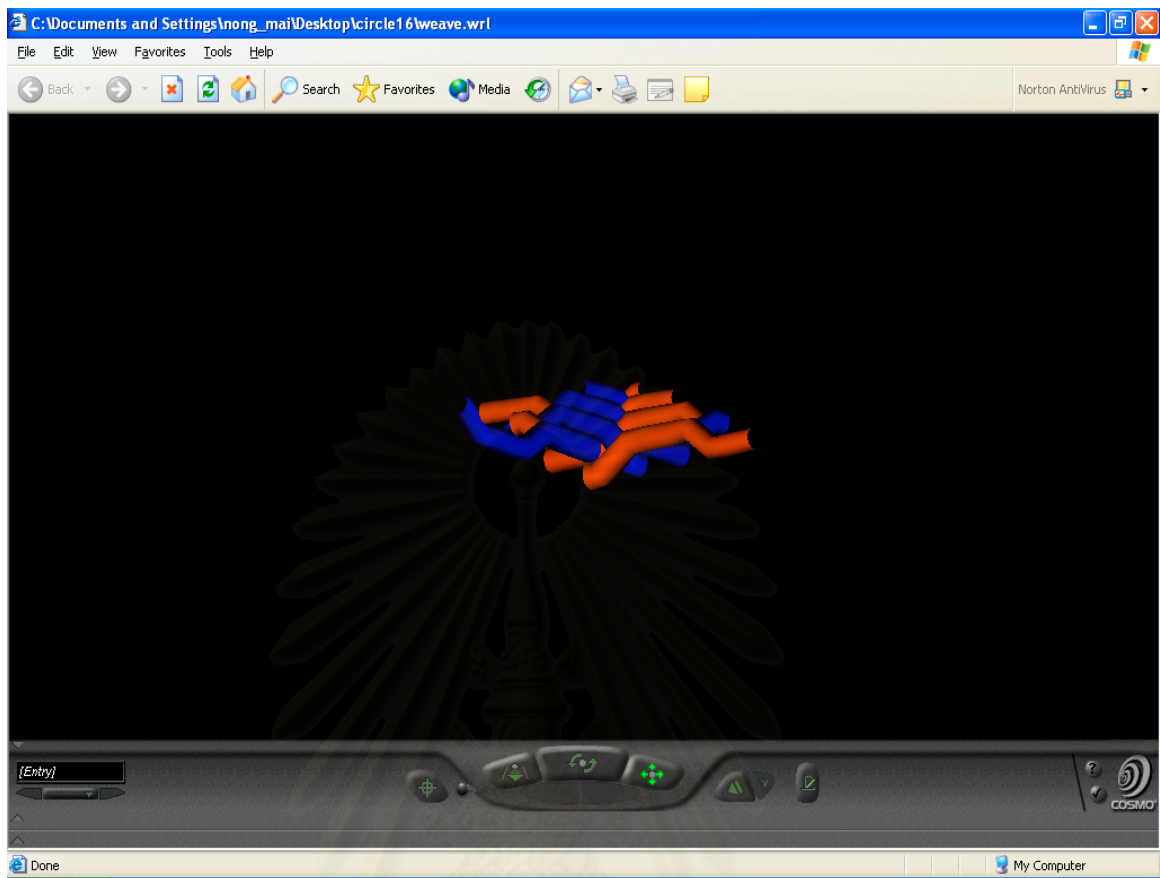
รูปที่ 4.17 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D แสดง weave pattern

เช่นเดียวกับการแสดงภาพของลายทอ โปรแกรมจะทำการจำลองแนวเส้นด้าย ของลายทอที่เราป้อนค่าเข้าไป เมื่อข้อมูลลายทอ เลขชั้น รวมทั้งค่าพารามิเตอร์การทอ ถูกป้อนเข้าไปได้ครบ ซึ่งโปรแกรมสามารถจำลองภาพ yarn path ได้ทั้งในแนวด้ายพุ่ง (weftwise) และแนวด้ายยืน (warpwise) ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ต้องการดูในแนวใด โดยกดปุ่มคำสั่ง view / 2D Visualisation ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 หน้าจอของโปรแกรม Weave3D ที่ใช้ในการจำลองภาพสองมิติของแนวเส้นด้าย

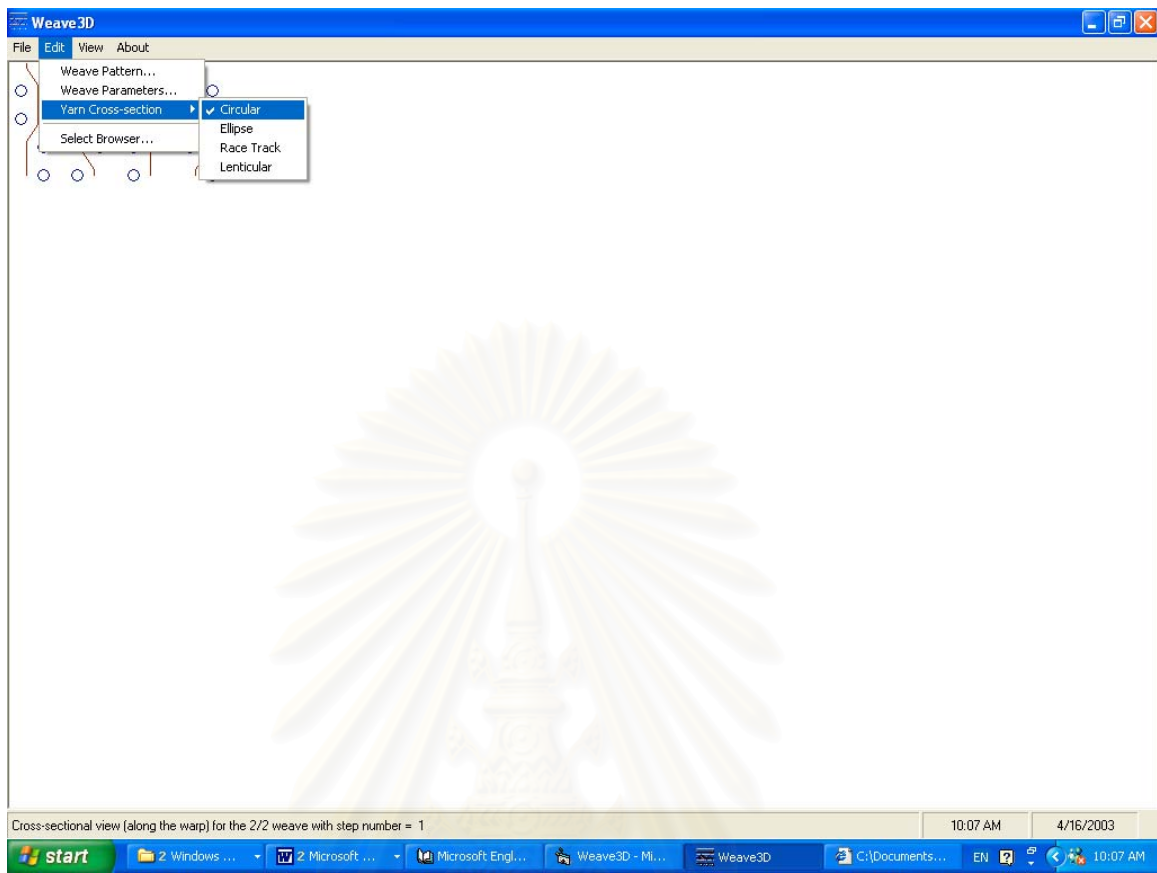
จากนั้น เมื่อต้องการจำลองภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ ทำได้โดยกดปุ่มคำสั่ง view / 3D Visualisation ภาพ สามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่สามารถจำลองได้ จะแสดงการขัดกันของด้ายพุ่ง และด้ายยืน ตามค่าลายทอ, ความหนาแน่น, ขนาด และสีของเส้นด้าย ตามที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้ ดังไว้ในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ภาพจำลอง สามมิติของโครงสร้างผ้าทอ

นอกจากนี้โปรแกรมที่ได้สร้างขึ้น สามารถเลือกพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย ได้แก่ วงกลม, รูปกลมไข่, สี่เหลี่ยมปลายมน และ รูปเลนส์นูน ดังแสดงในรูปที่ 4.20

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

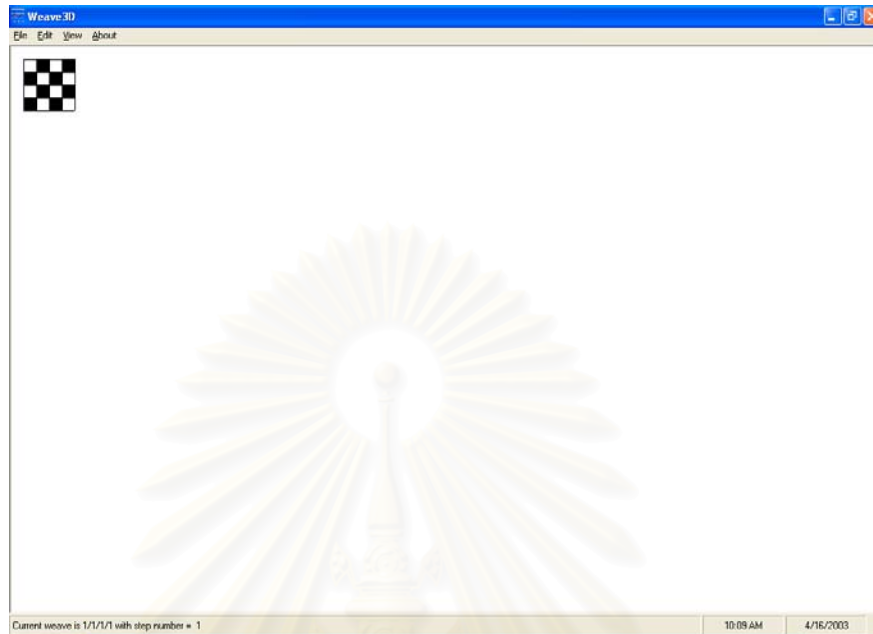


รูปที่ 4.20 หน้าต่างของโปรแกรมที่ใช้เลือกพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย

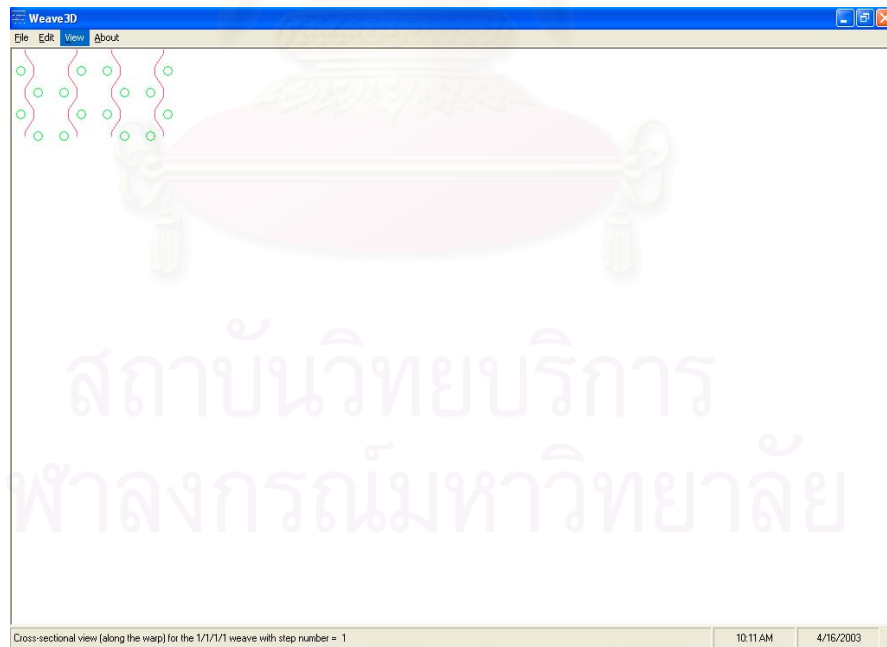
4.4 ตัวอย่างการสร้างลายทอพื้นฐาน

โปรแกรม Weave3D สามารถจำลองภาพ สามมิติของลายทอพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ ลายขัด ลายทะแยง และลายต่วน โปรแกรมสามารถสร้างลายดังกล่าวได้โดยอัตโนมัติ ขึ้นกับข้อกำหนดของค่าขนาด ความหนาแน่น และสีของเส้นด้าย ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้ป้อนข้อมูล

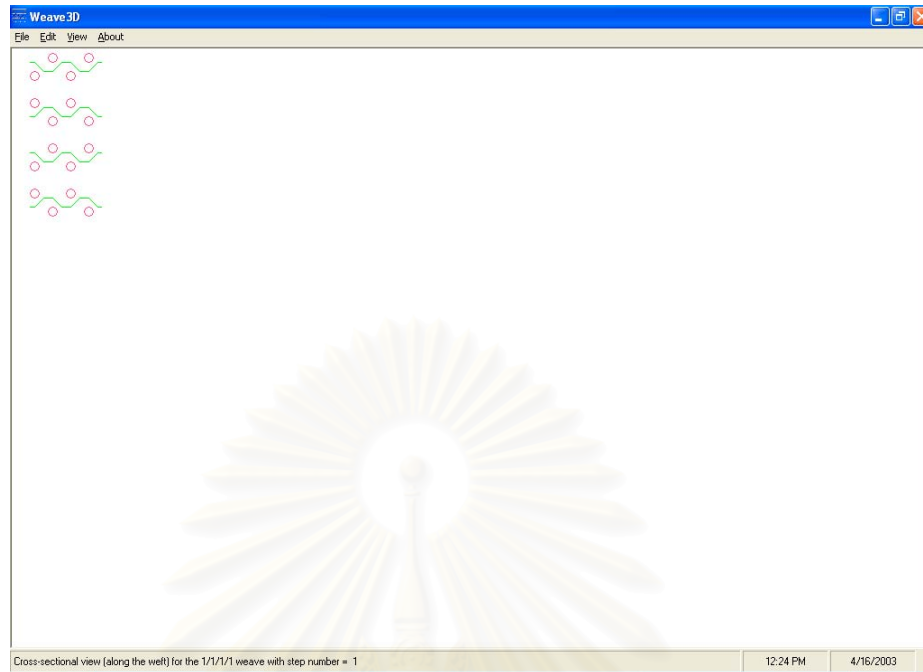
4.4.1 ลายขัด



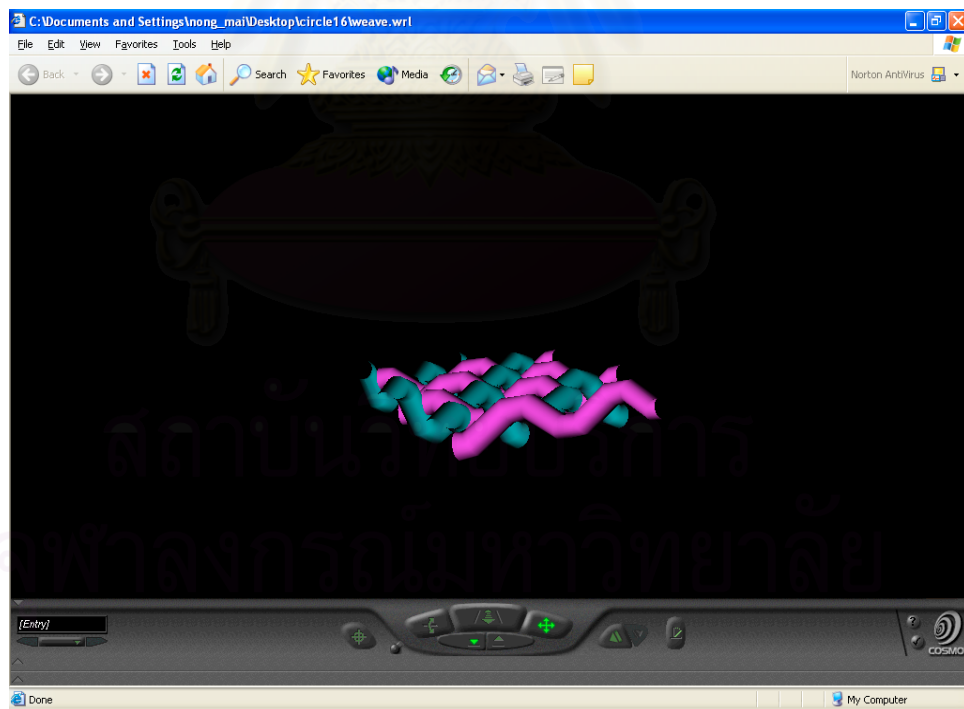
รูปที่ 4.21 ภาพแสดง weave pattern ของลายขัด



รูปที่ 4.22 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายขัดในแนว warpwise



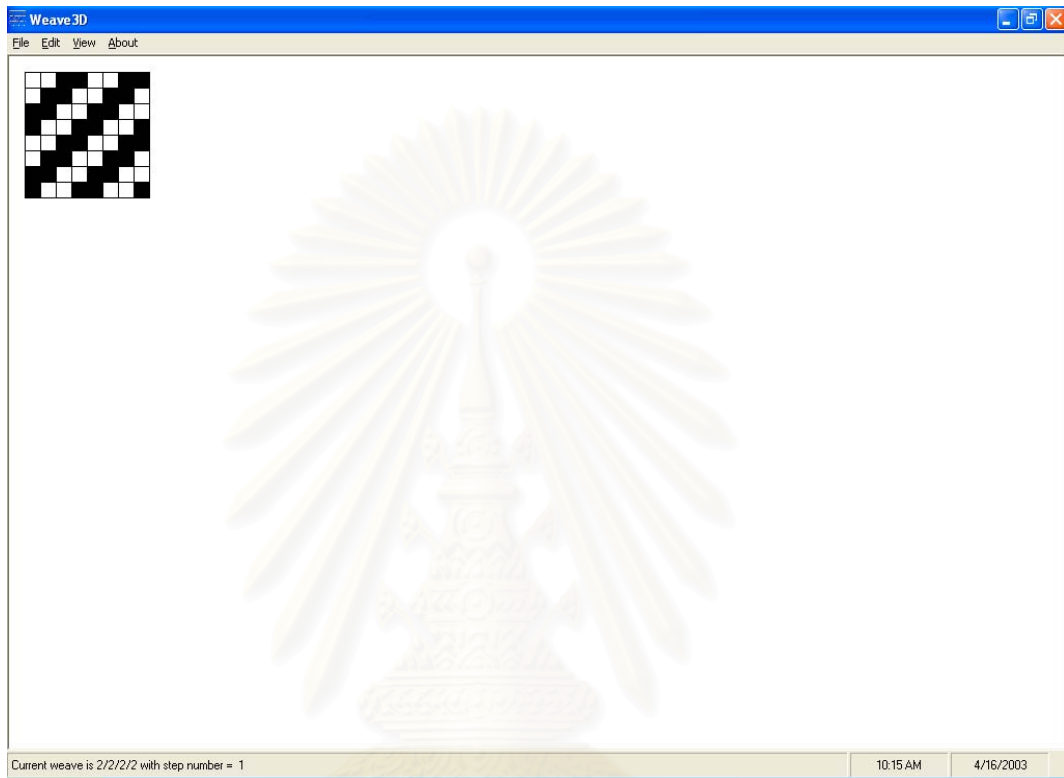
รูปที่ 4.23 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายขัดในแนว weftwise



รูปที่ 4.24 ภาพจำลองสามมิติของลายขัด

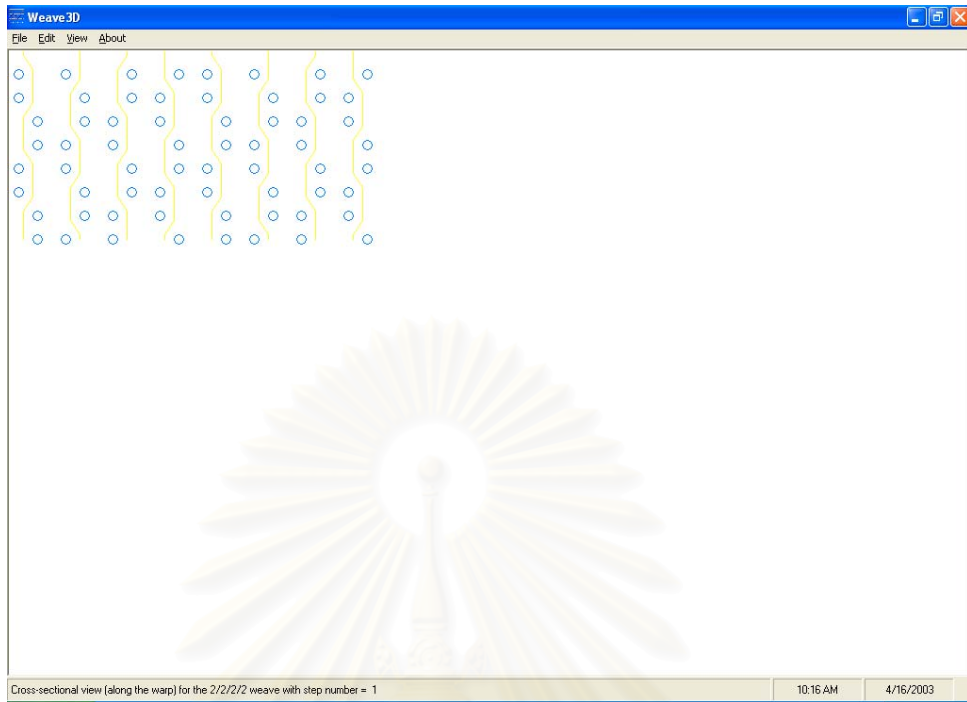
4.4.2 ลายทแยง

ผู้ใช้สามารถป้อนค่าลายทแยงที่ต้องการแล้ว ลายทแยงจะถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกับลาย
 ซัด ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.25

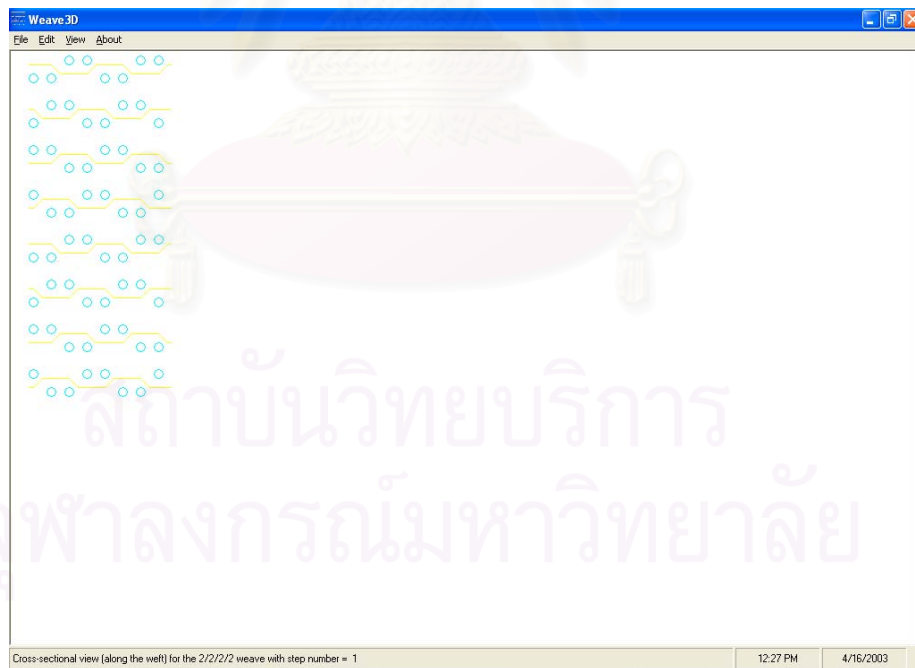


รูปที่ 4.25 ภาพแสดง weave pattern ของลายทแยง

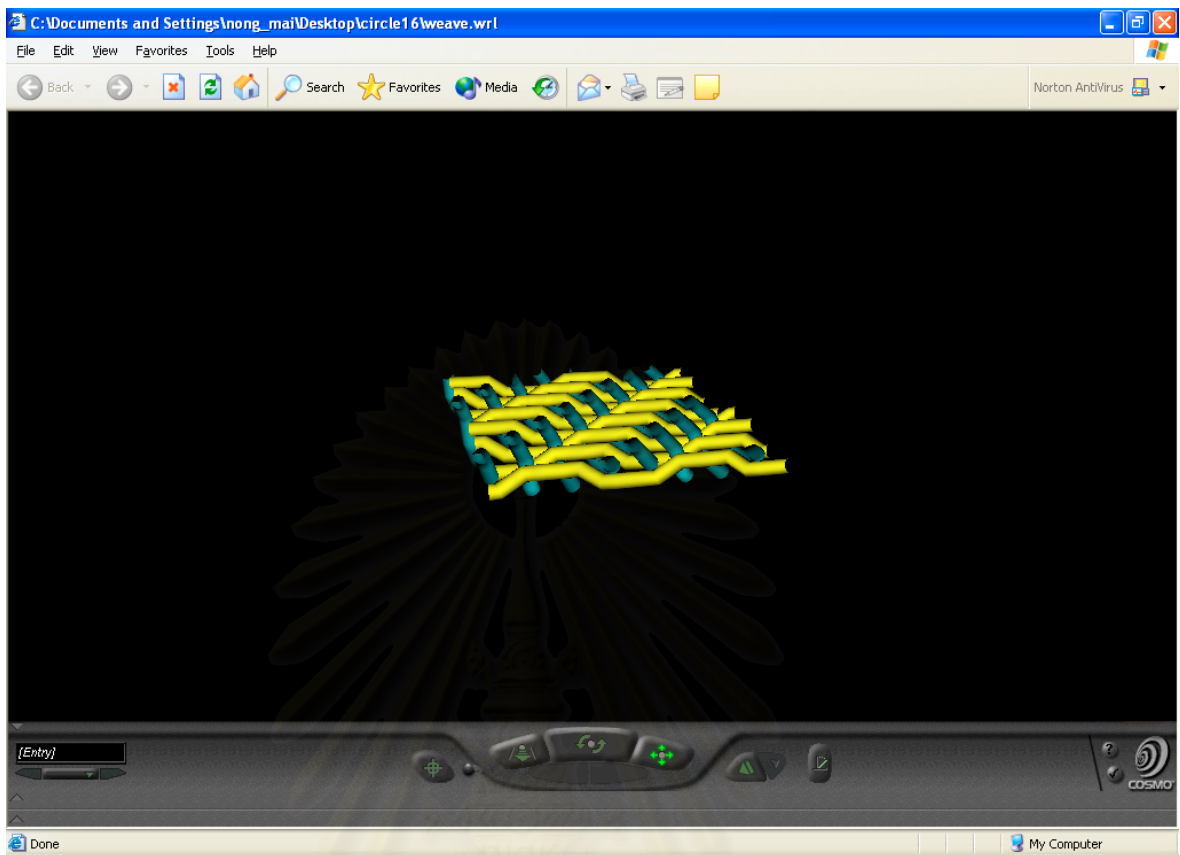
สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว warpwise



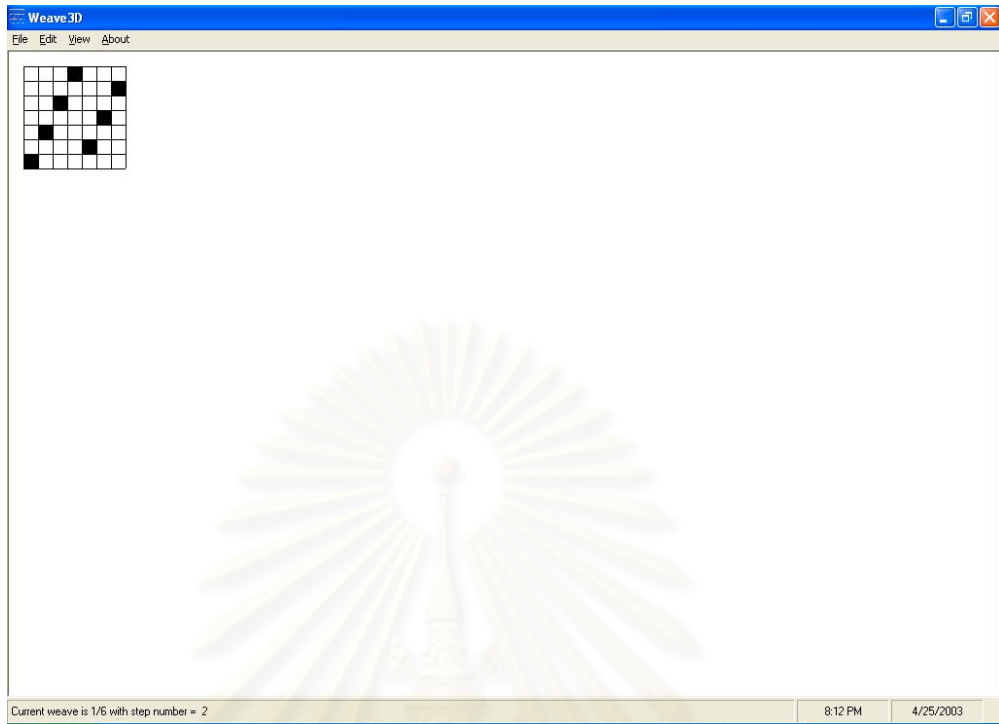
รูปที่ 4.27 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายทแยงในแนว weftwise



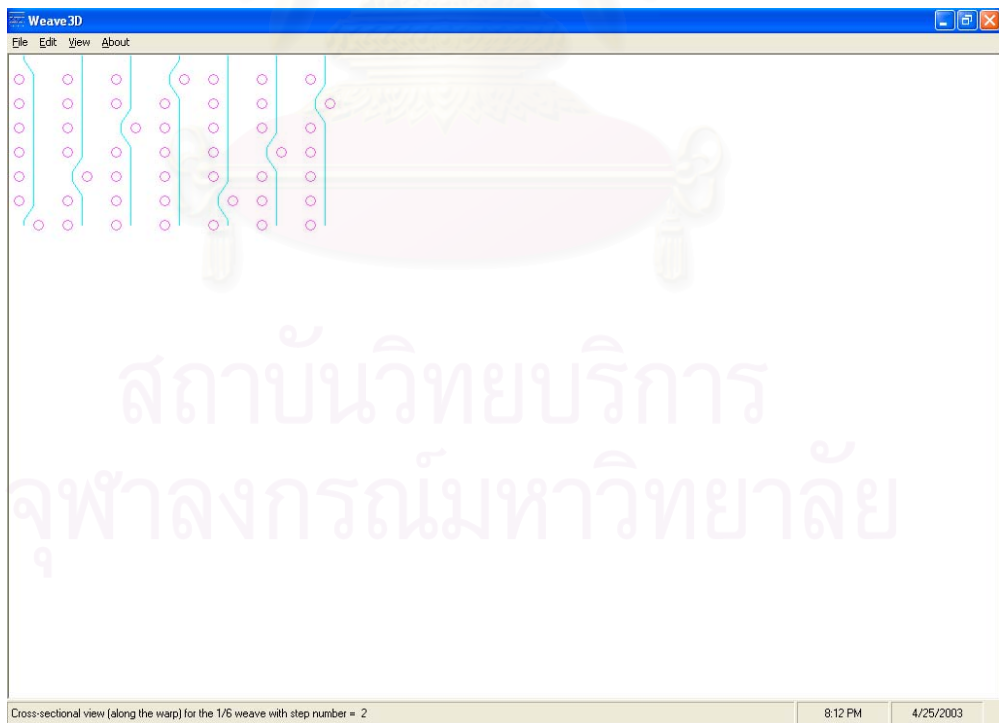
รูปที่ 4.28 ภาพจำลองสามมิติของลายทแยง

4.4.3 ลายตัวน

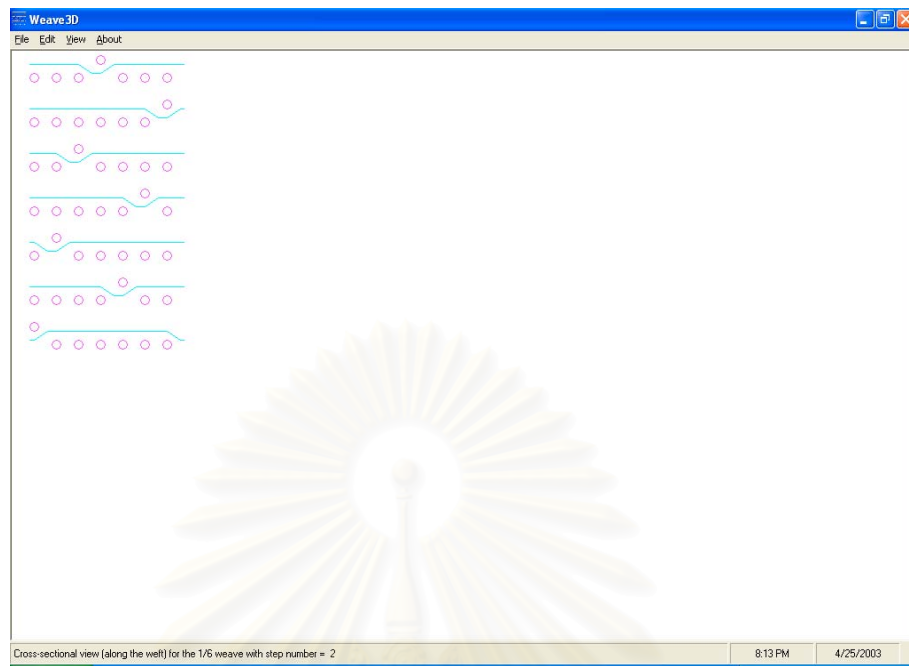
ผู้ใช้สามารถป้อนค่าลายตัวนเข้าไป เช่น $1/6$ ลงไปในช่อง Weave pattern รวมทั้งค่าตัวนที่เหมาะสม เมื่อกรอกข้อมูลของลายที่ต้องการแล้ว ลายตัวนจะถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกับลายทแยง ดังแสดงในรูปที่ 4.29



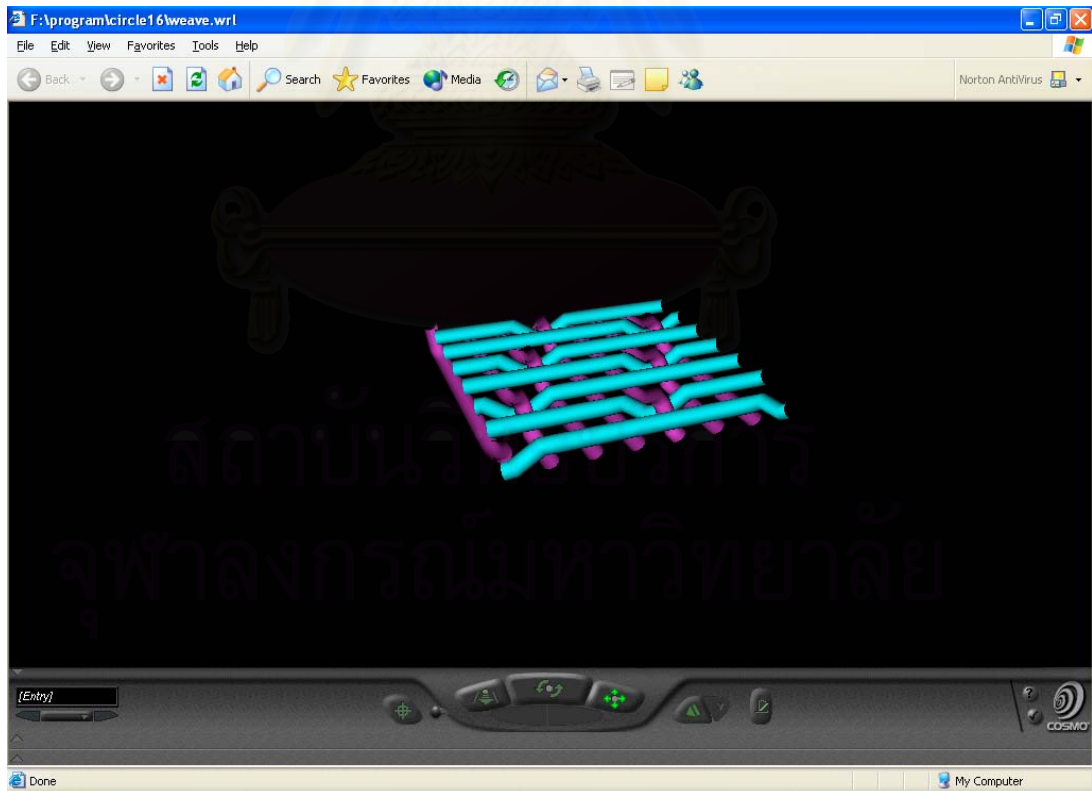
รูปที่ 4.29 ภาพแสดง weave pattern ของลายต่วน



รูปที่ 4.30 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายต่วนในแนว warpwise



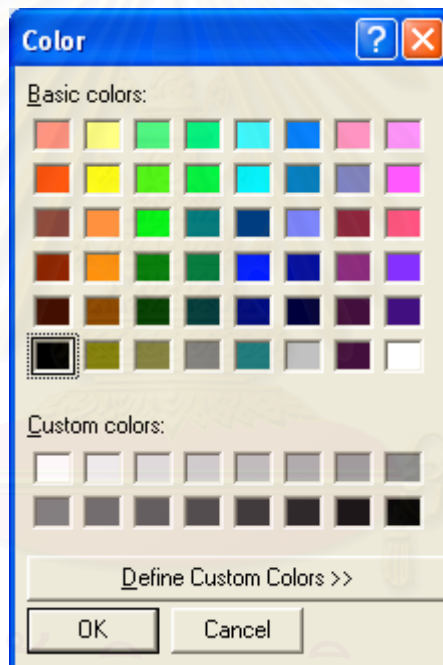
รูปที่ 4.31 ภาพจำลองสองมิติของแนวเส้นด้ายของลายตัวนในแนว weftwise



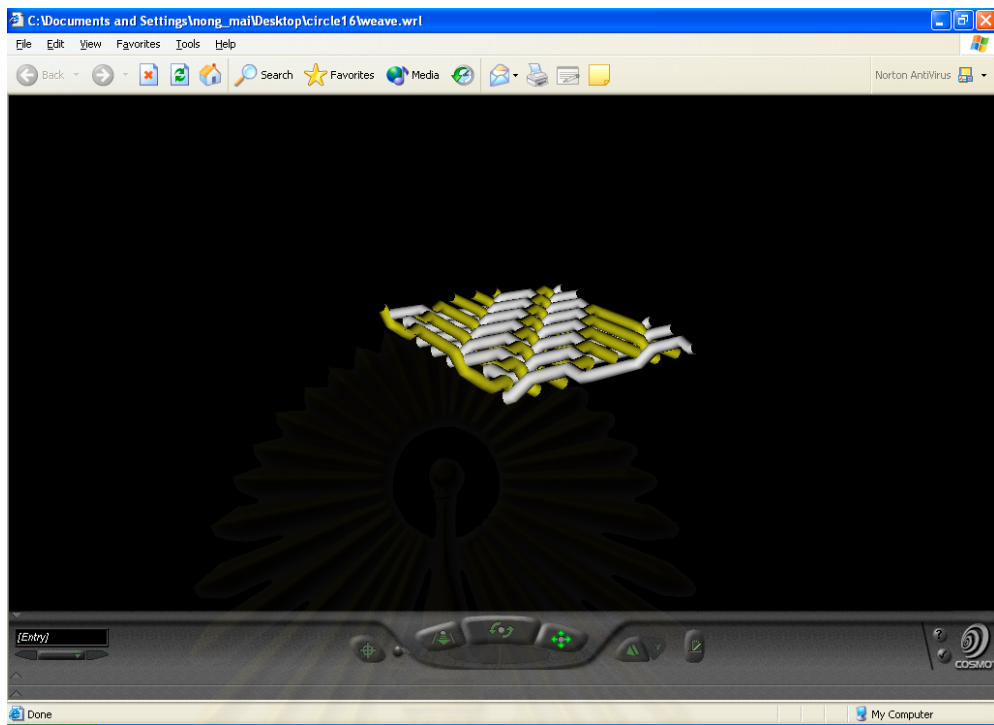
รูปที่ 4.32 ภาพจำลองสามมิติของลายตัวน

4.4.4 การเปลี่ยนสีเส้นด้าย

การเปลี่ยนสีเส้นด้ายจะทำให้ลักษณะของลายเปลี่ยนไป สีของเส้นด้ายแสดงไว้บนแถบสีรอบๆ ส่วนที่เป็นกระดาษออกแบบ เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Warp Color สีของเส้นด้ายยืนจะเปลี่ยนไปตามสีที่ผู้ใช้เลือก และเมื่อกดปุ่ม Weft Color จะเป็นการเลือกสีของด้ายพุ่งได้ตามต้องการ และสีที่ทำการเลือกไว้จะแสดงให้เห็นในช่องแสดงแถบสี โดยเมื่อผู้ใช้กดเลือกสีของเส้นด้ายที่ปุ่ม Warp Color และ Weft Color จะปรากฏ dialog box ให้เลือกสีใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.33 และตัวอย่างของภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ถูกเปลี่ยนสีแล้ว แสดงไว้เป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 กล่องโต้ตอบเพื่อเลือกสีเส้นด้าย



รูปที่ 4.34 ภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอที่ถูกเปลี่ยนสีแล้ว

แต่จะพบปัญหาเกี่ยวกับสีอ่อนๆ เนื่องจากการอ่านค่าสีในภาษาเวอริชวลเรียลิตีโมเดลลิงยังมีข้อจำกัด ทำให้การแปลค่าสีที่เลือกจากในโปรแกรมจะทำให้ได้สีที่เพี้ยนไปจากสีที่จริงที่เลือกไว้ โดยจะเห็นสีของเส้นด้ายที่เลือกไว้เป็นสีอ่อน ถูกจำลองเป็นภาพ สามมิติเป็นสีเทา

4.4.5 Jammed condition

จากโปรแกรมที่สามารถสร้างขึ้นได้นี้ สามารถทำการจำลองภาพ yarn path ในสภาวะ jammed (jammed condition) ได้ ซึ่งจากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น jammed condition เป็นสภาวะที่ ด้ายพุ่งและด้ายยืนอยู่ชิดกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในกระบวนการทอ

ในกระบวนการทอที่แท้จริงนั้น จะไม่สามารถเกิดสภาวะ jammed (jammed condition) ขึ้นได้ เนื่องจาก ด้ายยืนและด้ายพุ่งจะมีขนาดที่แตกต่างกันหรือเท่ากัน ขึ้นกับผู้ประกอบการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลายทอ ทำให้ไม่สามารถเข้ามาชิดติดกันได้ โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งจะแยกห่างออกจากกันเนื่องจากเกิดการขัดกันของเส้นด้าย

สภาวะ jammed ของเส้นด้ายที่ได้ทำการจำลองขึ้นนี้ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเห็นภาพและคาดการณ์ได้ถึงขนาดของเส้นด้ายที่จะใช้จริงในกระบวนการทอ โดยที่ไม่ทำให้เส้นด้ายขาดในระหว่างกระบวนการทอ อีกทั้งยังสามารถทำให้กระบวนการผลิตออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ ผืนผ้าที่ทอได้จะไม่เกิดการขาดสานกันแน่นจนเกินไป ซึ่งจะมีผลทำให้ผ้ามีความแข็งแรง ผิดสัมผัสหยาบ และมีลักษณะไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน

4.5 ภาพหน้าตัดของเส้นด้าย

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า เส้นด้ายนั้นไม่ได้มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นแค่เพียงวงกลมอย่างเดียว หากแต่มีรูปร่างหน้าตัดได้อีกหลายแบบ เช่น สี่เหลี่ยมปลายมน รูปวงรี และรูปเลนส์นูน โดยเมื่อใช้เส้นด้ายที่มีพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันไป ก็จะมีผลให้ได้ลายทอที่แตกต่างกันออกไปอีกด้วย แม้เส้นด้ายนั้นจะมีขนาด หรือ สีที่เหมือนกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

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 กล่าวคือจะเผชิญหน้ากับการจัดการ วัฒนธรรม และการพัชพันเกี่ยวกับเงินทุน 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)

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการจำลองภาพสามมิติของโครงสร้างผ้าทอด้วยภาษาเวอริชวลเรียลิตีโมเดลลิง จะพบปัญหาเกี่ยวกับการเลือกสีของเส้นด้าย ในกรณีที่เลือกสีเส้นด้ายเป็นสีอ่อนๆ เมื่อภาพจำลองถูกสร้างขึ้น สีของเส้นด้ายที่ถูกจำลองขึ้นจะแสดงออกเป็นโทนสีเทา เนื่องจากการอ่านค่าสีในภาษาเวอริชวลเรียลิตีโมเดลลิงยังมีข้อจำกัด ทำให้การแปลค่าสีที่เลือกจากในโปรแกรม ได้สีที่เพี้ยนไปจากสีจริงที่เลือกไว้

นอกจากนี้สีของเส้นด้ายที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ จะแสดงออกได้เฉดสีไม่ตรงกับเฉดสีที่เลือกจากกล่องโต้ตอบเพื่อเลือกสีเส้นด้าย ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับข้างต้นที่ได้กล่าวถึงแล้ว

รายการอ้างอิง

1. เจนวิทย์ เหลืองอร่าม และ ปิยวิทย์ เหลืองอร่าม, การเขียนโปรแกรมสำหรับ Client/Server ด้วย Visual Basic 6 และ ASP, VBScript, Access, SQL Server. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2544: หน้า 721-724.
2. ชีววัฒน์ บุญศิวนนท์, VRML เทคนิคการสร้างกราฟิก 3 มิติบนอินเทอร์เน็ต. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2544.
3. ยุพินศรี สายทอง, หลักการทอเบื้องต้น, งานทอ. พิมพ์ครั้งที่ 1, วังบูรพา กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2528: หน้า 1-3.
4. อัจฉราพร ไสละสูตร, การออกแบบทอ, การออกแบบลายผ้าและเทคนิคการพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สหประชาพานิชย์, 2524.
5. อัจฉราพร ไสละสูตร และ ชิงรุ วาตานาเบ, การทอและการถักผ้ายัด, วิศวกรรมสิ่งทอ. กรุงเทพฯ: บริษัท ดวงกลม จำกัด, 2520: หน้า 105-106.
6. Ames A.L., Nadeau D.R., Moreland J.L. The VRML Sourcebook. New York: Wiley., 1996.
7. 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.
8. Chen, X, and Potiyaraj P., CAD/CAM for Complex Woven Fabrics Part I: Backed Cloths, Journal Textile Institute, 1998, 89(3), Part I, 532.
9. 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.
10. Protopsaltou D., Luible C., Arevalo M., Magnenat-Thalmann N., MIRALab CUI, University of Geneva, CH-1211, Switzerland.
(www.miralab.unigene.ch)
11. Fujita T., Warp Lifting Plan of Weaving Calculated with Matrices. Journal Textile Machanical Society. Japan (Eng Ed.), 1962a, 8(1), 29.
12. Bell G., Parisi A., Pesce M., The Virtual Reality Modeling Language, Version 1.0C Specification. London: Elsevier., 2001.

13. Go Y., Matsuhashi F., and Shinohara A., Fundamental Studies on the Textile Weaves, Journal Society Textile Cellulose Industry, Japan, 1961, 17, 989.
14. 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.
15. Leandro Soares Indrusiak, Ricardo Augusto da Luz Reis, 3D integrated circuit Layout visualization using VRML. Future Generation Computer Systems.:17 (2001).
16. Love, L. Graphical Relationships in Cloth Geometry for Plain, Twill and Sateen Weaves. Textile Research Journal. 24(12)(December 1954) : pp.1073-1083.
17. Panadiker R. and Pourdeyhimi B., Computer-aided Woven Fabric Design: Determination of Weave Size in Twill Weaves, Ars Textma, 1989, 12, 93.
18. Auburn University is an Equal Opportunity Educational Institution,
Available from : <http://www.eng.auburn.edu/~sadanur/Virtual-3D.html> [2003, February 23]
19. Hayhes International, inc., Plain Weaves,
Available from : <http://www.bond-laminates.de/cs/> [2003, February 23]
20. Institute of Robotics and Mechatronics, Robotic Systems,
Available from : <http://www.robotic.dlr.de/Joerg.Vogel/Vrml/lib.html> [2003, February 23]
21. Casher Omer, Leach Christopher, and Henry S. Rzepa Virtual Reality Modelling Language (VRML) in Chemistry,
Available from : <http://www.ch.ic.ac.uk/rzepa/vrml/> [2003, March 27]
22. Terminus^{VRML Site}, 2000, Cosmo Player5 2.0,
Available from : <http://www.szentesinfo.hu/vrml> [2003, March 27]



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ภาษาเวอ์ชวลเรียลิตีโมเดลลิง มีลักษณะของรูปแบบโครงสร้างประโยคที่ใช้ในการจำลองภาพ 3 มิติของโครงสร้างผ้าทอ

ตัวอย่างที่ 1 รหัสของภาษาเวอ์ชวลเรียลิตีโมเดลลิงของลายขัด

```
#VRML V2.0 utf8
#3D Structure of Weft Yarn1
Transform{
  rotation 1.0 0 0 6.4
  translation 0 0.4 1.2
  children[
    DEF WEFT_YARN Shape{
      appearance Appearance{
        material Material{
          diffuseColor 2 0 1
        }
      }
      geometry Extrusion{
        beginCap TRUE
        endCap TRUE
        crossSection[ 1 0, 0.866 0.5, 0.5 0.866, 0 1,
          -0.5 0.866 , -0.866 0.5 , -1 0, -0.866 -0.5 ,
          -0.5 -0.866 , 0 -1, 0.5 -0.866 , 0.866 -0.5, 1 0 ]
        spine[ 0 0 0, 1 1 0 , 2 1 0 , 3 0 0 , 4 -1 0 , 5 -1 0 ,
          6 0 0 , 7 1 0 , 8 1 0 , 9 0 0 , 10 -1 0 , 11 -1 0 ,
          12 0 0 , 13 1 0 , 14 1 0 , 15 0 0 , 16 -1 0 ,
          17 -1 0 , 18 0 0 , 19 1 0 , 20 1 0 , 21 0 0 ,
          22 -1 0 , 23 -1 0 , 24 0 0 , 25 1 0 , 26 1 0 ,
          27 0 0 , 28 -1 0 , 29 -1 0 , 30 0 0 ]
      }
    }
  ]
}
```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn2
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 -0.2 -1.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn3
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 0.4 -4.6
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn4
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 -0.2 -7.6
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn5
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 0.4 -10.6
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn6
Transform{

```

```

rotation 1.0 0 0 3.2
translation 0 -0.2 -13.4
children[
    USE WEFT_YARN
]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn7

```

Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 0.4 -16.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn8

```

Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 -0.2 -19.2
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn9

```

Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 0.4 -22.2
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

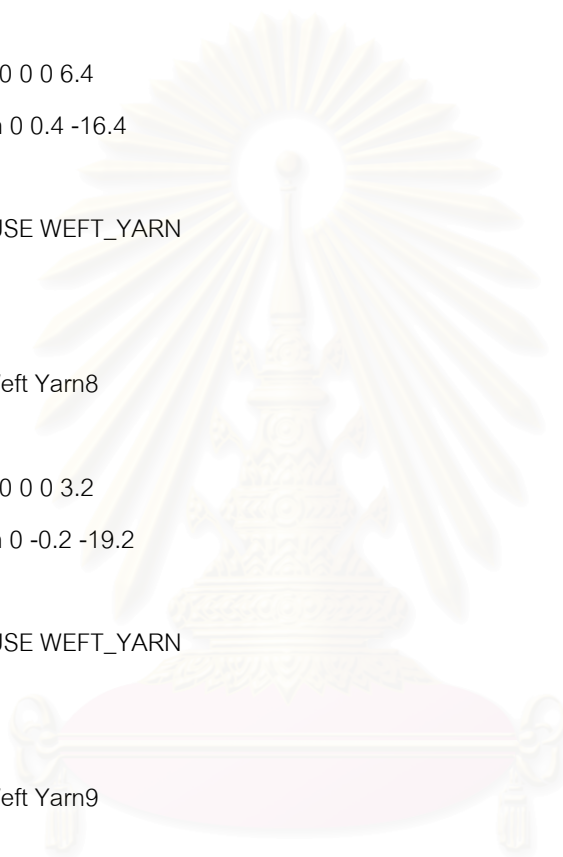
```

#3D Structure of Weft Yarn10

```

Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 -0.2 -25.2
    children[

```



ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

        USE WEFT_YARN
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn1
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 1.5 0 3.0
    children[
        DEF WARP_YARN Shape{
            appearance Appearance{
                material Material{
                    diffuseColor 0 2 1}
            }
            geometry Extrusion{
                beginCap TRUE
                endCap TRUE
                crossSection[ 1 0, 0.866 0.5, 0.5 0.866, 0 1,
                    -0.5 0.866 , -0.866 0.5 ,-1 0,-0.866 -0.5 ,
                    -0.5 -0.866 , 0 -1, 0.5 -0.866 , 0.866 -0.5, 1 0 ]
                spine[0 0 0 , 0 1 -1, 0 1 -2, 0 0 -3 ,0 -1 -4 , 0 -1 -5 ,
                    0 0 -6 , 0 1 -7 , 0 1 -8 , 0 0 -9 , 0 -1 -10 ,
                    0 -1 -11 , 0 0 -12 , 0 1 -13 , 0 1 -14 ,
                    0 0 -15 , 0 -1 -16 , 0 -1 -17 , 0 0 -18 , 0 1 -19 ,
                    0 1 -20 , 0 0 -21 , 0 -1 -22 , 0 -1 -23 , 0 0 -24 ,
                    0 1 -25 , 0 1 -26 , 0 0 -27 , 0 -1 -28 , 0 -1 -29 ,
                    0 0 -30]
            }
        }
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn2
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 4.6 0.4 3.0
    children[

```

```

        USE WARP_YARN
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn3
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 7.8 0 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn4
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 10.6 0.4 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn5
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 13.4 0 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn6
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 16.4 0.4 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#3D Structure of Warp Yarn7

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 19.4 0 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn8

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 22.4 0.4 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn9

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 25.4 0 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn10

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 28.0 0.4 3.0
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

ตัวอย่างที่ 2 รหัสของภาษาเวอร์ซวลเรียลิตีโมเดลลิงของลายทแยง


```

#VRML V2.0 utf8
#3D Structure of Weft Yarn1
Transform{
  rotation 1.0 0 0 6.4
  translation 0 1.5 -1
  children
    DEF WEFT_YARN Shape{
      appearance Appearance{
        material Material{
          diffuseColor 0 2 3
        }
      }
      geometry Extrusion{
        beginCap TRUE
        endCap TRUE
        crossSection[ 1 0, 0.866 0.5, 0.5 0.866, 0 1,
          -0.5 0.866 , -0.866 0.5 , -1 0, -0.866 -0.5 ,
          -0.5 -0.866 , 0 -1, 0.5 -0.866 , 0.866 -0.5, 1 0 ]
        spine[ 0 0 0, 1 1 0 , 4 1 0 , 5 0 0 , 6 -1 0 , 9 -1 0 , 10 0 0 , 11 1
0 ,
          14 1 0 , 15 0 0 , 16 -1 0 , 19 -1 0 , 20 0 0 , 21 1 0 , 24 1 0
,
          25 0 0 , 26 -1 0 , 29 -1 0 , 30 0 0 , 31 1 0 , 34 1 0 , 35 0 0
,
          36 -1 0 , 39 -1 0 , 40 0 0 ]
      }
    }
}
#3D Structure of Weft Yarn2
Transform{
  rotation 1.0 0 0 6.4
  translation 0 1.5 1
  children[
    USE WEFT_YARN
  ]
}

```

```

}
#3D Structure of Weft Yarn3
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 1.5 4.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Weft Yarn4
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 1.5 6.2
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Weft Yarn5
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 1.5 9.6
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Weft Yarn6
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 1.5 11.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Weft Yarn7
Transform{

```

```

rotation 1.0 0 0 3.2
translation 0 1.5 14.6
children[
    USE WEFT_YARN
]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn8

```

Transform{
rotation 1.0 0 0 3.2
translation 0 1.5 16.2
children[
    USE WEFT_YARN
]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn9

```

Transform{
rotation 1.0 0 0 6.4
translation 0 1.5 19.4
children[
    USE WEFT_YARN
]
}

```

#3D Structure of Weft Yarn10

```

Transform{
rotation 1.0 0 0 6.4
translation 0 1.5 21.2
children[
    USE WEFT_YARN
]
}

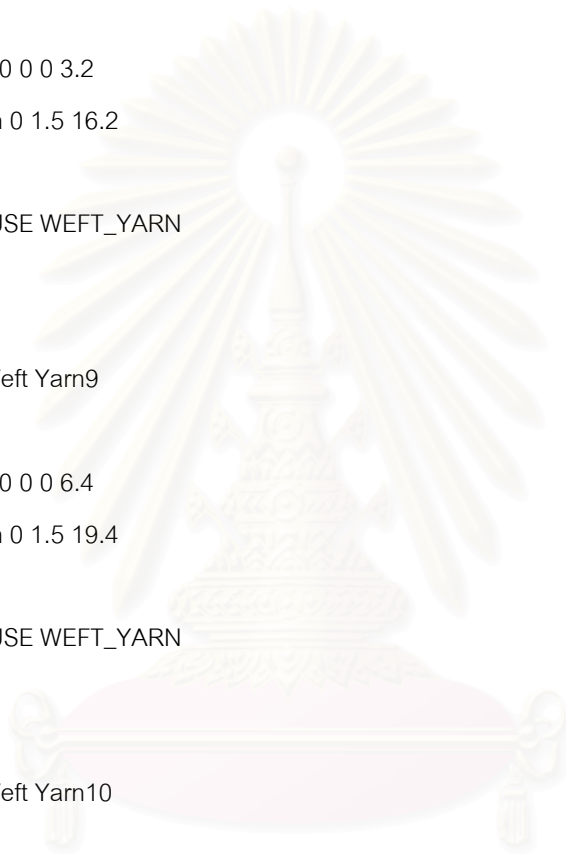
```

#3D Structure of Weft Yarn11

```

Transform{
rotation 1.0 0 0 3.2
translation 0 1.5 24.4
children[

```



ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

        USE WEFT_YARN
    ]
}
#3D Structure of Weft Yarn12
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 1.5 26.2
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}
#3D Structure of Weft Yarn13
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 1.5 29.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}
#3D Structure of Weft Yarn14
Transform{
    rotation 1.0 0 0 6.4
    translation 0 1.5 31.2
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}
#3D Structure of Weft Yarn15
Transform{
    rotation 1.0 0 0 3.2
    translation 0 1.5 34.4
    children[
        USE WEFT_YARN
    ]
}

```


#3D Structure of Warp Yarn2

```
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 3.2 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
```

#3D Structure of Warp Yarn3

```
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 6.4 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
```

#3D Structure of Warp Yarn4

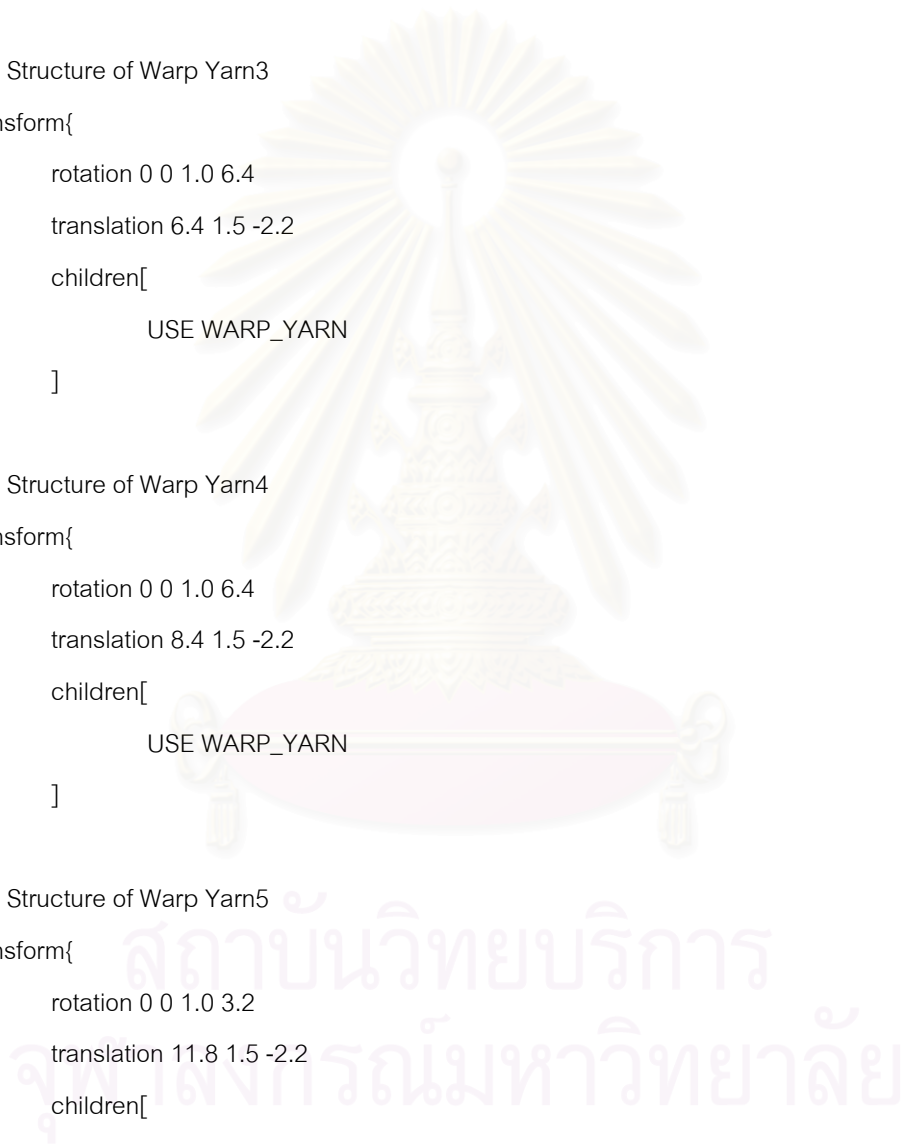
```
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 8.4 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
```

#3D Structure of Warp Yarn5

```
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 11.8 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}
```

#3D Structure of Warp Yarn6

```
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
```



```

translation 13.6 1.5 -2.2
children[
    USE WARP_YARN
]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn7

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 17.0 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn8

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 18.8 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn9

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 21.8 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

#3D Structure of Warp Yarn10

```

Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 23.6 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```



```

    ]
}
#3D Structure of Warp Yarn11
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 27.0 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Warp Yarn12
Transform{
    rotation 0 0 1.0 6.4
    translation 28.8 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Warp Yarn13
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 32.0 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

```

#3D Structure of Warp Yarn14
Transform{
    rotation 0 0 1.0 3.2
    translation 33.8 1.5 -2.2
    children[
        USE WARP_YARN
    ]
}

```

```

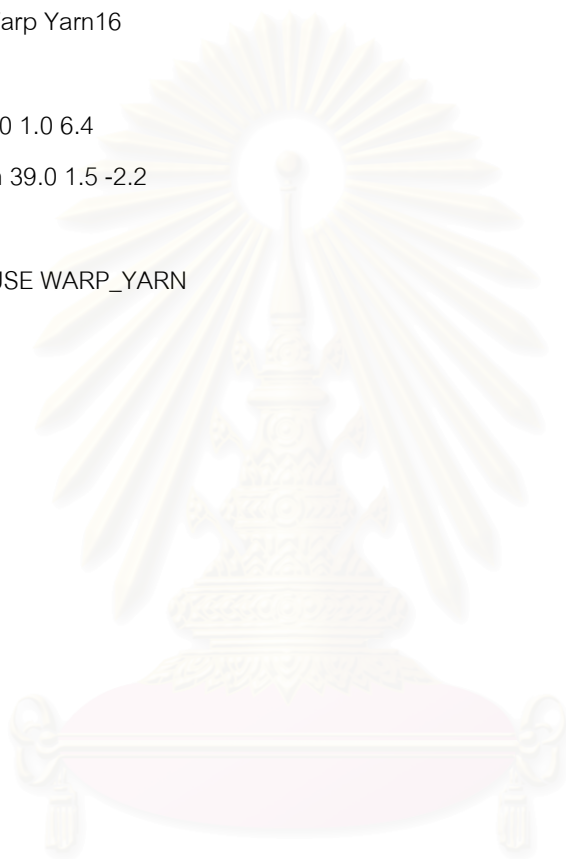
#3D Structure of Warp Yarn15

```

```
Transform{  
    rotation 0 0 1.0 6.4  
    translation 37.2 1.5 -2.2  
    children[  
        USE WARP_YARN  
    ]  
}
```

#3D Structure of Warp Yarn16

```
Transform{  
    rotation 0 0 1.0 6.4  
    translation 39.0 1.5 -2.2  
    children[  
        USE WARP_YARN  
    ]  
}
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชุตติภักดิ์ ศุภะกะละลิน เกิดวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ แขนงวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2543 หลังจากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นปีการศึกษา 2544 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย