

ตัวรอกบอ์ประกุกต์เพือการทรวจ้บจุดบกพร่องในลิ่งทอ

นางสาววไลลักษณ์ คิตสร้าง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2553

**FABRIC DEFECT DETECTION USING
APPLIED GABOR FILTERS**

Wilailuk Kidsang



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical
Suranaree University of Technology
Academic Year 2010**

ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธย)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

กรรมการ

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิไลลักษณ์ คิดสร้าง : ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ

(FABRIC DEFECT DETECTION USING APPLIED GABOR FILTERS)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 112 หน้า.

การปรับปรุงการผลิตในทุกอุตสาหกรรม มีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนการผลิตหรือเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ ด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า ระบบที่ใช้ในการดำเนินการจึงยังมีความซับซ้อน วิธีการหาคำตอบหรือการดำเนินการที่เหมาะสมจึงต้องมีการพัฒนาตัวแบบหรือวิธีการแก้ไขปัญหาเพื่อรองรับสถานการณ์ดังกล่าว ทั้งนี้ เพื่อให้ได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติจึงเริ่มเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการกระบวนการผลิต ระบบเหล่านี้ถูกรวบรวมเข้ากับระบบตรวจสอบภาพอัตโนมัติที่ทางออกของสายการผลิตเพื่อทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในวัตถุดิบประเภทสิ่งทอซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งมักได้รับผลกระทบจากคุณภาพของเส้นด้ายและจุดบกพร่องจากการทอ สิ่งทอที่ขาดคุณภาพสามารถทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์ลดลง 45%-65% แม้กระบวนการตรวจสอบโดยมนุษย์จะสามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่สำหรับสายการผลิตขนาดใหญ่แล้วจะเป็นการเพิ่มต้นทุนและเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในพื้นที่การทำงานของเครื่องทอผ้า ด้วยเหตุนี้ ระบบตรวจสอบภาพแบบอัตโนมัติจึงเข้ามามีบทบาทในกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนทางบุคลากรและเพิ่มผลกำไรให้ผู้ผลิตได้ วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ โดยใช้เครือข่ายกาบอร์เวฟเลตที่มีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของตัวกรองกาบอร์ด้วยหลักการจินเนติกอัลกอริทึม ทำให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะลายผิวพื้นฐานของภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติ ส่งผลให้จุดบกพร่องที่อยู่ภายในภาพสิ่งทอทดสอบถูกคัดแยก และตัดสินใจว่าเป็นจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ ผลการทดสอบพบว่าตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพ และช่วยลดความยุ่งยากในการใช้งานได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของตัวกรองกาบอร์จากภาพฝึกสอนเพียงภาพเดียวซึ่งสามารถนำมาทดสอบกับลักษณะของจุดบกพร่องได้ทุกลักษณะบนภาพพื้นผิวเดียวกัน

WILAILUK KIDSANG : FABRIC DEFECT DETECTION USING APPLIED
GABOR FILTERS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ARTHIT SRIKAEW,
Ph.D., 112 PP.

GABOR FILTERS/GARBOR WAVELET NETWORK/DEFECT DETECTION/
FEATURE SELECTION/GENETIC/2DPCA

The aim of enhancement of production line is to improve quality and reduce operation costs with the optimal technology. In order to become more competitive, many complex approaches in automated system have been analyzed as process concerned with manufacturing process management. They have been combined with an automated visual inspection system to test on the quality of products at the output of production line. Fabric which is one of raw materials for many the finished consumer products has generally affected by yarn quality and weaving defect. The poor quality of this material can reduce the price by 46%-65%. Human inspectors for manufactured fabric are uneconomical and always make miss-inspection because of the unfriendly working environment near the weaving machine. To reduce in personal cost and increase associated benefits, therefore, the automation of visual inspection system has to be performed along the manufacturing process. This thesis presents the application of Gabor filter for automated defect detection of texture fabrics. An optimal filter design method for Gabor Wavelet Network (GWN) is proposes to extract the texture features from textile fabrics. The optimal Gabor filter is designed by using Genetic Algorithm (GA) based on the features extracted. After defect fabric images are filtered by optimal Gabor filter, the results are segmented and labeled to

identify the defected image by analysis of 2DPCA. Experimental results indicate that the applied Gabor filters provide a simple method to analyze texture feature. A training image is employed in Gabor optimizing which can be served all of defect characteristics on the same texture background image.



School of Electrical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลทั้งหลาย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สรวิทย์ สุจิตจร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ อุ่นศิริไธสง รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกมลกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ และคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน และบุคลากรฝ่ายปฏิบัติการเครือข่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคกลาง ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้ความอนุเคราะห์ทำให้การทำงานของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

ดร.รุ่งเรือง พัฒนากุล ที่ดูแล ห่วงใย ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดียิ่ง พร้อมทั้งเพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโททุกคน รวมถึงน้องพิทยา ดิกล้ำ ที่ช่วยตรวจทานรูปเล่มจนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจน พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยถามไถ่ และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อทวีสิน คุณแม่วรา พันธ์ิง พันธ์ิว น้องแนน พี่เก่ง รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย อบรมเลี้ยงดู และให้ความสนับสนุนทางการศึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อ ช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา และตลอดไป

วิไลลักษณ์ กิดสร้าง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ชา
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของเรื่อง.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 รูปแบบวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การตรวจสอบพื้นผิววัสดุ.....	5
2.1.1 จุดบกพร่องของสิ่งทอ.....	6
2.1.2 การตรวจสอบจุดบกพร่องของสิ่งทอ.....	7
2.2 การจัดสภาพแวดล้อม.....	7
2.2.1 การจัดการกับชิ้นงาน.....	8
2.2.2 ระยะระหว่างกล้องถึงเลนส์วัตถุ และทิศทางของกล้อง.....	8
2.2.3 การจัดการเรื่องแสง.....	8
2.3 การตรวจสอบแบบอัตโนมัติ.....	8
2.4 การตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคแรก.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคหลัง.....	11
2.5.1 การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติ.....	13
2.5.1.1 มิติแฟร็กทัล.....	13
2.5.1.2 การทำซีดเริ่มเปลี่ยน 2 ระดับ.....	14
2.5.1.3 สถิติระดับเทา.....	14
2.5.1.4 ปฏิบัติการมอร์โฟโลยี.....	14
2.5.1.5 การตรวจจับขอบภาพ.....	15
2.5.1.6 การหาค่าสหสัมพันธ์แบบปกติ.....	16
2.5.1.7 การหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม.....	16
2.5.1.8 ตัวกรองไอเกน.....	16
2.5.1.9 การแปลงเชิงเส้นเฉพาะแห่ง.....	17
2.5.1.10 ฟังก์ชันการจัดลำดับ.....	17
2.5.2 การวิเคราะห์พื้นผิวแนวทางแบบจำลอง.....	17
2.5.2.1 สนามการสุ่มแบบเกาส์มาร์คอฟ.....	18
2.5.2.2 แบบจำลองปัวซอง.....	18
2.5.2.3 การจัดกลุ่มแบบจำลองพื้นฐาน.....	19
2.5.3 การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสเปกตรัม.....	19
2.5.3.1 การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง.....	19
2.5.3.2 การแปลงฟูริเยร์ออฟติก.....	21
2.5.3.3 การแปลงฟูริเยร์หน้าต่าง.....	22
2.5.3.4 การแปลงเวฟเลต.....	22
2.5.3.5 ตัวกรองกาบอร์.....	23
2.6 จินเนติกอัลกอริทึม.....	24
2.6.1 หลักการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม.....	25
2.6.2 องค์ประกอบในวัฏจักร GA.....	26
2.6.3 ขั้นตอนการดำเนินการค้นหาด้วยวิธี GA.....	26
2.6.4 การประเมินค่าความเหมาะสม.....	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ.....	29
2.8 ฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน.....	30
2.9 สรุป.....	31
3 ตัวกรองการประยุกต์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติ.....	33
3.1 ตัวกรองการ.....	33
3.1.1 ทฤษฎีตัวกรองการ.....	34
3.1.2 ตัวกรองการเพื่อการใช้งานในการวิเคราะห์พื้นผิว.....	37
3.1.3 การพิจารณาคูณลักษณะของภาพ.....	39
3.1.4 การเลือกคุณลักษณะของภาพ.....	40
3.1.5 การคัดแยกจุดบกพร่อง.....	40
3.2 ตัวกรองการประยุกต์.....	41
3.3 เครือข่ายการเวฟเล็ต.....	42
3.4 การออกแบบตัวกรองการที่เหมาะสมที่สุด.....	43
3.4.1 การออกแบบระบบด้วย GA.....	44
3.4.2 องค์ประกอบในการค้นหาของ GA ที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
3.5 โครงสร้างระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองการประยุกต์แบบอัตโนมัติ.....	45
3.5.1 ขั้นตอนการฝึกสอน.....	46
3.5.2 ขั้นตอนการตรวจจับจุดบกพร่อง.....	46
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.6.1 ภาพทดสอบ.....	48
3.6.2 การปรับปรุงภาพเบื้องต้น.....	49
3.6.3 การคอนโวลูชันภาพด้วยตัวกรองการประยุกต์.....	50
3.6.4 การคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว.....	51
3.6.5 การตรวจสอบและตัดสิน.....	51
3.7 สรุป.....	52
4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	54
4.1 ผลการทดสอบ.....	55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 ผลการคัดเลือกตัวกรอง.....	57
4.1.2 ผลการคัดแยกและค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้.....	58
4.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	64
4.2 วิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบ.....	65
4.2.1 ตัววัดประสิทธิภาพ ROC กราฟ.....	65
4.2.2 การคำนวณหาค่าความถูกต้อง.....	66
4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ.....	67
4.3.1 ตัววัดประสิทธิภาพ ROC กราฟ.....	67
4.3.2 การคำนวณหาค่าความถูกต้อง.....	70
4.4 สรุป.....	70
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปงานวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ.....	80
ภาคผนวก ข. ภาพสิ่งทอที่ใช้ในระบบตรวจสอบจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วย ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ร่วมกับ 2DPCA.....	88
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เทคนิควิธีการต่างๆ เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง..... 12
4.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 13.5815..... 56
4.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.7368..... 57
4.3	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.0497..... 57
4.4	ค่าคุณลักษณะที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 13.5815.....58
4.5	ค่าคุณลักษณะที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.7368.....58
4.6	ค่าคุณลักษณะที่ได้ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.0497.....58
4.7	ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล.....59
4.8	ความหมายและการแทนค่าเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ.....66
4.9	ความหมายและการแทนค่าเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้.....67
4.10	โครงสร้างตารางการจรที่ได้จากระบบตรวจจับจุดบกพร่องของงานวิจัยนี้.....68
4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบและตัดสินใจความบกพร่องของ ผ้าทอก่อนและหลังการพิจารณานำวิธีการ 2DPCA เข้าร่วมกระบวนการ.....69
ข.1	อธิบายลักษณะของจุดบกพร่อง..... 89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผนผังการตรวจสอบวัสดุที่มีพื้นผิวด้วยระบบอัตโนมัติ.....6
2.2	แผนผังของระบบตรวจสอบสิ่งทออัตโนมัติ.....9
2.3	แผนผังของระบบตรวจสอบสิ่งทอด้วยสถิติระดับเทา.....15
2.4	ตัวอย่างภาพพื้นผิวที่ระบุทิศทาง.....20
2.5	ลักษณะของด้ายพุ่ง และด้ายยืน.....21
2.6	โครงสร้างของระบบเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องแบบ MSWAR.....23
2.7	วัฏจักรของ GA.....26
2.8	ขั้นตอนทั่วไปของ GA กับการเชื่อมโยงเข้าระบบ.....27
2.9	คำตอบในมุมมองของ GA และ โลกจริง.....27
3.1	ภาพถ่ายพื้นผิวสิ่งทอ (ก) ภาพสิ่งทอไม่มีลวดลายโครงสร้างพื้นฐาน แบบลายทแยง (ข) ภาพสิ่งทอแบบมีลวดลาย.....33
3.2	ตัวกรองกาบอร์ 1 มิติ.....35
3.3	รูปร่างตัวกรองกาบอร์ในโดเมนเวลา.....35
3.4	รูปร่างที่เป็นองค์ประกอบส่วนจินตภาพของตัวกรองกาบอร์ในโดเมนเวลา.....37
3.5	องค์ประกอบของตัวกรองกาบอร์ในโดเมนความถี่ (ก) จำนวนฟิลเตอร์แบงก์ 16 ตัว (ข) จำนวนฟิลเตอร์แบงก์ 24 ตัว.....38
3.6	ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่มีจุดบกพร่องบางลักษณะที่ผ่านการคอนโวลูชัน ด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ (ก) ภาพสิ่งทอทดสอบ (ข) ภาพสิ่งทอทดสอบ ที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคู่ (ค) ภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านตัวกรอง กาบอร์ฟังก์ชันคี่ต่อด้วยฟังก์ชันคู่.....41
3.7	สถาปัตยกรรมของเครือข่ายกาบอร์เวฟเล็ต.....42
3.8	ภาพต้นแบบและภาพที่ถูกสร้างกลับด้วย GWN (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพที่ถูกสร้างกลับ.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์.....45
3.10	โครงสร้างของระบบตรวจจับในขั้นตอนการฝึกสอน.....46
3.11	โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในขั้นตอนการทดสอบ.....47
3.12	โครงสร้างของกระบวนการตัดสินใจเป็นจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วย 2DPCA..... 48
3.13	ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่มีจุดบกพร่อง 8 ลักษณะ.....48
3.14	ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่ไม่มีจุดบกพร่อง.....49
3.15	ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่ผ่านการปรับปรุงภาพด้วยฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน.....49
3.16	ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์.....50
3.17	ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่ผ่านการคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว.....51
3.18	ตัวอย่างค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้จากภาพสิ่งทดสอบ.....52
4.1	ภาพสิ่งทดสอบมีจุดบกพร่องจำนวน 8 ลักษณะ (ก) ด้ายสกปรก (ข) ด้ายหย่อน (ค) แถบหนา (ง) การเหลื่อมกัน (จ) ทอผิดแบบ (ฉ) รอยขาด (ช) ด้ายบาง (ซ) การทอทับกันของด้าย..... 54
4.2	ภาพพื้นผิวสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง..... 55
4.3	ตัวอย่างผลการค้นหาตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสม จำนวน 10 ตัว จาก GA (ก) ค่าความผิดพลาด 13.5815 (ข) ค่าความผิดพลาด 10.7368 (ค) ค่าความผิดพลาด 10.0492.....55
4.4	การพิจารณาแบ่งกลุ่มภาพสิ่งทดสอบจากการพิจารณาด้วยวิธี 2DPCA.....63
4.5	ตัวอย่างผลการคัดแยกที่ไม่สมบูรณ์ของระบบ.....64
4.6	โครงสร้างตารางการจรที่ถูกนำมาใช้พิจารณาประสิทธิภาพของระบบ..... 66
4.7	ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับจุดบกพร่องที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น.....69
4.8	ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับจุดบกพร่องร่วมกับ 2DPCA..... 69
4.9	ผลการตัดสินใจภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติเมื่อพิจารณาด้วยวิธี 2DPCA (ก) ถูกต้อง (ข) ไม่ถูกต้อง..... 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1	ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทอผ้า.....81
ก.2	โครงสร้างแม่แบบ หรือโครงสร้างพื้นฐานของผ้า 3 แบบ (ก) แบบลายขัด (ข) แบบลายทแยงหรือลายสอง และ (ค) แบบตัวนหรือชาติน.....82
ก.3	โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 84
ก.4	ขั้นตอนการผลิตในกระบวนการทอผ้า..... 85
ก.5	ตัวอย่างลักษณะหลอดด้ายที่ได้รับการกรอด้วยเรียบร้อยแล้ว..... 86
ก.6	เครื่องสืบด้าย (Warping machine)..... 87
ก.7	เครื่องทอผ้า (Weaving machine)..... 87
ข.1	ภาพสิ่งทอทดสอบ ผลการทดสอบ และค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้ (dist)91
ข.2	ตัวอย่างภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพสิ่งทอ ที่ไม่มีจุดบกพร่องกับผลการทดสอบที่ได้ และค่าระยะทางยูคลิเดียนเพื่อตัดสินความบกพร่อง (dist)..... 95
ข.3	ภาพฝึกสอนเฉลี่ยเพื่อใช้ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 96
ข.4	การขาดจุดข้างเคียงในการคอนโวลูชัน.....97

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

2DPCA	คือ	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ
AFI	คือ	ระบบตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติ (Automatic Fabric Inspection)
Asc	คือ	ค่าความถูกต้องของระบบ
AVI	คือ	ระบบตรวจสอบอัตโนมัติ (Automatic Visual Inspection)
$B(x, y)$	คือ	ภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกานอร์ที่ดีที่สุด
CCD	คือ	Charge-Coupled Device
DFT	คือ	การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง
Dist	คือ	ค่าระยะทางยูคลิดีียน
$f(x, y)$	คือ	ค่าระดับเทาของภาพที่ถูกสร้างกลับด้วยตัวกรองกานอร์
FFN	คือ	เครือข่ายไปข้างหน้า (Feed-Forward Network)
Fk	คือ	ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดของภาพทดสอบ (Free-defect or have defect)
FkO	คือ	ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดของภาพอ้างอิงหรือภาพพื้นผิวปกติ (Free-defect)
FN	คือ	เป็นจุดบกพร่องแต่ให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง (False Negative)
FP	คือ	ไม่เป็นจุดบกพร่องแต่ให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง (False Positive)
fpr	คือ	ความผิดพลาดที่ระบบตรวจจับพบว่าภาพพื้นผิวที่ตรวจพบเป็นภาพพื้นผิวที่มีจุดบกพร่องแต่ความจริงไม่มีจุดบกพร่อง (false positive rate)
G	คือ	เมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix)
GA	คือ	Genetic Algorithm หรืออัลกอริทึมพันธุศาสตร์
g_i	คือ	ตัวกรองกานอร์ที่ดีที่สุดแต่ละตัวที่ถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการการค้นหาคำตอบด้วย GA ในแต่ละรุ่น
GWN	คือ	เครือข่ายกานอร์เวฟเลต (Gabor Wavelet Network)
$G_{mn}^T(x, y)$	คือ	ภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกานอร์
IM	คือ	ภาพฝึกสอน
IRF	คือ	Impulse Response Function
MSWAR	คือ	การแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นหลาย ๆ มาตรฐาน (Multiscale Wavelet Algorithm Representation)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

M	คือ	ค่าการสเกล
N	คือ	ค่าการปรับทิศทาง
OFT	คือ	การแปลงฟูริเยร์ออฟติก
ROC	คือ	Receiver Operating Characteristics
SW	คือ	หน้าต่างย่อยในภาพ $B(x, y)$ เกิดจากการเลื่อนหน้าต่างบนภาพ
$T(x, y)$	คือ	ข้อมูลภาพ
TN	คือ	ไม่เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง (True Negative)
TP	คือ	เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง (True Positive)
t_x, t_y	คือ	พารามิเตอร์การสเกล
tpr	คือ	ค่าการตรวจจับพบว่าภาพพื้นผิวที่ตรวจพบเป็นภาพพื้นผิวที่มีจุดบกพร่อง และความจริงก็มีจุดบกพร่อง (True positive rate)
w	คือ	with
w/o	คือ	without
WFT	คือ	การแปลงฟูริเยร์หน้าต่าง
w_i	คือ	ค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่าย
θ	คือ	พารามิเตอร์การปรับทิศทาง
μ_{mn}	คือ	ค่าเฉลี่ยของภาพที่มีการสเกลเท่ากับ m และการปรับทิศทางเท่ากับ n
σ_{mn}	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพที่มีการสเกลเท่ากับ m และการปรับทิศทางเท่ากับ n
σ_x, σ_y	คือ	พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดเกาส์เซียน
ω	คือ	พารามิเตอร์ความถี่ศูนย์กลางการมอดูเลต
$\lambda_{\max}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของระดับเทาที่มากที่สุด
$\lambda_{\min}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของระดับเทาที่น้อยที่สุด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่โดดเด่นของไทย และมีการพัฒนาเป็นลำดับ จากที่เคยเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตเพื่อการบริโภคภายในประเทศ จนกลายเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญมีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับหนึ่ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2545)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย ตกอยู่ภายใต้สถานะแรงกดดันอย่างมากในการแข่งขันทางด้านการตลาด เทคโนโลยี และแรงงานในการผลิต ทำให้ผู้ผลิตทั้งรายใหญ่ รายย่อย ต้องต่อสู้ดิ้นรนเพื่อให้บริษัทของตนอยู่รอด ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือ การควบคุมคุณภาพสิ่งทอให้ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในตลาดโลก แม้ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของเครื่องทอผ้า ทำให้เครื่องทอผ้ามีความทันสมัย ให้ผลผลิตและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยลดข้อผิดพลาดเกี่ยวกับสิ่งทอได้ แต่ยังห่างไกลจากการผลิตสิ่งทอที่มีความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ 100% (Defect free) นอกจากนี้ประเภทของจุดบกพร่องในสิ่งทอเองก็มีความสำคัญ ซึ่งมีผลต่อความสมบูรณ์และลักษณะของผลิตภัณฑ์ ที่ต่อมาอาจส่งผลกระทบต่อผลกำไร การยอมรับของลูกค้า รวมถึงความเชื่อมั่นและความไว้วางใจได้ การตรวจสอบจุดบกพร่องของสิ่งทอที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเป็นการรับประกันผลิตภัณฑ์หรือสินค้านั้น ๆ ว่ามีคุณภาพภายนอกเหมาะสมเพียงพอที่จะส่ง ไปถึงลูกค้าได้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นนำไปสู่การสูญเสียรายได้และลูกค้าที่สำคัญไป

ในอดีตการตรวจสอบจุดบกพร่องของชิ้นงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอถูกควบคุมและตรวจสอบโดยมนุษย์ (Visual inspection) ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความใส่ใจของผู้ตรวจสอบทำให้ต้องแลกกับค่าแรงที่ต้องจ่ายมากขึ้น ทว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น คือ ความล่าช้าและความผิดพลาดของมนุษย์ (Human error) อันเนื่องมาจากความล้าของสายตาเมื่อทำงานเป็นเวลานาน รวมถึงความไม่รอบคอบของผู้ตรวจสอบ ต่อมาจึงมีการคิดค้นเครื่องมือเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกต่อการตรวจสอบ ได้แก่ เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ยังต้องใช้สายตามนุษย์เป็นผู้ตรวจสอบ ทำให้ไม่สามารถควบคุมประสิทธิภาพ และให้ผลการตรวจสอบจุดบกพร่องได้เพียง 70% ของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นเท่านั้น (Vasant, 2010) นั่นหมายความว่ามีความเป็นไปได้ที่จะมีการส่งกลับสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพเพื่อให้ดำเนินการผลิตใหม่ ส่งผลให้เกิดต้นทุน

สูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นอาจกระทบต่อความน่าเชื่อถือในผลิตภัณฑ์ และความเชื่อมั่นของลูกค้า จากเหตุผลข้างต้น กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องในสิ่งทอแบบอัตโนมัติ (Automatic Fabric Inspection : AFI) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการตรวจสอบการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ทันสมัย ซึ่งให้ผลรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เพิ่มความน่าเชื่อถือในการประเมินผลของผลิตภัณฑ์ผ้า แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับความก้าวหน้าในการประมวลผลภาพ การรับรู้วัตถุ และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องควบคู่กันไปด้วย

การควบคุมคุณภาพของสิ่งทอด้วยระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติ (Automatic Visual Inspection : AVI) เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในกระบวนการผลิตสิ่งทอ ข้อดีของการตรวจสอบดังกล่าว ประกอบไปด้วย

- ประหยัดค่าจ้างแรงงาน
- ให้ผลการตรวจสอบแม่นยำกว่า
- หลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดจากการตรวจสอบของมนุษย์เนื่องจากความเหนื่อยล้า
- ทำงานได้แม้สภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการตรวจสอบ เช่น มีฝุ่น ผง ฯลฯ
- มีสถิติผลการตรวจสอบที่ถูกต้องจากการตัดสินใจมากกว่า

จากข้อได้เปรียบเหล่านี้ ปัจจุบันระบบตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติจึงได้รับความสนใจและเป็นที่ต้องการในตลาดอุตสาหกรรมสิ่งทอมากขึ้น ซึ่งโดยมากมักใช้เพื่อการตรวจสอบในผลิตภัณฑ์ผ้าลายเรียบทอ 2 เส้น (Plain) และผ้าลายทแยง (Twill) เรียกว่าสิ่งทอไม่มีลวดลาย (Unpatterned fabric) โดยมีขั้นตอนหรือกระบวนการในระบบตรวจสอบหลัก ๆ ที่สำคัญ 2 กระบวนการ คือ การจำแนกคุณลักษณะ และการตรวจจับจุดบกพร่อง การจำแนกคุณลักษณะจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างปริภูมิสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องและสิ่งทอปกติ ในขณะที่การตรวจจับจุดบกพร่องจะช่วยพิจารณาความบกพร่องในสิ่งทอ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการผลิต และเพื่อแยกแยะสิ่งทอปกติกับสิ่งทอที่มีจุดบกพร่อง การตรวจสอบจุดบกพร่องในพื้นที่ผิวสิ่งทอจึงถูกนำมาพิจารณาด้วยหลักการรับรู้ทั่วไป 2 หลัก ซึ่งพบได้ในพื้นผิวโดยมาก คือ ความเป็นระเบียบ ซึ่งได้แก่ ลักษณะที่เป็นคาบ (Regularity) และการปรับทิศทางเฉพาะถิ่น (Local orientation) ซึ่งเป็นการหักเหหรือการเปลี่ยนทิศทางทำให้เกิดลวดลายไม่เป็นคาบ (Chetverikov and Hanbury, 2002) โดยจุดบกพร่องของสิ่งทอมาจากการบิดเบือนหรือผิดรูปเฉพาะถิ่นของลายผ้าปกติ การบิดเบือนนี้ประกอบด้วยส่วนที่แตกต่างกัน (Inhomogeneities) ทั้งความยาว ความกว้าง และระดับสีเทา (Chung-Feng et al., 2003) อย่างไรก็ตาม การศึกษาและพัฒนากระบวนการเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอยังคงความท้าทายอยู่ เพื่อให้ระบบตรวจแบบอัตโนมัติสามารถก้าวทันเทคโนโลยี และให้ผลการตรวจสอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้

วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ โดยใช้เครือข่ายกาบอร์เวฟเลต (Gabor Wavelet Network : GWN) ที่มีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของตัวกรองกาบอร์ด้วยหลักการจินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะลายผิวพื้นฐานของภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง ส่งผลให้จุดบกพร่องที่อยู่ในภาพสิ่งทอทดสอบถูกคัดแยกออกมา และตัดสินใจว่าเป็นผ้าทอพื้นผิวปกติหรือมีจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ (2-Dimensional Principle Component Analysis : 2DPCA) โดยวัดค่าระยะทางยูคลิเดียน ซึ่งได้จากการพิจารณาความแตกต่างระหว่างภาพอ้างอิงที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ (ภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง) กับภาพทดสอบที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เช่นเดียวกัน (ภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการนำตัวกรองกาบอร์มาวิเคราะห์พื้นผิว และคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวได้
- 1.2.2 ออกแบบและประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์สำหรับกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องร่วมกับระเบียบวิธีการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 ตรวจจับจุดบกพร่องกับพื้นผิวที่ต้องมีความแตกต่างกันพอสมควร
- 1.3.2 ภาพที่ใช้ในการตรวจสอบ เป็นภาพสิ่งทอไม่มีลวดลาย (Unpatterned fabric) โครงสร้างพื้นฐานแบบลายทแยงหรือลายสอง (Twill) และไม่มีผลของแสงและเงาเกี่ยวข้อง
- 1.3.3 กระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องเป็นการทำงานแบบออฟไลน์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการวิเคราะห์พื้นผิวและคุณลักษณะที่ได้จากตัวกรองกาบอร์พร้อมทั้งแสดงจุดเด่นของวิธีดังกล่าว ซึ่งเป็นเหตุผลในการนำเอาตัวกรองกาบอร์มาใช้งานวิจัยเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องนี้ และใช้ภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์มาคำนวณหาคุณลักษณะของพื้นผิวเพื่อหาตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมที่สุดต่อการตรวจจับจุดบกพร่องออกจากลักษณะพื้นผิวนั้น ๆ รวมถึงพิจารณานำเอาระบบชาญฉลาดและระเบียบวิธีการอื่น ๆ เข้าร่วม เพื่อทำการคัดเลือกตัวกรองและคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว ให้สามารถทำการตรวจจับจุดบกพร่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ช่วยลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ และสามารถแสดงข้อมูลให้อยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายขึ้น
- 1.5.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นในงานวิจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น การพัฒนาหุ่นยนต์ การพัฒนาระบบอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ และระบบตรวจจับจุดบกพร่องในพื้นที่ผิวต่าง ๆ เป็นต้น
- 1.5.3 ประยุกต์ใช้ในงานด้านการเชื่อมต่อระหว่างคนและคอมพิวเตอร์
- 1.5.4 เป็นพื้นฐานหรือแนวทางสู่การพัฒนา และประยุกต์ใช้ในเครื่องตรวจสอบจุดบกพร่องอัตโนมัติแบบออนไลน์

1.6 รูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท และภาคผนวก โดยมีรายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ โดยจะนำเสนองานวิจัยและการพัฒนาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยนี้

บทที่ 3 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ตัวกรองกาบอร์และการประยุกต์ใช้งานองค์ประกอบของการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย GA โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอแบบอัตโนมัติ และการพิจารณาหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ เข้าร่วมดำเนินการ

บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานและผลการทดสอบระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ โดยทำการทดสอบระบบกับฐานข้อมูลภาพ Hong Kong ด้วยจุดบกพร่องลักษณะต่าง ๆ ภายใต้สิ่งทอแบบไม่มีลวดลายลักษณะเดียวกัน

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยเพื่อการพัฒนาในอนาคต

ภาคผนวก ประกอบไปด้วยเนื้อหา 3 ส่วน ได้แก่ ภาคผนวก ก. ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ภาคผนวก ข. ตัวอย่างภาพสิ่งทอที่ใช้ในระบบตรวจสอบจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติของงานวิจัยนี้ และภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการรักษามาตรฐานของชิ้นงานและความพึงพอใจของลูกค้า คือ ความมั่นใจในคุณภาพของชิ้นงานจากกระบวนการผลิต ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากขึ้น แนนอนยอมจะหนีแรงกดดันจากการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงขึ้นไปไม่ได้ ภายใต้แรงกดดันดังกล่าว ความรู้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตย่อมส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบเงินหรือเวลา รวมถึงความไว้วางใจในสินค้า ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สูญเสียลูกค้าที่สำคัญได้ หนึ่งในวิธีการแก้ปัญหา คือ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้สามารถเพิ่มผลผลิตและลดค่าใช้จ่ายลง เพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ยังคงคุณภาพของสินค้าให้ตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าได้ การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานจึงถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญ ที่ต้องเป็นไปด้วยความรวดเร็วเพื่อให้สินค้าถึงมือลูกค้าได้ทันตามที่กำหนดไว้ ระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติจึงถือเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ทุกอุตสาหกรรมให้ความสนใจและถูกพิจารณานำมาใช้งานเพื่อตรวจสอบความบกพร่องของวัตถุดิบอย่างแพร่หลาย เนื่องจากกระบวนการที่ไม่เพียงแต่รวดเร็ว แต่ยังแม่นยำ และมีประสิทธิภาพ

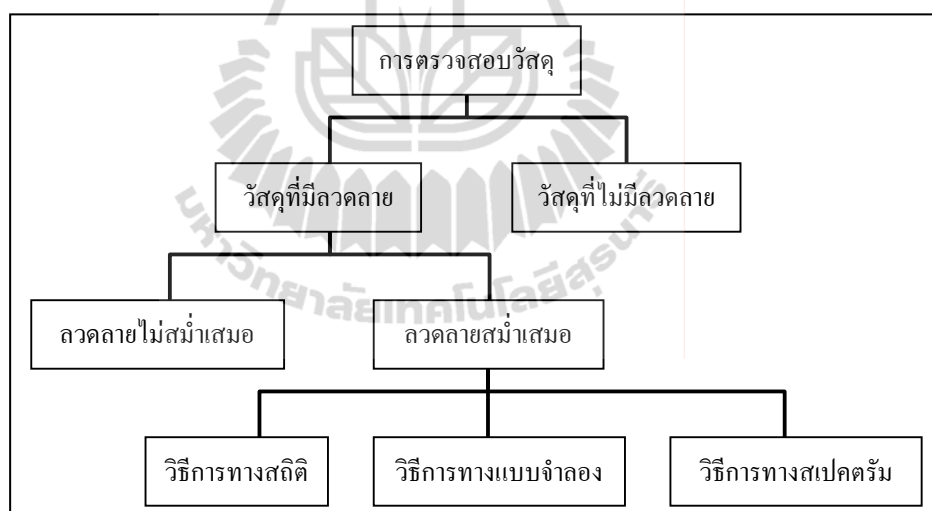
โดยพื้นฐานขั้นตอนหรือกระบวนการเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องเป็นการพิจารณาค่าคุณลักษณะของภาพที่สนใจ สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอวิธีดำเนินการดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องรู้จักวิธีสกัดมาให้ได้ซึ่งคุณลักษณะเฉพาะหนึ่ง ๆ ซึ่งคุณลักษณะที่ได้จะแสดงความเป็นผ้าทอที่สมบูรณ์ ผิดเพี้ยน ขาด หรือมีรอยเปื้อน จากนั้นจึงนำคุณลักษณะดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อจำแนกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวสิ่งทอที่เป็นลวดลายปกติต่อไป แต่การจะให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะเฉพาะดังกล่าวไม่ใช่เรื่องง่ายนัก กระบวนการและวิธีการหลากหลายจึงถูกคิดค้นและพัฒนาเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องที่ดีกว่าและดีที่สุด ในบทที่ 2 จะนำเสนอกระบวนการการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยวิธีต่าง ๆ รวมถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

2.1 การตรวจสอบพื้นผิววัสดุ

การตรวจสอบพื้นผิววัสดุด้วยระบบอัตโนมัติโดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวัสดุที่มีลวดลาย (Textured materials) และกลุ่มวัสดุที่ไม่มีลวดลาย (Uniform materials) พิจารณาดังรูปที่ 2.1 การตรวจจับจุดบกพร่องในกลุ่มวัสดุที่ไม่มีลวดลาย เช่น แผ่นโลหะ ฟิล์ม และกระดาษ จะดำเนินการด้วยการตรวจจับบริเวณที่แตกต่างจากพื้นหลังแต่สำหรับกลุ่มวัสดุ

ที่มีลวดลายแล้ว การตรวจจับจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ เช่น ไม้ สิ่งทอ เซรามิก ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของลวดลายที่เกิดขึ้น เช่น ทิศทางของลาย ความเป็นเนื้อเดียวกันและความหนาของพื้นผิว

โดยกลุ่มวัสดุที่มีลวดลายสามารถพิจารณาแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก กลุ่มที่มีลวดลายไม่สม่ำเสมอ (Random texture) เช่น ผ้าพิมพ์ ธนบัตร ฯลฯ สามารถตรวจจับความบกพร่องได้ด้วยวิธีการทางโครงสร้าง (Brazakovic et al., 1997) โดยประเมินความสม่ำเสมอของสีและความสอดคล้องของลวดลายที่พิมพ์ขึ้น กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีลวดลายสม่ำเสมอ (Uniform texture) เช่น ผ้าทอ ฯลฯ สามารถตรวจจับความบกพร่องได้ 3 แนวทาง ได้แก่ แนวทางสถิติ (Statistical approaches) แนวทางแบบจำลองพื้นฐาน (Model-based approaches) และแนวทางสเปกตรัม (Spectral approaches) โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านขนาด การยืด และการเอียงที่เด่นชัดของจุดบกพร่องเมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ และธรรมชาติของกระบวนการทอผ้า (Kumar, 2001)



รูปที่ 2.1 แผนผังการตรวจสอบวัสดุที่มีพื้นผิวด้วยระบบอัตโนมัติ

2.1.1 จุดบกพร่องของสิ่งทอ

จุดบกพร่องในสิ่งทอเป็นผลมาจากคุณภาพของเส้นด้ายหรือเครื่องทอผ้าที่ขาดประสิทธิภาพ เช่น ความไม่สอดคล้องกันของสี การแตกปลายของเส้นด้าย เป็นต้น ข้อบกพร่องเหล่านี้สามารถทำให้ราคาของสิ่งทอลดลง 45%-65% (Srinivasan et al., 1992) ดังนั้น การตรวจสอบคุณภาพของสิ่งทอจึงมีความสำคัญ โดยทำการทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพของสิ่งทอทั้งล็อตที่ทางออกของโรงทอผ้าด้วยวิธีการทดสอบคุณภาพหลายวิธี เช่น ASTM D2255-96 เป็นต้น จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากคุณภาพของเส้นด้ายแล้ว เครื่องทอผ้าก็ถือเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ

ซึ่งต้องพิจารณาเนื่องจากอาจเป็นสาเหตุของความบกพร่องที่เกิดขึ้น เครื่องทอผ้าที่เก่าและชำรุดจะสร้างจุดบกพร่องขึ้นเป็นประจำและสามารถตรวจสอบได้โดยตรงจากเนื้อผ้า เพื่อลดต้นทุนการผลิตในผู้ผลิตบางรายจึงมีแนวโน้มที่จะละเว้นการตรวจสอบคุณภาพเครื่องจักรทำให้ได้ผ้าทอที่ไร้คุณภาพ ในขณะที่เครื่องทอผ้าที่ใช้ในระบบการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดใหญ่แม้มีความทันสมัยขึ้นมาก แต่ก็มักปรากฏจุดบกพร่องที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความตึงของเส้นด้าย และเงื่อนไขการผลิตที่เปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิและความชื้น ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ไม่ได้มีสาเหตุมาจากคุณภาพของเส้นด้าย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงขั้นตอนหรือกระบวนการทอผ้าแม้เพียงเล็กน้อย ก็สามารถสร้างจุดบกพร่องลักษณะใหม่ ๆ ขึ้นมา โดยจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะต่าง ๆ และมีจำนวนมากมายมหาศาล ตามเทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นด้วยก็เป็นได้

2.1.2 การตรวจสอบจุดบกพร่องของสิ่งทอ

การตรวจสอบจุดบกพร่องของสิ่งทอสามารถทำได้ 2 แบบ ดังนี้

2.1.2.1 แบบที่หนึ่ง คือ การตรวจสอบจากกระบวนการทอผ้า โดยพิจารณาที่ขั้นตอนหรือพารามิเตอร์ในการทอผ้าอย่างต่อเนื่องเพื่อคาดการณ์การเกิดขึ้นของจุดบกพร่อง โดยเป็นการตรวจสอบเชิงป้องกัน และนิยมทำในกระบวนการผลิตขนาดเล็กที่ไม่มีความซับซ้อน

2.1.2.2 แบบที่สอง คือ การตรวจสอบที่ผลิตภัณฑ์โดยการตรวจหาจุดบกพร่องของสิ่งทอความกว้าง 1.5-2 เมตร ที่ผลิตขึ้นจากเครื่องจักรด้วยความเร็ว 0.3-0.5 เมตรต่อนาที ซึ่งไม่ได้ทำควบคู่ไปกับสายการผลิต แม้สิ่งทอจะถูกผลิตขึ้นที่ความเร็วต่ำก็ตาม แต่ยังคงต้องการตรวจสอบแม้จะทำการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ซึ่งสามารถทำงานที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี แต่ด้วยสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยเสียงเครื่องจักรที่กำลังทำงาน การดำเนินงานจึงเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตอีกด้วย

กระบวนการตรวจสอบแบบดั้งเดิม คือ การนำม้วนสิ่งทอที่ผลิตจากเครื่องทอมาคลี่ออกบนโต๊ะตรวจสอบที่มีแสงสว่างแบบพิเศษติดตั้งอยู่ โดยม้วนสิ่งทอจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8-20 เมตรต่อนาที เมื่อผู้ตรวจสอบสังเกตเห็นจุดบกพร่องบนสิ่งทอที่กำลังเคลื่อนที่ ผู้ตรวจสอบจะหยุดมอเตอร์ม้วนสิ่งทอพร้อมบันทึกจุดบกพร่องและตำแหน่ง จากนั้นจึงเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์อีกครั้ง โดยกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องจะให้ผู้ตรวจสอบเคลื่อนที่ (Roving inspectors) คอยเตือนฝ่ายผลิต เพื่อลดอัตราการเกิดจุดบกพร่อง (Dorrity et al., 1996)

2.2 การจัดสภาพแวดล้อม (Scene constraint)

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อมของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการ “มองเห็นและรับรู้” ของอุปกรณ์ประมวลผลในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด และไม่เทียบเท่า

ความสามารถของมนุษย์ จึงต้อง “ช่วย” ลดความยุ่งยากของการประมวลผล สามารถทำได้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน ดังนี้

2.2.1 การจัดการกับชิ้นงาน ในสภาพแวดล้อมจริงตามโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่ถูกป้อนให้ระบบตรวจสอบจะถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการเกี่ยวกับการวางตัวของชิ้นงานเหล่านี้แล้ว อุปกรณ์ประมวลผลจะต้องหาทิศทางของชิ้นงานแต่ละชิ้นเองก่อนจะเริ่มทำการตรวจสอบชิ้นงาน นอกจากนี้ ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ระบบอัตโนมัติทำการตรวจสอบก็ต้องถูกจำกัดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในสายการผลิตหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่จะตรวจสอบด้วยภาพแบบอัตโนมัติต้องถูกกำหนดรูปร่างไว้อย่างแน่นอน ซึ่งไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์รูปร่างอื่นมาตรวจสอบกับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ได้

2.2.2 ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ และทิศทางของกล้อง ตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติ “มองเห็น” เช่น หากระยะดังกล่าวสั้นลงแล้ว ชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติมองเห็นก็จะมีขนาดใหญ่ ดังนั้น สำหรับระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไปแล้ว ตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัว

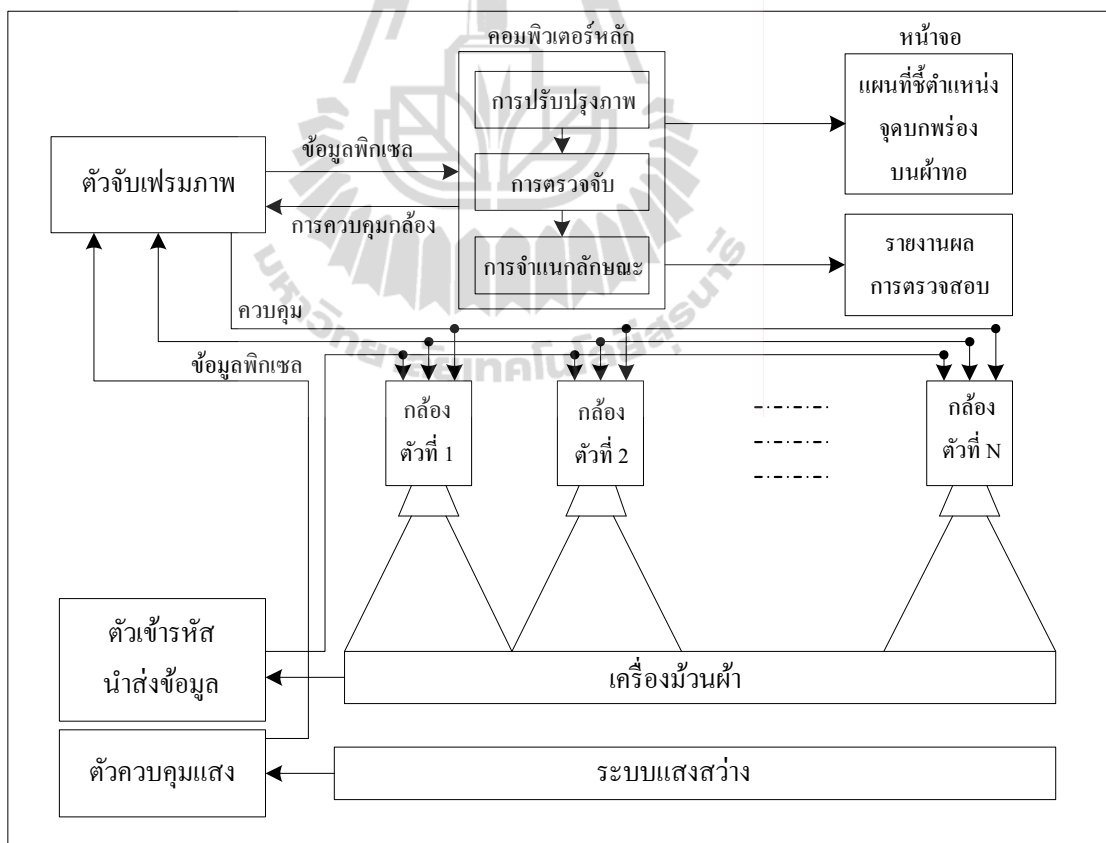
2.2.3 การจัดการเรื่องแสง แสงจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญมาก เนื่องจากการมองเห็นภาพของระบบอัตโนมัตินั้นเกิดจากการที่แสงตกกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนผ่านเลนส์เข้าตัวเซนเซอร์รับภาพของกล้องที่ใช้กับระบบอัตโนมัติ การจัดการเกี่ยวกับแสงจำเป็นต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระเจิงของแสง และคุณสมบัติอื่น ๆ สำหรับการตรวจสอบชิ้นงาน โดยทั่วไป จะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไว้ที่ด้านเดียวกับตัวกล้องแล้วส่องไปที่วัตถุที่ต้องการจับภาพ ซึ่งเรียกว่า Front lighting อย่างไรก็ตาม สำหรับงานตรวจสอบชิ้นงานบางประเภทอาจจำเป็นต้องใช้การส่องแสงจากด้านหลังของวัตถุที่พิจารณา ที่เรียกกันว่า Back lighting แล้วใช้ภาพที่ได้ทั้ง 2 ภาพมาประมวลผลเพื่อตรวจสอบวัตถุดังกล่าว

นอกเหนือจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนจากภาพแบบอัตโนมัติแล้ว งานบางประเภทอาจต้องการภาพจากกล้องหลาย ๆ ตัว เพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากหลาย ๆ มุมมอง บางกรณีอาจใช้กล้องเพียงตัวเดียว แต่ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานได้ และบางกรณีอาจมีการเก็บภาพของวัตถุเดียวกันที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลาย ๆ แหล่ง หลาย ๆ ประเภทก็เป็นได้

2.3 การตรวจสอบแบบอัตโนมัติ

กระบวนการตรวจสอบภาพแบบอัตโนมัติเป็นการทำงานที่ต้องพิจารณาหลายด้านและมีการปฏิสัมพันธ์กับระบบหลายส่วน ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจใช้เพื่อคัดแยกงานดีออกจากงานเสีย หรือใช้เพื่อคัดเลือกเกรดของชิ้นงาน และจากความต้องการระบบที่สามารถทำงาน

ได้รวดเร็วมากที่สุดของทุกอุตสาหกรรมทำให้รูปแบบการทำงานของระบบอัตโนมัติ ซึ่งโดยหลักแล้วก็คือ การทำงานของโปรแกรมที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ประมวลผล จำเป็นต้องใช้เวลาให้สั้นที่สุด ดังนั้น วิธีการคำนวณต่าง ๆ จึงต้องใช้เวลาน้อยที่สุดด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ความรู้หรือประสบการณ์ต่าง ๆ ของผู้ตรวจสอบเองก็จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อ “ช่วย” ให้ระบบสามารถจัดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปให้ได้มากที่สุด จากการศึกษาของ Nickolay et al. (1993) แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในระบบตรวจสอบจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ลดต้นทุนบุคลากร และได้ประโยชน์มากขึ้น แผนผังของระบบตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.2 ระบบดังกล่าวประกอบไปด้วยชุดกล้องที่ถูกเรียงขนานไปกับสิ่งทอที่จะถูกตรวจสอบ ตัวประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ตัวจับเฟรมภาพ ระบบแสง ระบบไฟฟ้า และเครื่องจักรที่เชื่อมต่อกับเครื่องตรวจสอบ



รูปที่ 2.2 แผนผังของระบบตรวจสอบสิ่งทออัตโนมัติ

ระบบแสงสว่าง (Lighting system) คุณภาพของภาพที่ได้มีบทบาทสำคัญในการช่วยทำให้การตรวจสอบง่ายขึ้น ชนิด และระดับของแสงสว่าง จะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของภาพ

กล้อง (Camera) กล้องมากมายหลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ความละเอียด ความเร็วในการอ่านข้อมูล ความแม่นยำ และลักษณะอื่น ๆ ถูกนำมาประยุกต์ในการมองเห็นของเครื่องจักร (Bayer, 1989) ความละเอียดของกล้องถูกจำกัดด้วยจำนวนพิกเซลของเซนเซอร์รับภาพและขอบเขตที่กล้องสามารถมองเห็นสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะขึ้นกับคุณลักษณะของพื้นหลังและธรรมชาติของจุดบกพร่องที่ถูกตรวจสอบ

ตัวเข้ารหัสนำส่งข้อมูล (Transport encoder) ถูกใช้สร้างสัญญาณต้นแบบสำหรับกล้อง โดยข้อมูลของตัวเข้ารหัสนำส่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับเครื่องมือวัด ในกรณีของกล้องสแกนตามเส้นความละเอียดของตัวเข้ารหัสนำส่ง (ได้แก่ จำนวนพัลส์ต่อรอบ) จะเป็นตัวกำหนดค่าความละเอียดในแต่ละจุดพิกเซลของภาพ

ตัวจับเฟรมภาพ (Frame grabber) ข้อมูลพิกเซลที่มาจากกล้องแต่ละตัวจะถูกแปลงเป็นค่าดิจิทัลด้วยตัวจับเฟรมภาพ ซึ่งรับข้อมูลอินพุตจากกล้องหลายตัว รวมทั้งการรวมไฟล์วิดีโอระหว่างกล้องและตัวจับเฟรมภาพ เอาท์พุตจากตัวจับเฟรมภาพจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์หลักในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลที่นิยมใช้สำหรับเครื่อง PC (ISA, VESA, PCI และอื่น ๆ) หรือฟอร์เมตทางอุตสาหกรรม (VME, PICMG, PC100 และอื่น ๆ)

เครื่องคอมพิวเตอร์หลัก (Host computer) หน้าที่ของคอมพิวเตอร์หลักสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- ตรวจจับและจำแนกจุดบกพร่อง โดยการโหลดข้อมูลภาพจากตัวจับเฟรมภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์หลักซึ่งรับผิดชอบทำการประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อตรวจจับจุดบกพร่องและจำแนกลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ
- ควบคุมแสงสว่างและกล้อง คอมพิวเตอร์หลักรับผิดชอบการโหลดพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้สำหรับการควบคุมกล้องที่ติดตั้งอยู่ภายนอก ซึ่งโดยปกติค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกโหลดผ่านการป้อนข้อมูลด้วยผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งดูแลการตั้งค่าของตัวควบคุมแสงสว่างที่ควบคุมระดับความสว่างของสิ่งทอให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วย
- ควบคุมระบบ คอมพิวเตอร์หลักยังทำหน้าที่ควบคุมอินพุตและเอาท์พุตหลายตัว หน้าที่ในกลุ่มนี้รวมถึงการ Interrupt Service Routine (ISR), Graphical User Interface (GUI) และการพิมพ์ แสดงผล หรือเก็บข้อมูลจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น

Ajay Kumar (2008) แสดงการปฏิสัมพันธ์ทางด้านการตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 ยุค คือ การตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคแรก หรือระยะเริ่มต้น และการตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคหลัง รายละเอียดของกระบวนการจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.4 การตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคแรก

การปฏิวัติวรรณกรรมด้านการตรวจสอบด้วยภาพแบบอัตโนมัติ (Automated Visual Inspection : AVI) ในยุคแรก มีอยู่ด้วยกัน 4 งาน ได้แก่ งานวิจัยของ Chin and Harlow (1982); Chin (1988); Newman and Jain (1995); Thomas et al. (1995) ซึ่งงานปฏิวัติวรรณกรรมเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาถึงการตรวจจับจุดบกพร่องของสิ่งทอ เนื่องจากการรายงานกว้าง ๆ เกี่ยวกับปัญหาด้านการตรวจสอบข้อมูลภาพเท่านั้น ด้วยเทคโนโลยีด้านเซนเซอร์และประสิทธิภาพด้านการประมวลผลที่ถูกพัฒนาขึ้น อัลกอริทึมใหม่ ๆ จึงถูกนำเสนอเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบสิ่งทอ วิธีการตรวจสอบจุดบกพร่องในสิ่งทอระยะต่อมา จึงไม่ได้ถูกจำกัดเฉพาะภาพที่ได้มาจากกล้องดิจิทัลเพียงเท่านั้น ตัวอย่างเช่น Sheen (1997) นำเสนอเทคนิคจัดการภาพแบบอัลตราโซนิกสำหรับการตรวจสอบสิ่งทอ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญย่านอินฟราเรดที่สะท้อนกลับมา ในขณะที่สิ่งทอจะถูกตรวจสอบด้วยระบบฐานการเรียนรู้ (Knowledge based system) เพื่อยืนยันความบกพร่องของสิ่งทอ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเพื่อการตรวจสอบจุดบกพร่องของสิ่งทอด้วยการจัดการภาพดิจิทัล เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีถูกพิจารณาเลือกใช้งาน เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย ให้ผลการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนไม่สูงเท่าการพัฒนาอุปกรณ์หรือเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ โดยมีบทความที่สำคัญปรากฏในวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการต่าง ๆ เนื้อหาโดยมากจะเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ สิ่งทอ การประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรม และการจดจำรูปร่าง อัลกอริทึมในการตรวจจับจุดบกพร่องที่ใช้ในระบบเชิงพาณิชย์บางตัวไม่ได้ถูกรายงานในบทความเพราะข้อจำกัดด้านทรัพย์สินทางปัญญา ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงให้ความสนใจมุ่งเน้นที่อัลกอริทึมทางทฤษฎีที่พัฒนาสำหรับกระบวนการตรวจจับสิ่งทอมากกว่าระบบตรวจจับที่ใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์

2.5 การตรวจสอบสิ่งทอแบบอัตโนมัติในยุคหลัง

เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้ามากขึ้นมีการประดิษฐ์เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นสมอกล สามารถทำการประมวลผลข้อมูลได้หลายรูปแบบ รวมถึงชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการใช้งานที่หลากหลายเกิดขึ้น เทคโนโลยีด้านการประมวลผลภาพโดยผ่านเทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์จึงถูกคิดค้นและใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความสะดวกและลดข้อจำกัดต่าง ๆ ในการผลิตได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุน เวลา อีกทั้งยังให้ผลการตรวจจับที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เทคนิคดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมต่อระหว่างกล้อง CCD (Charge-Coupled Device) กับคอมพิวเตอร์

การคิดค้นเทคนิควิธีการใหม่ ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในเรื่องเวลา ต้นทุน และความแม่นยำในยุคต่อมา จึงล้วนแล้วแต่เป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยหลักการประมวลผลข้อมูลภาพแทบทั้งนั้น โดยทั่วไปมักเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พื้นผิวหรือเนื้อหาของภาพ (Texture analysis) ซึ่งเป็นการคำนวณหาคุณลักษณะของพื้นผิว (Texture feature) ที่โดดเด่นมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่แสดงความแตกต่างจากคุณลักษณะพื้นผิวที่ได้จากภาพพื้นผิวอื่น ๆ คุณลักษณะของพื้นผิวดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ในปริภูมิภายใต้เกณฑ์การกระจายสัญญาณสีเทา สำหรับงานด้านการวิเคราะห์พื้นผิวเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องสามารถพิจารณาแบ่งได้เป็น 3 แนวทางใหญ่ ๆ (Ajay Kumar et al., 2002) พิจารณาดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง

แนวทาง	วิธีการ	อ้างอิง
ทางสถิติ	1. มิติแฟร็กทัล (Fractal dimension)	Pentland (1984) Conci and Proenca (1998)
	2. การทำขีดเริ่มเปลี่ยน 2 ระดับ (Bi-level thresholding)	Norton-Wayne et al. (1993) Stojanovic et al. (2001)
	3. สถิติระดับเทา (Gray-level statistics)	Zhang and Bresee (1995)
	4. ปฏิบัติการมอร์โฟโลยี (Morphological operations)	Zhang and Bresee (1995) Mallick-Goswami et al. (2000)
	5. การตรวจจับขอบภาพ (Edge detection)	Conci and Proenca (2000)
	6. การหาค่าสหสัมพันธ์แบบปกติ (Normalized cross-correlation)	Bodnarova, Bennamoun, and Kubik (1998)
	7. การหาเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Co-occurrence matrix)	Siew, Hodgson, and Wood (1998)
	8. ตัวกรองไอเกน (Eigenfilters)	Unser and Ade (1984)
	9. การแปลงเชิงเส้นเฉพาะแห่ง (Local linear transforms)	Ade, Lins, and Unser (1984)
	10. ฟังก์ชันการจัดอันดับ (Rank-order functions)	Natale (1986)

ตารางที่ 2.1 เทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง (ต่อ)

แนวทาง	วิธีการ	อ้างอิง
ทาง แบบจำลอง	1. สนามการสุ่มแบบเกาส์มาร์คอฟ (Gauss markov random field)	Cohen Fan et al. (1991) Ozdemir and Ercil (1996)
	2. แบบจำลองปัวซอง (Poissonian model)	Brzakovic et al. (1997)
	3. การจัดกลุ่มแบบจำลองพื้นฐาน (Model-base clustering)	Kassand et al. (1995) Campbell et al. (1996)
ทาง สเปกตรัม	1. การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete fourier transform)	Tsai and Heish (1999) Chi-ho Chan et al. (2000)
	2. การแปลงฟูริเยร์ออปติคัล (Optical fourier transform)	Ciamberlini et al. (1996) Kim, Lee, and Yoon (1997)
	3. การแปลงฟูริเยร์หน้าต่าง (Windowed fourier transform)	Campbell and Murtagh (1998)
	4. การแปลงเวฟเลต (Wavelet transform)	Henry Y.T. Ngan et al. (2005)
	5. ตัวกรองกาบอร์ (Gabor filters)	Mak and Peng (2006)

2.5.1 การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติ

การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติสามารถทำได้ด้วยการพิจารณาลักษณะของเท็กเจอร์หรือพื้นผิววัตถุ เช่น ความราบเรียบ หยาบ ขรุขระ ลวดลาย ฯลฯ ได้โดยตรง โดยมีวัตถุประสงค์ของการตรวจจับจุดบกพร่องเพื่อแยกภาพตรวจสอบไปเป็นบริเวณที่แสดงพฤติกรรมทางสถิติที่ชัดเจน ข้อสมมติฐาน คือ ค่าสถิติของบริเวณที่ไม่มีจุดบกพร่องจะคงที่และบริเวณเหล่านี้จะไปคาบเกี่ยวกับส่วนที่เป็นจุดบกพร่องในภาพตรวจสอบ วิธีการตรวจจับจุดบกพร่องตามแนวทางสถิติดังกล่าวประกอบไปด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1.1 มิติแฟร็กทัล

มิติแฟร็กทัลหรือมิติที่เป็นเศษส่วน เป็นการพิจารณาภาพแยกเป็นมิติที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม โดยอาศัยการมองหาวัตถุที่มีคุณสมบัติคล้ายตนเอง คือ ดูเหมือนกันไปหมด (เมื่อพิจารณาจากแง่ใดแง่หนึ่ง) ไม่ว่าจะดูที่ระดับความละเอียด (โดยการส่องขยาย) หรือสเกลใดก็ตาม แฟร็กทัลสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทตามวิธีการสร้าง ได้แก่ แฟร็กทัลประเภทแรกมีรูปแบบการสร้างแบบง่าย ๆ โดยอาศัยหลักการวนซ้ำกฎเกณฑ์ที่กำหนดไปเรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด แฟร็กทัลอีกจำนวนหนึ่งมีที่มาจากการศึกษาทฤษฎีความอลวน เรียกว่า escape-time fractal

แฟร็กทัลประเภทสุดท้าย สร้างโดยกระบวนการสโตคาสติก หรือการสุ่ม ตัวอย่างงานวิจัย เช่น Conci and Proenca (1998) ใช้การประมาณมิติแฟร็กทัล (FD) บนภาพตรวจสอบเพื่อตรวจนับ จุดบกพร่องบนสิ่งทอ โดยการพัฒนาวิธี Differential box counting ให้มีความซับซ้อนในการคำนวณ น้อยที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลภาพขนาดใหญ่ โดยจุดบกพร่องจะถูก ยืนยันจากการเปลี่ยนแปลงของมิติแฟร็กทัลที่ตรวจสอบได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังขาดความ แม่นยำเมื่อพิจารณาจุดบกพร่องเฉพาะถิ่นและมีการเตือน (Alarm) ที่ผิดพลาดสูง

2.5.1.2 การทำขีดเริ่มเปลี่ยน 2 ระดับ

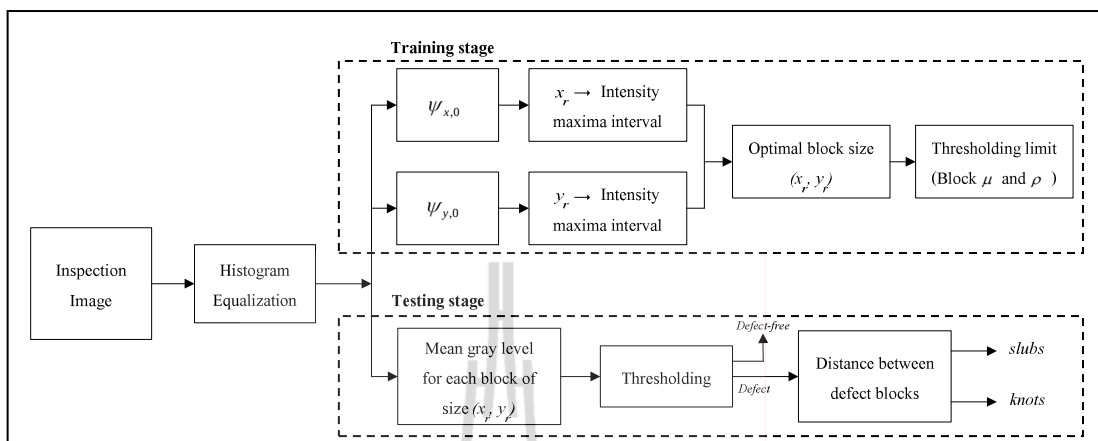
วิธีนี้เป็นหนึ่งในวิธีการที่ง่ายที่สุดในการตรวจนับจุดบกพร่องที่มีความ แตกต่างกันสูงโดยใช้การพิจารณาจุดเปลี่ยนระดับเทาโดยตรง ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นการคัดแยก จุดบกพร่องออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน ตัวอย่างงานวิจัยนี้ เช่น งานวิจัยของ Norton-Wayne et al. (1993) ใช้แนวคิดนี้เพื่อตรวจนับจุดบกพร่องของสิ่งทอที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที Stojanovic et al. (2001) พัฒนาระบบตรวจนับจุดบกพร่องบนสิ่งทอโดยใช้เทคนิคการหาค่า ขีดเริ่มเปลี่ยน ด้วยความแม่นยำ 86.2% อย่างไรก็ตาม 4.3% ยังคงเกิดสัญญาณเตือนความผิดพลาดอยู่ ข้อได้เปรียบของเทคนิคการตรวจนับจุดบกพร่องที่ขึ้นกับจุดเปลี่ยน 2 ระดับ คือ ความสะดวกในการ ใช้งาน แต่เทคนิคนี้มักผิดพลาดในการตรวจนับจุดบกพร่องที่มีค่าเฉลี่ยระดับเทาน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ระดับเทาของจุดบกพร่องโดยรอบ หรือก็คือมักมีข้อผิดพลาดหากค่าระดับเทาของจุดบกพร่องที่ เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าบริเวณพื้นผิวปกติที่ไม่มีจุดบกพร่อง

2.5.1.3 สถิติระดับเทา

เนื่องจากวิธีการตรวจนับจุดบกพร่องด้วยการทำขีดเริ่มเปลี่ยน 2 ระดับ เป็นการจำแนกพิกเซลของภาพอย่างอิสระ ส่งผลให้อาจมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะใช้เพื่อการตัดสินใจ จุดบกพร่องที่ชัดเจนนัก อัลกอริทึมตรวจนับส่วนมากจึงกำหนดรูปแบบความเรียบบางส่วนหรือให้ ค่าความชัดเจนก่อนทำการกำหนดจุดเปลี่ยน Zhang and Bresee (1995) ดำเนินการโดยแบ่งภาพ ตรวจสอบลงในบล็อกและจำแนกบล็อกเหล่านี้ลงในกลุ่มจุดบกพร่องหรือไม่มีจุดบกพร่องด้วยสถิติ ระดับเทาอันดับหนึ่งที่ได้มาจากภาพเหล่านี้ โดยใช้ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของตัวกลางเคลื่อน (Autocorrelation function) เพื่อคัดเลือกขนาดของบล็อกที่เหมาะสมที่สุดมาใช้งาน ทำให้ได้ขนาด ของบล็อกที่เหมาะสมกับพื้นผิวที่มีจุดบกพร่อง พิจารณากระบวนการดังรูปที่ 2.3

2.5.1.4 ปฏิบัติการมอร์โฟโลยี

กระบวนการมอร์โฟโลยี เป็นการประมวลผลภาพโดยพิจารณาการ เปลี่ยนแปลงลักษณะ รูปร่าง หรือโครงสร้างของภาพ โอเปอเรชันพื้นฐานที่ใช้งานทั่วไป ประกอบด้วย การขยายภาพโดยมีสัดส่วนเท่ากันทั่วทั้งภาพ (Dilation) การย่อภาพ (Erosion) และ การหาโครงสร้างหลักของวัตถุ (Skeleton) Zhang (1995) ให้รายละเอียดปฏิบัติการมอร์โฟโลยีกับ



รูปที่ 2.3 แผนผังของระบบตรวจสอบสิ่งทอด้วยสถิติระดับเทา (Zhang and Bresee, 1995)

การดำเนินงานเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ โดยพิจารณานำภาพทดสอบมาทำการปรับปรุงภาพผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram equalization) และกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อสร้างภาพ 2 ระดับ (Binary image) ของภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง (ภาพฝึกสอน) จากนั้นจึงนำไปพิจารณาผ่านกระบวนการเพื่อหาค่าขนาดและรูปร่างองค์ประกอบของโครงสร้างที่ดีที่สุด (Structuring Element : SE) ด้วยฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของตัวคลาดเคลื่อน วิธีการมอร์โฟโลยีนี้ถูกจำกัดการใช้งานในการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ ซึ่งจะพิจารณาใช้งานในภาพสิ่งทอที่ไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยการพิจารณาจุดเปลี่ยนอย่างง่ายด้วยเทคนิคสถิติระดับเทาที่กล่าวไว้ข้างต้น

2.5.1.5 การตรวจจับขอบภาพ

การตรวจจับขอบภาพ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ถูกใช้เพื่อการวิเคราะห์ลวดลาย สามารถเลือกใช้งานได้ทั้งตัวปฏิบัติการขอบภาพขนาดเล็ก (Micro-edges) และตัวปฏิบัติการขอบภาพขนาดใหญ่ (Macro-edges) การพิจารณาพื้นผิวสิ่งทอเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยวิธีการดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากความเข้าใจว่า การกระจายจำนวนมากของขอบต่อหน่วยพื้นที่เป็นลักษณะสำคัญของลวดลายในภาพ การเปลี่ยนระดับเทาในภาพสิ่งทอสามารถแทนได้ด้วยเส้น ขอบ จุดบกพร่อง และความไม่ต่อเนื่องเชิงพื้นที่อื่น ๆ ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอได้ ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Conci and Proenca (2000) ใช้การตรวจจับขอบแบบ Sobel เพื่อตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ และเปรียบเทียบผลกับวิธีกำหนดจุดเปลี่ยนร่วมกับการพิจารณาด้วยวิธีมิติเศษส่วน (Fractal dimension) อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยการตรวจจับขอบภาพเหมาะสำหรับภาพสิ่งทอที่มีความละเอียดต่ำ ความยากในการแยกจุดบกพร่องที่เกิดจากโครงสร้างของผ้าส่งผลให้เกิดอัตราความผิดพลาดสูงทำให้วิธีการนี้ไม่เป็นที่สนใจเพื่อการตรวจจับสิ่งทอมากนัก

2.5.1.6 การหาค่าสหสัมพันธ์แบบปกติ

ฟังก์ชันสหสัมพันธ์เป็นการวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างภาพ 2 ภาพ ได้แก่ ภาพอ้างอิง และภาพทดสอบ ฟังก์ชันดังกล่าวจะอาศัยข้อมูลทางสถิติที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบภาพสองภาพได้โดยตรงและแม่นยำ หลักการพิจารณาจะดำเนินการด้วยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญใด ๆ ในค่าของการวัด ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าภาพมีจุดบกพร่องอยู่หรือไม่ ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Bodnarova et al. (1998) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์จากต้นแบบหลายอัน เพื่อสร้างแผนที่สหสัมพันธ์สำหรับยืนยันจุดบกพร่อง หนึ่งในปัญหาสำคัญของวิธีการนี้ คือ การเลือก ad-hoc ของต้นแบบ และขนาดของหน้าต่าง ซึ่งผลการทดลองที่นำเสนอมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.5.1.7 การหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

พื้นผิว คือ ลักษณะของบริเวณผิวหน้าของสิ่งต่าง ๆ ที่เมื่อสัมผัสแล้วสามารถรับรู้ได้ว่ามีลักษณะอย่างไร เช่น หยาบ ขรุขระ เรียบ เนียน สาก เป็นต้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาพื้นผิวในรูปแบบภาพ เป็นการรวมอยู่ของกลุ่มข้อมูลพิกเซล ดังนั้น ปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ท่ามกลางพิกเซลใกล้เคียงจึงถูกใช้เพื่ออธิบายลักษณะของพื้นผิว สามารถทำได้ด้วยการหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ซึ่งจะเป็นตัวบอกตำแหน่งและความสัมพันธ์กับพิกเซลภายในบริเวณหนึ่ง ๆ ในภาพ ส่งผลให้การวิเคราะห์ลวดลายสามารถทำได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น แต่เมื่อภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น การคำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมจะใช้หลักการเคลื่อนย้ายหน้าต่างที่มีขนาดคงที่ค่าหนึ่ง ไปทั่วทุกพิกเซลที่อยู่ในภาพนั้น โดยจะคำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมจากภาพภายใต้หน้าต่างที่ครอบไว้ ดังนั้น การดำเนินงานจึงต้องการหน่วยความจำขนาดใหญ่และเวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก Siew et al. (1988) นำเสนอการประเมินผลของพรมด้วย (1) Spatial Gray Level Dependence Matrix (SGLDM) (2) Gray Level Run Length Matrix (GLRLM) และ (3) Gray level Dependence Matrix (GLDM) โดยมีเมตริกซ์ความเกี่ยวข้องของระดับเทาเป็นหนึ่งในเครื่องมือวิเคราะห์พื้นผิวทางสถิติที่เป็นที่นิยมมากที่สุด

2.5.1.8 ตัวกรองไอน์เกน

ข้อมูลที่ประกอบอยู่ในภาพสิ่งทอปกติที่ไม่มีจุดบกพร่องสามารถถูกสกัดออกมาได้ด้วยการบันทึกการเปลี่ยนแปลงในหน้าต่างมาโครภายในภาพ สามารถตัดสินใจได้ด้วยการพิจารณาลวดลายของภาพนั้น ๆ Monadjemi (2004) แนะนำการใช้ตัวกรองไอน์เกนเพื่อจับคู่ทางโครงสร้าง โดยตัวกรองไอน์เกนที่ใช้ดำเนินการจะสร้างขึ้นจากการหมุน การลบ และการกลับด้านเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองไอน์เกนมีความไวสูงในการบิดเบือนของสิ่งทอเฉพาะถิ่น และสัญญาณรบกวนที่พื้นหลัง ทำให้ไม่ได้รับความสนใจสำหรับการตรวจสอบแบบออนไลน์

2.5.1.9 การแปลงเชิงเส้นเฉพาะถิ่น

การแปลง 2 มิติที่นิยมมีหลายแบบ เช่น Discrete Cosine Transform (DCT) Discrete Sine Transform (DST) หรือ Discrete Hadamard Transform (DHT) สามารถใช้เพื่อคัดแยกคุณสมบัติพื้นผิวเฉพาะแห่งได้ การแปลงเชิงเส้นเฉพาะถิ่นนี้ เป็นการพิจารณาคุณสมบัติของลวดลายเฉพาะแห่งให้แสดงออกมาในรูปแบบค่าทางสถิติ ที่คำนวณได้จากสัญญาณเอาต์พุตซึ่งได้จากการแปลงดังกล่าว โดยรูปแบบสำคัญของหลักการนี้จะเน้นตรงรูปแบบเชิงสถิติ และตัวปฏิบัติการย่อยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์และจำแนกลวดลาย หลักการนี้ทนทานยืดหยุ่น ออกแบบมาเพื่อการประมวลผลแบบขนานและเหมาะกับการประมวลผลแบบมัลติซันแนลโดยเฉพาะ ตัวอย่างงานวิจัยนี้ เช่น งานวิจัยของ Ade et al. (1984) เปรียบเทียบการแปลงเชิงเส้นเฉพาะถิ่นไว้หลายแบบ เช่น DCT DST DHT Eigenfilters และ Laws masks เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอ

2.5.1.10 ฟังก์ชันการจัดลำดับ

ฟังก์ชันการจัดอันดับของภาพหนึ่ง ๆ สามารถพิจารณาได้จากฮิสโตแกรม ร่วมกับการพิจารณาลำดับของค่าระดับเทาในฮิสโตแกรมของภาพนั้น ๆ เมื่อลำดับถูกแยกกลุ่มแบบน้อยไปหามาก และมีความตรงกัน 1 : 1 ระหว่างฟังก์ชันระดับและฮิสโตแกรมที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ฮิสโตแกรมและฟังก์ชันลำดับที่มีข้อมูลตรงกัน จะบ่งบอกถึงความคล้ายคลึงกันของข้อมูล อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบของการใช้ฟังก์ชันการจัดลำดับแทนการพิจารณาเฉพาะค่าฮิสโตแกรมตั้งอยู่ในความเป็นจริงที่ว่าต้องทำการกำหนดระยะทางลำดับที่จะทำการจัดที่มีประสิทธิภาพมากพอจึงจะให้ผลการคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างงานวิจัยนี้ เช่น งานวิจัยของ Natale (1986) ใช้การจัดอันดับของฟังก์ชันสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องจำลองที่นำเสนอในพื้นผิวแบบ Brodatz

2.5.2 การวิเคราะห์พื้นผิวแนวทางแบบจำลอง

วิธีการตามแบบจำลอง เป็นการสมมติแบบจำลองสำหรับแต่ละกลุ่มที่ถูกจัดแบ่ง และหาค่าพอดิที่ดีที่สุด (Best fit) ของข้อมูลสำหรับแบบจำลองที่ให้มา การใช้อัลกอริทึมสำหรับสร้างแบบจำลอง ทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันความหนาแน่นเพื่อสะท้อนถึงการกระจายตัวทางพื้นที่ของจุดข้อมูลทั้งหลาย นำไปสู่การกำหนดจำนวนของกลุ่มข้อมูลได้แบบอัตโนมัติ โดยยึดหลักทางสถิติมาตรฐาน และอนุญาตให้นำสิ่งรบกวนเข้ามาใช้ เพื่อให้การจัดกลุ่มมีความแข็งแกร่งมากยิ่งขึ้นด้วย ข้อดีของการดำเนินงานด้วยการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้เป็นแม่แบบในการวิเคราะห์พื้นผิว คือ มีความสมเหตุสมผล และพิสูจน์ได้ภายใต้ปัจจัยการนำเข้า โดยนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ระบบประมวลผลออกมา หรือก็คือสามารถสร้างพื้นผิวที่สามารถจับคู่กับลวดลายที่สังเกตได้ สำหรับเนื้อผ้ามักถูกพิจารณาเป็นลวดลายภาพเชิงซ้อนและถูกกำหนดด้วยแบบจำลองสโตคาสติก (Stochastic คือ แบบจำลองที่ใช้สำหรับการประมาณค่าตัวแปรใด ๆ ที่เป็นตัวแปรแบบสุ่มที่ไม่สามารถใช้สมการทั่วไปในการประมาณได้) หรือดีเทอร์มินิสติก (Deterministic คือ แบบจำลองที่ได้

จากการประมาณเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายใต้กฎเกณฑ์และกำหนดเวลาที่แน่นอน) อย่างไรก็ตาม พื้นผิวจริงของลายผ้ามักถูกผสมด้วยส่วนประกอบสโตคาสติกและดีเทอร์มินิสติก แต่เนื่องจากปัญหาการตรวจจับจุดบกพร่องจัดเป็นปัญหาการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของข้อมูลซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองได้ด้วยกระบวนการสโตคาสติกเพียงอย่างเดียว เพราะลวดลายผ้าเป็นกลุ่มตัวอย่างจากการกระจายค่าความเป็นไปได้ของพารามิเตอร์บนพื้นที่ภาพ (Cohen, 1988) วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยแบบจำลองจึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับภาพสิ่งทอที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวแบบสโตคาสติก (อาจเนื่องมาจากกลุ่มเส้นใยหรือการรบกวน) หรือเหมาะสำหรับเนื้อผ้าแบบสุ่มสำหรับการใช้งานในการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยวิธีการตามแบบจำลองดังกล่าวเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง สามารถสรุปได้ดังนี้

2.5.2.1 สนามการสุ่มแบบเกาส์มาร์คอฟ

แบบจำลองสโตคาสติก แบบ Gauss Markov Random Field (GMRF) ประสบความสำเร็จอย่างดีในการจำลองพื้นผิวธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น Cohen et al. (1991) แสดงการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยแบบจำลอง GMRF ดังกล่าว ซึ่งมีวิธีดำเนินการเริ่มต้นด้วยการสร้างแม่แบบภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่องจากการจำลองด้วย GMRF เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ซึ่งถูกประเมินจากตัวอย่างการฝึกสอน โดยสังเกตได้จากค่าการปรับทิศทางและค่าการสเกล ผู้เขียนได้แยกประเภทบล็อกพื้นผิวแต่ละอันออกเป็นกลุ่มภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง และทำการทดสอบ χ^2 ด้วยการประเมินความเป็นไปได้สูงสุด (MLE) ของพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง GMRF ซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง จากนั้นจึงตัดสินใจความเป็นสิ่งทอบกพร่องหรือไม่ โดยเปรียบเทียบภาพทดสอบกับแบบจำลองแม่แบบที่สร้างขึ้นไว้ดังกล่าว

2.5.2.2 แบบจำลองปัวซอง

แบบจำลองปัวซอง เป็นการพิจารณาความน่าจะเป็นโดยการกำหนดตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง โดยพิจารณาว่าความบกพร่องของสิ่งทอขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เพื่อการทอผ้าซึ่งถูกผลิตในอุตสาหกรรม ดังนั้นความบกพร่องของผ้าทอสามารถสังเกตได้ด้วยลักษณะของวัสดุดังกล่าว ตัวอย่างของวัสดุ คือ เส้นใย หรือวัสดุใยสังเคราะห์ที่ได้มาจากการเป่ายางโพรพิลีนหลอมเหลว และใช้สำหรับกรองอากาศ Brzakovic et al. (1997) สำรวจปัญหาการตรวจจับจุดบกพร่องในพื้นที่ลวดลายแบบสุ่มเหล่านี้ และแสดงให้เห็นว่าค่าความต่างที่ได้ระหว่างการทำนายแบบจำลองทางทฤษฎีและการวัดจริงจากภาพที่ไม่มีจุดบกพร่องมีค่าไม่เกิน 10% ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานทางสถิติระหว่างการวัดค่าความแตกต่างจากภาพจริงและภาพแม่แบบสามารถใช้เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอได้

2.5.2.3 การจัดกลุ่มแบบจำลองพื้นฐาน

วิธีการสร้างแบบจำลองเพื่อจัดกลุ่มภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติกับภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่อง เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเพื่อจัดกลุ่มโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ วิธีการสร้างแบบจำลองสามารถทำได้ด้วยการพิจารณาค่าการกระจายตัวทางสถิติของข้อมูลที่อยู่ในภาพ จุดเด่นของวิธีดังกล่าว คือ มีความยืดหยุ่นมากเนื่องจากไม่ต้องการข้อมูลเพื่อฝึกสอน นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่มสามารถใช้ประมาณการได้เป็นอย่างดีเทียบเท่ากับการเฝ้ามองกระบวนการ (Process monitoring) อย่างไรก็ตาม ยังพบปัญหาในการพิจารณาเพื่อการจัดกลุ่มสำหรับข้อมูลที่มีค่าไม่ชัดเจน เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการจัดกลุ่มเซตข้อมูลภาพ Campbell et al. (1996) ใช้การจัดกลุ่มแบบจำลองพื้นฐานเพื่อตรวจจับจุดบกพร่องในผ้ายีนส์ โดยมุ่งประเมินการมีอยู่ของจุดบกพร่องด้วยเกณฑ์ข้อสนเทศของเบย์ส์ (Bayesian Information Criterion : BIC) โดยมีตัวแปรการทำงานต่าง ๆ มาพิจารณาก่อนการประเมินค่า BIC จากภาพตรวจสอบ ผลทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าของ BIC สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สำหรับการมีจุดบกพร่องของภาพสิ่งทอได้เป็นอย่างดี

2.5.3 การวิเคราะห์พื้นผิวแนวทางสเปกตรัม

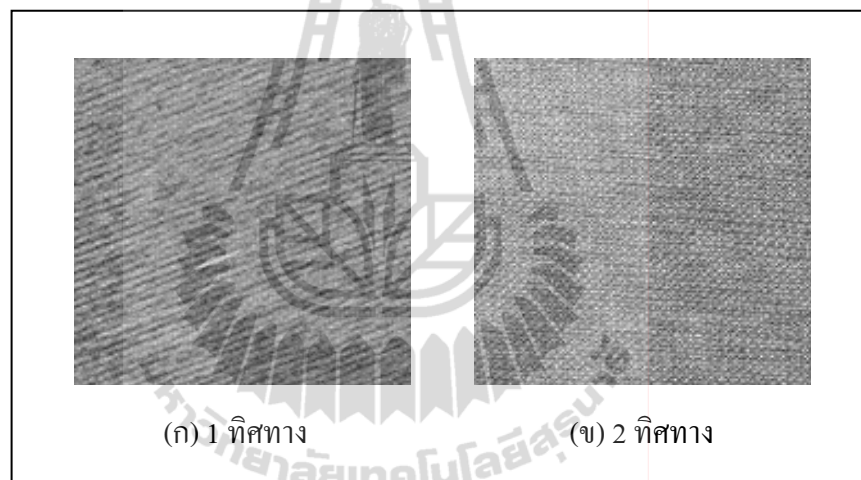
การวิเคราะห์พื้นผิวเพื่อการตรวจจับตามแนวทางสเปกตรัม ในขั้นต้นเทคนิคการแปลงฟูริเยร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เทคนิคดังกล่าวจะพิจารณาภาพในโดเมนเวลา (Spatial domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ ทำให้ช่วยลดเวลาในการคำนวณรวมถึงให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างการใช้งานด้านการตรวจจับจุดบกพร่องของเทคนิคดังกล่าวแบ่งได้เป็น 3 เทคนิค คือ การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง การแปลงฟูริเยร์ออฟดิค และการแปลงฟูริเยร์หน้าต่าง แต่ด้วยข้อจำกัดของการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่ ทำให้รายละเอียดข้อมูลทางเวลาสูญเสียไป ส่งผลให้ไม่สามารถเลือกการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลา หรือเฉพาะช่วงความถี่ใด ๆ ได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นักวิจัยและพัฒนาอัลกอริทึมด้านการตรวจจับจุดบกพร่อง จึงคิดค้นและพัฒนาหาเทคนิคใหม่ที่สามารถรองรับข้อมูลทั้งด้านเวลาและความถี่ เทคนิคการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยการแปลงเวฟเลตและตัวกรองกาบอร์จึงเป็นเทคนิคด้านการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกว่าการพิจารณาตรวจจับจุดบกพร่องด้วยการแปลงฟูริเยร์ เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวให้ข้อมูลทั้งทางเวลาและความถี่ วิธีการเหล่านี้สามารถสรุปได้ ดังนี้

2.5.3.1 การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง

การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform : DFT) มีแนวคิดว่าลักษณะโครงสร้างที่เป็นคาบในอุดมคติ จะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ๆ คือ มีระดับพลังงานสูง มีค่าอิมพัลส์หรือจุดยอด (Peaks) เฉพาะที่สูง และบางจุดยอดจะสอดคล้องกับความถี่มูลฐาน ดังนั้น จุดบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติของโครงสร้างที่เป็นคาบ สามารถสังเกตได้จากความสอดคล้องของค่าสูงสุดเฉพาะที่ในระนาบความถี่ 2 มิติ พิจารณาการแปลงฟูริเยร์แบบ

ไม่ต่อเนื่อง (Chan, C.H. and Pang, G., 2000) ของภาพ $I(x, y)$ ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการที่ (2.1) ตัวอย่างงานวิจัยด้านการตรวจจับจุดบกพร่องที่พิจารณาตามแนวคิดดังกล่าวเช่น งานวิจัยของ Tsai and Heish (1999) นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับจุดบกพร่องจากพื้นผิวที่ระบุทิศทาง (Directional textures) โดยนำ DFT มาใช้ร่วมกับการแปลงฮัฟ (Hough transform) ลักษณะพื้นผิวแสดงดังรูปที่ 2.4

$$F(u, v) = \frac{1}{N^2} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} I(x, y) \exp(-j2\pi(ux + vy) / N) \quad (2.1)$$

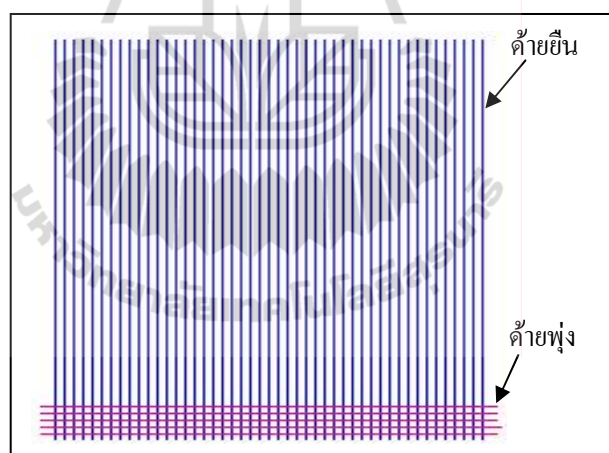


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพพื้นผิวที่ระบุทิศทาง

พื้นผิวที่ระบุทิศทางจะมีโครงสร้างของเส้นที่เป็นรายการซึ่งให้องค์ประกอบความถี่ที่มีพลังงานสูงในภาพที่ผ่านการทำ DFT สามารถตรวจจับได้ด้วยการแปลงฮัฟ และกำหนดค่าองค์ประกอบความถี่นั้นให้เป็นศูนย์ เมื่อทำการแปลง DFT กลับ พื้นผิวที่มีลักษณะและทิศทางเหมือนกันจึงถูกกำจัดออกเหลือเพียงจุดบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติจากภาพต้นแบบ (ถ้ามี) สุดท้ายจุดบกพร่องจะถูกคัดแยกโดยการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจากภาพพื้นผิวที่ไม่มีจุดบกพร่อง หากภาพพื้นผิวดังกล่าวมีองค์ประกอบทางความถี่ที่สัมพันธ์กันระหว่างบริเวณที่เหมือนกันกับบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องมาก จุดบกพร่องจะไม่สามารถตรวจจับได้ จึงเป็นการยากที่จะจัดการองค์ประกอบทางความถี่ให้สัมพันธ์กันเฉพาะบริเวณที่เหมือนกันโดยปราศจากผลกระทบขององค์ประกอบที่สัมพันธ์กับบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องที่อาจสอดคล้องกับบริเวณที่เหมือนกันที่พิจารณาเป็นพื้นผิวได้

2.5.3.2 การแปลงฟูริเยร์ออฟติก

การแปลงฟูริเยร์ออฟติก (Optic Fourier Transform : OFT) เป็นเทคนิคการแปลงฟูริเยร์รูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับ DFT แต่สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ทว่า ต้องการอุปกรณ์เพิ่มเติมนอกเหนือจากกล้อง CCD และตัวกรอง คือ เลนส์ แหล่งกำเนิดแสง (เช่น เครื่องยิงเลเซอร์ ฯลฯ) และเครื่องสะท้อนลำแสง (เช่น กระจกเงา) เนื่องจากการวิเคราะห์รูปแบบการแยกลำแสง โดยพิจารณาพื้นผิวที่ไม่มีจุดบกพร่องเป็นเกรตติง (Grating) 2 มิติ ที่คงที่ การแยกแบบ Fraunhofer ถูกนำมาพิจารณาใช้เมื่อระยะทางระหว่างแสงจากต้นกำเนิดมีการผ่านรูเล็ก ๆ และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และตัวรับวัตถุมีระยะทางไม่จำกัด โดยใช้เลนส์นูนในการแยกดังกล่าว เพื่อเปลี่ยนภาพพื้นผิวที่อนันต์มาเป็นภาพพื้นผิวที่ระนาบโฟกัส วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์ต้องไม่ใหญ่ไปกว่าช่องว่างของด้ายพุ่งและด้ายยืนพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของด้ายพุ่ง (แนวนอน) และด้ายยืน (แนวตั้ง)

นอกจากนี้หากนำไปใช้ในพื้นผิวลักษณะอื่น ๆ ต้องกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมอีกค่อนข้างมาก เพื่อให้ลำแสงมีการสะท้อนกลับได้ดีพอที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์หาจุดบกพร่องบนพื้นผิวในระบบดังกล่าวได้ ส่งผลให้ต้นทุนสูง และต้องการการออกแบบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำแสงที่เหมาะสม ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Fomenko (1977); Ciamberlini et al. (1996); Kim, Lee, and Yoon (1997) เป็นต้น

2.5.3.3 การแปลงฟูริเยร์หน้าต่าง

การตรวจจับจุดบกพร่องด้วย DFT และ OFT เป็นเทคนิคพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับจุดบกพร่องแบบวงกว้าง ซึ่งยังให้ผลไม่เป็นที่พอใจมากนัก เนื่องจากต้องทำการ

หาค่าเฉลี่ยมากมาย เพื่อนำไปประมาณค่าคุณลักษณะของภาพบริเวณกว้าง เทคนิคการแปลงฟูริเยร์แบบหน้าต่าง (WFT) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถจำกัดคุณลักษณะรวมทั้งสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีได้ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ สามารถทำได้ด้วยการพิจารณาแปลงฟูริเยร์ของภาพ $I(x, y)$ ในรูปแบบ DFT และคำนวณในรูปของหน้าต่าง $w(r, c)$ พิจารณาดังสมการที่ (2.2)

$$F_w(u, v) = \frac{1}{N^2} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{N-1} I(x+r, y+c) w(r, c) \exp(-j2\pi(ur + vc) / N) \quad (2.2)$$

โดยที่ u, v คือ ดัชนีความถี่

r, c คือ แถวและคอลัมน์ของภาพขนาด $N \times N$ โดยมีจุดเริ่มต้นที่ (x, y)

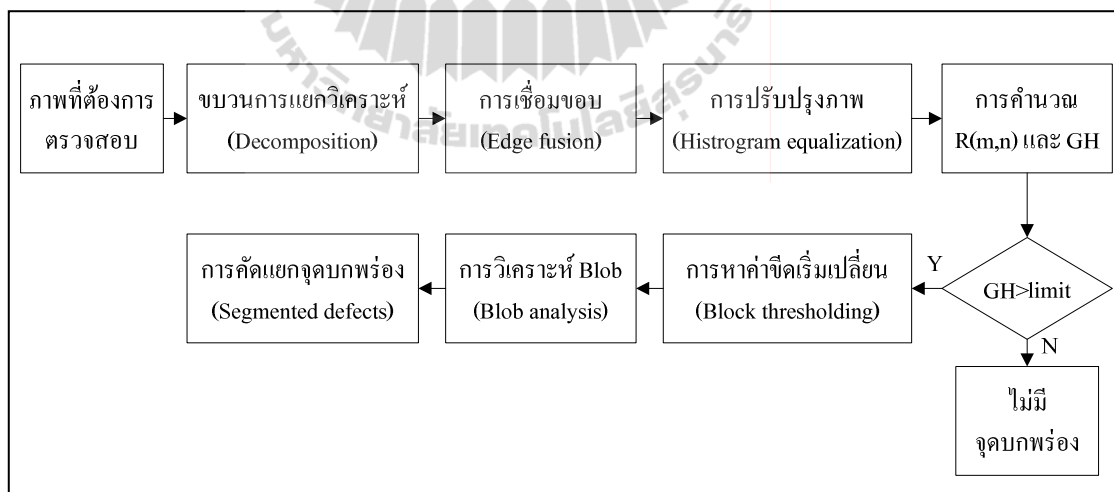
$w(r, c)$ คือ ฟังก์ชันหน้าต่างเพื่อใช้พิจารณาเฉพาะบริเวณที่สนใจ

เห็นได้ว่าเทคนิคดังกล่าวพัฒนามาจากเทคนิค DFT แต่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณจึงพิจารณาการคำนวณเป็นหน้าต่างซึ่งเป็นบริเวณเฉพาะที่ที่สนใจ ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Campbell and Murtagh (1998) พิจารณาการตรวจจับจุดบกพร่องออกจากผ้ายืนส์ด้วยคุณลักษณะที่ได้จากการทำ WFT คุณลักษณะที่เหมือนกันจะถูกกำจัดออก และจุดบกพร่องจะถูกตรวจจับ โดยใช้การทดสอบสมมติฐานบนพื้นฐานตามหลักเกณฑ์ของ Neyman-Pearson (Therrien, 1989) สุดท้ายปฏิบัติการมอร์โฟโลยีแบบการกัดกร่อน (Erosion) ด้วยหน้าต่างขนาด 5×5 จะถูกนำมาใช้เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในรูปสุดท้าย

2.5.3.4 การแปลงเวฟเลต

ทฤษฎีเวฟเลต เริ่มจากแนวคิดเรื่องการปรับมาตราส่วนภาพ และระดับความละเอียดของภาพซึ่งสามารถรับรู้ได้ เนื่องจากการมองเห็นของมนุษย์กับวัตถุในภาพที่ระดับความละเอียดหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างผู้สังเกตกับวัตถุนั้น ๆ ดังนั้น ระดับความละเอียดและการปรับมาตราส่วน หรือการสเกลภาพ จะเกี่ยวข้องกับรายละเอียดที่รับรู้ได้จากผู้สังเกตจึงมีการพิจารณาแนวความคิดเกี่ยวกับการรับรู้ที่ไม่เป็นระเบียบดังกล่าวร่วมกับทฤษฎีการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ความหมายที่ละเอียดมากขึ้น นำไปสู่การแยกภาพที่ต้องการการวิเคราะห์ออกเป็นหลายๆ องค์ประกอบความถี่ที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าความถี่ในการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของจุดภาพ ทิศทางการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ และขนาดของแต่ละความถี่สำหรับภาพหนึ่ง ๆ หรือก็คือรูปแบบหนึ่งของการวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียด (Multi Resolution Analysis : MRA) สามารถวิเคราะห์ได้โดยการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาไปอยู่ในระนาบเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นข้อมูลในลักษณะ 2 มิติ ทำให้สามารถเลือกพิจารณาข้อมูลที่ตำแหน่งเวลา และความถี่ใด ๆ ได้

การตรวจจับจุดบกพร่องด้วยการแปลงเวฟเลต สามารถทำได้โดยการพิจารณาคูณลักษณะของภาพที่ได้จากการแยกองค์ประกอบในทุก ๆ มาตรฐาน และทุก ๆ การเลื่อนตำแหน่ง ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Sari-Sarraf and Goddard (1999) พิจารณารับขนการแยกวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียดโดยใช้อัลกอริทึมการแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นหลาย ๆ มาตรฐาน (Multiscale Wavelet Representation : MSWAR) จำนวนมาตรฐานที่ใช้สำหรับขนการแยกวิเคราะห์ทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ และพิจารณาตัวกรอง ‘Daubechies’ D2 สำหรับใช้งานเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยอัลกอริทึม MSWAR โครงสร้างของกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 2.6 ต่อมา Ngan et al. (2005) นำเสนอการสร้าง Golden Image Subtraction (GIS) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการแปลงเวฟเลตในการตรวจสอบหาความผิดปกติในเนื้อผ้าที่มีลวดลายซ้ำ ๆ กัน ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เริ่มด้วยการนำภาพที่ได้ไปทำการปรับปรุงภาพด้วยฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน จากนั้นจึงนำเข้ากระบวนการ GIS ซึ่งก็คือการนำภาพที่ใช้เป็นภาพมาตรฐานหลักมาทำการหักล้างกับภาพที่ต้องการตรวจสอบ และกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อให้เห็นส่วนผิดปกติชัดเจนขึ้น พร้อมทั้งนำไปผ่านวิธีการทำภาพให้เรียบ ทว่าวิธีการดังกล่าวยังไม่สามารถตรวจสอบลักษณะความผิดปกติที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วย MSWAR (Sari-Sarraf and Goddard, 1999)

2.5.3.5 ตัวกรองกาบอร์

ตัวกรองกาบอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีความนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องไม่ว่าจะเป็นในเนื้อผ้า เนื้อไม้ ภาพถ่ายเอกซเรย์ ฯลฯ เห็นได้จากงานวิจัยด้านการตรวจจับจุดบกพร่องในหลาย ๆ งาน มีการพิจารณาใช้งานอย่างกว้างขวาง

นำไปสู่การพัฒนาเทคนิค อัลกอริทึม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานที่มากขึ้น ตัวอย่างงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Mak et al. (2006) ใช้เครือข่ายกาบอร์เวฟเลต (Gabor Wavelet Networks : GWN) ร่วมกับมอร์โฟโลจิคอลฟิลเตอร์ (Morphological filter) ในการตรวจสอบหาความผิดปกติในเนื้อผ้าจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้เครือข่ายกาบอร์เวฟเลตเพื่อหาคุณลักษณะพื้นผิวภาพสิ่งทอ จากนั้นนำไปหาค่าลักษณะเด่น เมื่อได้ลักษณะเด่นที่ต้องการแล้วนำไปผ่านการประมวลผลภาพมอร์โฟโลยี ด้วยกระบวนการ Linear opening และ Linear closing โดยใช้หน่วยโครงสร้างขนาด 3×3 พิกเซล จากนั้นนำไปผ่านการกรองความถี่แบบมัชฐาน และตัดด้วยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนทำให้ได้ส่วนที่ผิดปกติของสิ่งทอออกมา แต่วิธีการดังกล่าวสามารถหาความผิดปกติบนเนื้อผ้าได้ดีสำหรับความผิดปกติบางประเภทเท่านั้น

จากการปริทัศน์วรรณกรรมที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าการวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติและแบบจำลองพื้นฐาน เป็นกระบวนการวิเคราะห์ซึ่งต้องประกอบด้วยอัลกอริทึม แบบจำลอง และสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนยุ่งยาก การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสเปกตรัม จึงเป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่อง นอกจากนี้ ด้วยรูปแบบการใช้งานที่ง่าย และคุณสมบัติที่โดดเด่นของตัวกรองกาบอร์ สำหรับงานวิจัยนี้จึงพิจารณานำตัวกรองกาบอร์มาใช้เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ ในส่วนวิธีการดำเนินงานจะกล่าวต่อไปในบทที่ 3 โดยพิจารณาค้นหาตัวกรองกาบอร์จากการค้นหาคำตอบด้วย GA และตัดสินความบกพร่องแบบอัตโนมัติวิธีการด้วย 2DPCA

2.6 จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm)

จินเนติกอัลกอริทึม หรือเรียกโดยย่อว่า “GA” (อาทิตย ศรีแก้ว, 2552) เป็นขบวนการค้นหาคำตอบเชิงวิวัฒนาการวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ด้วยโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ GA มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดได้เป็นอย่างดี

GA ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 60 โดยจำลองเอาแนวคิดในการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในระบบชีววิทยามาใช้ในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยการเผยแพร่ของ John Holland (Holland, 1975; Goldberg, 1989; Goldberg, 1994) ในหนังสือชื่อ "Adaptation in Natural and Artificial Systems" ซึ่งตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1975 หลังจากนั้นจึงมีการนำเอา GA ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลายพร้อม ๆ กับการศึกษาและพัฒนาองค์ประกอบของ GA ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น GA จึงถือว่าเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงผสมผสาน (Combinatorial optimization method) แบบปัญหาเชิงคำนวณที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบอย่างชาญฉลาด และลดความยุ่งยากในขั้นตอนต่าง ๆ ของการค้นหา

ลงไป ซึ่งวิธีการค้นหาคำตอบดังกล่าวนี้มีข้อได้เปรียบและมีความแตกต่างไปจากวิธีการดั้งเดิม เช่น การโปรแกรมเชิงเส้น วิธีซิมเพลกซ์ หรือวิธีค้นหาผลเฉลยรูปแบบปิด ปัจจุบันจึงเห็นได้ว่าการนำ GA ไปใช้งานในเกือบจะทุกสาขาวิชา ไม่ว่าจะเป็นด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล การประมวลผลสัญญาณภาพและการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุม การสื่อสารและการโทรคมนาคม อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้ากำลัง คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต การแพทย์ การเงิน การขนส่ง นอกจากนี้ GA ยังถูกนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ระบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic system) ระบบเวฟเลต (Wavelet system) ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network system) เป็นต้น

2.6.1 หลักการทำงานของจินเนติกอัลกอริทึม

การดำเนินการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของ GA เป็นการเลียนแบบกระบวนการทางพันธุกรรมในธรรมชาติ โดยมีหลักการทำงาน ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

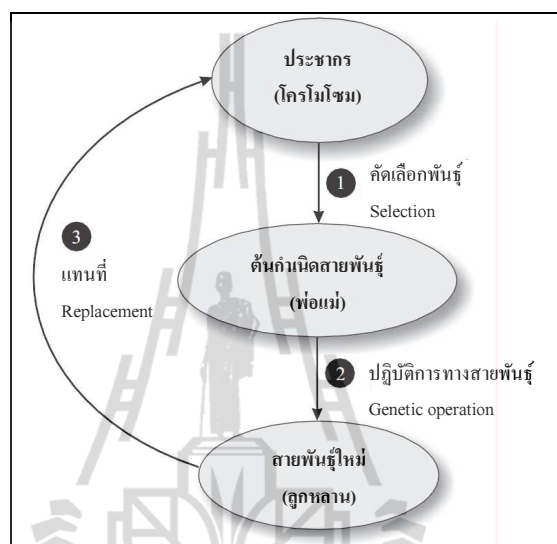
2.6.1.1 การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) คือ ขั้นตอนในการคัดเลือกประชากรที่ดีในระบบจากการสุ่มประชากรเริ่มต้น ไปเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ เพื่อให้กำเนิดลูกหลานรุ่นถัดไป โดยพิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness) เป็นสิ่งสำคัญ

2.6.1.2 ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation) คือ กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์ แบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ การรวมพันธุ์ของต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้ได้ลูกหลานที่มีส่วนผสมผสานมาจากพ่อแม่ (Crossover) และการแปรผกผันของพ่อแม่เพื่อให้ได้ลูกหลานสายพันธุ์ใหม่เกิดขึ้น (Mutation) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับนำพ่อแม่พันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกตามขั้นตอนที่ 1 มาทำการขยายพันธุ์ให้เกิดเป็นโครโมโซมลูกหลานออกมาชุดใหม่ การดำเนินการค้นหาด้วย GA นั้น อาจมีทั้งการทำมิวเทชัน และครอสโอเวอร์ควบคู่ไปด้วยกันอย่างเหมาะสมต่อการแก้ปัญหานั้น

2.6.1.3 การแทนที่ (Replacement) คือ ขั้นตอนการนำเอาโครโมโซมลูกหลานกำเนิดใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมมากไปแทนที่ประชากรเก่าในรุ่นก่อน เพื่อจะดำเนินการปฏิบัติการทางสายพันธุ์ในช่วงอายุต่อไป ขบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เป็นการคัดเลือกกว่าควรจะเอาลูกหลานในกลุ่มใด จำนวนเท่าไร ไปแทนที่ประชากรเก่าในกลุ่มใดนั่นเอง

เมื่อพิจารณาแผนผังวัฏจักรของ GA ดังรูปที่ 2.7 เห็นได้ชัดเจนว่า วัฏจักรของ GA ดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความเหมือนกันระหว่าง GA กับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าจะสามารถอยู่รอดได้ ในขณะที่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ไม่สามารถปรับตัวเองได้ก็จะต้องสูญพันธุ์ไป ซึ่งการปรับตัวดังกล่าวจะทำให้สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ มีวิวัฒนาการเกิดขึ้น กล่าวคือ กระบวนการภายในของ GA ทำให้คำตอบของระบบ

ที่มีอยู่เกิดวิวัฒนาการในตัวเองนำไปสู่การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้ ดังนั้น วัฏจักรของ GA ก็คือ กระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ และการแทนที่นั่นเอง



รูปที่ 2.7 วัฏจักรของ GA (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552)

2.6.2 องค์ประกอบในวัฏจักร GA

2.6.2.2 ประชากร (Population) ประกอบไปด้วยกลุ่มของโครโมโซมซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบในระบบที่ต้องการค้นหา

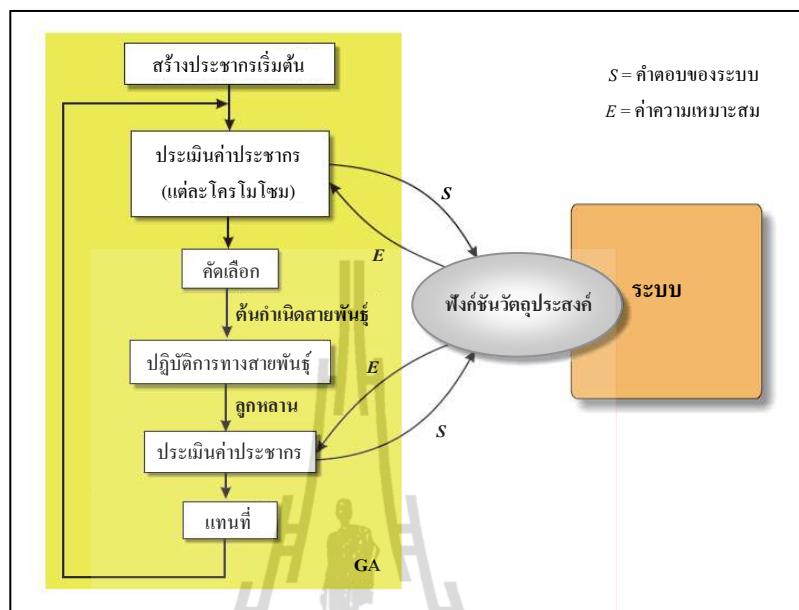
2.6.2.3 ต้นกำเนิดสายพันธุ์ (Parents) กลุ่มประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนในการให้กำเนิดสายพันธุ์ใหม่ในรุ่นถัดไป (Next generation) ประชากรในกลุ่มนี้จะเปรียบเสมือนกับเป็น “พ่อแม่” สำหรับใช้ในการสืบทอดสายพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไป

2.6.2.4 สายพันธุ์ใหม่ หรือ “ลูกหลาน” (Offspring) เป็นประชากรกลุ่มใหม่ที่ได้รับการถ่ายทอดสายพันธุ์มาจากพ่อแม่ โดยคาดหวังที่จะได้รับสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเพื่อถ่ายทอดต่อ ๆ กันในประชากรรุ่นถัดไป

2.6.3 ขั้นตอนการดำเนินการค้นหาด้วยวิธี GA

ขั้นตอนทั่วไปของ GA และการเชื่อมโยงเข้ากับระบบในโลกจริงเพื่อทำการค้นหาคำตอบที่ต้องการ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.8 โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

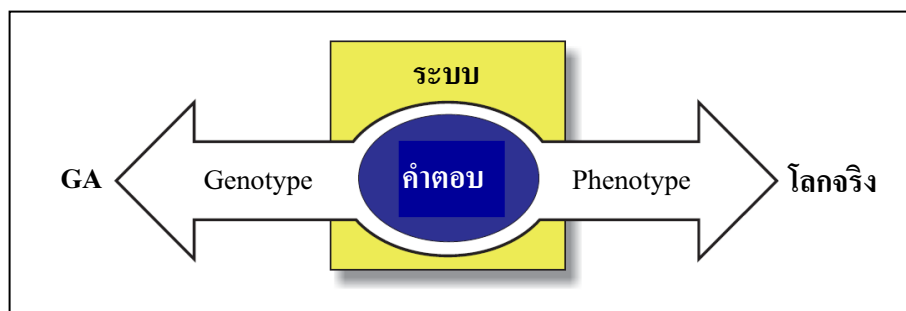
ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากร โดยปกติจะใช้การสุ่ม (Random)



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนทั่วไปของ GA กับการเชื่อมโยงเข้าระบบ (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552)

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรทั้งหมด เพื่อคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่มนำมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ โดยดูค่าความเหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม หรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเนื่องจากระบบจะไม่เข้าใจค่าโครโมโซมภายใน GA โครโมโซมจึงต้องผ่านการถอดรหัสก่อนนำไปคำนวณ พิจารณาดังรูปที่ 2.9 และส่งกลับมาให้ GA ดำเนินการคัดเลือกต้นกำเนิดสายพันธุ์ใหม่ (พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ที่ให้ค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด) เพื่อเป็นตัวแทนการถ่ายทอดสายพันธุ์ให้รุ่นถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 นำต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมาสร้างลูกหลาน ด้วยปฏิบัติการทางสายพันธุ์ เพื่อให้ได้โครโมโซมลูกหลานชุดใหม่



รูปที่ 2.9 คำตอบในมุมมองของ GA และ โลกจริง (อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552)

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบว่าโครโมโซมลูกหลานชุดใดมีค่าความเหมาะสม เพื่อนำไปแทนที่เป็นประชากรเริ่มต้นในรอบต่อไป พิจารณากระบวนการตามขั้นตอนที่ 2 ในการเลือกเพื่อนำไปแทนที่นี้จะพิจารณาทั้งพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ และลูกหลานควบคู่กันไป ถ้าโครโมโซมมีความเหมาะสมมากจะเข้ารอบต่อไป แต่ถ้าโครโมโซมมีความเหมาะสมน้อยจะตัดทิ้ง

ขั้นตอนที่ 5 เริ่มต้นทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 ไปเรื่อย ๆ จนได้ตัวที่อยู่รอดจนการแข่งขันถึงรอบสุดท้าย ซึ่งในที่นี้จะป็นคำตอบที่ดีที่สุด

กล่าวได้ว่า การทำงานของ GA ได้แรงบันดาลใจมาจากกระบวนการวิวัฒนาการของธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นการถ่ายทอดพันธุกรรม มิวเทชัน ครอสโอเวอร์ การคัดเลือก ไปจนถึงการแทนที่ โดยปฏิบัติการทั้งหมดที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของโครโมโซม (หรือจีโนไทป์) ประชากรของ GA ประกอบไปด้วยโครโมโซมจำนวนต่าง ๆ ในแต่ละรุ่นประชากรโครโมโซมจะมีวิวัฒนาการไปในทิศทางที่ดีขึ้น โครโมโซมใหม่ที่ดีกว่าจะถูกนำไปแทนที่โครโมโซมเก่า โครโมโซมที่ผ่านการประเมินที่ดีที่สุดจะอยู่รอด และกลายเป็นคำตอบของระบบ (หรือฟีโนไทป์) ในที่สุด

2.6.4 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation)

โดยปกติแล้วการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะประกอบไปด้วยการคำนวณค่าของ 2 ฟังก์ชัน ดังนี้

2.6.4.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function หรือ Evaluation function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันที่ทำการประเมินคำตอบจากโครโมโซม โดยเทียบกับเป้าหมายของระบบ ในกรณีที่ระบบเป็นปัญหาของการค้นหาค่าต่ำที่สุด โครโมโซมที่เป็นคำตอบของระบบจะมีค่าตัวเลขจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด

2.6.4.2 ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness function)

ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมเป็นฟังก์ชันที่ทำการจับคู่ค่าการประเมินที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไปเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness value) โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยมีค่าเปรียบเทียบกับตนเองภายในกลุ่มประชากร ค่าความเหมาะสมเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือเพื่อตัดสินใจคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้ในการสืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป ฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมจึงเป็นการคำนวณค่าการประเมินของโครโมโซมทั้งหมดเทียบกับโครโมโซมด้วยตัวเอง และทำให้มีค่าที่อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกัน เทคนิคของฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสมมีอยู่หลายแบบ เทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้ เช่น วิธีการกำหนดอย่างเป็นสัดส่วน หรือวิธีการกำหนดบรรทัดฐานเชิงเส้น ฯลฯ

เห็นได้ว่า GA มีขั้นตอนการทำงานโดยเชื่อมโยงเข้ากับระบบในโลกจริง เพื่อทำการค้นหาคำตอบที่ต้องการ โดยที่คำตอบของระบบที่ต้องการให้ GA ค้นหาจะอยู่ในรูปของโครโมโซมในกลุ่มของประชากร ซึ่งระบบสามารถรู้ได้ว่าคำตอบที่มีอยู่ใน GA ณ เวลา

หนึ่ง ๆ นั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร ด้วยการประเมินค่าของโครโมโซม โดยระบบจะมีการเชื่อมต่อกับ GA ผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการสำหรับการใช้ในการประเมินค่าและตัดสินใจ เพื่อหาโครโมโซมที่ดีที่สุดใช้เป็นพ็อพเพชันแม่พันธุ์รุ่นต่อไป

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ (2-Dimensional Principal Component Analysis : 2DPCA) เป็นวิธีการทางสถิติ สามารถนำภาพ 2 มิติ มาคำนวณได้โดยตรง ข้อดี คือ การคำนวณหาค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) จากข้อมูลภาพ สามารถทำได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องแปลงข้อมูลภาพไปเป็นเวกเตอร์หนึ่งมิติเหมือนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ซึ่งมีปัญหาค่อนข้างมากในเรื่องมิติของเวกเตอร์ ส่งผลให้เวลาในการคำนวณหาค่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะหรือไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) มีค่าน้อยลง หลักการคำนวณ คือ เริ่มจากการคำนวณหาเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วมจากภาพฝึกสอนทั้งหมด แล้วทำการหาแกนการฉายที่เหมาะสม โดยคำนวณหาค่าลักษณะเฉพาะหรือค่าไอเกน (Eigenvalues) และเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะซึ่งเป็นค่าองค์ประกอบที่แสดงคุณลักษณะของภาพหนึ่ง ๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบภาพทดสอบกับภาพฝึกสอน โดยกำหนดการให้สัญลักษณ์ (Label) แทนค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากภาพทดสอบตามกระบวนการแยกแยะที่กำหนดไว้ สำหรับการดำเนินการในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดขั้นตอน (Nguyen, Liu, and Venkatesh, 2005) แสดงได้ดังนี้

- คำนวณค่าเฉลี่ยของภาพฝึกสอนซึ่งเป็นภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติ จากนั้นนำไปประมาณค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม G ดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ สมมติให้ตัวอย่างข้อมูลประกอบไปด้วยภาพฝึกสอนจำนวน M ภาพ ขนาด $m \times n$ ดังนั้น จะได้ภาพเมทริกซ์ $A_1, A_2, \dots, A_M$ พิจารณาค่าเฉลี่ยของภาพฝึกสอนทั้งหมดดังสมการ

$$A = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M A_i \quad (2.3)$$

เมื่อ i คือ จำนวนภาพ $1, 2, \dots, M$ และ A คือ ภาพฝึกสอนขนาด $m \times n$

- หาระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพฝึกสอน) และสร้างเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม G :

$$G = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (A_i - A)^T \times (A_i - A) \quad (2.4)$$

- คำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหรือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจำนวน d เวกเตอร์ $X_1, X_2, \dots, X_d$ ที่สมนัยกับค่าไอเกนหรือค่าลักษณะเฉพาะที่ใหญ่ที่สุดของ G จำนวน d ค่า เวกเตอร์ $X_1, X_2, \dots, X_d$ สร้างปริภูมิการฉายย่อยที่มีขนาดเท่ากับ d
- ทำการโปรเจกต์ $A_1, \dots, A_M$ ของเวกเตอร์ $X_1, \dots, X_d$ แต่ละตัว เพื่อให้ได้เวกเตอร์องค์ประกอบหลักดังสมการที่ (2.5) โดยที่ $i = 1, \dots, d$ และ $j = 1, \dots, M$

$$Y_i^j = A_j X_i \quad (2.5)$$

- ทดสอบระบบด้วยภาพสิ่งทดสอบ (B) ที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ โดยทำการคำนวณหาเวกเตอร์องค์ประกอบหลักของภาพใหม่ จากนั้นหาค่าระยะทางยูคลิดีียน (Euclidean distance) ระหว่าง $(Y_1^B, \dots, Y_d^B)$ และ $(Y_1^j, \dots, Y_d^j)$ ดังสมการที่ (2.6) โดยที่ $j = 1, \dots, M$ และใช้ $dist(B, A_j)$ และจุดเริ่มเปลี่ยน θ เพื่อตัดสินใจให้สัญลักษณ์ของภาพทดสอบ

$$dist(B, A_j) = \sum_{i=1}^d \|Y_i^B - Y_i^j\|_2 \quad (2.6)$$

โดยที่ $\|Y_i^B - Y_i^j\|_2$ คือ ค่าระยะยูคลิดีียนระหว่าง Y_i^B และ Y_i^j

Ynag et al. (2004) แสดงให้เห็นว่า เวกเตอร์ $X_1, \dots, X_d$ คือ แกนการฉายที่เหมาะสมที่สุด d ค่า จนกระทั่งเมื่อการฉายได้จำลองบนแกน X_i แต่ละแกนแล้ว การกระจายความแปรปรวนทั้งหมดของภาพที่ถูกฉายจะมีค่ามากที่สุด (ค่าเวกเตอร์ตั้งฉากที่มีค่าสมนัยสูงกับค่าลักษณะเฉพาะที่มีค่าสูงจะเป็นการดึงข้อมูลที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญของภาพ ส่วนเวกเตอร์ตั้งฉากที่สมนัยกับค่าลักษณะเฉพาะต่ำ ๆ จะเป็นการดึงข้อมูลที่มีความถี่สูง ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลสำคัญของภาพ)

2.8 ฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน (Histogram equalization)

เป็นวิธีการปรับคอนทราสต์โดยใช้ฮิสโตแกรมของภาพ ทำได้โดยการกระจายค่าความเข้มที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งได้จากการคำนวณหาความเข้มของจุดนั้น ๆ ใหม่ ทำให้ฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ วิธีการนี้ใช้การกำหนดจำนวนจุดภาพที่เหมาะสมให้กับแต่ละค่า โดยใช้สมการในการคำนวณความเข้มของจุดภาพแต่ละจุด พิจารณาดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)

$$p(x_i) = \frac{n_i}{n}, \quad i \in 0, \dots, L-1 \quad (2.7)$$

$$c(i) = \sum_{j=0}^i p(x_j) \quad (2.8)$$

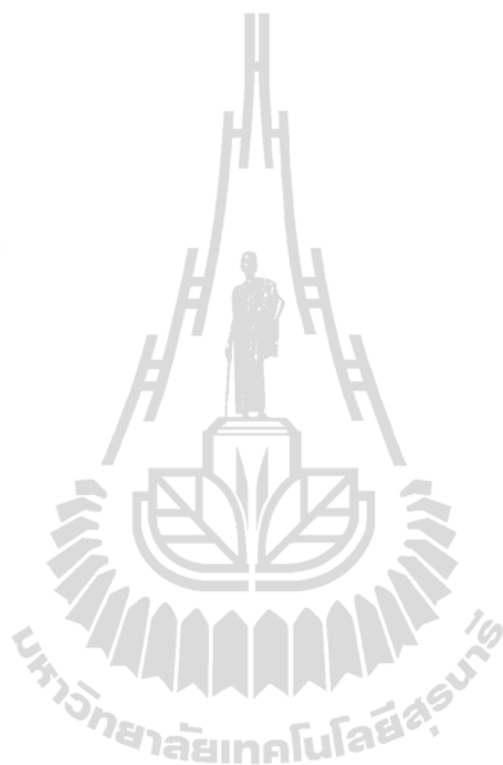
โดย $p(x_i)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นของพิกเซล ในระดับความเข้ม i
 n_i คือ จำนวนจุดที่เกิดขึ้นของภาพที่มีความเข้ม i
 n คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพ
 L คือ จำนวนความเข้มทั้งหมดในภาพ
 $c(i)$ คือ ฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative distribution function)

2.9 สรุป

บทที่ 2 นำเสนอรายงานผลการสืบค้นวรรณกรรมวิจัยย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ดำเนินการจากฐานข้อมูล IEEE IEE Science Direct และอื่น ๆ ซึ่งทำให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระเบียบวิธีที่ผู้วิจัยอื่น ๆ นำมาใช้ ผลการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณณักวิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเทคนิคการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ ส่วนใหญ่เป็นการวิจัยด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพโดยผ่านเทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ด้วยข้อมูลภาพทั้งจากการเก็บตัวอย่างภาพจากฐานข้อมูลภายใต้การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ แสงและเงา ความละเอียด เป็นต้น นอกจากนี้ ในงานด้านการวิเคราะห์พื้นผิวเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องสำหรับกลุ่มวัสดุที่มีสวดลายสม่ำเสมอหรือผ้าทอ โดยทั่วไปมีแนวทางเพื่อการวิเคราะห์ด้วยกันทั้งสิ้น 3 แนวทาง ได้แก่ แนวทางทางสถิติ แบบจำลองพื้นฐาน และสเปกตรัม ซึ่งเทคนิคในการตรวจจับจุดบกพร่องแต่ละแบบ ล้วนมีข้อจำกัดต่าง ๆ กันไป อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อมูลชุดภาพทดสอบ การประเมินสมรรถนะ และการประยุกต์ใช้งานไม่เด่นชัดจนสามารถยืนยันวิธีการที่ดีที่สุดได้

การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสถิติ และแบบจำลองพื้นฐาน เป็นกระบวนการวิเคราะห์ซึ่งต้องประกอบด้วยอัลกอริทึม แบบจำลอง และสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนยุ่งยาก การวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสเปกตรัม จึงเป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึม ในงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะภาพพื้นผิวปกติที่ไม่มีจุดบกพร่องและมีจุดบกพร่อง โดยอาศัยการวิเคราะห์พื้นผิวตามแนวทางสเปกตรัม ยิ่งไปกว่านั้น ด้วยรูปแบบการใช้งานที่ง่าย และคุณสมบัติที่โดดเด่นของตัวกรองกบอร์

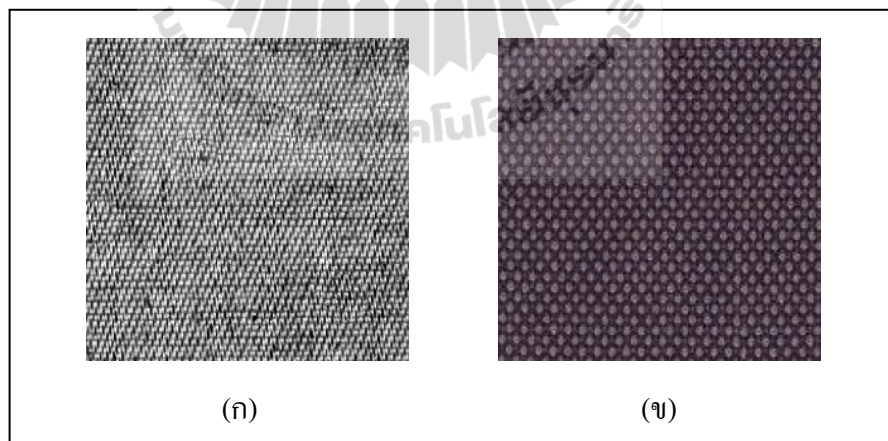
ตัวกรองกบอร์จึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยพิจารณาร่วมกับวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ในการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรองกบอร์ตามโครงสร้างเครือข่ายกบอร์เวฟเล็ต ซึ่งเป็นเทคนิคหลักทำให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะของลายผิวพื้นฐาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดคุณลักษณะเพิ่มขึ้นได้ รายละเอียดจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 3



บทที่ 3

ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติ

ในบทที่ 3 จะนำเสนอกระบวนการดำเนินงานวิจัยเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์แบบอัตโนมัติ โดยดำเนินการบนภาพระดับเทา (Gray level) และมีวิธีดำเนินการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการจำแนกคุณลักษณะของภาพสิ่งทอปกติกับภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องผ่านตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ ตามโครงสร้างเครือข่ายกาบอร์เวฟเลต (GWN) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย GA และขั้นตอนที่สอง คือ การตรวจสอบและตัดสินความมีจุดบกพร่องหรือไม่แบบอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ (2DPCA) สำหรับเงื่อนไขการดำเนินงาน จะดำเนินงานบนภาพสิ่งทอที่มีลักษณะเป็นภาพพื้นผิวสิ่งทอไม่มีลวดลาย (Unpatterned) โครงสร้างพื้นฐานแบบลายทแยงหรือลายสอง (Twill weave) พิจารณาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพถ่ายพื้นผิวสิ่งทอ (ก) ภาพพื้นผิวสิ่งทอไม่มีลวดลายโครงสร้างพื้นฐานแบบลายทแยง (ข) ภาพพื้นผิวสิ่งทอแบบมีลวดลาย

3.1 ตัวกรองกาบอร์ (Gabor filters)

ตัวกรองกาบอร์ถูกนำเสนอขึ้นในปี ค.ศ. 1946 โดยชาวฮังการี ชื่อ Gabor ตัวกรองกาบอร์เป็นเทคนิคการแปลงเวฟเลตรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้วิเคราะห์สัญญาณเพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งทางเวลา

ทางความถี่ ทำให้ทราบว่าความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงอย่างไร และเมื่อใด นั่นคือ วิเคราะห์ว่า ณ สเกล และมุมใด ๆ ขอบและเส้นที่ปรากฏในภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ส่งผลให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติลักษณะพื้นผิวแต่ละพื้นผิวได้เป็นอย่างดี

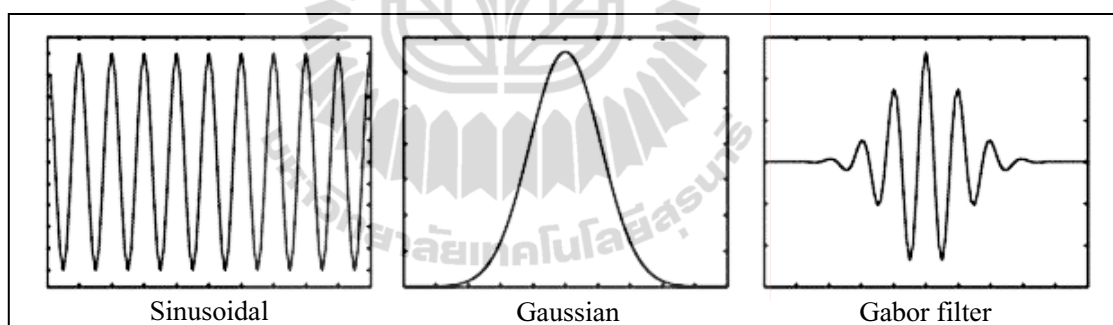
ตัวกรองกาบอร์ มีแนวคิดเริ่มต้นจากการพิจารณาระบบการมองเห็นของมนุษย์ว่าเป็นระบบที่จำแนกพื้นผิวได้อย่างทนทานดีเยี่ยม (Robust) นำไปสู่การตั้งทฤษฎีการเข้าใจพื้นผิวของมนุษย์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนมากมายทั้งข้อมูลด้านจิตวิทยาและประสาทวิทยา ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Campbell and Robson นำเสนอระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นการแยกภาพเรตินาออกเป็น ส่วน ๆ แต่ละส่วนประกอบด้วยย่านความถี่ศูนย์กลาง และโอเรียนเตชันหรือการปรับทิศทางแคบ ๆ แตกต่างกันไป (ระบบการมองเห็นของมนุษย์จึงเป็นปฏิบัติการในรูปแบบการวิเคราะห์ความถี่ เฉพาะที่ที่เกิดบนภาพเรตินาซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันกาบอร์) (Jain and Farrokhnia, 1991) และจากการทดลองทางจิตวิทยาได้เทคนิคนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เทคนิคดังกล่าวคือ การใช้รูปแบบเกรตติงที่แตกต่างกันเป็นสิ่งเร้าให้กับระบบการมองเห็นของมนุษย์ ต่อมา De Valois ทำการทดลองพบผลตอบแทนของเซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐาน (Visual cortex) ของลิงกัง (Macaque Monkey) ที่มีต่อเกรตติงรูปไซน์จะมีความถี่และโอเรียนเตชันแตกต่างกัน โดยมีผลตอบแทนต่อความถี่แคบ ๆ ซึ่งสนับสนุนเทคนิคดังกล่าว (Jain et al., 1991) หลังจากนั้น Kulikowski and Bishop (1981) ทำการทดลองกับแมวโดยวัดผลตอบแทนของเซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐานที่มีต่อสิ่งเร้า อันได้แก่ เส้น (Bars) และขอบ (Edges) ผลการทดลอง พบว่า เซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐานของแมว มีความสามารถในการวิเคราะห์สัญญาณได้ดีทั้งด้านตำแหน่งและความถี่ จึงทดลองนำฟังก์ชันกาบอร์มาใช้แทนสัญญาณผลตอบแทนที่วัดได้ ผลการทดลองสรุปว่าฟังก์ชันกาบอร์มีคุณสมบัติในการแทนสัญญาณผลตอบแทนของเซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐานได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีผลคูณความไม่แน่นอนทางตำแหน่งของสัญญาณ และความไม่แน่นอนทางความถี่มีค่าน้อยที่สุด ฟังก์ชันกาบอร์จึงมีคุณสมบัติเพียงพอในการแทนสัญญาณผลตอบแทนของเซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐาน เนื่องจากการนำเอาทฤษฎีการเข้าใจพื้นผิวและระบบการมองเห็นของมนุษย์มาเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์พื้นผิว โดยมีแบบจำลองการคำนวณที่ถูกพัฒนาขึ้นจากการทดลองทางด้านชีววิทยาและจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องกับระบบการมองเห็นที่มีส่วนใกล้เคียงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

3.1.1 ทฤษฎีตัวกรองกาบอร์

โดยพื้นฐานแล้วข้อมูลภาพสามารถพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง พิจารณาในเชิงเวลาหรือตำแหน่ง (Spatial domain) มองภาพว่าเป็นที่รวมของพิกเซลต่าง ๆ แต่ละพิกเซลมีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นแตกต่างกัน และแบบที่สอง พิจารณาในเชิงความถี่ (Frequency domain) มองภาพว่าเป็นผลรวมของสัญญาณรูปไซน์ที่มีอยู่อย่างไ้ขอบเขตจำกัด กาบอร์สังเกตเห็น

การแสดงผลภาพในรูปแบบเชิงเวลาและความถี่แยกจากกัน กับการพิจารณาภาพในเชิงเวลาและความถี่ร่วมกันจะให้ผลตรงข้ามอย่างยิ่ง เมื่อต้องการความต่อเนื่องของการเชื่อมต่อรูปแบบทางตำแหน่งและความถี่เพื่อให้เห็นการเชื่อมต่อทั้งสองดังกล่าว เมื่อพิจารณาภาพใด ๆ ในรูปแบบความถี่พบว่าความถี่ที่เกิดขึ้นเป็นความถี่เฉพาะที่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งตลอดทั่วทั้งภาพ เมื่อใช้หลักการนี้ภายใต้กรอบของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ทำให้เข้าใจว่าความแตกต่างของลวดลายหรือเนื้อหาภาพจะสอดคล้องกับความแตกต่างของรูปแบบทางความถี่เฉพาะที่ ดังนั้นการจำแนกลวดลายจึงเป็นการแยกภาพเรตินาออกเป็นส่วน ๆ ภายใต้การแสดงให้เห็นการเชื่อมต่อรูปแบบในเชิงเวลาและในระนาบความถี่เข้าด้วยกัน เพื่อค้นหาดินแดนที่มีพื้นผิวแตกต่าง คล้ายคลึง หรือผิดเพี้ยนไปจากเดิม สามารถกระทำได้ด้วยกลุ่มของแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band-pass filter)

ตัวกรองกานอร์เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response Function : IRF) ซึ่งได้จากฟังก์ชันเกาส์เซียนมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ พิจารณาดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวกรองกานอร์ 1 มิติ

ฟังก์ชันกานอร์ 2 มิติ แสดงดังสมการที่ (3.1) จะเห็นว่า โครงสร้างตัวกรองกานอร์ดังกล่าวประกอบไปด้วยฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่ โดยพิจารณาฟังก์ชันคู่ (Even function) จากโคไซน์หรือส่วนจริงและฟังก์ชันคี่ (Odd function) จากไซน์หรือส่วนจินตภาพ พิจารณารูปร่างตัวกรองกานอร์ในโดเมนเวลา ดังรูปที่ 3.3

$$\psi(x', y') = \underbrace{\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right)\right)}_{\text{(ฟังก์ชันเกาส์เซียน)}} \exp(2\pi Fx') \quad (3.1)$$

(สัญญาณรูปคลื่นไซน์)

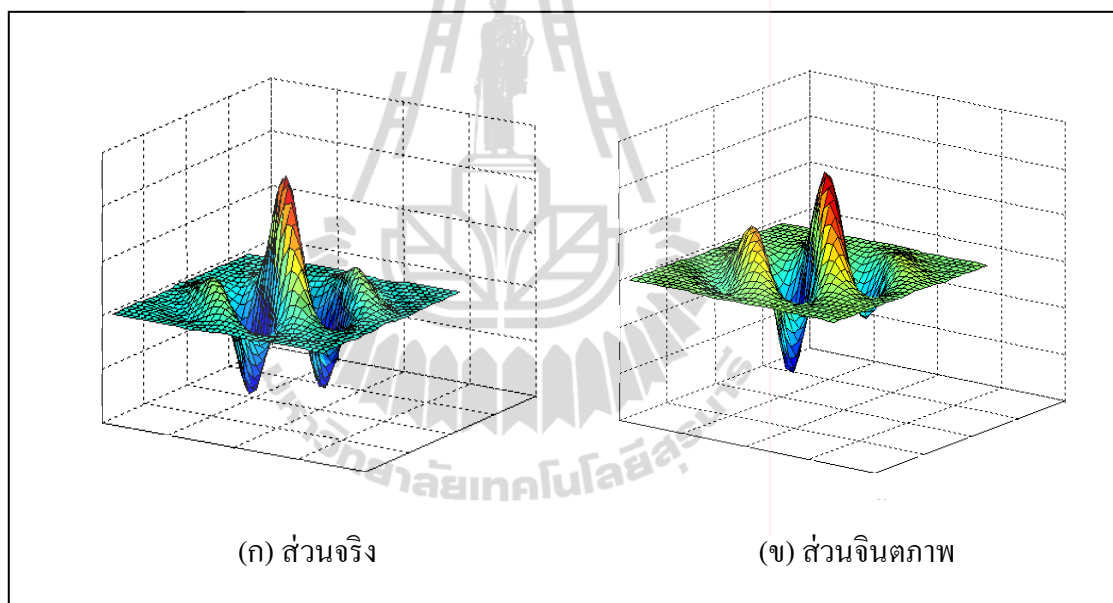
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

โดยที่ (x', y') คือ พิกัด (x, y) ซึ่งถูกหมุนไปด้วยมุม θ

$\psi(x, y)$ คือ คลาสหนึ่งของเวฟเลตแม่ (Mother wavelet)

F คือ ความถี่ศูนย์กลางการมอดูเลต (Central frequency) ของฟังก์ชันกาบอร์

σ_x, σ_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดเกาส์เขียนตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 รูปร่างของตัวกรองกาบอร์ในโดเมนเวลา

คุณสมบัติที่เพียบพร้อมของตัวกรองกาบอร์สำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว หรือลวดลายภาพ (Texture) สามารถสรุปได้ดังนี้ (ณัฐพร เข้มทอง, 2549)

- ตัวกรองกาบอร์เป็นฟังก์ชันที่มีผลคูณระหว่างความไม่แน่นอนทางตำแหน่งและความไม่แน่นอนทางความถี่ที่มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ ตัวกรองกาบอร์สามารถระบุตำแหน่งที่ปรากฏในระนาบทางตำแหน่งและระนาบความถี่พร้อม ๆ กันได้ ทำให้ตัวกรองกาบอร์สามารถออกแบบให้คัดเลือกความถี่ได้สูงในระนาบความถี่ ขณะเดียวกันยังสามารถระบุตำแหน่งในการแสดงได้ดีด้วย

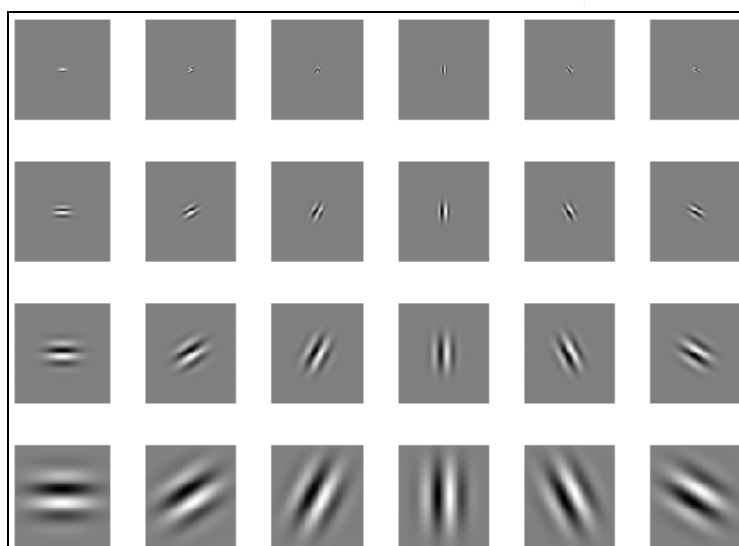
- รูปร่างของตัวกรองกาบอร์คล้ายคลึงกับผลตอบสนองของเซลล์พื้นฐานในระบบการมองเห็นของมนุษย์

- ตัวกรองกาบอร์จัดเป็นแบงค์ฟาสฟิลเตอร์ ทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานเพื่อสกัดเอาย่านความถี่เฉพาะจากภาพได้ โดยคุณสมบัติการคัดเลือกความถี่และทิศทางของตัวกรองกาบอร์นั้นเด่นชัดมากเมื่อพิจารณาในรูปแบบความถี่

3.1.2 ตัวกรองกาบอร์เพื่อการใช้งานในการวิเคราะห์พื้นผิว

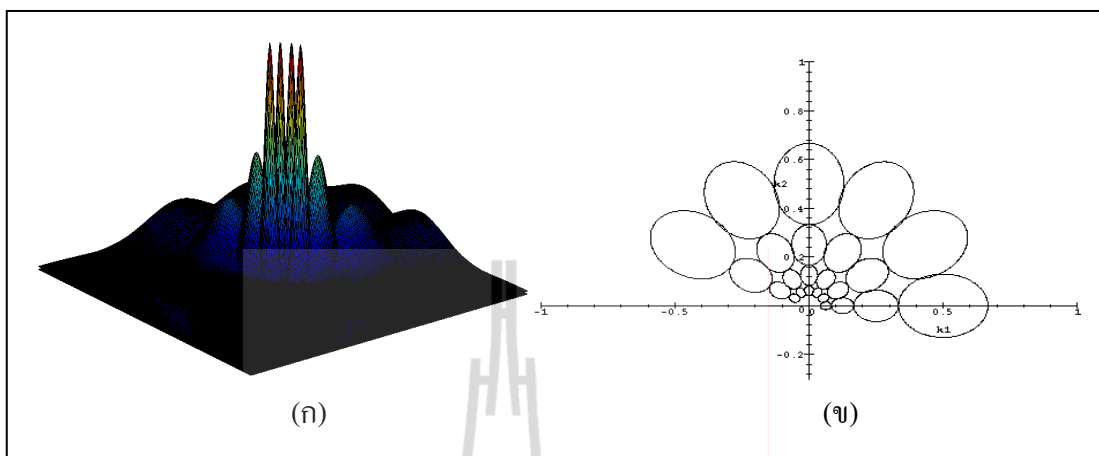
การพิจารณาเลือกตัวกรองกาบอร์เพื่อการใช้งานในการวิเคราะห์พื้นผิวโดยทั่วไปสามารถพิจารณาแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ พิจารณาการตรวจจับด้วยวิธีมีลติชันแนลกาบอร์ฟิลเตอร์ริง และพิจารณาโดยการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรองกาบอร์

3.1.2.1 การพิจารณาใช้งานตัวกรองกาบอร์ด้วยวิธีมีลติชันแนลกาบอร์ฟิลเตอร์ริงหรือวิธีการที่ไม่มีผู้ฝึกสอน (Unsupervised method) สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าการสเกล (M) และการปรับทิศทาง (N) เพื่อสร้างแบงค์แต่ละแบงค์ของตัวกรองกาบอร์ จากนั้นนำแต่ละแบงค์ของตัวกรองกาบอร์ที่ได้ไปทำการคอนโวลูชัน กับภาพพื้นผิวปกติ เพื่อหาตัวกรองที่สามารถให้ค่าคุณลักษณะเพื่อการจำแนกคุณลักษณะพื้นผิวที่สนใจได้ดีที่สุดต่อไป ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ M เท่ากับ 4 และ N เท่ากับ 6 พิจารณาแบงค์ของตัวกรองกาบอร์ (Gabor filter bank) ที่มีองค์ประกอบเป็นส่วนจินตภาพได้ดังรูปที่ 3.4 โดยมีจำนวนฟิลเตอร์แบงค์ทั้งหมด เท่ากับ 24 ตัว ($M \times N$) ที่จะถูกนำไปคำนวณค่าคุณลักษณะเพื่อหาตัวกรองตัวที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดจากทั้งหมด 24 ตัวกรอง พิจารณาความแตกต่างของจำนวนฟิลเตอร์แบงค์เมื่อกำหนดค่าที่แตกต่างกันในโดเมนความถี่ได้ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 รูปร่างที่เป็นองค์ประกอบส่วนจินตภาพของตัวกรองกาบอร์

ในโดเมนเวลา : $m = 1, 2, \dots, 4$ และ $n = 1, 2, \dots, 6$



รูปที่ 3.5 ตัวกรองกาบอร์ในโดเมนความถี่ เมื่อกำหนด (ก) จำนวนฟิลเตอร์เบงก์ 16 ตัว ($M=4$ และ $N=4$) (ข) จำนวนฟิลเตอร์เบงก์ 24 ตัว ($M=4$ และ $N=6$)

เห็นได้ว่าวิธีการใช้งานตัวกรองกาบอร์ดังกล่าว ต้องการการกำหนดค่าการสเกล และการปรับทิศทางที่เหมาะสมเพื่อสร้างกลุ่มตัวกรองกาบอร์ ปัญหา คือ จะกำหนดค่าการสเกล และการปรับทิศทางเท่าไรจึงจะครอบคลุมผลเฉลยหรือคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่ต้องการได้ (ขาดความยืดหยุ่นและยากต่อการใช้งาน) ยิ่งไปกว่านั้นวิธีดังกล่าวยังต้องสร้างข้อมูลประมวลผลมากมายผ่านกลุ่มของตัวกรอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้งาน การรู้จำ และเวลารวมเป็นอย่างมาก

3.1.2.2 การพิจารณาใช้งานโดยการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรองกาบอร์ หรือวิธีการที่มีผู้ฝึกสอน (Supervised method) สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าการสเกล และการปรับทิศทาง วิธีการนี้จะช่วยลดข้อด้อยของวิธีการแรกด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เข้ากับ พื้นหลังของลายผิวที่ต้องการ โดยไม่จำกัดค่าการสเกลและการปรับทิศทาง รวมถึงไม่ต้องคำนวณหา พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากทุกการสเกลและการปรับทิศทาง

ด้วยข้อจำกัดที่ต้องกำหนดค่าสเกลและการปรับทิศทาง ของการพิจารณาตัวกรอง กาบอร์ด้วยวิธีแรก และข้อดีของการพิจารณาเพื่อการใช้งานตัวกรองกาบอร์ที่ไม่ต้องกำหนดค่าการ สเกลและการปรับทิศทางในวิธีหลัง ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกใช้การค้นหาชุดพารามิเตอร์ของ ตัวกรองกาบอร์ ด้วยการพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรองจากการค้นหาคำตอบที่ดี ที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์ หรือ GA อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเพื่อการใช้งานตัวกรองกาบอร์ไม่ว่าด้วยวิธีใดจากทั้งสองวิธีดังกล่าว ต่างก็ต้องการภาพ พื้นผิวปกติ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพิจารณาคุณลักษณะในขั้นตอนแรกก่อนเข้าสู่กระบวนการใน ขั้นตอนต่อไป

3.1.3 การพิจารณาคูณลักษณะของภาพ

ในส่วนของการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่อง สามารถทำได้โดยการพิจารณาคัดเลือกคุณลักษณะของตัวกรองแต่ละตัวเพื่อหาตัวกรองที่ให้คุณลักษณะที่ดีที่สุดจากภาพพื้นผิวปกติหรือภาพพื้นผิวที่ไม่มีจุดบกพร่อง ด้วยการพิจารณาคูณลักษณะของภาพที่ได้ (Hao Liu, 2006) ดังนี้

กำหนดให้ข้อมูลภาพ $T(x, y)$ มีขนาด $P \times Q$ พิจารณาสมการการแปลงกาบอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete gabor wavelet transform) เขียนในรูปการคอนโวลูชันได้ ดังสมการที่ (3.3)

$$G_{mn}^T(x, y) = \sum_s \sum_t T(x-s, y-t) \psi_{mn}(s, t) \quad (3.3)$$

เมื่อ s, t คือ ขนาดของตัวกรองหรือขนาดหน้าต่างที่จะใช้ในการคอนโวลูชัน
 ψ_{mn} คือ ตัวกรองกาบอร์ที่ได้ ดังสมการที่ (3.1) ขนาด $s \times t$
 $G_{mn}^T(x, y)$ คือ ภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์ 24 ตัว (ถ้า $M = 4$ และ $N = 6$)

ขั้นตอนต่อมาทำการหาค่าพลังงานซึ่งเป็นผลรวมของค่า $G_{mn}^T(x, y)$ ที่สเกลและมุมต่าง ๆ ของภาพ

$$E(m, n) = \sum_x \sum_y |G_{mn}^T(x, y)| \quad (3.4)$$

จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ย μ_{mn} และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_{mn} ของผลรวม ดังสมการที่ (3.4) ค่าเหล่านี้จะใช้แทนคุณลักษณะพื้นผิวของรูปภาพ พิจารณาดังสมการที่ (3.5) และ (3.6)

$$\mu_{mn}^T = \frac{E(m, n)}{P \times Q} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{mn}^T = \frac{\sqrt{\sum_x \sum_y (|G_{mn}^T(x, y)| - \mu_{mn})^2}}{P \times Q} \quad (3.6)$$

เมื่อ $m = 1, 2, \dots, M$ และ $n = 1, 2, \dots, N$

3.1.4 การเลือกคุณลักษณะของภาพ (Feature selection)

การเลือกตัวกรองภาพที่เหมาะสมในการตรวจจับจุดบกพร่องของพื้นผิวลักษณะหนึ่ง ๆ จะพิจารณาจากคุณลักษณะของภาพพื้นผิวปกติที่ผ่านการคอนโวลูชันกับตัวกรองภาพ โดยพิจารณาค่า F_{mn}^T จากตัวกรองทุกตัวมาทำการหาตัวกรองตัวที่ดีที่สุดจากตัวกรองทั้งหมด $M \times N$ ตัว พิจารณาสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังสมการที่ (3.7)

$$F_{mn}^T = \frac{\mu_{mn}^T}{\sigma_{mn}^T} \quad (3.7)$$

และพิจารณาตัวกรองตัวที่ดีที่สุดที่จะให้ค่าฟังก์ชัน (Cost function) มากที่สุดได้ ดังสมการที่ (3.8)

$$F_{kl}^T = \max \{ F_{mn}^T \} \quad (3.8)$$

3.1.5 การคัดแยกจุดบกพร่อง (Segmentation)

จุดบกพร่องที่เกิดขึ้น เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉพาะที่ของภาพที่เล็กน้อย ผลที่ได้จะสอดคล้องกับความไม่ต่อเนื่องในระดับเทาของภาพที่ได้ การพิจารณาคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวปกติสามารถทำได้โดยการให้นิยามพิกเซลแต่ละพิกเซล และพิจารณาลักษณะภาพรวมจากการนิยามว่าเป็นจุดบกพร่องหรือไม่ พิจารณาดังสมการต่อไปนี้

$$D(x, y) = \begin{cases} 1 & B(x, y) > \lambda_{\max} \text{ or } B(x, y) < \lambda_{\min} \\ 0 & \lambda_{\min} \leq B(x, y) \leq \lambda_{\max} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\lambda_{\min} = \text{mean} \left(\min_{x, y \in SW} |B(x, y)| \right) \quad (3.10)$$

$$\lambda_{\max} = \text{mean} \left(\max_{x, y \in SW} |B(x, y)| \right) \quad (3.11)$$

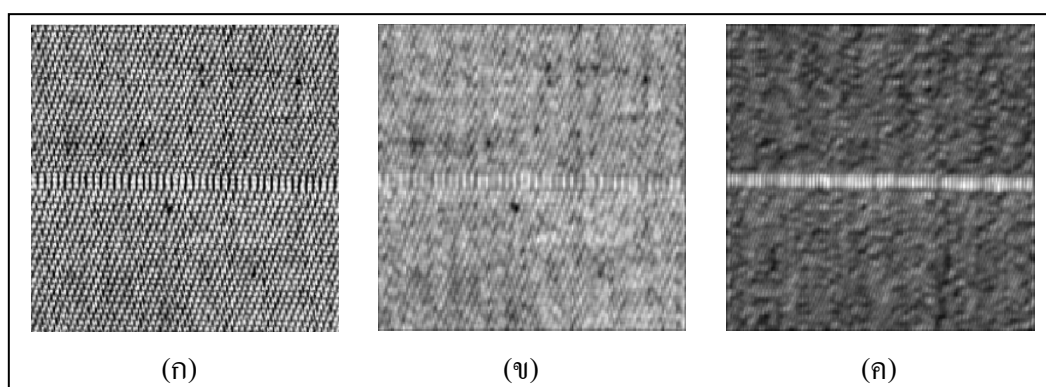
เมื่อ $B(x, y)$ คือ ภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองภาพตัวที่ดีที่สุด

$\lambda_{\max}, \lambda_{\min}$ คือ ค่าเฉลี่ยของระดับเทาที่มากที่สุดและน้อยที่สุดใน SW ตามลำดับ

SW คือ หน้าต่างย่อยในภาพ $B(x, y)$ การเลือกขนาด SW ต้องหลีกเลี่ยงการทำลาย
ขอบภาพ (ภาพย่อย คือ ภาพที่อยู่ในหน้าต่างเกิดจากการเลื่อนหน้าต่าง
(Sliding window) ไปบนภาพที่ต้องการทดสอบ)

3.2 ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ (Applied gabor filters)

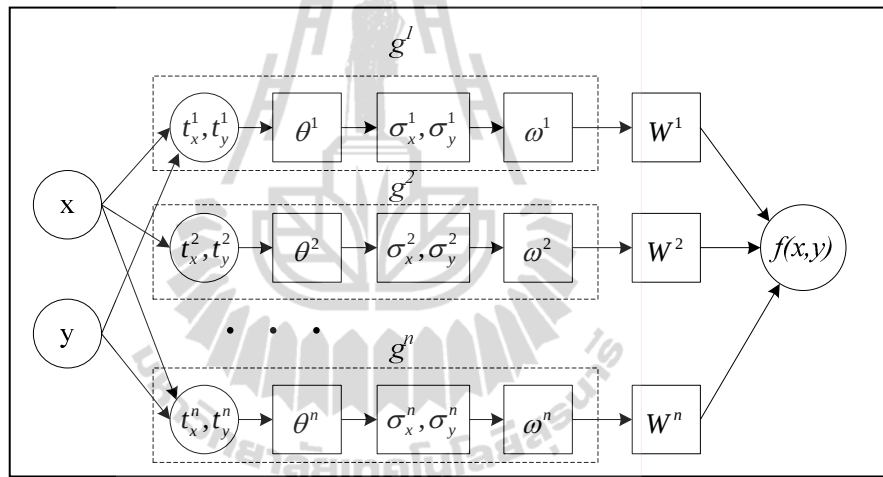
จากความรู้เกี่ยวกับการใช้งานตัวกรองกาบอร์ พบตัวกรองกาบอร์ที่ประกอบไปด้วยฟังก์ชันคู่ และฟังก์ชันคี่สามารถพิจารณาแยกจากกันได้ โดยฟังก์ชันคี่จะถูกพิจารณาใช้งานเพื่อตรวจจับ ขอบภาพ และฟังก์ชันคู่จะถูกนำมาใช้เพื่อการตรวจจับรอยเบี่ยงหรือจุดบกพร่อง แต่ในบางครั้งการ ใช้ฟังก์ชันคู่เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องเพียงอย่างเดียวไม่สามารถพิจารณาตรวจจับจุดบกพร่องบาง ลักษณะได้ ในงานวิจัยนี้ จึงทดลองนำตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคี่ซึ่งใช้ในการพิจารณาตรวจจับ ขอบภาพเข้าร่วม เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของค่าคุณลักษณะของเนื้อผ้าให้สามารถดึง จุดบกพร่องบางลักษณะให้มีลักษณะที่โดดเด่นขึ้น โดยนำภาพสิ่งทอทดสอบมาดำเนินการคอนโวลูชัน กับตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคี่ก่อนเพื่อดึงลักษณะขอบภาพ จากนั้นจึงดำเนินการต่อด้วยการคอนโวลูชัน ตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคู่เพื่อตรวจจับรอยเบี่ยงหรือจุดบกพร่องลักษณะต่าง ๆ โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ พิจารณา คือ $0.01 \leq |FkO - Fk| \leq 1$ กำหนดให้ FkO คือ ค่าคุณลักษณะของภาพสิ่งทอปกติหรือ สิ่งทออ้างอิงที่ไม่มีจุดบกพร่อง และ Fk คือ ค่าคุณลักษณะของภาพสิ่งทอทดสอบซึ่งเป็นภาพสิ่งทอ ทั้งที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง ผลที่ได้พบตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ดังกล่าว ช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพในการดึงลักษณะของจุดบกพร่องบางประเภท ที่ไม่สามารถทำได้แต่เฉพาะการเลือก พิจารณาตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคู่ได้เป็นอย่างดี พิจารณาดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบ (ก) ภาพสิ่งทอทดสอบ (ข) ภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านตัวกรอง กาบอร์ฟังก์ชันคู่ (ค) ภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคี่ ต่อด้วยตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันคู่ (ตัวกรองกาบอร์ประยุกต์)

3.3 เครือข่ายกาบอร์เวฟเล็ต

เครือข่ายกาบอร์เวฟเล็ต (Gabor wavelet network : GWN) ถูกนำเสนอสำหรับการแก้ปัญหาการรู้จำลวดลาย 2 มิติ (Krueger et al., 2000; Mak et al., 2006) ซึ่งถูกสร้างขึ้นด้วยเครือข่ายนิวรอนแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed-Forward Network : FFN) โดยมีฟังก์ชันกาบอร์เวฟเล็ตส่วนจินตภาพเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนเร้นของเครือข่าย โดยในแต่ละกาบอร์เวฟเล็ตจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 5 ตัว คือ พารามิเตอร์การสเกล (t_x, t_y) พารามิเตอร์การปรับทิศทาง (θ) พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดเกาส์เซียน (σ_x, σ_y) พารามิเตอร์ความถี่ศูนย์กลางการมอดูเลต (ω) และค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่าย (w_i) โครงสร้างสถาปัตยกรรมดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 สถาปัตยกรรมของ GWN ที่เป็นการรวมกันของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (FFN)

ฟังก์ชันของตัวกรองกาบอร์จะถูกสร้างขึ้นโดยมีพารามิเตอร์คือ $\{t_x, t_y, \sigma_x, \sigma_y, \theta, \omega\}$ พิจารณาสมการในการสร้างส่วนจินตภาพหรือฟังก์ชันของตัวกรองกาบอร์ได้ดังสมการ (3.12) โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3.13)

$$g_o^i = \exp \left\{ - \frac{\left[(x - t_x^i) \cos \theta^i - (y - t_y^i) \sin \theta^i \right]^2}{2(\sigma_x^i)^2} - \frac{\left[(x - t_x^i) \sin \theta^i + (y - t_y^i) \cos \theta^i \right]^2}{2(\sigma_y^i)^2} \right\} \times \sin \left(2\pi \omega^i \left[(x - t_x^i) \cos \theta^i - (y - t_y^i) \sin \theta^i \right] \right) \quad (3.12)$$

เมื่อ t_x, t_y คือ พารามิเตอร์ในการเลื่อนตำแหน่งของกาบอร์ และพารามิเตอร์ส่วนที่เหลือเป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชันตัวกรองกาบอร์ ดังสมการที่ (3.1), ($\omega = F$)

$$Err = \min \left\| IM - \sum_i w_i g_i \right\|_2^2 \quad (3.13)$$

โดยที่ IM คือ ภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่องที่นำมาใช้ในขั้นตอนฝึกสอนซึ่งต้องเป็นพื้นผิวชนิดเดียวกับภาพทดสอบ

w_i คือ ค่าน้ำหนักประสาที่ไดจากการปรับให้สอดคล้องกับตัวกรองกาบอร์แต่ละตัว

g_i คือ ตัวกรองกาบอร์ที่ดีที่สุดแต่ละตัวที่ถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการการค้นหาคำตอบด้วย GA ในแต่ละรุ่น ดังสมการที่ (3.12)

โดยมีอินพุตเป็นตำแหน่ง $[x, y]$ ป้อนเข้าสู่ระบบให้เอาต์พุตเป็นค่าระดับเทาของพิกเซลแต่ละพิกเซล (Reconstructed image) ด้วยฟังก์ชันต่อไปนี้

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i g_o^i(x, y) \quad (3.14)$$

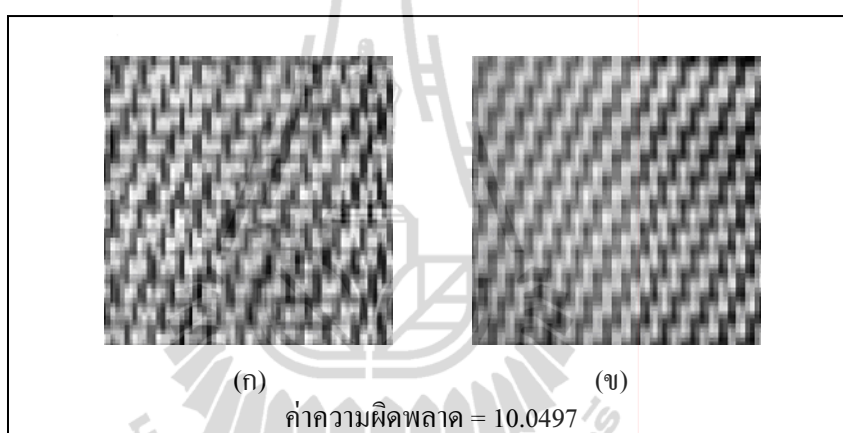
โดยที่ $[x, y]$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลในภาพทดสอบ (IM) ซึ่งมีลักษณะเป็นเวกเตอร์ และ $f(x, y)$ คือ ค่าระดับเทาของพิกเซลนั้น ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นเมทริกซ์

3.4 การออกแบบตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมที่สุด

ในงานวิจัยนี้จะทำการค้นหาตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะพื้นผิวที่ดีที่สุดตามสถาปัตยกรรมรูปที่ 3.7 โดยพิจารณาเลือกใช้การค้นหาคำตอบด้วย GA เนื่องจากมีโครงสร้างของกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนแต่ก็ให้ผลที่มีประสิทธิภาพได้เช่นกัน ทั้งยังเป็นอัลกอริทึมที่มีต้นแบบการพัฒนามาจากสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับตัวกรองกาบอร์ วิธีการดังกล่าวจะพิจารณาค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ตามโครงสร้าง GWN ให้เข้ากับพื้นหลัง หรือก็คือการค้นหาทิศทางและความถี่ของตัวกรองกาบอร์ เพื่อให้ได้ทิศทางและความถี่ที่เหมาะสมที่สามารถแสดงคุณลักษณะที่ดีที่สุดของภาพแบบอัตโนมัติได้

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยใช้ตัวกรองกาบอร์จำนวน 10 ตัว (การเลือกจำนวนตัวกรองกาบอร์พิจารณาจากสมรรถนะของหน่วยประมวลผลและระยะเวลาที่ใช้เพื่อดำเนินการค้นหาที่จะไม่

ส่งผลกระทบต่อระบบ) โดยมีพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ที่ต้องทำการค้นหาจำนวน 7 ตัว คือ $\{t_x, t_y, \sigma_x, \sigma_y, \theta, \omega\}$ นั้นหมายถึง จะมีจำนวนพารามิเตอร์ของตัวกรองที่ GA ต้องทำการค้นหาทั้งสิ้นจำนวน 70 ตัว เพื่อนำไปสร้างภาพกลับขึ้นใหม่ที่ให้ค่าความผิดพลาดจากภาพต้นแบบน้อยที่สุด ดังนั้นจะได้ตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะของภาพที่ดีที่สุดจากกระบวนการ GA จำนวน 10 ตัว เพื่อนำมาตัดสัณคัลเลือกตัวกรองที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดเพียงตัวเดียว ก่อนเข้าสู่กระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องเพื่อตัดสัณคัลความบกพร่องของภาพสิ่งทอด้วย 2DPCA ในขั้นตอนต่อไป พิจารณาผลที่ได้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพต้นแบบและภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ด้วย GWN จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในเครือข่าย โดยมีขนาดหน้ากาของตัวกรองคือ 5×5 พิกเซล ฟังก์ชันที่ภาพขนาด 64×64 ด้วยตัวกรองกาบอร์ 10 ตัว (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ด้วยตัวกรองกาบอร์ 10 ตัว

3.4.1 การออกแบบระบบด้วย GA

การออกแบบ GA เพื่อค้นหาชุดพารามิเตอร์ดังกล่าว มีส่วนที่ GA จะต้องสัมพันธ์กับคำตอบเพื่อให้ได้ภาพที่ต้องการสร้างกลับขึ้นมาใหม่ด้วยฟังก์ชันกาบอร์ $f(x, y)$ 2 ส่วน คือ

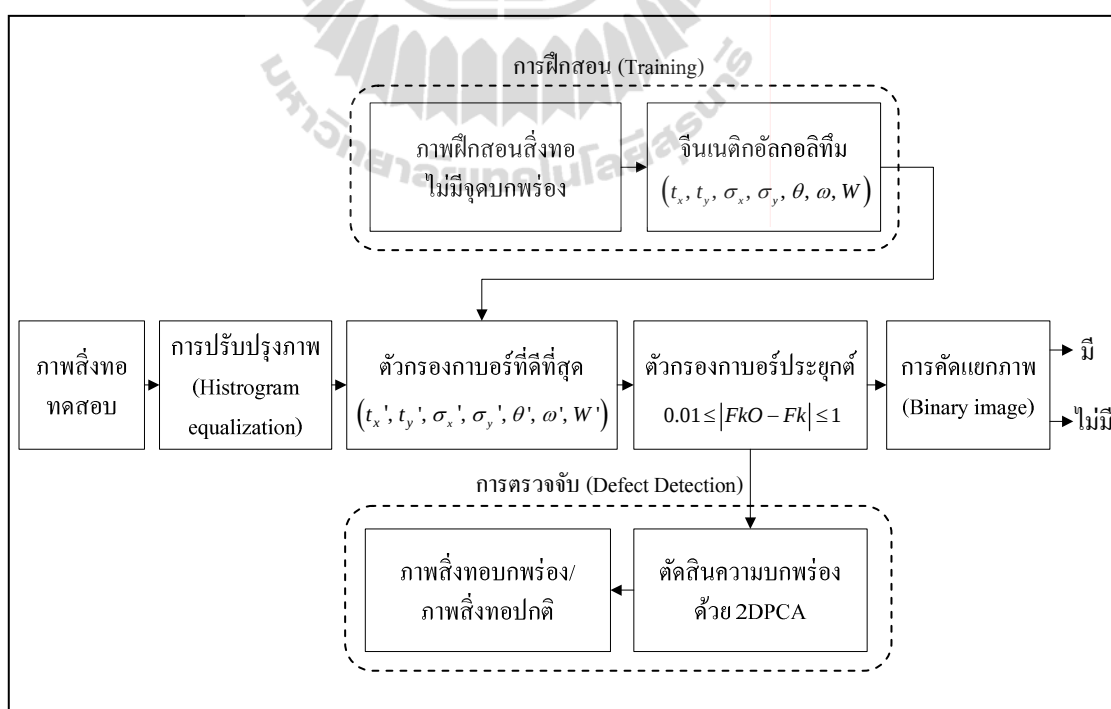
1. **โครโมโซม** คือ ส่วนที่เป็นตัวแทนของคำตอบของระบบ ซึ่งคำตอบในที่นี้ก็คือ ชุดพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ที่ต้องการให้ GA ทำการค้นหา
2. **ฟังก์ชันวัตถุประสงค์** คือ ส่วนที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างขบวนการค้นหาของ GA กับการคำนวณหาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งก็คือ ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างภาพต้นแบบกับภาพสร้างกลับขึ้นมาใหม่ด้วยตัวกรองกาบอร์ โดยการค้นหาของ GA จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3.13) เพื่อตรวจสอบโครโมโซมที่มีอยู่ในระบบ

3.4.2 องค์ประกอบในการค้นหาของ GA ที่ใช้ในการทดสอบ

- การคัดเลือกแบบวิธีจัดอันดับ (Ranking selection)
- การชักตัวอย่างแบบกระบวนการสุ่มครอบคลุมจักรวาล (Stochastic universal sampling)
- การทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวที่ระดับความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.7
- การทำมิวเทชันที่ระดับความน่าจะเป็น $\frac{0.7}{2L+1}$ (ขนาดโครโมโซม = $2L+1$)
- การแทนที่โครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมน้อยที่สุด (แทนที่รุ่นละ 1 โครโมโซม)

3.5 โครงสร้างระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์แบบอัตโนมัติ

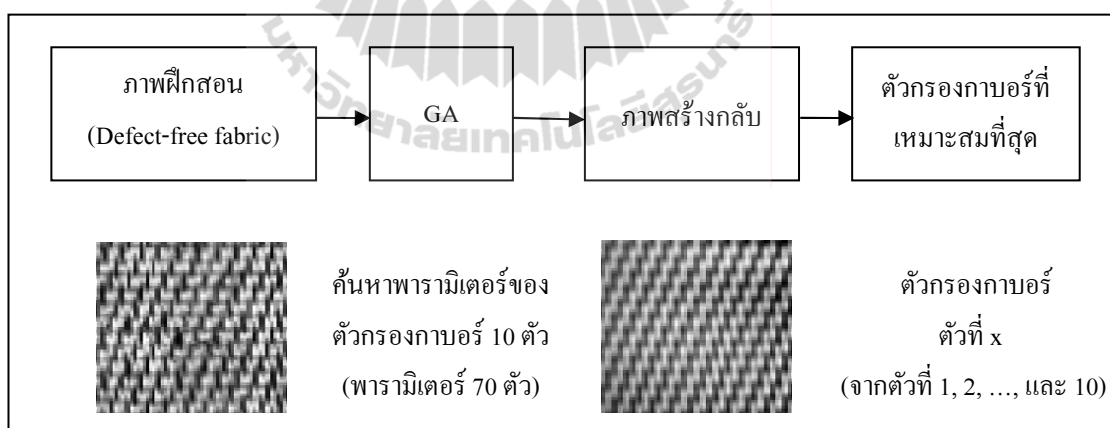
กระบวนการดำเนินการเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องในงานวิจัยนี้ สามารถพิจารณาตามแผนผังโครงสร้างแสดงกระบวนการดำเนินงานทั้งหมด รวมถึงขั้นตอนการตรวจสอบและตัดสินใจแบบอัตโนมัติด้วย 2DPCA ได้ดังรูปที่ 3.9-3.12 ตามลำดับ และสามารถอธิบายกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์แบบอัตโนมัติ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ทั้ง 2 กรณี
(ก่อนและหลังการพิจารณานำ 2DPCA เข้าร่วมกระบวนการตัดสินใจ)
สำหรับภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติที่มีโครงสร้างแบบลายทแยง

3.5.1 ขั้นตอนการฝึกสอน (Training)

เริ่มต้นโดยการพิจารณาชุดพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ที่ถูกสร้างขึ้นตามโครงสร้าง GWN ส่วนจินตภาพ ซึ่งเป็นการแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นหลาย ๆ องค์ประกอบ แล้วพิจารณาแต่ละองค์ประกอบด้วยตัวกรองกาบอร์แต่ละตัว ทำให้ได้ชุดพารามิเตอร์ของตัวกรองแต่ละชุด ในที่นี้พิจารณาใช้ตัวกรอง 10 ตัว โดยใช้ GA เป็นอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบ ดังนั้นจะได้ตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดจำนวน 10 ตัวกรอง โดยพิจารณาจากภาพพื้นผิวที่ไม่มีจุดบกพร่อง จากนั้นจึงทำการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ชุดที่เหมาะสมที่สุดจากชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการค้นหาด้วย GA หรือก็คือการคัดเลือกตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดจากทั้ง 10 ตัวกรอง ให้เหลือเพียงตัวกรองกาบอร์เพียงตัวเดียวเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป โดยในงานวิจัยนี้ดำเนินการคัดเลือกตัวกรองจากการค้นหาคำตอบด้วย GA จำนวนทั้งสิ้น 50 ครั้ง (ขบวนการค้นหาคำตอบด้วย GA ดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ GA เพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวกรองกาบอร์ในงานด้านการสกัดคุณลักษณะได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับโครงข่ายประสาทเทียม (Mak et al., 2006) โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดตัวกรองเป็นร้อยตัวและใช้เวลาน้อยกว่าทว่ายังต้องการระยะเวลาในการค้นหาพอสมควรเช่นเดียวกัน)

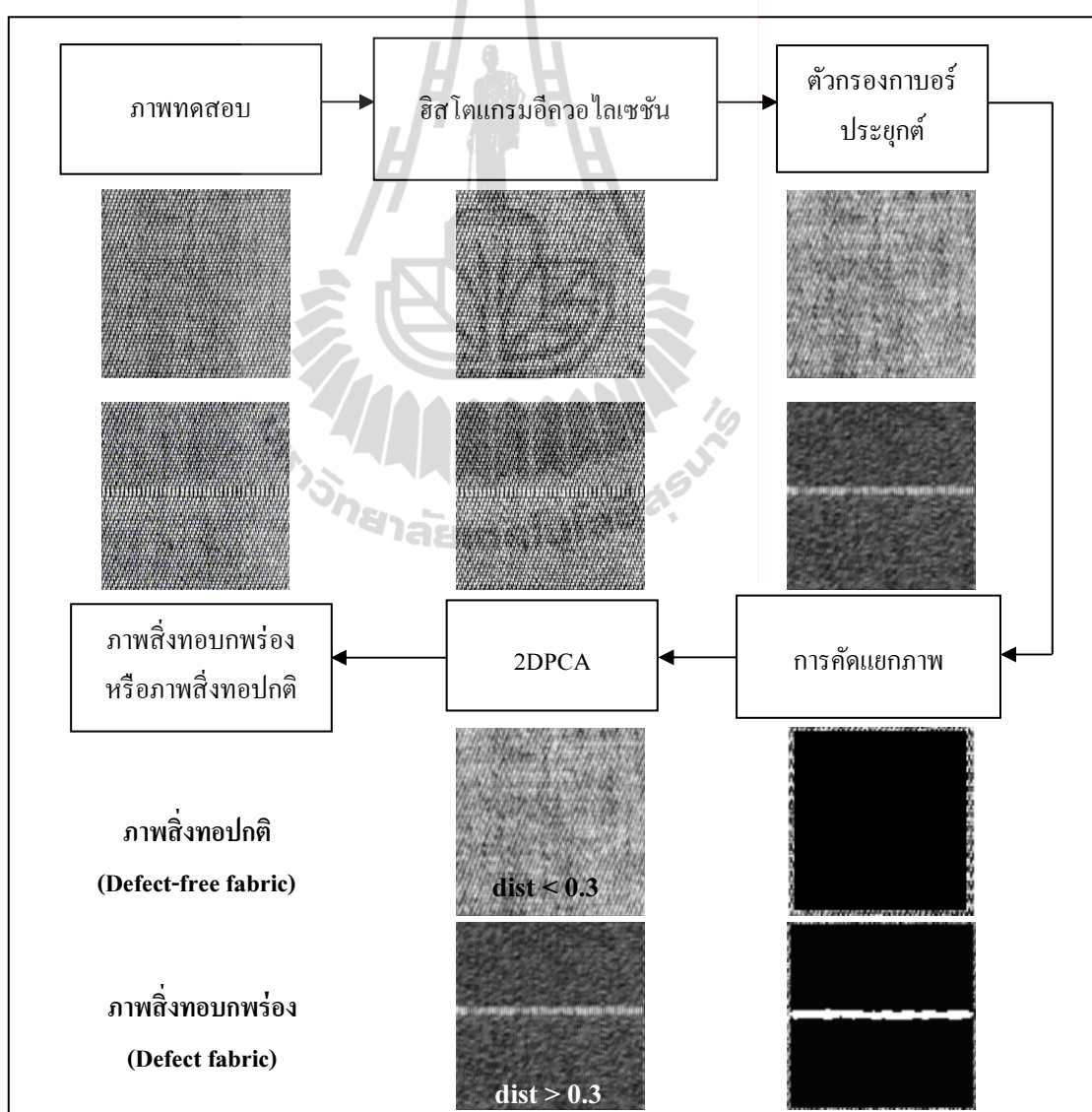


รูปที่ 3.10 โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในขั้นตอนการฝึกสอน

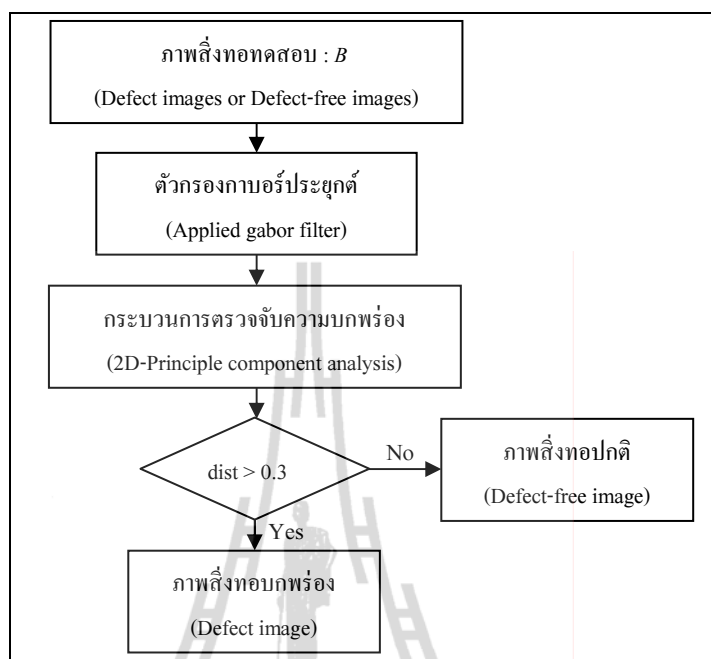
3.5.2 ขั้นตอนการตรวจจับจุดบกพร่อง (Defect detection)

คือ การนำภาพสิ่งทดสอบการคอนโวลูชันกับตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ ที่ถูกสร้างด้วยชุดพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนการฝึกสอน เพื่อทำการคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว โดยทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว และตัดสินความบกพร่องด้วยกระบวนการ 2DPCA ต่อไป พิจารณารายละเอียดได้ดังนี้

- นำภาพทดสอบ (B) มาทำการปรับปรุงภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน
- ทำการคอนโวลูชันกับตัวกรองกabor ที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดเพียงตัวเดียว จากตัวกรองจำนวนทั้งหมด 10 ตัว ที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย GA โดยดำเนินการตามขั้นตอนตัวกรองกabor ประยุกต์ และพิจารณาค่าคุณลักษณะที่ได้ เพื่อใช้ในการตัดสินใจความบกพร่องด้วย 2DPCA (พิจารณาค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้ ซึ่งจากการทดสอบพบ ภาพสิ่งทอที่มีความผิดปกติของพื้นผิวหรือสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องจะมีค่าระยะทางยูคลิเดียนมากกว่า 0.3)



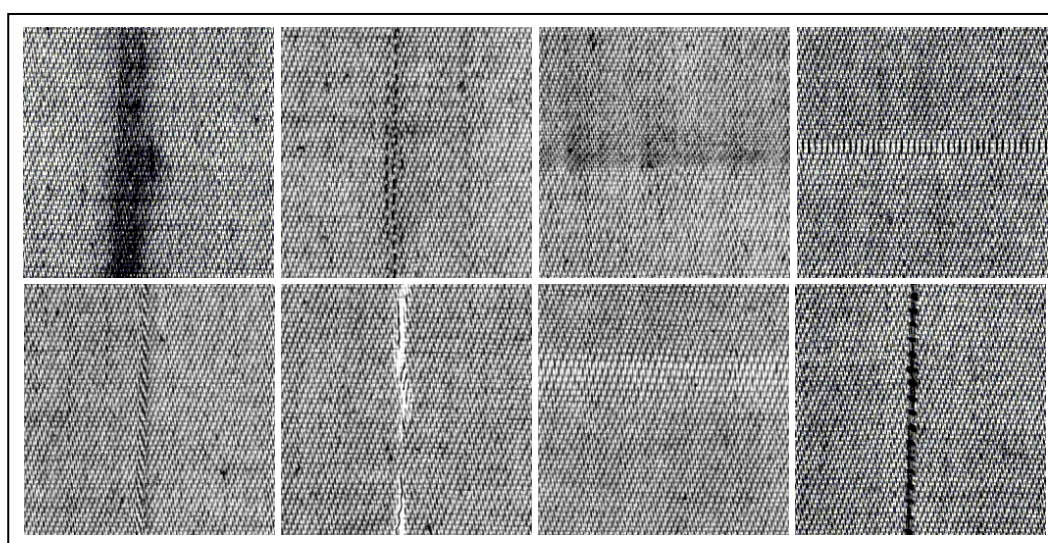
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในขั้นตอนการทดสอบ
กำหนดให้ dist แทนค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้



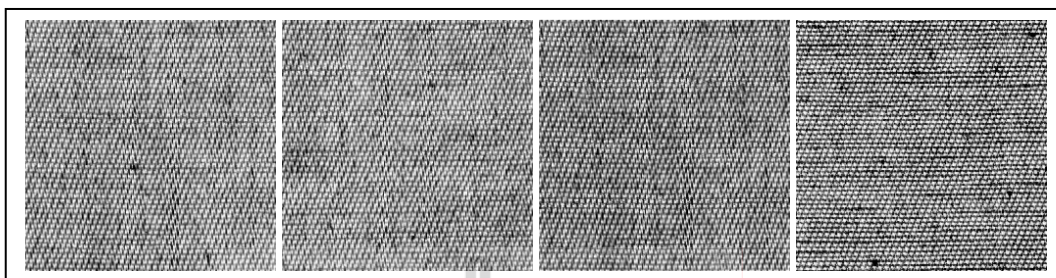
รูปที่ 3.12 โครงสร้างของกระบวนการตัดสินใจเป็นจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วย 2DPCA

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.6.1 ภาพทดสอบ คือ ภาพระดับเทาขนาด 256×256 พิกเซล ของภาพสิ่งทอทั้งที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง



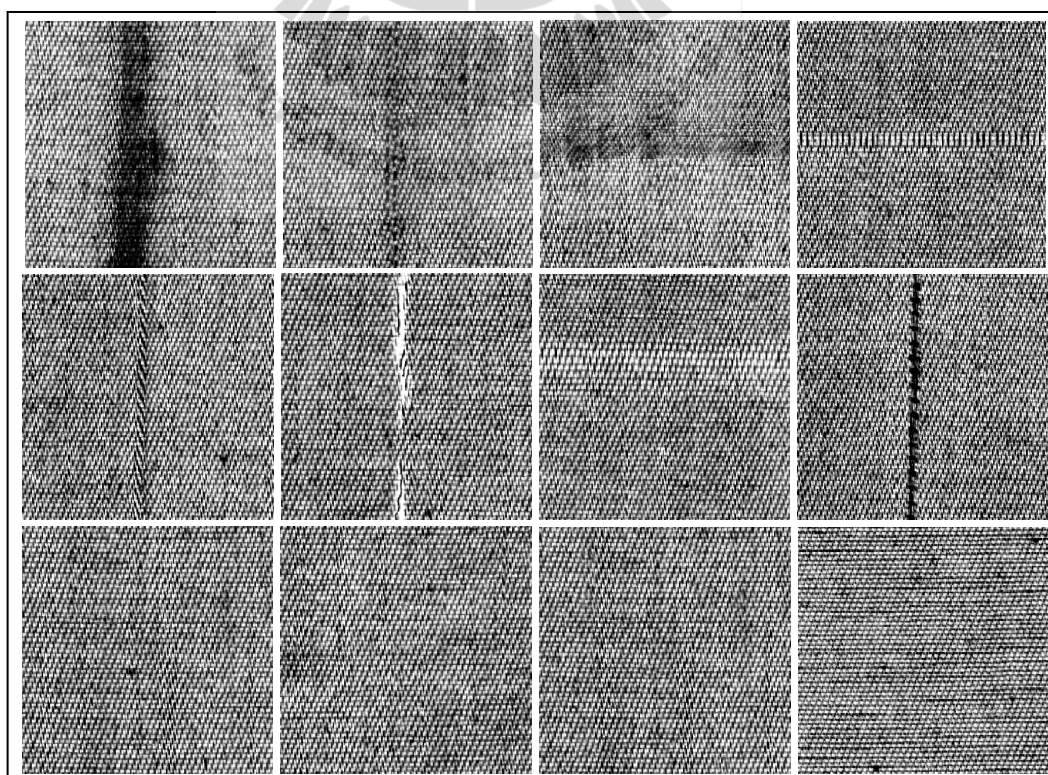
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่มีจุดบกพร่อง 8 ลักษณะ



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่ไม่มีจุดบกพร่อง

รูปที่ 3.13 และ 3.14 แสดงตัวอย่างภาพสิ่งทอบกพร่อง 8 ลักษณะ และภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง ตามลำดับ โดยเป็นภาพผ้าทอโครงสร้างลายทแยงที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการเดียวกัน

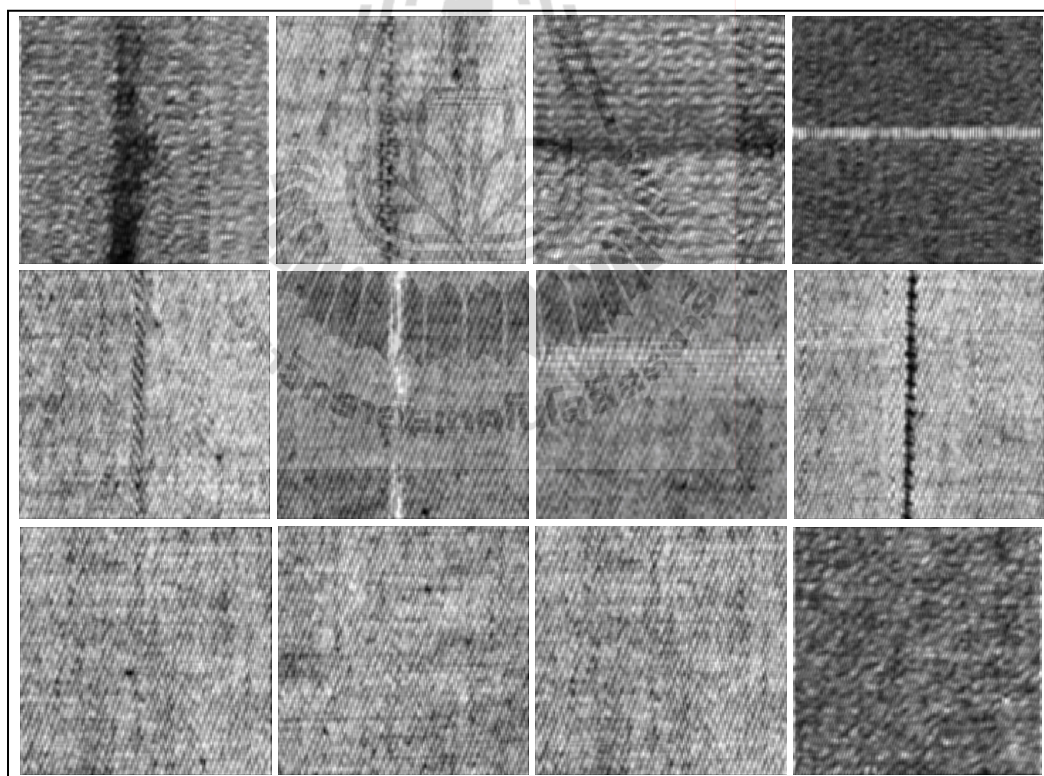
3.6.2 การปรับปรุงภาพเบื้องต้น เป็นการปรับปรุงภาพก่อนพิจารณาเข้าสู่กระบวนการจำแนกคุณลักษณะภาพด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ โดยทำการปรับระดับความเข้มภาพให้กระจายตัวสม่ำเสมอทั้งภาพ ด้วยฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านการปรับปรุงภาพด้วยฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

จากรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมอีควอไลเซชันสามารถช่วยปรับระดับความเข้มภาพให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้ภาพความชัดเจนของลวดลายและจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นได้

3.6.3 การคอนโวลูชันภาพด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ เป็นการพิจารณาภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการคัดแยกและตัดสินใจความบกพร่องของผ้าทอ โดยเป็นการพิจารณาภาพทดสอบผ่านการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองกาบอร์ที่ผ่านการคัดเลือกจากการพิจารณาด้วยค่าคุณลักษณะที่มากที่สุดซึ่งแสดงถึงตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวได้ดีที่สุด โดยเลือกใช้หน้ากากตัวกรองขนาด 5×5 พิกเซล และพิจารณาใช้งานตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เมื่อ $0.01 \leq |FkO - Fk| \leq 1$

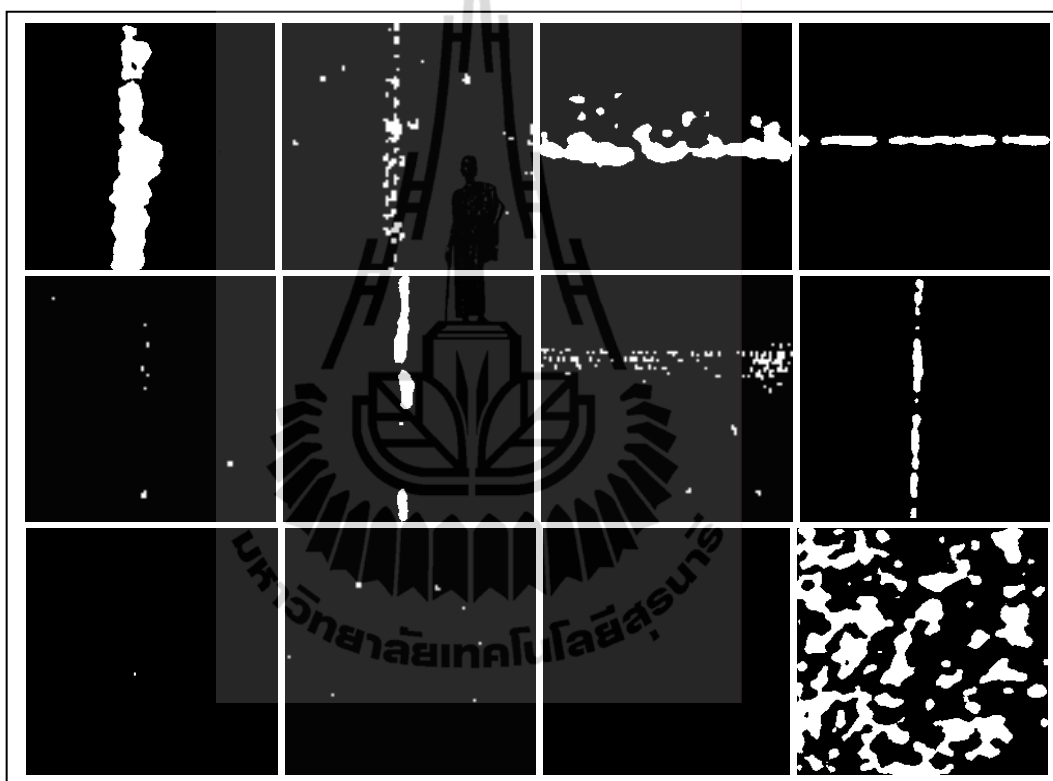


รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์

พิจารณาดังรูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพสิ่งทอทดสอบที่ผ่านตัวกรองกาบอร์และตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการสกัดจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวด้วยตัวกรองกาบอร์และตัวกรองกาบอร์ประยุกต์เป็นอย่างดี โดยจุดบกพร่องที่มักพบการใช้งานตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ คือ จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายสกปรก และการหลวมกันของด้าย

3.6.4 การคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว

การคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิวเป็นการพิจารณาค่าพิกเซลในแต่ละพิกเซลของภาพที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ จากการทดลองพิจารณาตามภาพด้านล่าง พบจุดบกพร่องบางลักษณะไม่สามารถให้ผลการคัดแยกที่ถูกต้องสมบูรณ์ได้ แต่บางลักษณะให้ผลการคัดแยกที่ถูกต้องสมบูรณ์ รวมถึงในบางลักษณะก็ไม่สามารถพิจารณาเพื่อการคัดแยกได้

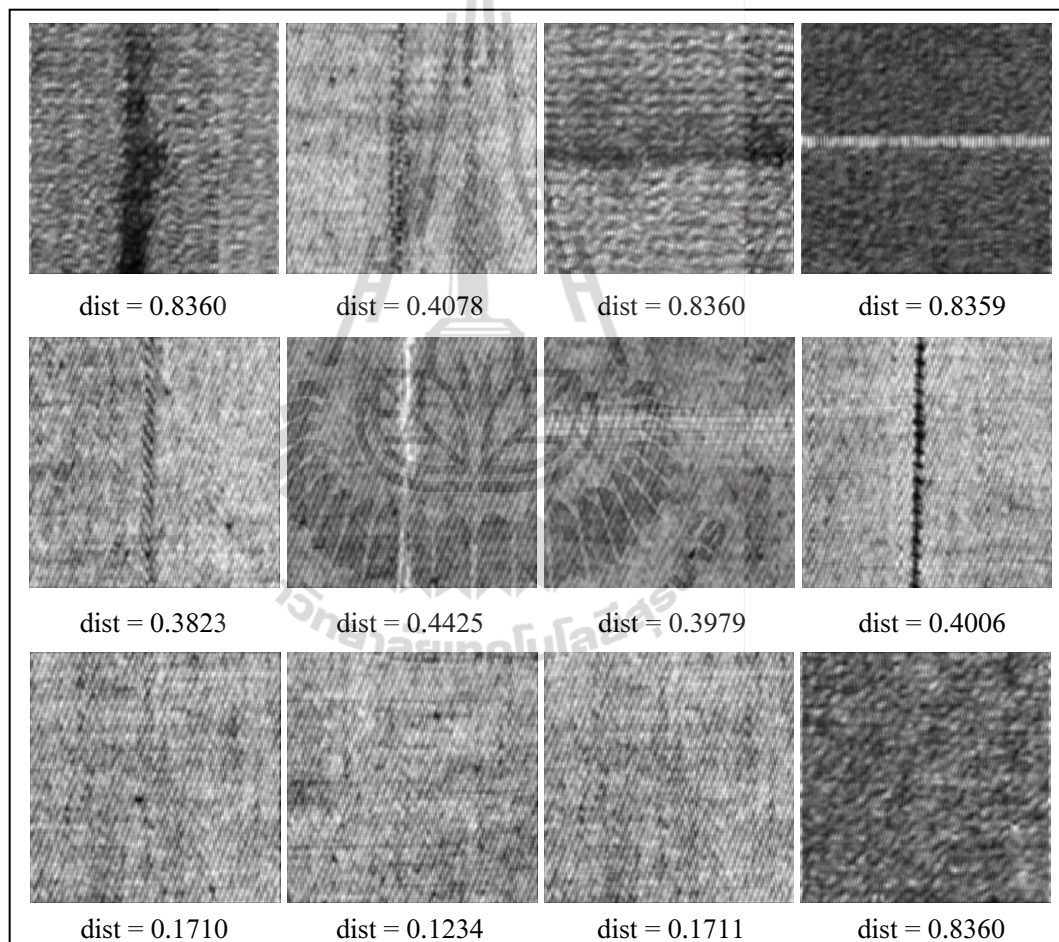


รูปที่ 3.17 ตัวอย่างภาพสิ่งทดสอบที่ผ่านการคัดแยกจุดบกพร่องออกจากพื้นผิว

จากรูปที่ 3.17 แสดงผลการคัดแยกพบการใช้งานตัวกรองกาบอร์ประยุกต์สามารถประสิทธิภาพให้ผลการคัดแยกสำหรับลักษณะจุดบกพร่องแบบเส้นด้ายสกปรก การเหลื่อมกันของด้าย รอยขาดและการทอทับกันของด้าย อย่างไรก็ตามยังพบผลการคัดแยกที่ผิดพลาดอยู่ รายละเอียดในบทที่ 4

3.6.4 การตรวจสอบและตัดสิน

หลักการวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบ 2 มิติ หรือ 2DPCA จะถูกพิจารณาเข้าร่วมกระบวนการตัดสินใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยพิจารณาค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้ หากมีค่ามากกว่า 0.3 ให้เป็นภาพสิ่งทอบกพร่อง พิจารณาดังรูปที่ 3.18 ผลที่ได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบตรวจจับเป็นอย่างดี โดยยังคงมีความผิดพลาดอยู่ 2% รายละเอียดนำเสนอในบทที่ 4



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้จากภาพสิ่งทอทดสอบ

3.7 สรุป

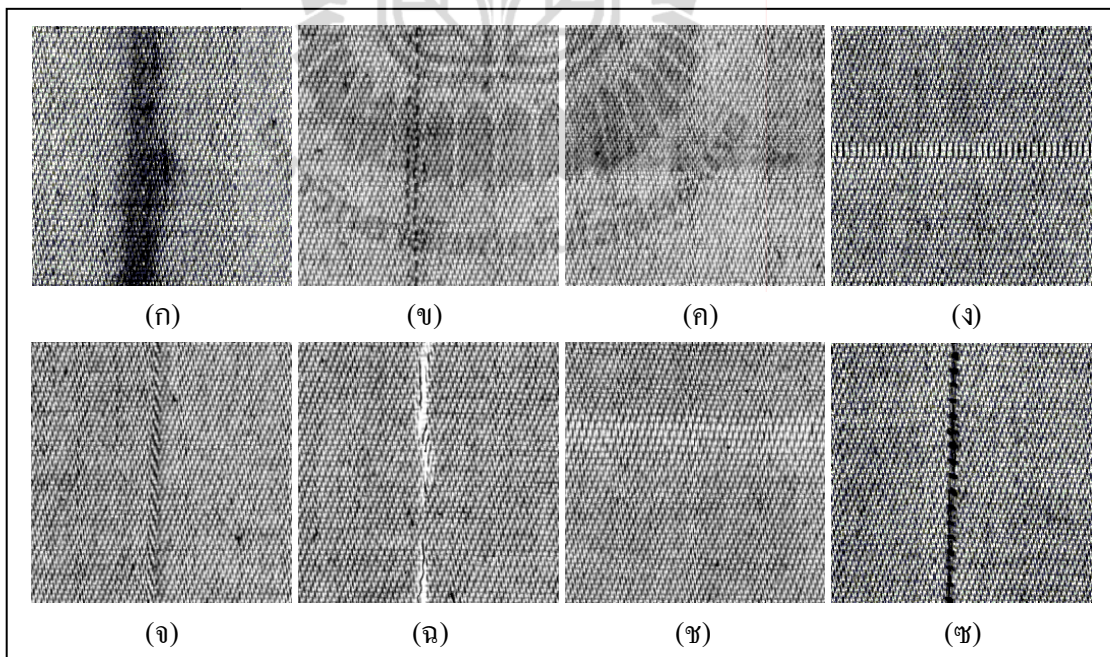
การดำเนินการในงานวิจัยนี้ เป็นการดำเนินการภายใต้กระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติ 2 ขั้นตอน โดยการจำแนกคุณลักษณะพื้นผิวสิ่งทอกับความผิดปกติด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ซึ่งเป็นกระบวนการภายใต้การฝึกสอน และขั้นตอนการตรวจสอบพร้อมตัดสินความบกพร่องของสิ่งทอด้วย 2DPCA โดยพิจารณาค่าการวัดระยะทางแบบยูคลิเดียนเพื่อใช้ในการตัดสินเวกเตอร์น้ำหนักแสดงความเป็นพื้นผิวที่มีจุดบกพร่องหรือไม่

จากการทดสอบพบภาพสิ่งทอทดสอบพื้นผิวปกติจะให้ค่าระยะทางยูคลิเดียนที่น้อยกว่า 0.3 ในทางตรงข้ามค่าระยะทางยูคลิเดียนที่มากกว่า 0.3 จะเป็นภาพสิ่งทอบกพร่อง ดังนั้นระบบจะตัดสินภาพสิ่งทอทดสอบให้เป็นภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องหากมีค่าระยะทางยูคลิเดียนมากกว่า 0.3 สำหรับการค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรองกาบอร์จะทำการค้นหาด้วย GA ซึ่งพิจารณาจากการกำหนดชุดตัวกรองกาบอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพกลับของภาพสิ่งทอปกติที่ให้ค่าความแตกต่างระหว่างภาพสิ่งทอต้นแบบและภาพสิ่งทอสร้างกลับน้อยที่สุด โดยดำเนินการตามโครงสร้าง GWN นอกจากนี้ยังสามารถนำชุดพารามิเตอร์ตัวกรองกาบอร์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว ซึ่งเป็นตัวกรองกาบอร์เพียงตัวเดียวที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุดจากตัวกรองกาบอร์ทั้งหมดที่ได้จากการค้นหาด้วย GA ไปใช้เพื่อการจำแนกจุดบกพร่องต่อไปในทุกลักษณะของจุดบกพร่องบนภาพสิ่งทอพื้นผิวเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ยังคงพบปัญหาเรื่องระยะเวลาในการคำนวณในขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วย GA เพื่อหาตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมกับลายผิวผ้าทอ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณหลายชั่วโมง แต่เมื่อได้คำตอบแล้วสามารถนำคำตอบที่ได้มาใช้ในการตรวจจับจุดบกพร่องได้ภายในเวลาไม่กี่วินาที

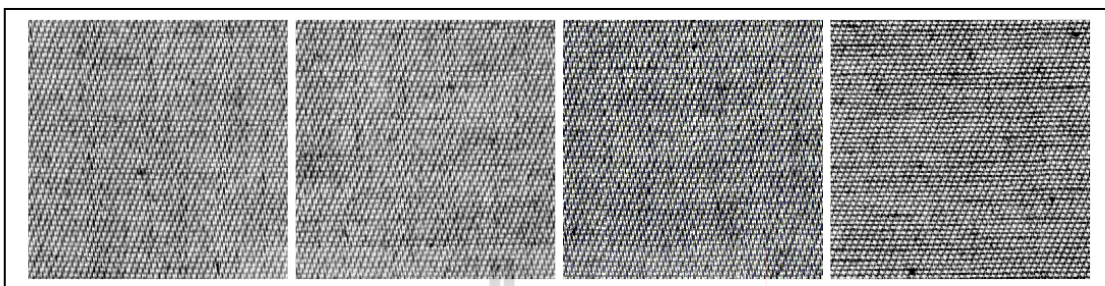
บทที่ 4

ผลทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทที่ 4 นำเสนอผลการทดสอบของระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยตัวกรองภาพออร์ประกอบต์ และตัดสินความเป็นสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติด้วย 2DPCA โดยดำเนินการทดสอบระบบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล จำนวน 50 ภาพ จากฐานข้อมูล Central Textiles Limited, Hong Kong (Lee Tin Chi, 2004) แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ ภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่อง (Defect fabrics) โดยพิจารณาจุดบกพร่องจำนวน 8 ลักษณะ ซึ่งเป็นลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยมาก และภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง (Defect-free fabrics) ตัวอย่างภาพลักษณะจุดบกพร่องทั้ง 8 ลักษณะ และภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติที่ไม่มีจุดบกพร่อง แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



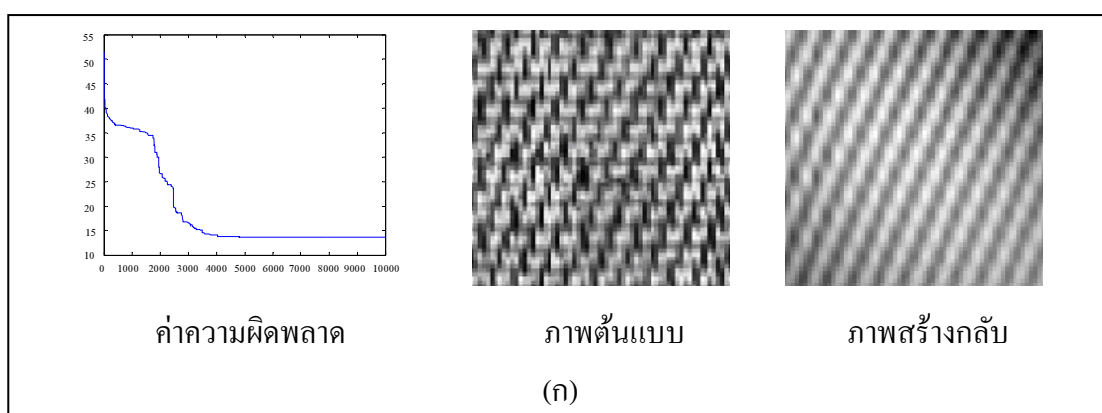
รูปที่ 4.1 ภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่อง 8 ลักษณะ ประกอบด้วย (ก) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายสกปรก (ข) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายหย่อน (ค) จุดบกพร่องแบบแถบหนา (ง) จุดบกพร่องแบบการเหลื่อมกันของด้าย (จ) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายที่ทอผิดแบบ (ฉ) จุดบกพร่องแบบรอยขาด (ช) จุดบกพร่องแบบด้ายบาง และ (ฮ) จุดบกพร่องแบบการทอทับกันของด้าย



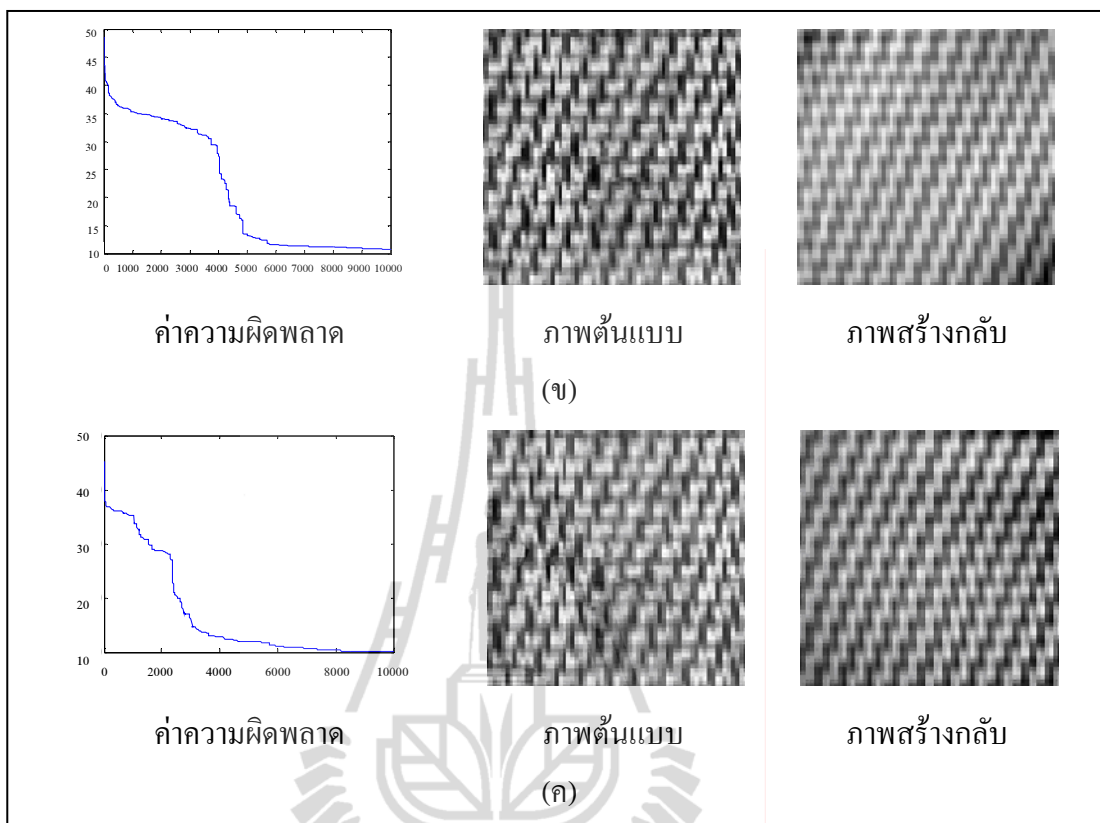
รูปที่ 4.2 ภาพพื้นผิวสิ่งทอปกติที่ไม่มีจุดบกพร่อง

4.1 ผลการทดสอบ

การทดสอบระบบจะดำเนินการแยกเป็น 2 กรณีเปรียบเทียบกัน ได้แก่ กรณีแรก เมื่อระบบตรวจจับจุดบกพร่องถูกพิจารณาด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในการดึงคุณลักษณะของภาพเพื่อให้เห็นความแตกต่างของจุดบกพร่องและพื้นผิวปกติ และตัดสินใจความเป็นภาพสิ่งทอบกพร่องหรือไม่จากผลการคัดแยก และกรณีที่ 2 เมื่อระบบพิจารณานำ 2DPCA เข้าร่วมตัดสินใจภาพสิ่งทอทดสอบซึ่งเป็นการตัดสินใจแบบอัตโนมัติ โดยการกำหนดสัญลักษณ์ให้ตามค่าที่ได้จากการดึงเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ ในที่นี้จะใช้ค่าระยะทางยูคลิเดียนระหว่างภาพสิ่งทอปกติกับภาพสิ่งทอทดสอบเป็นตัวตัดสินใจ จากนั้นจะประเมินผลประสิทธิภาพของระบบด้วย ROC Graphs ผลการค้นหาคำตอบด้วย GA เพื่อหาตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมของภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติหรือภาพฝึกสอนที่ดีที่สุด จำนวน 10 ตัวกรองในแต่ละครั้ง ตัวอย่างผลการค้นหาตัวกรองกาบอร์ด้วย GA และค่าพารามิเตอร์ที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลการค้นหาตัวกรองกาบอร์จำนวน 10 ตัวกรอง จาก GA (ก) ผลการค้นหาคำตอบจาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 13.5815



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลการค้นหาตัวกรองกาบอร์จำนวน 10 ตัวกรอง จาก GA (ข) ผลการค้นหาค่าความผิดพลาด 10.7368 และ (ค) ผลการค้นหาค่าความผิดพลาด 10.0497 (ต่อ)

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 13.5815

กาบอร์ตัวที่	t'_x	t'_y	θ	σ_x	σ_y	ω	W'
1	38	47	-1.5263	11.9941	23.074	14.7575	0.1437
2	0	63	0.5405	60.3894	63.9999	17.4965	0.9188
3	29	8	-1.2458	63.9998	47.8733	3.3358	0.2445
4	36	0	1.8657	11.268	17.4627	7.0945	0.1017
5	23	62	-0.6775	22.7449	23.6117	5.9816	0.075
6	10	30	0.7218	63.9971	63.9968	18.6473	0.023
7	2	29	0.7121	64	63.9983	9.4229	0.0614
8	16	2	-0.9731	63.9889	9.5517	14.8014	0.0102
9	45	51	-1.2091	11.6367	22.314	1.8611	0.14
10	15	31	-2.1848	37.5312	18.7109	5.0857	0.08

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.7368

กาบอร์ตัวที่	t'_x	t'_y	θ	σ_x	σ_y	ω	W'
1	63	2	2.5107	63.9988	63.9991	10.1615	0.0996
2	4	0	-3.038	36.3571	53.5087	29.1466	0.219
3	16	56	2.3084	63.9851	63.4526	23.8947	0.169
4	4	12	1.751	24.9931	5.2364	11.0165	0.1479
5	12	13	-0.9137	63.9627	18.9969	17.6829	0.2058
6	63	63	-1.8283	52.0348	54.1221	19.6447	0.9619
7	4	1	0.8661	63.9972	27.2149	15.3351	0.2564
8	49	56	-0.1628	63.9969	63.9917	7.1578	0.2365
9	16	60	-0.4301	63.9641	14.0141	24.2041	0.0303
10	62	0	2.0883	1.1856	29.5155	26.2425	0.1821

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของตัวกรองกาบอร์ จาก GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.0497

กาบอร์ตัวที่	t'_x	t'_y	θ	σ_x	σ_y	ω	W'
1	42	56	1.9734	36.1916	17.3043	17.6801	0.0516
2	47	61	-2.3707	64	64	12.4569	0.1572
3	1	3	2.8195	51.9741	63.9923	6.3224	0.9638
4	12	59	-3.0749	40.3774	9.493	10.153	0.0525
5	29	63	2.7989	63.8728	63.9985	17.8427	0.1118
6	34	62	1.9378	63.994	63.2574	13.7555	0.2866
7	34	12	2.6944	63.914	63.9676	5.477	0.0263
8	0	63	-3.0309	8.9421	39.285	18.0926	0.7856
9	36	37	1.6276	18.2536	13.68	1.1651	0.1624
10	45	19	-2.5846	33.0856	23.3291	1.366	0.0104

4.1.1 ผลการคัดเลือกตัวกรอง

การเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของตัวกรองกาบอร์ จากจำนวนทั้งหมด 10 ชุดตัวกรอง จะพิจารณาจากค่าคุณลักษณะของภาพที่มากที่สุดผ่านการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์ฟังก์ชันนี้ซึ่งได้จากระบวนการค้นหาคำตอบด้วย GA ดังสมการที่ (3.7) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4-4.6 โดยมีตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุด ดังสมการ (3.8) ตัวกรองกาบอร์ที่ถูกเลือกนำมาใช้งานในกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องของงานวิจัยนี้ คือตัวกรองกาบอร์ตัวที่ 8 จาก

การค้นหาค่าด้วย GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.0497 ซึ่งเป็นตัวกรองกาบอร์ที่ให้ค่าคุณลักษณะที่มากที่สุด (พิจารณาเลือกใช้ขนาด หน้ากาก 5×5)

ตารางที่ 4.4 ค่าคุณลักษณะของตัวกรองกาบอร์จากการค้นหาค่าด้วย GA ที่ค่าความผิดพลาด 13.5815

กาบอร์ตัวที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_k	1.512	10.847	1.612	2.876	1.534	5.665	2.039	1.665	1.515	1.523

ตารางที่ 4.5 ค่าคุณลักษณะของตัวกรองกาบอร์จากการค้นหาค่าด้วย GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.7368

กาบอร์ตัวที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_k	2.172	10.870	3.564	1.673	2.144	10.846	3.958	1.564	9.075	1.788

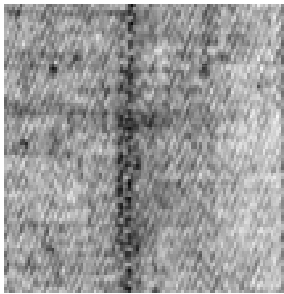
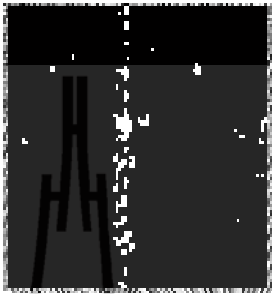
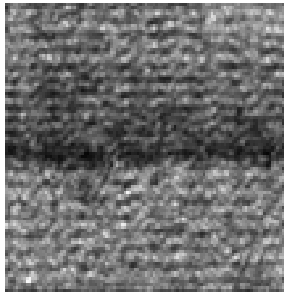
ตารางที่ 4.6 ค่าคุณลักษณะของตัวกรองกาบอร์จากการค้นหาค่าด้วย GA ที่ค่าความผิดพลาด 10.0497

กาบอร์ตัวที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_k	1.737	4.235	10.847	1.691	2.156	1.600	6.00	11.019	1.643	1.734

4.1.2 ผลการคัดแยกและค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้

ดำเนินการทดสอบระบบด้วยภาพสิ่งทอระดับเทา ขนาด 256×256 พิกเซล ทั้งที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง โดยพิจารณาจากภาพสิ่งทอที่ผ่านการคอนโวลูชันกับตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้รับการคัดเลือก (ตัวกรองกาบอร์ตัวที่ 8 จากการค้นหาค่าด้วย GA ซึ่งให้ค่าคุณลักษณะที่มากที่สุด) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 แถวบน คือ ตัวอย่างภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง แถวล่างถัดไปเป็นจุดบกพร่อง 8 ลักษณะประกอบด้วย จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายสกปรก เส้นด้ายหย่อน แฉกหนา การเลื่อมกันของด้าย เส้นด้ายที่ทอผิดแบบรอยขาด ด้ายบาง และการทอทับกันของด้าย ตามลำดับ โดยทำการตัดสินใจให้ภาพนั้นมีจุดบกพร่องหากมีค่าระยะทางยูคลิเดียนมากกว่า 0.3 ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.3 พื้นผิวดังกล่าวจะเป็นพื้นผิวผ้าทอปกติที่ไม่มีจุดบกพร่อง

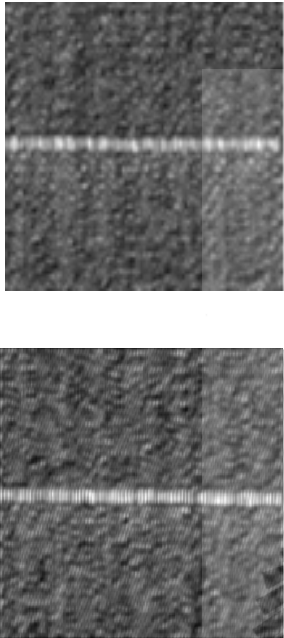
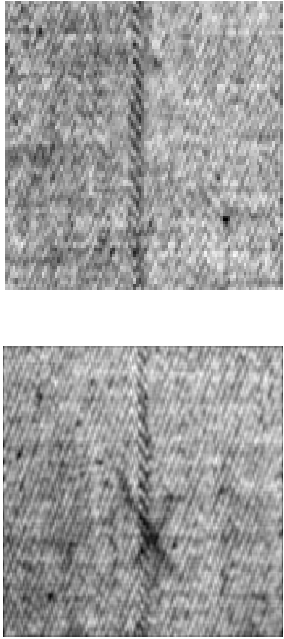
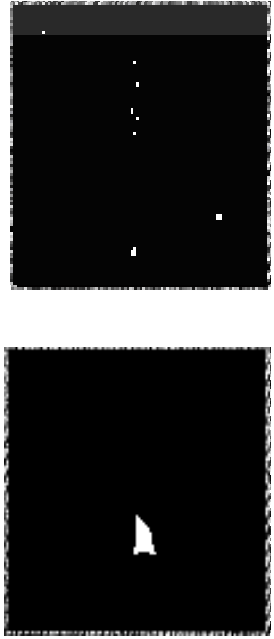
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล (ต่อ)

ภาพกาบอร์	ภาพตัดแยก	ค่าระยะทางยูคลิดีเนียน
 	 	dist = 0.4078 dist = 0.3751
 	 	dist = 0.8360 dist = 0.3944

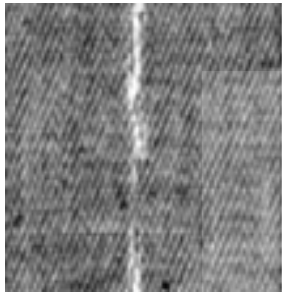
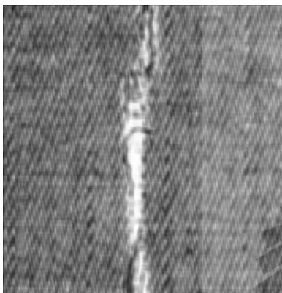
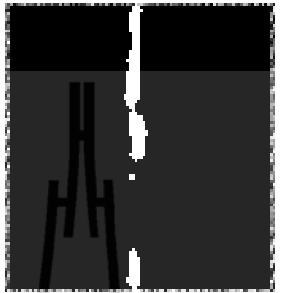
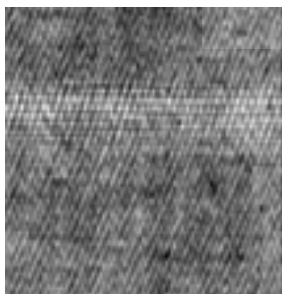
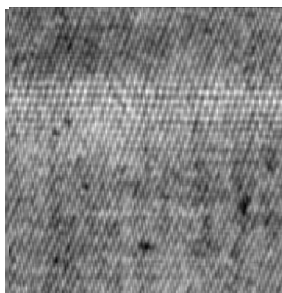
(ค) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายหย่อน (Slack End)

(ง) จุดบกพร่องแบบแถบหนา (Thick bar)

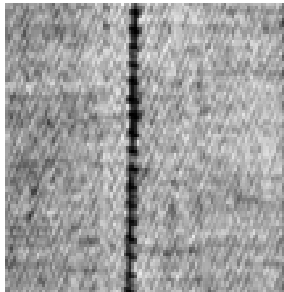
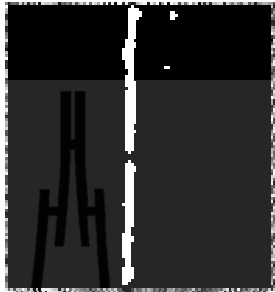
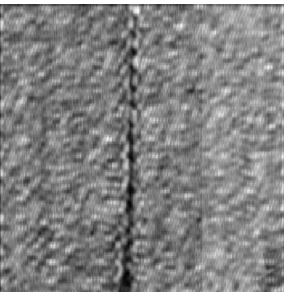
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล (ต่อ)

ภาพกาบอร์	ภาพคัตแยก	ค่าระยะทางยูคลิดีเนียน
 (จ) จุดบกพร่องแบบการเหลื่อมกันของด้าย (Mispick)		dist = 0.8359 dist = 0.8359
 (ฉ) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายที่ทอผิดแบบ (Wrong draw)		dist = 0.3823 dist = 0.3856

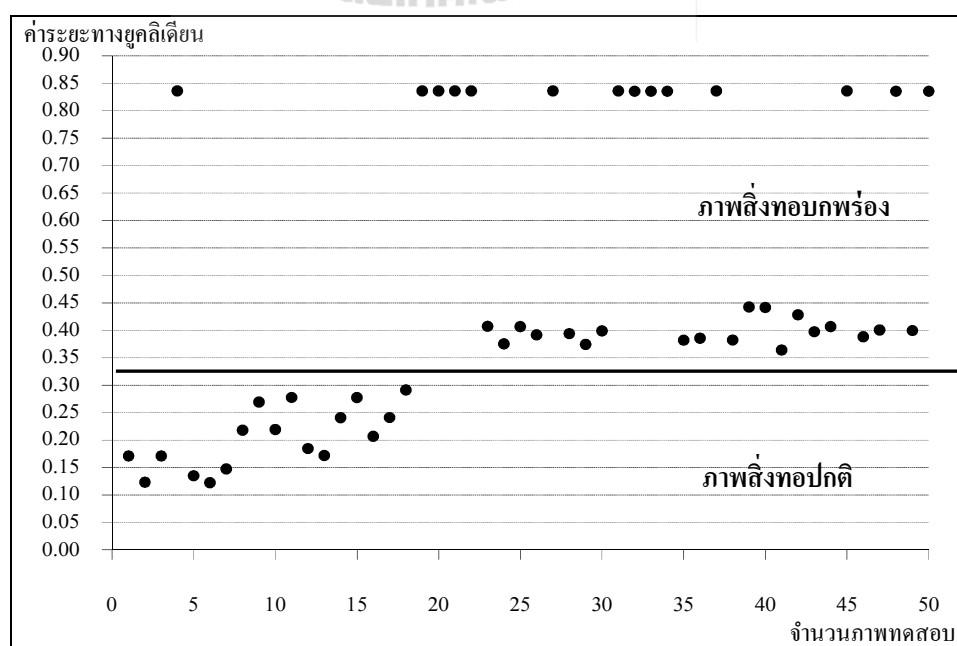
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล (ต่อ)

ภาพภาพจริง	ภาพตัดแยก	ค่าระยะทางยูคลิดีเนียน
 	 	dist = 0.4425 dist = 0.4415
(ซ) จุดบกพร่องแบบรอยขาด (Tear defect)		
 	 	dist = 0.3979 dist = 0.4066
(ช) จุดบกพร่องแบบค้ำยบาง (Thin bar)		

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างผลการทดสอบด้วยภาพขนาด 256×256 พิกเซล (ต่อ)

ภาพกาบอร์	ภาพคัดแยก	ค่าระยะทางยูคลิดีเนียน
		dist = 0.4006
		dist = 0.8359

(ณ) จุดบกพร่องการทอทับกันของด้าย (Netting Multiple)



รูปที่ 4.4 การพิจารณาแบ่งกลุ่มภาพสิ่งทอทดสอบจากการพิจารณาด้วยวิธี 2DPCA

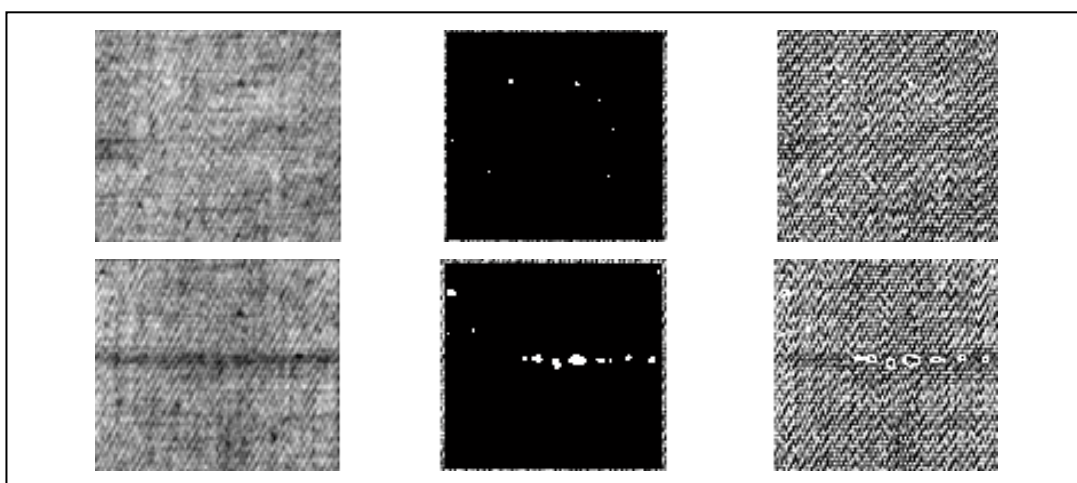
4.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบ ก่อนการพิจารณานำ 2DPCA เข้าร่วมดำเนินการ พบว่า

1. ลักษณะจุดบกพร่องเส้นด้ายสกปรก เส้นด้ายหย่อน การเหลื่อมกันของด้าย รอยขาด และการทอทับกันของด้าย ให้ผลการตรวจจับถูกต้องสมบูรณ์

2. การตรวจจับจุดบกพร่องลักษณะด้ายบางและแถบหนา รวมถึงภาพสิ่งทอไม่มีจุดบกพร่อง ยังให้ผลการตรวจจับ ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างผลการตรวจจับภาพสิ่งทอปกติและมีจุดบกพร่องลักษณะแถบหนาที่ให้ผลการตรวจจับไม่สมบูรณ์และมีการเตือนผิดพลาด นอกจากนี้ ผลการตรวจจับจุดบกพร่องลักษณะแบบเส้นด้ายที่ทอผิดแบบ ให้ผลการตรวจจับค่อนข้างผิดพลาดและบางครั้งก็ไม่สามารถตรวจจับจุดบกพร่องได้

แต่เมื่อพิจารณานำ 2DPCA เข้าร่วมเพื่อช่วยในการตรวจสอบและตัดสินใจความบกพร่องของภาพสิ่งทอ พบว่าสามารถให้ผลการตรวจจับที่มีประสิทธิภาพ แต่อาจมีข้อจำกัดในการใช้งาน เมื่อต้องการวิเคราะห์ลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ระบบตรวจจับในงานวิจัยนี้จึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอแบบอัตโนมัติที่ไม่สนใจลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยหากมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นกระบวนการทอผ้าจะสั่งตัดผ้าทอส่วนที่เกิดความบกพร่องออกแล้วจึงดำเนินการต่อผ้าและทอต่อไปทันที โดยไม่สนใจการเก็บสถิติลักษณะต่าง ๆ ของจุดบกพร่องไว้เป็นฐานข้อมูลการผลิต ทั้งนี้ การพัฒนาใช้งานด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถช่วยลดจำนวนภาพสิ่งทอเพื่อใช้ในการพิจารณาเพื่อจำแนกลักษณะจุดบกพร่องลงได้ ส่งผลให้ช่วยลดเวลาในการประมวลผลและลดความยุ่งยากของระบบ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างผลการคัดแยกที่ไม่สมบูรณ์ของระบบ (แถวบนแสดงภาพพื้นผิวสิ่งทอปกติที่ไม่มีจุดบกพร่อง และแถวล่างแสดงภาพพื้นผิวสิ่งทอกรณีมีจุดบกพร่อง)

4.2 วิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ระบบการประเมินประสิทธิภาพของระบบ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานชี้วัดคุณภาพของระบบ ตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอของงานวิจัยนี้ จะดำเนินการภายใต้การพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 ตัววัด การประเมิน โดยในเบื้องต้นจะดำเนินการวัดประสิทธิภาพด้วยตัววัดประสิทธิภาพ ROC (Receiver Operating Characteristics) และหลังจากนั้นจะทำการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีการคำนวณหาค่าความถูกต้องของระบบ ดังนี้

4.2.1 ตัววัดประสิทธิภาพ ROC Graphs

กราฟ ROC เป็นเทคนิคเพื่อการแสดงผล การจัดระเบียบ และการคัดเลือก ซึ่งมักถูกนำมาใช้เป็นตัวประเมินประสิทธิภาพในวงการแพทย์ ในปัจจุบันมีการนำมาใช้งานเพื่อวัดประสิทธิภาพสำหรับงานด้านการแสดงผลและวิเคราะห์สัญญาณผ่านกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล (Machine learning) อย่างแพร่หลาย และโดยมากก็มักใช้เป็นตัวจำแนกระหว่างอัตราการเตือนที่ถูกต้องและอัตราการเตือนที่ผิดพลาดของการแยกแยะ Tom F. (2004) เสนอการวัดประสิทธิภาพแบบ ROC ซึ่งมีวิธีการคำนวณแสดงได้ดังสมการ (3.26)-(3.28) โดยการประเมินผลจะพิจารณาความถูกต้องของระบบ (*accuracy*) ดังตารางการจร (Contingency table) และตารางความหมายและการแทนค่า แสดงดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.8 ตามลำดับ

$$\text{Detection Rate} = \frac{DD}{DDA} \times 100\% \quad (4.1)$$

เมื่อ	<i>Detection Rate</i>	คือ อัตราความถูกต้องของระบบตรวจจับที่ได้
	<i>DD</i>	คือ จำนวนภาพที่ระบบสามารถตรวจจับ ได้ถูกต้อง
	<i>DDA</i>	คือ จำนวนภาพที่พิจารณาเพื่อการตรวจจับทั้งหมด

$$\text{false positive rate (fpr)} = \frac{FP}{N} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\text{true positive rate (tpr)} = \frac{TP}{P} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$\text{accuracy} = \frac{TP + TN}{P + N} \times 100\% \quad (4.4)$$

เมื่อ N คือ จำนวนภาพทดสอบทั้งหมด

fpr คือ ความผิดพลาดที่ระบบตรวจจับ พบว่าภาพพื้นผิวที่ตรวจพบเป็นภาพพื้นผิวที่มีจุดบกพร่องแต่ความจริงไม่มีจุดบกพร่อง

tpr คือ ค่าการตรวจจับ พบว่าภาพพื้นผิวที่ตรวจพบเป็นภาพพื้นผิวที่มีจุดบกพร่องและความจริงก็มีจุดบกพร่อง

		<u>True class</u>	
		p	n
<u>Classified</u>	Y	True Positive	False Positive
	N	False Negative	True Negative
Column totals :		P	N

รูปที่ 4.6 โครงสร้างตารางการจรรถูกนำมาใช้พิจารณาประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.8 ความหมายและการแทนค่าเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ

Classes	จริง	ผลการตรวจจับ	แทนด้วย
เป็น	เป็น (True)	เป็น (Positive)	TP
	ไม่เป็น (False)	เป็น (Positive)	FP
ไม่เป็น	เป็น (False)	ไม่เป็น (Negative)	FN
	ไม่เป็น (True)	ไม่เป็น (Negative)	TN

หมายเหตุ True positive หมายถึง เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง

False positive หมายถึง ไม่เป็นจุดบกพร่อง แต่ให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง

True negative หมายถึง ไม่เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง

False negative หมายถึง เป็นจุดบกพร่อง แต่ให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง

4.2.2 การคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy score) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล

ลักษณะเด่นของภาพที่ต้องการทดสอบและข้อมูลลักษณะเด่นของภาพในต้นแบบ (Model) ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่ตรงตามเกณฑ์ของจำนวนความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ (4.5)

$$Asc = \frac{SF}{TF} \times 100 \quad (4.5)$$

เมื่อ Asc คือ ค่าความถูกต้อง

TF คือ จำนวนข้อมูลภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

SF คือ จำนวนข้อมูลภาพทดสอบที่ตรวจจับได้ถูกต้อง

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบจะดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิด 2 แบบ โดยทำการวัดประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ยังไม่นำ 2DPCA เข้าร่วม และกรณีที่นำวิธี 2DPCA เข้าร่วมกระบวนการตัดสินใจ พิจารณาดังนี้

4.3.1 การวัดประสิทธิภาพระบบด้วย ROC Graphs

เนื่องจากระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยตัวกรองภาพอร์ประยุกต์ในเบื้องต้นก่อนการพิจารณานำการวิเคราะห์ 2DPCA เข้าร่วมเป็นการพิจารณาค่าในแต่ละพิกเซลที่ได้จากภาพไบนารี (0 หรือ 1) ซึ่งหากพบค่า ซึ่งหากปรากฏค่าพิกเซลเป็น 1 (หรือ จุดสีขาว ในที่นี้ใช้แทนจุดบกพร่อง) แสดงว่าภาพสิ่งทอดังกล่าวเป็นภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่อง ดังนั้นจะได้ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยกราฟ ROC แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 หลังจากนั้นเป็นการวัดประสิทธิภาพโดยการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพื่อใช้ในการตัดสินใจตัดสินความเป็นผ้าทอบกพร่องหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้จากการพิจารณานำหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ เข้าร่วมผลทดสอบ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบตรวจจับจุดบกพร่องได้เป็นอย่างดี พิจารณาดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ความหมายและการแทนค่าเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้

กรณีที่ 1 : ระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองภาพอร์ประยุกต์

Classes	จริง	ผลการตรวจจับ	แทนด้วย
เป็น (P=32)	เป็น (True)	เป็น (Positive)	TP (26)
	ไม่เป็น (False)	เป็น (Positive)	FP (4)
ไม่เป็น (N=18)	เป็น (False)	ไม่เป็น (Negative)	FN (6)
	ไม่เป็น (True)	ไม่เป็น (Negative)	TN (14)

ตารางที่ 4.9 ความหมายและการแทนค่าเพื่อการพิจารณาประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้ (ต่อ)

กรณีที่ 2 : ระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองภาพอร์ประยุกต์ร่วมกับ 2DPCA

Classes	จริง	ผลการตรวจจับ	แทนด้วย
เป็น (P=32)	เป็น (True)	เป็น (Positive)	TP (32)
	ไม่เป็น (False)	เป็น (Positive)	FP (1)
ไม่เป็น (N=18)	เป็น (False)	ไม่เป็น (Negative)	FN (0)
	ไม่เป็น (True)	ไม่เป็น (Negative)	TN (17)

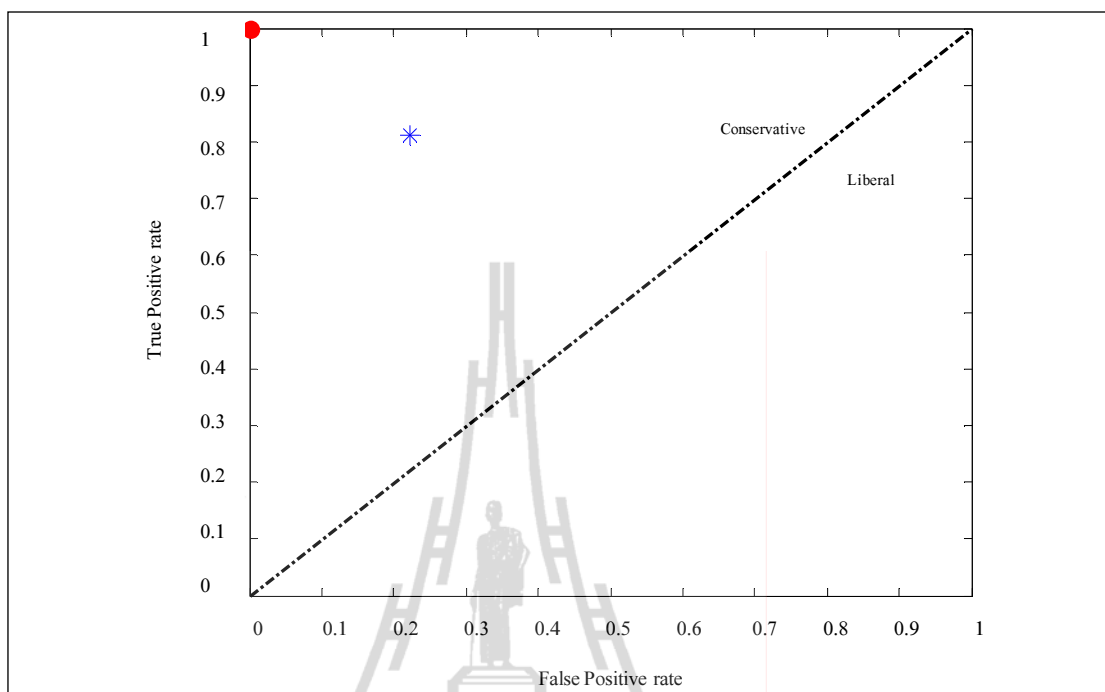
หมายเหตุ True positive หมายถึง เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง
 False positive หมายถึง ไม่เป็นจุดบกพร่อง แต่ให้ผลว่าเป็นจุดบกพร่อง
 True negative หมายถึง ไม่เป็นจุดบกพร่อง และให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง
 False negative หมายถึง เป็นจุดบกพร่อง แต่ให้ผลว่าไม่เป็นจุดบกพร่อง

ตารางที่ 4.10 โครงสร้างตารางการจริงที่ได้จากระบบการตรวจจับจุดบกพร่องของงานวิจัยนี้

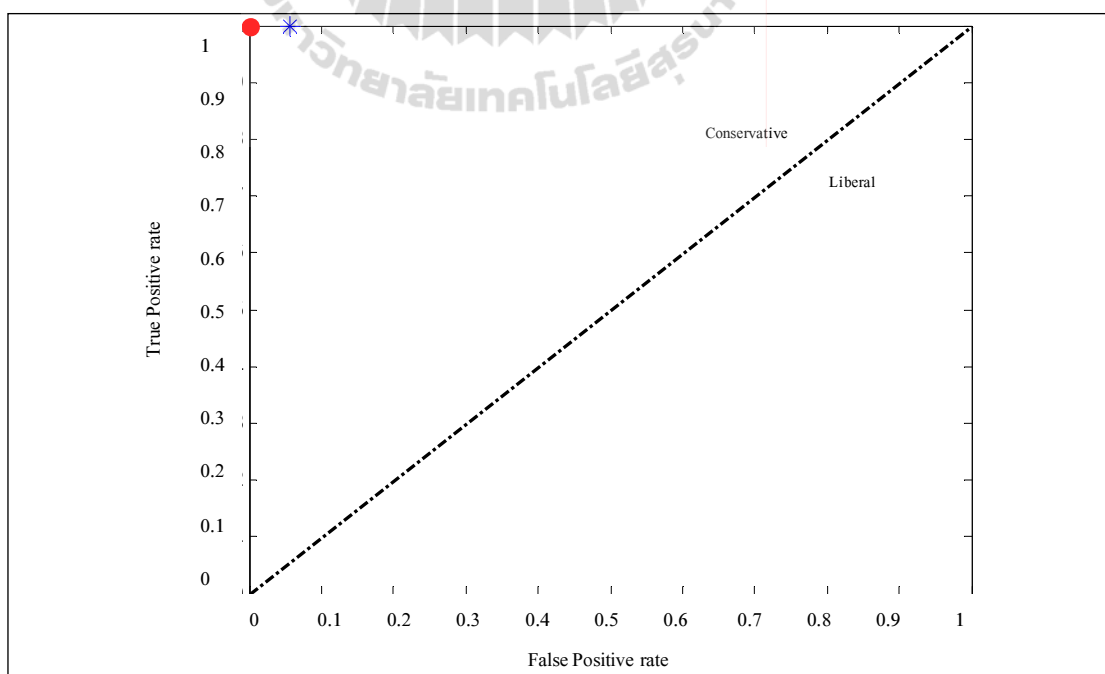
กรณี	ผลการตรวจจับ	ข้อเท็จจริง	
		มี (p)	ไม่มี (n)
1 (AGF)	มีจุดบกพร่อง (Y)	26	4
	ไม่มีจุดบกพร่อง (N)	6	14
จำนวนภาพทดสอบ (P, N)		P = 32	N = 18
2 (AGF+2DPCA)	มีจุดบกพร่อง (Y)	32	1
	ไม่มีจุดบกพร่อง (N)	0	17
จำนวนภาพทดสอบ (P, N)		P = 32	N = 18

หมายเหตุ P และ N คือ ภาพสิ่งทดสอบทั้งหมดทั้งที่มีจุดบกพร่อง และไม่มีจุดบกพร่อง ตามลำดับ

พิจารณาการทดสอบประสิทธิภาพดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองภาพอร์ประยุกต์ เป็นระบบตรวจจับที่ให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับเป็นอย่างดีเนื่องจากมีค่าอยู่ในโซน Conservative โดยระบบอุดมคติในการตรวจจับจุดบกพร่อง คือ ระบบที่ให้ค่าเป็นจุดซ้ายบนของรูป (●) และ * คือ ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบระบบ



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับจุดบกพร่องที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับจุดบกพร่องร่วมกับ 2DPCA

4.3.2 การคำนวณหาค่าความถูกต้องของระบบ

ผลการวัดประสิทธิภาพเปรียบเทียบระบบด้วยวิธีดำเนินงานทั้งก่อนและหลังการพิจารณานำ 2DPCA เข้าร่วมกระบวนการ แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยภายหลังการนำ 2DPCA เข้าร่วมความถูกต้องของระบบ (*accuracy*) เพิ่มขึ้นจาก 80% เป็น 98% (พบภาพสิ่งทอที่มีการตรวจจับผิดพลาดจำนวน 1 ภาพ) นอกจากนี้ ระบบสามารถยืนยันจับคอบทรวงในภาพสิ่งทอทดสอบ (*tpr*) เพิ่มขึ้นจาก 81.3% เป็น 100% ในขณะที่ภาพที่ไม่มีจับคอบทรวงถูกตรวจจับการมีอยู่ของจับคอบทรวง (*fpr*) ลดลงจาก 22.22% เป็น 5.56% ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ 2DPCA อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาภาพทดสอบที่ให้ผลการตัดสินผิดพลาด พบลักษณะลายผ้าที่แตกต่างจากภาพสิ่งทอทดสอบภาพอื่น และเป็นลายผ้าที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ยิ่งไปกว่านั้น มีลักษณะคลุมเครือมีแนวโน้มอาจเป็นผ้าสิ่งทอจับคอบทรวงได้ ซึ่งแม้สังเกตด้วยสายตามนุษย์ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจน ทำให้ระบบให้ผลการตรวจสอบผิดพลาดได้ พิจารณาดังรูปที่ 4.9 ภาพ (ก) ลายผ้าที่ถูกใช้ในการฝึกสอนระบบจะสามารถตัดสินได้อย่างถูกต้อง แต่ในขณะที่เดียวกันภาพ (ข) ลักษณะลวดลายผ้าแตกต่างจากภาพฝึกสอน ทำให้ไม่สามารถตัดสินด้วยระบบเดียวกันนี้ได้อย่างถูกต้อง ทั้งยังมีลักษณะคลุมเครือระหว่างการมีจับคอบทรวงหรือไม่มีจับคอบทรวงอีกด้วย

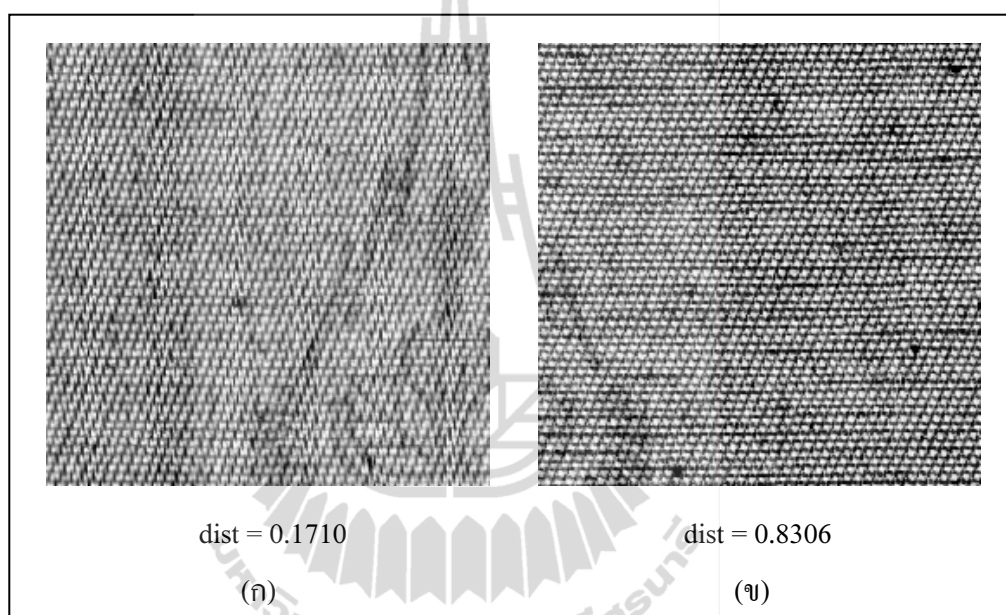
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบตรวจสอบและตัดสินความบกพร่องของผ้าทอ ก่อนและหลังการพิจารณานำวิธีการ 2DPCA เข้าร่วมกระบวนการ

การตรวจจับ	ประสิทธิภาพ (w/o PCA)	ประสิทธิภาพ (w/ PCA)
ความถูกต้องของระบบ (<i>accuracy</i>)	80%	98%
มีจับคอบทรวงและสามารถตรวจจับมีจับคอบทรวงได้ (<i>tpr</i>)	81.3%	100%
ไม่มีจับคอบทรวงแต่ตรวจจับมีจับคอบทรวง (<i>fpr</i>)	22.22%	5.56%

4.4 สรุป

ตัวกรองกาบอร์ โดยทั่วไปจะถูกนำมาพิจารณาตรวจจับจับคอบทรวงด้วยฟังก์ชันคู่ และตรวจจับขอบด้วยฟังก์ชันคี่ หากแต่เราสามารถนำคุณสมบัติที่มีอยู่ของตัวกรองกาบอร์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบตรวจจับและคัดแยกได้โดยการนำตัวกรองกาบอร์มาพิจารณาใช้งาน ได้ทั้งฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่ ซึ่งประสบความสำเร็จในการคัดแยกจับคอบทรวงได้หลายรูปแบบ หลายตำแหน่งบนพื้นหลังที่แตกต่างกันแต่เป็นพื้นผิวลักษณะเดียวกัน

โดยก่อนการนำ 2DPCA เข้าร่วม ลักษณะจุดบกพร่องบางลักษณะไม่สามารถพิจารณาตรวจจับได้ เช่น จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายที่ทอผิดแบบ เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณานำหลักการวิเคราะห์ 2DPCA เข้าร่วม พบว่าสามารถตัดสินความบกพร่องของผ้าทอได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น ทั้งยังง่ายต่อการพิจารณาใช้งาน และเป็นต้นแบบการวิเคราะห์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง



รูปที่ 4.9 ผลการตัดสินภาพสิ่งทอทดสอบพื้นผิวปกติเมื่อพิจารณาด้วยวิธี 2DPCA (ก) ถูกต้องและ (ข) ไม่ถูกต้อง

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้เป็นการดำเนินงานศึกษาและพัฒนาโครงสร้างระบบตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ ร่วมกับการวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบหลัก 2 มิติ ซึ่งดำเนินการบนภาพระดับเทา (Grey level) ด้วยการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การจำแนกคุณลักษณะของบริเวณพื้นผิวที่ปกติกับพื้นผิวที่ผิดปกติหรือมีจุดบกพร่อง และตัดสินความบกพร่องของภาพสิ่งทอแบบอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาคุณลักษณะภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติด้วยตัวกรองกาบอร์ โดยใช้ GA ทำการค้นหาชุดพารามิเตอร์ของตัวกรองที่เหมาะสมกับภาพสิ่งทออ้างอิงซึ่งจะให้ค่าคุณลักษณะของพื้นผิวที่ดีที่สุดสำหรับภาพสิ่งทอลายทแยงที่ไม่มีลวดลาย โดยมีเงื่อนไขเพื่อใช้ในการพิจารณาแก้ปัญหาจากการพิจารณาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่สร้างกลับด้วยตัวกรองกาบอร์ หรือก็คือชุดพารามิเตอร์ที่ GA ค้นหาแล้วให้ค่าฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) ที่กำหนดไว้น้อยที่สุด จากนั้นจึงทำการคัดเลือกตัวกรองกาบอร์ที่ดีที่สุดที่จะให้ค่าคุณลักษณะที่ดีที่สุด จากจำนวนตัวกรองกาบอร์ที่ได้ด้วยการค้นหาของ GA เพื่อนำมาสร้างภาพกลับของพื้นผิวสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่อง ซึ่งดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดภาพสิ่งทอที่ได้จากพารามิเตอร์ที่ GA ทำการค้นหาได้ คือ ตัวกรองที่มีการสเกล และการปรับทิศทางที่สอดคล้องกับภาพพื้นผิวดั้งเดิม โดยใช้ค่าคุณลักษณะของภาพสิ่งทอปกติที่ผ่านการคอนโวลูชันกับตัวกรองแต่ละตัวที่ได้จากการค้นหาด้วย GA นำไปพิจารณาตัดสินภาพสิ่งทอต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการตัดสินความเป็นภาพสิ่งทอที่มีจุดบกพร่องหรือไม่ พิจารณาดำเนินการโดยนำ 2DPCA เข้าร่วมการดำเนินงานและตัดสินความเป็นผ้าทอบกพร่องด้วยค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้จากการพิจารณาหาแกนการฉายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ไอเกนเวกเตอร์ของภาพสิ่งทอพื้นผิวปกติหรือภาพสิ่งทออ้างอิงและนำภาพสิ่งทอทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าระยะทางยูคลิเดียนระหว่างภาพสิ่งทอทั้งสองดังกล่าว ซึ่งการพิจารณาค่าดังกล่าวก็คือการวัดค่าความคล้ายคลึงกันของข้อมูล ด้วยการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูลที่ต้องเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกัน โดยระยะห่างระหว่างข้อมูลจะแปรผกผันกับความคล้ายคลึงกันของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดที่มีค่ามากกว่าแสดงว่าข้อมูลมีความคล้ายคลึงกันน้อยกว่าหรือค่าที่วัดได้น้อยกว่าจะมีความคล้ายคลึงกันของข้อมูลมากกว่า

จากการทดสอบด้วยกระบวนการดำเนินงานดังกล่าวข้างต้น พบว่าการนำ 2DPCA เข้าร่วมเพื่อช่วยในการตัดสินใจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบได้เป็นอย่างดี โดยผลการทดสอบที่ได้ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมเป็นข้อสรุปได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 2 การปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีผู้สนใจศึกษาวิจัยเพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องมาเป็นระยะเวลาที่นานแล้ว โดยพิจารณาเพื่อการตรวจจับในลักษณะพื้นผิวที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น พื้นไม้ พื้นฮาร์ดดิสก์ พื้นผ้าทอ ฯลฯ ด้วยเทคนิควิธีการต่าง ๆ ซึ่งถูกพัฒนาและคิดค้นขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการด้วยเทคนิคทางสถิติ ทางโครงสร้าง และทางสเปกตรัม เทคนิคเหล่านี้ล้วนต้องอาศัยแนวคิดเกี่ยวกับการพิจารณาข้อมูลภาพในเชิงเวลาและความถี่ นอกจากนี้ ในส่วนของกระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องมีปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดในการตรวจจับอยู่เป็นจำนวนมาก ได้แก่ ความหลากหลายของลักษณะจุดบกพร่อง สภาพแวดล้อมระหว่างกระบวนการผลิต แสงและเงา ที่อาจส่งผลต่อการมองเห็นลักษณะจุดบกพร่องด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ซึ่งหากกระบวนการส่งผ่านข้อมูลภาพไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเมื่อเกิดความบกพร่อง ระบบตรวจจับจุดบกพร่องอาจไม่สามารถพิจารณาตัดสินใจได้ถูกต้อง ทั้งนี้เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าย่อมสามารถลดข้อจำกัดดังกล่าวได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงดำเนินการพัฒนาวิธีการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 2 มิติ เพื่อให้สามารถตรวจจับจุดบกพร่องด้วยโครงสร้างของกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก แต่ยังคงประสิทธิภาพในการตรวจจับได้

บทที่ 3 โครงสร้างของกระบวนการดำเนินงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่เพียบพร้อมของตัวกรองกาบอร์ที่กล่าวได้ว่า เป็นตัวกรองที่มีฟังก์ชันแทนผลตอบสนองของเซลล์ประสาทรับรู้การมองเห็นพื้นฐานของมนุษย์ หรือแทนระบบการมองเห็นของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ด้วยวิธีค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเชิงวิวัฒนาการของ GA ที่ใช้ค้นหาชุดตัวกรองกาบอร์ที่เหมาะสมกับลักษณะภาพสิ่งทอตามโครงสร้าง GWN ฟังก์ชันนี้ เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อพิจารณาความเหมือนของโลกจริงกับโลกของ GA ที่ใช้การปรับตัวเพื่อการอยู่รอดทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุดได้ และด้วยการพิจารณาเกณฑ์การฉายที่เหมาะสมของ 2DPCA สามารถให้ค่าเวกเตอร์องค์ประกอบหลักที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้พิจารณาเพื่อช่วยในการตัดสินใจของระบบ

ในบทที่ 4 เป็นการแสดงผลการทดลองและสรุปผลที่ได้จากงานวิจัยดังกล่าว ซึ่งให้ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบก่อนและหลังการนำ 2DPCA เข้าร่วม แสดงดังตารางที่ 4.11

เมื่อมองถึงการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอในปัจจุบัน ยังคงใช้แรงงานบุคคลโดยการตรวจพินิจด้วยสายตา ซึ่งหากบุคคลที่ทำการตรวจสอบมีความชำนาญและมีประสบการณ์ไม่มากพอ หรือเกิดความเมื่อยล้าทางสายตาเมื่อทำการตรวจสอบต่อเนื่องเป็นระยะ

เวลานานย่อมต้องเกิดความผิดพลาดขึ้นในการตรวจสอบ ปัญหาดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อไปยงคุณภาพของสิ่งทอ ความไว้วางใจและความเชื่อมั่นของลูกค้า ทำให้ต้องสูญเสียลูกค้าที่สำคัญได้ ดังนั้น การพัฒนากระบวนการตรวจจับจุดบกพร่องด้วยกระบวนการตามงานวิจัยดังกล่าว จึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ ด้วยขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากและเป็นอัตโนมัติ ทว่าปัญหาอีกอย่างหนึ่งสำหรับการพิจารณาเพื่อการใช้งานด้วยวิธีดังกล่าว คือ หากผู้ผลิตสิ่งทอต้องการเก็บข้อมูลลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นไว้เป็นฐานข้อมูลในการผลิตจะไม่สามารถทำได้จึงต้องพัฒนากระบวนการจำแนกลักษณะเพิ่มเติม โดยสามารถนำผลที่ได้ด้วยกระบวนการตัดสินใจตามความเป็นผ้าทอพื้นผิวปกติหรือไม่ของงานวิจัยนี้ไปใช้เพื่อตรวจสอบภาพสิ่งทอเบื้องต้น ก่อนการพิจารณาเพื่อการจำแนกลักษณะจุดบกพร่องต่อไป ผลที่ได้จะช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผล และง่ายต่อการพิจารณามากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้ทำให้เกิดแนวคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

5.2.1 ระบบของงานวิจัยนี้สามารถให้ผลการตรวจจับความเป็นจุดบกพร่องได้อย่างมีประสิทธิภาพและค่อนข้างแม่นยำ ทว่าค่าคุณลักษณะที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการจำแนกชนิดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องพัฒนากระบวนการเพื่อการจำแนกเพิ่มเติม โดยนำภาพที่ถูกตัดสินใจตามความเป็นจุดบกพร่อง ไปพิจารณาผ่านกระบวนการหรืออัลกอริทึมเพิ่มเติม หากต้องการระบุหรือจำแนกชนิดของจุดบกพร่องด้วย

5.2.2 เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ตามเวลาจริงหรือออนไลน์ (Real time) อาจนำวิธีดำเนินการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างสูง ไปพัฒนาด้วยโปรแกรมที่มีการประมวลผลที่รวดเร็วกว่า เช่น โปรแกรมด้วยภาษาซี เป็นต้น เพื่อให้สามารถคำนวณและแสดงผลการตรวจจับได้ตามเวลาจริง ทั้งนี้การพัฒนาอุปกรณ์และเทคโนโลยีของเครื่องตรวจจับให้สามารถส่งผ่านข้อมูลภาพก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและเพิ่มความรวดเร็วควบคู่ไปด้วย

รายการอ้างอิง

- ณัฐพร เข้มทอง. (2549). การพัฒนาขั้นตอนค้นคืนข้อมูลภาพลวดลายโดยใช้เกเบอร์ฟิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ณัฐวัชร มาลัย และ สิ้นชัย ชินวรรตน์. (2549). การวิเคราะห์และตรวจสอบความบกพร่องของผ้าย้อม การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. (2545). การพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของไทย. ค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2550, จาก http://www.nesdb.go.th/national/competitiveness/attach/data18_4.pdf.
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2547). คู่มือการอนุรักษ์พลังงานใน โรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ. มิถุนายน, กรุงเทพมหานคร : 1-10.
- อัจฉราพร ไสละสุต และ ชีเงรุ วาตานาเบ. (2520). วิศวกรรมสิ่งทอ. KINMEI PRINTING. กรุงเทพมหานคร : 105.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2545). จินเนติกอัลกอริทึม. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. ปีที่ 9, ฉบับที่ 1 : 69-83.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. ปัญญาเชิงคำนวณ (Computational intelligence). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. พิมพ์ครั้งที่ 1 : 65-102.
- Ade, F., Lins, N., and Unser, M. (1984). Comparison of various filter sets for defect detection in textiles. **Proc. 7th Intl. Conf. Pattern Recognit., Montreal**. Vol.1 : 428-431.
- Bayer, H. A. (1993). Performance analysis of CCD-Cameras for industrial inspection. **Proc. SPIE 1989** : 40-49.
- Bodnarova, A., Bennamoun, M., and Kubik, K. K. (1998). Defect detection in textile materials based on aspects of HVS. **Proc. IEEE SMC' 98 Conf.** San Diego (U.S.) : 4,423-4,428.
- Brzakovic, D. P., Bakic, P. R., Vuiovic, N. S., and Hamed, S. S. (1997). A Generalized development environment for inspection of web materials. **Proc. IEEE Intl. Conf. Robotics and Automation, Albuquerque**. New Maxico : 1-8.
- Campbell, J. G., and Murtagh, F. (1998). Automatic visual inspection of woven textiles using a two-stage defect detector. **Opt. Eng.** Vol. 37 : 2,536-2,542.

- Campbell, J. G., Fraley, C., Murtagh, F., and Raftery, A. E. (1996). Linear flaw detection in woven textiles using model-based clustering. **Technical Report No. 314**, Dept. of Statistics, University of Washington, Seattle : 1-15.
- Chan, C. H., and Grantham, K. P. (2000). **Fabric Defect Detection by Fourier Analysis. IEEE Trans. On Industry Applications.** Vol. 36, No. 5.
- Chetverikov, D. (2000). Pattern regularity as a visual key. **Image and Vision Computing.** Vol.18 : 975-985.
- Chetverikov, D., and Hanbury, A. (2002). Finding Defects in Texture using Regularity and Local Orientation. **Pattern Recognition** 35. : 2,165-2,180.
- Chin, R. T. (1988). Automated visual inspection: 1981 to 1987. **Com. Vision Graphics Image Process.** Vol. 41 : 346-381.
- Chin, R. T., and Harlow, C. A. (1982). Automated visual inspection: A survey. **IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.** Vol. 6 : 557-573.
- Ciamberlini, C., Francini, F., Longobardi, G., Poggi, P., and Tiribili, B. (1996). Defect detection in textured materials by optical filtering with structured detectors and self-adaptable masks. **Opt. Eng.** Vol. 35 : 835-844.
- Cohen, F. S., and Fan, Z. (1988). Rotation and scale invariant texture classification. **Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation.** Vol. 3 : 1,394-1,399.
- Cohen, F. S., Fan, Z., and Attali, S. (1991). Automated inspection of textile fabrics using textural models. **IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.** No.13 : 803-808.
- Conci, A., and Proenca, C. B. (1998). A fractal image analysis system for fabric inspection based on box-counting method. **Computer Networks and ISDN Systems.** Vol.30 : 1887-1895.
- Conci, A., and Proenca, C. B.(2000). A computer vision approach to textile inspection. **Text. Res. J.** Vol.70 : 347-350.
- Dorrity, J. L., and Vachtsevanos, G. (1996). On-line defect detection for weaving systems. **Proc. IEEE Annual Technical Conf. Textile, Fiber, and Film Industry** : 1-6.
- Fomenko. (1977). Coherent scanning system for fabric inspection. **US patent.**
- Gabor, D. (1946). Theory of communication. **Journal of the Institute of Electrical Engineer.** Vol. 93 : 429-549.

- Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. (1992). Digital Image Processing. **Addison-Wesley Publishing Company, Inc.**
- Goswami, M. B., and Datt, A. K. (2000). Detecting defects in fabric with laser-based morphological image processing. **Text. Res. J.** Vol.70 : 758-762.
- Hamed, S. S., and Goddard, J. S. (1999). **Vision System for On-Loom Fabric Inspection. IEEE Trans. On Industry Application** Vol. 35, No. 6.
- Hao, Liu. (2006). Defect Detection in Textiles Using Optimal Gabor Wavelet Filter. **IEEE Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation** : 10,005-10,007.
- Henry, Y. T., Grantham, K. H., Pang, S. Y., and Michael, K. N. (2005). Wavelet based methods on patterned fabric defect detection. **Pattern Recognition.** Vol.38, No.4 : 559-576.
- Jain, A. K., and Farrokhnia, F. (1991). Unsupervised Texture Segmentation using Gabor Filters. **Pattern Recognition.** Vol. 24, No. 12 : 1,167-1,186.
- Kassand, R. E., and Raftery, A. E. (1995). Bayes factors. **J.Am.Stat.Assoc.** : 773-795.
- Kim, S., Lee, S., and Yoon, D. (1997). Rapid pattern inspection of shadow masks by machine vision integrated with Fourier optics. **Opt. Eng.** Vol. 36 : 3,309-3,311.
- Krueger, V., and Sommer, G. (2000). Gabor wavelet networks for object representation. **DAGM Symposium**, Germany: 13-15.
- Kulikowski, J. J., and Bishop, P. O. (1981). Fourier Analysis and Spatial Representation in the Visual Cortex. **Experiential.** Vol.24 : 160-163.
- Kumar, A. (2001). Automated defect defection in textured materials. **Ph.D. Thesis.** Department of Electrical & Electronic Engineering. The University of Hong Kong.
- Kumar, A. (2008). Computer Vision-based Fabric Defect Detection: A Survey. **IEEE Trans. of Industrial Electronics**, 55(1).
- Kumar, A., and Pang, G. (2002). Defect detection in textured materials using optimized filters. **IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics : Part B, Cybernetics.** vol.32, no.5 : 553-570.
- Kuo, J. C., and Lee, C. J. (2003). A Back-Propagation Neural Network for Recognizing Fabric Defects. **Textile Research Journal.** Vol. 73, Issue 2 : 147-151.

- Lee, T. C. (2004). Fabric defect detection by wavelet transform and neural network. **Thesis (M. Eng.)**. University of Hong Kong.
- Mak, K. L., Peng, P., and Lau, H. K. (2005). Optimal Morphological Filter Design for Fabric Defect Detection. **IEEE** : 799-804.
- Mak, K. L., and Peng, P. (2006). Detecting Defects in Textile Fabrics with Optimal Gabor Filters. **International Journal Of Computer Science**. Vol. 1, No.4 : 274-282.
- Monadjemi, A. (2004). Towards efficient texture classification and abnormality detection. Ph.D. Thesis. Department of Computer Science, University of Bristol. UK Thomas A. D., Rodd, M. G. Holt, J. D. and Neill, C. J. (1995). Real-time Industrial Inspection: A Review. **Real-Time Imaging**. Vol. 1 : 139-158.
- Natale, F. G. (1986). Rank-order functions for the fast detection of texture faults. **Intl. J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence**. Vol.10, No.8.
- Newman, T. S., and Jain, A. K. (1995). A survey of automated visual inspection. **Comput. Vis. Image Under.** Vol. 61, No. 2 : 231-262.
- Nguyen, N., Wanquan, L., and Venkatesh, S. (2007). Random Subspace Two-Dimensional PCA for Face Recognition. **Computer Science**. Vol. 4810 : 655-664.
- Nickolay, B. N., and Schmalfub, H. (1993). Automatic fabric inspection-utopia or reality?. **Mellind Textilberichte**. Vol. 73 : 33-37.
- Ozdemir, S., and Ercil, A. (1996). Markov random fields and Karhunen-Loeve transforms for defect inspection of textile products. Proc. IEEE Conf. Emerging **Technologies and Factory Automation, EFTA'96**. Vol.2 : 697-703.
- Pentland, A. P. (1984). Fractal based description of natural sensors. **IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell**. Vol.6 : 661-674.
- Ronald, A. L., and Mill, D. (1997). Signal analysis: time, frequency, scale, and structure. **The institute of Electrical and Electronics Eng.** Canada : 301-304.
- Sheen, S. H., Chien, H. T., Lawrence, W. P., and Raptis, A. C. (1997). Ultrasonic imaging system for inprocess fabric defect detection. **US Patent**. No.5 : 665-907.
- Siew, L. H., Hodgson, R. M., and Wood, E. J. (1988). Texture measures for carpet wear assessment. **IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell**. Vol.10 : 92-105.

- Srinivasan, K., Dastor, P. H., Radhakrishnaiah, P., and Jayaraman, S. (1992). FDAS : A knowledgebased frame detection work for analysis of defects in woven textile structures. **J.Text. Inst.** Vol. 83, No. 3 : 431-447.
- Stojanovic, R., Mitropulos, P., Koulamas, C., Karayiannis, Y., Koubias, S., and Papadopoulos, G. (2001). Real-time visionbased system for textile fabric inspection. **Real-Time Imaging.** Vol. 7 : 507-518.
- Therrien, C. W. (1989). **Decision, Estimation and Classification.** New York: John Wiley and Sons.
- Tom, F. (2004). **ROC Graph: Notes and Practical Considerations for researchers.** Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Tsai, D. M., and Heish, C. Y. (1999). Automated surface inspection for directional textures. **Image and Vision Computing.** Vol. 18, Issue 1 : pp 49-62.
- Unser, M., and Ade, F. (1984). Feature extraction and decision procedure for automated inspection of textured materials. **Patt. Rec. Letter.** Vol.2 : 181-191.
- Vasant, K. (2010). **Automatic Fabric Inspection.** **Textile Review.** Vol. 5 Issue 9: 29-34.
- Wayne, L. N., Bradshaw, M., and Sandby, C. (1993). Machine vision for the automated inspection of web materials. **Proc. SPIE 1989** : 2-13.
- Yang, J., Zhang, D., and Frangi, A. F. (2004). Two-dimensional PCA: A new approach to appearance based face representation and recognition. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.** Vol. 26, Issue.1 : 131-137
- Zhang, Y. F., and Bresee, R. R. (1995) Fabric defect detection and classification using image analysis. **Text. Res. J.** Vol.65 : 1-9.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

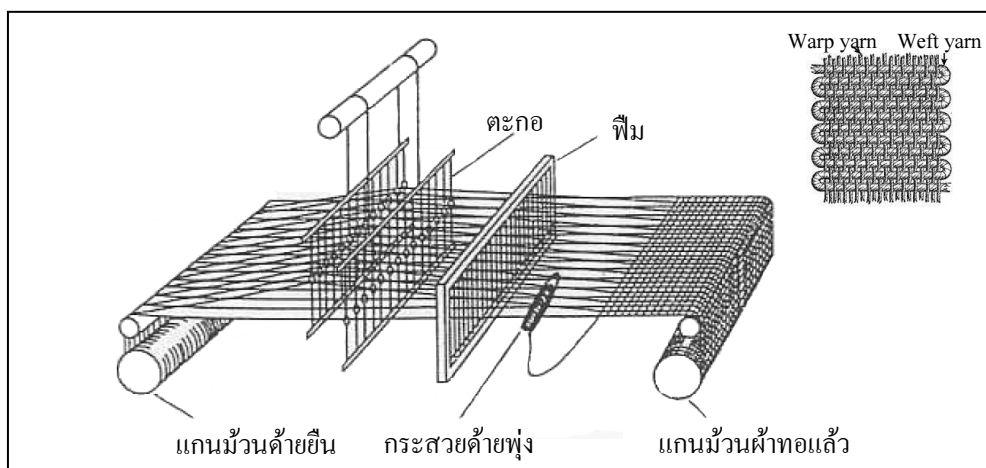
โครงสร้างและคุณสมบัติของผ้า

ก.1 สิ่งทอหรือผ้า (Fabrics)

โดยนิยามแล้ว คือ วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน สามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านี้รวมกัน เมื่อแบ่งแยกตามลักษณะการผลิต สามารถแบ่งประเภทได้เป็น 3 แบบ คือ ผ้าทอ (Woven fabrics) ผ้าถัก (Knitted fabrics) และผ้าอื่น ๆ (อัจฉราพร ไสละสูต และชัชเชษฐ วาตานาเบ, 2520 : 105)

ก.1.1 ผ้าทอ

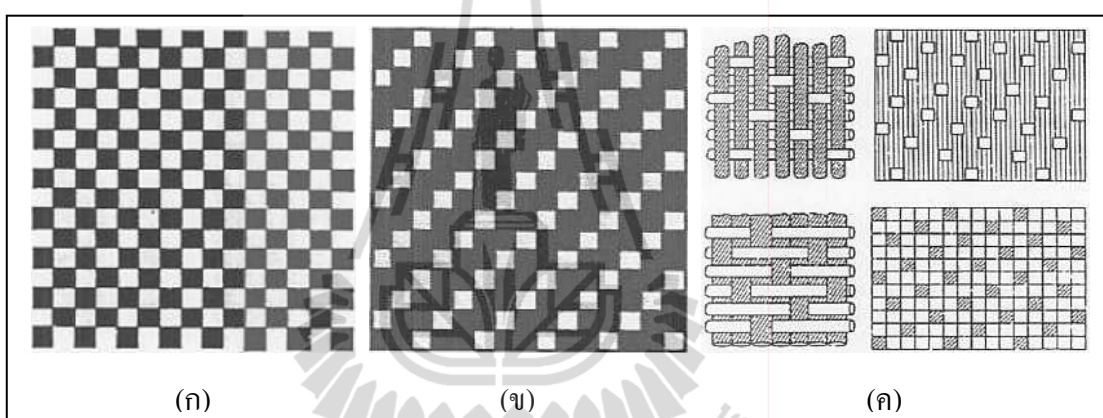
ผ้าทอ เกิดจากการนำเส้นด้าย 2 ชุด มาขัดกันเป็นมุมฉาก โดยเส้นด้ายที่ขนานกันตามแนวยาวของผ้า เรียกว่า ด้ายยืน (Warp) และเส้นด้ายขวางตามแนวหน้ากว้างของผ้า เรียกว่า ด้ายพุ่ง (Filling หรือ Weft) การสอดด้ายพุ่งแต่ละเส้นต้องสอดให้ออกมาจนถึงเส้นริมสุดของด้ายยืนแล้วจึงสอดเข้าไปใหม่ทำให้ริมผ้าเป็นเส้นตรง แนวเส้นตรง ที่ด้ายทั้งสองหมักัดกัน เรียกว่า เกรน (Grain) การทอในปัจจุบันมีการพัฒนาจากการทอด้วยมือ (Hand looms) ไปเป็น การใช้เครื่องจักรทอ โดยใช้เทคนิคหลากหลายรูปแบบ แตกต่างกันไป เช่น Air-jet loom Rapier loom Water-jet loom Projectile loom Double-width loom



รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทอผ้า

เท็กเจอร์ของผ้าทอ

การจัดกันของด้ายยืนและด้ายพุ่งของผ้านั้น เป็น โครงสร้างที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกของการผลิต เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของผ้าโดยตรง โครงสร้างแม่แบบหรือโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไปของผ้า มี 3 รูปแบบเท่านั้น คือ โครงสร้างแบบลายขัด (Plain) โครงสร้างแบบลายทแยงหรือลายสอง (Twill) และโครงสร้างแบบต่วน (Satin and Sateen) พิจารณาโครงสร้างดังกล่าวได้ตามรูป ก.2 นอกเหนือจากนี้จะเป็นโครงสร้างที่ถูกปรับปรุงและดัดแปลงจากโครงสร้างแม่แบบทั้ง 3



รูปที่ ก.2 โครงสร้างแม่แบบ หรือ โครงสร้างพื้นฐานของผ้า 3 แบบ (ก) แบบลายขัด
(ข) แบบลายทแยงหรือลายสอง และ (ค) แบบต่วนหรือซาติน

- โครงสร้างแบบลายขัด เป็นโครงสร้างที่ง่ายที่สุด โดยการทอผ้าให้ด้ายยืน และด้ายพุ่งขัดกันไปมาแบบธรรมดา
- โครงสร้างแบบลายทแยงหรือลายสอง เป็นโครงสร้างผ้าที่ใช้ได้ทนที่สุด มีลักษณะเด่นคือ ด้ายพุ่งจะสอดขัดกับด้ายยืน ทำให้เกิดสันนูนเป็นแนวเส้นทแยงบนผืนผ้า
- โครงสร้างแบบต่วน ถูกดัดแปลงมาจากโครงสร้างลายสอง ลักษณะพิเศษ คือ มีเส้นด้ายข้ามหรือด้ายลอย (Floats) ยาวปรากฏบนผืนผ้า ด้ายที่เป็นด้ายลอยหรือด้ายข้ามมิได้ทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่ง

ก.1.2 ผ้าถัก

เป็นผ้าที่เกิดจากการใช้เข็ม (Needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดขัดกัน (Interlocking loops) โดยจะมีเส้นที่อยู่แนวตั้ง (Wales) และเส้นที่อยู่ในแนวนอน (Courses) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- Filling-knit fabrics เช่น Jersey Rib structure Interlock structure Purl knits
- Warp knit fabrics เช่น Tricot warp knit Rachel warp knit Simplex Milanese

ก.1.3 ผ้าอื่น ๆ

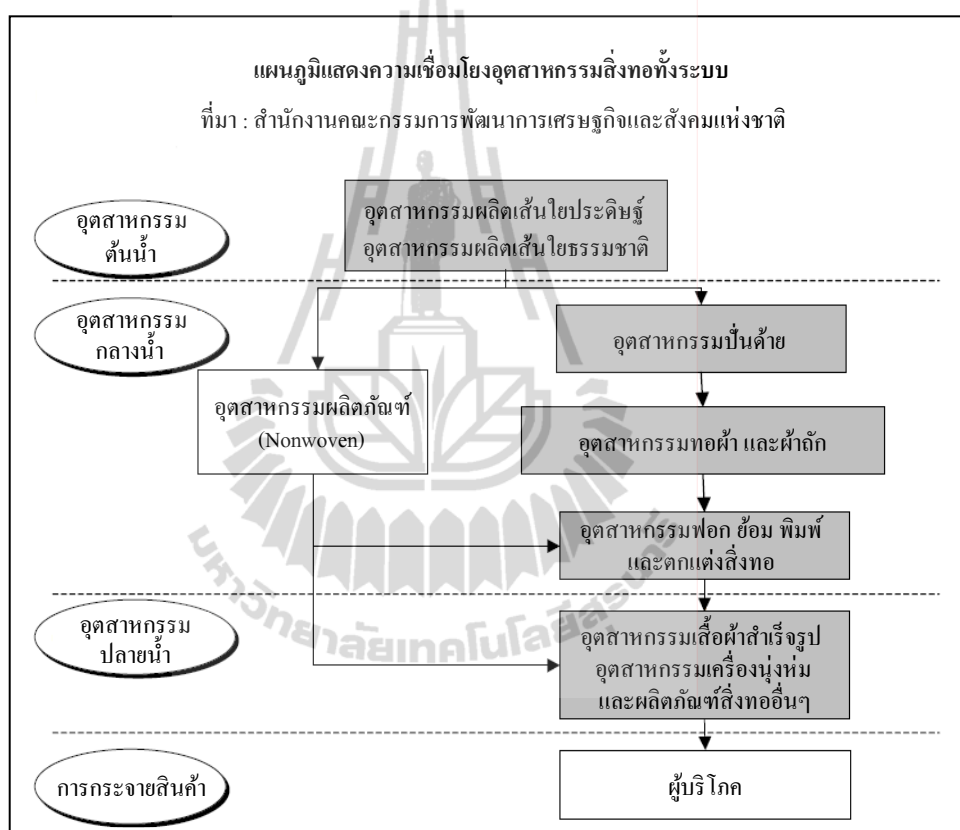
เป็นผ้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตอื่นที่นอกเหนือจากการถักและทอ เช่น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มทั้งจากสารละลายและจากการฉีดพลาสติกหลอม การขึ้นรูปเป็นโฟม และการขึ้นรูปเป็นผ้าจากเส้นใยโดยตรง เรียกว่า **ผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwovens)**

ผ้าไม่ถักไม่ทอ มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นผ้าที่เกิดจากการสานไปมาของเส้นใย (Fibrous web) มีการยึดกันด้วยการที่เส้นใยพันกันไปมา (Mechanical entanglement) หรือโดยการใช้ความร้อน เรซิน หรือสารเคมีในการทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย ผ้าไม่ถักไม่ทอสามารถผลิตได้จากหลายกระบวนการผลิต ดังนี้

- **Dry-laid** : ใช้ลมพ่นเส้นใยลงบนสายพานที่กำลังเคลื่อนตัว โดยการเรียงตัวของเส้นใยจะไม่มีทิศทาง (Random oriented) ทำให้มีความแข็งแรงเท่ากันในทุกทิศทาง
- **Wet-laid** : กระจายเส้นใยลงในน้ำ แล้วทำการกรองผ่านเพื่อแยกน้ำออกจากเส้นใยที่มีการเรียงตัวในทุกทิศทาง
- **Spun-bonded** : เป็นการเตรียมผ้าโดยตรงจากเส้นใยที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเส้นใย (Spinnerets) เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous filament) ที่กำลังร้อนจะถูกฉีดสานไปมาบนสายพานที่กำลังหมุน เมื่อเส้นใยเย็นตัวจะเชื่อมติดตรงจุดที่มีการพาดผ่านระหว่างเส้นใยด้วยความร้อนและแรงกด นอนวูฟเวนที่ได้จากการผลิตโดยวิธีนี้จะบาง (Low bulk) ทนต่อแรงดึงและแรงฉีก
- **Hydro entangled หรือ Spun lace** : มีกระบวนการผลิตคล้ายการผลิตนอนวูฟเวนแบบ Spun-bonded ยกเว้นใช้น้ำแรงดันสูงฉีดผ่านโครงสร้างที่สานไปมาของเส้นใย ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายผ้าทอ โดยผ้าที่ได้จะมีความยืดหยุ่น (Elasticity) และ โค้งงอ (Flexibility) มากกว่า Spun bond
- **Melt-blown** : เป็นการฉีดเส้นใยผ่านหัวฉีดไปยังอากาศร้อนที่มีความเร็วสูงทำให้เส้นใยเกิดการขาด เป็นเส้นใยสั้น ๆ ซึ่งจะถูกลบลงบนสายพานเคลื่อนที่ การยึดติดเกิดจากการสานไปมาของเส้นใย และการใช้ความร้อน เนื่องจากเส้นใยไม่ได้ผ่านการดึงยึดก่อน ผ้าที่ได้จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดอื่น เส้นใยที่ใช้เทคนิคการผลิตนี้มาก คือ เส้นใยโพลีเอทิลีน และโพลีเอสเตอร์ (Olefin and Polyester fibers)
- **Needle punching** : เป็นการเตรียมแผ่นนอนวูฟเวนโดยเทคนิค Dry-laid แล้วนำมาผ่านเครื่องปักเข็ม เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะและความแข็งแรงของแผ่นนอนวูฟเวน

ก.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อผลิตเครื่องนุ่งห่มและมีประเภทของผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอพิจารณาตามรูปที่ ก.3 การแยกประเภทของอุตสาหกรรมสิ่งทอจะพิจารณาตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)



รูปที่ ก.3 โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

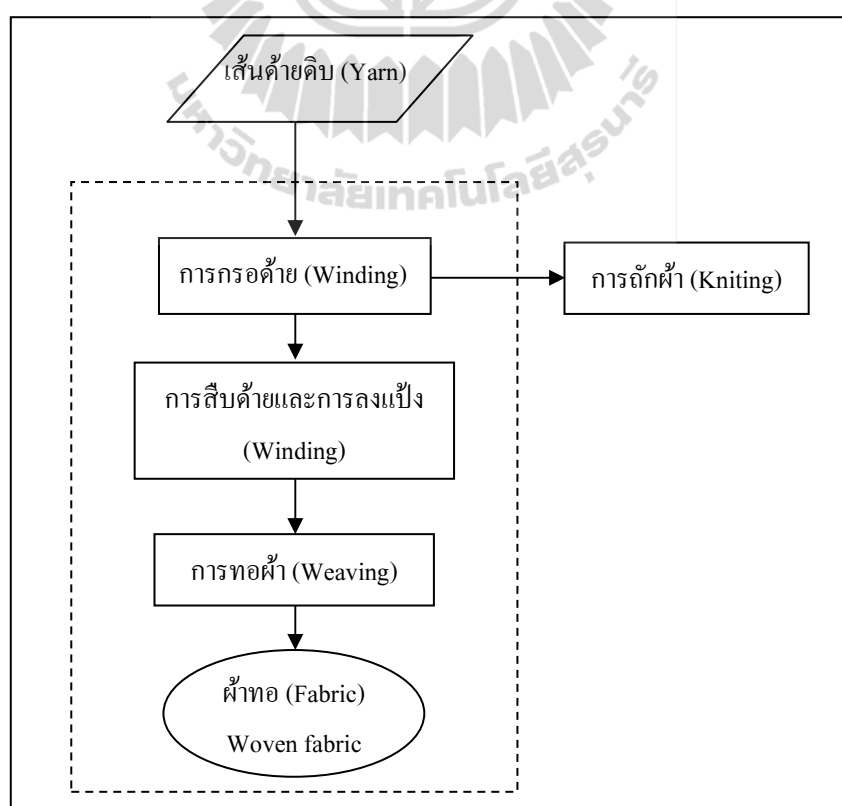
ก.2.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) เป็นอุตสาหกรรมเริ่มต้นของโครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นเส้นใย ซึ่งมีทั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีระดับสูง (Capital intensive) ใช้แรงงานไม่มาก ผลผลิตในอุตสาหกรรมนี้จะนำไปใช้ต่อในอุตสาหกรรมกลางน้ำ

ก.2.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) ประกอบไปด้วย อุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อม พิมพ์ลาย และแต่งสำเร็จ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีปานกลางถึงสูง นอกจากนี้เทคโนโลยียังเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ผลผลิตที่ได้จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขั้นปลายต่อไป

ก.2.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) คือ อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูป เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานเป็นปัจจัยหลักในการผลิต (Labor intensive) ใช้เงินทุนน้อย ประสิทธิภาพของแรงงานมีความสำคัญมากกว่าเครื่องจักร เทคโนโลยีที่ทันสมัยมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายวัตถุและสิ่งของให้เร็วขึ้น ผลผลิตจากอุตสาหกรรมนี้จะจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไป

ก.3 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

กระบวนการผลิตหลัก ๆ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันเกือบทุกโรงงาน แตกต่างกันเพียงรายละเอียดปลีกย่อยขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก และเนื่องจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กจะเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำและอุตสาหกรรมปลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงเพียงลักษณะโครงสร้างของอุตสาหกรรมกลางน้ำเท่านั้น พิจารณาโครงสร้างตามรูป ก.3 ในส่วนของอุตสาหกรรมกลางน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลิตภัณฑ์นอนวูฟเวน และการปั่นด้าย (ประกอบด้วยการทอผ้าและการฟอกย้อม) ในที่นี้จะขอกกล่าวเพียงการทอผ้า โดยมีกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการผลิตในกระบวนการทอผ้า

ก.3.1 กระบวนการทอผ้า สามารถแบ่งเป็น 3 วิธีหลัก ๆ สำหรับใช้ทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม โดยมีขั้นตอนการผลิต สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ ก.4 คือ

- การทอผ้า
- การถักผ้า
- การทำผ้านอน-วูฟเวน

ก.3.2 การกรอด้วย (Winding) เป็นการนำด้ายดิบมากรอเข้าหลอดด้วยเครื่องกรอด้วย (Winding machine) หรือก็คือขั้นตอนการจัดเก็บด้ายให้มีความเรียบร้อย โดยการม้วนด้วยลูกด้าย (Package) เหตุผลอีกประการหนึ่งของการกรอด้วย ก็คือเพื่อให้สามารถตรวจสอบข้อบกพร่อง และสิ่งแปลกปลอมของเส้นด้ายได้



รูปที่ ก.5 ตัวอย่างลักษณะหลอดด้ายที่ได้รับการกรอด้วยเรียบร้อยแล้ว

ก.3.3 การสืบด้ายและลงแป้ (Warping & Sizing) เป็นขั้นตอนการนำลูกด้ายมาเรียง ต่อกันก่อนม้วนลงบีม หรือก็คือการนำด้ายมาเข้าเครื่องสืบด้าย เพื่อต่อด้ายและทำการลงแป้ (Sizing) โดยผ่านอ่างแป้และระเหยน้ำให้แห้ง แสดงดังรูปที่ ก.6 สำหรับการลงแป้ จุดประสงค์ เพื่อลดการขาดของเส้นด้ายให้เส้นด้ายมีความคงทนแข็งแรง

ก.3.4 การทอผ้า (Weaving) เป็นการนำเส้นด้าย 2 ชุดมาสานเข้าด้วยกัน ถักทอเป็นผืนด้วยเครื่องทอผ้า (Weaving machine) เพื่อให้เป็นแผ่นและมีลวดลายตามที่ต้องการ พิจารณาได้ตามรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.6 เครื่องสืบด้าย (Warping machine)



รูปที่ ก.7 เครื่องทอผ้า (Weaving machine)



ภาคผนวก ข

ภาพสิ่งทอที่ใช้ในระบบตรวจสอบจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติ
ด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ร่วมกับ 2DPCA

ภาพสิ่งที่ใช้ในระบบตรวจสอบจุดบกพร่องแบบอัตโนมัติ ด้วยตัวกรองกาบอร์ประยุกต์ร่วมกับ 2DPCA

ข.1 ชนิดของจุดบกพร่องในสิ่งทอ

จุดบกพร่อง เป็นข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วยหลายสาเหตุ แต่โดยมากมักเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต โดยทั่วไปลักษณะของจุดบกพร่องมีด้วยกัน 8 ลักษณะ พิจารณารายละเอียดได้ดังตารางที่ ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 อธิบายลักษณะของจุดบกพร่อง

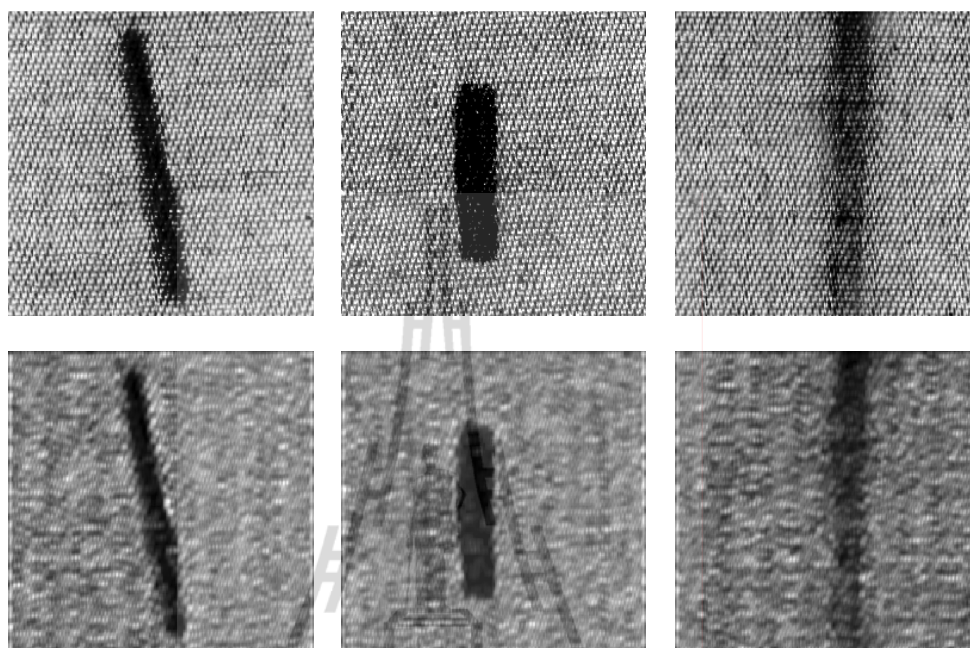
จุดที่	ชนิดของจุดบกพร่อง	ลักษณะของจุดบกพร่อง	รูปที่
1	เส้นด้ายสกปรก (Dirt yarn)	จุดบกพร่องที่เกิดจากความสกปรก เช่น ฝุ่น สิ่งปนเปื้อน คราบน้ำมัน ซึ่งหยดลงบนพื้นผิวผ้าทอ บางครั้งอาจแสดงให้เห็นเป็นคราบยาวต่อเนื่องชัดเจน หรือทิ้งร่องรอยที่เนียนประอะไว้เป็นจุดเล็ก ๆ	ข.1 (ก)
2	เส้นด้ายหย่อน (Slack end)	จุดบกพร่องที่มีสาเหตุหนึ่งเกิดจากความไม่สมดุลทางโครงสร้างของผ้าทอระหว่างบริเวณพื้นผ้าและริมขอบผ้าทอ และอีกสาเหตุมาจากกริมผ้าทอส่วนด้ายยืนเกิดการหย่อน เนื่องจากการขาดความระมัดระวังในการจัดโครงสร้างผ้าทอก่อนเริ่มกระบวนการทอผ้าในระหว่างขั้นตอนการผลิต	ข.1 (ข)
3	แถบหนา (Thick bar)	จุดบกพร่องที่เกิดจากการทอที่ผิดพลาดส่วนของการสอดใส่ด้าย โดยเส้นด้ายดังกล่าว เกิดการถักทอที่ผิดพลาดส่วนอย่างเห็นได้ชัด โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่หรือหนา อาจเกิดขึ้นเพียงบางส่วนของเนื้อผ้า หรือเต็มความกว้างของผ้าทอ ความบกพร่องนี้จะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างเปลี่ยนหรือเติมด้าย รวมถึงอาจเกิดขึ้นจากการทำงานผิดพลาดของเครื่องทอผ้า	ข.1 (ค)

ตารางที่ ข.1 อธิบายลักษณะของจุดบกพร่อง (ต่อ)

จุดที่	ชนิดของจุดบกพร่อง	ลักษณะของจุดบกพร่อง	ตารางที่
4	การเหลื่อมกันของด้าย (Mispick)	จุดบกพร่องที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดของ กระสวยด้ายพุ่งทำให้การสอดด้ายพุ่งหยุดชะงัก เป็นสาเหตุให้เกิดการสร้างแถบที่ถักทอข้ามเส้น ด้ายพุ่ง ส่งผลให้เกิดการเหลื่อมกันของด้าย	ข.1 (ง)
5	เส้นด้ายที่ทอผิดแบบ (Wrong draw)	จุดบกพร่องที่เกิดจากด้ายยืนมีการถักทอด้วยลำดับ ที่ผิดพลาดไม่เป็นไปตามขั้นตอนการทอปกติ	ข.1 (จ)
6	รอยขาด (Tear defect)	จุดบกพร่องที่เกิดจากการฉีกขาดของเนื้อผ้าระหว่าง กระบวนการผลิต อาจเกิดขึ้นจากการทำงานที่ไม่ สมบูรณ์หรือผิดพลาดของเครื่องทอผ้า หรือความ ผิดพลาดอื่น ๆ ซึ่งส่งผลให้ผ้าทอมีรอยแยก (ขาด) เกิดขึ้น	ข.1 (ฉ)
7	ด้ายบาง (Thin bar)	จุดบกพร่องที่เกิดจากการทอที่ผิดสัดส่วนของการ สอดใส่ด้าย โดยเส้นด้ายดังกล่าว เกิดการถักทอที่ ผิดสัดส่วนเล็กน้อย โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กกว่าหรือน้อยกว่าแบบด้ายหนา เกิดขึ้นเพียง บางส่วนของเนื้อผ้า หรือเต็มความกว้างของผ้าทอ	ข.1 (ช)
8	การทอทับกันของด้าย (Netting multiple)	จุดบกพร่องที่เกิดจากการที่มีบางบริเวณของผ้า ทอ ที่มีเส้นด้ายหนึ่งเส้นหรือมากกว่าหายไปซึ่งเกิด โดยการทอทับกัน ทำให้มองไม่เห็นเส้นด้ายที่ หายไปดังกล่าว	ข.1 (ซ)

ข.2 ผลทดสอบระบบ

ผลทดสอบระบบตรวจจับจุดบกพร่องด้วยตัวกรองภาพแบบอัตโนมัติ เปรียบเทียบระหว่างภาพสิ่งทอทดสอบต้นแบบและสิ่งทอที่ได้หลังจากกระบวนการตรวจจับด้วยตัวกรองภาพประยุกต์ รวมถึงค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ใช้เพื่อในการตัดสินใจความบกพร่องของภาพสิ่งทอทั้งที่มีจุดบกพร่องและไม่มีจุดบกพร่อง แสดงดังรูปที่ ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ โดยพิจารณาทำการทดสอบด้วยภาพระดับเทาของสิ่งทอ ขนาด 256×256 ซึ่งถูกสแกนด้วยความละเอียด 200 จุดต่อนิ้วโดยกำหนดให้ dist แทนค่าระยะทางยูคลิเดียนดังกล่าว

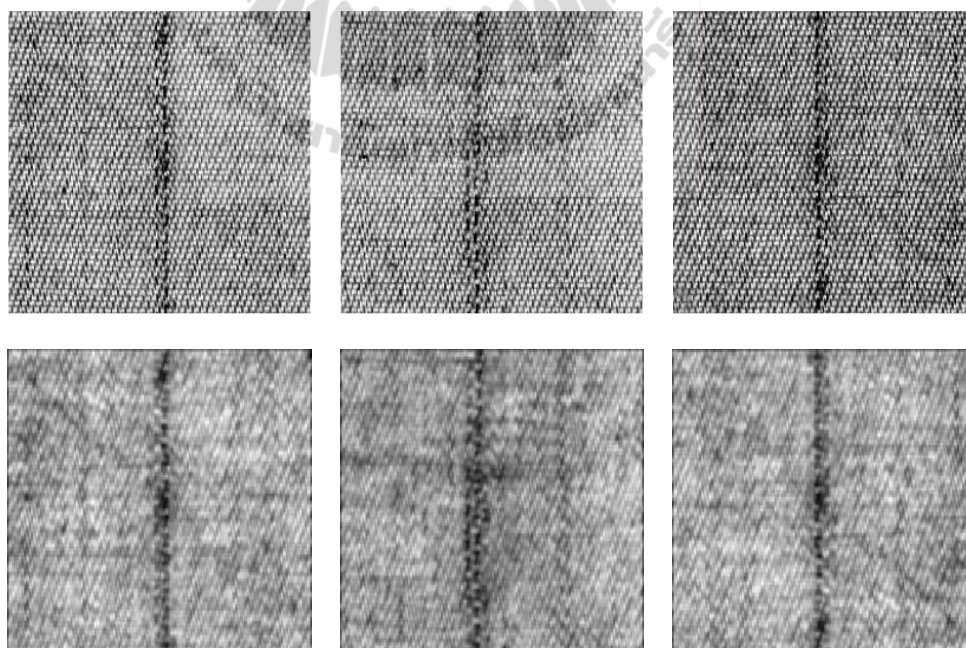


dist = 0.8360

dist = 0.8360

dist = 0.8360

(ก) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายสกปรก (Dirty yarn)



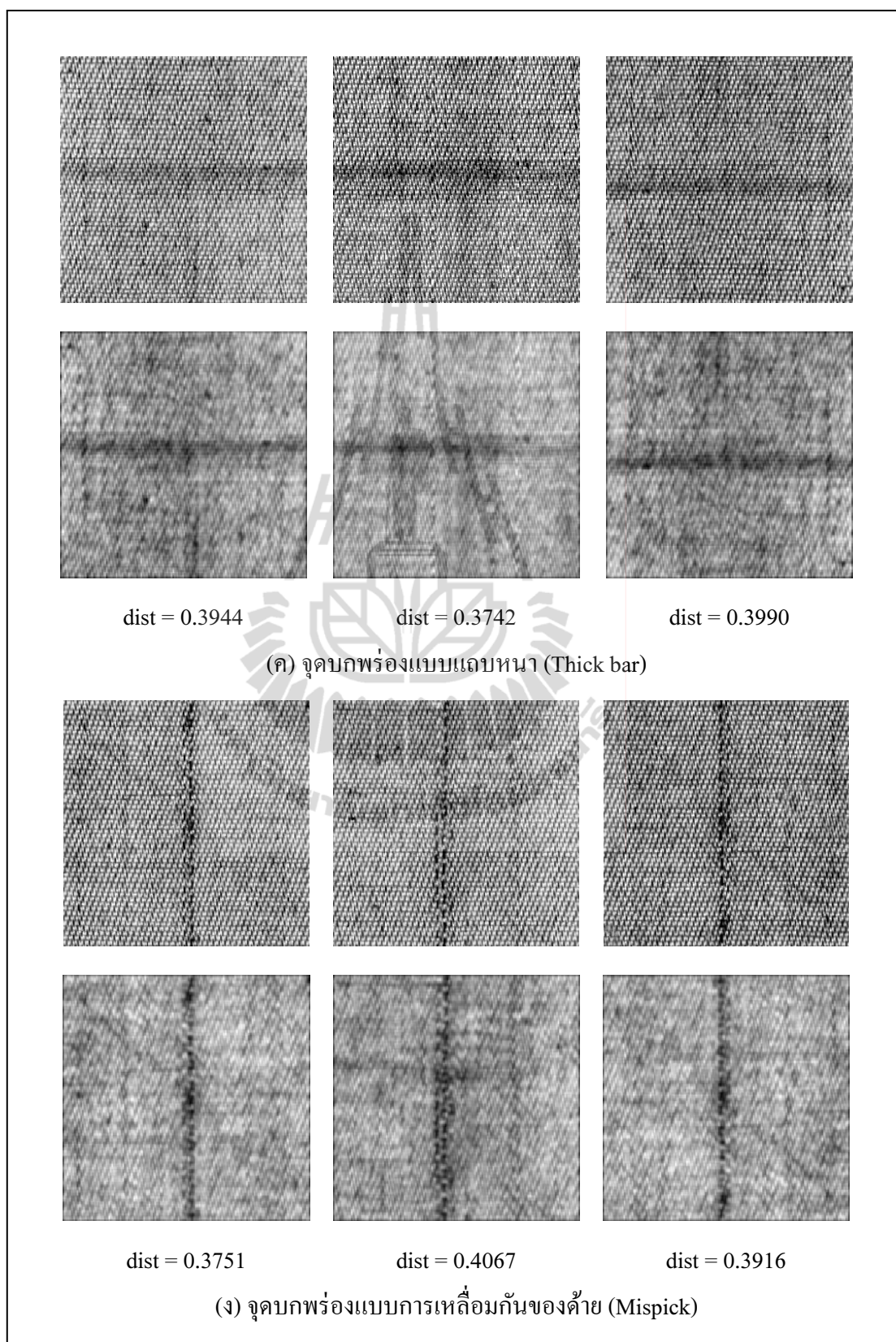
dist = 0.3751

dist = 0.4067

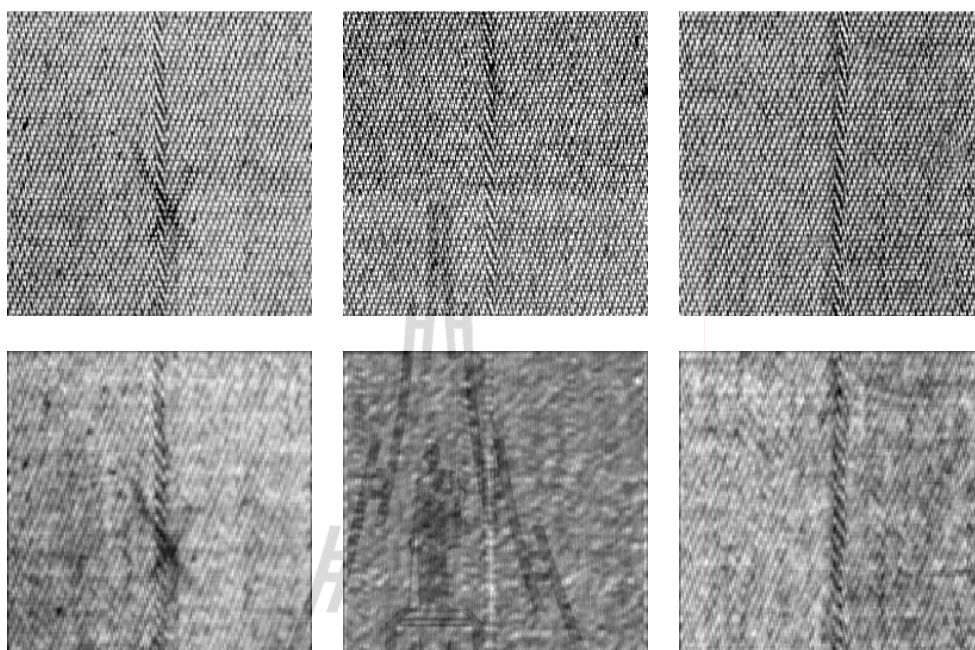
dist = 0.3916

(ข) จุดบกพร่องแบบเส้นด้าย (Slack end)

รูปที่ ข.1 ภาพสิ่งทอทดสอบ ผลการทดสอบ และค่าระยะทางยูคลิดเนียนที่ได้ (dist)



รูปที่ ข.1 ภาพสิ่งทอทดสอบ ผลการทดสอบ และค่าระยะทางยูคลิดเนียนที่ได้ (dist) (ต่อ)

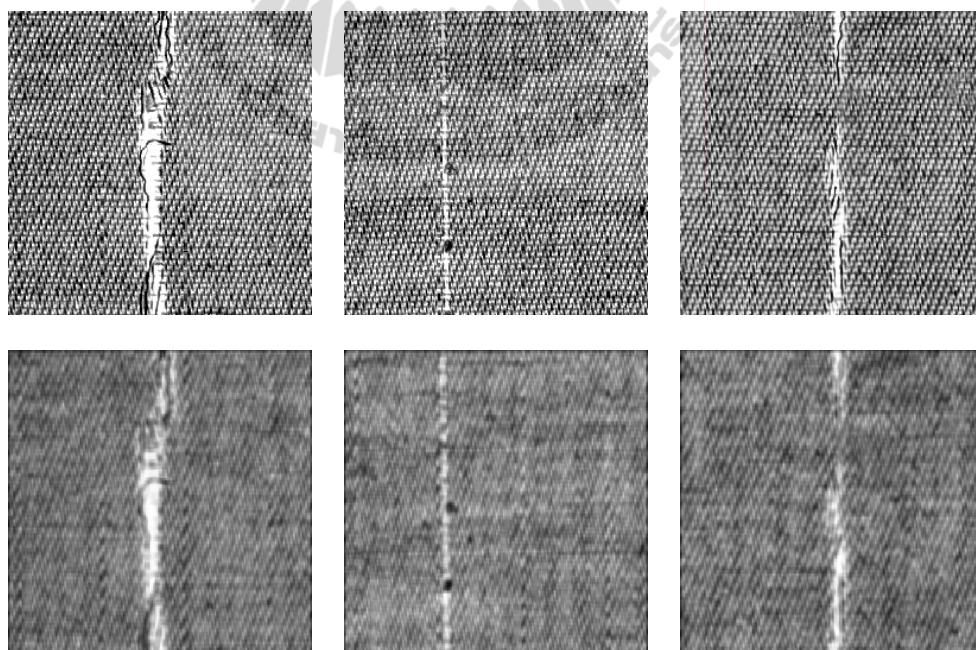


dist = 0.3856

dist = 0.8360

dist = 0.3827

(จ) จุดบกพร่องแบบเส้นด้ายที่ทอผิดแบบ (Wrong draw)



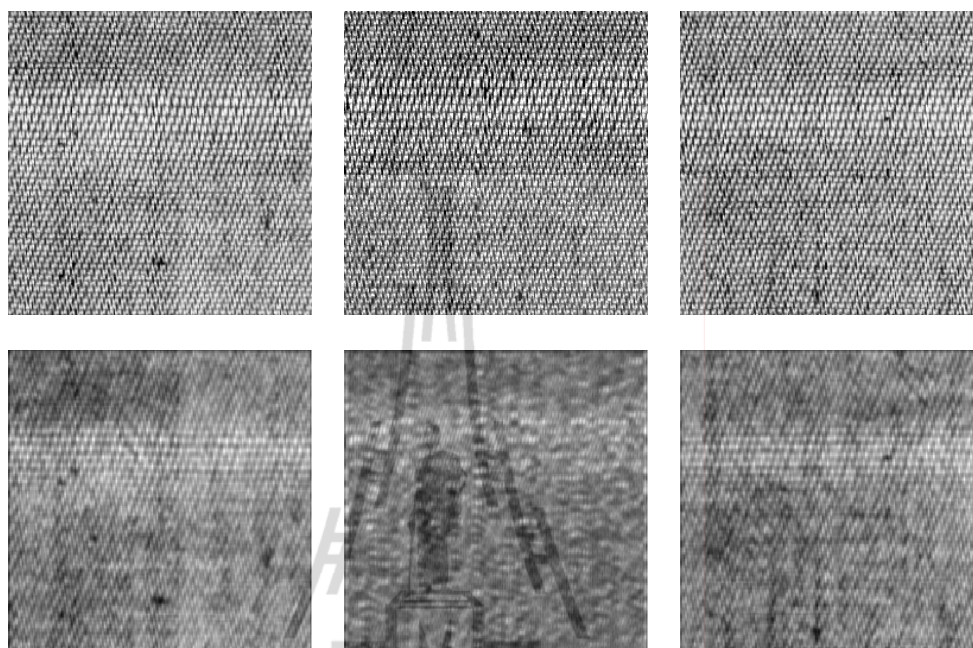
dist = 0.4415

dist = 0.3639

dist = 0.4281

(ฉ) จุดบกพร่องแบบรอยขาด (Tear defect)

รูปที่ ข.1 ภาพสิ่งทอทดสอบ ผลการทดสอบ และค่าระยะทางยูคลิดเลียนที่ได (dist) (ต่อ)

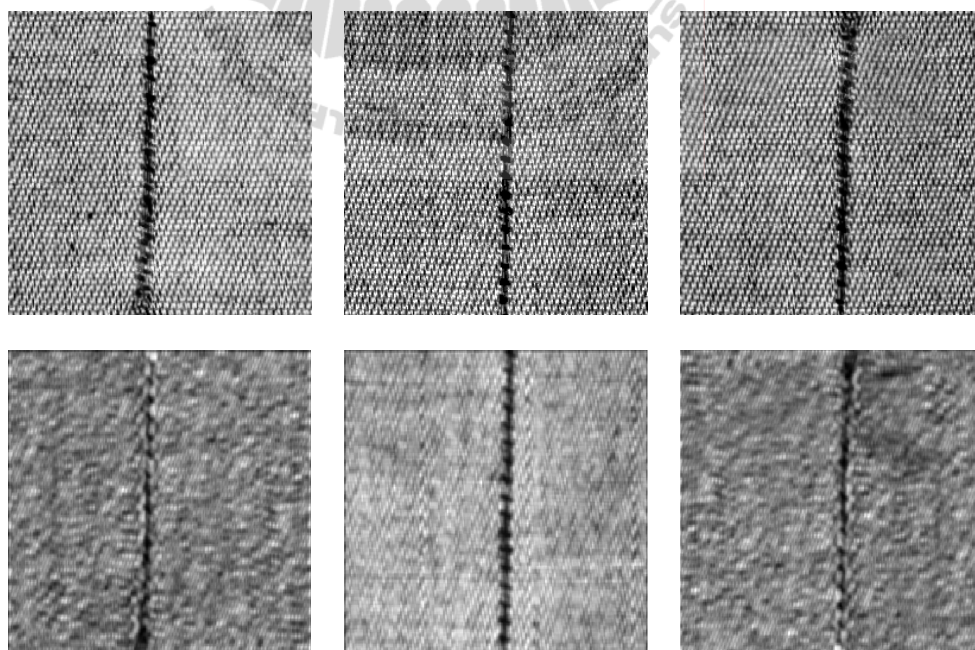


dist = 0.4066

dist = 0.8360

dist = 0.3882

(ข) จุดบกพร่องแบบค้ำยบาง (Thin bar)



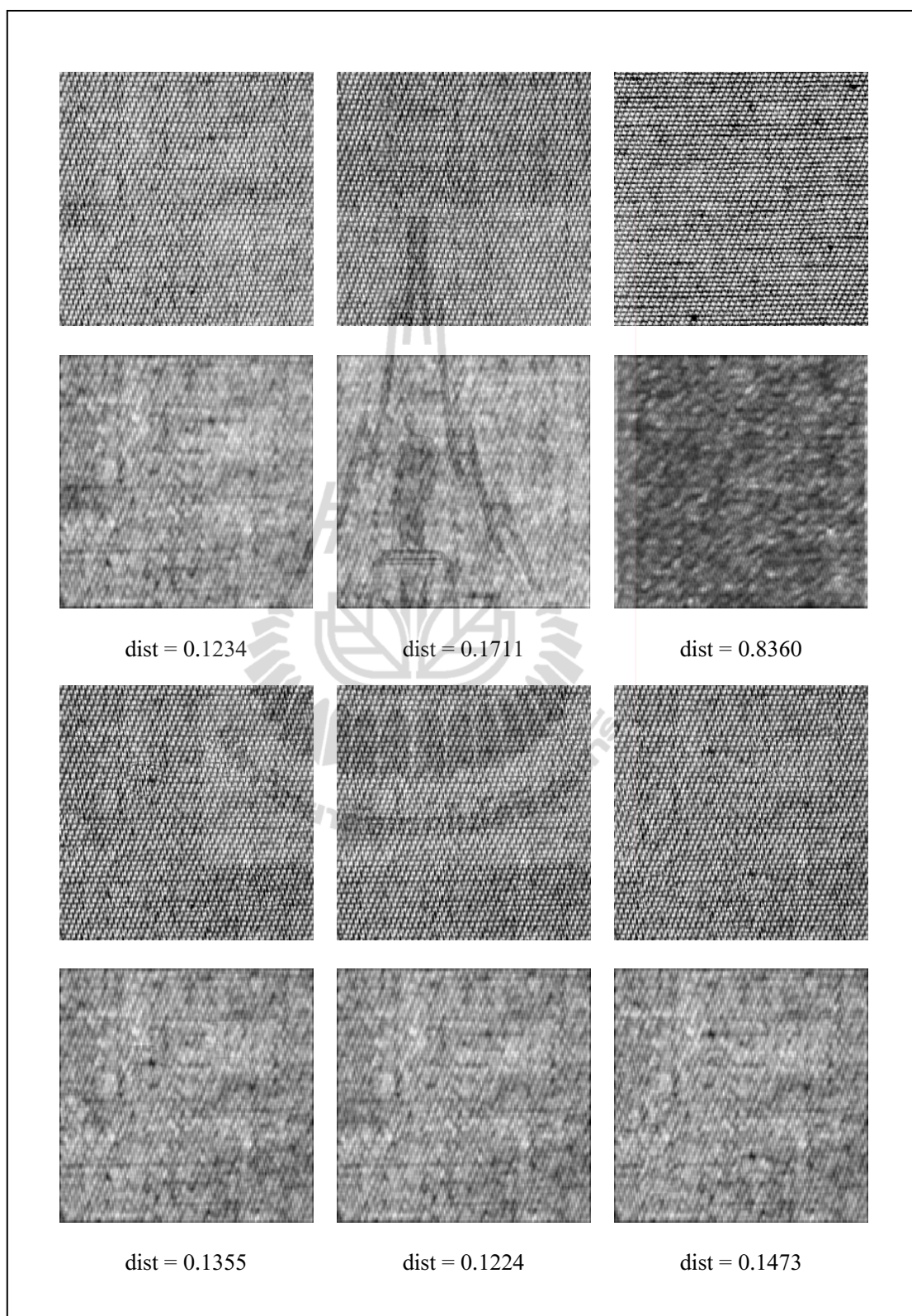
dist = 0.8359

dist = 0.3999

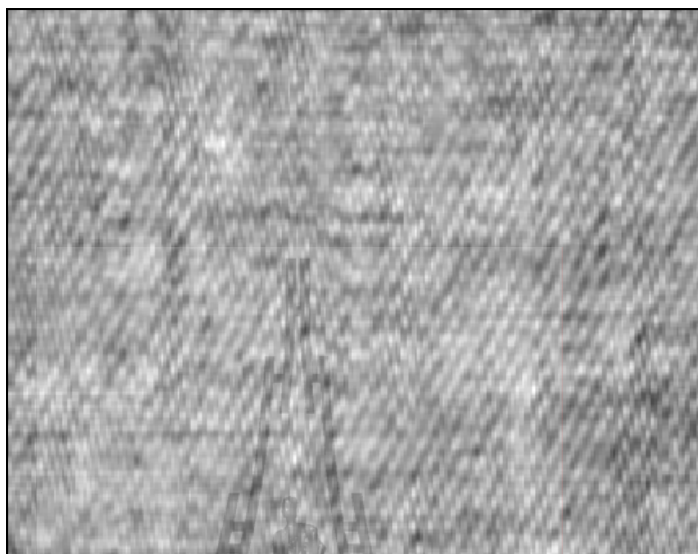
dist = 0.8359

(ค) จุดบกพร่องแบบการทอทับกันของค้ำย (Netting multiple)

รูปที่ ข.1 ภาพสิ่งทดสอบ ผลการทดสอบ และค่าระยะทางยูคลิเดียนที่ได้ (dist) (ต่อ)



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างภาพสิ่งทอที่ไม่มีจุดบกพร่องกับผลการทดสอบที่ได้ และค่าระยะทางยูคลิเดียนเพื่อตัดสินความบกพร่อง (dist)



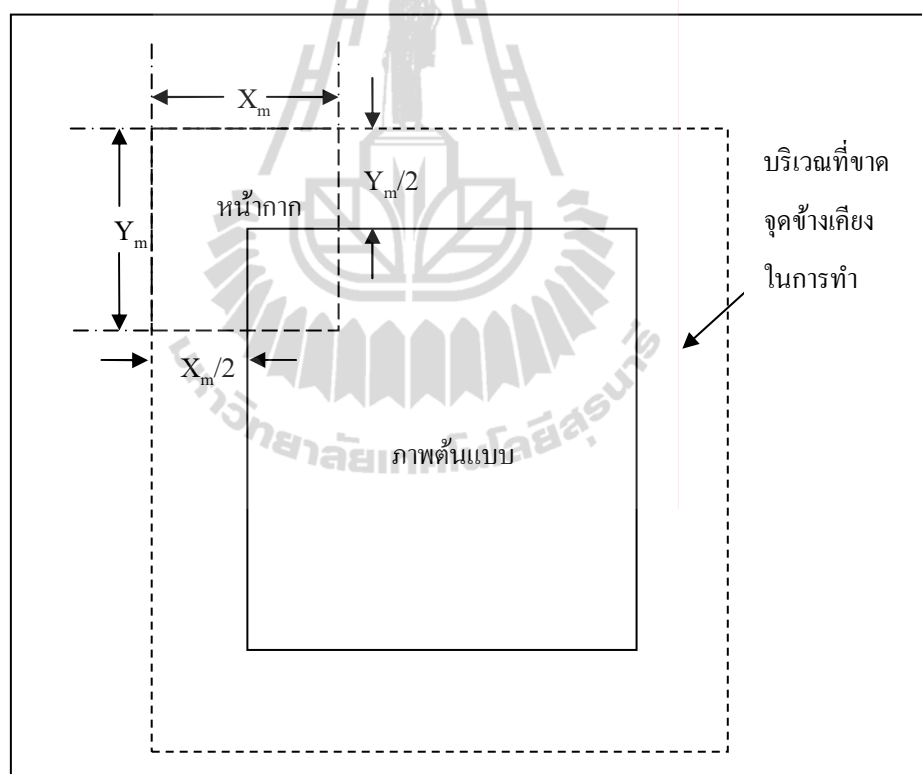
รูปที่ ข.3 ภาพฝึกสอนเฉลี่ยเพื่อใช้ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข.3 การคอนโวลูชัน (Convolution)

ปัญหาที่พบในการทำคอนโวลูชันภาพ คือ การขาดจุดข้างเคียงบริเวณของการทำคอนโวลูชัน ซึ่งอยู่บริเวณขอบรอบนอกกรอบภาพ หมายถึง การใช้น้ำกาคอนโวลูชันมาทำการคอนโวลูชันที่บริเวณขอบภาพจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการคำนวณจะขาดจุดภาพบริเวณภายนอกของภาพ พิจารณาดังรูปที่ ข.4 โดยทั่วไปแล้ววิธีการแก้ปัญหานี้มักใช้วิธีการกำหนดจุดในบริเวณกรอบภาพ ทั้งสี่ด้านให้เป็นค่าเดิมหรือแล้วแต่กรณี ความกว้างของแถบด้านบนและด้านล่างของภาพมีค่าเท่ากับ $(Y_m - 1)/2$ ข้างซ้ายและขวาเท่ากับ $(X_m - 1)/2$ เมื่อ X_m คือ ความกว้างของหน้ากาค และ Y_m คือ ความสูงของหน้ากาค ตัวอย่างเช่น หน้ากาคขนาด 5×5 จะมีแถบกว้าง 2 จุดภาพ ซึ่งไม่สามารถคำนวณได้รอบ ๆ ภาพ

ในการใช้งานจึงต้องรู้ว่าจะนำภาพที่ได้จากการประมวลไปดำเนินการอะไรต่อ เพราะอาจเป็นไปได้ที่ภาพผลลัพธ์จะมีขนาดเล็กกว่าภาพต้นแบบ บางระบบต้องการการคำนวณที่ถูกต้องสมบูรณ์อย่างแท้จริง โดยการนำข้อมูลในบริเวณอื่น ๆ มาใช้แทนบริเวณแถวและคอลัมน์ของจุดภาพที่เลยออกไปจากภาพต้นแบบ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้แถวด้านล่างของภาพมาใช้เป็นข้อมูลที่ต้องการของการคำนวณทางด้านบน และในทำนองเดียวกัน ใช้แถวทางด้านบนมาเป็นข้อมูลที่ต้องการของการคำนวณทางด้านล่าง นำคอลัมน์ทางด้านขวาของภาพมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณของคอลัมน์ทางด้านซ้าย และนำคอลัมน์ทางด้านซ้าย มาเป็นข้อมูลที่ต้องการการคำนวณทางด้านขวา ถึงแม้วิธีการดังกล่าวจะยังขาดประสิทธิภาพอยู่บ้าง แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็ให้ผลลัพธ์ที่มีขนาด

เท่าภาพต้นแบบ นอกจากนี้การคำนวณด้วยการทำคอนโวลูชันค่อนข้างจะใช้เวลา เนื่องจากจำเป็นต้องทำการคำนวณในทุกจุดภาพ โดยในแต่ละจุดภาพก็มีตัวดำเนินการมากกว่า 1 ขั้นตอน เช่น กำหนดหน้ากาขนาด 3×3 จะต้องทำการคูณ 9 ครั้ง บวก 9 ครั้ง และหารอีก 1 ครั้ง ในแต่ละผลลัพธ์ 1 จุดภาพ (Pixel) เป็นต้น จะเห็นว่ายิ่งกำหนดขนาดของหน้ากากใหญ่เท่าไรเวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น การกำหนดขนาดของหน้ากากจึงมีความสำคัญและเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ เพื่อให้การคำนวณใช้เวลาที่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและช่วยลดการประมวลผลข้อมูลที่ไม่จำเป็นนัก ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาภาพโดยไม่พิจารณาบริเวณขอบภาพทั้งสี่ด้านที่ขาดจุดข้างเคียงบริเวณรอบกรอบภาพดังกล่าว



รูปที่ ข.4 การขาดจุดข้างเคียงในการคอนโวลูชัน



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วิไลลักษณ์ คิตสร้าง (2551). ตัวกรองกบอร์ประยุกต์เพื่อการตรวจจับจุดบกพร่องบนสิ่งทอ, การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษา มทส. ครั้งที่1.

วิไลลักษณ์ คิตสร้าง (2553). การตรวจจับจุดบกพร่องในสิ่งทอด้วยตัวกรองกบอร์ประยุกต์, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (Electrical Engineering Conference; EECON33), หน้า 1,274-1,276.



ประวัติผู้เขียน

นางสาววิไลลักษณ์ คิดสร้าง เกิดเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2545 และในปี พ.ศ. 2548 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขณะศึกษาระดับปริญญาโท ได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 5 รายวิชาได้แก่ (1) ปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์ (2) ปฏิบัติการวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า (4) ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า และ (5) ปฏิบัติการระบบควบคุม มีความสนใจทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาพโดยผ่านเทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ และมีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 2 บทความ ดังรายละเอียดที่ปรากฏในภาคผนวก ค.