

ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับกระดาษลูกฟูก

**MACHINE VISION SYSTEM FOR COUNTING  
CORRUGATED CARDBOARD**

มณฑา รัตนากกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

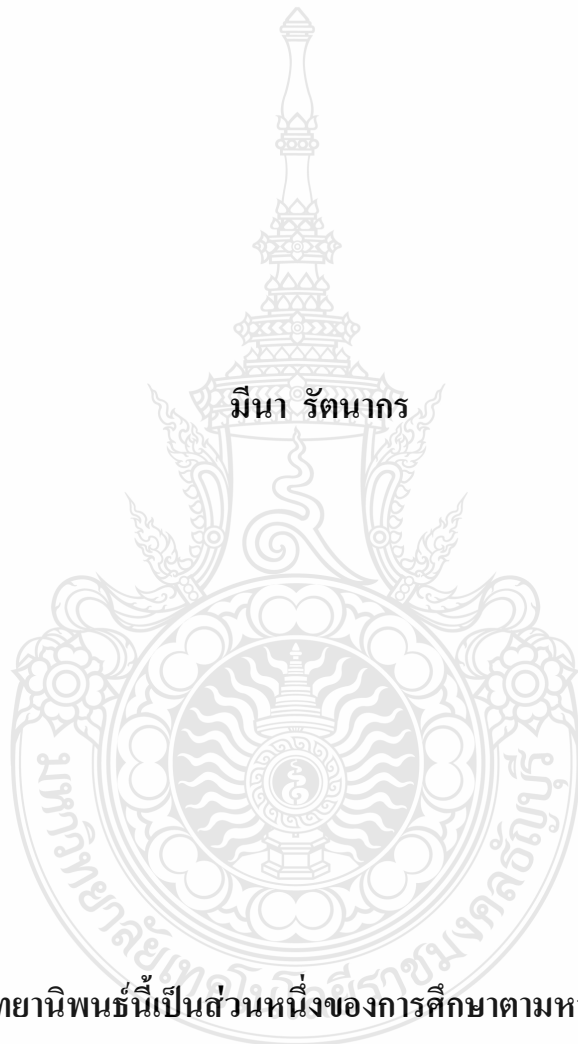
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับกระดาษลูกฟูก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับ กระดาษลูกฟูก Machine Vision System for Counting Corrugated Cardboard
ชื่อ-นามสกุล	นาย มีนา รัตนาก
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์, Ph.D.)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์, Ph.D.)

.....กรรมการ  
(ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)

.....กรรมการ  
(ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมหมาย ผิวสะอาด, Ph.D.)  
วันที่ เดือน พ.ศ.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับกระดาษลูกฟูก
ชื่อ – นามสกุล	นายมีนา รัตนากร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

## บทคัดย่อ

การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีหลายวิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการนับกระดาษ อาทิ การประมาณอัตราส่วนน้ำหนักของกระดาษลูกฟูกหนึ่งแผ่นคำนวณเทียบกับน้ำหนักทั้งหมดของกองกระดาษลูกฟูกที่ต้องการนับ การใช้ความหนาของกระดาษลูกฟูกหนึ่งแผ่นคำนวณเทียบกับความสูงของกองกระดาษลูกฟูกที่ได้จากเซ็นเซอร์ โดยวิธีดังกล่าวยังไม่สามารถนับจำนวนกระดาษได้อย่างถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนมาก

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการนับจำนวนของกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้องและเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองวิธีตามรูปแบบขอบของกระดาษลูกฟูก คือ 1) การนับเส้นขอบกระดาษลูกฟูกด้านตัดออกเป็นแผ่น (ด้านสลิทเตอร์) โดยใช้เทคนิคการหาขอบภาพด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่งและวิธีฐานนิยามทางสถิติในการนับ 2) การนับแผ่นกระดาษลูกฟูกด้านลอน (ด้านคัทออฟ) โดยตรวจวัดขนาดพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิควิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นไบนารีในการกำหนดขนาดของแผ่นกระดาษเพื่อใช้ในการหาจำนวนกระดาษลูกฟูก ในเบื้องต้นทำการทดสอบรูปขอบกระดาษทั้งสองด้านโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบอัลกอริทึมที่ออกแบบ แล้วนำอัลกอริทึมที่ได้ไปทดสอบแบบเวลาจริงด้วยโปรแกรม HALCON เพื่อทดสอบความเร็วและความถูกต้องในการนับกระดาษลูกฟูก

ผลการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC C และ B อย่างละ 180 ตัวอย่างโดยวิธีที่นำเสนอสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้รวดเร็วและถูกต้องทั้งสองด้าน เมื่อให้ความสว่างบริเวณพื้นที่รับภาพคงที่ และการวางขอบกระดาษเรียงเสมอกันในระยะโฟกัสของกล้อง ในการทดสอบความสามารถของระบบในกรณีที่ขอบกระดาษไม่เสมอกัน ด้านสลิทเตอร์พบว่าระบบยังสามารถนับกระดาษได้ถูกต้องเมื่อขอบกระดาษวางเลขจุดโฟกัสออกจากกล้องไม่เกิน 2 เซนติเมตร สำหรับด้านคัทออฟอยู่ที่ระยะไม่เกิน 3 เซนติเมตร

คำสำคัญ: มอร์ฟोलอจี การหาขอบ เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ กระดาษลูกฟูก

<b>Thesis Title</b>	Machine Vision System for Counting Corrugated Cardboard
<b>Name - Surname</b>	Mr.Meena Rattanakorn
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr.Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2012

## ABSTRACT

Corrugated cardboard counting is a part of the corrugated cardboard production process. There are several methods that are applied for counting the cardboard such as weight estimation method in which the weight of a single sheet is calculated compare to the weight of whole piling of the cardboard. Another method using height estimation which the thickness of a single sheet is computed then compared to the height of whole unit provided from the sensor. Both methods, however, could not provide correctly counting and large errors are also introduced.

This thesis presents a method for counting the number of corrugated cardboard using machine vision system and image processing techniques. The cardboard edge images that have two sides as the strip (slitter) and the fluted (cut-off) side are used for detection and counting. Edge detection technique using the first-order derivative is applied to the slitter side in order to extract the strip lines from the cardboard edges image then counting with MODE method. For the cut-off side, the fluted area of cardboard is identified and measured using Blob Analysis. Later the centers of the detected area are located and counted as the number of cardboards. Firstly, MATLAB program is applied to simulate in the experiments in order to determine the algorithms. Then HALCON program is performed the real-time experiments to see the working speed and accuracy of the proposed system.

The experiments employed 180 samples of each cardboard type BC, C and B which the edge of cardboard placed to be the same distance to the vertical line in the focus distance of the camera with fixed light intensity at the captured area. It is found that the proposed method provided fast and correctly counting of both sides. Also the system has tolerance for the case of the cardboard placed away further the focus not over 2 cm and 3 cm for the slitter and cut-off side respectively.

**Keywords:** morphology, edge detection, blob analysis, corrugated cardboard

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และความเอาใจใส่ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองต้นแบบชิ้นงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงานที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบใจเพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโททุกคนที่ให้การกำลังใจในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยจนได้ความสมบูรณ์ของงานขอขอบคุณบุคลากร บัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ นอกเหนือจากนี้ขอขอบคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่มอบทุนสนับสนุนพัฒนาบุคลากรตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัย

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

มีนา รัตนากร

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนในการทำงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูก.....	6
2.3 ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	8
2.4 กระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูก.....	10
2.5 ลักษณะพื้นที่ของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้ในการนับ.....	11
2.6 ทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing).....	12
2.7 อุปกรณ์หลักในระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง.....	30
2.8 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกด้านรอยตัด ของกระดาษลูกฟูก (Slitter).....	36
3.2 ศึกษาวิธีการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกด้านลอน (Cut Off).....	39

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 ศึกษาการออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง.....	44
3.4 ออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานระบบตรวจสอบอัตโนมัติ .....	48
3.5 สรุปวิธีดำเนินงานวิจัย .....	50
4 ผลการวิจัย.....	51
4.1 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter โดยใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่ ....	51
4.2 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter โดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้น .....	55
4.3 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 1 สำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter.....	57
4.4 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 2 สำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter.....	61
4.5 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 3 สำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter.....	64
4.6 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off โดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้น....	68
4.7 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC .....	71
4.8 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด C .....	75
4.9 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด B .....	77
4.10 สรุปผลการวิจัย.....	80
5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Slitter .....	82
5.2 สรุปผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Cut Off.....	82
5.3 ข้อเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างอัลกอริทึมด้าน Slitter และ ด้าน Cut Off.....	83
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	86
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	105



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	มาตรฐานของกระดาษลูกฟูก..... 9
2.2	คุณสมบัติของการส่งข้อมูล ..... 33
4.1	การกำหนดค่าความสว่าง (Illuminance) และค่าขีดแบ่ง (Threshold) กับกล้อง Area Scan.. 52
4.2	การกำหนดค่าความสว่าง (Illuminance) และค่าขีดแบ่ง (Threshold) ..... 56
4.3	ผลการนับกระดาษลูกฟูกจำนวน 9 แผ่นที่มีขอบกระดาษเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง..... 70
4.4	ผลการนับกระดาษลูกฟูกจำนวน 9 แผ่นที่มีขอบกระดาษเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง. 70
4.5	ข้อกำหนดค่าความสว่าง ระยะจากกล้องและแหล่งจ่ายแสงกับกระดาษลูกฟูก..... 73
4.6	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง ..... 73
4.7	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง ..... 73
4.8	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง ..... 73
4.9	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง..... 74
4.10	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง ..... 75
4.11	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง ..... 75
4.12	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง ..... 77
4.13	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง ..... 77
4.14	ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง ..... 78

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อม เลขจุดไฟก๊สเข้าหากล่อง.....	78
4.16 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อม เลขจุดไฟก๊สออกจากกล่อง.....	79
4.17 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อม เลขจุดไฟก๊สเข้าหากล่อง.....	79
4.18 สรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิดBC, C, B ด้าน Slitter .....	81
4.19 สรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิดBC, C, B ด้าน Cut Off.....	81



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สีของกระดาษแต่ละชนิดเพื่อใช้สำหรับผลิตกระดาษลูกฟูก.....	7
2.2 ชนิดของกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด.....	10
2.3 กระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก.....	11
2.4 กระดาษลูกฟูกบริเวณด้านที่ใช้ทำการทดสอบ.....	11
2.5 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพขาวดำขนาด 14 x 9.....	12
2.6 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพระดับสีเทา.....	13
2.7 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพสี.....	14
2.8 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	15
2.9 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ.....	15
2.10 ผลที่เกิดจากการกร่อนภาพขาวดำ.....	17
2.11 ผลที่เกิดจากการกร่อนภาพระดับสีเทา.....	17
2.12 ผลที่เกิดจากการขยายภาพขาวดำ.....	18
2.13 ผลที่เกิดจากการขยายภาพระดับสีเทา.....	19
2.14 การปรับปรุงภาพขาวดำโดยใช้การเปิดภาพ.....	20
2.15 การปรับปรุงภาพระดับสีเทาโดยใช้การเปิดภาพ.....	20
2.16 การปรับปรุงภาพขาวดำโดยใช้การปิดภาพ.....	21
2.17 การปรับปรุงภาพระดับสีเทาโดยใช้การปิดภาพ.....	22
2.18 การหาขอบโดยใช้อู้นพินซ์อันดับ 1.....	23
2.19 หน้ากาก (Mask) ขนาด 3x3.....	24
2.20 หน้ากาก (Mask) ของการหาขอบแบบโซเบล.....	25
2.21 การหาขอบโดยใช้การหาขอบแบบโซเบล.....	25
2.22 การหาขอบโดยใช้อู้นพินซ์อันดับ 2.....	26
2.23 การหาขอบโดยใช้หน้ากากตามสมการที่ 2.21.....	28
2.24 เปรียบเทียบการหาขอบแบบอนูพินซ์อันดับที่ 1 และ 2.....	28
2.25 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็น ไบนารีเพื่อหาเส้นรอบวัตถุ.....	29
2.26 ทิศทางการเชื่อมต่อจุด (Region Growing).....	30
2.27 ความแตกต่างของการเรียงตัวของเซ็นเซอร์รับภาพ.....	31

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.28 การประยุกต์ใช้งานกล้อง Area Scan สำหรับหาขนาดและความหนาของขนมปัง .....	31
2.29 ตัวอย่างของระบบที่ใช้กับกล้อง Line Scan เพื่อสร้างภาพ.....	32
2.30 การประยุกต์ใช้งานกล้อง Line Scan สำหรับงานตรวจสอบสิ่งพิมพ์ .....	32
2.31 การเชื่อมต่อเพื่อส่งภาพด้วยสัญญาณทางดิจิทัลชนิดต่างๆ.....	33
2.32 ตัวแปรสำหรับพิจารณาการเลือกเลนส์ .....	34
3.1 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูก .....	36
3.2 ด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูกชนิด BC .....	37
3.3 ความแตกต่างของภาพก่อนและหลังจัดแสง .....	37
3.4 การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ .....	38
3.5 การหาขอบโดยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง.....	38
3.6 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบด้านลอนของกระดาษลูกฟูก .....	39
3.7 กระดาษลูกฟูกด้านลอนของกระดาษลูกฟูกชนิด BC.....	39
3.8 ภาพระดับสีเทาก่อนทำการกำหนดค่าขีดแบ่ง.....	40
3.9 ฮิสโตแกรมเพื่อใช้กำหนดค่าขีดแบ่ง .....	41
3.10 ภาพขาวดำที่เกิดจากการกำหนดค่าขีดแบ่ง .....	41
3.11 การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุโดยวิธี Blob Analysis .....	42
3.12 ขั้นตอนการนับกระดาษลูกฟูก.....	43
3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสำหรับนับกระดาษลูกฟูก.....	44
3.14 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Area Scan .....	45
3.15 ชุดทดสอบระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan.....	46
3.16 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan.....	47
3.17 ส่วนประกอบของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	48
3.18 โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI).....	48
3.19 ส่วนประกอบของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม VISUAL C#.NET.....	50
3.20 โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI).....	50
4.1 โปรแกรมนับกระดาษลูกฟูกสำหรับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ สำหรับหัวข้อที่ 4.1 .....	52
4.2 ความถูกต้องของจำนวนกระดาษลูกฟูกในสภาวะที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 4.1 .....	53

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.3 การทดสอบหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกที่ผิดพลาดเนื่องจากการกำหนดค่าไม่ตรงตามเงื่อนไขในตารางที่ 4.1 .....	54
4.4 ความผิดพลาดของอัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบกับกระดาษลูกฟูก.....	56
4.5 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน .....	59
4.6 ความผิดพลาดในการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก.....	60
4.7 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน .....	62
4.8 ตัวอย่างผลการทดสอบการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก.....	63
4.9 การเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 1 และแบบที่ 2.....	64
4.10 ความหนาของกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 1 แผ่น .....	64
4.11 ผลการทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกโดยเพิ่มการพิจารณาความหนาของกระดาษลูกฟูก..	65
4.12 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ที่ปรับเปลี่ยนหน้าจอใหม่.....	66
4.13 ตัวอย่างผลการทดสอบการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter .....	67
4.14 กระดาษลูกฟูกที่ไม่สมบูรณ์.....	68
4.15 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการปรับปรุง.....	69
4.16 ผลการทดสอบอัลกอริทึม .....	70
4.17 ความเสียหายของลอนกระดาษลูกฟูกจนไม่สามารถนับได้.....	71
4.18 ชุดทดสอบระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan แบบเวลาจริง.....	72
4.19 ระยะห่างจากกล้องและแหล่งจ่ายแสงกับกระดาษลูกฟูก.....	72
4.20 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริง.....	74
4.21 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริง .....	74
4.22 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริง .....	76
4.23 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริง.....	77
4.24 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริง .....	78
4.25 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริง.....	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบอัตโนมัติ (Automation System) มาใช้แทนแรงงานมนุษย์มากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสินค้า โดยสาเหตุที่ต้องนำเครื่องจักรมาใช้แทนมนุษย์เนื่องจากมนุษย์ เมื่อทำงานเป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดความเมื่อยล้า (Human Error) ซึ่งจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน ประกอบกับในงานที่ต้องการความแม่นยำในการตรวจสอบหรืองานที่มีรายละเอียดสูง มนุษย์ไม่สามารถทำการตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับงานประเภทนี้ต้องนำระบบอัตโนมัติมาทำงานแทนเพื่อทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในระบบอัตโนมัติมีระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานตรวจสอบซึ่งระบบนั้นคือระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เป็นระบบที่ใช้การนำภาพจากกล้องมาประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ตรรกะ และสถิติเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานแล้วนำผลที่ได้จากการตรวจสอบไปควบคุมเครื่องจักรต่างๆ ซึ่งปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้นำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) มาใช้งานมากขึ้น เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เป็นต้น

สำหรับโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก การนับกระดาษลูกฟูกเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการตรวจสอบจำนวนของกระดาษลูกฟูกที่จะจัดส่งให้ลูกค้า ว่ามีจำนวนครบตามที่ลูกค้าต้องการหรือไม่ เพราะถ้าลูกค้าได้กระดาษลูกฟูกไม่ครบตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ จะทำให้ลูกค้าเกิดความเสียหายและไม่มั่นใจในตัวผู้ผลิตกระดาษลูกฟูก แต่ถ้าผู้ผลิตส่งกระดาษลูกฟูกมากกว่าจำนวนที่ลูกค้าต้องการส่งผลให้ผู้ผลิตกระดาษลูกฟูกขาดทุน ในปัจจุบันการตรวจนับมีหลายรูปแบบเช่น การนำกระดาษลูกฟูกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกทั้งหมด วัดความสูงของกระดาษลูกฟูกโดยใช้เซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำน้อย หรือวิธีการใช้กล้องจำนวนสองตัวมาหาจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้ความสูง เป็นเพียงแค่การประมาณเท่านั้น [1]

วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง เพื่อใช้สำหรับการนับกระดาษลูกฟูกโดยการใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing) และสถิติ เพื่อออกแบบเป็นอัลกอริทึมและเขียนโปรแกรม โดยพิจารณาจากโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกและทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ สำหรับรูปร่างของกระดาษลูกฟูกมีอยู่ 2 ด้านที่ใช้ในการนับกระดาษ ด้านแรกคือด้านลอนลูกฟูก (Cut Off) และด้านที่สองเป็นด้านที่เกิดจากการตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่น

(Slitter) สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามบริเวณที่ใช้สำหรับการนับกระดาษ ส่วนแรกเป็นการพิจารณาด้านลอนลูกฟูกโดยการตรวจหาจำนวนลอนของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้นับกระดาษลูกฟูกโดยนำเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis) และ มอร์โฟโลยี (Morphology) มาใช้สำหรับจัดการภาพก่อนทำการนับกระดาษลูกฟูก ส่วนที่สองจะพิจารณาด้านที่เกิดจากการตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่น (Slitter) โดยจะทำการตรวจหาเส้นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกโดยนำเทคนิคการหาขอบ (Edge Detection) มอร์โฟโลยี (Morphology) และ สถิติ มาใช้สำหรับการนับกระดาษลูกฟูก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาอุปกรณ์ของระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เพื่อใช้ใน งานวิจัย

1.2.2 ศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) มาใช้ในการนับ จำนวนของกระดาษลูกฟูกที่อยู่ในกระบวนการผลิตกระดาษ

1.2.3 ออกแบบและทดสอบอัลกอริทึมนับกระดาษลูกฟูกโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.2.4 นำอัลกอริทึมที่ได้ทำการทดสอบกับโปรแกรม MATLAB ไปเขียนในโปรแกรม VISUAL.NET เพื่อทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time)

## 1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

วิธีการนับกระดาษลูกฟูกนั้นมีหลายวิธีการเช่น การวัดน้ำหนักของกระดาษลูกฟูก การวัด ความสูงของกระดาษโดยใช้เซ็นเซอร์เพื่อหาจำนวนกระดาษลูกฟูก โดยผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง จากปัญหาที่กล่าวมา วิธีการที่คาดว่าสามารถนำมาใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกคือวิธีการนับกระดาษ ลูกฟูกโดยใช้ภาพจากกล้องมาพิจารณาโครงสร้างของกระดาษลูกฟูก โดยแบ่งเป็น 2 ด้าน ด้านแรกจะ ใช้ระยะห่างของรอยต่อกระดาษลูกฟูก จากสมมุติฐานคาดว่าน่าจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นมากกว่า 1 มิลลิเมตร และกระดาษมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันเพื่อสามารถทำการนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง ด้านที่ สองคือบริเวณลอนของกระดาษลูกฟูก โดยตรวจหาค่าตำแหน่งของลอนลูกฟูกเพื่อหาค่าตำแหน่งของ กระดาษแต่ละแผ่นแล้วนับจำนวนของกระดาษลูกฟูกจากสมมุติฐาน คาดว่าพื้นที่ลอนที่ค่าเท่ากันหมด และตำแหน่งของลอนในหนึ่งแผ่นมีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน โดยการทดสอบเริ่มต้นจากจำนวน กระดาษลูกฟูกขนาดเล็กน้อย เพื่อใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องในการนับกระดาษในแต่ละด้าน

#### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ออกแบบวิธีการควบคุมการทำงานของกล้องและเซอร์โวมอเตอร์เพื่อสร้างภาพกระดาษลูกฟูกมาใช้สำหรับนับกระดาษลูกฟูก

1.4.2 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกชนิด B, C และ BC

1.4.3 ทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกแบบเวลาจริง (Real Time)

#### 1.5 ขั้นตอนในการทำงาน

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) โดยเป็นระบบต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมในการนับกระดาษลูกฟูก การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของกล้องและเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing)
- 1.5.2 ศึกษางานวิจัยที่มีอยู่แล้ว
- 1.5.3 ศึกษาชนิดของกล้อง เลนส์ อุปกรณ์ให้แสง
- 1.5.4 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB เพื่อหา อัลกอริทึมในการนับกระดาษลูกฟูก
- 1.5.5 ทำการทดสอบอัลกอริทึม
- 1.5.6 สร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรม
- 1.5.7 เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของกล้องและเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เพื่อให้โปรแกรมสามารถดึงภาพจากกล้องได้
- 1.5.8 ทำการทดสอบโปรแกรมโดยการนำอัลกอริทึมมาทดสอบกับภาพที่ได้จากกล้องในสภาวะต่างๆ
- 1.5.9 ตรวจสอบและหาข้อผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดขึ้นแล้วทำการปรับปรุงแก้ไข
- 1.5.10 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลการวิจัย



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ประโยชน์เชิงวิชาการ คือ การศึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของงานวิจัยและสามารถแสดงผลงานด้วยการตีพิมพ์บทความทางวิชาการทั้งงานประชุมในและต่างประเทศได้

1.6.2 ประโยชน์ต่อการพัฒนาทางด้านการประมวลผลภาพ คือ งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอวิธีการสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้กับงานวิจัยอื่นๆ หรือเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาอัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.6.3 ประโยชน์สำหรับโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก คือ สามารถนำไปออกแบบเครื่องมือให้เหมาะในแต่ละโรงงานเพื่อใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มการตรวจสอบจำนวนของกระดาษก่อนส่งให้กับลูกค้า



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ รวมถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนับกระดาษลูกฟูกที่ใช้เทคนิคแบบไหนในการนับกระดาษลูกฟูก และงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) กับงานชนิดต่างๆ ที่คาดว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานนับกระดาษลูกฟูกมีวัตถุประสงค์เพื่อ ตรวจสอบจำนวนก่อนส่งให้กับลูกค้า ซึ่งวิธีการนับจำนวนของกระดาษลูกฟูกมีหลายวิธี เช่นการชั่งน้ำหนักกระดาษลูกฟูก การใช้เซ็นเซอร์วัดความสูงของกระดาษลูกฟูก แต่จากการศึกษาวิธีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้มีความผิดพลาดสูงเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดและกระดาษลูกฟูก สำหรับวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยเล่มนี้จะเป็นการนำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมาประยุกต์ใช้ เพื่อหาลักษณะเฉพาะของกระดาษลูกฟูกและนำข้อมูลที่ได้ ไปหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น สามารถแบ่งงานวิจัยได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนับกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ส่วนที่สองเป็นงานวิจัยที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาขอบสำหรับงานด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์กับการตรวจหาเส้นขอบของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้สำหรับการนับกระดาษลูกฟูก และส่วนที่สามเป็นงานวิจัยที่นำเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อหาวัตถุสำหรับงานด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์กับการตรวจหาพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้สำหรับการนับกระดาษลูกฟูก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการนับกระดาษลูกฟูกโดยใช้กล้อง จากงานวิจัยของ Balestrino Aldo และคณะ ได้มีการนำเสนอวิธีการใช้กล้องจำนวนสองตัว โดยกล้องตัวแรกใช้เพื่อดูกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงประมาณ 1.8 เมตร โดยใช้เทคนิค Gaussian Filter สิ่งที่ได้จากกล้องตัวที่หนึ่งคือความสูงของกระดาษลูกฟูกทั้งหมด กล้องตัวที่สองมีหน้าที่หาความหนาเฉลี่ยของกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น โดยใช้เทคนิค Bi-Dimensional Discrete Fourier Transform (DFT) แล้วนำค่าที่ได้จากกล้องทั้งสองตัวมาหารในอัตราส่วนที่กำหนด สิ่งที่ได้คือจำนวนของกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า

2% เมื่อทดสอบกับกระดาษชนิด B, C และ EB ช้อแนะนำเพื่อลดข้อผิดพลาดในการนับกระดาษ ลูกฟูก คือการปรับปรุงระบบแสงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น [1]

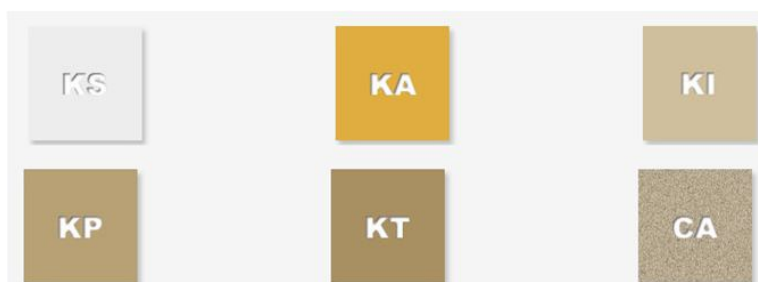
การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจหาเส้นขอบ ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการหาเส้นแบ่งถนน [2] ใช้ในงานการเกษตร [3] ตรวจหารอยความเสียหายในฟิล์ม [4] จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการหาขอบของวัตถุเริ่มจากการกระบวนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทาและแปลงเป็นภาพขาวดำ เพื่อลดข้อมูลของภาพสำหรับการประมวลผล ซึ่งในภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำได้มีการปรับปรุงภาพโดยใช้มอร์โฟโลยีก่อนเข้าสู่กระบวนการหาขอบ สำหรับเทคนิคการหาขอบที่ใช้ในงานวิจัยคือ โซเบล (Sobel) แคนนี่ (Canny) และมอร์โฟโลยี สุดท้ายคือการหาค่าแหน่งเส้นขอบโดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัยคือวิธีฮัฟทรานฟอร์ม (Hough Transform) หรือเทคนิค Least Square

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจหาวัตถุ ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการหาน้ำแข็งบนสายส่ง [5] หาดำแหน่งรถ [6-7] นับปลา [8] และนับคน [9] จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการหาวัตถุเริ่มจากการกระบวนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทาและแปลงเป็นภาพขาวดำ เพื่อลดข้อมูลของภาพสำหรับการประมวลผล ซึ่งในภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำได้มีการปรับปรุงภาพโดยใช้มอร์โฟโลยีก่อนเข้าสู่กระบวนการหาวัตถุ โดยเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อหาค่าแหน่งของวัตถุคือ เทคนิคการวิเคราะห์หากลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis) หรือ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยหลักที่สำคัญคือการจัดการภาพให้เห็นสิ่งที่เราสนใจชัดเจนที่สุด ซึ่งตัวดำเนินการประมวลผลภาพหลักที่ใช้คือมอร์โฟโลยี เทคนิคการวิเคราะห์หากลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ และเทคนิคการหาขอบ นอกจากนี้ปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบมีความแม่นยำขึ้น นั่นคือใช้อุปกรณ์ให้แสงเพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องการหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกที่มีความแม่นยำโดยใช้ตัวดำเนินการประมวลผลภาพและใช้แสงเพื่อควบคุมแสงบริเวณผิวของกระดาษลูกฟูก

## 2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกเป็นผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมในการผลิตเพื่อทำกล่องบรรจุสินค้าเนื่องจากมีความทนทาน สามารถปกป้องสินค้า และสามารถพิมพ์ลวดลายเพื่อทำให้เกิดความสวยงาม จากตารางที่ 2.1 เป็นมาตรฐานของกระดาษลูกฟูกโดยที่กระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกแบ่งได้ 2 ชนิดคือกระดาษทำผิวกล่องและกระดาษทำลอนลูกฟูก ซึ่งจากภาพที่ 2.1 เป็นชนิดของกระดาษที่ใช้ในการทำกระดาษลูกฟูกโดยกระดาษแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.1 สีของกระดาษแต่ละชนิดเพื่อใช้สำหรับผลิตกระดาษลูกฟูก

2.2.1 กระดาษทำผิวกล่อง (Outer And Inner Facing, Liners) กระดาษทำผิวกล่องหมายถึงกระดาษที่ใช้ติดกับกระดาษลูกฟูกมีผิวเรียบอย่างสม่ำเสมอโดยทั่วไปทำมาจากเส้นใยขาวโดยกรรมวิธีซัลเฟตกระดาษชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า Kraft Liner หรือ Liner Board มีสีธรรมชาติเป็นสีน้ำตาล แต่สามารถฟอกให้ขาวได้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีฟอกขาวจะมีผลที่ทำให้ความเหนียวของกระดาษลดลงร้อยละ 5-10 ในบางกรณีอาจจะผสมเยื่อกระดาษที่ใช้แล้วลงไปใยขาว ซึ่งเรียกกระดาษทำผิวกล่องชนิดนี้ว่า Test Liner กล่องกระดาษลูกฟูกที่ทำมาจากกระดาษชนิดนี้จะมีความแข็งแรงต่ำกว่า Kraft Liner โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้กล่องภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นและกระดาษทำผิวกล่องแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

1) KS หมายถึงกระดาษคร่าฟที่สีขาวเน้นความสวยงามและสีสันในการพิมพ์มีความเรียบของผิวกระดาษสูงสามารถนำไปผลิตกล่องที่มีความแข็งแรงช่วยเสริมภาพลักษณ์ของสินค้า การใช้งานนิยมใช้สำหรับกล่องบรรจุเครื่องไฟฟ้า ยา และเครื่องมือแพทย์ อาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก และอาหาร เช่น เครื่องดื่ม ผักผลไม้ เป็นต้น

2) KA หมายถึงกระดาษคร่าฟที่สีเหลืองทอง กระดาษคร่าฟที่สีเหลืองทองเกรด A มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ มีสีสม่ำเสมอในทุกล็อตของการผลิตทำให้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากสำหรับทำเป็นผิวกล่องบรรจุสินค้าในประเทศและส่งออกได้รับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-22-2529 การใช้งานเหมาะสำหรับผลิตกล่องบรรจุสินค้านานาชนิดได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้า อาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก อาหารกระป๋อง เครื่องยนต์ สิ่งทอ เป็นต้น

3) KI หมายถึงกระดาษคร่าฟที่ไม่ใส่สีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นกระดาษสีอ่อนตามธรรมชาติของเยื่อกระดาษมีคุณสมบัติความแข็งแรงรองลงมา โทนสีอ่อนช่วยให้สามารถพิมพ์ภาพพิมพ์สีที่เข้มได้ดีเหมาะสำหรับบรรจุสินค้าภายในประเทศ นิยมใช้สำหรับกล่องบรรจุสินค้าต่างๆ

ได้แก่สินค้าอุปโภค และบริโภค เช่นอาหารกระป๋อง ขนมอบเคี้ยว เครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังใช้บรรจุเครื่องหนัง เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

4) KP หมายถึงกระดาษสีน้ำตาลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสำหรับการส่งออกกระดาษkraft ไปยังประเทศจีน มาเลเซีย สิงคโปร์ เป็นต้น การใช้งานเหมาะสำหรับกล่องบรรจุเครื่องไฟฟ้า เครื่องหนัง เฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

5) KT หมายถึงกระดาษสีน้ำตาล สำหรับอุปโภคบริโภค ผลิตจากเยื่อ Recycled เน้นความแข็งแรงด้านการเรียงซ้อน การใช้งานสำหรับอุปโภคบริโภค

2.2.2 กระดาษลูกฟูก (Corrugating Medium Facing, CA) กระดาษลูกฟูกหมายถึงกระดาษที่นำมาขึ้นลอนเพื่อให้อยู่ระหว่างกระดาษทำผิว เน้นคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของหารเรียงซ้อน และความแข็งแรงของลอนลูกฟูกเพื่อป้องกันการกระแทกของสินค้า สามารถทำลอนลูกฟูกขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการ ความแข็งแรงจะมีมากขึ้นตามน้ำหนักมาตรฐานที่มากขึ้น ได้รับการรับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 321-2530

### 2.3 ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก

จากตารางที่ 2.1 เป็นมาตรฐานของกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจากตารางแสดงให้เห็นว่ากระดาษแต่ละชนิดมีความสูงและจำนวนชั้นของกระดาษลูกฟูกไม่เท่ากัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น หรือแผ่นกระดาษลูกฟูกหนึ่งหน้า (Single Face Corrugated) ประกอบด้วยกระดาษผิวกล่อง 1 แผ่นติดกับกระดาษลูกฟูกอีก 1 แผ่นติดกับกระดาษลูกฟูกอีก 1 แผ่น ดังภาพที่ 2.2 สามารถมีน้ำหนักได้มากมายขนาดทั้งนี้เพื่อความแข็งแรงตามต้องการ กระดาษชนิดนี้ผลิตเป็นม้วนมีขนาดที่เป็นมาตรฐานคือ ความยาว 250 ฟุต กว้าง 36 นิ้ว สามารถตัดทำเป็นแผ่นกลม เป็นปลอก (Sleeve) เป็นแผ่นหรือมีรูปร่างต่างๆ ได้ นิยมใช้ห่อสินค้า หรือทำเป็นแผ่นรองภายในกล่องเพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก

2.3.2 แผ่นกระดาษลูกฟูกสามชั้น หรือแผ่นกระดาษลูกฟูก 2 หน้า (Single Wall or Double faced Corrugated) ประกอบด้วยกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น ทากาวแล้วปิดทับด้วยกระดาษทำผิวทั้ง 2 ด้าน รวมเป็นกระดาษ 3 ชั้นดังภาพที่ 2.2 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของกระดาษลูกฟูกชนิดนี้มีมากกว่ากระดาษลูกฟูกชนิดอื่นๆ ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากัน เนื่องจากกระดาษลูกฟูกมีโครงสร้างของลูกฟูกเป็นโค้ง จึงให้ความแข็งแรงและความแข็งตัวแก่กระดาษแผ่นเรียบ ปะหน้าลูกฟูกด้วย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวรองรับและยึดหยุ่นเมื่อมีสิ่งใดมากระทบ ดังนั้นกระดาษชนิดนี้จึงนิยมนำไปใช้ทำกล่องมากที่สุด โดยใช้มากประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณกล่องทั้งหมด ลูกฟูกลอน B และลอน C ส่วน

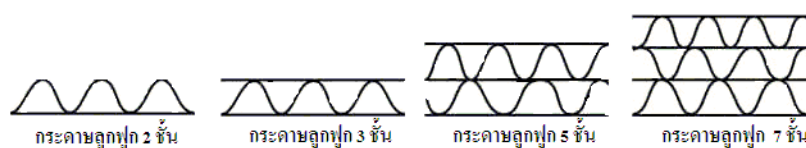
ใหญ่นิยมใช้ทำกล่องเพื่อการขนส่ง ส่วนลูกฟูกลอน E ใช้กันมากในการทำกล่อง ใค้ท (Die Cut Box) หรือกล่องลูกฟูกขนาดเล็ก

2.3.3 แผ่นกระดาษลูกฟูกห้าชั้น (Double Wall Corrugated) ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกล่อง 3 แผ่นและกระดาษลูกฟูก 2 แผ่นอยู่สลับกันดังภาพที่ 2.2 กระดาษทำกล่องนั้นมีน้ำหนัก ขนาดและคุณภาพของกระดาษหลายอย่างให้เลือกใช้เพื่อให้แข็งแรงตามต้องการ ถ้าต้องการให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นก็จะใช้กระดาษชนิดผสม ตามปกติกระดาษลูกฟูกชนิดผสมที่ใช้คือ ชนิดลอนแบบ AB Flute และแบบ BB Flute สำหรับกระดาษลูกฟูกชนิดที่มีลอนผสมแบบ BC Flute และ AA Flute กำลังแพร่หลายกันมากขึ้น แผ่นกระดาษลูกฟูกมักจะทำเป็นกล่องขนาดใหญ่ หรือใช้บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากซึ่งใช้ขนส่งในระยะทางไกล เช่นกล่องบรรจุสินค้าส่งออกเป็นต้นกล่องชนิดนี้มีความแข็งแรงในการวางซ้อน และสามารถดัดแปลงได้อย่างกว้างขวางในการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากๆ และยุ่งยากในการบรรจุ

2.3.4 แผ่นกระดาษลูกฟูกเจ็ดชั้น ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกล่อง 4 แผ่น และกระดาษลูกฟูก 3 แผ่นอยู่สลับกันดังภาพที่ 2.2 นิยมใช้ลูกฟูกลอน A ผสมกับ B เป็นส่วนมาก แผ่นกระดาษลูกฟูกเจ็ดชั้นมีการใช้ไม่กว้างขวางเท่าใดนัก มักใช้กับการบรรจุสินค้าที่มีมวลใหญ่ๆ เพื่อการขนส่งในระยะทางไกล

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของกระดาษลูกฟูก [10]

ชนิดของลอน	จำนวนลอนต่อเมตร	ความสูงของลอนลูกฟูก (mm)
A	104-125	4.2-4.7
B	150-184	2.1-2.6
C	120-145	3.3-3.8
E	275-310	0.9-1.4
F	407-437	0.6-0.8



ภาพที่ 2.2 ชนิดของกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด

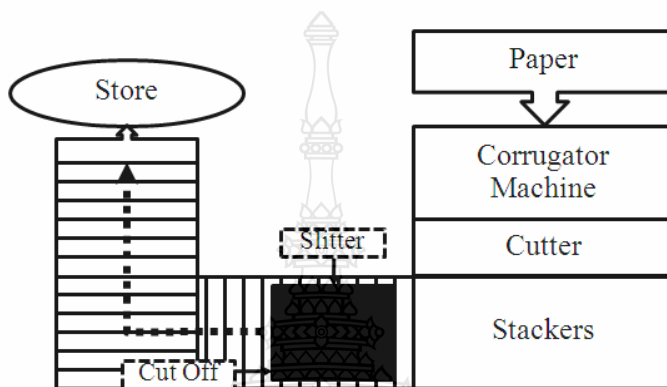
## 2.4 กระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูก

จากภาพที่ 2.3 คือกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก ซึ่งเป็นการนำกระดาษทำผิวกล่อ่งและกระดาษทำลอนมาประกบกันโดยใช้เครื่องทำแผ่นลูกฟูก (Corrugating) โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ Single Facer และ Double Facer Section โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 Single Facer Section ประกอบด้วยชุดรื้อยม้วนกระดาษหรือชุดยก (Mill Roll Stand) และชุดตัดต่อกระดาษ (Splicer) จำนวน 2 ชุด สำหรับใส่กระดาษผิวกล่อ่งด้านใน (Inner Liner) โดยมีการรื้อยผ่านลูกร้อน (Preheater) เพื่อลดความชื้นของกระดาษและช่วยให้กาวแห้งติดกระดาษได้เร็วขึ้น และอีกชุดหนึ่งจะใส่กระดาษทำลอน (Medium) และรื้อยผ่านชุด Preconditioner เพื่อช่วยในการเตรียมความพร้อมของกระดาษเวลาขึ้นรูปลอน โดยมีการพ่นไอน้ำเพื่อช่วยให้กระดาษอ่อนตัวและขึ้นลอนได้ดี จากนั้นกระดาษทำลอนจะผ่านเข้าไปยังเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Face) ผ่านเข้าชุดทำลอน โดยมีลูกกลอน 2 ลูกขบกัน (Corrugating Roll) เพื่อขึ้นรูปให้เป็นลอนโดยใช้ระบบลมดูดเป็นตัวช่วยยึดกระดาษไว้กับลูกกลอนเพื่อให้ได้ขนาดลอนที่สม่ำเสมอชนิดของลูกกลอนจะถูกกำหนดโดยตัวลูกกลอนที่ติดตั้งอยู่ที่ Single Facer จากนั้นกระดาษที่ขบเป็นลอนแล้วจะผ่านไปลูกกาว (Glue Roll) เพื่อทา กาวที่ขยอลอนและประกบกับกระดาษผิวกล่อ่งด้านใน (Inner Liner) ได้เป็นแผ่นลูกฟูกหน้าเดียว (Single Facer) จากนั้นจะถูกส่งไปบนสะพานลำเลียง (Bridge Conveyor) เพื่อรอส่งเข้าไปที่ชุด Double Facer ต่อไปในเครื่องทำแผ่นลูกฟูกทั่วไปนั้นจะมีชุดทำลอน (Single Facer) อยู่ 2 ชุด เพื่อผลิตเป็นแผ่นลูกฟูกได้ทั้ง ชนิด 3 ชั้นและ 5 ชั้น

2.4.2 Double Facer Section ประกอบด้วยชุดรื้อยม้วนกระดาษหรือชุดยก (Mill Roll Stand) และตัดต่อกระดาษ (Splicer) 1 ชุด สำหรับกระดาษผิวกล่อ่งด้านนอก (Outer Liner) กระดาษที่ผ่านมาจากเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว จะถูกดูดบนสะพาน (Suction Bridge) ช่วยดึงให้กระดาษตึงและผ่านลูกร้อน (Preheater) อีกครั้ง ก่อนที่จะเข้าเครื่องทา กาว (Glue Machine) ที่ขยอลอนเพื่อนำไปประกบกับกระดาษผิวกล่อ่งด้านนอกเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูก จากนั้นจะผ่านเข้าไปที่ชุดแผ่นความร้อน (Hot Plate) เพื่ออบให้กาวแห้งและไล่ความชื้นออกจากกระดาษ จากนั้นจะผ่านไปยังชุดลดความร้อน (Cooling Zone) เพื่อลดอุณหภูมิของแผ่นกระดาษลูกฟูก แผ่นกระดาษลูกฟูกที่ออกมาจากจุดนี้จะเป็น

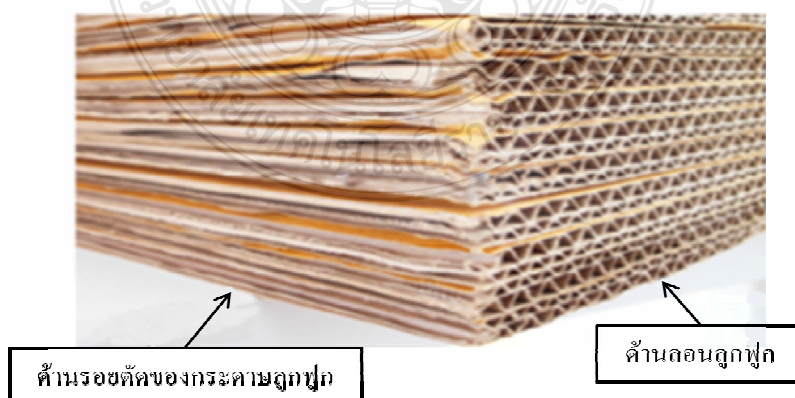
ลักษณะต่อเนื่องมีแนวลอนลูกฟูกตั้งฉากกับแนวเครื่องจักร เพื่อเข้าสู่กระบวนการตัดกระดาษ (Cutter) ซึ่งมีตัวตัดกระดาษ (Rotary Shear) อยู่สองชุด ชุดแรกประกอบด้วยมีดผ่าแบ่ง (Slitter) และลูกทับ (Scorer) ทำหน้าที่ตัดขอบกระดาษตามความกว้างและทำเส้นพับฝากลอง ชุดที่สองคือ มีดตัด (Cut Off Knife) จะตัดแผ่นลูกฟูกตามความยาวให้เป็นขนาดตามที่ต้องการแผ่นลูกฟูกที่ทำการตัดแล้วจะถูกส่งเรียงซ้อนที่ชุดจัดเรียงกระดาษ (Stacker) ก่อนส่งไปเข้ากระบวนการถัดไป



ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก

## 2.5 ลักษณะพื้นที่ของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้ในการนับ

จากภาพที่ 2.4 คือลักษณะของกระดาษลูกฟูกโดยสามารถแบ่งพื้นที่เพื่อใช้สำหรับนับกระดาษลูกฟูกอยู่ 2 ด้าน ด้านแรกคือด้านลอนลูกฟูกหรือเรียกว่า Cut Off และด้านที่สองเป็นด้านที่เกิดจากการตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่นหรือเรียกว่า Slitter



ภาพที่ 2.4 กระดาษลูกฟูกบริเวณด้านที่ใช้ทำการทดสอบ

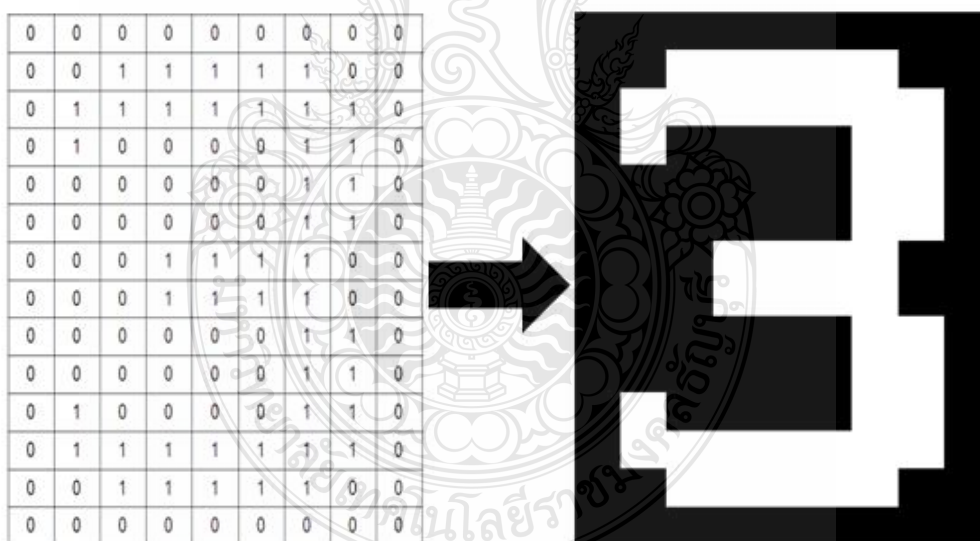


## 2.6 ทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing)

สำหรับทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ใช้ในงานวิจัย เป็นการนำเทคนิคพื้นฐานของประมวลผลภาพเพื่อนำมาสร้างเป็นอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

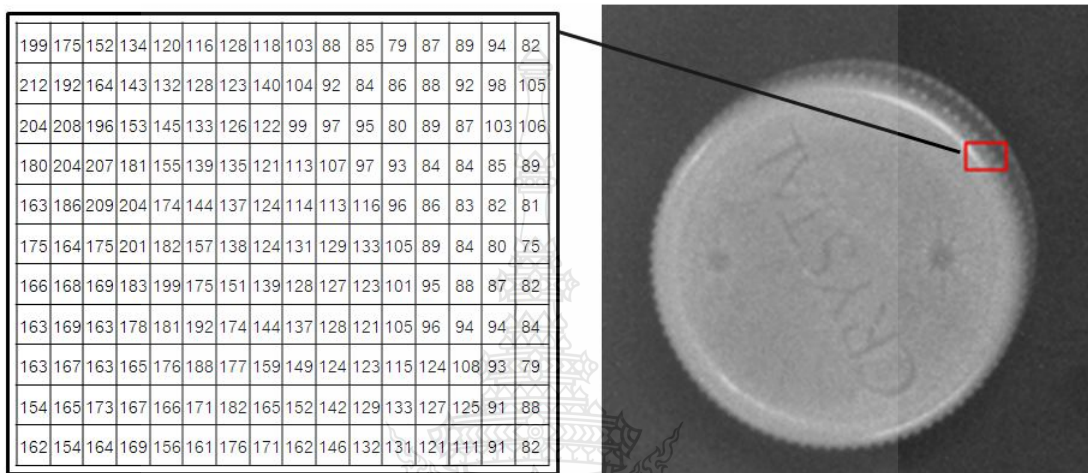
2.6.1 ทฤษฎีของภาพทางคณิตศาสตร์ สำหรับรูปภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือภาพขาวดำ ภาพระดับสีเทา และ ภาพสี ซึ่งภาพเหล่านี้หากมองในทางคณิตศาสตร์จะมองในรูปแบบของอาร์เรย์ขนาดต่างๆ ขึ้นอยู่กับภาพว่าเป็นแบบไหน โดยรายละเอียดของอาร์เรย์ในภาพแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

1) ภาพขาวดำ (Binary Image) จากภาพที่ 2.5 เป็นตัวอย่างของภาพขาวดำหรือเรียกอีกอย่างว่าภาพ 2 ระดับ (Two-Level) ที่เรียกว่าภาพสองระดับเนื่องจากในทางคณิตศาสตร์ภาพขาวดำจะมีลักษณะเป็นอาร์เรย์ขนาดสองมิติซึ่งค่าที่อยู่ในอาร์เรย์มีอยู่สองค่าคือ 0 และ 1 โดยที่จุดภาพใดมีค่าเท่ากับ 0 จุดภาพนั้นคือจุดภาพที่มีสีเป็นสีดำ สำหรับจุดภาพใดมีค่าเท่ากับ 1 จุดภาพนั้นคือจุดภาพที่มีสีเป็นสีขาว



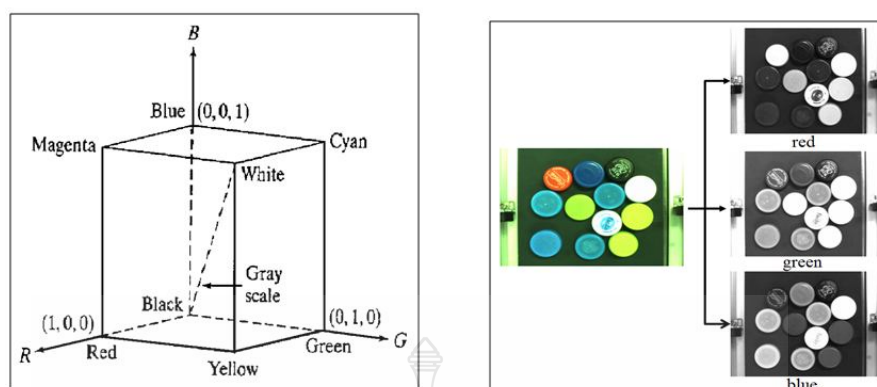
ภาพที่ 2.5 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพขาวดำขนาด 14 x 9

2) ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) ภาพระดับสีเทาในทางคณิตศาสตร์จะมีอาร์เรย์ขนาดสองมิติเช่นเดียวกับภาพขาวดำแต่ค่าที่อยู่ในสมาชิกของอาร์เรย์มีค่าตั้งแต่ 0-255 ทำให้ภาพที่ได้ไม่ใช่มีแค่สีดำกับสีขาวเท่านั้นแต่ภาพจะมีสีที่ไล่ระดับความเข้มจากสีดำเป็นสีเทาจนถึงสีขาวดังภาพที่ 2.6 ทำให้ภาพระดับสีเทาให้รายละเอียดของแสงและเงามากกว่าภาพขาวดำ



ภาพที่ 2.6 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพระดับสีเทา

3) ภาพสี (Color Image) ภาพสีในทางคณิตศาสตร์จะมีอาร์เรย์ขนาดสามมิติโดยที่ ค่าที่อยู่ในสมาชิกของอาร์เรย์มีค่าตั้งแต่ 0-255 เช่นเดียวกับภาพระดับสีเทา สำหรับระบบภาพสีในปัจจุบันมีหลายระบบขึ้นอยู่กับการใช้งานเช่น ระบบภาพสี RGB (Red, Green, Blue) เป็นระบบที่ใช้กับจอแสดงผล กล้องถ่ายรูป ดังภาพที่ 2.7 ระบบภาพสี CMY (Cyan, Magenta, Yellow) และ CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) เป็นระบบสีที่ใช้กับงานพิมพ์ และระบบภาพสี HSI (Hue, Saturation, Intensity) เป็นระบบภาพที่มนุษย์ใช้สำหรับวิเคราะห์สีของวัตถุต่างๆ



ภาพที่ 2.7 ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ของภาพสี

2.6.2 การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) การเปลี่ยนภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับสีเทาดังภาพที่ 2.8 เป็นกระบวนการที่จะทำให้ภาพที่ได้สามารถนำมาประมวลผลได้ง่ายขึ้นและรวดเร็วขึ้นเพราะการที่จะมีการวิเคราะห์การตรวจจับวัตถุจะมีการนำภาพเฟรมต่างๆ มาเข้ากระบวนการตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งถ้านำภาพสีมาเข้ากระบวนการทำงานจะทำให้เกิดความช้าเพราะภาพสีแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพสามภาพประกอบกัน ประกอบไปด้วยภาพโทนสีแดง ภาพโทนสีเขียว และภาพโทนสีน้ำเงิน ดังนั้นการที่จะเข้าถึงภาพและประมวลผลก็จะต้องเข้าถึงข้อมูลทั้งสามข้อมูล (แดง เขียว น้ำเงิน) แต่ระดับสีเทานั้นจะทำให้ได้ง่ายและเร็วกว่าเพราะมีเพียงโทนสีเดียวเนื่องจากภาพสีแต่ละจุดภาพนั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูล 3 ค่าคือสีแดง R สีเขียว G สีน้ำเงิน B ดังนั้นการที่จะแปลงเป็นระดับสีเทาจะมีการใช้สูตรต่างๆ ในการแปลงมากมายแต่สูตรที่นิยมใช้มากที่สุดจะเป็นสูตรของ Craig Markwart ตามสมการที่ 2.1 [11]

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (2.1)$$

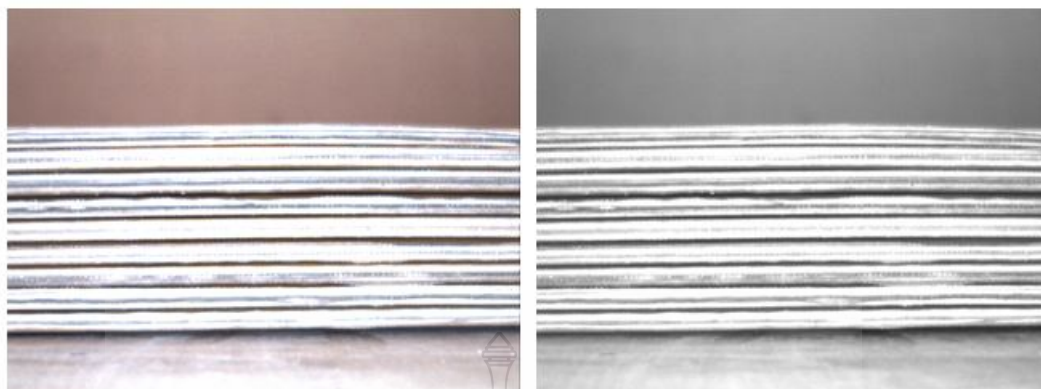
โดยที่

Y = ค่าความเข้มของจุดภาพระดับสีเทามีค่าระหว่าง 0-255

R = ค่าความเข้มของจุดภาพสีแดงมีค่าระหว่าง 0-255

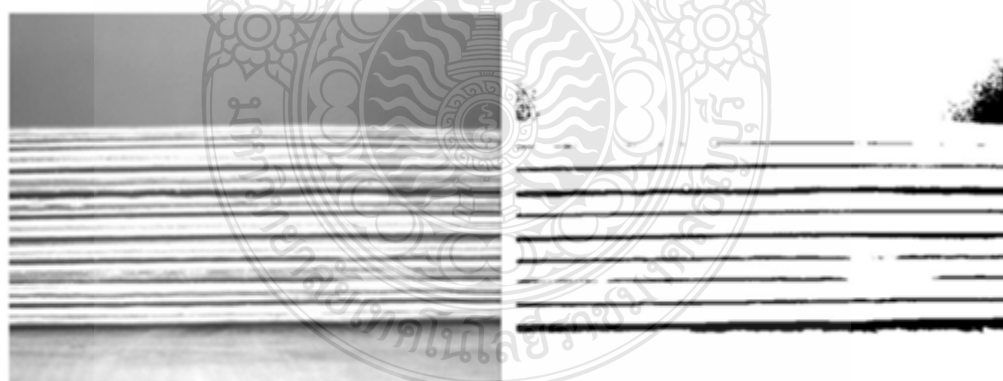
G = ค่าความเข้มของจุดภาพสีเขียวมีค่าระหว่าง 0-255

B = ค่าความเข้มของจุดภาพสีน้ำเงินมีค่าระหว่าง 0-255



ภาพที่ 2.8 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

2.6.3 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้ โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงและทำให้จัดการกับภาพนั้นได้ง่ายขึ้นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งบนกราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram – Based Thresholding) ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานและมีความรวดเร็วในการประมวลผล จากภาพที่ 2.9 (ก) เป็นภาพระดับสีเทาที่ใช้ทดสอบ จากฮิสโตแกรมของภาพที่ใช้ทดสอบ ค่าขีดแบ่งที่เห็นชอบของภาพได้ชัดเจนคือ 120 ทำให้ได้ภาพขาวดำ (Binary Image) ตามภาพที่ 2.9 (ข)



(ก) ภาพระดับสีเทา

(ข) ภาพขาวดำ

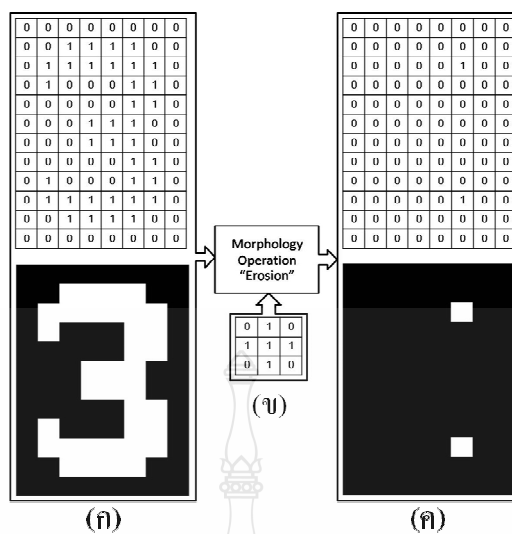
ภาพที่ 2.9 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

2.6.4 มอร์โฟโลยี (Morphology) มอร์โฟโลยี เป็นเทคนิคที่ช่วยในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือรูปร่างของรูปภาพเพื่อลบหรือลดจุดภาพ (Pixel) ที่เราไม่ต้องการและเติมหรือขยายจุดภาพ เพื่อเห็นสิ่งที่เราสนใจได้ชัดเจนขึ้น โดยตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี (Morphology Operation) สามารถใช้ได้กับภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) และภาพขาวดำ (Binary Image) โดยเครื่องมือพื้นฐานของมอร์โฟโลยีที่ใช้กับงานวิจัยชิ้นนี้มีดังนี้

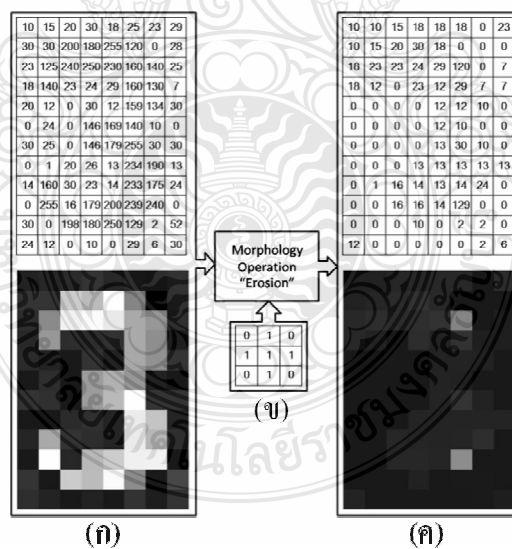
1) การกร่อนภาพ (Erosion) เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการลดพื้นที่สีขาว (Logic 1) โดยภาพที่ 2.10 เป็นภาพขาวดำก่อนและหลังการกร่อนภาพ โดยภาพที่ 2.10 (ก) เป็นภาพต้นฉบับ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของภาพด้วยวิธีการกร่อนภาพ จะใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure Element) B ดังภาพที่ 2.10 (ข) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ขนาดเล็กเปรียบเทียบในแต่ละจุดของภาพ ถ้าข้อมูลของภาพในบริเวณที่ส่วนประกอบโครงสร้าง B เปรียบเทียบอยู่มีสีดำ (Logic 0) จะทำให้จุดภาพของรูปนั้นเปลี่ยนเป็นสีดำ ซึ่งจากภาพที่ 2.10 (ค) คือผลลัพธ์ของภาพที่ผ่านกระบวนการกร่อนภาพตามสมการที่ 2.2 [12] จากภาพที่ 2.11 เป็นตัวอย่างการกร่อนภาพของภาพระดับสีเทา สำหรับภาพระดับสีเทา จะใช้ส่วนประกอบโครงสร้าง B ดังภาพที่ 2.11 (ข) เปรียบเทียบทุกๆ จุดภาพของภาพที่ 2.11 (ก) จุดภาพที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าที่น้อยสุดของภาพที่ 2.11 (ก) ในบริเวณที่ส่วนประกอบโครงสร้าง B เปรียบเทียบอยู่ดังภาพที่ 2.11 (ค) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.3 [12]

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2.2)$$

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (2.3)$$



ภาพที่ 2.10 ผลที่เกิดจากการกร่อนภาพขาวดำ

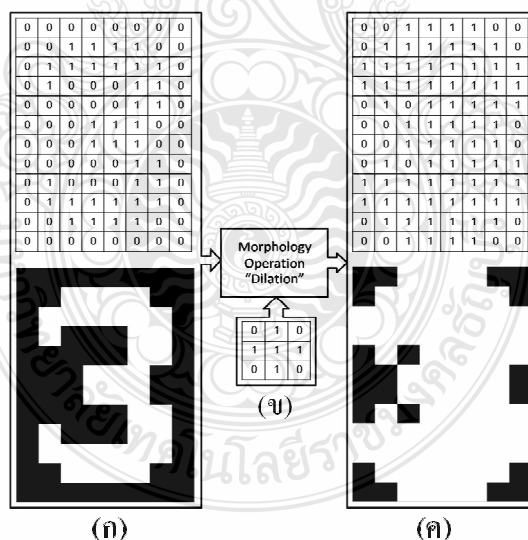


ภาพที่ 2.11 ผลที่เกิดจากการกร่อนภาพระดับสีเทา

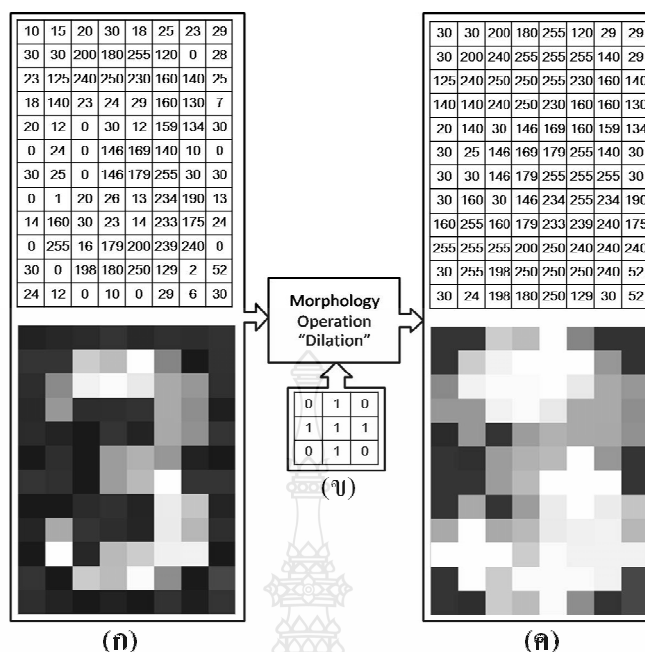
2) การขยายภาพ (Dilation) เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการเพิ่มพื้นที่สีขาว (Logic 1) โดยภาพที่ 2.12 เป็นภาพขาวดำก่อนและหลังการขยายภาพโดยภาพที่ 2.12 (ก) เป็นภาพต้นฉบับเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของภาพด้วยวิธีการขยายภาพ จะใช้ส่วนประกอบโครงร่าง B ดังภาพที่ 2.12 (ข) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ขนาดเล็กเปรียบเทียบในแต่ละจุดของภาพ ถ้าข้อมูลของภาพในบริเวณที่ส่วนประกอบโครงร่าง B เปรียบเทียบอยู่มีสีขาว (Logic 1) จะทำให้จุดภาพของรูปนั้นเปลี่ยนเป็นสีขาว ซึ่งจากภาพที่ 2.12 (ค) คือผลลัพธ์ของภาพที่ผ่านกระบวนการขยายภาพ ตามสมการที่ 2.4 [12] จากภาพที่ 2.13 เป็นตัวอย่างการขยายภาพของภาพระดับสีเทา สำหรับภาพระดับสีเทา จะใช้ส่วนประกอบโครงร่าง B ดังภาพที่ 2.13 (ข) เปรียบเทียบทุกๆ จุดภาพของภาพที่ 2.13 (ก) จุดภาพที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าที่มากที่สุดของภาพที่ 2.13 (ก) ในบริเวณที่ส่วนประกอบโครงร่าง B เปรียบเทียบอยู่ตามภาพที่ 2.13 (ค) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.5 [12]

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \subseteq A\} \quad (2.4)$$

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad (2.5)$$



ภาพที่ 2.12 ผลที่เกิดจากการขยายภาพขาวดำ



(ก) ภาพทดสอบ

(ข) ส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element) ขนาด 3x3

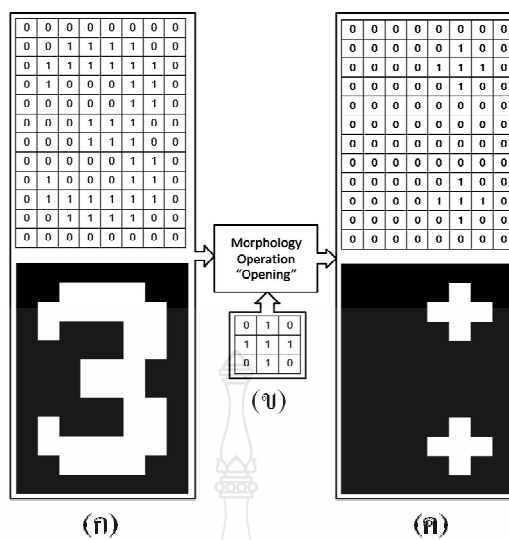
(ค) ผลของภาพทดสอบที่เกิดจากการขยายภาพ

ภาพที่ 2.13 ผลที่เกิดจากการขยายภาพระดับสีเทา

3) การเปิดภาพ (Opening) เป็นการนำการกร่อนภาพและการขยายภาพมาใช้ร่วมกัน โดยการเปิดภาพจะใช้เมื่อต้องการลบจุดภาพสีขาวที่มีลักษณะเป็นคอคอดกระสำหรับภาพขาวดำ ดังภาพที่ 2.14 ซึ่งเป็นตัวอย่างการนำภาพที่ 2.14 (ก) ผ่านตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี (Morphology Operation) ชนิดการเปิดภาพ ตามสมการตามสมการที่ 2.6 [12] โดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่างตามภาพที่ 2.14 (ข) ผลที่ได้คือ ถ้าบริเวณจุดภาพที่มีสีขาว (Logic = 1) ของภาพที่ 2.14 (ก) ในบริเวณที่ส่วนประกอบโครงร่างเปรียบเทียบอยู่มีขนาดน้อยกว่าจุดภาพที่มีสีขาวของส่วนประกอบโครงร่างจุดภาพของภาพที่ 2.14 (ก) จะถูกเปลี่ยนเป็นสีดำ (Logic = 0) ดังภาพที่ 2.14 (ค) สำหรับภาพระดับสีเทามีขั้นตอนเช่นเดียวกับภาพขาวดำ แต่ค่าความเข้มของจุดภาพที่เปลี่ยนจะเป็นจุดภาพที่มีค่าความเข้มต่ำสุดของพื้นที่ของภาพที่ 2.15 (ก) ในส่วนประกอบโครงร่างที่กำหนดไว้ดังภาพที่ 2.15

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.6)$$



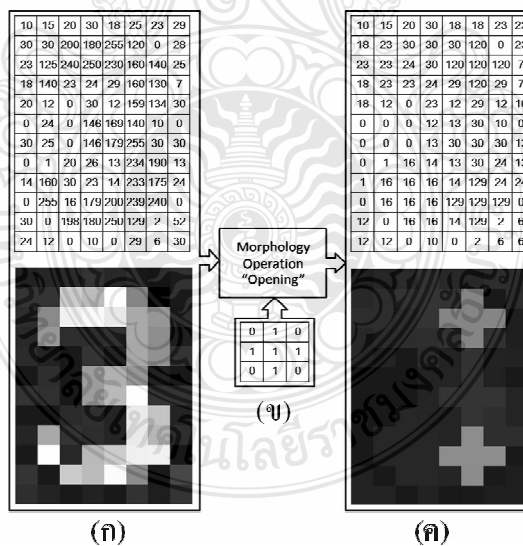


(ก) ภาพทดสอบ

(ข) ส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element) ขนาด 3x3

(ค) ผลของภาพทดสอบที่เกิดจากการเปิดภาพ

ภาพที่ 2.14 การปรับปรุงภาพขาวดำโดยใช้การเปิดภาพ



(ก) ภาพทดสอบ

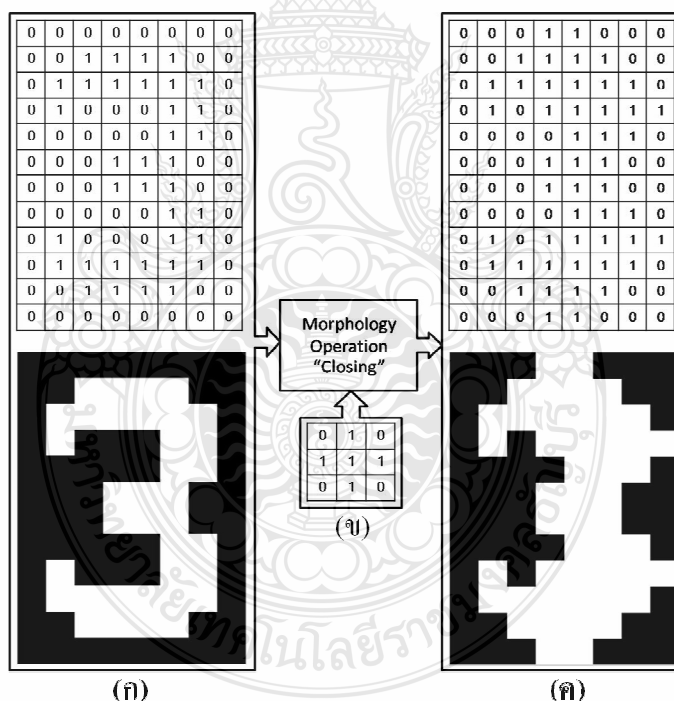
(ข) ส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element) ขนาด 3x3

(ค) ผลของภาพทดสอบที่เกิดจากการเปิดภาพ

ภาพที่ 2.15 การปรับปรุงภาพระดับสีเทาโดยใช้การเปิดภาพ

4) การปิดภาพ (Closing) เป็นการนำการขยายภาพและการกร่อนภาพมาใช้ร่วมกัน โดยการปิดภาพจะใช้เมื่อต้องการลบจุดภาพสีดำบริเวณช่องว่างหรือช่องแคบของภาพโดยการเติมจุดภาพสีขาวสำหรับภาพขาวดำ ดังภาพที่ 2.16 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการนำภาพที่ 2.16 (ก) ผ่านตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี (Morphology Operation) ชนิดการปิดภาพ ตามสมการตามสมการที่ 2.7 [12] โดยกำหนดส่วนประกอบโครงสร้างตามภาพที่ 2.16 (ข) ผลที่ได้คือ ถ้าบริเวณจุดภาพของภาพที่ 2.16 (ก) ในบริเวณที่ส่วนประกอบ โครงสร้างเปรียบเทียบอยู่มีจุดภาพสีดำ จุดภาพของภาพที่ 2.16 (ก) จุดนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสีขาว (Logic = 1) ดังภาพที่ 2.16 (ค) สำหรับภาพระดับสีเทามีขั้นตอนเช่นเดียวกับภาพขาวดำแต่ค่าความเข้มของจุดภาพที่เปลี่ยนจะเป็นจุดภาพที่มีค่าความเข้มสูงสุดของพื้นที่ของภาพที่ 2.17 (ก) ในบริเวณของส่วนประกอบโครงสร้างที่กำหนดไว้ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.17

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.7)$$

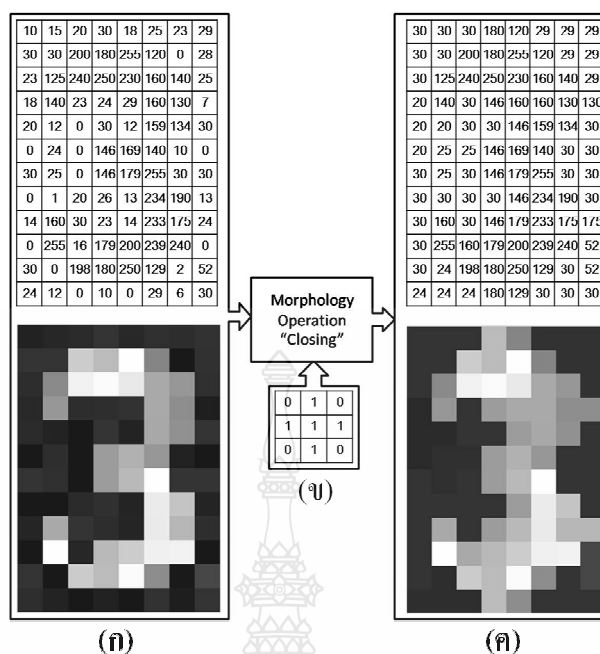


(ก) ภาพทดสอบ

(ข) ส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure Element) ขนาด 3x3

(ค) ผลของภาพทดสอบที่เกิดจากการปิดภาพ

ภาพที่ 2.16 การปรับปรุงภาพขาวดำโดยใช้การปิดภาพ



(ก) ภาพทดสอบ

(ข) ส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element) ขนาด 3x3

(ค) ผลของภาพทดสอบที่เกิดจากการปิดภาพ

## ภาพที่ 2.17 การปรับปรุงภาพระดับสีเทาโดยใช้การปิดภาพ

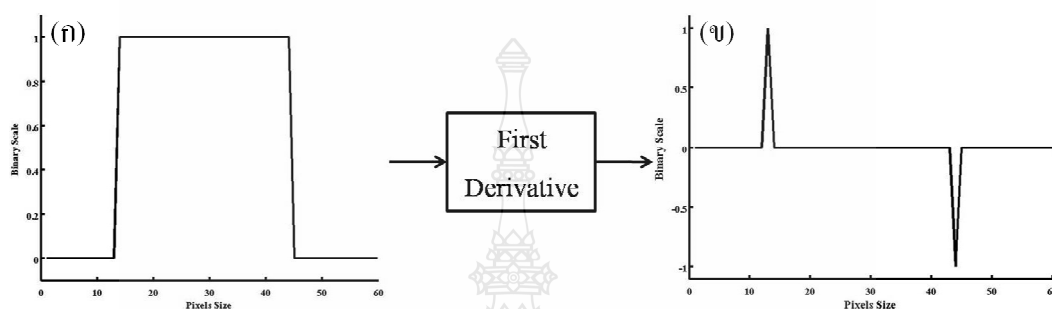
2.6.5 การหาขอบ (Edge Detection) การหาขอบภาพเป็นการหาเส้นรอบวัตถุโดยเส้นที่ได้นั้นเกิดขึ้นจาก ความแตกต่างของความเข้มของสีหรือความแตกต่างของสี เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุแล้วทำให้สามารถคำนวณหาพื้นที่ ของวัตถุนั้นได้ วิธีการหาขอบมีพื้นฐานมาจาก อนุพันธ์อันดับหนึ่งและอันดับสอง (First and Second-Order Derivatives) ได้มีการพัฒนาเป็นวิธีการต่างๆ เช่น Sobel, Roberts, Prewitt, Canny เป็นต้น สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงเทคนิคเบื้องต้นในการหาขอบภาพเท่านั้น

1) อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-Order Derivatives) เป็นวิธีการหาขอบภาพในแนวนอนหรือแนวตั้งอย่างง่ายโดยการหาผลต่างระหว่างจุดหนึ่งกับจุดตามสมการที่ 2.8 [12] และ 2.9 [12]

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x) \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f(y+1) - f(y) \quad (2.9)$$

โดยสมการที่ 2.8 เป็นวิธีการหาขอบภาพในแนวนอนและสมการที่ 2.9 เป็นวิธีการหาขอบภาพในแนวตั้ง จากภาพที่ 2.18 (ก) เป็นตัวอย่างในการหาขอบโดยใช้วิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ตามสมการที่ 2.8 มาทำการหาขอบ ผลที่ได้จะได้ค่ายอดมาสองค่าคือค่าบวกและค่าลบ โดยที่ค่าบวกคือขอบขาขึ้นและค่าลบคือขอบขาลงตามภาพที่ 2.18 (ข)



(ก) ภาพที่ใช้ในการหาขอบ

(ข) ค่ายอดของขอบที่เกิดจากวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1

ภาพที่ 2.18 การหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 1

บางครั้งเราต้องการรวมผลต่างของค่าความแตกต่างในแนวแกนนอน และแกนตั้งเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะได้มีตัววัดความแรงของขอบภาพ (Gradient Magnitude) เพียงตัวเดียว เนื่องจากค่าความแตกต่างอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ ดังนั้น การบวกค่าความแตกต่างของทั้งสองแกนอาจทำให้ขอบภาพเกิดการหักล้างกันเอง ในทางปฏิบัติ เราจะต้องนำ ค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value) หรือค่ากำลังสอง (Squared Value) ของค่าความแตกต่างของทั้งสองแกนมาบวกกันแทนนอกจากหาความแรงของขอบภาพแล้ว การหาทิศทางของขอบภาพ (Gradient Direction) ก็มีประโยชน์เช่นกัน การหาทิศทางของขอบภาพสามสามารถทำได้โดยการใช้สมการที่ 2.10 [12] โดยที่  $GD(x,y)$  คือทิศทางของขอบภาพที่ตำแหน่ง  $(x,y)$

$$GD(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\frac{\partial f}{\partial y}} \right] \quad (2.10)$$

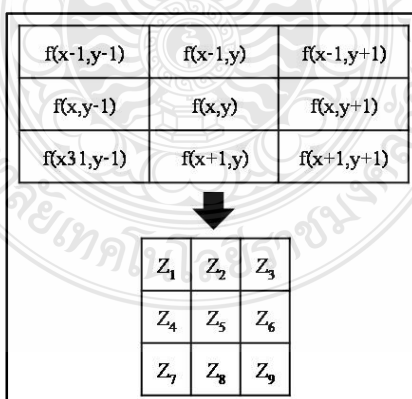
วิธีการหาขอบภาพที่กล่าวมามีข้อเสียคือ การหาขอบภาพไม่ได้นำค่าความเข้มแสงของจุดรอบข้างมาใช้ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ภาพที่ได้มีส่วนใหญ่จะไม่มีขอบภาพชัดเจน ขอบเขตของพื้นที่มักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ วิธีที่กล่าวมาจะไม่สามารถหาขอบภาพได้อย่างแม่นยำกับภาพลักษณะนี้ การใช้เทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

2) การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel) เป็นวิธีการหาขอบโดยมีพื้นฐานมาจากอนุพันธ์อันดับหนึ่ง โดยจะเพิ่มการพิจารณาเวกเตอร์เป็น 2 มิติตามสมการที่ 2.11 [12] โดยที่สามารถหาขนาดของเวกเตอร์ได้จากสมการที่ 2.12 [12]

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

สำหรับการสร้างหน้ากาก (Filter Mask) สำหรับการหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel) ถ้าพิจารณาเฉพาะหน้ากากขนาด 3x3 ตามภาพที่ 2.19 หน้ากากของโซเบลจะแสดงในภาพที่ 2.20 โดยภาพที่ 2.20 (ก) เป็นการหาตามแนวตั้งและภาพที่ 2.20 (ข) เป็นการหาเป็นขอบตามแนวนอน



ภาพที่ 2.19 หน้ากาก (Mask) ขนาด 3x3

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1
(ก)			(ข)		

(ก) หน้ากากของโซเบลสำหรับหาขอบแนวตั้ง

(ข) หน้ากากของโซเบลสำหรับหาขอบแนวนอน

ภาพที่ 2.20 หน้ากาก (Mask) ของการหาขอบแบบโซเบล



(ก) ภาพตัวอย่าง

(ข) ภาพการหาขอบแบบโซเบล

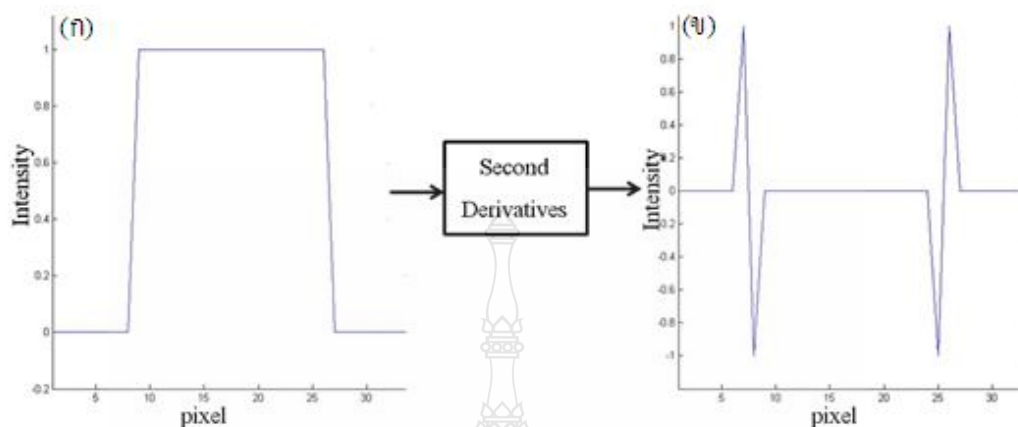
ภาพที่ 2.21 การหาขอบโดยใช้การหาขอบแบบโซเบล

จากภาพที่ 2.21 (ข) เป็นภาพที่เกิดจากการหาขอบโดยใช้หน้ากากของโซเบลจากภาพที่ 2.20 (ก) กับภาพที่ 2.20 (ข) เพื่อหาขอบของวัตถุ

3) อนุพันธ์อันดับสอง (Second-Order Derivatives) สำหรับการหาขอบแบบอนุพันธ์อันดับสองถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาที่อนุพันธ์อันดับหนึ่งไม่สามารถทำได้นั้นคือขอบมีการไล่ระดับความเข้มแสงแบบเป็นเชิงเส้นซึ่งอนุพันธ์อันดับสองหาขอบได้ชัดเจนกว่าโดยสมการที่ 2.13 [12] ของอนุพันธ์อันดับสองตามแนวแกน x และสมการที่ 2.14 [12] เป็นสมการอนุพันธ์อันดับสองตามแนวแกน y

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) - f(x-1) - 2f(x) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(y+1) - f(y-1) - 2f(y) \quad (2.14)$$



(ก) ภาพที่ใช้ในการหาขอบ

(ข) ค่ายอดของขอบที่เกิดจากวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 2

ภาพที่ 2.22 การหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2

จากภาพที่ 2.22 (ก) เป็นตัวอย่างในการหาขอบโดยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 2 ตามสมการที่ 2.13 [12] มาทำการหาขอบผลที่ได้จะได้ค่ายอดมาสองค่าคือค่าบวกและค่าลบ โดยเกิดขึ้นที่บริเวณทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงตามภาพที่ 2.22 (ข)

4) การหาขอบด้วยวิธีลาปลาเซียน (Laplacian) สำหรับการขอบวิธีนี้ได้นำหลักการของอนุพันธ์อันดับสองมาประยุกต์ใช้โดยสมการของลาปลาเซียนซึ่งเป็นตัวดำเนินการอนุพันธ์อันดับสองที่ง่ายที่สุดที่ใช้สร้างตัวกรองแบบไม่มีทิศทาง ซึ่งตัวดำเนินการลาปลาเซียนมีสมการตามสมการที่ 2.15 [12]

$$\nabla^2 f = \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) \quad (2.15)$$

เมื่อนำสมการที่ละมาเขียนใหม่ในรูปแบบสองมิติจะได้สมการดังสมการที่ 2.16 [12] และ 2.17 [12] ตามลำดับ

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1,y) - f(x-1,y) - 2f(x,y) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x,y+1) - f(x,y-1) - 2f(x,y) \quad (2.17)$$

เมื่อนำผลรวมของอนุพันธ์ย่อยตามแกน  $x$  และ  $y$  มาเขียนรวมกันก็จะได้อนุพันธ์ย่อยอันดับสองตามสมการที่ 2.18 [12]

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)] - 4f(x,y) \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.18 สามารถแปลงเป็นหน้ากาก (Mask) ดังสมการที่ 2.19

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

สำหรับสมการที่ 2.18 กับสมการที่ 2.19 เป็นลาปลาเซียนที่มีตัวกรอง Isotropic ที่ 90 องศา คือเมื่อหมุนรูปทุกๆ 90 องศาจะได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันถ้าต้องการสร้างตัวกรองในแนวเส้นทะแยง (45 องศา) ก็สามารถสร้างได้เช่นเดียวกับกรณีตัวกรอง Isotropic ที่ 90 องศา โดยตัวกรองในแนวเส้นทะแยงจะมีสมการตามสมการที่ 2.20 [12]

$$\nabla^2 f = [f(x-1,y-1) + f(x+1,y+1) + f(x-1,y+1) + f(x+1,y-1)] - 4f(x,y) \quad (2.20)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.18 และ 2.20 มารวมกันจะสามารถเขียนเป็นหน้ากากได้ตามสมการที่ 2.21 [12] ซึ่งเป็นตัวกรองที่เมื่อหมุนรูปทุกๆ 45 องศาผลลัพธ์ที่ได้จะเหมือนกันตามตัวอย่างภาพที่ 2.23

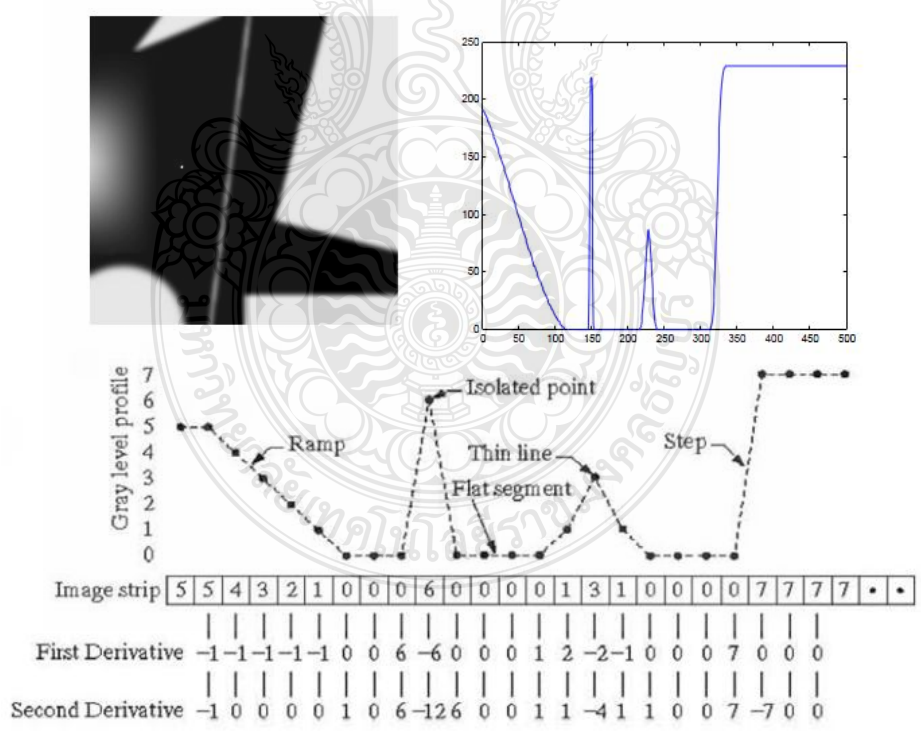
$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$





ภาพที่ 2.23 การหาขอบโดยใช้หน้ากากตามสมการที่ 2.21

5) ข้อเปรียบเทียบระหว่างอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-Order Derivatives) กับอนุพันธ์อันดับสอง (Second-Order Derivatives)



ภาพที่ 2.24 เปรียบเทียบการหาขอบแบบอนุพันธ์อันดับที่ 1 และ 2

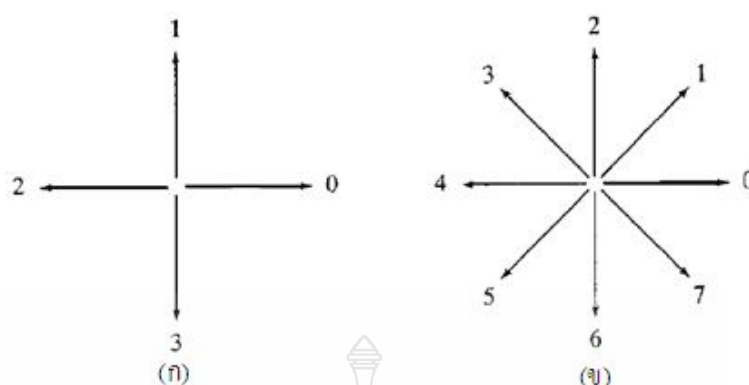
จากภาพที่ 2.24 เป็นการดึงข้อมูลจากภาพจำนวน 1 แถวมาเปรียบเทียบผลที่ได้จาก อนุพันธ์อันดับหนึ่งและอนุพันธ์อันดับสองโดยสามารถสรุปจุดเด่นและจุดด้อยได้ดังนี้

- โดยทั่วไปอนุพันธ์อันดับหนึ่งจะสร้างขอบที่มีความหนาให้กับภาพ
- อนุพันธ์อันดับสองตอบสนองได้ดีกับการปรับรายละเอียดบริเวณเส้นบาง (Thin Line) และจุดแยก (Isolated Point)
- อนุพันธ์อันดับหนึ่งจะตอบสนองได้ดีกับบริเวณที่ความเข้มค่อยๆ เปลี่ยนแปลง
- อนุพันธ์อันดับสองจะสร้างขอบที่เรียกว่า (Double Edge) ในบริเวณที่ภาพระดับสีเทามีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นตอน (Step)

2.6.6 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็น ไบนารี (Blob Analysis) การวิเคราะห์กลุ่มของจุดภาพที่เป็นขาวดำ (BLOB Analysis) BLOB (Binary Large Object) เป็นการวิเคราะห์หากกลุ่มสีของวัตถุหรือเป้าหมายที่เป็นขาวดำ โดยการแยกกลุ่มของจุดภาพที่แตกต่างกันด้วยการคำนวณหาตำแหน่งและขนาดวัตถุ การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของจุดเชื่อมต่อ (Region Growing) ทำได้ด้วยวิธีกำหนดจำนวนจุดเชื่อมต่อแบบ 4-Connected หรือแบบ 8-Connected โดยที่ Region Growing เกิดจากผลรวมของค่าขีดแบ่ง และค่า Connected Component Analysis การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบนั้นทำให้เราได้จำนวนวัตถุทั้งหมดในภาพ ขนาดของแต่ละวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ จุดศูนย์กลางวัตถุ (Centroid) เส้นขอบวัตถุ (Bounding Box) ดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็น ไบนารีเพื่อหาเส้นรอบวัตถุ



(ก) ทิศทางการเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง

(ข) ทิศทางการเชื่อมต่อแบบ 8 ทิศทาง

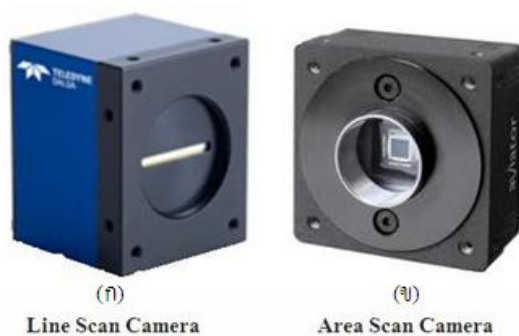
ภาพที่ 2.26 ทิศทางการเชื่อมต่อจุด (Region Growing)

จากภาพที่ 2.26 คือทิศทางการเชื่อมต่อของจุด โดยวิธี 4-Connected (ก) และ 8-Connected (ข) โดยที่ 4-Connected จะเป็นการเชื่อมต่อจุดตามแนวแกนตั้งและแนวนอน สำหรับ 8-Connected จะเป็นวิธีการเชื่อมต่อจุดทุกทิศทางซึ่งวิธีการเชื่อมต่อจุดแบบ 8-Connected จะให้ผลที่ละเอียดมากกว่าแบบ 4-Connected

## 2.7 อุปกรณ์หลักในระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง

สำหรับการศึกษาข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องนับว่ามีความสำคัญมากเนื่องจากหากเราเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมกับงานจะส่งผลถึงการออกแบบอัลกอริทึมของระบบและอาจทำให้การตรวจนับกระดาษถูกฟูกเกิดข้อผิดพลาดโดยอุปกรณ์หลักในระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 กล้อง (Camera) สำหรับกล้องที่ใช้กับระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสามารถแบ่งตามการวางตัวของเซ็นเซอร์ได้ 2 ชนิดคือกล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) และกล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) และสามารถแบ่งได้ตามระบบการส่งข้อมูล ได้ 4 ชนิดคือ ไฟร์ไวร์ (FireWire) ยูเอสบี (USB) กิกะบิต อีเธอร์เน็ต (Gigabit Ethernet) และ คาเมร่า ลิงค์ (Camera Link) การเลือกใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่จะตรวจสอบ ความละเอียดรูป และความเร็วส่งถ่ายข้อมูล



ภาพที่ 2.27 ความแตกต่างของการเรียงตัวของเซ็นเซอร์รับภาพ

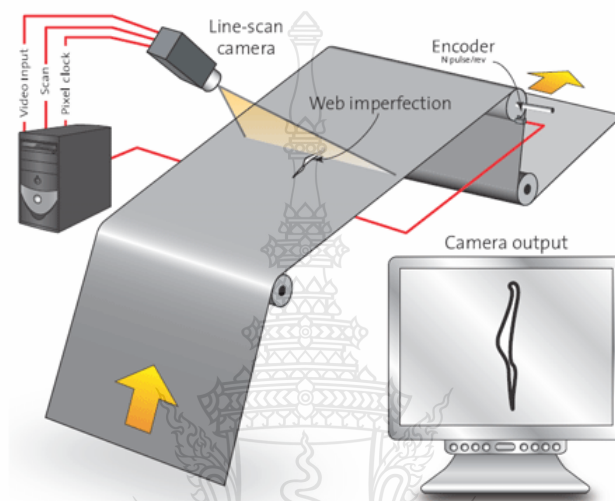
1) กล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) เป็นกล้องที่มีการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 2.27 (ข) ถูกออกแบบมาเพื่อรับภาพของวัตถุตามขนาดของพื้นที่รับภาพ (Field of View) ที่กำหนดไว้โดยภาพที่ได้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมีความกว้างและความสูงตามที่คำนวณไว้ จากภาพที่ 2.28 เป็นตัวอย่างการนำไปใช้งานในโรงงานผลิตขนมปังกรอบเพื่อควบคุมคุณภาพของสินค้า



ภาพที่ 2.28 การประยุกต์ใช้งานกล้อง Area Scan สำหรับหาขนาดและความหนาของขนมปัง [13]

2) กล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) เป็นกล้องที่มีการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพเป็นเส้นดังภาพที่ 2.27 (ก) เหมือนกับเครื่องสแกนเนอร์การรับภาพจะแตกต่างกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) โดยภาพที่ได้แต่ละครั้งจะมีลักษณะเป็นเส้นการสร้างภาพจากกล้อง

รับภาพแบบเส้นให้มีภาพเหมือนกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ ซึ่งต้องอาศัยการออกแบบเครื่องจักรที่ทำให้กล้องหรือวัตถุมีการเคลื่อนที่แล้วนำภาพที่ได้แต่ละเส้นมาต่อเพื่อให้ได้ภาพเหมือนกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ดังภาพที่ 2.29 สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้น เหมาะสำหรับงานที่มีความต่อเนื่องเช่น โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานผลิตเหล็กแผ่น โรงพิมพ์ เป็นต้น ในภาพที่ 2.30 เป็นตัวอย่างการใช้กล้องรับภาพแบบเส้น สำหรับโรงพิมพ์เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในงานพิมพ์



ภาพที่ 2.29 ตัวอย่างของระบบที่ใช้กับกล้อง Line Scan เพื่อสร้างภาพ [14]



ภาพที่ 2.30 การประยุกต์ใช้งานกล้อง Line Scan สำหรับงานตรวจสอบสิ่งพิมพ์ [15]

3) ระบบติดต่อสื่อสารของกล้องกับคอมพิวเตอร์ สำหรับรูปแบบการส่งข้อมูลจากกล้องเข้าคอมพิวเตอร์แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือระบบอนาล็อกและระบบดิจิทัลในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอข้อมูลเฉพาะระบบดิจิทัลเท่านั้น ในภาพที่ 2.31 เป็นภาพที่แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเพื่อส่งภาพด้วยสัญญาณทางดิจิทัลแบบต่างๆ ในปัจจุบันซึ่งตารางที่ 2.2 เป็นคุณสมบัติของการเชื่อมต่อแบบต่างๆ ซึ่งสามารถต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านช่อง ยูเอสบี (USB) กิกะบิต อีเธอร์เน็ต (Gigabit Ethernet) หรือต้องใช้การ์ดรับภาพที่เรียกว่า Frame Grabber เป็นตัวกลางสำหรับส่งถ่ายข้อมูลเช่น ไฟร์ไวร์ (FireWire) และ คาเมร่า ลิงค์ (Camera Link) สำหรับการนำไปใช้งานนั้นต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระบบยกตัวอย่างเช่น ในงานที่ต้องมีการถ่ายโอนข้อมูลสูงต้องเลือกใช้การเชื่อมต่อแบบคาเมร่า ลิงค์ หรือกิกะบิต อีเธอร์เน็ต แต่ถ้าเป็นการประยุกต์ใช้กับการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้ไนต์บู้คและมีการถ่ายโอนข้อมูลน้อยสามารถเลือกใช้ การเชื่อมต่อแบบยูเอสบี 2.0 หรือ กิกะบิต อีเธอร์เน็ต เป็นต้น



ภาพที่ 2.31 การเชื่อมต่อเพื่อส่งภาพด้วยสัญญาณทางดิจิทัลชนิดต่างๆ

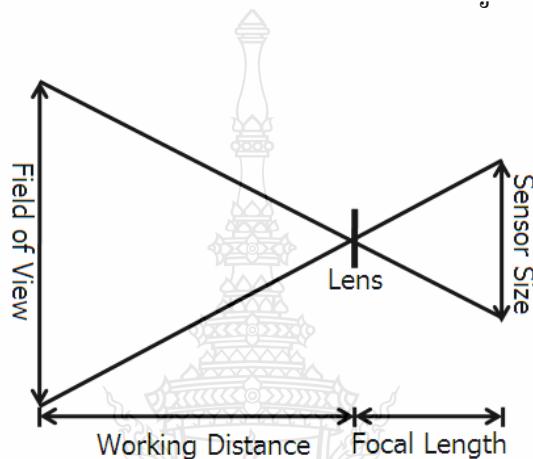
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของการส่งข้อมูล

Digital Signal Options	Fire Wire 1394.a	Fire Wire 1394.b	Camera Link	USB 2.0	Gigabit Ethernet
Data Transfer Rate	400 Mb/s	800 Mb/s	36 Gb/s	480 Mb/s	1000 Mb/s
MaxCable Length	4.5m	4.5m	10m	5m	100m
# Devices	Up to 63	Up to 63	1	Up to 127	unlimited
Connector	6pin-6pin	9pin-9pin	26pin	USB	RJ45/CAT6

2.7.2 เลนส์ (Lens) เลนส์ที่ใช้ในงานระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision system) ได้ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อลดความบิดเบือนของภาพที่เกิดจากเลนส์ (Lens Distortions) จากภาพที่ 2.32 เป็นภาพที่แสดงถึงตัวแปรสำหรับใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกความยาวโฟกัส (Focal Length) ของเลนส์โดยการคำนวณหาความยาวโฟกัสสามารถคำนวณได้ตามสมการที่

2.22 [16] สำหรับการเลือกใช้เลนส์นั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็นหลัก โดยคุณสมบัติของเลนส์แต่ละประเภทมีดังนี้

- 1) CCTV Lens เป็นเลนส์ที่เหมาะสมสำหรับงานทั่วไป
- 2) Telecentric Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงเช่น งานวัดขนาด เป็นต้น
- 3) Macro Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องมองภาพขนาดใหญ่เช่นงานตรวจสอบ งาน OCR



ภาพที่ 2.32 ตัวแปรสำหรับพิจารณาการเลือกเลนส์

$$\text{Focal Length} = (\text{Sensor Size (mm)} \times \text{Working Distance (mm)}) / \text{Field of View (mm)} \quad (2.22)$$

โดยที่

Focal Length = ระยะที่เลนส์สามารถมองเห็นชิ้นงานทั้งหมด

Sensor Size = ขนาดของเซ็นเซอร์ของกล้อง

Working Distance (WD) = ระยะห่างระหว่างเลนส์กับชิ้นงาน

Field of View (FOV) = พื้นที่รับภาพ

2.7.3 อุปกรณ์ให้แสง (Light Source) อุปกรณ์ให้แสงมีความสำคัญต่อระบบตรวจสอบอัตโนมัติ ด้วยกล้องเป็นอย่างมากเพราะหากแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้การตรวจสอบเกิดข้อผิดพลาด ดังนั้นการใช้งานระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องจำเป็นต้องมีการเลือกอุปกรณ์ให้แสงและชนิดของแสงที่เหมาะสมกับวัตถุที่ใช้ตรวจสอบ

## 2.8 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับบทนี้เป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนับกระดาษลูกฟูก งานวิจัยที่นำทฤษฎีการประมวลผลภาพ เพื่อใช้ในการหาเส้นขอบและหาวัตถุ ทฤษฎีการประมวลผลภาพ รายละเอียดของกระดาษลูกฟูกและอุปกรณ์สำหรับระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง จากข้อมูลทั้งหมดที่นำเสนอในบทนี้ จะใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้สำหรับการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกในบทถัดไป





### บทที่ 3

## วิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้สำหรับการนับกระดาษลูกฟูกในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการทดสอบอัลกอริทึมที่จะนำไปใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกตามที่กำหนดไว้ โดยอัลกอริทึมจะมี 2 แบบ แบบแรกใช้นับกระดาษลูกฟูกด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูก (Slitter) แบบที่สองใช้นับกระดาษลูกฟูกด้านลอน (Cut Off) โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter เป็นอันดับแรกแล้วนำอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ไปปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off จากนั้นจะทำการออกแบบระบบเพื่อใช้สำหรับนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยควบคุมผ่าน Graphical User Interface (GUI)

### 3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูก (Slitter)

จากภาพที่ 3.2 เป็นกระดาษลูกฟูกด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูก (Slitter) ที่ใช้ในการตรวจสอบจำนวนของกระดาษลูกฟูกจากภาพแสดงให้เห็นว่ามีระยะห่างระหว่างรอยต่อของกระดาษลูกฟูกแต่ละแผ่น ดังนั้นแนวคิดในการออกแบบอัลกอริทึมมีเป้าหมายเพื่อต้องการหารอยต่อระหว่างกระดาษลูกฟูกสองแผ่นเพื่อใช้เป็นข้อมูล ในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก โดยนำเทคนิคการหาเส้นขอบจากการศึกษาในงานวิจัยในหัวข้อที่ 2.1.2 มาสร้างเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกดังภาพที่ 3.1 โดยภาพที่นำมาทดสอบขั้นแรกได้นำภาพจากกล้องแบบ Area Scan เพื่อหาความเป็นไปได้ว่าตรงตามสมมุติฐานหรือไม่ ถ้าเป็นไปตามสมมุติฐานขั้นตอนนี้จะสร้างระบบตามหัวข้อที่ 3.3 เพื่อทำการทดสอบแบบเวลาจริงสำหรับรายละเอียดของอัลกอริทึมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูก



ภาพที่ 3.2 ด้านรอยตัดของกระดาษลูกฟูกชนิด BC

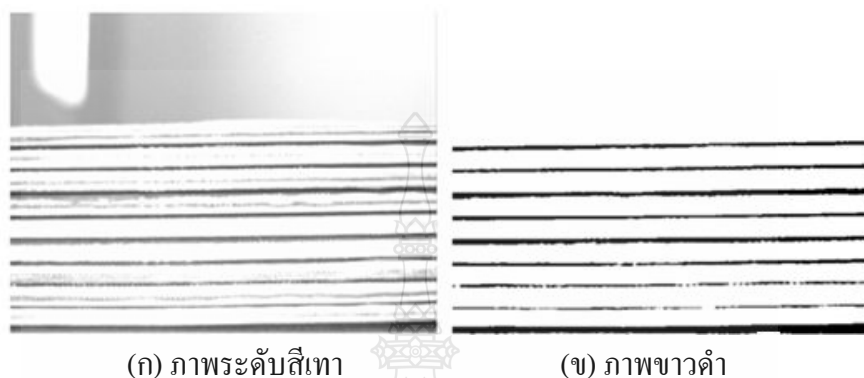
3.1.1 ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) ภาพที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทาก่อนกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแปลงภาพเป็นภาพขาวดำได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษลูกฟูกโดยอุปกรณ์ให้แสงสีขาวแบบ Ring Light เพื่อลดผลกระทบจากแสงภายนอกและทำให้บริเวณพื้นที่ภายในของกระดาษแต่ละแผ่นมีความสว่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแม่นยำในการนับมีค่าสูงขึ้นโดยภาพที่ 3.3 เป็นภาพแสดงความแตกต่างก่อนและหลังการใช้อุปกรณ์ให้แสงสีขาวแบบวงแหวนจากภาพแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างผิวของกระดาษลูกฟูกกับรอยต่อระหว่างกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนกว่าตอนที่ไม่มีอุปกรณ์การให้แสง



ภาพที่ 3.3 ความแตกต่างของภาพก่อนและหลังการจัดแสง

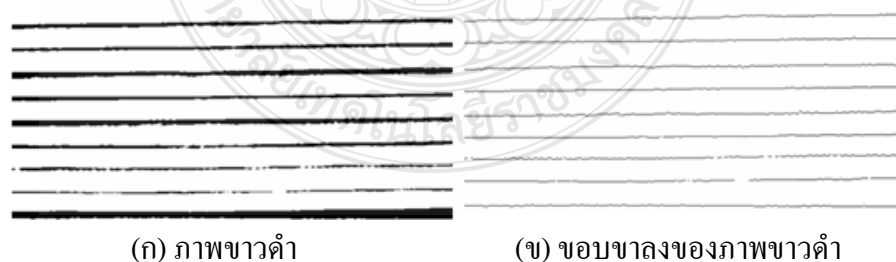
3.1.2 กำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงในงานวิจัยนี้

ได้กำหนดค่าขีดแบ่งเป็นแบบคงที่เนื่องจากในการทดสอบได้มีการควบคุมสิ่งแวดล้อมและใช้อุปกรณ์ให้แสงควบคุมความสว่างของผิวกระดาษลูกฟูก จากภาพที่ 3.4 (ก) เป็นตัวอย่างภาพระดับสีเทาที่ใช้ทดสอบเมื่อทำการกำหนดค่าขีดแบ่งทำให้ได้ภาพขาวดำตามภาพที่ 3.4 (ข)



ภาพที่ 3.4 การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

3.1.3 การหาขอบ (Edge Detection) ในภาพที่ 3.5 (ก) เป็นภาพขาวดำของกระดาษลูกฟูกจากภาพ จะเห็นว่ารอยต่อกระดาษลูกฟูกมีขนาดไม่เท่ากันทุกขอบ ดังนั้นวิธีที่ใช้คือวิธีการหาขอบจากหัวข้อ 2.3.5 เป็นวิธีการหาขอบชนิดต่างๆ โดยวิธีที่เลือกใช้คือ วิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Derivatives) ในแนวแกนตั้งตามสมการที่ 2.9 สาเหตุที่เลือกใช้วิธีการนี้เนื่องจากรอยต่อของกระดาษลูกฟูกมีลักษณะเป็นเส้นตรงและขอบที่ต้องการคือขอบขาขึ้นเท่านั้น ประกอบกับใช้เวลาในการทำงานประมาณ 0.006 วินาที โดยภาพที่ 3.5 (ข) เป็นการหาขอบขาขึ้นด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Derivatives)



ภาพที่ 3.5 การหาขอบโดยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

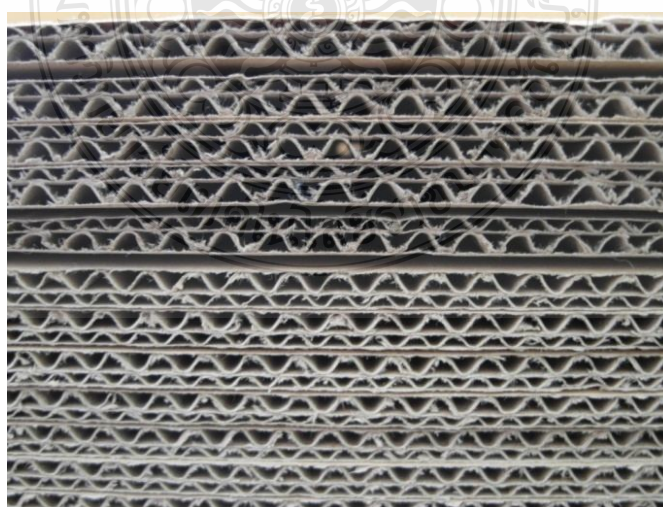
3.1.4 นับกระดาษลูกฟูก (Counting) การตรวจนับจะทำการนับจุดภาพที่เราสนใจคือจุดภาพที่เป็นสีดำของในแต่ละหลัก (Column) แล้วนำผลรวมของจุดภาพที่นับได้มาหาค่าฐานนิยมเพื่อหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก

### 3.2 ศึกษาวิธีการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกด้านลอน (Cut Off)

จากภาพที่ 3.7 เป็นตัวอย่างกระดาษลูกฟูกด้านลอนจากภาพแสดงให้เห็นว่าด้านลอนของกระดาษลูกฟูกสามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูกโดยวิธีการหาพื้นที่ของลอนลูกฟูก ดังนั้นการออกแบบอัลกอริทึมมีเป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อนำจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกไปหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกโดยนำหลักการออกแบบอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 3.1 และเทคนิคการหาวัตถุจากการศึกษางานวิจัยในหัวข้อที่ 2.1.3 มาสร้างเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกดังภาพที่ 3.6 โดยการทดสอบจะทดสอบเพื่อหาความเป็นไปได้ว่าตรงตามสมมติฐานหรือไม่ ถ้าเป็นไปได้ตามสมมติฐานจะทำการสร้างระบบตามหัวข้อที่ 3.3 เพื่อทำการทดสอบแบบเวลาจริง สำหรับรายละเอียดของอัลกอริทึมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

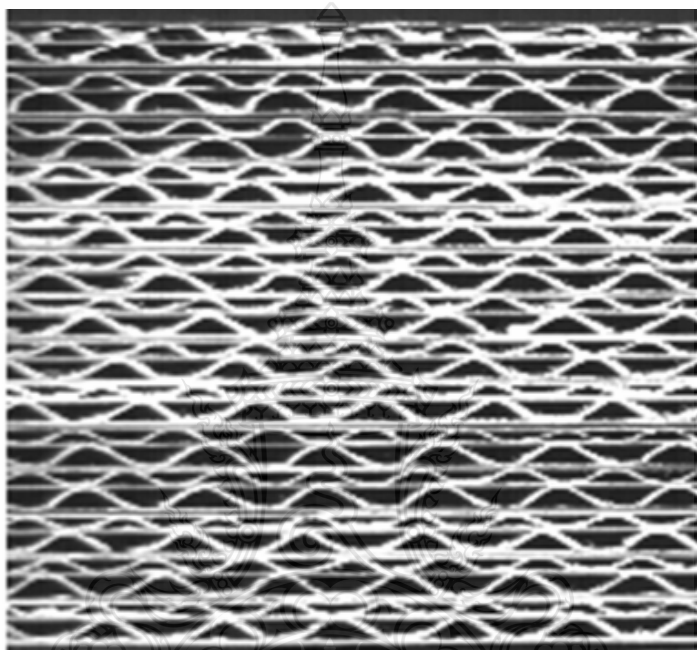


ภาพที่ 3.6 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบด้านลอนของกระดาษลูกฟูก



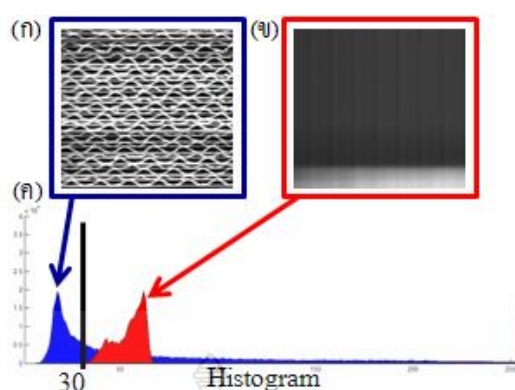
ภาพที่ 3.7 กระดาษลูกฟูกด้านลอนของกระดาษลูกฟูกชนิด BC

3.2.1 ภาพระดับสีเทา (Gray Image) ภาพที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทาก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแปลงเป็นภาพขาวดำได้ทำการปรับปรุงภาพเพื่อให้เห็นความแตกต่างของขอบของกระดาษลูกฟูกกับพื้นี่ของลอนกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจน โดยใช้แหล่งจ่ายแสง (Light Source) มาช่วยเพิ่มความสว่างให้กับวัตถุและยังช่วยป้องกันแสงภายนอกเข้ามารบกวนดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ภาพระดับสีเทาก่อนทำการกำหนดค่าขีดแบ่ง

3.2.2 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงในบทความนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งโดยเปรียบเทียบจากฮิสโตแกรมดังภาพที่ 3.9 (ค) ระหว่างพื้นหลัง (Background) ในภาพที่ 3.9 (ข) และกระดาษลูกฟูกดังภาพที่ 3.9 (ก) เพื่อหาค่าที่สามารถแยกกระดาษลูกฟูกออกจากพื้นหลัง (Background) ได้ทั้งหมดดังภาพที่ 3.10

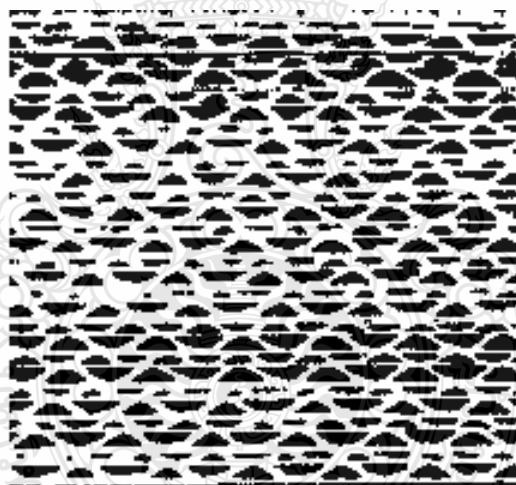


(ก) ภาพกระดาษลูกฟูก

(ข) ภาพพื้นหลัง

(ค) ฮิสโตแกรม

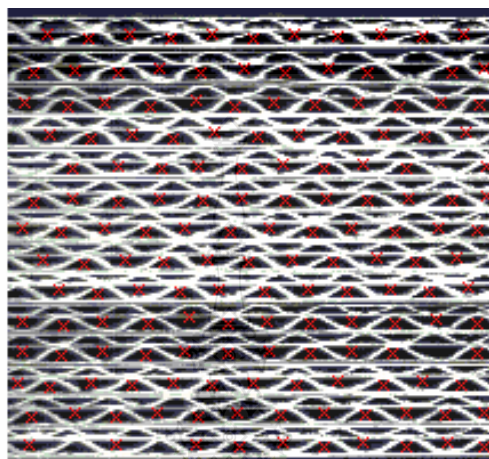
ภาพที่ 3.9 ฮิสโตแกรมเพื่อใช้กำหนดค่าขีดแบ่ง



ภาพที่ 3.10 ภาพขาวดำที่เกิดจากการกำหนดค่าขีดแบ่ง

3.2.3 การหาตำแหน่งของวัตถุ จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าลอนของกระดาษลูกฟูกมีรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นเทคนิคที่ใช้ในการหาวัตถุต้องพิจารณาจากจำนวนจุดภาพของวัตถุเท่านั้น ดังนั้นวิธีที่เลือกใช้คือเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มของจุดภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis) การวิเคราะห์หีบถีบ (Blob Analysis) ใช้ในการหาลอนของกระดาษลูกฟูก โดยมีเงื่อนไขที่พื้นที่ของลอนของกระดาษลูกฟูก โดยจากการทดสอบพื้นที่ของกระดาษลูกฟูกชนิด BC อยู่ที่ความละเอียด 100-900 จุดภาพจาก

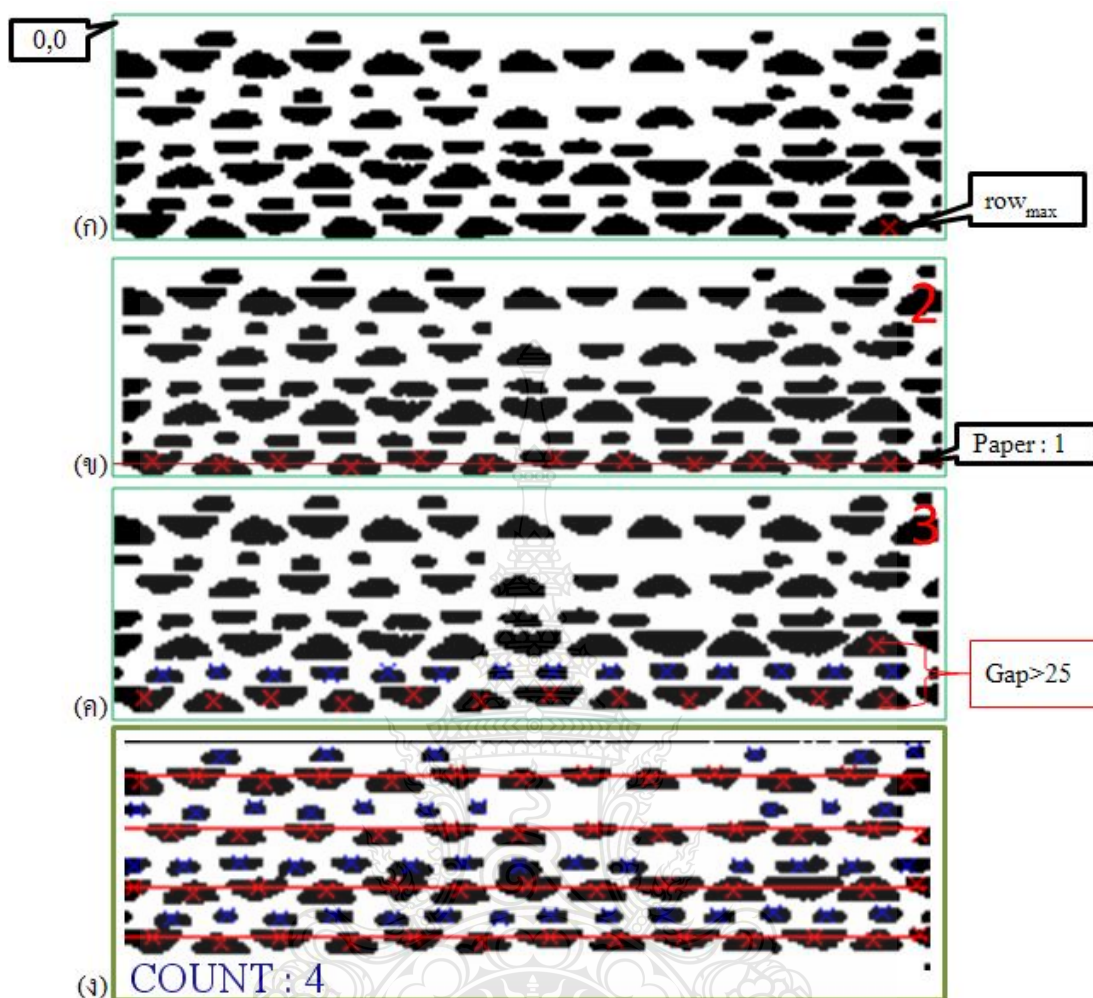
การทดสอบสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์หีบถีบของวัตถุเพื่อใช้ในการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกคือ จำนวนของลอนและจุดศูนย์กลางของลอนโดยภาพที่ 3.11 เป็นการแสดงจุดศูนย์กลางของลอนกระดาษลูกฟูกที่การวิเคราะห์หีบถีบสามารถหาลอนกระดาษลูกฟูกได้



ภาพที่ 3.11 การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุโดยวิธี Blob Analysis

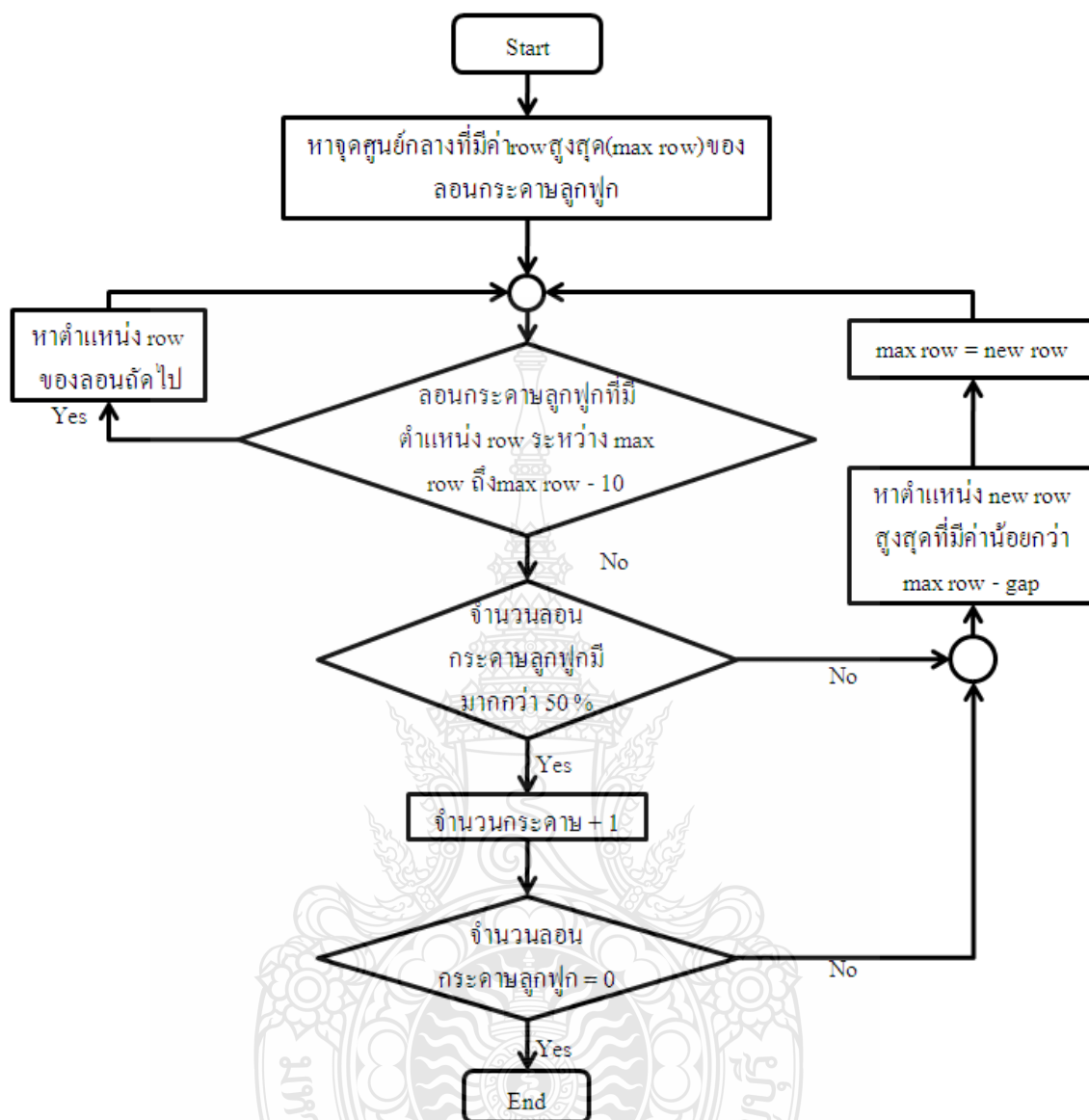
3.2.5 การนับกระดาษลูกฟูกวิธีการนับกระดาษลูกฟูกจะนำตำแหน่งแถว (row) ของจุดศูนย์กลางลอนกระดาษลูกฟูกมาเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกในภาพที่ 3.13 เป็น Flow Chart แสดงขั้นตอนการนับกระดาษลูกฟูกสำหรับตัวอย่างแสดงวิธีการนับกระดาษลูกฟูกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ทำการหาดำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกที่ตำแหน่งแถวสูงสุด ดังภาพที่ 3.12 (ก)
- 2) เมื่อได้ตำแหน่งแถวสูงสุดแล้วทำการหาลอนของกระดาษลูกฟูกที่มีตำแหน่งแถวเท่ากับตำแหน่งแถวสูงสุดหรือตำแหน่งแถวของกระดาษลูกฟูกที่มีความคลาดเคลื่อนจากแถวสูงสุดไม่เกิน 10 จุดภาพต่อจากนั้นทำการตรวจสอบจำนวนของลอนกระดาษลูกฟูกว่ามีมากกว่า 50 % หรือไม่ ถ้ามีมากกว่า 50% แสดงว่าบริเวณนั้นเป็นตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น ดังภาพที่ 3.12 (ข)
- 3) ทำการหาดำแหน่งแถวสูงสุดของกระดาษลูกฟูกแผ่นถัดไปโดยที่ผลต่างของค่าแถวสูงสุดที่จุดใหม่ กับแถวสูงสุดที่จุดเก่าต้องมากกว่าค่า gap ซึ่งค่า gap เป็นระยะห่างของจุดศูนย์กลางของกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่อยู่ติดกันซึ่งมีความหนา 25 จุดภาพดังภาพที่ 3.12 (ค)
- 4) ทำกระบวนการซ้ำไปเรื่อยๆ จนครบตามจำนวนลอนของกระดาษลูกฟูก ซึ่งผลที่ได้ก็คือจำนวนของกระดาษ ลูกฟูกทั้งหมดในภาพ ดังภาพที่ 3.12 (ง)



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก



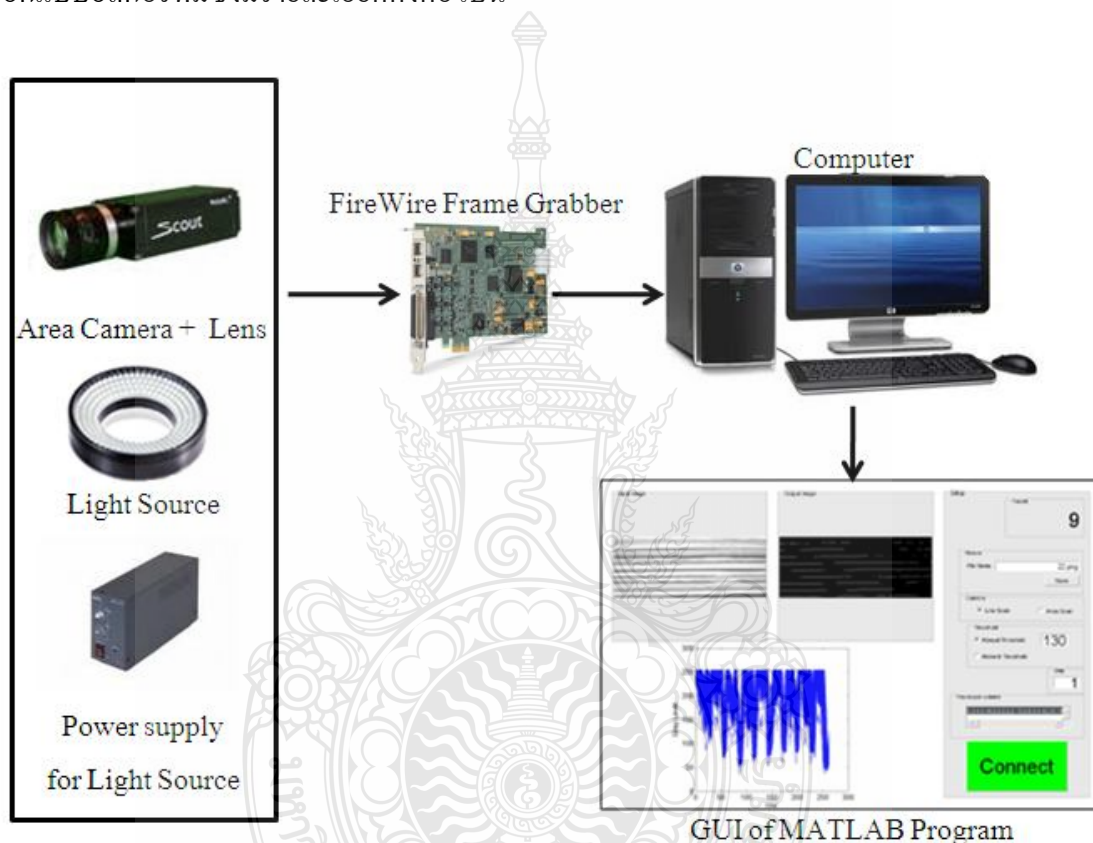


ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสำหรับนับกระดาดลูกฟูก

### 3.3 ศึกษาการออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง

หลังจากได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการนับกระดาดลูกฟูกในหัวข้อที่ผ่านมา สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องเพื่อใช้ทดสอบอัลกอริทึมว่ามีความถูกต้องของการนับกระดาดลูกฟูกหรือไม่ สำหรับการออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องจะแบ่งเป็นสองแบบ โดยที่แบบแรกถูกออกแบบเพื่อใช้กับกล้องรับภาพแบบพื้นที่และแบบที่สองถูกออกแบบเพื่อใช้กับกล้องรับภาพแบบเส้นโดยรายละเอียดในแต่ละระบบมีดังต่อไปนี้

3.3.1 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ การออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติโดยใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทดสอบสมมุติฐานและแนวความคิดที่ใช้สำหรับออกแบบอัลกอริทึมว่าถูกต้องหรือไม่ประกอบกับการติดตั้งกล้องรับภาพแบบพื้นที่ นั้นติดตั้งง่ายกว่ากล้องรับภาพแบบเส้นเนื่องจากไม่ต้องมีระบบขับเคลื่อนให้กับกล้องเหมือนกับกล้องรับภาพแบบเส้น โดยภาพที่ 3.14 เป็นระบบที่ใช้สำหรับทดสอบสมมุติฐานและแนวความคิดที่ใช้สำหรับออกแบบอัลกอริทึมซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



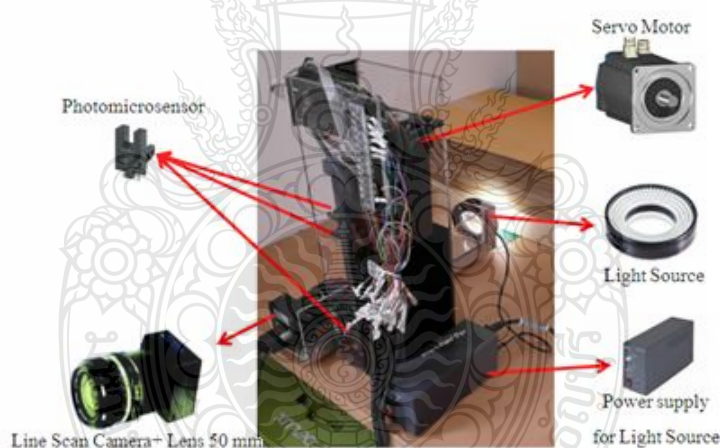
ภาพที่ 3.14 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Area Scan

- 1) กล้องที่ใช้เป็นชนิด Area Camera รุ่น scA750-60gm/gc ยี่ห้อ Basler รายละเอียด (Resolution) 752x480 มีขนาดจุดภาพ 6  $\mu\text{m}$ x6  $\mu\text{m}$  ระบบถ่ายโอนข้อมูลแบบ FireWire
- 2) เลนส์ (Lens) มีระยะห่างจากเลนส์ถึงกล้อง (Focal Length) ขนาด 12 mm
- 3) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ชนิดวงแหวน (Ring) ให้แสงสีขาวสามารถควบคุมความสว่างโดย Power Supply
- 4) Frame Grabber ที่ใช้เป็นของ National Instruments รุ่น NI-PCIE-8255R

5) คอมพิวเตอร์ (Computer) รุ่น INTEL i5 CPU 3.10 GHz Ram 4GB มีหน้าที่สำหรับเก็บภาพจาก Frame Grabber เพื่อใช้ในการหาจำนวนกระดาษลูกฟูก

6) โปรแกรม (Program) มีหน้าที่สำหรับการประมวลผลภาพของกระดาษลูกฟูกและแสดงจำนวนของกระดาษลูกฟูกว่ามีจำนวนเท่าไรสามารถกำหนดตัวแปรต่างๆ ได้เช่น ไฟล์ภาพที่ใช้ทดสอบค่าขีดแบ่ง (Threshold) ค่าความถี่ของหลัก (Column) ที่ใช้ทดสอบ เป็นต้น

3.3.2 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้องรับภาพแบบเส้นการออกแบบระบบสำหรับกล้องรับภาพแบบเส้นนั้นมีข้อแตกต่างกับระบบที่ใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่ตรงที่กล้องหรือวัตถุต้องมีการเคลื่อนที่เพื่อให้ได้ภาพมาใช้งานดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.7 โดยตัวกล้องจะติดกับแท่นที่สามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนตั้งตามภาพที่ 3.15 เพื่อให้กล้องรับภาพของกระดาษลูกฟูกตามความสูงที่ต้องการ โดยมีอุปกรณ์ให้แสงเป็นตัวควบคุมแสงบริเวณผิวของกระดาษลูกฟูกเพื่อให้ได้ภาพที่มีแสงคงที่สำหรับการนำไปทดสอบอัลกอริทึมโดยภาพที่ 3.16 เป็นส่วนประกอบของระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.15 ชุดทดสอบระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan

- 1) กล้องที่ใช้เป็นชนิด Line Camera รุ่น L104k-1k ยี่ห้อ Basler รายละเอียด (Resolution) 1024 pixels ขนาดจุดภาพ (Pixel Size) 10 umx10 um ระบบถ่ายโอนข้อมูลแบบ Camera Link
- 2) เลนส์ (Lens) มีระยะห่างจากเลนส์ถึงกล้อง (Focal Length) ขนาด 50 mm ยี่ห้อ Nikon
- 3) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ชนิดวงแหวน (Ring) ให้แสงสีขาวสามารถควบคุมความสว่างโดย Power Supply
- 4) Frame Grabber ที่ใช้เป็นของ Euresys รุ่น GRABLINK Base

5) บอลสกรู (Ball Screw) เป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่สำหรับติดตั้งกล้องและแหล่งกำเนิดแสงให้เคลื่อนที่เพื่อทำการสร้างภาพ

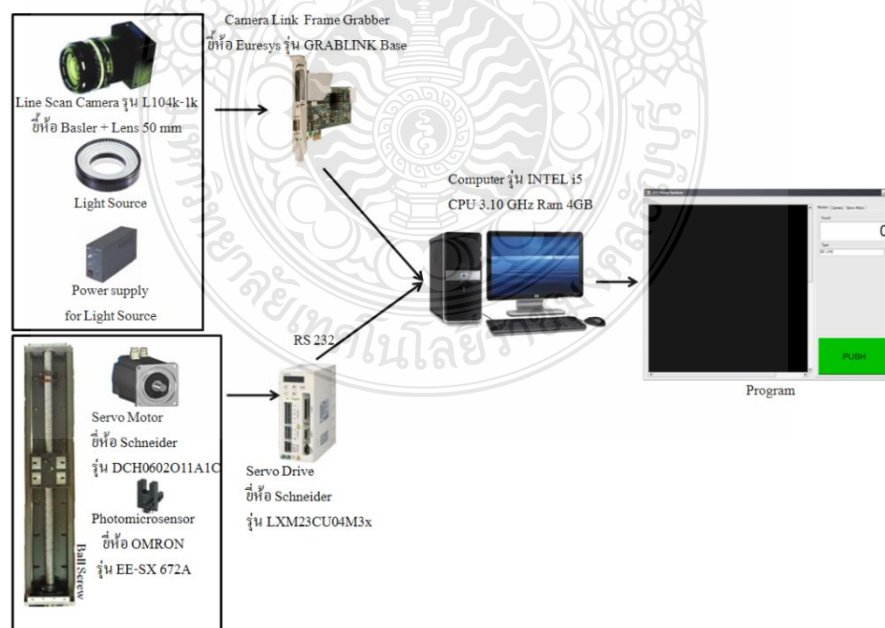
6) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) มีหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้กับบอลสกรู (Ball Screw) โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ Schneider รุ่น DCH0602O11A1C ซึ่งมีขนาด 400 W แรงบิดที่ 1.27 Nm และความเร็วสูงสุดที่ 3000 rpm

7) ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Drive) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ โดยที่สามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ

8) โฟโตไมโครเซ็นเซอร์ (Photomicrosensor) มีหน้าที่ป้องกันการเสียหายของบอลสกรู (Ball Screw) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) และลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Drive) จากการทำงานที่ผิดพลาดของชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Drive) ในการควบคุมตำแหน่งของการเคลื่อนที่โดยใช้โฟโตไมโครเซ็นเซอร์ยี่ห้อ OMRON รุ่น EE-SX 672A

9) คอมพิวเตอร์ (Computer) รุ่น INTEL i5 CPU 3.10 GHz Ram 4GB มีหน้าที่สำหรับเก็บภาพจาก Frame Grabber เพื่อใช้ในการหาจำนวนกระดาษลูกฟูก

10) โปรแกรม (Program) ถูกออกแบบให้มีความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของกล้อง เพื่อทำการสร้างภาพเพื่อเป็นข้อมูลให้อัลกอริทึมตรวจจับกระดาษลูกฟูกและแสดงผลจำนวนของกระดาษลูกฟูก



ภาพที่ 3.16 ระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan

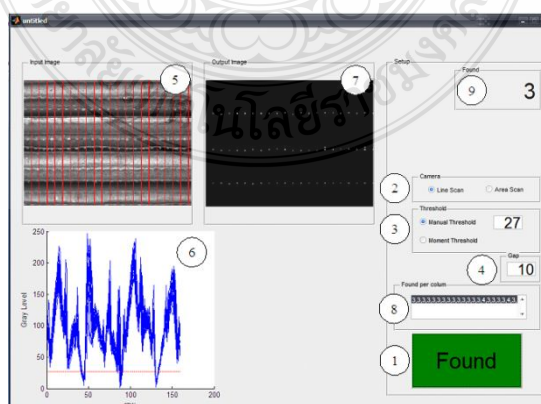
### 3.4 ออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานระบบตรวจสอบอัตโนมัติ

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาและออกแบบอัลกอริทึมกับระบบตรวจสอบอัตโนมัติเพื่อใช้นับกระดาษลูกฟูก สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมการทำงานของระบบตรวจสอบอัตโนมัติในการดึงภาพมาจากกล้องเข้าสู่อัลกอริทึมของการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้จำนวนของกระดาษลูกฟูกมาแสดงที่หน้าจอของโปรแกรม สำหรับการออกแบบโปรแกรมในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนดังต่อไปนี้

3.4.1 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับการใช้โปรแกรม MATLAB นั้นมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการทดสอบอัลกอริทึมตามหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 เท่านั้นส่วนการเก็บภาพและการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ในหัวข้อที่ 3.3 จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของผู้ผลิตกล้องและเซอร์โวมอเตอร์ดังภาพที่ 3.17 ในการออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB จะทำการเขียนโปรแกรมให้มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) เพื่อให้ง่ายสำหรับการกำหนดค่าต่างๆ โดยภาพที่ 3.18 เป็นภาพแบบของ GUI ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.17 ส่วนประกอบของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 3.18 โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI)

ส่วนประกอบของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) :

หมายเลขที่ 1 ปุ่มเริ่มการทำงาน

หมายเลขที่ 2 ปุ่มเลือกชนิดของกล้อง (ในที่นี้เลือก line scan)

หมายเลขที่ 3 ปุ่มเลือกการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ในที่นี้เลือกการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบคงที่โดยค่าที่ได้จะนำไปแสดงที่กราฟหมายเลขที่ 6 เป็นเส้นสีแดง

หมายเลขที่ 4 เป็นช่องที่ใช้กำหนดความถี่ของหลักที่ใช้ในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก

หมายเลขที่ 5 ภาพที่ดึงมาวิเคราะห์พร้อมกับแสดง gap ที่ใช้งาน

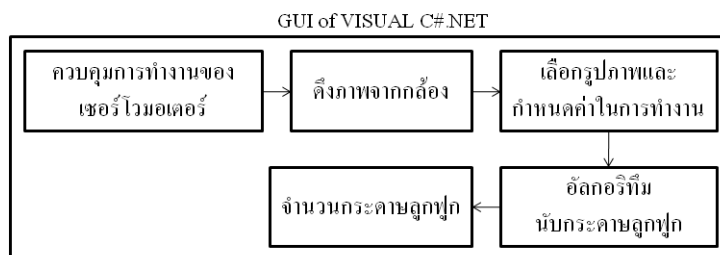
หมายเลขที่ 6 เป็นกราฟแสดงค่า Gray level ของหลักที่เลือกไว้ พร้อมทั้งค่า Threshold

หมายเลขที่ 7 เป็นภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ

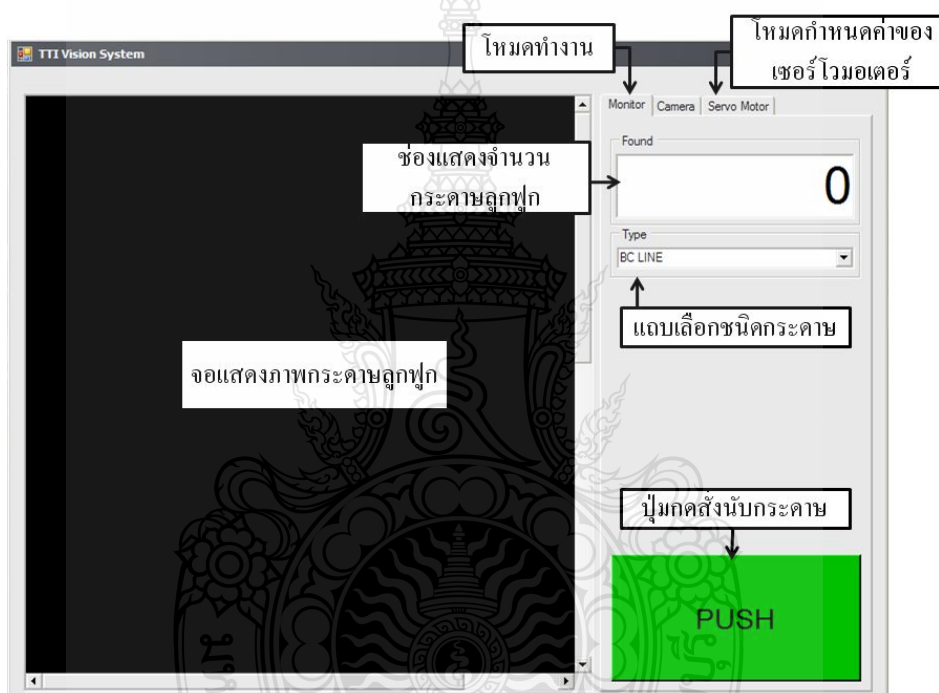
หมายเลขที่ 8 เป็นค่าที่ได้จากการนับจุดสีขาวจากหมายเลขที่ 7 ของแต่ละหลักที่เลือกไว้

หมายเลขที่ 9 เป็นค่าฐานนิยมจากหมายเลขที่ 8

3.4.2 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมวิซวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) ในหัวข้อที่ 3.4.1 จะเห็นว่าเป็นการทดสอบอัลกอริทึมจากภาพตัวอย่างเท่านั้น ยังไม่สามารถทำการควบคุมระบบตรวจสอบอัตโนมัติได้ทั้งระบบ ดังนั้นหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมวิซวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) ให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบตรวจสอบอัตโนมัติได้ทั้งระบบดังภาพที่ 3.19 โดยนำอัลกอริทึมที่ได้ทำการทดสอบจากหัวข้อที่ 3.4.1 มาเป็นแนวทางในการสร้างฟังก์ชันสำหรับการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม HALCON สำหรับการควบคุมการทำงานของกล้องและเซอร์ไวโมเตอร์สามารถทำการควบคุมโดยใช้โปรแกรมวิซวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) ผ่าน SDK (Software Development Kit) ซึ่งเป็นชุดคำสั่งที่ทางผู้ผลิตสินค้าสร้างไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์ ในการออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมวิซวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) จะทำการเขียนโปรแกรมให้มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) เพื่อให้ควบคุมและการกำหนดค่าต่างๆ โดยภาพที่ 3.20 เป็นแสดงรายละเอียดรูปแบบของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) โดยโหมดการทำงานจะแบ่งเป็นสองส่วนคือโหมดกำหนดค่าของเซอร์ไวโมเตอร์ถูกออกแบบไว้เพื่อกำหนดค่าและแสดงผลตำแหน่งและความเร็วของเซอร์ไวโมเตอร์เพื่อใช้ในการนับกระดาษและโหมดนับกระดาษลูกฟูกถูกออกแบบให้สามารถกำหนดชนิดของกระดาษลูกฟูกและทำการนับกระดาษโดยการกดปุ่มสีเขียวเมื่อได้จำนวนกระดาษลูกฟูกจะนำค่าที่ได้แสดงที่ช่องแสดงจำนวนกระดาษลูกฟูก



ภาพที่ 3.19 ส่วนประกอบของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม VISUAL C#.NET



ภาพที่ 3.20 โปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI)

### 3.5 สรุปวิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับบทที่ 3 เป็นการนำเสนอแนวความคิดในการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูก การเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง โดยนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีการประมวลผลภาพในบทที่ 2 มาใช้ในการหาจำนวนกระดาษลูกฟูกผ่านโปรแกรมให้มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ในบทถัดไปจะเป็นการนำระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องไปทดสอบความถูกต้องในการนับกระดาษลูกฟูก

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในบทที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการออกแบบระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองและการปรับปรุงอัลกอริทึมเพื่อให้ระบบสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องโดยการทดลองจะเริ่มจากการนับกระดาษลูกฟูกด้านที่เกิดจากการตัดกระดาษลูกฟูกเป็นแผ่น (Slitter) โดยใช้ภาพจากกล้องตามระบบในหัวข้อที่ 3.3.1 และหัวข้อที่ 3.3.2 จากนั้นจะทำการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกด้านลอน (Cut Off) โดยรายละเอียดผลทดสอบของกระดาษลูกฟูกแต่ละด้านมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter โดยใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนับกระดาษลูกฟูกโดยพิจารณาจากโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกร่วมกับการปรับค่าตัวแปรต่างๆ คือ ค่าความสว่างของแหล่งจ่ายแสงแบบวงกลมโดยค่าความสว่างที่ได้ วัดโดยใช้เครื่องมือวัดแสง และระยะห่างระหว่างเลนส์กับกระดาษลูกฟูกจากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณหาพื้นที่รับภาพ (Field of View, FOV) ตามสมการที่ 2.22 ดังนี้

กรณี Working Distance = 480 mm :

$$\text{FOV Vertical (mm)} = ((480 \times 6 \mu\text{m}) \times 480 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 115 \text{ mm}$$

$$\text{FOV Horizontal (mm)} = ((752 \times 6 \mu\text{m}) \times 480 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 180 \text{ mm}$$

กรณี Working Distance = 300 mm :

$$\text{FOV Vertical (mm)} = ((480 \times 6 \mu\text{m}) \times 300 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 72 \text{ mm}$$

$$\text{FOV Horizontal (mm)} = ((752 \times 6 \mu\text{m}) \times 300 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 112.8 \text{ mm}$$

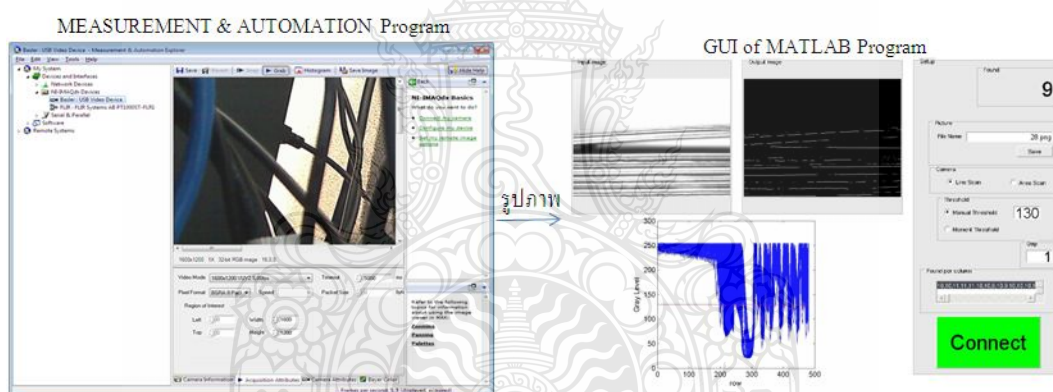
กรณี Working Distance = 200 mm :

$$\text{FOV Vertical (mm)} = ((480 \times 6 \mu\text{m}) \times 200 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

$$\text{FOV Horizontal (mm)} = ((752 \times 6 \mu\text{m}) \times 200 \text{ mm}) / 12 \text{ mm} = 75.2 \text{ mm}$$



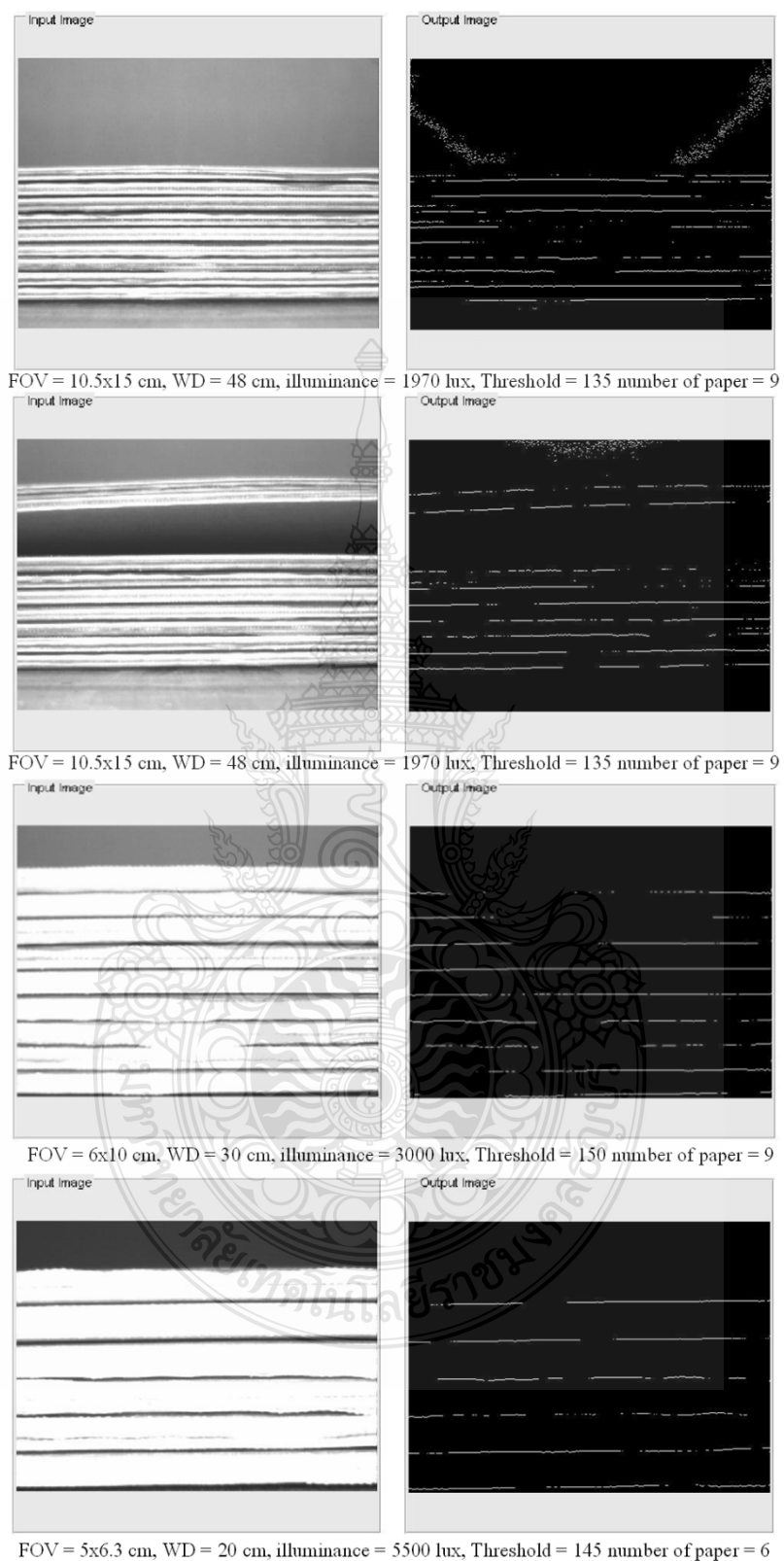
อัลกอริทึมที่ใช้เป็นไปตามหัวข้อที่ 3.1 โดยระบบที่ใช้เป็นระบบที่ใช้กับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ตามหัวข้อที่ 3.3.1 กระจกที่ใช้ทดสอบเป็นกระจกลูกฟูกชนิด BC โดยใช้โปรแกรมสำเร็จภาพที่มีชื่อว่า MEASUREMENT & AUTOMATION ของบริษัท National Instruments (NI) ในการเก็บภาพเพื่อนำภาพมาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB ตามหัวข้อที่ 3.4.1 ดังภาพที่ 4.1 โดยในภาพที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวแปรทุกตัวในตารางที่ 4.1 มีความสัมพันธ์กันและหากมีการเปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าขีดแบ่งไม่ตรงตามตารางที่ 4.1 จะส่งผลต่อความถูกต้องในการนับกระจกฟูกดังภาพที่ 4.3 ดังนั้นการนับกระจกฟูกโดยพิจารณาจากโครงสร้างของกระจกฟูกด้าน Slitter สามารถใช้หาจำนวนของกระจกฟูกได้ถูกต้อง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ จากภาพที่ใช้ทดสอบแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดในการใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่ คือมีพื้นที่รับภาพที่จำกัด ดังนั้นหัวข้อถัดไปจะเป็นการทดสอบอัลกอริทึมโดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้นในการนับกระจกฟูกที่มีจำนวนมาก



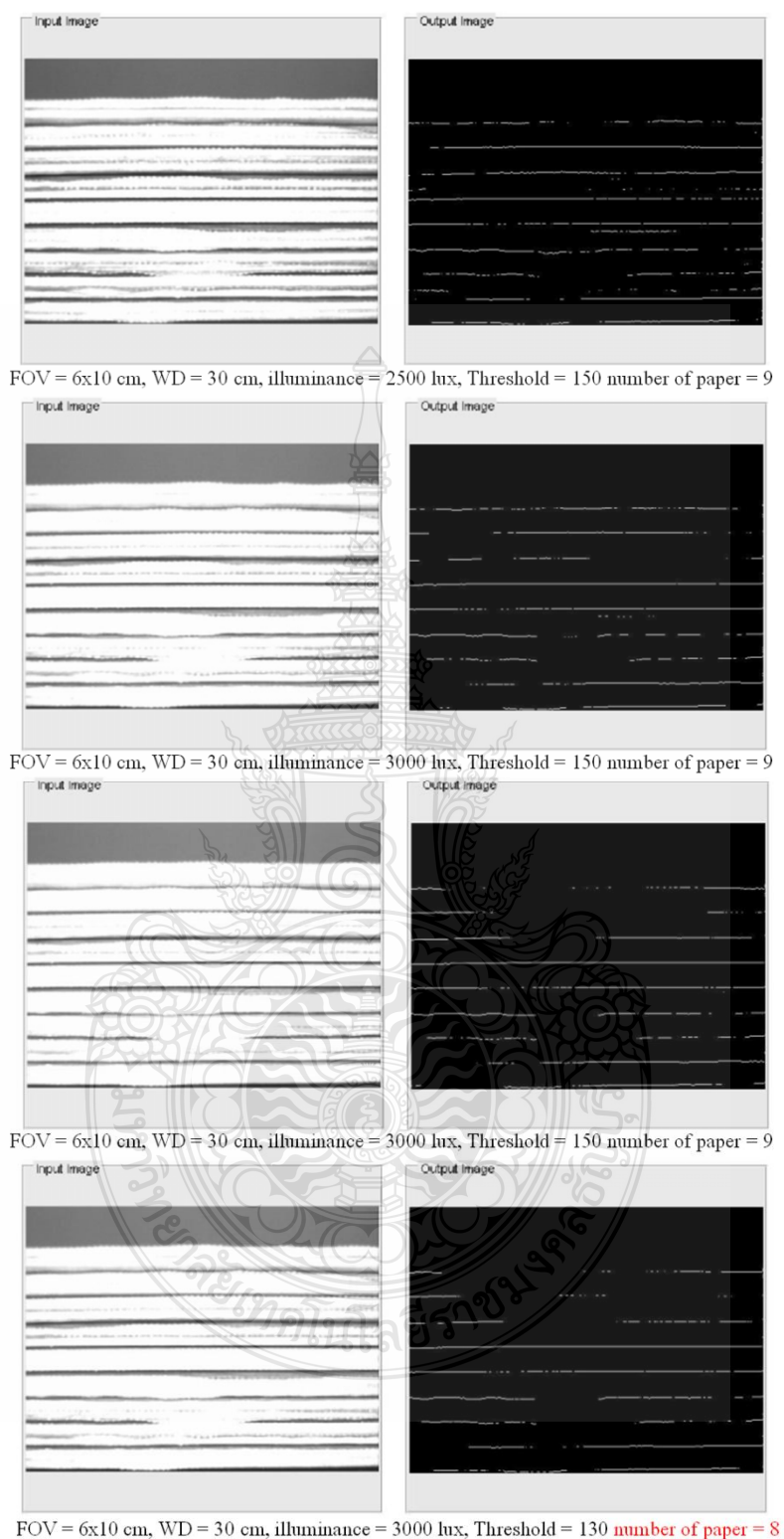
ภาพที่ 4.1 โปรแกรมนับกระจกฟูกสำหรับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ สำหรับหัวข้อที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การกำหนดค่าความสว่าง (Illuminance) และค่าขีดแบ่ง (Threshold) กับกล้อง Area Scan

Field of View (FOV) (mm)	Working Distance (WD) (mm)	Illuminance (lux)	Threshold
115x180	480	1970	130-145
72x112.8	300	2500-3500	150-160
48x75.2	200	4000-5500	145



ภาพที่ 4.2 ความถูกต้องของจำนวนกระดาษที่ถูกพิกในสถานะที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.3 การทดสอบหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกที่ผิดพลาดเนื่องจากการกำหนดค่าไม่ตรงตามเงื่อนไขในตารางที่ 4.1

#### 4.2 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter โดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้น

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการพัฒนาจากมาหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งมีข้อจำกัดของพื้นที่รับภาพ (FOV) ตามคุณสมบัติของกล้องรับภาพแบบพื้นที่ โดยเปลี่ยนระบบการทดสอบจากระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Area Scan เป็นระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้องรับภาพแบบเส้น ตามหัวข้อที่ 3.3.2 สำหรับการควบคุมการทำงานของกล้องและการควบคุมความเร็ว ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ ใช้ SDK (Software Development Kit) ซึ่งเป็นชุดคำสั่งที่ทางผู้ผลิตสินค้าสร้างไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์ผ่าน โปรแกรมวิชวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) เพื่อที่จะได้ภาพมาวิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB ตามหัวข้อที่ 3.4.1 ซึ่งมีรายละเอียดของระบบเป็นไปตามภาพที่ 3.16 จากภาพที่ 3.16 เนื่องจากกล้องที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดรับภาพแบบเส้นมีขนาดจุดภาพ (Pixel Size) 10umx10um ซึ่งแตกต่างกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่ ในการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งมีขนาดจุดภาพ (Pixel Size) 6umx6um ทำให้กล้องรับภาพแบบเส้น ให้คุณภาพของภาพที่สูงกว่ากล้องรับภาพแบบพื้นที่ แต่แสงที่ใช้ในการปรับความสว่างของกระดาษลูกฟูกต้องมีความสว่างมากกว่ากล้องรับภาพแบบพื้นที่ ประกอบกับเลนส์ที่ใช้กับกล้อง Line Scan ต้องเป็นชนิด F Mount ซึ่งเลนส์ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 50 mm ส่งผลให้พื้นที่รับภาพ (FOV) ระยะห่างระหว่างเลนส์กับชิ้นงาน (Lens WD) ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายแสงกับชิ้นงาน (Lighting WD) ซึ่งไม่สามารถนำค่าในตารางที่ 4.1 มาใช้เป็นข้อกำหนดของระบบในการทดสอบได้ ดังนั้นเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามตารางที่ 4.2 โดยกำหนดให้กล้องมีรายละเอียด (Resolution) ที่ 640 จุดภาพ เนื่องจากแหล่งจ่ายแสงที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 mm ดังนั้นพื้นที่รับภาพต้องมีขนาดน้อยกว่า 52 mm สำหรับการกำหนดค่าของกล้องรับภาพแบบเส้นจะกำหนดให้ทำการรับภาพแบบต่อเนื่อง (Web) และสามารถคำนวณค่าต่างๆ ให้กับระบบได้ดังนี้

- 1) คำนวณหาความกว้างของภาพ 1 เส้นจากสมการที่ 2.22 :

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่รับภาพตามแนวแกนนอน (mm)} &= ((640 \times 10 \text{ um}) \times 400 \text{ mm}) / 50 \text{ mm} \\ &= 51.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 2) คำนวณหาความสูงของภาพ 1 เส้นจากสมการที่ 2.22 :

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่รับภาพตามแนวแกนตั้ง (mm)} &= ((1 \times 10 \text{ um}) \times 400 \text{ mm}) / 50 \text{ mm} \\ &= 0.08 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 3) คำนวณหาจำนวนเส้นของภาพจากระยะจริงที่มอเตอร์เคลื่อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อรอบ :

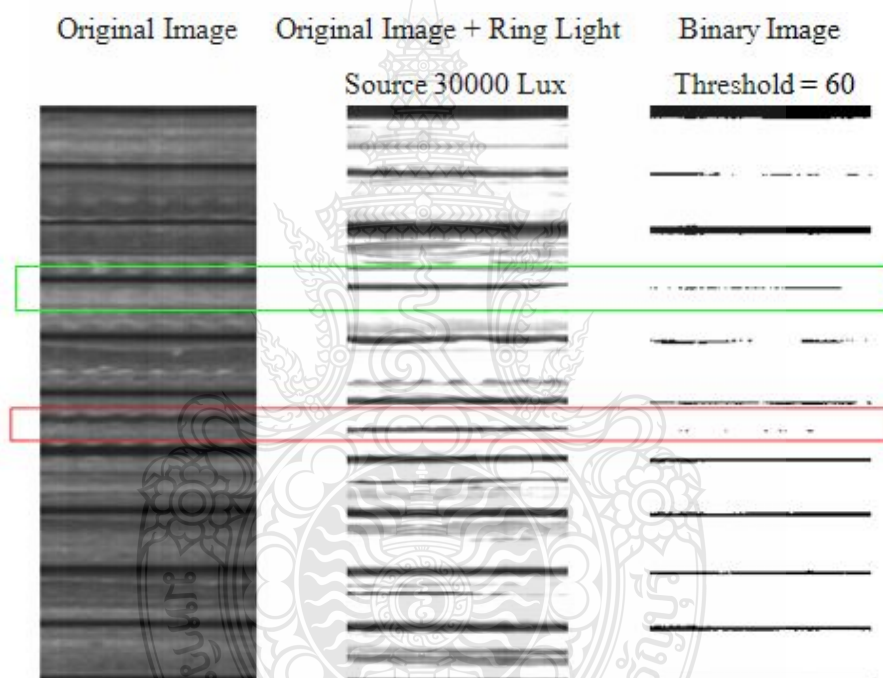
$$\begin{aligned} \text{พื้นที่รับภาพตามแนวแกนตั้ง (เส้น)} &= 120 / 0.08 \\ &= 1500 \text{ เส้น} \end{aligned}$$

4) กำหนดหาความเร็วของมอเตอร์โดยกำหนดความถี่ที่ 2500 kHz :

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วเซอร์โวมอเตอร์ (rpm)} &= (2500 \text{ (เส้นต่อวินาที)}/1500 \text{ (เส้น)}) \times 60 \\ &= 100 \text{ rpm} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2 การกำหนดค่าความสว่าง (Illuminance) และค่าขีดแบ่ง (Threshold)

FOV (mm)	Lens WD (mm)	Lighting WD (mm)	Illuminance (lux)	Threshold
51.2	400	70	30000 lux	60



ภาพที่ 4.4 ความผิดพลาดของอัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบกับกระดาษลูกฟูก

การทดสอบจะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้แสงเพื่อช่วยให้เนื้อกระดาษภายในกระดาษลูกฟูกมีความสว่างมากขึ้นทำให้เห็นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกซึ่งมีความเข้มของจุดภาพที่น้อยกว่าได้ชัดเจนขึ้นนั้น ยังมีความผิดพลาดในการนับซึ่งสามารถอธิบายได้จากภาพที่ 4.4 โดยในบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงเป็นบริเวณของเนื้อกระดาษไม่ใช่รอยต่อของกระดาษเมื่อทำการแปลงภาพจาก ภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำพบว่ายังมีบริเวณที่ไม่ใช่

รอยต่อของกระดาษลูกฟูกปรากฏอยู่ หรือในบริเวณขอบสีเขียวซึ่งเป็นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกเมื่อทำการแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำปรากฏว่ารอยต่อของกระดาษลูกฟูกมีความไม่สมบูรณ์ เมื่อทำการหาขอบของภาพและทำการนับจุดภาพในแต่ละหลัก แล้วนำมาหาค่าฐานนิยามเพื่อหาจำนวนกระดาษลูกฟูกจำนวนที่ได้อาจไม่ตรงกับจำนวนที่กำหนด ฉะนั้นการใช้แสงร่วมกับอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 3.1 นั้นไม่สามารถใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องทั้งหมด ดังนั้นในการทดสอบในหัวข้อถัดไปจะเป็นการปรับปรุงอัลกอริทึมเพื่อให้ การนับกระดาษลูกฟูกมีความถูกต้องมากขึ้น

#### 4.3 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 1 สำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการปรับปรุงอัลกอริทึมโดยนำหลักการ จากการศึกษางานวิจัยในบทที่สองมาใช้สำหรับปรับปรุงภาพโดยได้มีการเพิ่มตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี (Morphological Operation) เข้าไปในส่วนต่างๆ ของอัลกอริทึม โดยตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยีที่เพิ่มเข้าไปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงภาพ ให้ขยายรอยต่อของกระดาษลูกฟูกให้เห็นเส้นขอบของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนขึ้น และลบรอยต่อต่างๆ ภายในกระดาษลูกฟูก ก่อนทำการนับกระดาษลูกฟูก สำหรับตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยีที่เพิ่มเข้ามามีทั้งในภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) ภาพที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทาก่อนกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแปลงภาพเป็นภาพขาวดำได้ทำการปรับปรุงภาพเพื่อให้เห็นขอบของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนขึ้น โดยใช้มอร์โฟโลยี จากภาพที่ 4.5 เป็นภาพระดับสีเทาโดยภาพที่ 4.5 (ก) เป็นภาพตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้องที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่าเห็นขอบของกระดาษลูกฟูกไม่ชัดเจน แต่ภาพที่ 4.5 (ข) ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยใช้การกร่อนภาพ (Erosion) ตามสมการที่ 2.3 โดยส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element) ที่ใช้มีขนาด 17x41 จากภาพจะเห็นว่าเห็นขอบของกระดาษลูกฟูกชัดเจนขึ้น

4.3.2 กำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลง ในบทความนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งแบบคงที่ โดยกำหนดจากฮิสโตแกรมของภาพที่ใช้ทดสอบค่าขีดแบ่งที่เห็นขอบของภาพได้ชัดเจนคือ 60 และเมื่อนำภาพที่ 4.5 (ข) มาทำเป็นภาพขาวดำจะได้ภาพตามภาพที่ 4.5 (ค)

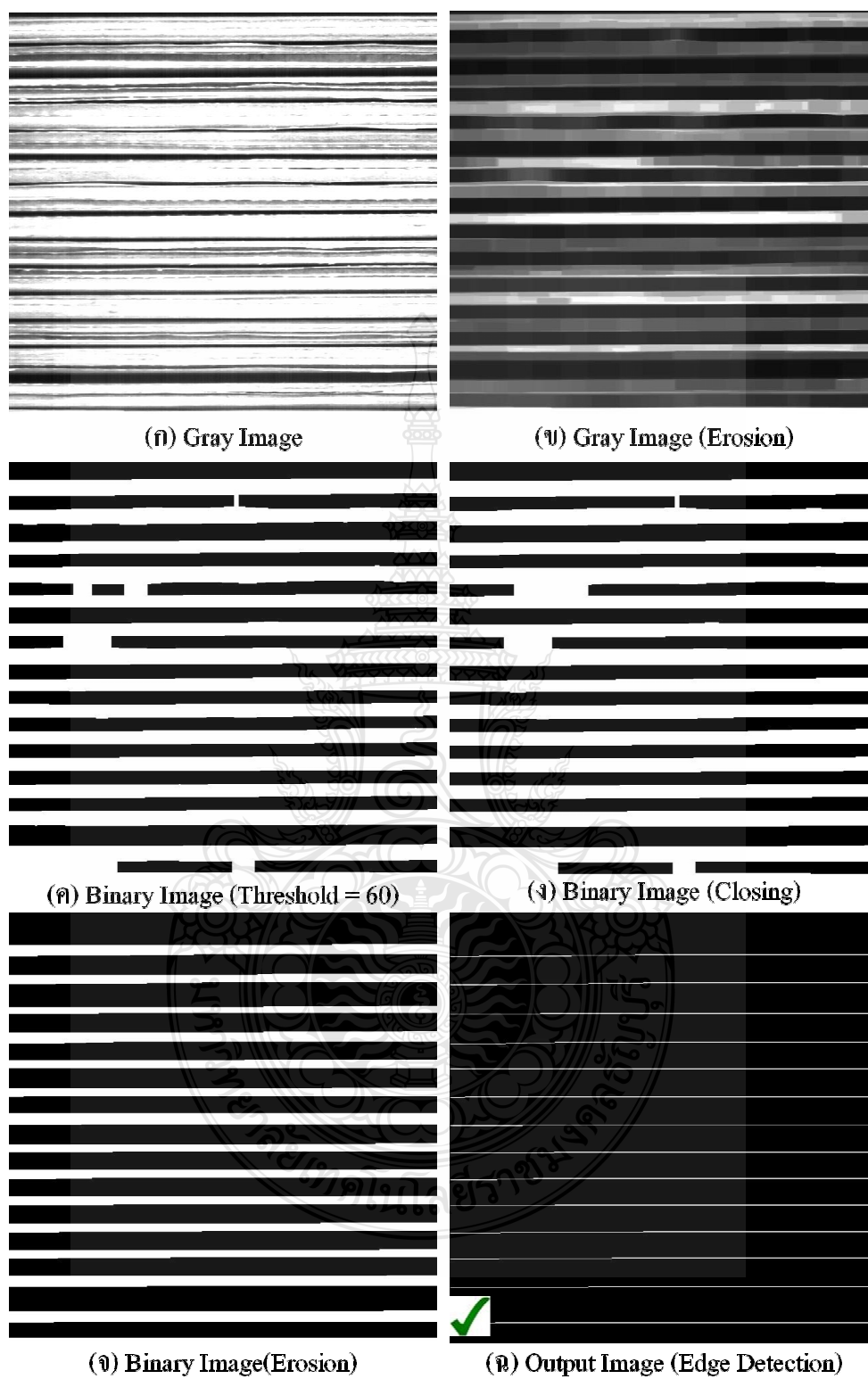
4.3.3 ภาพขาวดำ (Binary Image) หลังจากทำการกำหนดค่าขีดแบ่งจะได้ภาพขาวดำก่อนทำการหาขอบต้องทำการปรับปรุงภาพเพื่อลดความผิดพลาดในการนับกระดาษลูกฟูกจากภาพที่ 4.5 (ค) จะเห็นว่ายังมีส่วนขอบของกระดาษลูกฟูกปรากฏขาดหายไปวิธีการที่ใช้เพื่อปรับปรุงภาพคือการปิดภาพ (สมการที่ 2.5) และการกร่อนภาพ (สมการที่ 2.2) ตามลำดับ โดยที่การปิดภาพมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่

เป็นส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้ได้รอยต่อระหว่างกระดาษลูกฟูกชัดเจนขึ้น โดยส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure Element) ที่ใช้มีขนาดของเมทริกซ์  $3 \times 101$  หลังจากทำการปิดภาพ อาจจะมีรอยต่อของกระดาษลูกฟูกบางส่วนขาดหายไปทำให้การตรวจนับเกิดข้อผิดพลาด ฉะนั้นการกร่อนภาพจะเป็นการขยายสีดำ (Logic = 0) โดยส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure Element) ที่ใช้เป็นเมทริกซ์  $7 \times 601$  ผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 4.5 (ง) และ 4.5 (จ) ซึ่งแสดงภาพที่ได้รับการปรับปรุงด้วยการปิดภาพและการกร่อนภาพตามลำดับ

4.3.4 การหาขอบ (Edge Detection) วิธีการหาขอบของบทความนี้ใช้การหาอนุพันธ์อันดับ 1 ตามสมการที่ 2.9 เมื่อนำภาพ 4.5 (จ) มาทำการหาขอบโดยเลือกพิจารณาเฉพาะขอบข้างลงเพื่อใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกได้ผลดังภาพที่ 4.5 (ข)

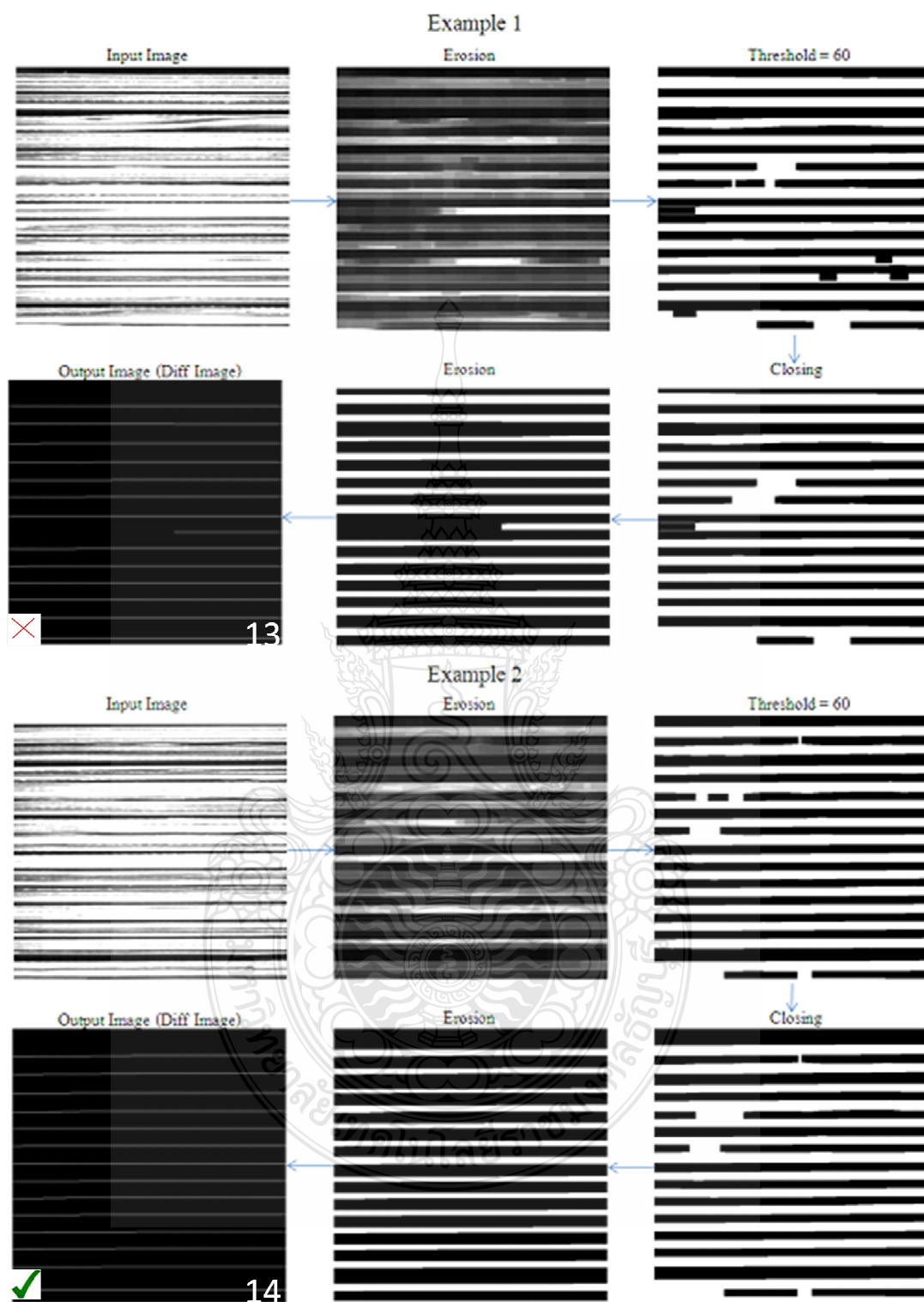
4.3.5 นับกระดาษลูกฟูก (Counting) การตรวจนับจะทำการนับจุดภาพที่เราสนใจคือจุดภาพที่เป็นสีขาวของในแต่ละหลัก (Column) แล้วนำผลรวมของจุดภาพที่นับได้มาหาค่าฐานนิยมเพื่อหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก

การทดสอบเป็นการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 30 ตัวอย่างโดยที่ขนาดของภาพมีขนาด  $1200 \times 640$  จุดภาพและการกำหนดค่าเป็นไปตามตารางที่ 4.2 ผลที่ได้คือ เห็นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกชัดเจนขึ้นแต่สามารถทำการนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องตามที่กำหนดเพียง 22 ตัวอย่างหรือ 73.33 % ส่วนตัวอย่างที่เหลือนับจำนวนกระดาษได้น้อยกว่าจำนวนที่กำหนด โดยภาพที่ 4.6 เป็นภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึม ซึ่งจะเห็นว่าในตัวอย่างที่ 1 นับกระดาษได้ 13 แผ่น จากจำนวนจริง 14 แผ่น ส่วนตัวอย่างที่ 2 นับได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการกำหนดส่วนประกอบโครงสร้างนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นการทดสอบในหัวข้อถัดไปจะเป็นการนำเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึมในแบบที่ 2 โดยการลดขนาดส่วนประกอบโครงสร้างให้มีขนาดเล็กลง



ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน





ภาพที่ 4.6 ความผิดพลาดในการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก

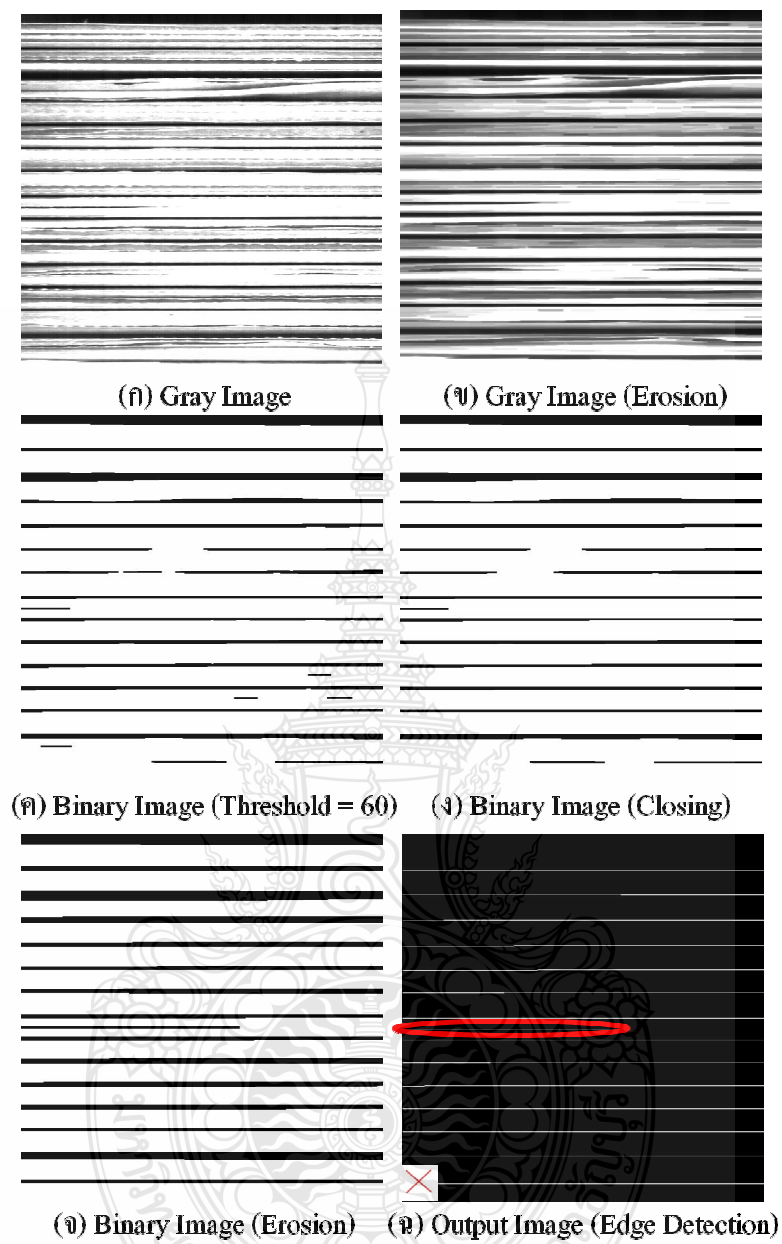
#### 4.4 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 2 สำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter

จากข้อสังเกตในหัวข้อที่ 4.3 ทำให้การปรับปรุงในหัวข้อนี้จะทำการลดขนาดของส่วนประกอบโครงร่างของการกร่อนภาพทั้งในส่วนของภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำให้มีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 4.7 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

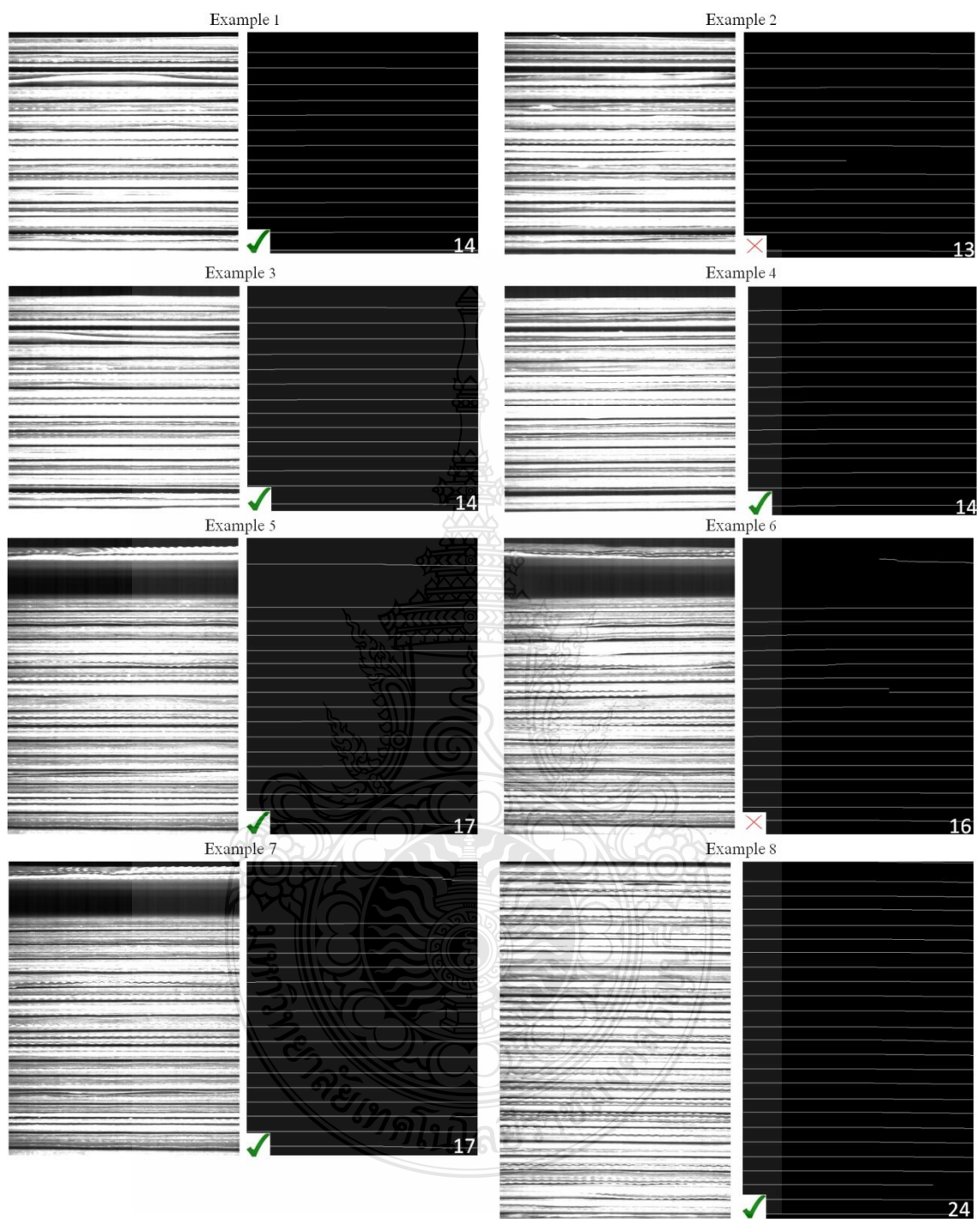
4.4.1 การกร่อนภาพ (Erosion) ของภาพระดับสีเทา เป็นการปรับปรุงส่วนประกอบโครงร่างของภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) เพื่อลดขนาดการขยายพื้นที่สีดำลง จากเดิมที่มีส่วนประกอบโครงร่างเท่ากับ  $17 \times 41$  ได้ถูกเปลี่ยน  $3 \times 41$  เนื่องจากการที่ขยายพื้นที่สีดำที่มากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของกระดาษลูกฟูกเปลี่ยนแปลงจนทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการนับ โดยภาพที่ 4.7 (ข) เป็นผลจากการเปลี่ยนส่วนประกอบโครงร่างเป็น  $3 \times 41$  เมื่อนำไปเทียบกับภาพที่ 4.6 (ข) จะเห็นว่าถึงแม้จะเห็นขอบของกระดาษลูกฟูกน้อยกว่าแต่ก็ไม่ทำให้โครงสร้างของกระดาษลูกฟูกเปลี่ยนไป

4.4.2 การกร่อนภาพ (Erosion) ของภาพขาวดำ เป็นการปรับปรุงส่วนประกอบโครงร่างของภาพขาวดำ (Binary Image) ให้มีขนาดเล็กลงโดยมีหลักการเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.4.1 โดยจากเดิมที่มีส่วนประกอบโครงร่างเท่ากับ  $7 \times 601$  ได้ถูกเปลี่ยนเป็น  $1 \times 401$  จากรูปที่ 4.7 (จ) ผลที่เกิดขึ้นจากการทำการกร่อนภาพโดยใช้ส่วนประกอบโครงร่างขนาด  $1 \times 401$  จากภาพจะเห็นว่า การขยายจุดภาพสีดำจะเป็นการขยายในแนวแกนนอนเท่านั้นไม่ได้ขยายในแนวแกนตั้ง ทำให้ช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากผิวของกระดาษลูกฟูกซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการนับกระดาษลูกฟูก

การทดสอบเป็นการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 30 ตัวอย่างโดยที่ขนาดของภาพมีขนาด  $1200 \times 640$  จุดภาพและการกำหนดค่าเป็นไปตามตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบจากภาพตัวอย่างชุดเดิมจากหัวข้อที่ 4.3 จำนวน 30 ตัวอย่าง ผลที่ได้คือเห็นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกชัดเจนขึ้นแต่สามารถทำการนับกระดาษลูกฟูกได้ตรงตามที่กำหนดเพียง 24 ตัวอย่างหรือ 80 % จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่า การใช้อัลกอริทึมที่ได้รับการปรับปรุงจะทำให้เห็นส่วนที่เราต้องการมากขึ้นแต่ส่วนที่เราไม่ต้องการกลับเห็นชัดเจนขึ้นเช่นกันโดยที่ส่วนไม่ต้องการนั้น คือส่วนที่อยู่ในวงกลมสีแดงซึ่งมีผลให้การนับจำนวนในขั้นตอนการตรวจนับตามภาพที่ 4.7 นั้นนับเกินขึ้นมาเป็น 15 แผ่น สำหรับภาพที่ 4.8 เป็นภาพตัวอย่างการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงภาพอย่างเดียวไม่สามารถทำให้จำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องทั้งหมด สำหรับการทดสอบในหัวข้อถัดไปจะเป็นการนำเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 3 โดยปรับปรุงวิธีการนับใหม่



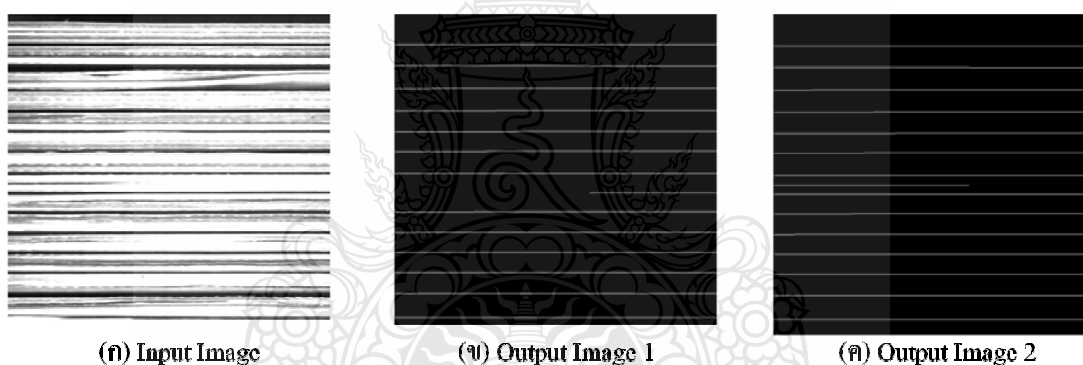
ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน



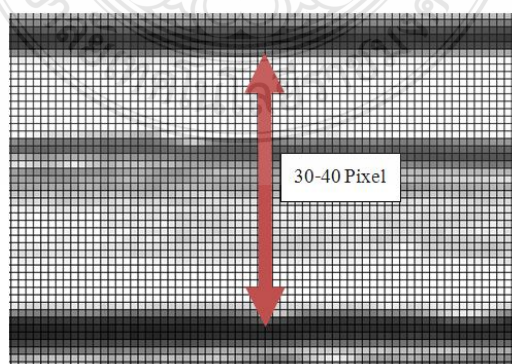
ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างผลการทดสอบการหาจำนวนของกระดาศลูดูกฟูก

#### 4.5 ผลทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 3 สำหรับน้บกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter

ในภาพที่ 4.9 เป็นภาพการทดสอบที่เปรียบเทียบอัลกอริทึมในหัวข้อที่ 4.3 และหัวข้อที่ 4.4 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี เข้าไปในส่วนต่างๆ ของอัลกอริทึมยังไม่สามารถทำให้การน้บกระดาษลูกฟูกให้มีความถูกต้องทั้งหมด สาเหตุเกิดจากกระดาษลูกฟูกแต่ละแผ่นมีโครงสร้างที่ไม่เหมือนกันประกอบกับวิธีการตรวจนับแบบเดิมคือการนับจุดภาพที่เราสนใจ (จุดภาพที่เป็นสีขาว) ในแต่ละหลักแล้วมาหาค่าฐานนิยมเพื่อหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกนั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการน้บกระดาษลูกฟูกให้แม่นยำได้ทั้งหมด ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการปรับปรุงอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 4.4 การปรับปรุงจะปรับปรุงในส่วนองวิธีการน้บกระดาษลูกฟูกโดยมีการเพิ่มการพิจารณาความหนาของกระดาษลูกฟูก จากภาพที่ 4.10 คือตัวอย่างของกระดาษลูกฟูกชนิด BC ซึ่งความหนาอยู่ที่ 30-40 จุดภาพ สำหรับรายละเอียดการปรับปรุงวิธีการนับมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

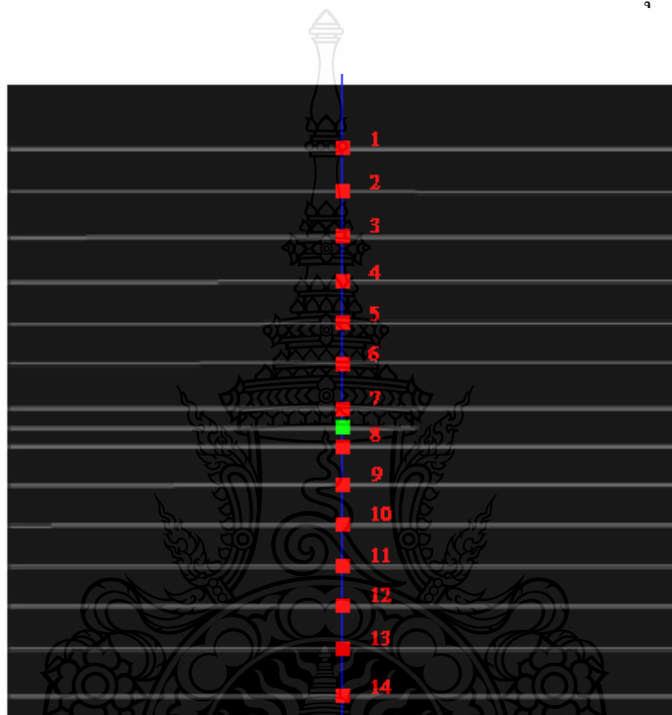


ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการปรับปรุงอัลกอริทึมแบบที่ 1 และแบบที่ 2



ภาพที่ 4.10 ความหนาของกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 1 แผ่น

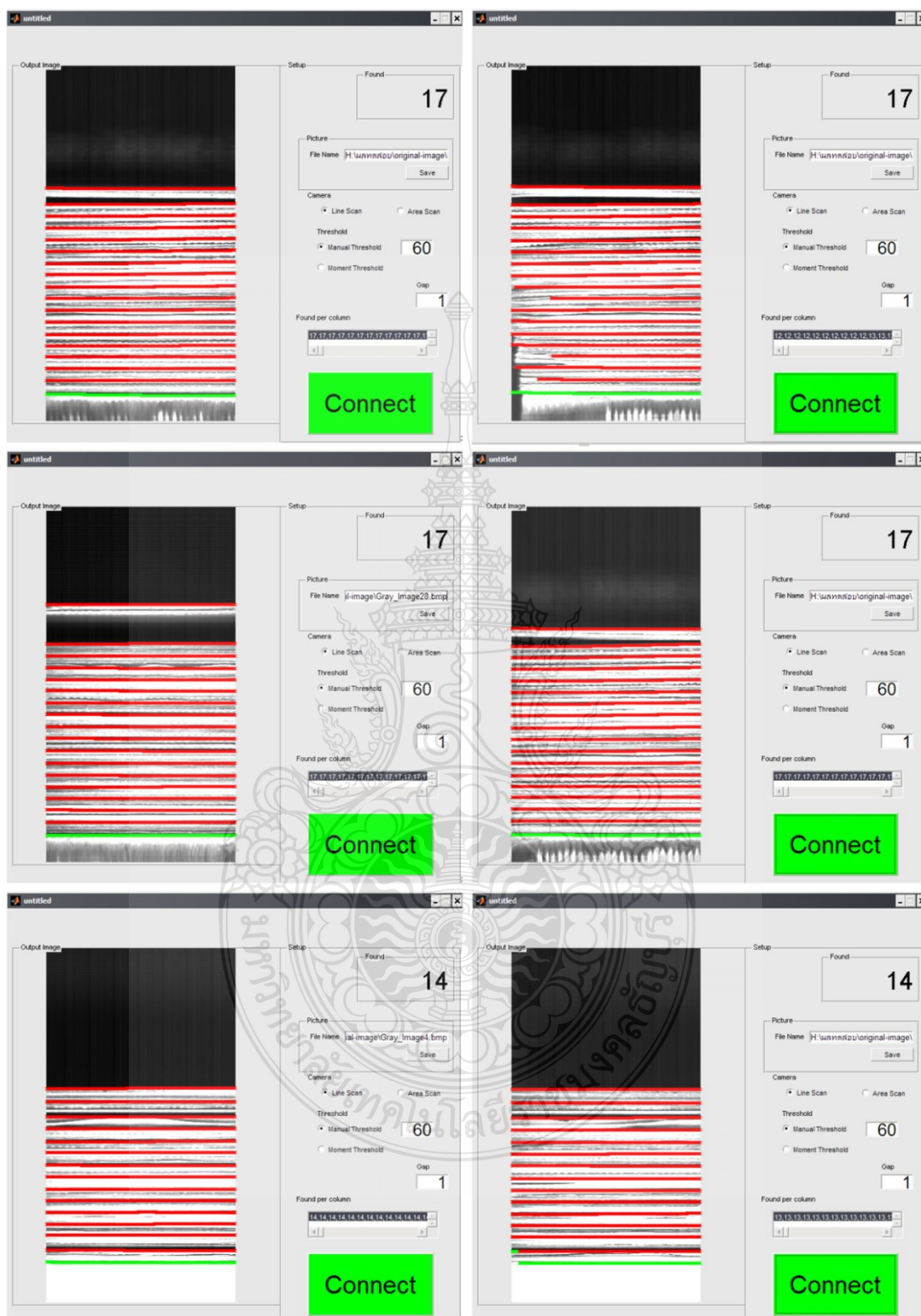
การปรับปรุงจะเป็นการนำอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 4.4 มาทำการปรับปรุงในส่วนของการนับ โดยที่จะนับจุดภาพสีขาวยในหลักเดียวกันเช่นเดียวกับอัลกอริทึมแบบเก่า แต่เงื่อนไขที่เพิ่มคือจุดภาพสีขาวจุดใหม่ที่ต้องการนับต้องมีระยะห่างจากจุดภาพสีขาวจุดเก่ามากกว่าความหนาของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ทดสอบ แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละหลักมาหาค่าฐานนิยมสิ่งที่ได้คือจำนวนของกระดาษลูกฟูกทั้งหมด จากภาพที่ 4.11 เป็นการนำตัวอย่างจากภาพที่ 4.7 (จ) มาทำการนับโดยจากภาพแสดงให้เห็นว่าเส้นที่เข้าเงื่อนไขมีจำนวน 14 เส้น โดยเส้นที่ไม่ตรงตามเงื่อนไขคือเส้นที่มีจุดสีเขียวแสดงอยู่



ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกโดยเพิ่มการพิจารณาความหนาของกระดาษลูกฟูก

การทดสอบจะทำการกำหนดเงื่อนไขตามตารางที่ 4.2 โดยทำการทดสอบกับกระดาษชนิด BC จำนวน 100 ตัวอย่างโดยระบบที่ใช้ทำการทดสอบนั้นยังคงเป็นระบบตามภาพที่ 3.15 กำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูกเท่ากับ 25 กำหนดค่าความถี่ของหลักที่ใช้ในการนับเท่ากับ 1 หมายความว่า จะพิจารณาจำนวนของกระดาษลูกฟูกทุกหลักมาใช้หาค่าฐานนิยม (Mode) แต่ได้มีการปรับปรุงส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ให้มีหน้าจอแสดงภาพเพียงหน้าจอเดียวเพื่อแสดงผลการนับได้ชัดเจน ดังภาพที่ 4.12 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ทำการทดสอบสามารถทำการนับกระดาษลูกฟูกได้แม่นยำ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 โดยแถบสีแดงคือขอบของกระดาษลูกฟูกและแถบสีเขียวคือแสดงขอบแทนวางกระดาษลูกฟูก



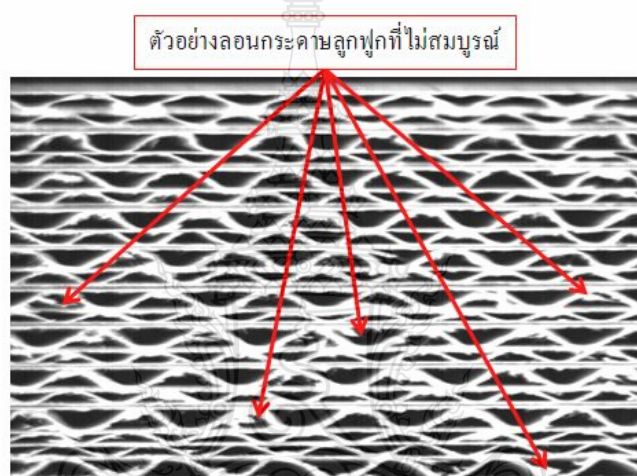


ภาพที่ 4.13 ตัวอย่างผลการทดสอบการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter



#### 4.6 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off โดยใช้กล้องรับภาพแบบเส้น

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off โดยนำอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 3.2 มาทำการปรับปรุงโดยเพิ่มตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี เข้าไปในส่วนต่างๆ ของอัลกอริทึม เช่นเดียวกับการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงภาพพื้นที่บริเวณลอนของกระดาษลูกฟูกให้ชัดเจน เนื่องจากลอนกระดาษลูกฟูกบางจุดไม่สมบูรณ์ดังภาพที่ 4.14 โดยการปรับปรุงจะนำอัลกอริทึมจากภาพที่ 3.6 มาทำการปรับปรุงก่อนทำการกำหนดค่าขีดแบ่งและก่อนทำ Blob Analysis โดยมีขั้นตอนตามภาพที่ 4.15 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

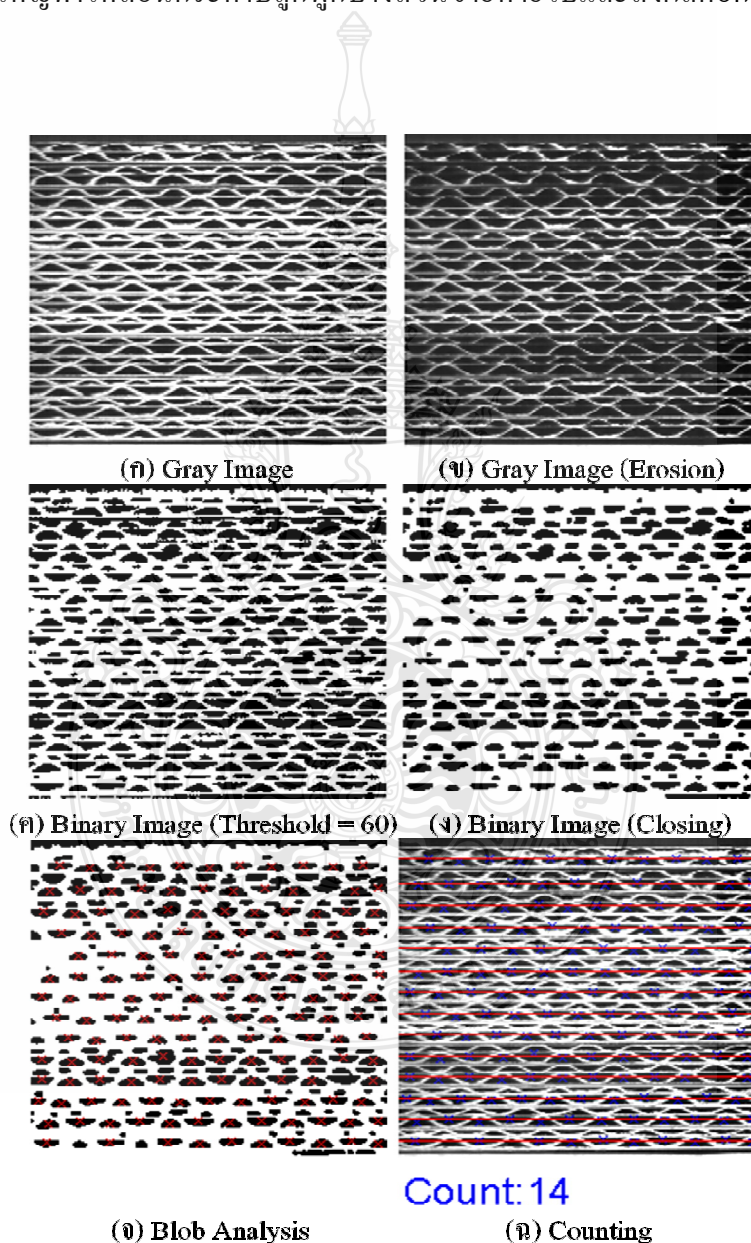


ภาพที่ 4.14 กระดาษลูกฟูกที่ไม่สมบูรณ์

4.6.1 ภาพระดับสีเทา (Gray Image) ภาพที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทาก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแปลงเป็นภาพขาวดำได้ทำการปรับปรุงภาพเพื่อให้เห็นขอบของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนขึ้น โดยใช้เทคนิคมอร์โฟโลยี โดยภาพที่ 4.15 (ก) เป็นภาพตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้องที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่าเห็นลอนของกระดาษลูกฟูกไม่ชัดเจน แต่ภาพที่ 4.15 (ข) ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยใช้การกร่อนภาพตามสมการที่ 2.3 โดยส่วนประกอบโครงร่าง (Structure Element, SE) ที่ใช้เป็นเมทริกซ์  $5 \times 5$  ถ้าเป็นส่วนประกอบโครงร่างขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป จากการทดสอบจะทำให้ภาพที่ได้มีผลต่อกระบวนการนับที่ผิดพลาดเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของลอนกระดาษลูกฟูก

4.6.3 ภาพขาวดำ (Binary Image) หลังจากทำการกำหนดค่าขีดแบ่งจะได้ภาพขาวดำ ก่อนทำการหาลอนต้องทำการปรับปรุงภาพ เพื่อลดความผิดพลาดในการหาลอนของกระดาษลูกฟูกจากภาพที่

4.15 (ค) จะเห็นว่ายังมีส่วนขอบของกระดาษลูกฟูกและลอนกระดาษลูกฟูกที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่ วิธีการที่ใช้เพื่อปรับปรุงภาพคือการปิดภาพ (สมการที่ 2.7) โดยการปิดภาพมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้เห็นลอนของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการนับชัดเจนขึ้น โดยส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure Element, SE) ขนาด 9x9 ผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 4.15 (ง) โดยจากการทดสอบถ้าเป็นส่วนประกอบโครงสร้างขนาดเล็กจะไม่สามารถตัดวัตถุได้หมดถ้าเป็น ส่วนประกอบโครงสร้าง ขนาดใหญ่ทำให้ลอนกระดาษลูกฟูกบางส่วนหายไปและส่งผลต่อกระบวนการนับที่ผิดพลาด



ภาพที่ 4.15 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการปรับปรุง

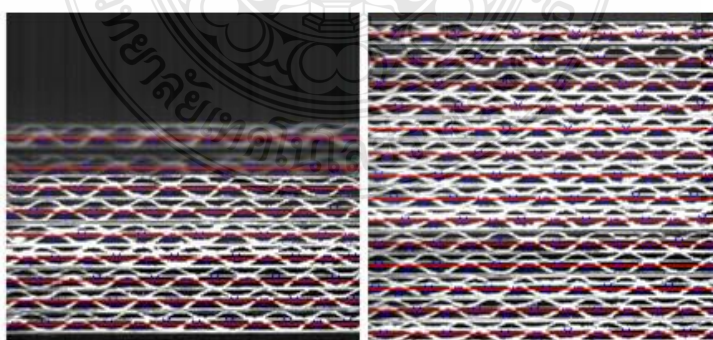
ภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นกระดาษลูกฟูกชนิด BC โดยกำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูก (gap) ที่ 25 จุดภาพจำนวนกระดาษตั้งแต่ 5-14 แผ่นจำนวน 60 ตัวอย่าง โดยทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดไฟกัสซึ่งจากผลการทดสอบสามารถนับได้ถูกต้องทั้งหมดและกรณีขอบกระดาษห่างจากจุดไฟกัสจากผลการทดสอบสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องดังภาพที่ 4.16 สำหรับตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 เป็นผลการทดสอบในกรณีที่ขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดไฟกัส สำหรับการทดสอบเรื่องความสมบูรณ์ของกระดาษลูกฟูกโดยกำหนดความสมบูรณ์ของลอนลูกฟูกต้องมากกว่า 50% นั้นสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องดังภาพที่ 4.17

**ตารางที่ 4.3** ผลการนับกระดาษลูกฟูกจำนวน 9 แผ่นที่มีขอบกระดาษเหลื่อมเลยจุดไฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดไฟกัสออกจากกล้อง (mm)				
	10	20	30	40	50
ความถูกต้องในการนับกระดาษ (แผ่น)	9	9	9	9	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.4** ผลการนับกระดาษลูกฟูกจำนวน 9 แผ่นที่มีขอบกระดาษเหลื่อมเลยจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง

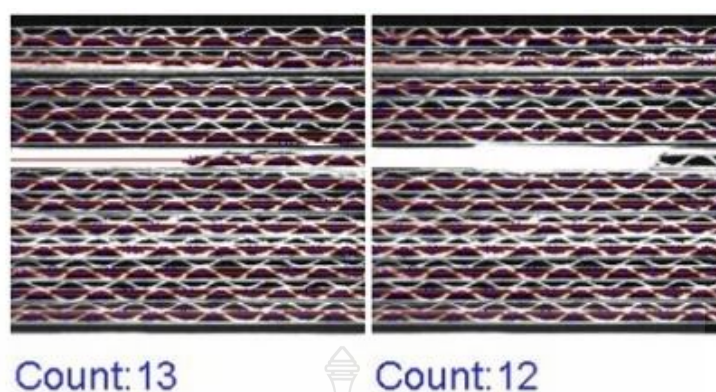
	ระยะห่างจากจุดไฟกัสเข้าหากกล้อง (mm)				
	10	20	30	40	50
ความถูกต้องในการนับกระดาษ (แผ่น)	9	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด



Count: 9

Count: 14

**ภาพที่ 4.16** ผลการทดสอบอัลกอริทึม



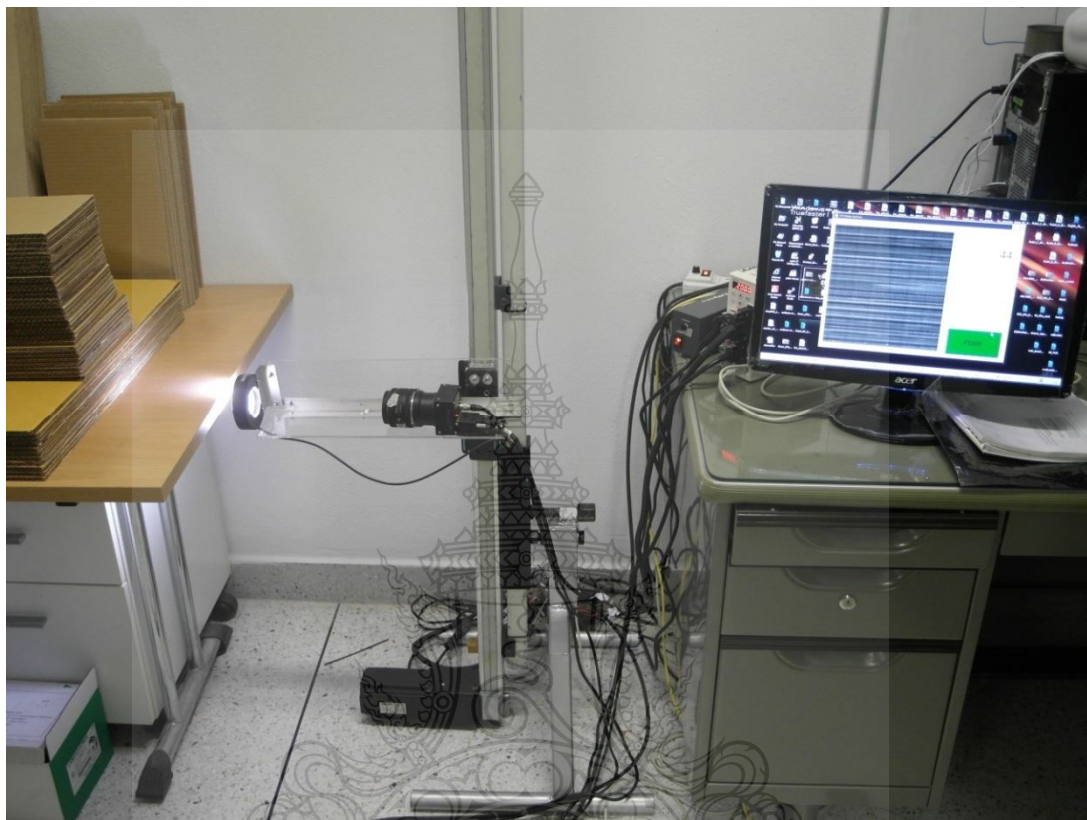
ภาพที่ 4.17 ความเสียหายของลอนกระดาษลูกฟูกจนไม่สามารถนับได้

#### 4.7 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC

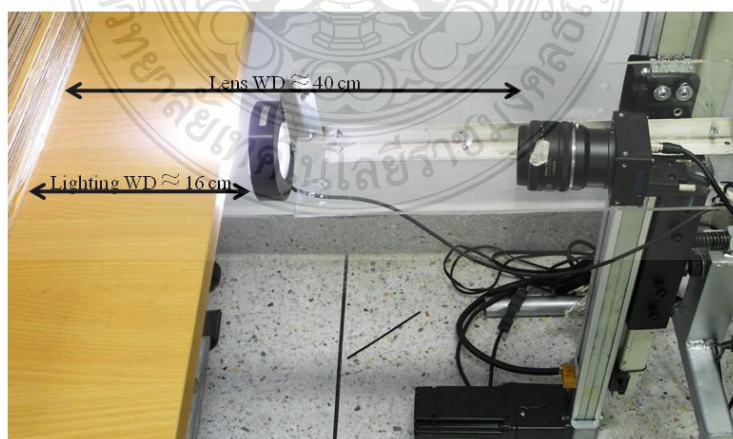
ผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกในหัวข้อที่ผ่านมาต้องใช้โปรแกรมอยู่สองส่วน ส่วนแรกใช้โปรแกรมวิชวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) สำหรับการควบคุมการทำงานของกล้องและการควบคุมความเร็ว ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์เพื่อนำภาพไปวิเคราะห์ในส่วนที่สองซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลภาพโดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับประมวลผลภาพเพื่อหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก ซึ่งจะเห็นว่ารูปแบบของโปรแกรมมีความยุ่งยากในการใช้งานจึงเหมาะสำหรับในการทดสอบเพื่อหาอัลกอริทึมเท่านั้น สำหรับการออกแบบโปรแกรมสำหรับระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องที่สามารถนำไปใช้ทดสอบแบบเวลาจริงต้องสามารถควบคุมการทำงานของกล้องและการควบคุมความเร็ว ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์และประมวลผลภาพต้องสามารถจัดการได้ในโปรแกรมเดียวกันตามหัวข้อที่ 3.4.2 สำหรับการประมวลผลภาพเลือกใช้โปรแกรม HALCON ในการสร้างโค้ดเพื่อนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมวิชวลซีชาร์ปดอทเน็ต

ภาพที่ 4.18 เป็นชุดทดสอบที่ใช้ทดสอบแบบจริง ซึ่งมีการทำงานเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.3.2 จากภาพแสดงให้เห็นว่าข้อกำหนดของระบบในการทดสอบได้มีการเปลี่ยนแปลงจากตารางที่ 4.2 เนื่องจากข้อจำกัดในการติดตั้งกล้องรับภาพแบบเส้นกับชุดเครื่องที่ตามแนวแกนตั้งแบบทามมิ่งเบลท์ทำให้อัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบได้มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรบางตัวเนื่องจากระยะของแหล่งจ่ายแสงกับกระดาษลูกฟูกมีค่ามากขึ้นทำให้ค่าความสว่างมีค่าน้อยลงตามตามภาพที่ 4.19 และตารางที่ 4.5 ดังนั้นอัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบนับกระดาษลูกฟูกด้านรอยต่อของกระดาษลูกฟูก (Slitter) จะปรับค่าขีดแบ่ง (Threshold) ให้มีค่าลดลงจาก 60 เป็น 30 สำหรับด้านลอนของกระดาษลูกฟูก (Cut Off) จะเปลี่ยนส่วนประกอบ โครงร่าง (Structure Element, SE) ของการกร่อนภาพให้มีขนาดเล็กลง

จากเมทริกซ์  $5 \times 5$  เป็นเมทริกซ์  $3 \times 3$  เพื่อลดการขยายพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูก และเปลี่ยนค่าความหนาของกระดาษของกระดาษลูกฟูก จาก 25 เป็น 29



ภาพที่ 4.18 ชุดทดสอบระบบตรวจสอบอัตโนมัติกับกล้อง Line Scan แบบเวลาจริง



ภาพที่ 4.19 ระยะห่างจากกล้องและแหล่งจ่ายแสงกับกระดาษลูกฟูก

**ตารางที่ 4.5** ข้อกำหนดค่าความสว่าง ระยะจากกล้องและแหล่งจ่ายแสงกับกระดาษลูกฟูก

FOV (mm)	Lens WD (mm)	Lighting WD (mm)	Illuminance (Lux)
51	400	160	5400

การทดสอบเป็นการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสและขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัส โดยที่ทุกๆ ระยะที่ใช้ทดสอบ จะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 30 ตัวอย่าง การทดสอบจะทำการสุ่มตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก โดยจากผลการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่ขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสผลทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.6 และ 4.7 สำหรับด้านSlitter ส่วนด้าน Cut Off ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.8 และ 4.9 โดยภาพที่ 4.20 และ 4.21 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบแบบเวลาจริง ด้าน Slitter และด้าน Cut Off ตามลำดับเป็นตัวอย่างทดสอบ

**ตารางที่ 4.6** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้อง (mm)			
	10	20	30	40
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 44 แผ่น (แผ่น)	44	44	44	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.7** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสเข้าหากกล้อง

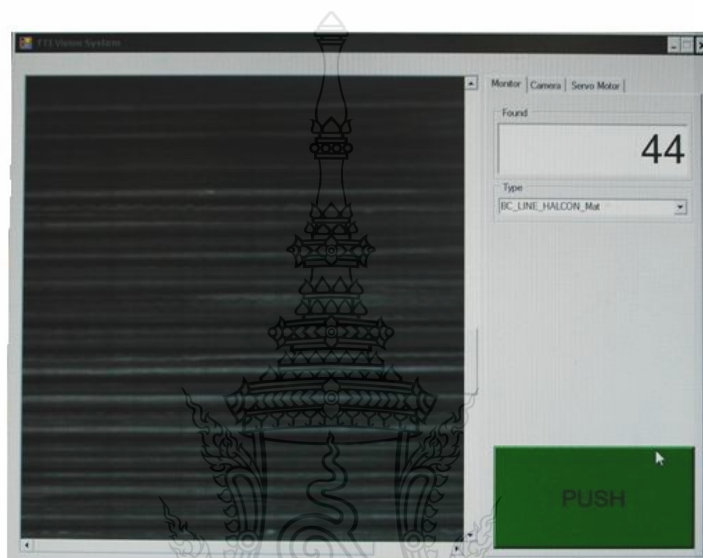
	ระยะห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากกล้อง (mm)	
	5	10
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 44 แผ่น (แผ่น)	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.8** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้อง (mm)			
	10	20	30	40
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 50 แผ่น (แผ่น)	50	50	50	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ตารางที่ 4.9 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวาง  
 เหลื่อมเลยจุดโฟกัสเข้าหากล่อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากล่อง (mm)		
	10	13	20
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 50 แผ่น (แผ่น)	50	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่ากำหนด



ภาพที่ 4.20 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด BC แบบเวลาจริง



ภาพที่ 4.21 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด BC แบบเวลาจริง

#### 4.8 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด C

การทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการหาอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC เท่านั้น ในหัวข้อนี้เป็นการนำอัลกอริทึมของหัวข้อที่ 4.7 มาทำการปรับปรุงเพื่อใช้นับกระดาษลูกฟูกชนิด C ทั้งด้าน Slitter และด้าน Cut Off

4.8.1 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้าน Slitter ทำการทดสอบภายใต้ข้อกำหนดตามตารางที่ 4.5 โดยที่ได้ปรับปรุงค่าขีดแบ่งจาก 30 เป็น 40 เนื่องจากระยะห่างระหว่างกระดาษลูกฟูกมีขนาดน้อยกว่ากระดาษลูกฟูกชนิด BC ทำให้ค่าความเข้มของจุดภาพมีค่าสูงกว่ากระดาษลูกฟูกชนิด BC และตัดตัวดำเนินการแบบปิดภาพออกเนื่องจากวัตถุประสงค์ของตัวดำเนินการแบบปิดภาพคือลบจุดภาพบริเวณภายในกระดาษลูกฟูกของกระดาษลูกฟูกแบบ 5 ชั้นขึ้นไป แต่กระดาษลูกฟูกชนิด C เป็นแบบ 3 ชั้น โดยกำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูกเท่ากับ 15 จุดภาพ การทดสอบเป็นการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสและขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดโฟกัส โดยที่ทุกๆ ระยะที่ใช้ทดสอบ จะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 30 ตัวอย่าง การทดสอบจะทำการสุ่มตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก จากผลการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่ขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดโฟกัสผลทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.10 และ 4.11 โดยภาพที่ 4.22 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

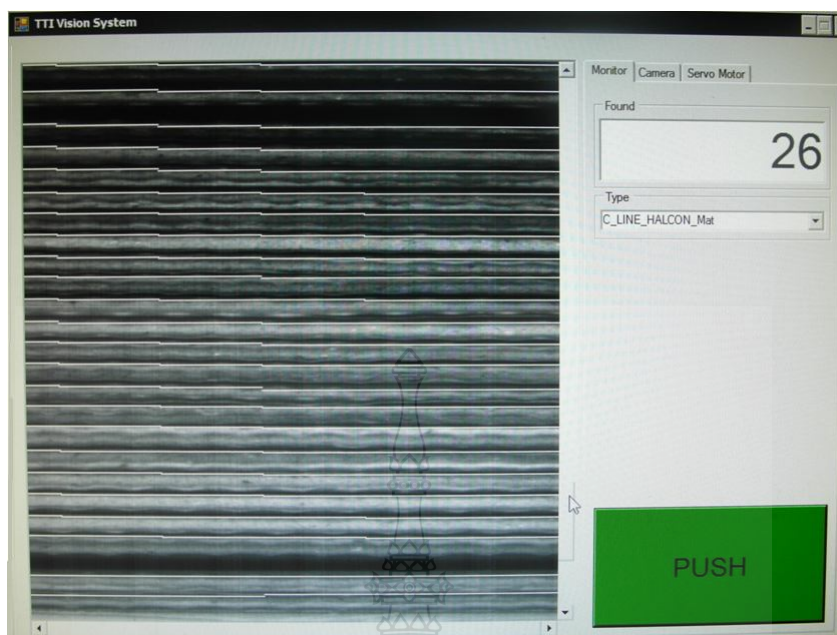
**ตารางที่ 4.10** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดโฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้อง (mm)			
	10	20	30	40
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 26 แผ่น (แผ่น)	26	26	26	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.11** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดโฟกัสเข้าหากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากกล้อง (mm)	
	5	10
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 26 แผ่น (แผ่น)	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด





ภาพที่ 4.22 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด C แบบเวลาจริง

4.8.2 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้าน Cut Off ทำการทดสอบภายใต้ข้อกำหนดตามตารางที่ 4.5 โดยกำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูกเท่ากับ 19 จุดภาพ การทดสอบเป็นการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดไฟกัสและขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัส โดยที่ทุกๆ ระยะที่ใช้ทดสอบ จะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 30 ตัวอย่าง การทดสอบจะทำการสุ่มตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก จากผลการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดไฟกัสสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่ขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสผลทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.12 และ 4.13 โดยภาพที่ 4.23 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 4.12 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดไฟกัสออกจากกล้อง (mm)			
	10	20	30	40
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 59 แผ่น (แผ่น)	59	59	59	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

ตารางที่ 4.13 ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวาง  
เหลื่อมเลยจุดไฟกัสเข้าหากล่อง

	ระยะห่างจากจุดไฟกัสเข้าหากล่อง (mm)		
	10	15	20
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 59 แผ่น (แผ่น)	59	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด



ภาพที่ 4.23 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด C แบบเวลาจริง

#### 4.9 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด B

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการนำอัลกอริทึมของหัวข้อที่ 4.7 มาทำการปรับปรุงเพื่อใช้นับกระดาษลูกฟูกชนิด B ทั้งด้าน Slitter และด้าน Cut Off

4.9.1 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้าน Slitter ทำการทดสอบภายใต้ข้อกำหนดตามตารางที่ 4.5 โดยนำอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 4.8.1 มากำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูกให้เท่ากับ 10 จุดภาพ การทดสอบเป็นการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดไฟกัสและขอบกระดาษวางเหลื่อมเลยจุดไฟกัส โดยที่ทุกๆ ระยะที่ใช้ทดสอบ จะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 30 ตัวอย่าง การทดสอบจะทำการสุ่มตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก จากผลการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดไฟกัสสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง สำหรับ

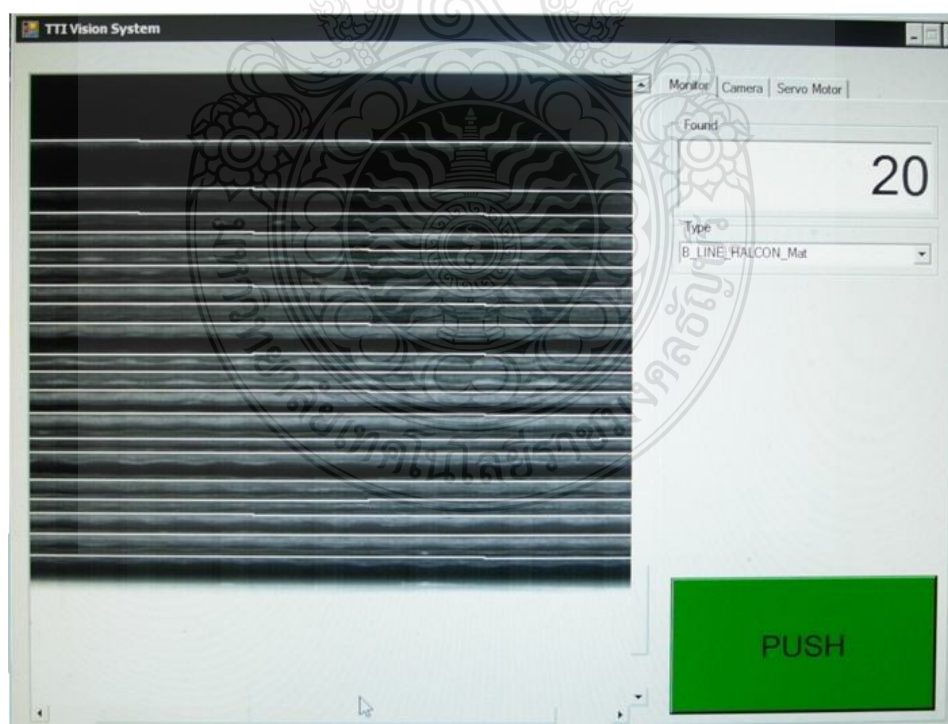
กรณีที่ชอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสผลทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.14 และ 4.15 โดยภาพที่ 4.24 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

**ตารางที่ 4.14** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีชอบกระดาษวางเหลื่อม เลขจุดไฟกัสออกจากกล่อง

	ระยะห่างจากจุดไฟกัสออกจากกล่อง (mm)		
	10	20	30
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 20 แผ่น (แผ่น)	20	20	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.15** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีชอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดไฟกัสเข้าหากล่อง

	ระยะห่างจากจุดไฟกัสเข้าหากล่อง (mm)	
	5	10
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 20 แผ่น (แผ่น)	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด



**ภาพที่ 4.24** ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Slitter ชนิด B แบบเวลาจริง

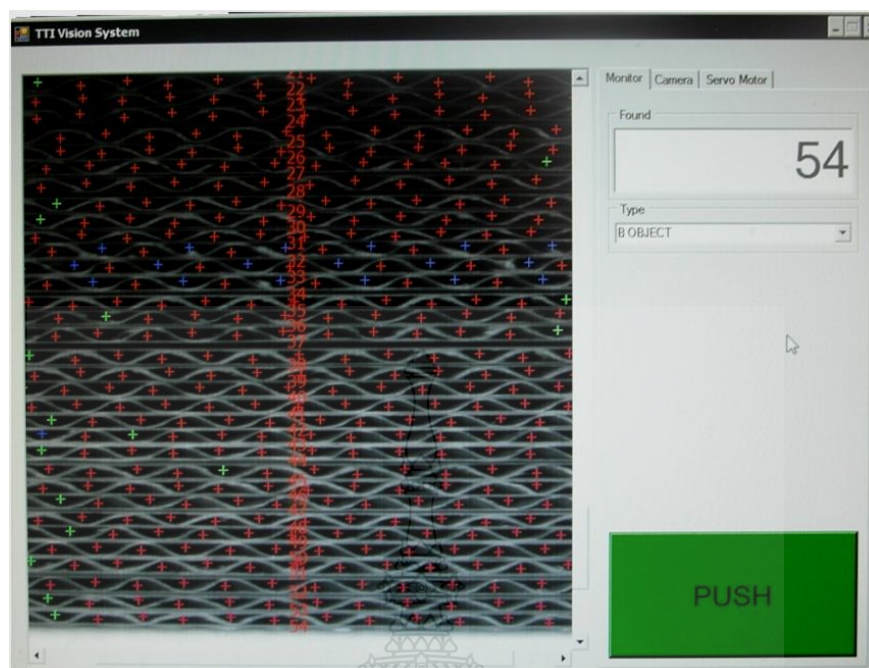
4.9.2 ผลทดสอบแบบเวลาจริง (Real Time) สำหรับนับกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้าน Cut Off ทำการทดสอบภายใต้ข้อกำหนดตามตารางที่ 4.5 โดยนำอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 4.8.2 มาทำการปรับปรุงโดยลดขนาดของส่วนประกอบโครงร่างเนื่องจากลอนของกระดาษลูกฟูกมีขนาดเล็กกว่าลอนของกระดาษลูกฟูกชนิด C โดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่างของการกร่อนภาพให้มีขนาด 2x2 และส่วนประกอบโครงร่างของการปิดภาพมีขนาด 3x3 กำหนดความหนาของกระดาษลูกฟูกเท่ากับ 14 จุดภาพ การทดสอบเป็นการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสและขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัส โดยที่ทุกๆ ระยะที่ใช้ทดสอบ จะทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 30 ตัวอย่าง การทดสอบจะทำการสุ่มตำแหน่งของกระดาษลูกฟูก จากผลการทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางเสมอกันที่จุดโฟกัสสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่ขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสผลทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.16 และ 4.17 โดยภาพที่ 4.25 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

**ตารางที่ 4.16** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสออกจากกล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้อง (mm)			
	10	20	30	40
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 54 แผ่น (แผ่น)	54	54	54	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

**ตารางที่ 4.17** ผลการนับกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริงกรณีขอบกระดาษวางเหลื่อมเลขจุดโฟกัสเข้าหากล้อง

	ระยะห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากล้อง (mm)		
	10	15	20
จำนวนกระดาษลูกฟูกที่นับได้จาก 54 แผ่น (แผ่น)	54	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด	ต่ำกว่าค่าที่กำหนด



ภาพที่ 4.25 ตัวอย่างการทดสอบกระดาษลูกฟูกด้าน Cut Off ชนิด B แบบเวลาจริง

#### 4.10 สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการนำสิ่งที่ได้ออกแบบจากบทที่ 3 มาทดสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเพื่อหาอัลกอริทึมที่สามารถนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC ได้ถูกต้องอีกทั้งยังปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถนับกระดาษลูกฟูกชนิด C และ B โดยตารางที่ 4.18 เป็นตารางสรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Slitter และ โดยตารางที่ 4.19 เป็นตารางสรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Cut Off โดยที่เงื่อนไขของระบบจะต้องเป็นไปตามตารางที่ 4.5 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การนำข้อมูลจากโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกมาใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกนั้นสามารถนับกระดาษได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4.18 สรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Slitter

ชนิดของ กระดาษลูกฟูก	ค่าที่ใช้ใน อัลกอริทึม	Erosion (Gray Image)	Threshold	Closing	Erosion (Binary Image)	Height of the sheet
BC		3x41	30	3x101	1x401	29
C		3x41	40	-	1x401	15
B		3x41	40	-	1x401	10

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าที่ใช้ในอัลกอริทึมของกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Cut Off

ชนิดของ กระดาษลูกฟูก	ค่าที่ใช้ใน อัลกอริทึม	Erosion (Gray Image)	Threshold	Closing	Height of the sheet
BC		3x3	30	9x9	29
C		3x3	30	9x9	19
B		2x2	30	3x3	14

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) และอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับนำไปใช้นับกระดาษลูกฟูกของโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก โดยการออกแบบและทดสอบจะเริ่มตั้งแต่ระบบที่ใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่กับโปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบอัลกอริทึมจนกระทั่งนำไปทดสอบแบบเวลาจริงกับระบบที่ใช้กล้องรับภาพแบบเส้นร่วมกับโปรแกรมวิชวลซีชาร์ปดอทเน็ต (VISUAL C#.NET) โดยทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ทั้งด้าน Slitter และด้าน Cut Off ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Slitter

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ทำการทดสอบสามารถนำระยะห่างระหว่างรอยต่อของกระดาษลูกฟูกมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง ในกรณีที่ขอบของกระดาษลูกฟูกวางเฉยจุดโฟกัสระยะที่ระบบยังสามารถนับได้ถูกต้องคือระยะที่ขอบของกระดาษลูกฟูกวางห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้องน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร สำหรับระยะของขอบกระดาษลูกฟูกที่วางห่างมากกว่านี้จะมีความสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุที่ไม่สามารถนับได้ถูกต้องเนื่องจากภาพที่ได้ไม่มีความคมชัดทำให้การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่กำหนดไว้แบบคงที่ไม่สามารถหารอยต่อของกระดาษลูกฟูกได้ครบทุกรอยต่อ สำหรับข้อจำกัดของอัลกอริทึมนี้ คือไม่สามารถนับกระดาษลูกฟูกที่ประกบติดกันจนไม่สามารถหารอยต่อระหว่างกระดาษลูกฟูกทั้งสองแผ่นได้

#### 5.2 สรุปผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC, C, B ด้าน Cut Off

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ทำการทดสอบสามารถนำพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง ในกรณีที่ขอบของกระดาษลูกฟูกวางเฉยจุดโฟกัสระยะที่ระบบยังสามารถนับได้ถูกต้องคือระยะที่ขอบของกระดาษลูกฟูกวางห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากล้องน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และออกจากกล้องน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร สำหรับระยะของขอบกระดาษลูกฟูกที่วางห่างมากกว่านี้จะมีความสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุที่ไม่สามารถนับได้ถูกต้องแบ่งได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกเนื่องจากภาพที่ได้ไม่

มีความคมชัดทำให้การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่กำหนดแบบคงที่ทำให้พื้นที่ของลอนกระดาษลูกฟูกของภาพขาวดำมีขนาดเปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก ส่วนที่สองเนื่องจากภาพที่ได้มีลักษณะเบลอซึ่งเกิดจากระยะที่กระดาษลูกฟูกอยู่ห่างจากกล้องมากเกินไปหรือที่เรียกว่า Out Of Focus ทำให้อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบไม่สามารถหาลอนกระดาษลูกฟูกได้ สำหรับข้อจำกัดของอัลกอริทึม คือไม่สามารถนับกระดาษลูกฟูกที่มีความเสียหายของลอนกระดาษลูกฟูกมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

### 5.3 ข้อเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างอัลกอริทึมด้าน Slitter และ ด้าน Cut Off

จากหัวข้อที่ 5.1 และหัวข้อที่ 5.2 จะเห็นว่าอัลกอริทึมสำหรับนับกระดาษลูกฟูกแต่ละด้านมีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกัน สำหรับการเลือกว่าจะพิจารณากระดาษลูกฟูกด้านไหนสามารถพิจารณาได้ดังนี้ ด้าน Slitter เหมาะสำหรับนับกระดาษลูกฟูกที่วางเอียงจากแนวระนาบได้โดยที่ระยะที่ขอบของกระดาษฟูกวางห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้องน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ส่วนด้าน Cut Off เหมาะสำหรับนับกระดาษลูกฟูกที่ระยะที่ขอบของกระดาษฟูกวางห่างจากจุดโฟกัสออกจากกล้องน้อยกว่า 10 มิลลิเมตรและออกจากกล้อง น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการสร้างระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เพื่อหาอัลกอริทึมในการพิจารณาโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนับกระดาษลูกฟูกจากหัวข้อที่ 5.1 และ 5.2 ทำให้เห็นว่ายังมีข้อที่จะต้องปรับปรุงเพื่อให้สามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องมากขึ้นในกรณีที่กระดาษลูกฟูกอยู่ห่างจากจุดโฟกัสซึ่งการปรับปรุงแบ่งได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการปรับปรุงการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล โดยการเปลี่ยนการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) แบบคงที่เป็นการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติหรือการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมโดยใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การหาเส้นขอบของกระดาษลูกฟูกโดยพิจารณาจากภาพระดับสีเทา การใช้ซอฟต์แวร์เทอร์แมชชีนหรือนิวรอนเน็ตเวิร์กมาช่วยในการหาจำนวนกระดาษลูกฟูกเป็นต้น ส่วนที่สองจะเป็นการปรับปรุงโครงสร้างของระบบตรวจสอบอัตโนมัติให้สามารถเคลื่อนที่อยู่ที่จุดโฟกัสเพื่อให้ค่าความสว่างบริเวณขอบของกระดาษลูกฟูกมีค่าคงที่เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการนับกระดาษลูกฟูกและพัฒนาอัลกอริทึมให้นับกระดาษลูกฟูกแบบต่างๆให้ครบทั้งหมดต่อไป



## รายการอ้างอิง

- [1] Balestrino Aldo, Landi Alberto, Pacini Luca., “Vision system for monitoring the production of corrugated cardboard,” **IEEE International Conference on Control Applications**, 4-6 Oct 2006, 2006. pp.626-631.
- [2] Chengqun Qiu., “An edge detection method of lane lines based on mathematical morphology and MATLAB,” **Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC)**, vol. 2, 26-30 July 2011, 2011. pp.1266-1269.
- [3] Xue Jinlin, Ju Weiping., “Vision-Based Guidance Line Detection in Row Crop Fields,” **Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)**, vol. 3, 11-12 May 2010, 2010. pp.1140-1143.
- [4] Nie Shiliang, Zhang Hongying, Zhang Liping, Fan Yang, Brost V., “Vertical scratches detection based on edge detection for old film,” **Industrial and Information Systems (IIS)**, vol.1, 10-11 July 2010, 2010. pp.257-260.
- [5] Runhai Jiao, Bin Li, Yuancheng Li., “Detection of cladding ice on transmission line based on SVM and mathematical morphology,” **Image and Signal Processing (CISP)**, vol.4, 16-18 Oct 2010, 2010. pp.1624-1628.
- [6] Telagarapu P, Rao M.V.N, Suresh G., “A novel traffic-tracking system using morphological and Blob analysis,” **Computing, Communication and Applications (ICCCA)**, 22-24 Feb 2012, 2012. pp.1-4.
- [7] Thou-Ho Chen, Yu-Feng Lin, Tsong-Yi Chen., “Intelligent Vehicle Counting Method Based on Blob Analysis in Traffic Surveillance,” **Innovative Computing, Information and Control**, 5-7 Sept 2007, 2007. pp.238-241.
- [8] Toh Y.H., Ng T.M., Liew B.K., “Automated Fish Counting Using Image Processing,” **Computational Intelligence and Software Engineering**, 11-13 Dec 2009, 2009. pp.1-5.
- [9] Septian H., Ji Tao, Yap-Peng Tan., “People Counting by Video Segmentation and Tracking,” **Control, Automation, Robotics and Vision**, 5-8 Dec 2006, 2006. pp.1-4.

- [10] กระทรวงอุตสาหกรรม., **ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กล้องกระดาด ลูกฟูก** (Online), 2012. Available:  
<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2555/E/129/12.PDF> (18 March 2013).
- [11] The MathWorks Inc., **Video And Image Processing Version 3.0 (R 2010a) User's Guide** (Online), 2011. Available: [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/vipblks/vipblks.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/vipblks/vipblks.pdf) (10 July 2011).
- [12] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods., **Digital Image Processing**. Second edition. Prentice Hall, 2002. pp.1-793.
- [13] Basler AG, **Keeping Biscuits in Good Shape –Basler GigE Cameras Optimize Biscuit Production** (Online), 2010. Available:  
[http://www.baslerweb.com/Cameras\\_Food-Beverage\\_SuccessStories-27645.html](http://www.baslerweb.com/Cameras_Food-Beverage_SuccessStories-27645.html)  
(10 September 2012).
- [14] STEMMER IMAGING Ltd., **Quality right down the line** (Online), 2009. Available:  
<http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/technical+tips/1100-Line-scan-cameras.html>  
(20 September 2012).
- [15] Basler AG, **In Line with the Printing Industry: Label Inspection with Basler sprint Camera Link Cameras** (Online), 2012. Available:  
[http://www.baslerweb.com/Cameras\\_Print\\_Paper\\_Postal\\_SuccessStories-30389.html](http://www.baslerweb.com/Cameras_Print_Paper_Postal_SuccessStories-30389.html)  
(10 September 2012).
- [16] VS Technology Corporation., “Technical Data,” **Machine Vision Optics Data Asia.**, Vol. 1, No. 1, 2001. pp.97-107.



ภาคผนวก



**ภาคผนวก ก**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**





รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Ajalawit Chantaveerod	Walailak University
Akaraphunt Vongkunghae	Naresuan University
Akkarat Boonpoonga	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Alex Pongpech	Dhurakij Pundit University
Amnart Suksri	Khon Kaen University
Amnoi Ruengwaree	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Amorn Jiraseree-Amornkun	Mahanakorn University of Technology
Anuchit Charean	Kasem Bundit University
Anupap Meesomboon	Khon Kaen University
Anuwat Jangwanitlert	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Anuwat Prasertsit	Prince of Songkla University
Aphibal Pruksanubal	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Apichai Bhatranand	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Apichan Kanjanavapastit	Udon Thani Rajabhat University
Apinunt Thanachayanont	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Apirada Namsang	Civil Aviation Training Center Thailand
Apirat Siritaratiwat	Khon Kaen University
Apiwat Lek-Uthai	Chulalongkorn University
Arkhom Mounghaodaeng	Srinakharinwirot University
Arkom Kaewrawang	Khon Kaen University
Arnuphap Dowrueng	National Electronics and Computer Technology Center
Arporn Teeramongkonrasmee	Chulalongkorn University
Arthit Sode-Yome	Siam University
Atcha Kopwitthaya	National Electronics and Computer Technology Center
Athikom Sarephattananon	Eastern Asia University
Atthapol Ngaopitakkul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bancha Burapattanasiri	Kasem Bundit University
Benjamas Panomruttanarug	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bongkarn Homnan	Dhurakij Pundit University
Bongkoj Sockananta	Ubon Ratchathani University
Boonchai Techaumnat	Chulalongkorn University
Boonchuay Supmonchai	Chulalongkorn University
Boonlert Suechoey	South-East Asia University
Boonruk Chipipop	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Boonsri Kaewkham-Ai	Chiang Mai University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Boonyang Plangklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Boonying Knobnob	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Budhapon Sawetsakulanond	Mahanakorn University of Technology
Bundit Thipakorn	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bunlung Neammanee	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Cattareeya Suwanasri	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chai Chompoo-Inwai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chainarin Ekkaravarodome	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chainarong Klimanee	Srinakharinwirot University
Chainarong Wisassakwichai	Rajamangala University of Technology Krungthep
Chairat Pinthong	Naresuan University
Chaiwut Chat-Uthai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyachet Saivichit	Chulalongkorn University
Chaiyan Jettanasen	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chaiyaporn Khemapatapan	Dhurakij Pundit University
Chaiyaporn Lothongkam	Mahanakorn University of Technology
Chaiyo Thammarat	South-East Asia University
Chaiyo Thammarat	South-East Asia University
Chalee Vorakulpipat	National Electronics and Computer Technology Center
Chanchai Thajijam	Srinakharinwirot University
Chanchai Dechthummarong	Rajamangala University of Technology Lanna
Chanin Wissawinthanon	Chulalongkorn University
Channarong Banmongkol	Chulalongkorn University
Chanwit Boonchuay	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Charin Junlawarrit	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Charnchai Pluempitwiriyawej	Chulalongkorn University
Charturong Tantibundhit	Thammasat University
Chatchai Jantaraprim	Prince of Songkla University
Chatchai Suppitsakul	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chatchai U-Thaiwasin	South-East Asia University
Chatchawarn Hansakunbuntheung	National Electronics and Computer Technology Center
Chawasak Rakpenthai	University of Phayao
Cherdkul Sopavanit	Chulalongkorn University
Chiranut Sa-Ngiamsak	Khon Kaen University
Chirasak Sinsukudomchai	South-East Asia University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

#### Reviewer

Chirdpong Deelertpaiboon  
Choochart Haruechaiyasak  
Chow Chompoonwai  
Chukiet Sodsri  
Chumnarn Punyasai  
Chutipon Uyaisom  
Chuttchaval Jeraputra  
Deacha Puangdownreong  
Decha Wilairat  
Denchai Worasawate  
Diew Koolpiruck  
Dr.-Eng. Pakorn Ubolkosold  
Duang-Arthit Srimoon  
Ekachai Leelarasmee  
Ekachai Phaisangittisagul  
Ekapon Siwapornsathain  
Issarachai Ngamroo  
Jakkree Srinonchat  
Jantana Panyavaraporn  
Jasada Kudtongngam  
Jeerasuda Koseeyaporn  
Jirasak Chanwutitum  
Jitkomut Songsiri  
Jonglak Pahasa  
Jukkrit Tagapanij  
Jumpol Polvichai  
Kamon Jirasereeamornkul  
Kampol Woradit  
Kanadit Chetpattananondh  
Kanchana Silawarawet  
Kanitpong Pengwon  
Karel Sterckx  
Kasem Utaikaifa  
Keattisak Sripimanwat  
Keerati Chayakulkheeree

#### Organization

King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
National Electronics and Computer Technology Center  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Silpakorn University  
National Electronics and Computer Technology Center  
Eastern Asia University  
Mahidol University  
South-East Asia University  
Mahidol University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Bangkok University  
Bangsit University  
Chulalongkorn University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Burapha University  
National Electronics and Computer Technology Center  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn University  
University of Phayao  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Srinakharinwirot University  
Prince of Songkla University  
Siam University  
Chiang Mai University  
Bangkok University  
University of the Thai Chamber of Commerce  
National Electronics and Computer Technology Center  
Sripatum University





รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Khanittha Kaewdang	Ubon Ratchathani University
Kiattisin Kanjanawanishkul	Maharakham University
Kitja Luckamnuyorn	Rajamagala University of Technology Phra Nakorn
Kittiphong Meesawat	Khon Kaen University
Kittipong Tonmitr	Khon Kaen University
Kittisak Tripipatpornchai	Rangsit University
Kitiwann Nimkerdphol	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Kobchai Dejhan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kobsak Sriprapha	National Electronics and Computer Technology Center
Komsan Hongesombut	Kasetsart University
Komson Daroj	Ubon Ratchathani University
Komson Petcharaks	Chulalongkorn University
Kongpan Areerak	Suranaree University of Technology
Korporn Panyim	Mahidol University
Kosin Chamnongthai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kosol Nithisopa	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Kosol Oranpiroj	Rajamangala University of Technology Lanna
Krischonme Bhumkittipich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Krisda Yingkayun	Rajamangala University of Technology Lanna
Krissada Asavaskulkiet	Mahidol University
Krit Angkeaw	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Kritchai Witthephanich	Srinakharinwirot University
Kulyos Audomvongseree	Chulalongkorn University
Kunnthphong Srisathit	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Kusumal Chalermyanont	Prince of Songkla University
Laor Boongasame	Bangkok University
La-Or Kovavisaruch	National Electronics and Computer Technology Center
Lunchakorn Wuttisittikulki	Chulalongkorn University
Mana Sriyudthsak	Chulalongkorn University
Manop Aorpimai	Mahanakorn University of Technology
Marut Buranarach	National Electronics and Computer Technology Center
Mitchai Chongcheawchamnan	Prince of Songkla University
Monai Krairiks	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Mongkol Konghirun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Mongkol Pusayanont	Ubonratchatani University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Monthon Nawong	Dhurakij Pundit University
Montree Siriruchyanun	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Montri Kamjanadecha	Prince of Songkla University
Montri Somdunyanok	Siam University
Naebboon Hoonchareon	Chulalongkorn University
Nalin Sidahao	Mahanakorn University of Technology
Napat Sra-lum	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nararat Ruangchaijatupon	Khon Kaen University
Narong Buabthong	Thammasat University
Narong Yoothanom	Sripatum University
Narongdech Keeratipranon	Dhurakij Pundit University
Natasha Dejdumrong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Natchpong Hatti	National Electronics and Computer Technology Center
Nathabhat Phankong	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nathem Koetsam-Ang	Kasem Bundit University
Nattachote Rugthaicharoencheep	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattapong Phanthuna	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattapong Swangmuang	Chiang Mai University
Nattavut Chayavanich	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Nattawoot Suwannata	Maharakham University
Natth Junkrob	South-East Asia University
Nattha Jindapetch	Prince of Songkla University
Natthaphob Nimpitiwan	Bangkok University
Natthawuth Somakettarin	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nimit Boonpirom	Sripatum University
Nipapon Siripon	Chiang Mai University
Niphath Jantharamin	Naresuan University
Nipont Tangthong	Rajamangala University of Technology Krungthep
Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Nit Petcharaks	Dhurakij Pundit University
Nitipong Panklang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nopadol Uchaipichat	Thammasat University
Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna
Nuntiya Chaiyabut	Bangkok University
Nutthaphong Tanthanuch	Thammasat University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Opas Chutatape	Rangsit University
Paiboon Kiatsookkanatorn	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Paisarn Sonthikorn	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Paitoon Rakkuea	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pakorn Kaewtrakulpong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Pakpum Somboon	Bangkok University
Panavy Pookaiyaudom	Mahanakorn University of Technology
Panus Nattharith	Naresuan University
Panuthat Boonpramuk	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Parachai Juanuwattanakul	Sripatum University
Parnjit Damrongkulkamjorn	Kasetsart University
Patamaporn Sripadungtham	Kasetsart University
Pathomthath Chiradeja	Srinakharinwirot University
Pawee Chaiyaboon	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Peerapol Yuvapoositanon	Mahanakorn University of Technology
Peerawat Yutthagowith	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Peerayot Sanposh	Udon Thani Rajabhat University
Pennapa Pairodomonchai	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Petch Nantivatana	Sripatum University
Phaiboon Booppa	Udon Thani Rajabhat University
Phairote Wouchoum	Prince of Songkla University
Phaisan Ngamjanyaporn	Rangsit University
Phakkawat Jantree	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Phichet Moungnoul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Phongsak Phakamach	North Eastern University
Phumin Kirawanich	Mahidol University
Pichai Aree	Thammasat University
Pinit Thepsatorn	Srinakharinwirot University
Pipat Prommee	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Pished Bunnun	National Electronics and Computer Technology Center
Pisit Liutanakul	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Pisit Vanichchanunt	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Pisit Wisutmetheekorn	Mahanakorn University of Technology
Pisut Raphisak	Kasetsart University
Piya Warabuntaweasuk	Bangkok University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Pongsatorn Sedtheetorn	Mahidol University
Pongsawat Kotchapoom	Eastern Asia University
Poonlap Lamsrichan	Kasetsart University
Pornchai Phukpattaranont	Prince of Songkla University
Pornrapeepat Bhasaputra	Thammasat University
Prajuab Pawarangkon	Mahanakorn University of Technology
Pramin Artrit	Khon Kaen University
Pramote Anunvrpong	Rajamangala University of Technology Krungthep
Pramuk Unahalekhaka	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Prapapan Khluabwannarat	South-East Asia University
Prasit Nakonrat	Ubon Ratchathani University
Prasit Teekaput	Chulalongkorn University
Prasopchok Hothongkham	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prayoot Akkaraekthalin	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Preecha Kocharoen	Sripatum University
Preecha Sakarung	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Rachu Punchalard	Mahanakorn University of Technology
Rangsipan Marukatat	Mahidol University
Rardchawadee Silapunt	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rawid Banchuin	Siam University
Rungsimant Sidthikom	Mahanakorn University of Technology
Sakchai Thipchaksurat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sakda Somkun	National Institute of Metrology
Sakorn Po-Ngam	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Salittip Sinthusonthishat	Mahanakorn University of Technology
Samphan Phrompichai	Mahanakorn University of Technology
Samroeng Hintamai	Sripatum University
Sanchai Dechanupaprittha	Kasetsart University
Sanchai Rattananon	University of the Thai Chamber of Commerce
Sangsuree Vasupongayya	Prince of Songkla University
Santitham Prom-On	University College London
Sanun Srisuk	Mahanakorn University of Technology
Sanya Khunkhao	Sripatum University
Sanya Mitaim	Thammasat University
Saowapak Thongvigitmanee	National Electronics and Computer Technology Center



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Sarawan Wongsā	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sarawuth Chaimool	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Sarun Sumriddetchkajorn	National Electronics and Computer Technology Center
Sataporn Pornpromlikit	Khon Kaen University
Sawat Bunnjaweht	Mahanakorn University of Technology
Seangrawee Buakaew	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Semsak Uatrongjit	Chiang Mai University
Singthong Pattanasethanon	Maharakham University
Sirichai Dangeam	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Siripong Chaysin	Srinakharinwirot University
Siroj Sirisukprasert	Kasetsart University
Sirivit Taechajedcadarungsri	Khon Kaen University
Siriwich Tadsuan	South-East Asia University
Siriya Skolthanasarat	National Electronics and Computer Technology Center
Sisuda CHAITHONGSUK	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Sittthidet Vachirasricirikul	University of Phayao
Somboon Nuchprayoon	Chiang Mai University
Somboon Sooksatra	Rangsit University
Somchai Biansoongnern	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Somchai Hiranvarodom	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Somchai RATANATHAMMAPHAN	Chulalongkorn University
Somchat Jirivibhakorn	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sommart Sangn-Gern	Mahanakorn University of Technology
Somnida Bhatranand	Mahidol University
Sompnop Rodamporn	Srinakharinwirot University
Somporn Seewattanapon	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Somying Thainimit	Kasetsart University
Somyot Kaitwanidvilai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Songkrod Sriprang	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Songkran Kantawong	Bangkok University
Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Songrit Maneewongvatana	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sopon Phumeechanya	Silpakorn University
Sorawat Chivapreecha	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sorot Auyporn	Provincial Electricity Authority



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

#### Reviewer

Srisak Noyraiphoom  
Suchada Sitjongsataporn  
Suchart Yammen  
Suchin Tirongjitmoah  
Sudchai Boonto  
Sumate Naetiladdanon  
Suneat Pranonsatit  
Supachai Paiboon  
Supachai Vorapojpisut  
Supachate Innet  
Suparerk Manitpornsut  
Supatana Auethavekiat  
Supattana Nirukkanaporn  
Supavadee Aramvith  
Supawan Ponpitakchai  
Supot Sookpotharom  
Surachai Chaitusaney  
Surachet Kanprachar  
Surachoke Thanapitak  
Surapan Airphaiboon  
Surapong Suwankawin  
Suratsavadee Korkua  
Suree Pumrin  
Suthathip Maneewongvatana  
Suthee Rukkaphan  
Suwat Pattaramalai  
Suwit Kiravittaya  
Tanasak Phanprasit  
Tanet Wonghong  
Tanin Duangjan  
Tasanee Chayavanich  
Taweepup Apiwattanapong  
Teeravisit Laohapensaeng  
Thamvarit Singhavilai  
Thanadol Pritranan

#### Organization

Rajamagala University of Technology Phra Nakorn  
Mahanakorn University of Technology  
Naresuan University  
Ubon Ratchathani University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Kasetsart University  
Mahidol University  
Thammasat University  
University of the Thai Chamber of Commerce  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Chulalongkorn University  
Bangsit University  
Chulalongkorn University  
Naresuan University  
Bangkok University  
Chulalongkorn University  
Naresuan University  
Mahidol University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chulalongkorn University  
Wataitak University  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Kasem Bundit University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Naresuan University  
Bangkok University  
Bangkok University  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
National Electronics and Computer Technology Center  
Mae Fah Luang University  
Mahidol University  
Mahidol University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Thanakorn Namhormchan	Eastern Asia University
Thanapat Promwattanapakdee	Sripatum University
Thanapong Suwanasri	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thanathip Sum-Im	Srinakharinwirot University
Thaschagon Onboonuea	Eastern Asia University
Thavatchai Tayjasanant	Chulalongkorn University
Theerapol Muankhaw	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Theerayod Wiangtong	Mahanakorn University of Technology
Theerayut Janjaem	Kasem Bundit University
Theerayuth Chatchanayuenyong	Maharakham University
Thidarat Tawsook	Bangkok University
Thipwan Fangsuwannarak	Suranaree University of Technology
Thumrongrat Amornraksa	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Toempong Phetchakul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Trin Saengsuwan	Kasetsart University
Tuchsanai Ploysuwan	Siam University
Ukrit Mankong	Chiang Mai University
Usana Tuntoolavest	Kasetsart University
Ut Goenchanart	Bangsit University
Uthen Kamnarn	Rajamangala University of Technology Lanna
Varathana Arjirith	Srinakharinwirot University
Vech Vivek	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Veerachai Malyavej	Mahanakorn University of Technology
Viboon Chunkag	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vichai Sae-Li	Eastern Asia University
Vichakorn Hengsrirawat	Sripatum University
Vijit Kinnares	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Virasit Imtawil	Khon Kaen University
Vladimir Buntitov	Mahidol University
Vuttipon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University
Vyapote Supabowornsathian	Siam University
Waleed Mohammad	Bangkok University
Walisa Romsaiyud	Siam University
Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber of Commerce



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Wanchai Pijitrojana	Thammasat University
Wanchai Subsingha	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wanchalerm Pora	Chulalongkorn University
Wannarat Suntiamorntut	Prince of Songkla University
Warit Wichakool	Prince of Songkla University
Watis Leelapatra	Khon Kaen University
Weerapun Rungseevijitprapa	Chulalongkorn University
Wekin Piyarat	Srinakharinwirot University
Werachet Khan-Ngern	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Werapon Chiracharit	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wichit Krueasuk	Sripatum University
Widhyakorn Asdornwised	Chulalongkorn University
Wijitra Petchakit	Walailak University
Wilaiporn Lee	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Winyu Sawaengsinsasikit	Kasem Bundit University
Wipavan Narksarp	Siam University
Wisarn Patchoo	Bangkok University
Wiwat Tippachon	Rajamangala University of Technology Lanna
Wongwit Senavongse	Srinakharinwirot University
Worakarn Wongsachua	Ubon Ratchathani University
Wuthiporn Loetwassana	Mahanakorn University of Technology
Wuttipong Kumwilaisak	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wuttiwat Kongrattanaprasert	Rajamangala University of Technology Krunghthep
Yongyut Chonbodeechalermroong	Naresuan University
Yongyuth Naras	Siam University
Yongyuth Permpoontanalarp	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Youthana Kulvitit	Chulalongkorn University
Yutana Chongjarearn	Dhurakij Pundit University
Yutana Jewajinda	National Electronics and Computer Technology Center
Yuttana Kumsuan	Chiang Mai University
Yuttapong Jiraksopakun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yutthana Kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi



## Session DS01

DS001

## A Noise Reduction Technique with Speech Harmonic Regeneration for Hands-Free Telephony



หทัยชนก ธรรมเชิดชูพงษ์, นิตยาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย

กำหนดการนำเสนอ: 12/12/2012 เวลา 13:00-13:20 น.

ห้อง Bu-nga

This paper proposes a speech harmonic regeneration for noise reduction in hands-free telephony. In most cases, noise reduction techniques consider speech harmonics as noise spectral components due to its lower spectral densities than that of voice sounds. Thus, speech harmonics are removed and degrade the speech quality. Hence, a non-linear function is proposed in this paper to regenerate the harmonic components of the enhanced speech signal in order to improve the speech quality. Simulation results support the proposed idea both in objective and subjective manners.

DS002

## การตรวจหาวัตถุโดยใช้เทคนิคมาร์จินัลสเปสและโมลโฟโลยี



ขวัญจิต ออภวหา และ จิกรีย์ ศรีนนท์ฉัตร

กำหนดการนำเสนอ: 12/12/2012 เวลา 13:20-13:40 น.

ห้อง Bu-nga

ในปัจจุบันการค้นหภาพของวัตถุที่ทับซ้อนหรือเปลี่ยนรูปทรงเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจและนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมหรือด้านการแพทย์ บทความนี้นำเสนอการตรวจหาวัตถุโดยใช้เทคนิค Marginal Space และ Morphology โดยมุ่งศึกษาบทบาทของวัตถุที่ทับซ้อน ข้อดีของเทคนิค Marginal Space นี้ จะช่วยให้หาตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการได้ถูกต้องและรวดเร็ว ในขณะที่ Morphology จะช่วยลดสัญญาณรบกวนโดยภาพของผลแอปเปิ้ลขนาด  $480 \times 640$  พิกเซล จำนวน 60 ภาพที่ได้ถูกนำมาทดสอบ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหวัตถุที่ต้องการในภาพที่มีทับซ้อนกันอยู่ 80 เปอร์เซ็นต์

DS003

## การตรวจหาพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ



มินา รัตนกร และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

กำหนดการนำเสนอ: 12/12/2012 เวลา 13:40-14:00 น.

ห้อง Bu-nga

บทความนี้เสนอวิธีการตรวจหาลอนของกระดาษลูกฟูก ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพในระบบแมชชีนวิชั่น เพื่อใช้ในการนับจำนวนของกระดาษลูกฟูกระหว่างกระบวนการผลิตในโรงงาน โดยใช้คณิตศาสตร์คณิตศาสตร์ (Mathematical Morphology) ในการปรับปรุงภาพ ระดับสีเทาก่อนการแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) และเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis) ในการแยกแยะและตรวจวัดขนาดพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกจากภาพขาวดำ เพื่อออกแบบเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก จากการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง ได้ผลเป็นที่น่าพอใจโดยวิธีที่นำเสนอสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง

## การตรวจหาพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ Fluted Corrugate Area Detection of Corrugated Cardboard Using Image Processing Techniques

มีนา รัตน์การ และ ศัครชัย สุขพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถ.รังสิต-นครนายก ค.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: meena\_power19@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจหาลอนของกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพในระบบแมชชีนวิชัน เพื่อใช้ในการนับจำนวนของกระดาษลูกฟูกระหว่างกระบวนการผลิตในโรงงาน โดยใช้คณิตศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Morphology) ในการปรับปรุงภาพระดับสีเทา ก่อนการแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) และเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis) ในการแยกแยะและตรวจวัดขนาดพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกจากภาพขาวดำ เพื่อออกแบบเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูก จากผลการทดสอบวิธีที่นำเสนอสามารถนับกระดาษขอบวางเสมอกันได้ถูกต้องทั้งหมด โดยมีระยะที่ยอมให้ขอบกระดาษเหลื่อมเลียดจุดไฟกัศเข้าหากันได้ 1 เซนติเมตร และห่างออกจากกล้อง 4 เซนติเมตร เมื่อให้ความสว่างของแสงบริเวณพื้นที่รับภาพคงที่

คำสำคัญ: เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ คณิตศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ กระดาษลูกฟูก

### Abstract

This paper presents the method for detect fluted corrugate area of corrugated cardboard using image processing techniques in the machine vision system. The proposed method is to count number of corrugated cardboard during the manufacturing process. Mathematical morphology is employed to improve the input grayscale image and convert into binary image using thresholding. It then passes to blob analysis for extracting and measuring the fluted corrugate areas. These processes are then used to establish an algorithm for counting the number of corrugated cardboard. From the experiment results, the proposed method can count the number of the cardboards correctly at the focus distance. The system also has a focal length tolerance of 4 cm and 1 cm when the cardboard edges are placed away and close to the camera respectively with the fixed light intensity at the captured area.

Keywords: Blob Analysis, Mathematical Morphology, Corrugated Cardboard

### 1. คำนำ

สำหรับโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก การนับกระดาษลูกฟูกเป็นส่วนหนึ่งในการตรวจสอบจำนวนของกระดาษลูกฟูกที่จะจัดส่งให้ลูกค้าว่ามีจำนวนครบตามที่ลูกค้าต้องการหรือไม่เพราะถ้าลูกค้าได้กระดาษลูกฟูกไม่ครบตามที่ลูกค้าต้องการจะทำให้ลูกค้าเกิดความไม่มั่นใจในตัวของผลิตภัณฑ์กระดาษลูกฟูก สำหรับรูปร่างของกระดาษลูกฟูกมีอยู่ 2 ด้านที่ใช้ในการนับกระดาษ ด้านแรกคือด้านลอนลูกฟูกและด้านที่สองเป็นด้านที่เกิดจากการตัดกระดาษลูกฟูกออกเป็นแผ่นตามขนาดที่กำหนดไว้ ตามตัวอย่างดังรูปที่ 1 จากการศึกษพบว่าวิธีการซึ่งนำหลักกระดาษลูกฟูกที่มีความคิดพลาดสูง [1] เช่นเดียวกับการใช้เซนเซอร์เพื่อวัดความสูงของกระดาษลูกฟูกสำหรับการใช้กล้องในงานนับกระดาษลูกฟูก นับบทความนำเสนอวิธีการนับโดยใช้กล้อง 2 ตัว โดยกล้องตัวแรกใช้หาความสูงของกระดาษทั้งหมดส่วนกล้องตัวที่สองจะใช้หาความหนาของกระดาษแต่ละแผ่นแล้วนำค่าที่ได้จากทั้งสองกล้องมาหารค่าส่วนเพื่อหาจำนวนกระดาษทั้งหมดซึ่งผลที่ได้มีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 2% [1] และจากการทดสอบโดยสร้างอัลกอริทึมเพื่อนับกระดาษลูกฟูกในด้านที่สองโดยใช้วิธีการตรวจหาเส้นรอยต่อของกระดาษลูกฟูกโดยใช้กล้อง 1 ตัวในการทดสอบกับภาพกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 100 ตัวอย่างในท้องทดลองสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ตรงตามจำนวนที่กำหนดไว้ทุกภาพตัวอย่าง โดยข้อจำกัดของอัลกอริทึมคือตำแหน่งของกระดาษลูกฟูกต้องเคลื่อนที่น้อยกว่า 1 เซนติเมตร และไม่สามารถนับกระดาษลูกฟูกที่ประกบติดกันจนไม่สามารถหารอยต่อของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจน

ในบทความนี้นำเสนอการตรวจหาจำนวนลอนของกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกโดยนำเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ คณิตศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบเป็นอัลกอริทึมเพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการตรวจหาเส้นรอยต่อของกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างของกระดาษลูกฟูกบริเวณด้านที่ใช้ทำการทดสอบ

2. โครงสร้างของกระดาษลูกฟูกและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการผลิตเพื่อทำกล่องบรรจุสินค้าเนื่องจากมีความความทนทาน น้ำหนักเบา สามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงกับความต้องการได้ซึ่งโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกจะประกอบไปด้วยสองส่วนประกอบหลักคือกระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) เป็นกระดาษแผ่นเรียบที่ติดอยู่กับลอนลูกฟูกโดยที่กระดาษลอนลูกฟูก (Corrugated Medium) คือส่วนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก ตามมาตรฐานกระดาษลูกฟูกของ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 550-2528 [2] ได้แบ่งชนิดของกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ ได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของกระดาษลูกฟูก

Name	Number of corrugated papers	Nominal height of the sheets
B	1	2.5 mm
C	1	3.5 mm
E	1	1.2 mm
K	1	5.0 mm
BC	2	6.0 mm
EB	2	3.7 mm

2.2 คณิตศาสตร์ฐานวิทยา (Mathematical Morphology)

คณิตศาสตร์ฐานวิทยา ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือรูปร่างของรูปภาพเพื่อให้เห็นสิ่งที่เราสนใจได้ชัดเจน โดยสามารถใช้ได้กับภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) และภาพขาวดำ (Binary Image) โดยมีเครื่องมือพื้นฐานสำหรับงานวิจัยขั้นนี้ มีดังนี้

2.2.1 การกร่อนภาพ (Erosion)

เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการลดพื้นที่สีขาว (logic 1) โดยการสร้าง Mask B ซึ่งเป็นเมทริกซ์ (Matrix) จำนวนเล็กน้อยเปรียบเทียบกับแต่ละจุดของภาพ A ถ้าข้อมูลของภาพ A ในบริเวณที่ Mask B เปรียบเทียบอยู่มีสีดำ (logic 0) จะทำให้จุดนั้นเปลี่ยนเป็นสีดำ ถ้าเป็นในกรณีของภาพระดับสีเทาจุดที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุดของภาพ A ในบริเวณที่ Mask B เปรียบเทียบอยู่โดยสมการที่ 2 [3] เป็นสมการการกร่อนภาพของภาพขาวดำและสมการที่ 3 [3] เป็นสมการกร่อนภาพของภาพระดับสีเทา

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \tag{2}$$

$$(f \ominus b)(s,t) = \min \{f(s+x,t+y) - b(x,y) | (s+x), (t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b\} \tag{3}$$

โดยที่

Z คือ ค่าการเคลื่อนที่ของ Mask B ในรูป A  
 s,t คือ ตำแหน่งของจุดภาพในรูป A ที่เกิดจากการกร่อนภาพ  
 D<sub>f</sub>, D<sub>b</sub> คือ พื้นที่ของรูป A และพื้นที่ของ Mask B ตามลำดับ

2.2.2 การขยายภาพ (Dilation)

เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการขยายพื้นที่สีขาว (logic 1) โดยสร้าง Mask B ไปเปรียบเทียบกับแต่ละจุดของภาพ A เช่นเดียวกับการกร่อนภาพแต่ถ้าข้อมูลของภาพ A ในบริเวณที่ Mask B เปรียบเทียบอยู่มีสีขาว (logic 1) จะทำให้จุดนั้นเปลี่ยนเป็นสีขาว ถ้าในกรณีของภาพระดับสีเทาจุดที่ได้จะมีค่ามากที่สุดของภาพ A ในบริเวณที่ Mask B เปรียบเทียบอยู่โดยสมการที่ 4 [3] เป็นสมการการขยายภาพของภาพขาวดำ

$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \subseteq A\} \tag{4}$$

2.2.3 การปิดภาพ (Closing)

เป็นการนำการกร่อนภาพ และการขยายภาพมาใช้ร่วมกันโดยการปิดภาพจะใช้เมื่อต้องการเติมสีขาว (logic 1) เข้าไปในรูปเพื่อให้รูปมีความสมบูรณ์โดยมีสมการตามสมการที่ 5[6]

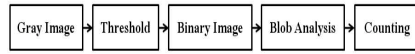
$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \tag{5}$$

2.3 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นไบนารี (Blob Analysis)

BLOB (Binary Large Object) [4] เป็นการวิเคราะห์กลุ่มสีขาววัตถุสำหรับภาพขาวดำโดยการแยกกลุ่มของจุดภาพที่แตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของจุดเชื่อมคือ (region growing) โดยมีวิธีการกำหนดจำนวนจุดเชื่อมต่อแบบ 4-connected หรือแบบ 8-connected การวิเคราะห์แบบนี้ทำให้เราได้จำนวนวัตถุทั้งหมดในภาพ ขนาดของวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ จุดศูนย์กลางวัตถุ และเส้นขอบวัตถุ (bounding box)

3. วิธีการหาลอนของกระดาษลูกฟูก

จากรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างกระดาษลูกฟูก จากรูปแสดงให้เห็นว่าสำหรับด้านลอนของกระดาษลูกฟูกสามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูกโดยวิธีการหาพื้นที่ของลอนลูกฟูก ดังนั้นอัลกอริทึมที่ใช้ในบทความนี้เป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อนำจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกไปหาจำนวนของกระดาษลูกฟูก

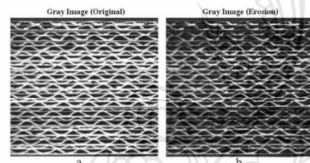


รูปที่ 3 อัลกอริทึมนับจำนวนด้านลอนของกระดาษลูกฟูก

รูปที่ 3 เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC โดยภาพที่นำมาทดสอบมาจากกล้อง Line scan ที่มีรายละเอียด 1200 x 640 จุดภาพโดยกล้องตั้งห่างจากกระดาษลูกฟูก 40 เซนติเมตร และใช้แหล่งจ่ายแสงเพื่อปรับความสว่างของกระดาษลูกฟูกให้คงที่

**3.1 ภาพระดับสีเทา (Gray Image)**

ภาพที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทาก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแปลงเป็นภาพขาวดำได้ทำการปรับปรุงรูปภาพเพื่อให้เห็นขอบของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนขึ้นโดยใช้เทคนิคคณิตศาสตร์จากรูปที่ 4 เป็นภาพระดับสีเทา โดยรูปที่ 4(a) เป็นภาพตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้องที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่าเห็นลอนของกระดาษลูกฟูกไม่ชัดเจน แต่รูปที่ 4(b) ได้ทำการปรับปรุงโดยใช้การกรองภาพตามสมการที่ 3 โดย Mask ที่ใช้เป็นแมทริกซ์ 5x5 ขึ้นเป็น Mask ขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป จากการทำทดสอบจะทำให้ภาพที่ได้มีผลต่อกระบวนการนับที่ผิดพลาดเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของลอนกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 4 การปรับปรุงภาพโดยการกรองภาพก่อนทำการกำหนดค่าขีดแบ่ง

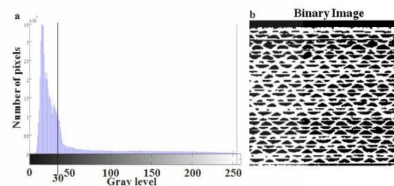
**3.2 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)**

การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงในบทความนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งแบบคงที่จากรูปที่ 5 (a) เป็นตัวอย่างฮิสโตแกรมของภาพที่ใช้ทดสอบ จากฮิสโตแกรมของภาพที่ใช้ทดสอบค่าขีดแบ่งที่ทำให้เห็นลอนของกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจนคือ 30 และเมื่อนำรูปที่ 4(b) มาทำไปเป็นภาพขาวดำจะได้ภาพตามรูปที่ 5(b)

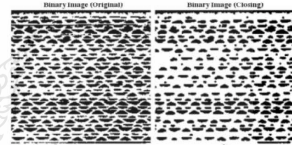
**3.3 ภาพขาวดำ (Binary Image)**

หลังจากทำการกำหนดค่าขีดแบ่งจะได้ภาพขาวดำ ก่อนทำการหาผลต้องทำการปรับปรุงภาพ เพื่อลดความผิดพลาดในการหาผลของ

กระดาษลูกฟูกจากรูปที่ 5(b) จะเห็นว่ายังมีส่วนขอบของกระดาษลูกฟูกและลอนกระดาษลูกฟูกที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่วิธีการที่ใช้เพื่อปรับปรุงภาพคือการปิดภาพ (สมการที่ 5) โดยการปิดภาพมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้เห็นลอนของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการนับชัดเจนขึ้นโดยใช้ Mask ขนาด 9 x 9 ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 6 โดยจากการทดสอบถ้าเป็น Mask ขนาดเล็กจะไม่สามารถตัดวัตถุได้หมด ขึ้นเป็น mask ขนาดใหญ่ทำให้ลอนกระดาษลูกฟูกบางส่วนหายไปและส่งผลต่อกระบวนการนับที่ผิดพลาด



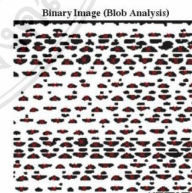
รูปที่ 5 ฮิสโตแกรมเพื่อใช้กำหนดค่าเทรชโฮลด์



รูปที่ 6 กระบวนการปรับปรุงรูปก่อนที่จะหาผลของกระดาษลูกฟูก

**3.4 การวิเคราะห์กลุ่มของจุดภาพที่เป็นขาวดำ (Blob Analysis)**

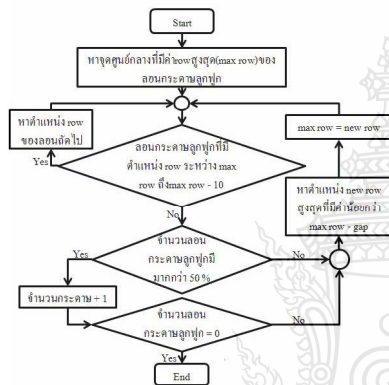
การวิเคราะห์กลุ่ม (Blob Analysis) ใช้ในการหาผลของกระดาษลูกฟูกโดยมีเงื่อนไขที่พื้นที่ของลอนของกระดาษลูกฟูก โดยจากการทดสอบพื้นที่ของกระดาษลูกฟูกชนิด BC อยู่ที่ความละเอียด 100-900 จุดภาพ จากการทดสอบสิ่งที่ได้จากวิเคราะห์กลุ่มของวัตถุ เพื่อใช้ในการหาจำนวนของกระดาษลูกฟูกคือ จำนวนของลอนและจุดศูนย์กลางของลอน โดยรูปที่ 7 เป็นการแสดงจุดศูนย์กลางของลอนกระดาษลูกฟูกที่การวิเคราะห์กลุ่มสามารถหาผลของกระดาษลูกฟูกได้



รูปที่ 7 ภาพแสดงจุดศูนย์กลางของวัตถุโดยวิธี Blob Analysis

3.5 การนับกระดาษลูกฟูก

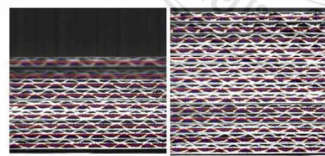
วิธีการนับกระดาษลูกฟูกจะนำตำแหน่งแถว (row) ของจุดศูนย์กลางลอนกระดาษลูกฟูกมาใช้โดย ตำแหน่งแถวของลอนที่คลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 จุดภาพและมีจำนวนลอนมากกว่า 50 % หรือ 6 ลอนกำหนดเป็นคุณสมบัติกระดาษลูกฟูก 1 แผ่น ต่อมาให้เปลี่ยนตำแหน่งแถว โดยกำหนดจากความหนาของกระดาษลูกฟูก (gap) เพื่อหากระดาษลูกฟูกแผ่นถัดไปตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้จนครบทุกลอนสิ่งที่ได้คือจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยรูปที่ 8 แสดงขั้นตอนการนับกระดาษ



รูปที่ 8 Flow chart แสดงขั้นตอนการนับกระดาษลูกฟูก

4. ผลการทดสอบ

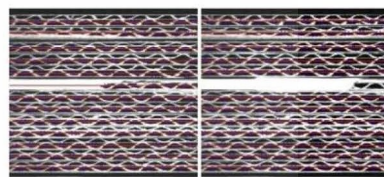
ภาพที่ใช้ในการทดสอบเป็นกระดาษลูกฟูกชนิด BC เท่านั้น โดยกำหนดความหนาของกระดาษ (gap) ที่ 25 จุดภาพจำนวนกระดาษตั้งแต่ 5 - 14 แผ่นจำนวน 60 ตัวอย่างโดยทดสอบในกรณีขอบกระดาษวางสมกันที่จุดไฟกัสและขอบกระดาษห่างจากจุดไฟกัส โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการทดสอบอัลกอริทึมจากการทดสอบสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องดังรูปที่ 9 และตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบในกรณีที่ขอบกระดาษห่างจากจุดไฟกัส สำหรับการทดสอบเรื่องความสมบูรณ์ของกระดาษลูกฟูกโดยกำหนดความสมบูรณ์ของลอนลูกฟูกต้องมากกว่า 50% นั้นสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

ตารางที่ 2 ผลการนับกระดาษที่มีขอบกระดาษเคลื่อนเลยจุดไฟกัส

ระยะห่างจากจุดไฟกัส (cm)	เข้าหากดิ่ง					ออกจากกดิ่ง		
	5	4	3	2	1	0	1	2
ความถูกต้องในการนับกระดาษ(%)	0	100	100	100	100	100	100	0



รูปที่ 10 เป็นภาพที่แสดงความเสี่ยงของลอนกระดาษลูกฟูกจนไม่สามารถนับได้

5. สรุป

จากผลการทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนับกระดาษลูกฟูกที่ขอบกระดาษวางสมกันที่จุดไฟกัสได้ถูกต้อง ในกรณีที่ขอบกระดาษวางเลยจุดไฟกัส ระบบยังสามารถนับได้ถูกต้องคือ ระยะที่ขอบกระดาษห่างจากจุดไฟกัสเข้าหากดิ่ง 1 เซนติเมตร และออกจากกดิ่ง 4 เซนติเมตร สำหรับระยะห่างที่วางขอบกระดาษมากกว่าระยะดังกล่าวไม่สามารถนับได้ถูกต้อง เนื่องจากภาพที่ได้ไม่มีความคมชัดและรายละเอียดจากภาพไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการตรวจหาพื้นที่ลอนได้ ซึ่งขั้นตอนถัดไปจะนำไปพัฒนาอัลกอริทึมให้สามารถนับกระดาษลูกฟูกชนิดอื่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Balestrino, Aldo; Landi, Alberto; Pacini, Luca; , "Vision system for monitoring the production of corrugated cardboard," Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2006 IEEE , vol., no., pp.626-631, 4-6 Oct. 2006
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ก่อกระดาษลูกฟูก มอก. 550-2528. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2543.
- [3] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Second edition, Prentice Hall, 2002
- [4] MATLAB, Video and Image Processing User's Guide

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายมีนา รัตนากร
วัน เดือน ปีเกิด	3 มีนาคม 2528
ที่อยู่	355/1003 หมู่ 15 ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12130
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2550 - พ.ศ. 2551	ทำงานกับบริษัท Crypton Technology Thailand ตำแหน่ง Application Engineer
พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2551	ทำงานกับบริษัท IET Technology ตำแหน่ง Application Engineer
พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2554	ทำงานกับบริษัท Positron Engineering ตำแหน่ง R&D Engineer
พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน	กำลังศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

