

การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

CORRUGATED CARDBOARD CLASSIFICATION
BY PIXEL COUNTING TECHNIQUE

นุชนารถ วงศ์กันทา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

นุชนารถ วงศ์กันทา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล
Corrugated Cardboard Classification by Pixel Counting Technique
ชื่อ – นามสกุล นางสาวนุชนารถ วงศ์กันทา
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรินทร์ แห่งมงาม, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา ชัยวงษ์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกอ อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 9 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวนุชนารถ วงศ์กันทา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยด้านการใช้เทคนิคการตรวจรู้ด้วยกล้องในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกนั้นยังมีข้อจำกัดในการเลือกอัลกอริทึมที่ใช้ในการนับ เนื่องจากกระดาษลูกฟูกมีหลายชนิดจึงต้องมีการเลือกอัลกอริทึมในการนับให้ตรงกับชนิดของกระดาษ ดังนั้นถ้าสามารถคัดแยกชนิดของกระดาษลูกฟูกได้จะทำให้การนับกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคดังกล่าวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล เพื่อนำไปใช้ในการเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด โดยการรับภาพระดับสีเทาด้วยกล้องขาวดำแบบสแกนพื้นที่ มาแปลงเป็นภาพไบนารีด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง และทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี จากนั้นใช้เทคนิคการวิเคราะห์หีบห่อในการหาพื้นที่ด้านลอนลูกฟูก ซึ่งทำให้ได้ค่าความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกแต่ละลอน และนับจำนวนพิกเซลความสูงของลอน นำค่าดังกล่าวไปใช้เป็นเกณฑ์ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก

ผลการทดสอบแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC โดยวิธีที่นำเสนอสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้องที่ระยะการรับภาพตั้งแต่ 300 - 350 มิลลิเมตร \pm 20 มิลลิเมตรจากจุดโฟกัส และทำการทดสอบไปใช้ร่วมกับเทคนิคการนับกระดาษลูกฟูก พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเลือกอัลกอริทึมและนับจำนวนกระดาษได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนกระดาษจริง

คำสำคัญ: เทคนิคการนับพิกเซล การแยกชนิดกระดาษลูกฟูก การวิเคราะห์หีบห่อ

Thesis Title	Corrugated Cardboard Classification by Pixel Counting Technique
Name - Surname	Miss Nuchanart Wongkuntha
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Chatchai Suppitaksakul, Ph.D.
Academic Year	2019

ABSTRACT

The research on the use of camera recognition techniques for counting corrugated cardboard still has a limitation in selecting the counting algorithm. Due to many types of corrugated cardboard, the counting algorithm must be selected to match the type of cardboard. Therefore, if the type of cardboard can be sorted, it will make the cardboard counting with particular techniques work more efficient.

This research proposes a method for classification of corrugated cardboard using pixel counting technique in order to obtain the appropriate counting algorithm for different corrugated cardboards. The grayscale images that were obtained from a monochrome area-scan camera are converted to binary images using thresholding. Then, they are adjusted using morphology techniques. Later, Blob analysis technique is applied to determine the areas of corrugated flutes in the image which the height of each corrugated sheet is given in term of number of pixels. It is used as a criterion for separating corrugated board types.

The testing results in separating the cardboard types B, C and BC.; therefore, it was found that the proposed method can classify cardboard type correctly at the viewing distance between 300-350 mm \pm 20 mm of the focus. Then, the obtained cardboard was used with the pixel counting technique. It was found that the proposed method can select the algorithm and count the number of cardboard correctly 100 % when comparing the results with the actual number of cardboard.

Keywords: pixel counting technique, corrugated cardboard classification, blob analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ แห่งมงาม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐภัทร พันธุ์คง กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันวิสา ชัชวงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาคีวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์บทความและงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามีความพยายาม มุ่งมานะ ในการทำวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ด้วยดีตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นุชนารถ วงศ์กันทา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญภาพ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	16
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	16
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	17
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	17
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	17
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	18
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 กระจดากลูกฟูก.....	19
2.2 ชนิดของแผ่นกระจดากลูกฟูก.....	23
2.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ.....	24
2.4 เทคนิคมอร์โฟโลยี.....	28
2.5 การวิเคราะห์หีบถีบ.....	30
2.6 ระบบการตรวจรู้ด้วยกล้อง.....	32
2.7 เทคนิคการนับพิกเซล.....	38
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 ออกแบบวิธีการรับภาพกระจดากลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่.....	41
3.2 ออกแบบการแยกชนิดกระจดากลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ออกแบบการรับภาพกระตาศลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่.....	54
3.4 ออกแบบการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่.....	56
3.5 ออกแบบการรวมภาพกระตาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ.....	64
3.6 ออกแบบอัลกอริทึมการนับจำนวนกระตาศลูกฟูก.....	68
3.7 โปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพ.....	74
3.8 สรุป.....	77
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	78
4.1 ผลทดสอบการรับภาพกระตาศลูกฟูกด้านลอนด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่	78
4.2 ผลทดสอบความสูงของลอนกระตาศลูกฟูกด้านลอนแต่ละชนิดที่ค่าระยะรับภาพ ภาพต่างๆ.....	84
4.3 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านลอน.....	86
4.4 ผลทดสอบการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านลอน โดยกำหนดค่าระยะรับภาพ เท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	94
4.5 ผลทดสอบการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านลอนที่ระยะรับภาพต่างๆ.....	100
4.6 ผลทดสอบการต่อภาพกระตาศลูกฟูกของแต่ละระยะการรับภาพที่เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ซ้อนทับต่างๆ.....	104
4.7 ผลทดสอบการนับกระตาศลูกฟูกด้านลอน.....	111
4.8 ผลทดสอบการรับภาพด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่โดยกำหนดค่า ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	119
4.9 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านมุม.....	123
4.10 ผลทดสอบการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านมุม 125 องศา โดยกำหนดค่า ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	126
4.11 ผลทดสอบการต่อภาพกระตาศลูกฟูกมุม 125 องศา ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	132

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.12 ผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกมม 125 องศา.....	134
4.13 สรุป.....	135
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	136
5.1 สรุปผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC.....	136
5.2 สรุปผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านมม 125 องศา....	136
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	137
บรรณานุกรม.....	138
ภาคผนวก.....	141
ภาคผนวก ก งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....	142
ประวัติผู้เขียน.....	159



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	มาตรฐานและคุณสมบัติของชนิดลอนกระดาศลือกฟูก.....	22
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของการเชื่อมต่อแบบต่างๆ.....	34
ตารางที่ 4.1	ขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ...	79
ตารางที่ 4.2	จำนวนแผ่นกระดาศลือกฟูกที่ครอบคลุมในหนึ่งภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่...	80
ตารางที่ 4.3	ขนาดความสูงของลอนกระดาศลือกฟูกที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ.....	85
ตารางที่ 4.4	ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลือกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ..... 330มิลลิเมตร.....	94
ตารางที่ 4.5	ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลือกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ..... 330 มิลลิเมตร.....	96
ตารางที่ 4.6	ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลือกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ..... 330 มิลลิเมตร.....	98
ตารางที่ 4.7	ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาศลือกฟูกด้านลอนชนิด B ที่ระยะการรับภาพต่างๆ	100
ตารางที่ 4.8	ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาศลือกฟูกด้านลอนชนิด C ที่ระยะการรับภาพต่างๆ	101
ตารางที่ 4.9	ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาศลือกฟูกด้านลอนชนิด BC ที่ระยะการรับภาพต่างๆ	102
ตารางที่ 4.10	ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้องในแต่ละค่าร้อยละพื้นที่ซ้อนทับในแต่ละ..... ค่าระยะการรับภาพ.....	104
ตารางที่ 4.11	ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่ซ้อนทับ..... ต่างๆของกระดาศลือกฟูกชนิด B.....	105
ตารางที่ 4.12	ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่..... ซ้อนทับต่างๆของกระดาศลือกฟูกชนิด C.....	106
ตารางที่ 4.13	ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่..... ซ้อนทับต่างๆของกระดาศลือกฟูกชนิด BC.....	107
ตารางที่ 4.14	ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลือกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40.....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40.....	113
ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40.....	114
ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้.....	116
ตารางที่ 4.18 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้.....	117
ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้.....	118
ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพ..... 330 มิลลิเมตร.....	126
ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพ..... 330 มิลลิเมตร.....	128
ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ด้านมุมที่ระยะรับภาพ..... 330 มิลลิเมตร.....	130

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างกระดาษลูกฟูก.....	20
ภาพที่ 2.2 สีของกระดาษคราฟท์เพื่อใช้ผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	21
ภาพที่ 2.3 ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก.....	22
ภาพที่ 2.4 บริเวณที่ใช้สำหรับใช้พิจารณาในการตรวจสอบ.....	23
ภาพที่ 2.5 ประเภทของกระดาษลูกฟูก.....	24
ภาพที่ 2.6 ลักษณะภาพสี.....	25
ภาพที่ 2.7 ลักษณะภาพระดับสีเทา.....	26
ภาพที่ 2.8 ลักษณะภาพขาวดำ.....	26
ภาพที่ 2.9 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	27
ภาพที่ 2.10 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ.....	28
ภาพที่ 2.11 ภาพการขยายภาพ.....	29
ภาพที่ 2.12 ภาพการย่อภาพ.....	29
ภาพที่ 2.13 ทิศทางการเชื่อมต่อจุด (region growing).....	31
ภาพที่ 2.14 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นแบบไบนารีเพื่อหาเส้นรอบวัตถุ.....	31
ภาพที่ 2.15 กล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera).....	32
ภาพที่ 2.16 กล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera).....	33
ภาพที่ 2.17 พารามิเตอร์สำหรับพิจารณาเลือกเลนส์.....	35
ภาพที่ 2.18 Ring Light.....	36
ภาพที่ 2.19 Dome Light.....	36
ภาพที่ 2.20 Low-angle Ring Light.....	37
ภาพที่ 2.21 Spot Light.....	37
ภาพที่ 2.22 Bar Light.....	38
ภาพที่ 2.23 ลอนกระดาษลูกฟูก.....	38
ภาพที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่.....	41
ภาพที่ 3.2 กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca1300 – 30 gm.....	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.3 ลักษณะการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่.....	42
ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านตั้งฉากกับกระตาดาชลุ่ฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่	43
ภาพที่ 3.5 อัลกอริทึมการแยกชนิดกระตาดาชลุ่ฟูกด้านตั้งฉากกับกอนกระตาดาชลุ่ฟูก.....	44
ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างกระตาดาชลุ่ฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	44
ภาพที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ.....	45
ภาพที่ 3.8 กระบวนการปรับปรุงภาพเพื่อหาลอนของกระตาดาชลุ่ฟูก.....	45
ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกโดยวิธีการวิเคราะห์หีบลิ้อบ.....	46
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการหาความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูก.....	47
ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งของลอนกระตาดาชลุ่ฟูก.....	48
ภาพที่ 3.12 วิเคราะห์ความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกด้วยโปรแกรม Halcon.....	48
ภาพที่ 3.13 ความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกลอน B ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	49
ภาพที่ 3.14 ความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกลอน C ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	49
ภาพที่ 3.15 ความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกลอน B และ ลอน C ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	50
ภาพที่ 3.16 ขั้นตอนการแยกชนิดกระตาดาชลุ่ฟูก.....	51
ภาพที่ 3.17 ความสูงของลอนกระตาดาชลุ่ฟูกชนิด C.....	52
ภาพที่ 3.18 ผลการตรวจเช็คชนิดลอนลุ่ฟูก ทีละ 1 ลอน.....	52
ภาพที่ 3.19 ผลการแยกกระตาดาชลุ่ฟูกชนิด B, C และ BC.....	53
ภาพที่ 3.20 การแยกกระตาดาชลุ่ฟูกชนิด BC ด้วยโปรแกรม Halcon.....	54
ภาพที่ 3.21 ลักษณะการรับภาพด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่.....	54
ภาพที่ 3.22 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพกระตาดาชลุ่ฟูกด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่....	55
ภาพที่ 3.23 อัลกอริทึมการแยกชนิดกระตาดาชลุ่ฟูกด้านมุมของกอนกระตาดาชลุ่ฟูก.....	56
ภาพที่ 3.24 กระตาดาชลุ่ฟูกชนิด C ด้านมุม.....	56
ภาพที่ 3.25 การเปลี่ยนภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำของภาพด้านมุม.....	57
ภาพที่ 3.26 กระบวนการปรับปรุงภาพเพื่อหาลอนของกระตาดาชลุ่ฟูกด้านมุม.....	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.27 ลอนกระดาศลูกฟูกด้านมุมโดยวิธีการวิเคราะห์แบบบล็ออบ.....	58
ภาพที่ 3.28 ตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูกด้านมุม.....	59
ภาพที่ 3.29 ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกด้านมุม.....	59
ภาพที่ 3.30 ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	60
ภาพที่ 3.31 ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	60
ภาพที่ 3.32 ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด BC ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล.....	61
ภาพที่ 3.33 ความสูงของลอนลูกฟูกด้านมุม.....	62
ภาพที่ 3.34 ผลการตรวจเช็คชนิดลอนลูกฟูก ทีละ 1 ลอน ของภาพด้านมุม.....	62
ภาพที่ 3.35 ผลการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B, C และ BC ที่มุม 125 องศา.....	63
ภาพที่ 3.36 การแยกกระดาศลูกฟูกด้านมุมชนิด BC ด้วยโปรแกรม Halcon.....	64
ภาพที่ 3.37 อัลกอริทึมการรวมภาพกระดาศลูกฟูก.....	64
ภาพที่ 3.38 คุณลักษณะมุมภาพกระดาศลูกฟูกที่ได้จากวิธีของฟอर्थเนอร์.....	65
ภาพที่ 3.39 การจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน.....	66
ภาพที่ 3.40 ผลการต่อภาพกระดาศลูกฟูก.....	67
ภาพที่ 3.41 ผลการต่อภาพกระดาศลูกฟูกหลังใช้ Bundle adjustment.....	68
ภาพที่ 3.42 อัลกอริทึมสำหรับการนับจำนวนกระดาศลูกฟูก.....	68
ภาพที่ 3.43 การปรับปรุงภาพสำหรับการนับ.....	69
ภาพที่ 3.44 การหาจุดศูนย์กลางลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละลอนด้วยวิธีการวิเคราะห์บล็ออบ.....	70
ภาพที่ 3.45 ตำแหน่งของแถวและคอลัมน์รวมถึงขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูก.....	71
ภาพที่ 3.46 ตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนกระดาศลูกฟูกในแถวแรก.....	72
ภาพที่ 3.47 จำนวนกระดาศลูกฟูก 1 แผ่นที่มีจำนวนลอนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์.....	72
ภาพที่ 3.48 ระยะห่างของกระดาศลูกฟูกชนิด B.....	73
ภาพที่ 3.49 ระยะห่างของกระดาศลูกฟูกชนิด C.....	73
ภาพที่ 3.50 ระยะห่างของกระดาศลูกฟูกชนิด BC.....	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.51 โครงสร้างของโปรแกรม HALCON.....	75
ภาพที่ 3.52 แผนภูมิแสดงขั้นตอนทำงานโดยรวมของอัลกอริทึม.....	76
ภาพที่ 3.53 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของอัลกอริทึม.....	77
ภาพที่ 4.1 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ.....	81
ภาพที่ 4.2 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ.....	82
ภาพที่ 4.3 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ.....	83
ภาพที่ 4.4 ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตรจากขอบกระดาษลูกฟูกถึงหน้าเลนส์กล้อง.....	84
ภาพที่ 4.5 ความสูงของกระดาษลูกฟูกลอน B จำนวน 1 แผ่น ที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร...	86
ภาพที่ 4.6 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบกับกระดาษลูกฟูก.....	88
ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ไม่สมบูรณ์.....	89
ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมครั้งที่ 1.....	90
ภาพที่ 4.9 ภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึม ครั้งที่ 1.....	91
ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน.....	93
ภาพที่ 4.11 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	95
ภาพที่ 4.12 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	97
ภาพที่ 4.13 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	99
ภาพที่ 4.14 การแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร..... ด้วยโปรแกรม HALCON.....	99
ภาพที่ 4.15 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 380 มิลลิเมตร.....	103
ภาพที่ 4.16 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	109
ภาพที่ 4.17 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	109
ภาพที่ 4.18 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	110
ภาพที่ 4.19 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 300 มิลลิเมตร.....	110
ภาพที่ 4.20 การวิเคราะห์หับล้อบเพื่อหาจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนกระดาษลูกฟูก.....	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.21 ผลการนับกระตาศลูกฟูกชนิด B โดยใช้ระยะห่างระหว่างแถวของลอนในแต่ละแถว	112
ภาพที่ 4.22 ผลการนับกระตาศลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	113
ภาพที่ 4.23 ผลการนับกระตาศลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	115
ภาพที่ 4.24 ผลการนับจำนวนกระตาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ350 มิลลิเมตร	116
ภาพที่ 4.25 ผลการนับจำนวนกระตาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ350 มิลลิเมตร	117
ภาพที่ 4.26 ผลการนับจำนวนกระตาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ350 มิลลิเมตร	118
ภาพที่ 4.27 กระตาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	120
ภาพที่ 4.28 กระตาศลูกฟูกชนิด C ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	121
ภาพที่ 4.29 กระตาศลูกฟูกชนิด BC ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร.....	122
ภาพที่ 4.30 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงานด้านมุม.....	125
ภาพที่ 4.31 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	127
ภาพที่ 4.32 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร..... ด้วยโปรแกรม HALCON.....	127
ภาพที่ 4.33 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	129
ภาพที่ 4.34 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม HALCON.....	129
ภาพที่ 4.35 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด BC ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร....	131
ภาพที่ 4.36 ผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด BC ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร..... ด้วยโปรแกรม HALCON.....	131
ภาพที่ 4.37 ผลการต่อภาพกระตาศลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา ที่ระยะรับภาพเท่ากับ300 มิลลิเมตร	132
ภาพที่ 4.38 ผลการต่อภาพกระตาศลูกฟูกชนิด C มุม 125 องศา ที่ระยะรับภาพเท่ากับ300 มิลลิเมตร	132
ภาพที่ 4.39 ภาพกระตาศลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา ที่ทำการปรับปรุงภาพ.....	133
ภาพที่ 4.40 ผลการต่อภาพกระตาศลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา ที่ทำการปรับปรุงภาพ.....	134
ภาพที่ 4.41 ผลการนับกระตาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร.....	135

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันกระดาษลูกฟูกถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการใส่สิ่งของ สำหรับในอุตสาหกรรมกระดาษลูกฟูก มีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพกระดาษลูกฟูก เพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตก่อนการส่งต่อไปกระบวนการผลิตถัดไป ปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่งคือ จำนวนกระดาษลูกฟูกที่ผลิตกับจำนวนกระดาษลูกฟูกที่ได้จริงไม่ตรงกัน ซึ่งเกิดจากการใช้คนในการนับ ทำให้กระบวนการผลิตขาดคุณภาพ และเกิดความเสียหายในผู้ผลิต อีกทั้งเป็นการเสียเวลา สิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิต สำหรับการใช้กล้องในงานนับกระดาษลูกฟูกได้นำกล้องรับภาพแบบเส้นมาใช้งานในการถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกซึ่งสามารถถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็วและนับได้ถูกต้องแม่นยำ เมื่อกรณีขอกระดาษลูกฟูกวางเรียงเสมอกัน [1] จากการศึกษาพบว่ากล้องชนิดรับภาพแบบเส้นมีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ต่อมาจึงได้มีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้งานซึ่งมีราคาถูก แต่มีพื้นที่ในการรับภาพจำกัดไม่สามารถถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกที่วางเป็นกองสูงได้ จึงได้มีการวิจัยการรวมภาพกระดาษลูกฟูกเข้าด้วยกัน โดยการถ่ายภาพจำนวนหลายภาพแล้วนำมารวมกันด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ร้อยละ 25 ของการซ้อนทับกัน และที่ระยะจุดโฟกัส 480 มิลลิเมตร ให้ความถูกต้องในการตรวจสอบเมื่อกรณีขอกระดาษลูกฟูกวางเรียงเสมอกัน [2] แต่ไม่สามารถบอกชนิดกระดาษลูกฟูกและเลือกอัลกอริทึมในการตรวจนับโดยอัตโนมัติได้ เนื่องจากกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีขนาดของลอนลูกฟูกไม่เท่ากันจึงทำให้อัลกอริทึมในการนับกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดมีไม่เหมือนกัน จำเป็นต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้เลือกโปรแกรมนับเอง ซึ่งเป็นวิธีที่ช้าและมีความผิดพลาดสูง เนื่องจากใช้สายตาตรวจสอบชนิดกระดาษเป็นเวลานานๆจึงอาจทำให้เมื่อยล้าสายตา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซลและการวิเคราะห์หับล็อบ เพื่อออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบแยกกระดาษชนิด B C และ BC โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นทางด้านตั้งฉากและด้านมุมของกระดาษลูกฟูก ทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นระดับขาวดำ จากนั้นปรับปรุงภาพลอนด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี วิเคราะห์หับล็อบ (Blob Analysis) และทำการหาจำนวนพิกเซลด้วยเทคนิคการนับพิกเซล เพื่อตรวจหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกแล้วทำการออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON และทำการทดสอบความถูกต้องชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ในระบบการตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System) เพื่อนำมาใช้สำหรับการรับภาพกระดาศลูกฟูก

1.2.2 เพื่อศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพและการปรับปรุงภาพเพื่อใช้ในการหาค่าความสูงของลอนกระดาศลูกฟูก

1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดของกระดาศลูกฟูก

1.2.4 เพื่อทดสอบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบไปใช้ในการเลือกอัลกอริทึมการนับจำนวนกระดาศลูกฟูก

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การนับจำนวนกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีอัลกอริทึมในการนับที่ไม่เหมือนกัน ในปัจจุบันมีการรวมภาพกระดาศลูกฟูกและนับจำนวนกระดาศลูกฟูกได้อย่างถูกต้อง แต่ยังไม่สามารถแยกชนิดกระดาศและนับจำนวนตามชนิดของกระดาศลูกฟูกได้ จำเป็นต้องใช้คนในการเลือกชนิดอัลกอริทึมของกระดาศก่อนการนับ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงได้มีการออกแบบการเลือกชนิดกระดาศลูกฟูกก่อนการนับจำนวนกระดาศลูกฟูก ซึ่งจะพิจารณาจากด้านการรับภาพ 2 ด้าน ด้านแรกจะเป็นด้านตั้งฉากกับกระดาศลูกฟูกจะเห็นด้านลอนโดยตรง และด้านที่สองจะเป็นด้านมุมซึ่งจะเห็นกระดาศทั้งสองด้านคือด้านลอนและด้านรอยตัด จะใช้ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกกำหนดชนิดของกระดาศ โดยใช้เทคนิคการนับพิกเซลและการวิเคราะห์หีบห่อมาใช้ในการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกไปทดสอบความถูกต้องด้วยการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกว่าสามารถนับได้ตรงตามจำนวนของกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบหรือไม่

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ออกแบบวิธีการควบคุมการทำงานของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่เพื่อใช้ในการรับภาพกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC

1.4.2 ออกแบบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านลอนด้วยเทคนิคการนับพิกเซล (Pixel Counting)

1.4.3 ทดสอบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก การต่อภาพและการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม HALCON

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเทคนิคการนับฟิสิกเซลและการวิเคราะห์หับล้อมมาออกแบบอัลกอริทึมการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC โดยการรับภาพจากกล้องรับภาพแบบพื้นที่ จากนั้นทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้วยการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกโดยวิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1.5.1 ศึกษากระบวนการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System)
- 1.5.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) และเทคนิคการนับฟิสิกเซล
- 1.5.4 คำนวนหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกล้องเพื่อนำมาใช้ในการรับภาพกระดาศลูกฟูก
- 1.5.5 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม HALCON เพื่อใช้สำหรับทดสอบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก
- 1.5.6 เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการรับภาพของกล้องและนำมาประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม HALCON
- 1.5.7 ทดสอบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้วยการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกโดยวิธีการประมวลผลภาพ
- 1.5.8 ตรวจสอบข้อผิดพลาดและทำการปรับปรุงแก้ไข
- 1.5.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบและอภิปรายผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถสร้างชุดการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกแบบอัตโนมัติที่มีต้นทุนลดลง
- 1.6.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตกระดาศลูกฟูกและอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ ได้
- 1.6.3 มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพและเทคนิคการนับฟิสิกเซล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

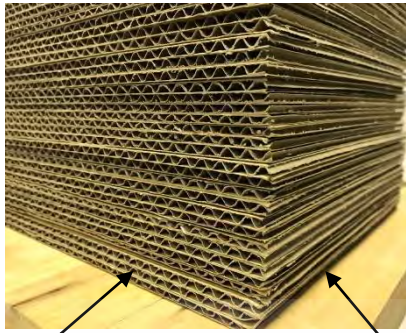
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยจะกล่าวถึงวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดสอบและรวมถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาอัลกอริทึมแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซลสำหรับไปใช้ในงานการตรวจนับจำนวนกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระบบตรวจรูอัตโนมัติ ด้วยกล้องในการรับภาพ และทดสอบโดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนับกระดาษลูกฟูก และงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพกับงานชนิดต่างๆ ที่คาดว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 กระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูก เป็นวัสดุที่แพร่หลายและนิยมมากที่สุดเพราะสามารถออกแบบสร้างสรรค์เป็นบรรจุภัณฑ์ได้มากมายหลายชนิด และ นับได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อสินค้า สำหรับใช้ในการผลิต และการจัดส่งสินค้า ซึ่งอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่สามารถ ตัด ดัด พับ งอ ได้ ง่ายกำหนดสร้างเป็นรูปร่าง รูปทรงต่างๆ สาเหตุที่กระดาษลูกฟูก ได้รับความนิยมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เนื่องจาก ความทนทาน รับน้ำหนักได้มาก สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย น้ำหนักเบา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทนสมัย สามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงกับความต้องการได้

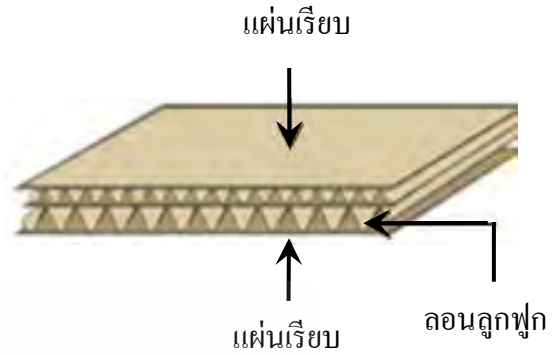
2.1.1 กระดาษทำลูกฟูก (Corrugating Medium) [3]

กระดาษทำลูกฟูก คือส่วนที่นำมาขึ้นลอนเป็นกระดาษลูกฟูก เพื่อใช้ประกอบเป็นชั้นกลางของแผ่นกระดาษลูกฟูก และกระดาษลูกฟูก (Corrugated Medium) หมายถึง กระดาษทำลูกฟูก ที่ขึ้นลอนแล้ว ประกอบเป็นชั้นกลางระหว่างกระดาษผิวกล่องของแผ่นกระดาษลูกฟูก แผ่นกระดาษลูกฟูก (Corrugated Board) หมายถึง แผ่นกระดาษลูกฟูกที่ประกอบด้วยกระดาษลูกฟูก (Medium) อย่างน้อย 1 แผ่น ทากาวแล้วปิดทับด้วยกระดาษผิวกล่อง กระดาษแผ่นเรียบ (Liner Board) 1 แผ่น หรือระหว่างกระดาษผิวกล่องหลายแผ่น แสดงดังภาพที่ 2.1



ด้านลอนลูกฟูก

ด้านรอยตัด



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างกระดาษลูกฟูก

2.1.2 ชนิดของกระดาษกราฟท์ [3]

กระดาษกราฟท์ที่นำมาทำเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกหรือกระดาษทำผิวกล่องมีหลายประเภท หลายสี และคุณภาพการนำไปใช้งานก็มีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานโดยสีของกระดาษที่ใช้มีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 กระดาษกราฟท์สีขาว (KS) สำหรับทำผิวกล่องมีความเรียบ สะอาด เหมาะสำหรับกล่องที่เน้นความสวยงามและช่วยให้การพิมพ์ที่มีสีสดชัดเจนดูโดดเด่น เพิ่มคุณค่าให้สินค้าที่บรรจุภายใน นอกจากนี้กระดาษ KS ยังมีความแข็งแรงสูงสามารถปกป้องสินค้าได้ดี นิยมใช้สำหรับกล่องเครื่องใช้ไฟฟ้า สินค้าเพื่อการส่งออก และกล่องอุปโภคบริโภค เป็นต้น น้ำหนักมาตรฐานมีค่า 170 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.2 กระดาษกราฟท์สีเหลืองทอง (KA) สำหรับทำผิวกล่องมีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ สามารถรองรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม และเป็นสีที่นิยมใช้กันมากเหมาะสำหรับ สินค้าอะไหล่ยนต์ อาหารกระป๋อง กล่องเฟอร์นิเจอร์ ที่ต้องการความแข็งแรงทุกรูปแบบทั้งการเรียงซ้อนและการป้องกันการกระแทก น้ำหนักมาตรฐานมีค่า 125, 150, 185 และ 230 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.3 กระดาษกราฟท์สีน้ำตาลอ่อน (KI) สำหรับทำผิวกล่อง สีอ่อนสบายตา เหมาะกับการพิมพ์ภาพหรือตัวหนังสือ ให้มีสีสวยงามด้านการพิมพ์เป็นรองเพียงกระดาษ KS เท่านั้น นิยมใช้กับสินค้าที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากเท่า KA เหมาะกับกล่องสินค้าทั่วไป เช่น กล่องอาหารสำเร็จรูป กล่องเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการพิมพ์เป็นภาพสี เป็นต้น น้ำหนักมาตรฐานคือ 125, 150 และ 185 กรัมต่อตารางเมตร

2.1.2.4 กระดาษกราฟท์สีน้ำตาล (KP) สำหรับทำผิวกล่อง มีโทนสีใกล้เคียงกับกระดาษต่างประเทศ เป็นที่ยอมรับกันในสากล เหมาะกับการใช้ผลิตกล่องสำหรับสินค้าส่งออกทุกชนิด น้ำหนักมาตรฐานคือ 175 และ 275 กรัมต่อ ตารางเมตร

2.1.2.5 กระดาษกราฟท์สีน้ำตาล (KT) สำหรับทำผิวกล่อง ผลิตจากเยื่อ Recycled 100% เพื่อส่งเสริมด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่ยังคงความสวยงามและความแข็งแรง มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องการวางเรียงซ้อน เหมาะกับสินค้าส่งออกที่ระบุให้ใช้กล่องที่ทำจากเยื่อ Recycled ทั้งหมด น้ำหนักมาตรฐานคือ 125 และ 150 กรัมต่อ ตารางเมตร

2.1.2.6 กระดาษกราฟท์ (CA) สำหรับทำลอนลูกฟูก มีคุณสมบัติความแข็งแรงในการป้องกันแรงกระแทก สำหรับทำลอนลูกฟูกขนาดต่างๆได้ทุกลอนให้ได้คุณภาพสูง ความแข็งแรงสัมพันธ์กับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ นอกจากนี้ กระดาษ CA ยังนิยมนำมาใช้ทำเป็นกระดาษทำผิวกล่องด้านหลังเพื่อลดต้นทุนอีกด้วยน้ำหนักมาตรฐานคือ 105 และ 125 กรัมต่อตารางเมตร



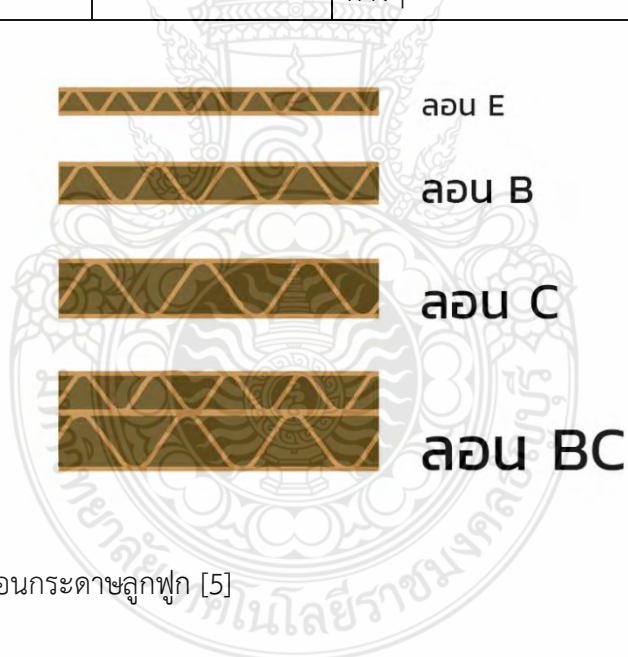
ภาพที่ 2.2 สีของกระดาษกราฟท์เพื่อใช้ผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก [5]

2.1.3 ลอนลูกฟูก (Corrugations Flute) [4]

ลอนลูกฟูกมีหลายชนิดโดยลอนแต่ละประเภทจะมีขนาดและความสูงของลอนไม่เท่ากัน รวมถึงความเหมาะสมกับการใช้งานก็มีความแตกต่างกันออกไป สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแสดงลอนชนิดต่างๆของกระดาษลูกฟูกและคุณสมบัติการนำไปใช้งาน ประกอบไปด้วยลอนชนิด A B C E และ F และสำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B C และ BC มาใช้แยกชนิดกระดาษลูกฟูก โดยกระดาษแต่ละชนิดจะมีความหนาและความแข็งแรงแตกต่างกันออกไป โดยชนิด BC กระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ติดกับผิวกล่องด้านนอกจะเป็นลอน B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลูกฟูกลอน C จะอยู่ด้านในเพื่อใช้สำหรับรับแรงกระแทกซึ่งเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำกล่องรูปแบบต่างๆไป

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานและคุณสมบัติของชนิดลอนกระดาศลือกฟูก [4]

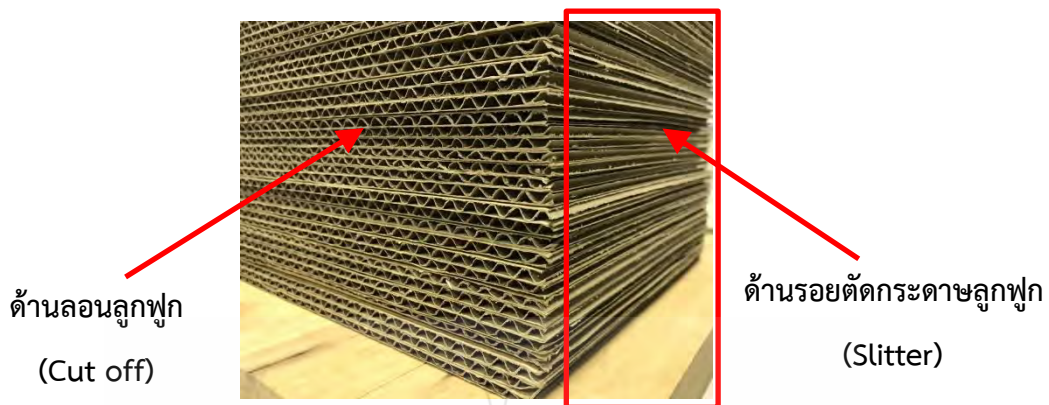
ชนิด	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)	จำนวนลอน/เมตร	คุณสมบัติ
ลอน A	4.2 – 4.7	104 – 125	เหมาะกับสินค้าที่ต้องการรับน้ำหนักการเรียงซ้อนมาก และไม่เน้นการพิมพ์
ลอน B	2.1 – 2.6	150 – 184	เหมาะกับสินค้าที่รับน้ำหนักได้ด้วยตัวเอง เช่น กระจปองเหล็ก
ลอน C	3.3 – 3.8	120 – 145	เป็นที่นิยมใช้กันมาก รับน้ำหนักปานกลาง กันกระแตกได้ดีเหมาะกับงานประเภทแก้ว
ลอน E	0.9 – 1.4	275 – 310	รองรับการพิมพ์ได้ดีที่สุด เหมาะกับกล่องไคคัทขนาดเล็ก หรือกล่องออฟเซ็ท
ลอน F	0.6 – 0.8	407 – 437	นิยมใช้ทำงาน Display และกล่องรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 2.3 ชนิดของลอนกระดาศลือกฟูก [5]

2.1.4 ลักษณะพื้นที่ของกระดาศลือกฟูกที่ใช้สำหรับการแยก

กระดาศลือกฟูกสามารถแบ่งพื้นที่ที่มีอยู่ 2 ด้าน คือด้านที่มีลักษณะเป็นลอน หรือเรียกว่า ด้านลอนกระดาศลือกฟูก (Cut Off) และด้านที่เป็นเส้นตรงเกิดจากการตัดขอบของกระดาศลือกฟูก เรียกว่า ด้านรอยตัดกระดาศลือกฟูก (Slitter) แสดงดังภาพที่ 2.4 โดยสำหรับงานวิจัยนี้เป็นการแยกชนิดกระดาศลือกฟูกทางด้านลอนลือกฟูก จะใช้ลักษณะส่วนที่เป็นลอนสำหรับการแยกชนิดกระดาศลือกฟูก



ภาพที่ 2.4 บริเวณที่ใช้สำหรับพิจารณาในการตรวจสอบ

2.2 ชนิดของกระดาษลูกฟูก [3]

กระดาษลอนลูกฟูกเป็นที่นิยมใช้สำหรับทำเป็นกล่องบรรจุสินค้าเพราะตัวกระดาษลูกฟูกมีคุณสมบัติพิเศษ มีความแข็งแรงมาก รับน้ำหนักได้มาก จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้ในงานการผลิตเพื่อจัดเก็บสินค้าเพื่อทำการขนส่งไปยังที่ต่างๆ ในปัจจุบันกระดาษลูกฟูกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่

2.2.1 กระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Single Face)

ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 1 แผ่น นิยมใช้สำหรับกั้นการกระแทกของสินค้าหรือปะก่อง offset โดยที่ลอนมาตรฐานจะเป็นชนิด B C และ E

2.2.2 กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Single Wall)

ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 2 แผ่น ปะกบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น โดยลอนลูกฟูกจะอยู่ตรงกลางระหว่างกระดาษแผ่นเรียบทั้ง 2 แผ่น มักใช้กับงานบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักปานกลางหรือไม่เน้นความแข็งแรงมาก ลอนมาตรฐานเป็นชนิด B C และ E

2.2.3 กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double Wall)

ประกอบไปด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 3 แผ่น ปะกบกับลอนลูกฟูก 2 แผ่น โดยกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ติดกับผิวของกล่องด้านนอกจะเป็นลอนชนิด B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ด้านในจะเป็นลอนชนิด C เพื่อรับแรงกระแทก นิยมใช้สำหรับสินค้าที่ต้องการการป้องกันสูงหรือรองรับสินค้าที่มีน้ำหนักมาก



ภาพที่ 2.5 ประเภทของกระดาษลูกฟูก [6]

2.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image Processing) [7]

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ สำหรับการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ใช้ในงานวิจัย เป็นการนำเทคนิคพื้นฐานของการประมวลผลภาพมาสร้างเป็นอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 จุดภาพ (Pixel) [7]

จุดภาพ (Pixel) คือ ความเข้มแสงที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพ ซึ่งภาพหนึ่งๆจะประกอบด้วยจุดภาพมากมายโดยที่แต่ละภาพจะมีความหนาแน่นของจุดภาพแตกต่างกันไป ความหนาแน่นของจุดภาพนี้จะบอกถึงความละเอียดของภาพ (Resolution) มีหน่วยเป็น ppi (pixel per inch) คือจำนวนจุดภาพต่อนิ้ว

2.3.2 ภาพดิจิทัล (Digital Images) [7]

เป็นฟังก์ชัน 2 มิติของค่าความเข้มแสงโดยที่มีค่า x และ y แสดงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก โดยมีการนำภาพมาแปลงข้อมูลของภาพให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล เพื่อสามารถนำข้อมูลไปเข้าสู่กระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาพที่เห็นจากคอมพิวเตอร์นั้นเป็นภาพสองมิติที่ถูกแปลงมาจากภาพสามมิติด้วยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบอนาล็อก สำหรับภาพอนาล็อกจะเป็นภาพแบบต่อเนื่อง ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้สำหรับการประมวลผลได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงให้เป็นภาพเชิงตัวเลขซึ่งคือภาพดิจิทัล เพื่อที่จะสามารถนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ โดยการแปลงภาพให้เป็นภาพดิจิทัลเรียกว่า “Image Digitization” ซึ่งเมื่อนำสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการประมวลผลผ่านส่วนดิจิทัลไรเซอร์ (Digitizer) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อแปลงค่าความเข้มของแสงให้เป็นตัวเลข ฟังก์ชันของภาพ $f(x,y)$ จะถูก

ทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพเรียกว่า การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งภาพ (Image Sampling) เป็นกระบวนการแปลงภาพ 2 มิติให้เป็นภาพดิจิทัลโดยการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งจะเลือกเฉพาะบางจุดบนภาพในแนวแกน x และ y สำหรับขั้นตอนก่อนที่มีการประมวลผลภาพจะต้องมีการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) ก่อนซึ่งเป็นกระบวนการแปลงข้อมูลภาพตัวเลขเพื่อสร้างภาพที่มีรายละเอียดตามต้องการด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

2.3.3 ประเภทของภาพ [7]

2.3.3.1 ภาพสี (Color Image)

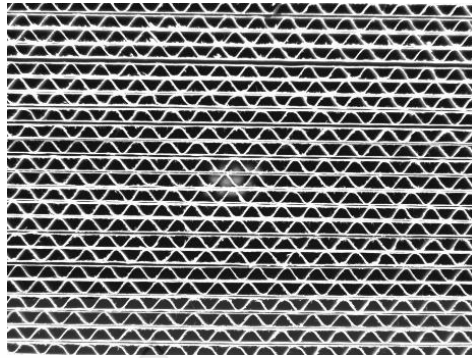
ในทางคณิตศาสตร์ภาพสีจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 จำนวนทั้งหมด 256 ค่า มีขนาดอาร์เรย์เป็นสามมิติ สำหรับระบบภาพสีมีอยู่หลายระบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน ได้แก่ ระบบสี RGB ซึ่งจะมีแถบแม่เหล็กสีหลักอยู่ 3 สีซ้อนทับกันได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เป็นระบบที่ใช้สำหรับแสดงผลของกล้องถ่ายรูป นอกจากนี้ยังมีระบบสี CMY และ CMYK ซึ่งใช้สำหรับกับงานพิมพ์ และระบบสี HIS ซึ่งเป็นระบบที่มีความใกล้เคียงกับความสามารถในการมองเห็นของมนุษย์ โดยจะพิจารณาสีที่ประกอบด้วยค่าสีหลักที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสี ความอิ่มตัวของสี และความสว่างของสีซึ่งสามารถวัดได้จากค่าความเข้มข้นของความสว่างของแต่ละสีที่ ประกอบกัน ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะภาพสี

2.3.3.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

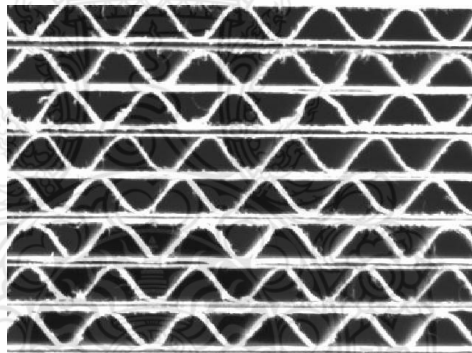
เป็นภาพที่มีความเข้มสีในแต่ละระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับที่เป็นสีดำไปเป็นสีเทาแล้วไปยังระดับสีขาวดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ลักษณะภาพระดับสีเทา

2.3.3.2 ภาพขาวดำ (Binary Image)

เป็นภาพที่มีขนาดอาร์เรย์เป็นสองมิติ จะมีค่าอยู่แค่ 0 และ 1 เท่านั้น โดยที่ 1 จะแสดงจุดภาพสีขาว และ 0 จะแสดงจุดภาพสีดำ ดังภาพที่ 2.8



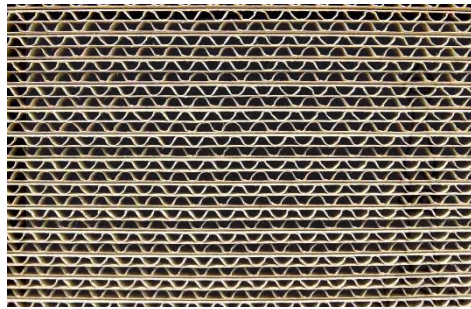
ภาพที่ 2.8 ลักษณะภาพขาวดำ

2.3.4 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

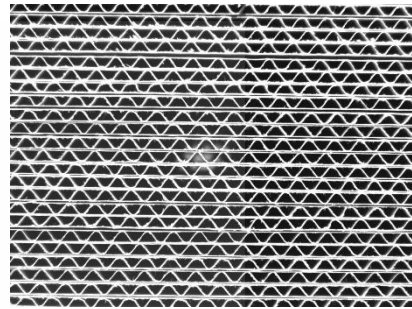
เป็นการนำภาพสี (RGB) มาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) เพื่อให้การประมวลผลภาพทำได้ง่ายและมีความรวดเร็วเพราะระบบภาพระดับสีเทามีค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากัน จึงทำให้จุดภาพของระบบภาพระดับสีเทาประกอบด้วยค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากันด้วย ส่วนระบบภาพสี (RGB) ซึ่งแต่ละภาพสีประกอบด้วยภาพสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งการประมวลผลภาพจะต้องทำผ่านทั้ง 3 ข้อมูล ซึ่งทำให้การประมวลผลภาพต้องใช้เวลาานาน สำหรับการแปลงระบบภาพสีเป็นระบบภาพระดับสีเทา เป็นไปตามสูตรของ Craig Markwart ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.1)

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

กำหนด	Y	คือ	ค่าความเข้มชั้นของจุดภาพระดับสีเทาที่มีค่าระหว่าง 0 – 255
	R	คือ	ค่าความเข้มชั้นของจุดภาพสีแดงที่มีค่าระหว่าง 0 – 255
	G	คือ	ค่าความเข้มชั้นของจุดภาพสีเขียวที่มีค่าระหว่าง 0 – 255
	B	คือ	ค่าความเข้มชั้นของจุดภาพสีน้ำเงินที่มีค่าระหว่าง 0 – 255



ภาพสี



ภาพระดับสีเทา

ภาพที่ 2.9 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา

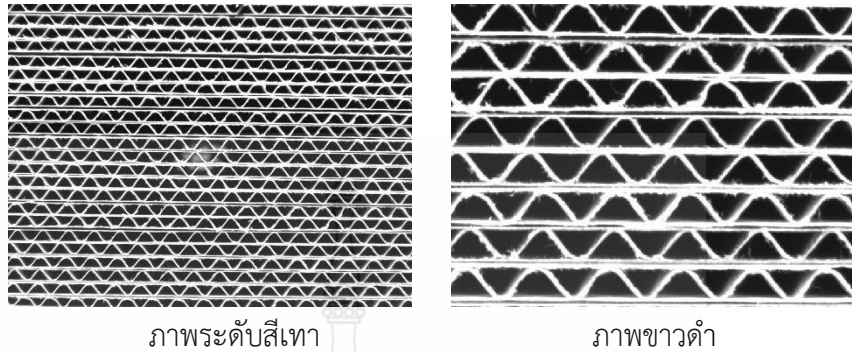
2.3.5 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการสร้างภาพขาวดำ (Binary Image) ถ้าหากเลือกค่าขีดแบ่งไม่เหมาะสม คืออาจน้อยไปหรือมากไป จะส่งผลทำให้ภาพอาจจะสว่างเกินไปหรือสว่างน้อยเกินไป ดังนั้นก่อนที่จะนำค่าขีดแบ่งมากำหนดใช้งานควรมีการหาค่ากำหนดขีดแบ่งไว้ก่อนด้วยวิธีดังนี้ คือ การหาค่าขีดแบ่งโดยกำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งเป็นการกำหนดเองจากผู้ใช้งานซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้งาน โดยการเลือกค่าคงที่คงหนึ่งจะเป็นค่าอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพที่มีจำนวนข้อมูล 8 บิตความเข้มแสงก็จะมี 256 ระดับก็สามารถเลือกค่าขีดแบ่งได้ตั้งแต่ 0 – 255 แต่ถ้าหากไม่กำหนดค่าขีดแบ่งเองก็สามารถหาได้จากการคำนวณโดยการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยโดยค่าขีดแบ่งเมื่อคำนวณได้ก็สามารถนำไปสร้างภาพไบนารีได้

2.3.6 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

เป็นการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ซึ่งจะกำหนดค่าขีดแบ่งของภาพออกเป็น 2 ส่วนโดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า ค่าขีดแบ่ง จึงทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงและสามารถจัดการกับภาพได้ง่ายขึ้น สำหรับการกำหนดค่าขีดแบ่งสามารถทำได้บนกราฟแสดงค่าความถี่ (Histogram-base Threshold) เป็นการแปลงภาพระดับสีเทาซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 255 ให้มีค่าเหลือแค่ 0 กับ 1 เรียกว่า ภาพสองระดับ (Binary Image) โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าของจุดภาพกับค่าคงที่ที่ใช้ในการกำหนดค่าขีดแบ่ง

โดยค่าจุดภาพใดๆ หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดค่าขีดแบ่งจะมีค่าเปลี่ยนเป็น 0 (ภาพสีดำ) และหากค่าจุดภาพใดๆ มีค่าน้อยกว่าค่ากำหนดค่าขีดแบ่งจะเปลี่ยนเป็น 1 (ภาพสีขาว)



ภาพที่ 2.10 การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ

2.4 เทคนิคมอร์โฟโลยี [1]

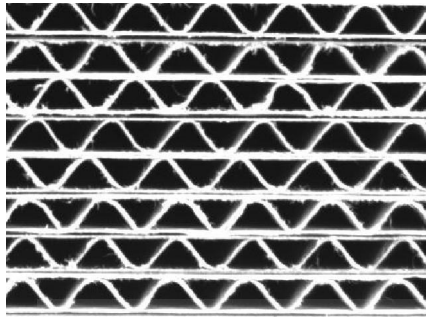
เป็นเทคนิคช่วยในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรูปภาพในการทำกระบวนการภาพจะต้องกำหนดองค์ประกอบของโครงสร้าง (Structuring Element) ในการพิจารณาซึ่ง Structuring Element คือ เมตริกซ์ที่ประกอบด้วยค่าไบนารีและมีรูปร่างตามที่กำหนดซึ่งกระบวนการทำงานมีดังนี้

2.4.1 การขยายภาพ (Dilation)

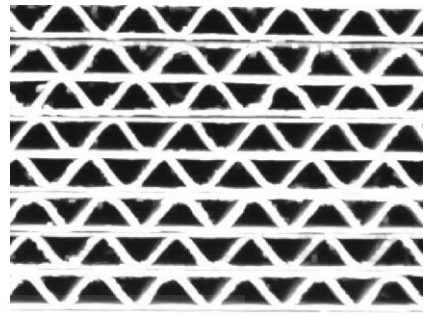
เป็นการขยายจุดภาพของภาพซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวหรือเชื่อมต่อกันระหว่างแต่ละกลุ่มจุดภาพขาวที่อยู่ใกล้กัน โดยเมื่อนำองค์ประกอบของโครงสร้างที่มีขนาดเป็นตัวพิจารณาโดยเมื่อเลื่อนไปที่บริเวณใดของจุดภาพ แล้วพบว่าจุดตรงกลางทับกับบริเวณที่เป็นจุดภาพขาวก็จะมีผลนำองค์ประกอบของโครงสร้างลงไปในพื้นที่นั้นของภาพผลลัพธ์ โดยที่เมื่อจุดเริ่มต้นขององค์ประกอบของโครงสร้างตรงกับตำแหน่งข้อมูลภาพที่เท่ากับ 1 จะทำให้บริเวณที่ค่าจุดภาพเป็น 0 มีค่าเป็น 1 เมื่อค่าจุดภาพใดๆบนองค์ประกอบของโครงสร้างมีค่าตรงกับค่าจุดภาพเดิมก็จะมีค่าคงเดิม ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.2) [8]

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \subseteq A\} \quad (2.2)$$

กำหนด	A	คือ	ภาพที่ต้องการนำมาขยาย
	B	คือ	องค์ประกอบของโครงสร้าง
	Z	คือ	เซตข้อมูลจุดภาพ



(a) ภาพไบนารี



(b) การขยายภาพ

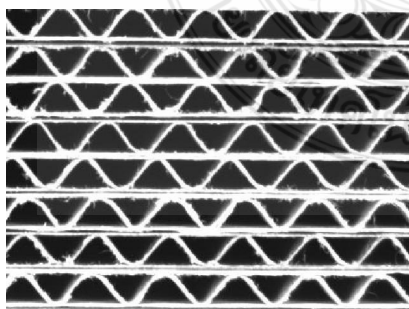
ภาพที่ 2.11 ภาพการขยายภาพ

2.4.2 การกร่อนภาพ (Erosion)

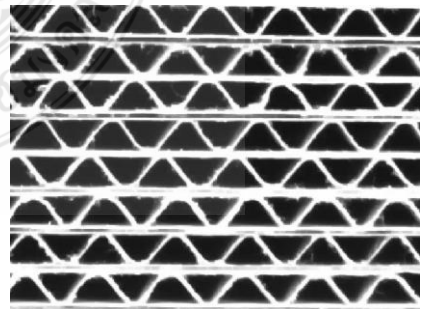
เป็นการลดขนาดของจุดภาพโดยเมื่อนำองค์ประกอบของโครงสร้างที่กำหนดเลื่อนไปในบริเวณใดๆ ของภาพและทับกันกับบริเวณของภาพพอดีทุกจุดก็จะทำการใส่จุดภาพดำที่ภาพผลลัพธ์ในตำแหน่งเดียวกับจุดภาพเดิมที่ทับพอดีกับจุดกลางขององค์ประกอบของโครงสร้างโดยการเปลี่ยนค่าจุดภาพที่มีค่าเป็น 1 ให้เป็น 0 เมื่อองค์ประกอบของโครงสร้างมีค่าตรงกลับค่าจุดภาพจะคงค่าเดิมนั้นไว้ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3) [8]

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2.3)$$

กำหนด	A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการกร่อนภาพ
	B	คือ	องค์ประกอบของโครงสร้าง
	Z	คือ	เซตข้อมูลจุดภาพ



(a) ภาพไบนารี



(b) การกร่อนภาพ

ภาพที่ 2.12 ภาพการย่อภาพ

2.4.3 การเปิดภาพ (Opening)

เป็นการนำการย่อภาพและขยายภาพมาใช้ร่วมกันโดยการเปิดภาพจะใช้เมื่อต้องการลบจุดภาพสีขาวที่มีลักษณะเป็นคอคอดสำหรับภาพขาวดำสามารถเขียนแทนได้ตามสมการที่ (2.4) [8]

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus A \quad (2.4)$$

กำหนด	A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการเปิดภาพ
	B	คือ	องค์ประกอบของโครงสร้าง
	\circ	คือ	สัญลักษณ์การเปิดภาพ

2.4.4 การปิดภาพ (Closing)

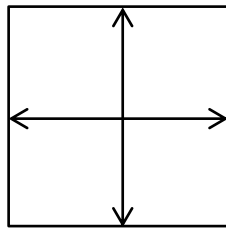
เป็นการนำภาพระดับสีเทาที่มีค่า 2 ระดับคือ 0 กับ 255 ซึ่งเปรียบเสมือนภาพไบนารีมาทำการขยายภาพแล้วตามด้วยการกัดกร่อนภาพ โดยนำ Structure Element ขนาด มาใช้พิจารณาการปิดภาพ สามารถเขียนแทนได้ตามสมการที่ (2.5) [8]

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.5)$$

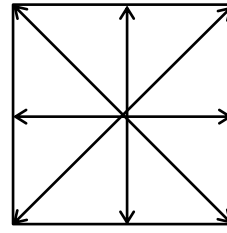
กำหนด	A	คือ	ภาพที่ต้องการทำการปิดภาพ
	B	คือ	องค์ประกอบของโครงสร้าง
	\bullet	คือ	สัญลักษณ์การปิดภาพ

2.5 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นแบบไบนารี (BLOB Analysis) [1]

คำว่า BLOB คือ Binary Large Object เป็นการวิเคราะห์หากกลุ่มจุดภาพของภาพไบนารีโดยแยกกลุ่มของจุดภาพที่แตกต่างกันด้วยการคำนวณหาตำแหน่งและขนาดของวัตถุ การวิเคราะห์องค์ประกอบของจุดเชื่อมต่อกัน (Region Growing) ทำได้โดยวิธีการกำหนดจุดเชื่อมต่อกันแบบ 4-connected หรือแบบ 8-connected ดังภาพที่ 2.13 ซึ่งการวิเคราะห์หาล้อมทำให้ได้เส้นรอบรูปและจุดศูนย์กลางของวัตถุ สามารถนำไปหาจำนวนวัตถุทั้งหมดในภาพรวมถึงขนาดของวัตถุแต่ละวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ พื้นที่ของวัตถุ ความสูง ความกว้าง และเส้นขอบของวัตถุ



4-connected



8-connected

ภาพที่ 2.13 ทิศทางการเชื่อมต่อจุด (Region Growing)

จากภาพที่ 2.13 แสดงทิศทางการเชื่อมต่อของจุดโดยที่การเชื่อมต่อแบบ 4-connected เป็นการเชื่อมต่อจุดตามแนวแกนตั้งและแกนนอน และการเชื่อมต่อแบบ 8-connected เป็นการเชื่อมต่อจุดทุกทิศทางซึ่งจะให้ความละเอียดที่มากกว่า โดยที่จุดเชื่อมต่อเกิดจากผลรวมค่าขีดแบ่ง และค่า Connected Component Analysis ซึ่งมีขั้นตอนคือจะทำการตรวจหาจุดสีไปเรื่อยๆ เมื่อเจอจุดสีขาวที่ยังไม่ได้ตรวจสอบมาก่อนแสดงว่าจุดนี้เป็นจุดสีขาวของกลุ่มวัตถุใหม่ จากนั้นตรวจสอบจุดสีข้างเคียงซึ่งอาจมี 4 จุดหรือ 8 จุดจนครบทั้งหมดหากจุดใดเป็นสีขาวที่ยังไม่ได้ผ่านการตรวจสอบมาก่อนให้วนไปตรวจสอบทุกจุดสีจนไม่มีจุดสีขาว ซึ่งวิธีการดังกล่าวเรียกว่า วิธีการ Floodfill หลังจากผ่านกระบวนการจนครบแล้วจะทำให้ได้ขอบเขตของบล็อบบอกมาซึ่งจะสามารถหาตำแหน่งกลางได้จากสมการที่ (2.6)

$$X = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}, Y = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อกำหนดให้ $x_{\max}, x_{\min}, y_{\max}, y_{\min}$ คือ ค่าขอบเขตทั้ง 4 ด้านของบล็อบบ

การวิเคราะห์หีบล็อบบจะสามารถช่วยในเรื่องการแยกวัตถุที่มากกว่าหนึ่งทีติดกันให้ออกจากกันและสามารถแสดงค่าพื้นที่และตำแหน่งของแต่ละวัตถุได้ ซึ่งส่งผลให้สามารถหาความกว้างของแต่ละวัตถุได้ และจะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกต่อไป



ภาพที่ 2.14 การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นแบบไบนารีเพื่อหาเส้นรอบวัตถุ

2.6 ระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision System)

สำหรับระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง (Machine Vision) เป็นการประยุกต์ใช้งานจากระบบ Computer Vision (CV) เป็นการประมวลผลจากรูปภาพโดยนำกล้องเข้ามาสำหรับใช้งาน ซึ่งกล้องที่เลือกใช้จะต้องมีความเหมาะสมกับลักษณะของงานที่นำไปใช้ ซึ่งอุปกรณ์หลักสำหรับระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 กล้องดิจิทัล (Digital Camera) [9]

กล้องที่นิยมใช้ในระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องสามารถจำแนกได้ตามลักษณะการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพซึ่งมีอยู่สองชนิดได้แก่ กล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) และกล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) โดยทั้งกล้องทั้ง 2 แบบนี้จะมีความแตกต่างในการนำมาใช้งานซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1.1 กล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera)

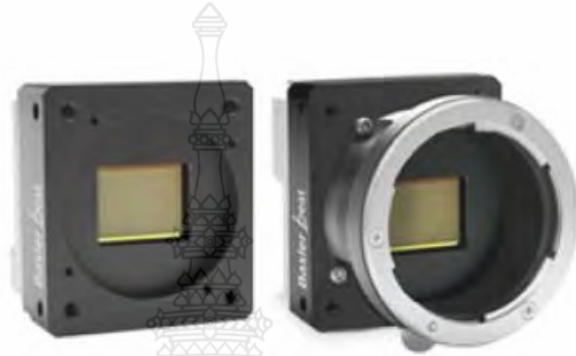
กล้องรับภาพแบบเส้นมีลักษณะการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพมีลักษณะคล้ายกับเครื่องสแกนเนอร์คือจะประกอบด้วยจุดภาพที่เป็นแถวเดียวจึงทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นเส้น และสามารถสร้างภาพได้อย่างต่อเนื่องไม่จำกัด การถ่ายภาพและรับภาพมีความเร็วรวดเร็วเพราะเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านกล้องก็จะถูกสร้างเป็นภาพทีละแถว และสามารถรับภาพใหม่ได้ขณะที่ภาพก่อนหน้ายังมีการส่งข้อมูลอยู่เพราะเนื่องจากตัวอ่านข้อมูลจุดภาพ (Pixel Readout) มีความเร็วกว่าตัวเปิดรับกล้อง ซึ่งกล้องสำหรับภาพแบบเส้นมีระบบการทำงานที่ความเร็วสูงจึงทำให้เป็นที่เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วสูงและชิ้นงานมีขนาดใหญ่เช่นงานเกี่ยวกับระบบการลำเลียงสายพานที่ต้องการความรวดเร็ว แต่ข้อเสียของกล้องรับภาพแบบเส้นคือมีราคาค่อนข้างสูงมากจึงทำให้ต้นทุนสูงมีค่ามากเมื่อเทียบกับกล้องรับภาพแบบพื้นที่



ภาพที่ 2.15 กล้องรับภาพแบบเส้น (Line Scan Camera) [10]

2.6.1.2 กล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera)

กล้องรับภาพแบบพื้นที่ที่ลักษณะการวางตัวของเซ็นเซอร์รับภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งจะมีความกว้างและความสูงประกอบด้วยเมตริกซ์ของจุดภาพซึ่งภาพมีความละเอียดคงที่เป็น การจับภาพทีละภาพ การติดตั้งทำได้ง่ายและการเคลื่อนย้ายกล้องและอุปกรณ์มีความสะดวกเร็ว สามารถสร้างภาพในพื้นที่ที่มีการกำหนดได้รวดเร็วกว่ากล้องรับภาพแบบเส้นเพราะจะต้องเคลื่อนไปยังพื้นที่ต่างๆเพื่อสร้างภาพในลักษณะเดียวกัน



ภาพที่ 2.16 กล้องรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) [10]

2.6.2 การเลือกกล้อง [9]

การกล้องสำหรับนำมาใช้ในงานการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องสิ่งสำคัญ คือจะต้องเลือกกล้องมาใช้งานให้มีความเหมาะสมกับชนิดของงานที่ทำ โดยพารามิเตอร์ที่นำมาใช้พิจารณาในการเลือกกล้องมีดังนี้

$$resolution_{X, Y} = \frac{FOV}{Minimum Resolution} \times 2 \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.7) [9] แสดงวิธีการเลือกกล้องนำมาใช้งานให้มีความเหมาะสมกับประเภทของงานที่จะนำมาใช้

กำหนด	Resolution X,Y	คือ ความละเอียดตามแนวแกน X หรือ Y
	FOV	คือ บริเวณที่ต้องการตรวจสอบ
	Minimum Resolution	คือ ความละเอียดที่เล็กที่สุดที่ต้องการตรวจสอบ

และการคำนวณ Frame Rate สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) [9]

$$FrameRate = \frac{ObjectSpeed}{FOV} \quad (2.8)$$

กำหนด Frame Rate คือ อัตราการแสดงผลภาพเคลื่อนไหวในหนึ่งวินาที
 Object Speed คือ ความเร็วของวัตถุที่ตรวจสอบ หน่วยเป็น mm/s
 FOV คือ บริเวณที่ต้องการตรวจสอบที่ใหญ่ที่สุด

2.6.3 การเชื่อมต่อระหว่างกล้องกับคอมพิวเตอร์ [9]

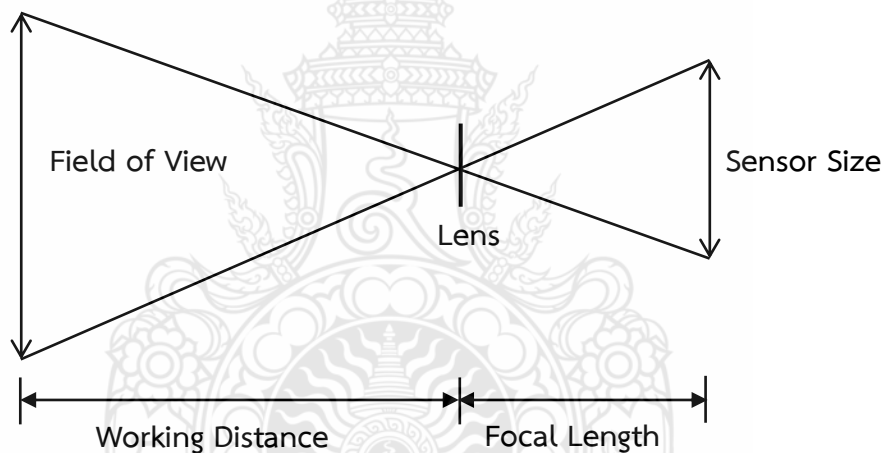
ในระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องการส่งข้อมูลจากกล้องไปยังคอมพิวเตอร์จะเป็นแบบระบบดิจิทัล โดยที่การเชื่อมต่อกล้องเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อโดยผ่านทางพอร์ตของคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้สำหรับการส่งข้อมูลภาพด้วยสัญญาณดิจิทัล สำหรับพอร์ตชนิดต่างๆที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างกล้องกับคอมพิวเตอร์มีหลายประเภทได้แก่ ยูเอสบี (USB), กิกะบิต อีเธอร์เน็ต (GigE) , ไฟร์ไวร์ (FireWire) และคาเมลาลิงค์ (Camera Link) โดยหลักการเลือกช่องทางการเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสมจะต้องพิจารณาจากประเภทของกล้องที่นำมาใช้งาน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของการเชื่อมต่อแบบต่างๆ [9]

interface Properties	USB 3.0	FireWire (IEEE1394b)	Gigabit Ethernet	Camera Link
Bandwidth	400 MB/s	80 MB/s	125 MB/s	680 MB/s
Cable length	3 m	4.5 m	100 m	10 m
CPU usage	Low	Low	Medium	Medium
Difficulty of System Integration	Low	Medium	Low	High
Multiple cameras	Excellent	Excellent	Good	Fair
System Cost (Single Camera)	Low	Medium	Medium	High

2.6.4 เลนส์ (Lens) [1]

เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของกล้องถูกประกอบอยู่บริเวณส่วนหน้าของกล้อง ซึ่งเลนส์จะมีหลายและแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการทำงาน สำหรับเลนส์ที่มีการนำมาใช้ในงานระบบตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้องจะถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้เกิดความบิดเบือนของภาพที่เกิดจากเลนส์ (Lens Distortions) และการเลือกใช้เลนส์จะเลือกจากความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal Length) คือระยะทางที่วัดจากจุดศูนย์กลางของเลนส์ถึงเซ็นเซอร์ที่อยู่ในกล้อง ซึ่งความยาวโฟกัสจะสำคัญต่อการจับภาพกล่าวคือทำให้มุมของการถ่ายภาพกว้างหรือแคบ การเลือกขนาดภาพในบริเวณที่ต้องการ และความคมชัดของภาพ ซึ่งเลนส์จะมีหลายประเภท เช่น CCTV Lens เป็นเลนส์ที่เหมาะสมสำหรับงานทั่ว ๆ ไป, Tele-centric Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น งานการวัดขนาด, Macro Lens เหมาะสำหรับงานที่ต้องการมองภาพขยายให้มีขนาดใหญ่ เช่น งานตรวจสอบ งาน OCR เป็นต้น สำหรับการคำนวณความยาวโฟกัสหาได้ตามสมการที่ (2.9)



ภาพที่ 2.17 พารามิเตอร์สำหรับพิจารณาเลือกเลนส์ [1]

$$FCR = \frac{SS \times WD}{FOV} \quad (2.9)$$

กำหนด	<i>FCR</i>	คือ	ความยาวโฟกัส (Focal Length) หน่วย mm
	<i>SS</i>	คือ	ขนาดเซ็นเซอร์ของกล้อง (Sensor Size) หน่วย mm
	<i>WD</i>	คือ	ระยะห่างระหว่างเลนส์กับชิ้นงาน (Working Distance) หน่วย mm
	<i>FOV</i>	คือ	พื้นที่รับภาพ (Field of View) หน่วย mm ²

2.6.4 อุปกรณ์ให้แสง (Light or illumination Source) [11]

การให้แสงสว่างต่อวัตถุมีความจำเป็นต่อระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง เพราะหากแสงมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ข้อมูลของภาพที่ได้รับเกิดความผิดพลาดและทำให้การตรวจสอบวัตถุผิดพลาดไปด้วยการเลือกใช้อุปกรณ์ให้แสงควรเลือกจากลักษณะของงานที่จะนำไปใช้เพื่อจะทำให้ได้แสงที่มีความเหมาะสม ประเภทของอุปกรณ์ให้แสงมีดังต่อไปนี้

2.6.4.1 อุปกรณ์ให้แสงแบบวง (Ring Lights) [11]

อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring Light ชนิดมุมแสงตกกระทบบสูง (Direct Light) ซึ่งจะให้ความเข้มของแสงสว่างสูงที่บริเวณส่วนกลางของชิ้นงานมีการให้แสงแบบ 360 องศาทำให้ภาพไม่เกิดเงา จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้กับงานทั่วไป เช่น การตรวจจับตำแหน่งของบอร์ดวงจร การตรวจจับการประกอบชิ้นงาน และการตรวจสอบตัวอักษรบนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 Ring Light [11]

2.6.4.2 อุปกรณ์ให้แสงแบบโดม (Dome Light) [11]

อุปกรณ์ให้แสงชนิดโดมสามารถที่จะให้แสงได้สม่ำเสมอเป็นอย่างมาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความสว่างสม่ำเสมอของแสงบนชิ้นงานสูง และยังสามารถใช้กับงานที่มีลักษณะผิวไม่เรียบหรือผิวมันวาวโดยจะไม่ก่อให้เกิดเงา การประยุกต์นำไปใช้งาน เช่น การตรวจจับตัวอักษรต่างๆ บนกระป๋องอลูมิเนียม การตรวจสอบงานผิวโค้งมันวาว และการตรวจสอบแผงบรรจุยา เป็นต้น



ภาพที่ 2.19 Dome Light [11]

2.6.4.3 อุปกรณ์ให้แสงแบบวงชนิดมุมแสงต่ำ (Low-angle Ring Light)

อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring ชนิดมุมแสงต่ำมีการให้แสงแบบ 360 องศาให้แสงตกกระทบวัตถุโดยตรงแต่ด้วยโครงสร้างแบบมุมต่ำ ทำให้ช่วยลดแสงสะท้อนจากวัตถุได้ดี ทำให้สามารถเห็นผิววัตถุได้ชัดเจน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการเน้นขอบของชิ้นงาน รอยขีดข่วน หรือสิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวชิ้นงาน การนำไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การตรวจการกัดผิวของแสงเลเซอร์ การตรวจสอบขนาดรูปร่างและพื้นที่การบัดกรี เป็นต้น



ภาพที่ 2.20 Low-angle Ring Light

2.6.4.4 อุปกรณ์ให้แสงแบบจุด (Spot Light) [11]

อุปกรณ์ให้แสงแบบจุดซึ่งไฟแอลอีดีแบบเฉพาะจุดให้ความเข้มแสงสูงเหมาะนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเลนส์มาโครที่มีกำลังขยายสูง ขนาดของไฟแอลอีดีแบบเฉพาะจุดมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงสามารถติดตั้งได้ง่ายและสะดวก สำหรับรุ่น HL3 จะมีความสว่างมากกว่ารุ่น HLV ถึง 5 เท่าซึ่งมีความสว่างกว่ารุ่นต่างๆไปในไฟระดับเดียวกัน การนำไปประยุกต์ใช้งานจะใช้ในการตรวจสอบต่างๆที่ต้องการเคลื่อนที่ของไฟแอลอีดี และใช้กับเลนส์ที่มีกำลังขยายสูงเนื่องจากมีความสว่างสูง



ภาพที่ 2.21 Spot Light [11]

2.6.4.5 อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่ง (Bar Light) [11]

อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่งจะประกอบไปด้วยไฟแอลอีดีเรียงตัวกันหนาแน่นบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นรุ่นที่ให้ความยืดหยุ่นในการติดตั้งมาก เหมาะสำหรับการใช้งานหลากหลายประเภทเพราะสามารถเชื่อมต่อของแสงได้อย่างอิสระ โดยนำไปประยุกต์ใช้กับงานการตรวจสอบ การตรวจและแยกแยะรูปร่างต่างๆ และการวัดขนาดรูปร่างของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 2.22 Bar Light [11]

2.7 เทคนิคการนับพิกเซล [18]

เทคนิคการนับพิกเซล (Pixel Counting) คือ การนับจำนวนพิกเซลของภาพ สำหรับส่วนของพื้นที่ในส่วนที่ต้องการนับสามารถนับได้จากภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) และภาพขาวดำ (Binary Image) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะนับความสูงจากส่วนที่เป็น Column ของลอนกระดาศลูกฟูกมานับพิกเซลเพื่อแยกชนิดของกระดาศลูกฟูก ซึ่งลอนกระดาศลูกฟูกแสดงดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ลอนกระดาศลูกฟูก

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานแยกชนิดกระดาษลูกฟูกมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบชนิดของกระดาษลูกฟูกก่อนเข้ากระบวนการตรวจนับจำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกก่อนทำการจัดส่งให้กับลูกค้า ซึ่งวิธีการนับจำนวนแผ่นของกระดาษลูกฟูกมีหลากหลายวิธี เช่น การใช้คณนับ การนับด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักกระดาษลูกฟูก การนับด้วยวิธีหาความสูงของกระดาษโดยใช้เซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจจับ เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้พบว่ามีผลผิดพลาดในการนับเพราะเป็นวิธีการประมาณค่าเพียงเท่านั้น จากนั้นมีการตรวจนับด้วยกล้องแบบพื้นที่รับภาพแบบเส้นซึ่งมีการประมวลผลภาพที่รวดเร็วแต่มีราคาแพง โดยต่อมาได้มีการคิดค้นการรวมภาพกระดาษลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่สามารถต่อภาพและทำการตรวจนับ แต่จากวิธีที่กล่าวมาจะไม่สามารถแยกอัลกอริทึมของชนิดกระดาษได้ เนื่องจากกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีขนาดไม่เท่ากันจึงทำให้อัลกอริทึมที่นำมาใช้นับจำนวนกระดาษลูกฟูกไม่เหมือนกัน สำหรับวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยเล่มนี้จะเป็นการเลือกอัลกอริทึมในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล โดยจะเลือกอัลกอริทึมของกระดาษแต่ละชนิดมาใช้งานให้เหมาะสมและถูกต้องกับชนิดของกระดาษลูกฟูก สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นสามารถแบ่งงานวิจัยได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลภาพและการปรับปรุงภาพ ส่วนที่สองเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำระบบกล้องมาใช้ในการแยกชนิด และส่วนที่สามเป็นงานวิจัยที่นำเทคนิควิธีการนับกระดาษลูกฟูกด้วยระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพและการปรับปรุงภาพ ซึ่งได้นำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจหารอยความเสียหายในฟิล์ม [12] การนับจำนวนปลา [13] การนับจำนวนประชากรสาหร่าย [14] การนับจำนวนรถยนต์บนท้องถนน [15] การคัดแยกเซลล์เม็ดเลือดขาว [16] การวิเคราะห์ขนาดของดอกดาวเรือง [17] การคัดแยกขนาดของไข่มุก [18] การคัดแยกต้นกล้ายางพารา [19] การคัดแยกข้าวขาว [20] และการคัดแยกขนาดและสายพันธ์ของหมึกกล้วยแปรรูป [21] จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนในการประมวลผลภาพทำได้โดยการแปลงภาพสีให้เป็นภาพสีเทา แปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง และปรับปรุงภาพให้สมบูรณ์ด้วยเทคนิคมอร์ฟโพลีและการหาขอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์หีบถอบหรือการวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ เพื่อหาตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการ

การศึกษาวีธีการนับกระดาษลูกฟูกด้วยระบบการตรวจรู้อัตโนมัติด้วยกล้อง ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการนับกระดาษลูกฟูกด้วยการใช้กล้องจากงานวิจัยของ ฐิติวัชร ศิริอมรรรัตน์ และทวีพล ชื่อสัตย์ [22] ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกด้วยภาพจากกล้อง USB โดยทำการถ่ายภาพในแนวตั้งหลายๆภาพต่อเนื่องกันแล้วนำไปประมวลผลภาพ ซึ่งมีความผิดพลาดเฉลี่ย 0.48 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่ากล้อง USB จะใช้ได้เฉพาะกับงานที่ไม่มีกลไกซับซ้อนจำเป็นต้องควบคุมความแม่นยำในการรับ

ภาพ ระยะคงที่ และควบคุมแสง และจากงานวิจัยของ มีนา รัตนกร [1] ได้เสนอวิธีการนับกระดาษลูกฟูกโดยใช้ระบบตรวจจับด้วยกล้อง ใช้กล้องรับภาพแบบเส้น โดยทดสอบกับกระดาษลูกฟูกชนิด BC ด้วยวิธีการหาขอบภาพทางด้านรอยตัดด้วยวิธีการหาขอบแบบแคนดี้ (Canny) และการหาตำแหน่งของวัตถุทางด้านลอนด้วยวิธีการวิเคราะห์บล็อก (BLOB Analysis) ซึ่งพบว่าสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อขอบกระดาษวางเรียงเสมอกันและเกิดความผิดพลาดเมื่อขอบกระดาษวางเหลื่อมกันทำให้จุดโฟกัสของกล้องไม่สามารถจะจับภาพได้ จากนั้นได้มีการรวมภาพจากงานวิจัยการรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพงานวิจัยของ วนิดา สุวรรณกิจ [2] ได้เสนอวิธีการรวมภาพเพื่อใช้สำหรับรวมภาพถ่ายทั้งหมดให้เป็นภาพเดียวกันโดยใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่แทนการรับภาพด้วยกล้องรับภาพแบบเส้น สำหรับวิธีการรวมภาพเริ่มจากรับภาพมาตรวจหาลักษณะเด่นของภาพและทำการจับแต่ละภาพมารวมกันโดยเทคนิค RANSAC และปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคการทำ Bundle adjustment เพื่อปรับโครงสร้างแนวภาพที่รวมกันให้มีลักษณะเหมือนกับภาพจริงและนำภาพที่รวมแล้วมานับกระดาษลูกฟูก ซึ่งพบว่าเมื่อข้อจำกัดหากกระดาษมีชนิดต่างกันจะใช้อัลกอริทึมที่ไม่เหมือนกันเนื่องจากยังไม่สามารถแยกชนิดกระดาษและนับแบบอัตโนมัติได้ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเป็นผู้เลือกอัลกอริทึมเอง ทำให้เกิดความล่าช้าและเกิดการผิดพลาดในการนับได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำระบบการตรวจจับอัตโนมัติด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบเส้นและแบบพื้นที่มาใช้ในงานการตรวจนับกระดาษลูกฟูกนั้นยังไม่สามารถแยกชนิดของกระดาษลูกฟูกได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเทคนิคการนับพิกเซลและการวิเคราะห์บล็อกจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคประมวลผลภาพและการปรับปรุงภาพ มาออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการเลือกชนิดกระดาษและนำผลลัพธ์จากการแยกชนิดกระดาษไปทำการตรวจนับจำนวนกระดาษเพื่อทดสอบความถูกต้อง

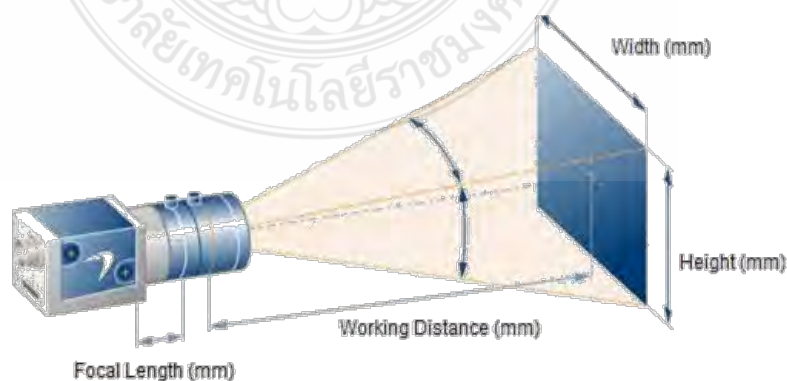
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบอัลกอริทึมแยกชนิดกระดาษลูกฟูก จะทำการทดสอบด้านลอนของกระดาษลูกฟูก และด้านมุมของกระดาษลูกฟูก โดยทำการเก็บภาพกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 ด้านด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ทำการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล หาความสูงของลอนจากการวิเคราะห์บล็อกเพื่อนำคุณลักษณะของลอนลูกฟูกมาใช้งาน โดยการนำค่าความสูงของลอนที่ได้กำหนดเป็นกระดาษลูกฟูก โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม HALCON สำหรับรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

3.1 ออกแบบวิธีการรับภาพกระดาษลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่

โดยกล้องที่นำมาใช้งานจะเป็นกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ (Area Scan Camera) แต่ด้วยจากกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่นั้นมีข้อจำกัดในส่วนพื้นที่การรับภาพของกล้อง (Field of View) ซึ่งจะสามารถรับภาพของวัตถุได้ตามขนาดพื้นที่รับภาพซึ่งอยู่ในบริเวณที่จำกัด โดยลักษณะการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะมีขนาดพื้นที่อยู่ในบริเวณที่จำกัด ซึ่งจะให้ภาพที่มีขนาดความกว้าง (Width) และความสูง (Height) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยขนาดพื้นที่การมองเห็นของกล้อง (Field of View) ในการรับภาพจะขึ้นอยู่กับความยาวโฟกัส (Focal Length) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความกว้างและแคบของภาพ รวมไปถึงความชัดของภาพด้วย และขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาษลูกฟูก (Working Distance) เพราะหากมีค่าน้อยพื้นที่ในการมองเห็นภาพก็มีค่าน้อย และถ้ามีค่ามากก็จะทำให้มีพื้นที่ในการมองเห็นของกล้องที่มากตามไปด้วย โดยสามารถแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

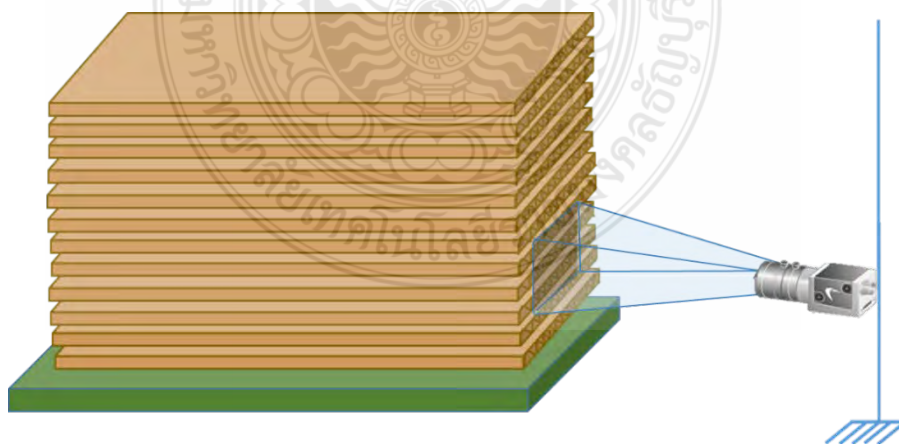
สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca1300 – 30 gm ชนิด monochrome ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งให้ภาพระดับสีเทามาใช้สำหรับรับภาพด้านลอนกระตาศลูกฟูกชนิด B C และ BC โดยตัวกล้องมีค่าความละเอียดของภาพเท่ากับ 4.9 มิลลิเมตร x 3.6 มิลลิเมตร และมีความเร็วในการถ่ายภาพอยู่ที่ 30 ภาพต่อวินาที โดยสื่อสารเพื่อส่งภาพผ่านทาง GigE Vision



ภาพที่ 3.2 กล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca1300 – 30 gm

3.1.1 การรับภาพ (Image Acquisition)

การรับภาพจะทำการรับภาพจากกล้องโดยตรง โดยการทำการรับภาพด้านตั้งฉากกับกระตาศลูกฟูกซึ่งเป็นด้านลอนของกระตาศลูกฟูก ทำการคำนวณหาขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้อง เพื่อให้ทราบขนาดพื้นที่ของกล้องที่สามารถรับภาพได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) โดยขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องจะนำมาเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเทียบขนาดของภาพที่ได้รับกับขนาดของกระตาศลูกฟูกจริง ภาพการรับภาพด้านลอนของกระตาศลูกฟูกดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลักษณะการรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

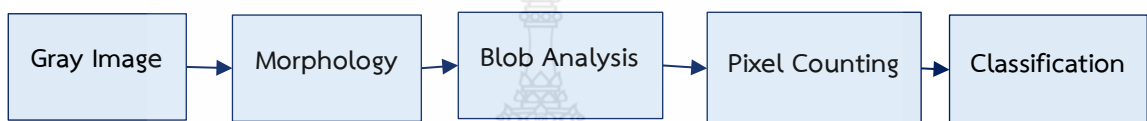
จากภาพที่ 3.3 เป็นภาพกระดาษลูกฟูกทางด้านลอน โดยจะนำไปทำการประมวลผลภาพเพื่อใช้สำหรับการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกว่าจะสามารถแยกกระดาษลูกฟูกได้ตรงตามชนิดหรือไม่ โดยจะใช้วิธีการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุซึ่งจากในภาพที่ 3.1 เป็นภาพที่ถ่ายจากกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะเห็นว่าส่วนที่เป็นวัตถุของภาพก็คือลอนของลูกฟูกนั่นเอง ซึ่งการหาตำแหน่งของลอนลูกฟูกจะต้องทำการแยกวัตถุในภาพกับพื้นหลังออกจากกันก่อนจากนั้นจึงคำนวณหาความสูงของลอนลูกฟูกในแต่ละลอนได้ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความสูงของลอนลูกฟูก และนำไปใช้กำหนดชนิดของกระดาษลูกฟูก โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านตั้งฉากกับกระดาษลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะแสดงดังภาพที่ 3.4



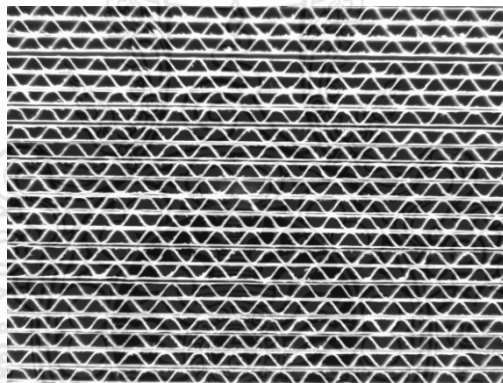
ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพด้านตั้งฉากกับกระดาษลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะ

3.2 ออกแบบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่

กระดาษลูกฟูกด้านตั้งฉากกับกระดาษลูกฟูกซึ่งจะเป็นด้านที่เห็นด้านลอนของกระดาษลูกฟูก ดังภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าด้านลอนสามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูก ซึ่งกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีขนาดลอนที่ไม่เท่ากัน แนวคิดในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อต้องการหาความสูงลอน โดยเทคนิคการหาวัตถุจากการศึกษางานวิจัยในหัวข้อที่ 2.8 มาสร้างเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกดังภาพที่ 3.5 การออกแบบอัลกอริทึมจึงมีเป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อนำความสูงลอนมาทำการนับพิกเซลไปแยกชนิดของกระดาษ สำหรับรายละเอียดอัลกอริทึมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.5 อัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านตั้งฉากกับกองกระดาษลูกฟูก



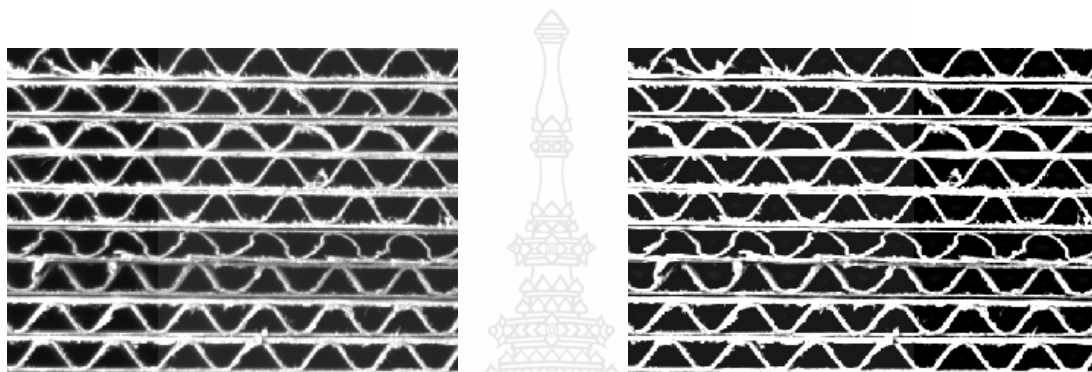
ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร

3.2.1 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

ภาพที่ได้รับจากกล้องที่ใช้สำหรับในการทดสอบเป็นภาพระดับสีเทา ซึ่งจะมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 และก่อนที่จะนำภาพไปใช้ตรวจหาพื้นที่ของวัตถุในภาพจะต้องแปลงภาพจากรดับภาพสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ (Binary Image) ซึ่งจะมีค่าแค่ 0 กับ 1 เพื่อลดจำนวนข้อมูลในภาพน้อยลงโดยการใช้การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อแยกกระดาษลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลัง (Background) เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพขาวดำโดยใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง

3.2.2 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งเป็นแบบคงที่เนื่องจากการทดสอบได้มีการควบคุมสิ่งแวดล้อมและใช้อุปกรณ์ให้แสงควบคุมความสว่างของผิวกระดาศลูกฟูก จากภาพที่ 3.7 (a) เป็นตัวอย่างภาพระดับสีเทาที่ใช้ทดสอบ โดยค่าขีดแบ่งที่เห็นพื้นที่ลอนกระดาศลูกฟูกได้ชัดเจน คือ 100 ทำให้ได้ภาพขาวดำตามภาพที่ 3.7 (b)



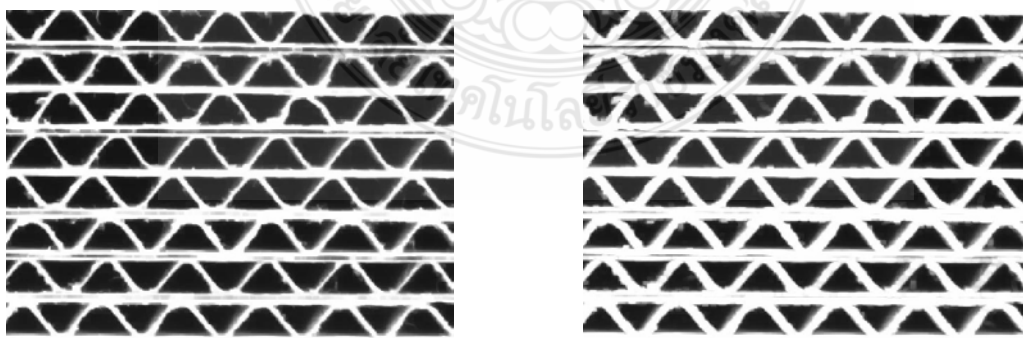
(a) ภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

(b) ภาพขาวดำ (Binary Image)

ภาพที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ

3.2.3 เทคนิคมอร์โฟโลยี (Morphology)

เนื่องจากภาพกระดาศลูกฟูกมีลอนที่ไม่สมบูรณ์ จึงต้องทำการปรับปรุงภาพก่อนนำมาหาลอน เพื่อลดความผิดพลาดจากภาพกระดาศลูกฟูกภาพที่ 3.7 (b) เห็นได้ว่ามีส่วนของลอนที่ยังเห็นพื้นที่ไม่ชัดเจนจึงได้ทำการกร่อนภาพเพื่อให้เห็นภาพลอนที่ชัดเจนยิ่งขึ้นดังสมการที่ (2.2) หลังการปรับปรุงจะแสดงดังภาพที่ 3.8 (a) จากรูปยังเห็นขอบของกระดาศลูกฟูกแต่ละแผ่นอยู่จึงได้นำเทคนิคการขยายภาพมาใช้เพื่อไม่ให้เห็นขอบของกระดาศลูกฟูกดังสมการที่ (2.3) แสดงดังภาพที่ 3.8 (b)



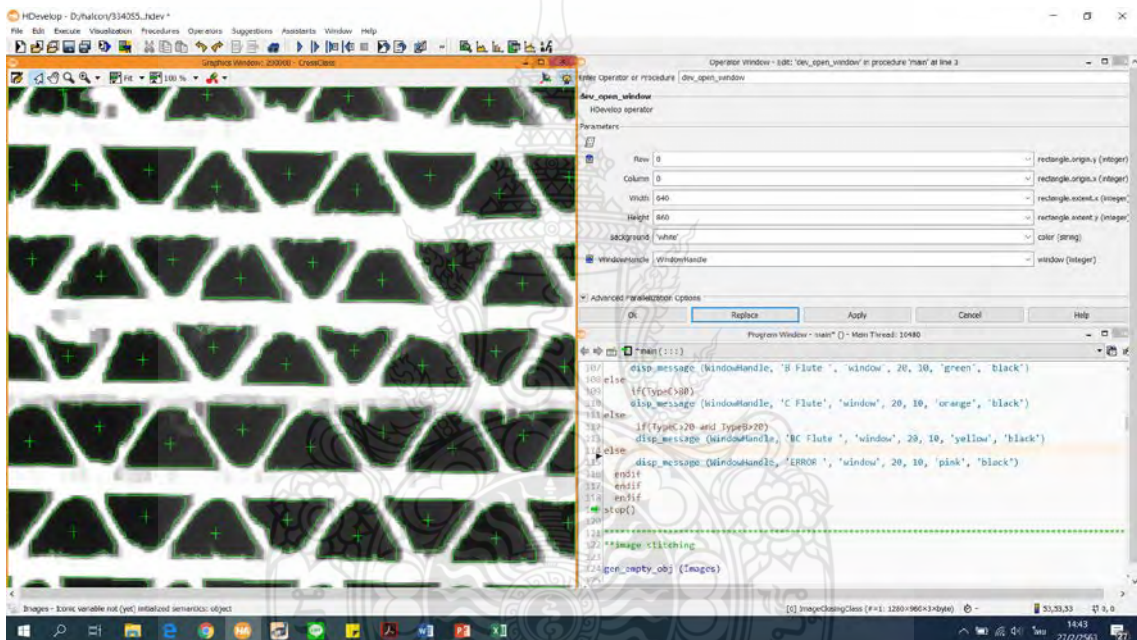
(a) การกร่อนภาพ

(b) การขยายภาพภาพ

ภาพที่ 3.8 กระบวนการปรับปรุงภาพเพื่อหาลอนของกระดาศลูกฟูก

3.2.4 การวิเคราะห์บล็อก (BLOB Analysis)

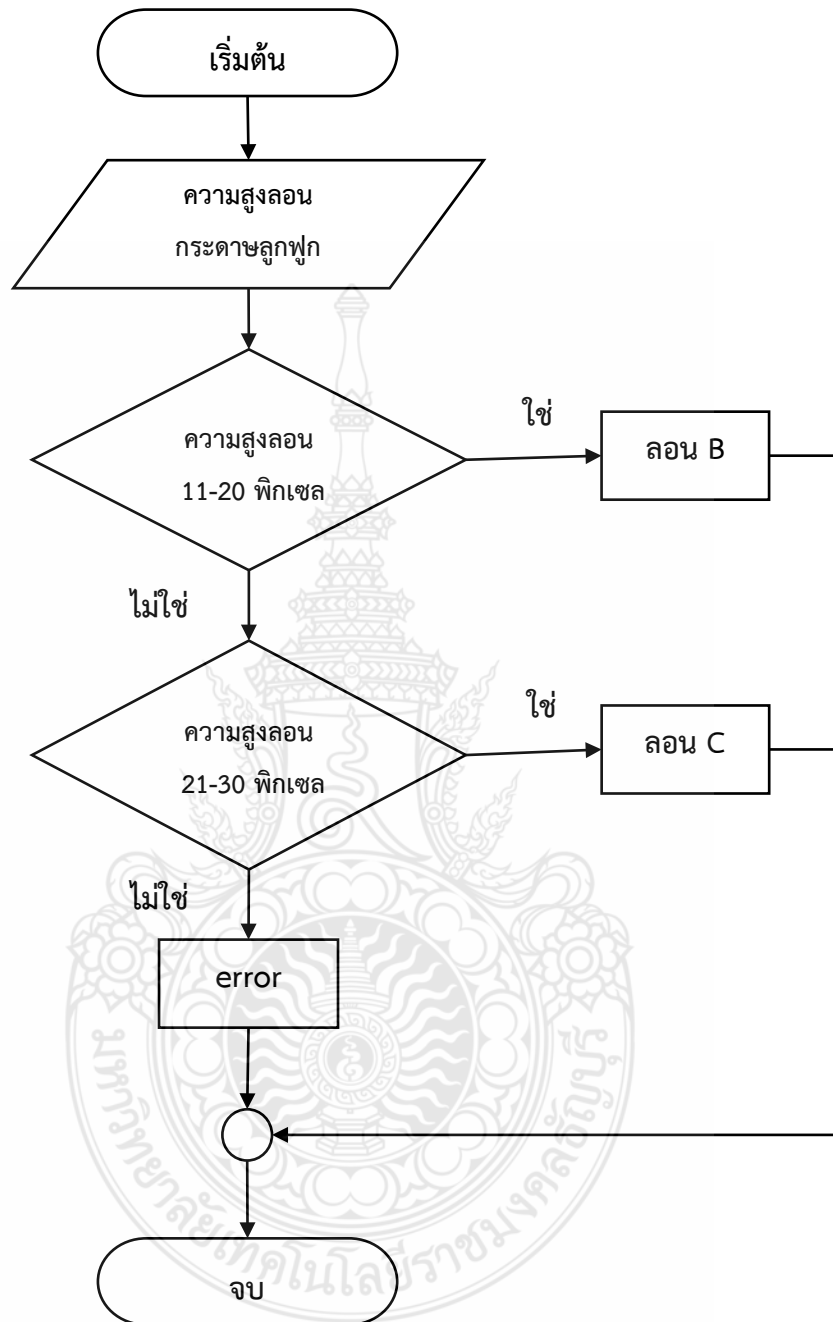
การวิเคราะห์บล็อก หาเส้นแสดงรูปร่างโดยนำมาใช้สำหรับหาตำแหน่งของวัตถุเพื่อจะหาจุดศูนย์กลางของวัตถุในแต่ละตำแหน่ง สำหรับการทดสอบนี้เป็นการหาตำแหน่งของลอนกระตาศลูกฟูกโดยที่รูปร่างของลอนลูกฟูกแต่ละลอนจะมีลักษณะแตกต่างกัน การนำการวิเคราะห์บล็อกเข้ามาช่วยวิเคราะห์จะทำให้สามารถหาตำแหน่งลอนของกระตาศลูกฟูกได้ และเมื่อทราบตำแหน่งของแต่ละลอนแล้วก็จะสามารถหาความสูงของแต่ละลอนได้ จากบทที่ 2 เกี่ยวกับข้อมูลกระตาศลูกฟูก [1] พบว่ากระตาศลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบ ความสูงของลอนแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยภาพที่ 3.9 เป็นภาพแสดงการวิเคราะห์บล็อกของลอนกระตาศลูกฟูก



ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งของลอนกระตาศลูกฟูกโดยวิธีการวิเคราะห์บล็อก

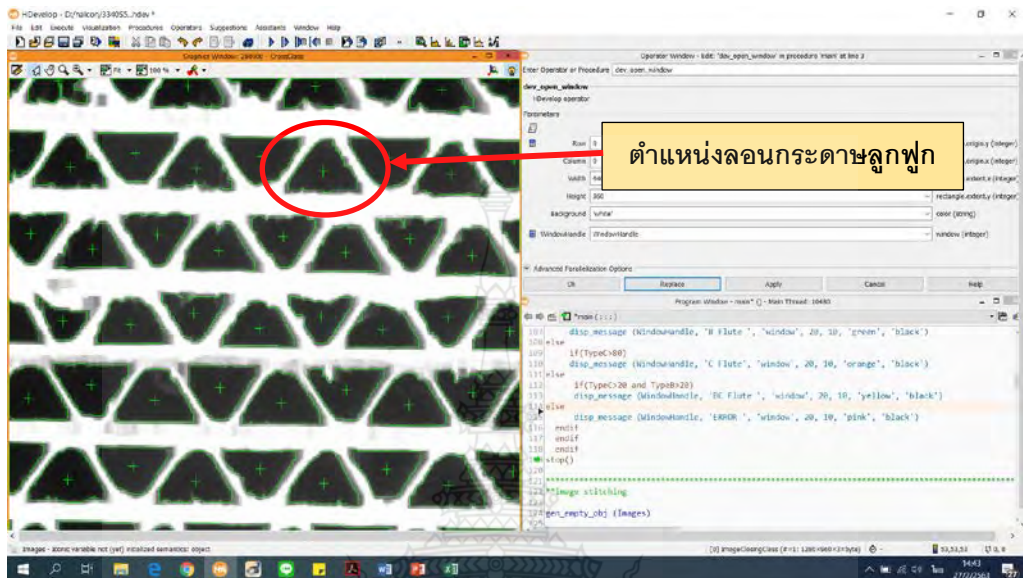
3.2.5 การนับพิกเซล

การนับพิกเซลของลอนกระตาศลูกฟูกจะนำพื้นที่ลอนที่ได้จากการวิเคราะห์บล็อก ซึ่งจะทำให้ได้จุดศูนย์กลางลอน ขนาดลอน และความสูงของลอน ดังนั้นจึงนำความสูงลอนที่ได้มากำหนดเป็นชนิดกระตาศลูกฟูก กำหนดระยะเวลาการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ได้ค่าความสูงของลอน B อยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ และลอน C ค่าความสูงลอนอยู่ในช่วง 21-30 จุดภาพ โดยภาพที่ 3.10 จะเป็นแผนภูมิ (Flow chart) แสดงขั้นตอนการหาความสูงของลอนกระตาศลูกฟูก



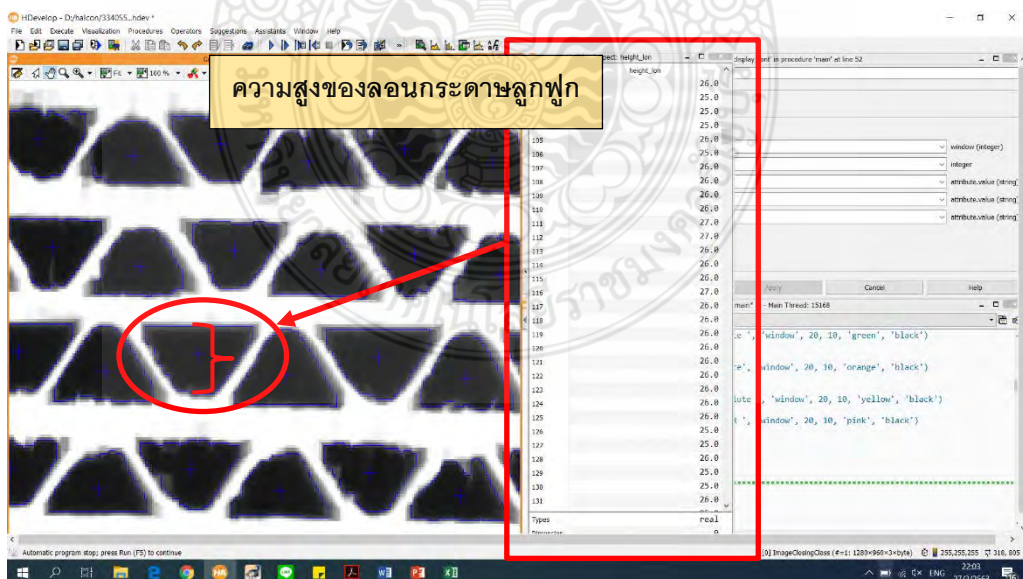
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการหาความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก

1) จากภาพลอนกระดาศลูกฟูกได้ตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูกทั้งหมดในภาพ จาก การวิเคราะห์ที่ล๊อบ แสดงผลการวิเคราะห์ที่ล๊อบดังภาพที่ 3.11



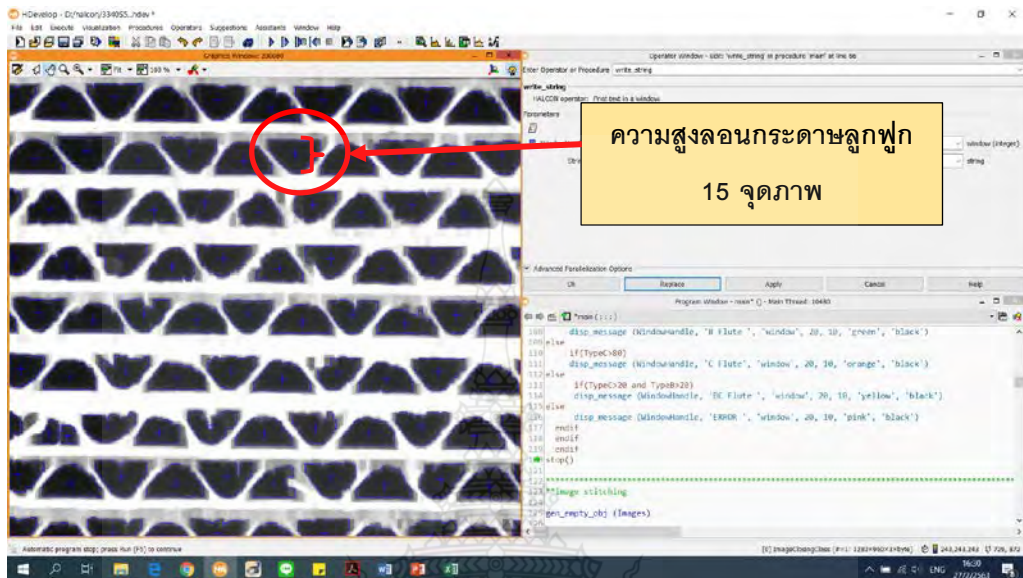
ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูก

2) ทำการวิเคราะห์ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม Halcon ด้วยเทคนิค การนับพิกเซล โดยทำการนับส่วนที่เป็นความสูง (Row) ของลอน จะได้ผลความสูงของลอนดังภาพที่ 3.12



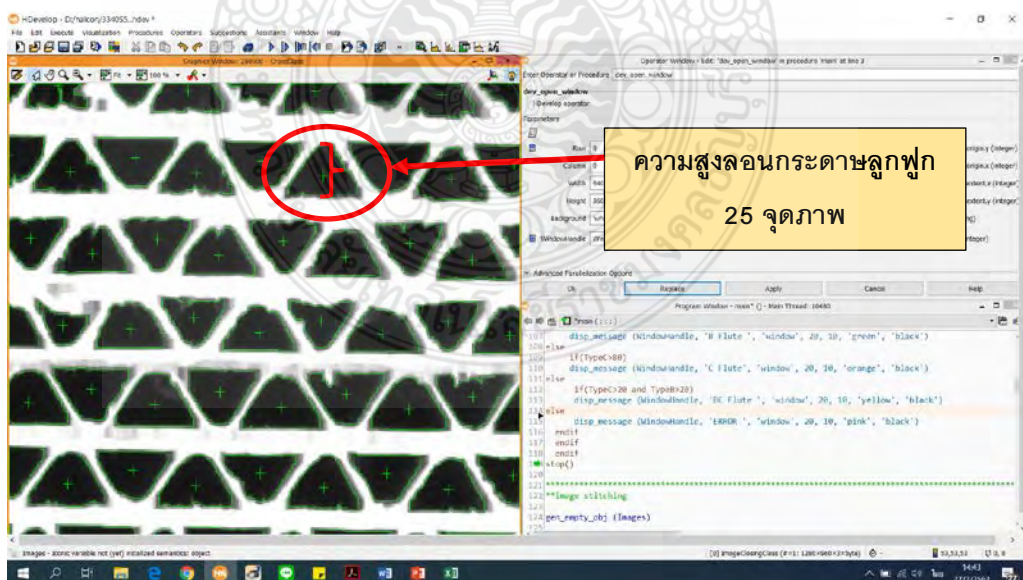
ภาพที่ 3.12 วิเคราะห์ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม Halcon

3) เมื่อได้ค่าความสูงลอน โดยที่ลอน B ค่าความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกจะอยู่ระหว่าง 11-20 จุดภาพ ดังภาพที่ 3.13



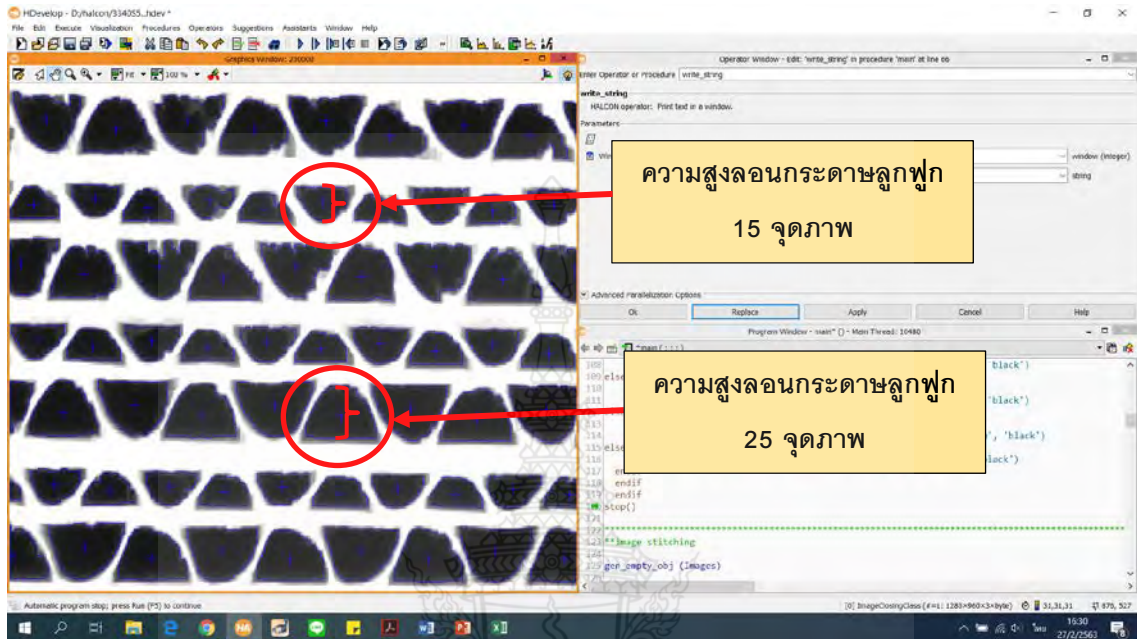
ภาพที่ 3.13 ความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกลอน B ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

4) เมื่อได้ค่าความสูงลอน โดยที่ลอน C ค่าความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกจะอยู่ระหว่าง 21-30 จุดภาพ ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกลอน C ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

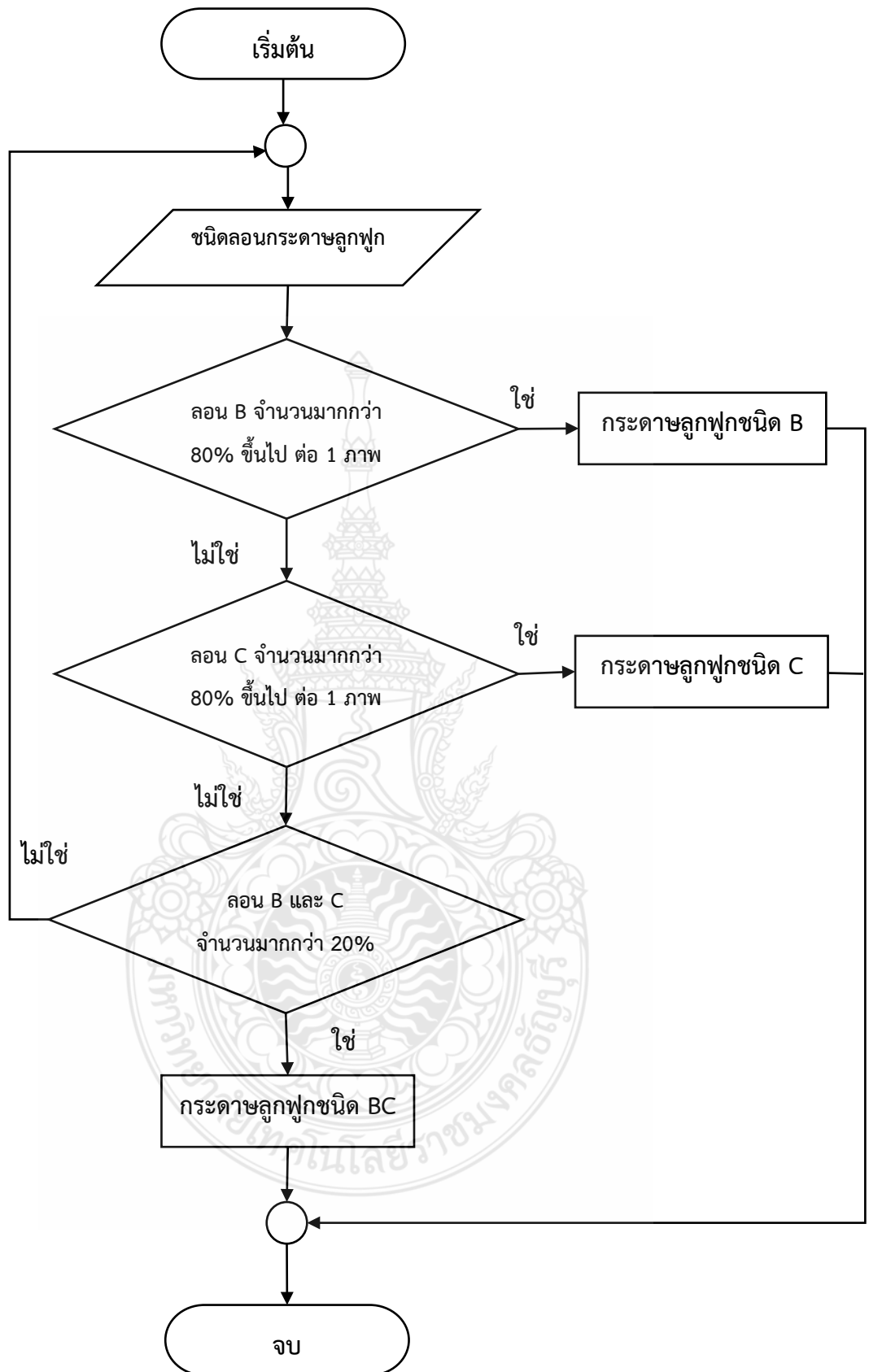
5) กระดาษชนิด BC จะประกอบด้วยลอน B และลอน C ประกอบเข้าด้วยกันเป็น 1 แผ่น ดังนั้นกระดาษชนิด BC จะมีลอน B และ C อยู่ด้วยดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกลอน B และ ลอน C ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

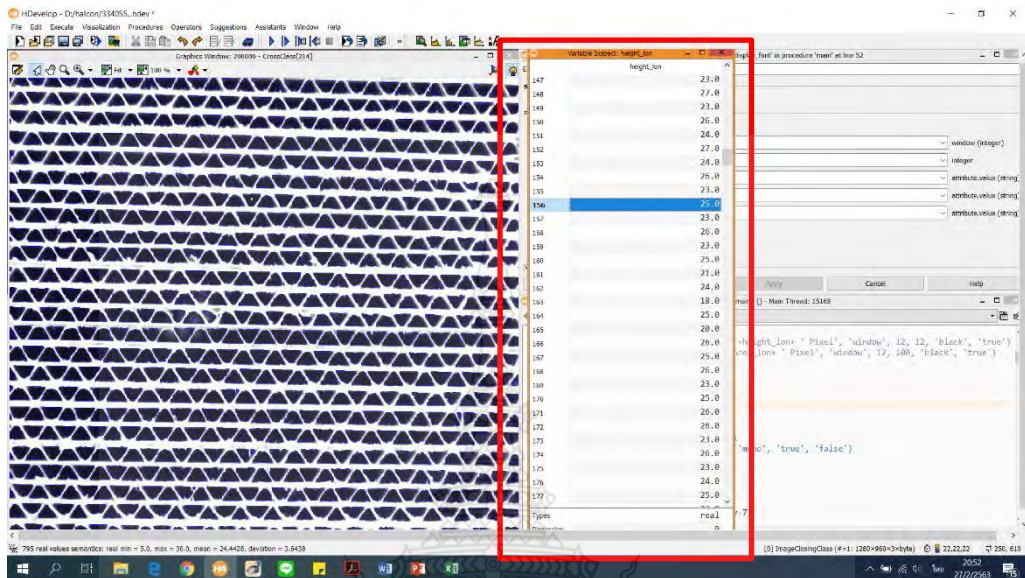
3.2.6 การแยกชนิดกระดาษลูกฟูก

จากภาพกระดาษลูกฟูกภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าสำหรับด้านลอนของกระดาษลูกฟูกสามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูกโดยวิธีการหาพื้นที่ของลอนลูกฟูก ความสูงของลอนลูกฟูก ดังนั้นอัลกอริทึมที่ใช้ในบทความนี้มีเป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งลอนลูกฟูกเพื่อหาค่าพื้นที่และค่าความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกไปแยกชนิดกระดาษลูกฟูก จากภาพที่ 3.16 แสดงอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดของกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด โดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพที่มาจากกล้อง Area Scan ที่มีรายละเอียด 1280 x 960 จุดภาพโดยกล้องตั้งห่างจากกองกระดาษลูกฟูกที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตรและใช้แหล่งจ่ายแสงเพื่อปรับความสว่างของกระดาษลูกฟูกให้มีค่าคงที่ ผลแสดงการแยกกระดาษลูกฟูกด้วยโปรแกรม Halcon ดังภาพที่ 3.19 และ 3.20



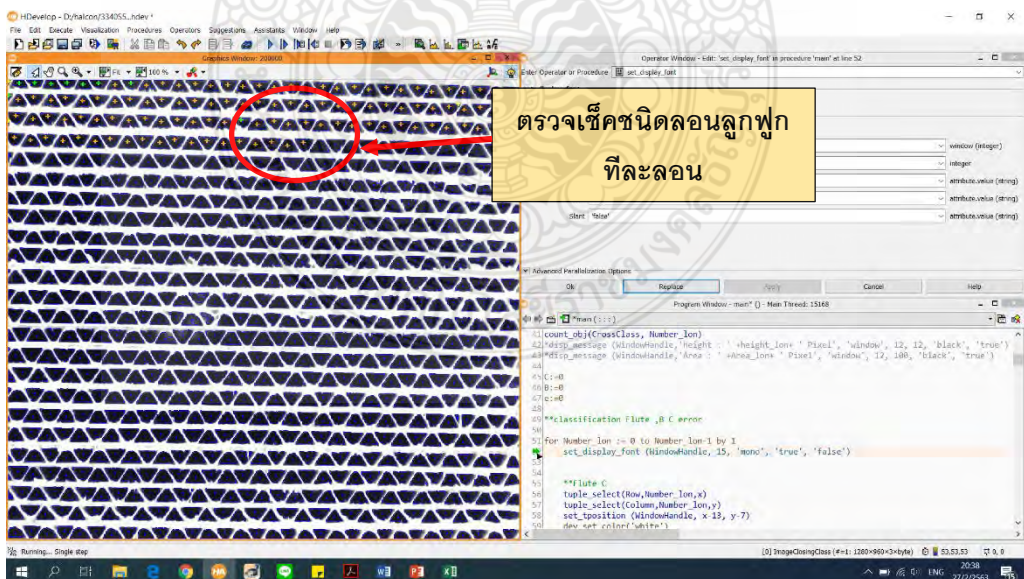
ภาพที่ 3.16 ขั้นตอนการแยกชนิดกระทาชูกฟู

1) เมื่อได้ความสูงของลอนกระตาดลูกฟูกทั้งหมดทุกลอนใน 1 ภาพ จะแสดงความสูงของลอนดังภาพที่ 3.17



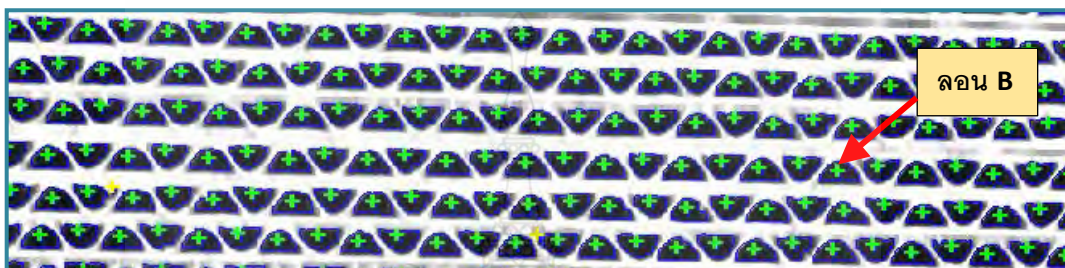
ภาพที่ 3.17 ความสูงของลอนกระตาดลูกฟูกชนิด C

2) ตรวจสอบเช็คชนิดลอนลูกฟูก โดยทำการตรวจสอบเช็คชนิดของลอน ทีละ 1 ลอน ทำการตรวจสอบทุกลอนจนครบลอนทั้งหมดในภาพ แสดงดังภาพที่ 3.18

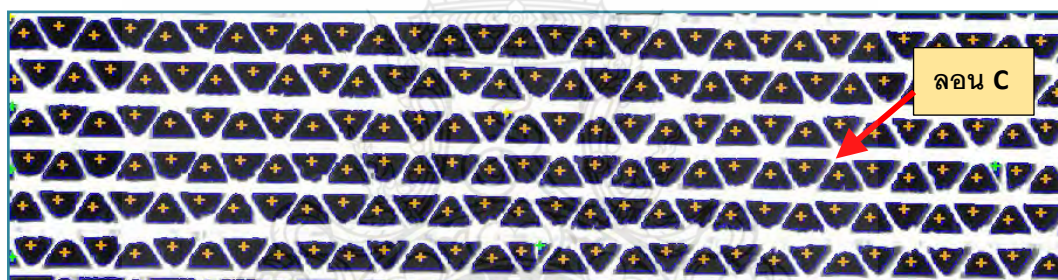


ภาพที่ 3.18 ผลการตรวจสอบเช็คชนิดลอนลูกฟูก ทีละ 1 ลอน

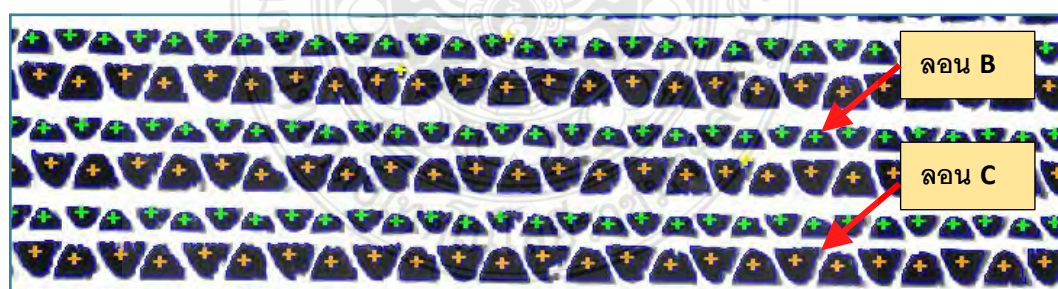
3) หากมีจำนวนลอน B มากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป กำหนดเป็นกระดาดชนิด B โดย ลอน B จะมีเครื่องหมาย + เป็นสีเขียว แสดงดังภาพที่ 3.19 (a) เมื่อมีจำนวนลอน C มากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป กำหนดเป็นกระดาดชนิด C โดยลอน C จะมีเครื่องหมาย + เป็นสีส้ม แสดงดังภาพที่ 3.19 (b) และเมื่อมีจำนวนลอน B และจำนวนลอน C มากกว่าร้อยละ 20 ขึ้นไป จะกำหนดเป็นกระดาดชนิด BC โดยกระดาดชนิด BC จะประกอบด้วยลอน B และลอน C แสดงดังภาพที่ 3.19 (c)



(a) กระดาดลูกฟูกชนิด B

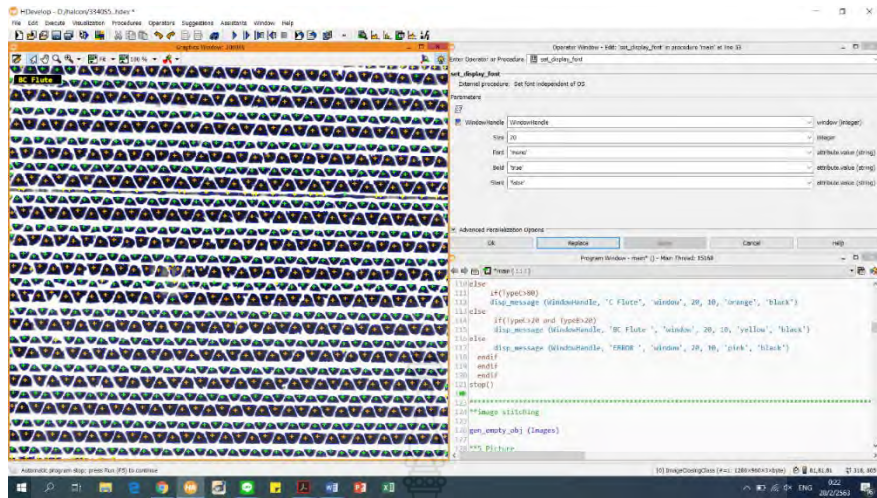


(b) กระดาดลูกฟูกชนิด C



(c) กระดาดลูกฟูกชนิด BC

ภาพที่ 3.19 ผลการแยกกระดาดลูกฟูกชนิด B C และ BC

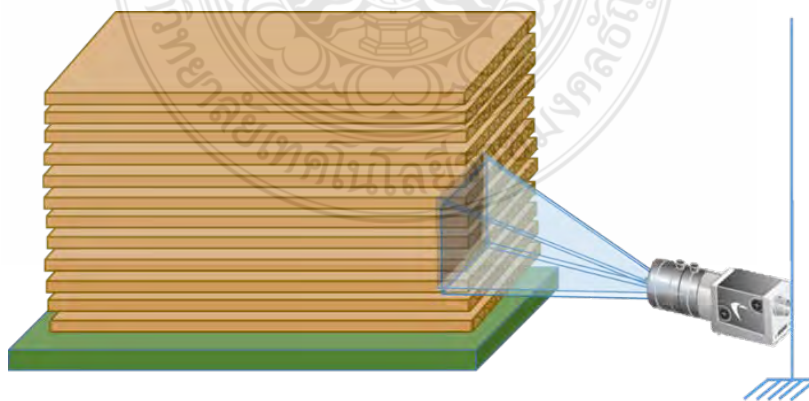


ภาพที่ 3.20 การแยกกระดาดลูกฟูกชนิด BC ด้วยโปรแกรม Halcon

3.3 ออกแบบการรับภาพกระดาดลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่

การออกแบบการรับภาพด้านมุมจะใช้กล้องรับภาพแบบพื้นที่ทำการรับภาพ เนื่องจากหน้างานจริงในกระบวนการผลิตกระดาดลูกฟูกด้านลอนจะอยู่ด้านการส่งออกไปยังกระบวนการผลิตถัดไป ทำให้ไม่สามารถเก็บภาพนำมาตรวจนับได้ และด้านที่สามารถเก็บภาพได้คือด้านรอยตัด ซึ่งการแยกชนิดและการตรวจนับจะเกิดความผิดพลาดสูง จึงได้มีการออกแบบการวางกล้องเก็บภาพด้านมุม และทำการกำหนดมุมที่ใช้ในการทดสอบ

การรับภาพกระดาดลูกฟูก จะทำการทดสอบที่มุมตั้งแต่ 115 ถึงมุม 130 องศาที่ระหว่างด้านลอนและกล้องรับภาพ ภาพที่ได้จากการเก็บภาพด้านมุมจะมีด้านลอนและด้านรอยตัด ซึ่งอัตราส่วนและขนาดของลอนขึ้นอยู่กับที่มุมต่างๆ ลักษณะการรับภาพด้านมุมแสดงดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ลักษณะการรับภาพด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

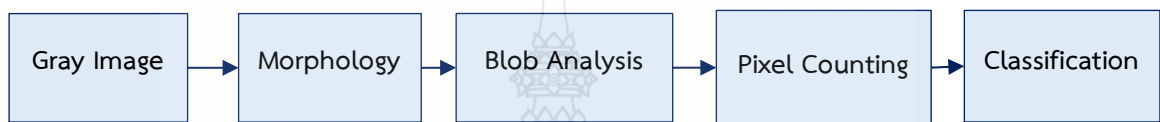
ภาพที่ได้จากการรับภาพด้านมุม จากภาพที่ 3.21 จะเห็นเป็นภาพด้านลอนและภาพด้านรอยตัด ด้านที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ด้านลอนกระดาษลูกฟูกโดยจะนำไปทำการประมวลผลภาพเพื่อใช้สำหรับการแยกกระดาษลูกฟูกว่าจะสามารถแยกกระดาษลูกฟูกได้ตรงตามชนิดหรือไม่ โดยจะใช้วิธีการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งจากในภาพที่ 3.22 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพกระดาษลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ จะเห็นว่าภาพที่กล้องสามารถรับได้จะมีทั้งด้านลอนและด้านรอยตัด



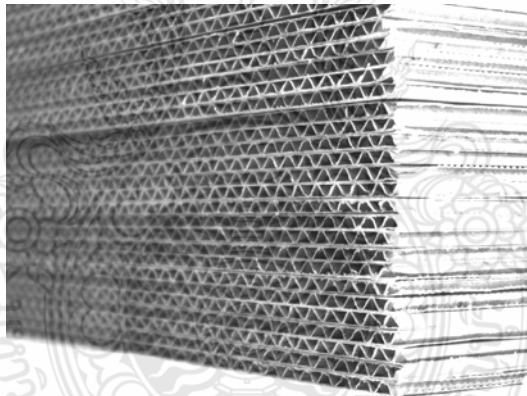
ภาพที่ 3.22 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพกระดาษลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

3.4 ออกแบบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมุมด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่

กระดาษลูกฟูกด้านมุมกับกระดาษลูกฟูกซึ่งเป็นด้านที่เห็นด้านลอนและด้านรอยต่อของกระดาษลูกฟูก ดังภาพที่ 3.24 แสดงให้เห็นว่าด้านลอนสามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูก ซึ่งกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีขนาดลอนที่ไม่เท่ากัน แนวคิดในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อต้องการหาความสูงลอน โดยเทคนิคการหาวัตถุจากการศึกษางานวิจัยในหัวข้อที่ 2.7 มาสร้างเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกดังภาพที่ 3.23 การออกแบบอัลกอริทึมมีเป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อนำความสูงลอนมาทำการนับพิกเซลไปแยกชนิดของกระดาษสำหรับรายละเอียดอัลกอริทึมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.23 อัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมุมของกระดาษลูกฟูก



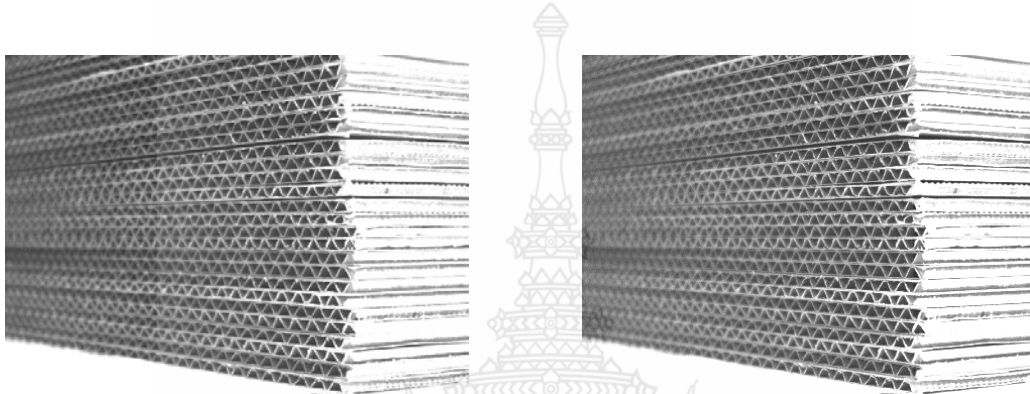
ภาพที่ 3.24 กระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุม

3.4.1 ภาพระดับสีเทา

ภาพที่ได้รับจากกล้องที่ใช้สำหรับการทดสอบเป็นภาพระดับสีเทา ซึ่งจะมีค่าระดับสีอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 และก่อนที่จะนำภาพไปใช้ตรวจหาพื้นที่ของวัตถุในภาพจะต้องแปลงภาพจากระดับภาพสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ ซึ่งจะมีค่าแค่ 0 กับ 1 เพื่อลดจำนวนข้อมูลในภาพน้อยลงโดยการใช้การกำหนดค่าขีดแบ่ง เพื่อแยกกระดาษลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลัง

3.4.2 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อใช้ในการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งทำให้ภาพมีข้อมูลลดลงในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งเป็นแบบคงที่ เนื่องจากการทดสอบได้มีการควบคุมสิ่งแวดล้อมและใช้อุปกรณ์ให้แสงควบคุมความสว่างของผิวกระดาษลูกฟูก โดยกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 100 จากภาพที่ 3.25 (a) เป็นตัวอย่างภาพระดับสีเทาที่ใช้ทดสอบเมื่อทำการกำหนดค่าขีดแบ่งทำให้ได้ภาพขาวดำตามภาพที่ 3.25 (b)



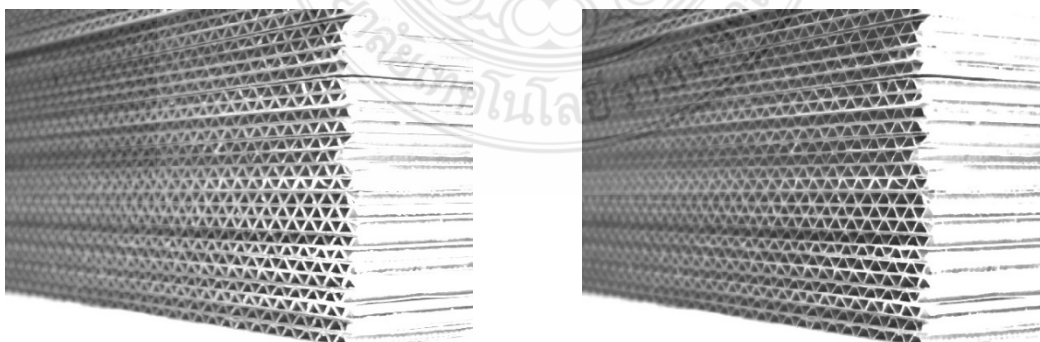
(a) ภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

(b) ภาพขาวดำ (Binary Image)

ภาพที่ 3.25 การเปลี่ยนภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำของภาพด้านมุม

3.4.3 เทคนิคมอร์โฟโลยี

เนื่องจากภาพกระดาษลูกฟูกมีลอนที่ไม่สมบูรณ์ จึงต้องทำการปรับปรุงภาพก่อนนำมาหาลอน จึงได้ทำการปรับปรุงภาพเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.3 โดยทำการกร่อนภาพ ดังสมการที่ (2.2) หลังการปรับปรุงจะแสดงดังภาพที่ 3.26 (a) และทำการขยายภาพ ดังสมการที่ (2.3) แสดงดังภาพที่ 3.26 (b) เพื่อให้เห็นลอนกระดาษลูกฟูกชัดเจนยิ่งขึ้น



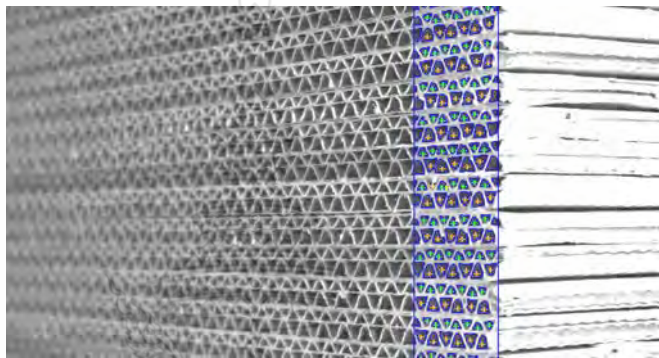
(a)การกร่อนภาพ

(b)การขยายภาพภาพ

ภาพที่ 3.26 กระบวนการปรับปรุงภาพเพื่อหาลอนของกระดาษลูกฟูกด้านมุม

3.4.4 การวิเคราะห์บล็อก (BLOB Analysis)

การวิเคราะห์บล็อกนำมาใช้สำหรับหาตำแหน่งของวัตถุเพื่อจะหาจุดศูนย์กลางของวัตถุในแต่ละตำแหน่ง สำหรับการทดสอบนี้เป็นการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกโดยที่รูปร่างของลอนลูกฟูกแต่ละลอนจะมีลักษณะแตกต่างกัน การนำการวิเคราะห์บล็อกเข้ามาช่วยวิเคราะห์จะทำให้สามารถหาตำแหน่งลอนของกระดาษลูกฟูกได้ และเมื่อทราบตำแหน่งของแต่ละลอนแล้วก็จะสามารถหาความสูงของแต่ละลอนได้ เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 3.2.4 โดยภาพที่ 3.27 เป็นภาพแสดงการวิเคราะห์แบบบล็อกของลอนกระดาษลูกฟูกด้านมุม

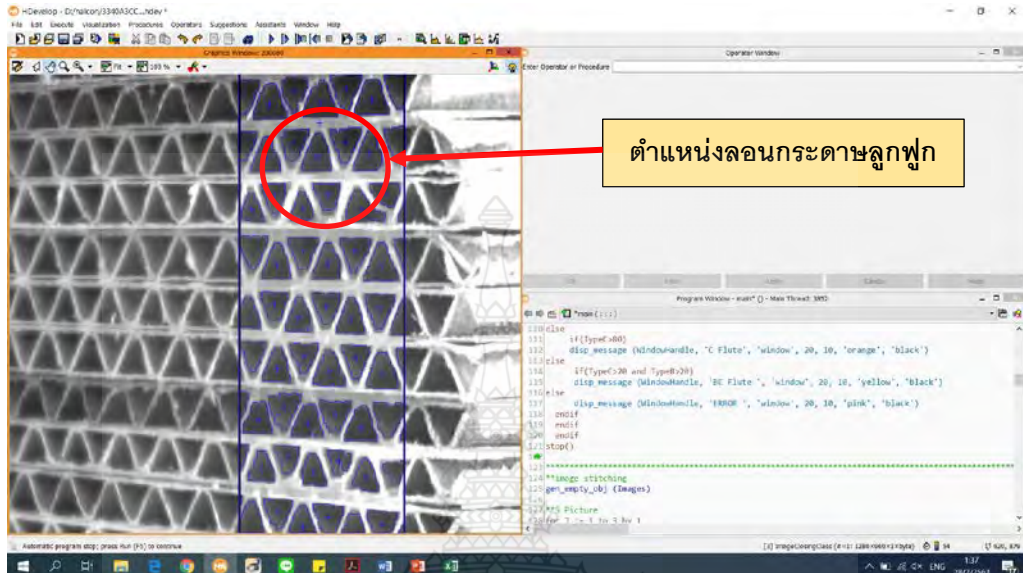


ภาพที่ 3.27 ลอนกระดาษลูกฟูกด้านมุมโดยวิธีการวิเคราะห์แบบบล็อก

3.4.5 การนับพิกเซล

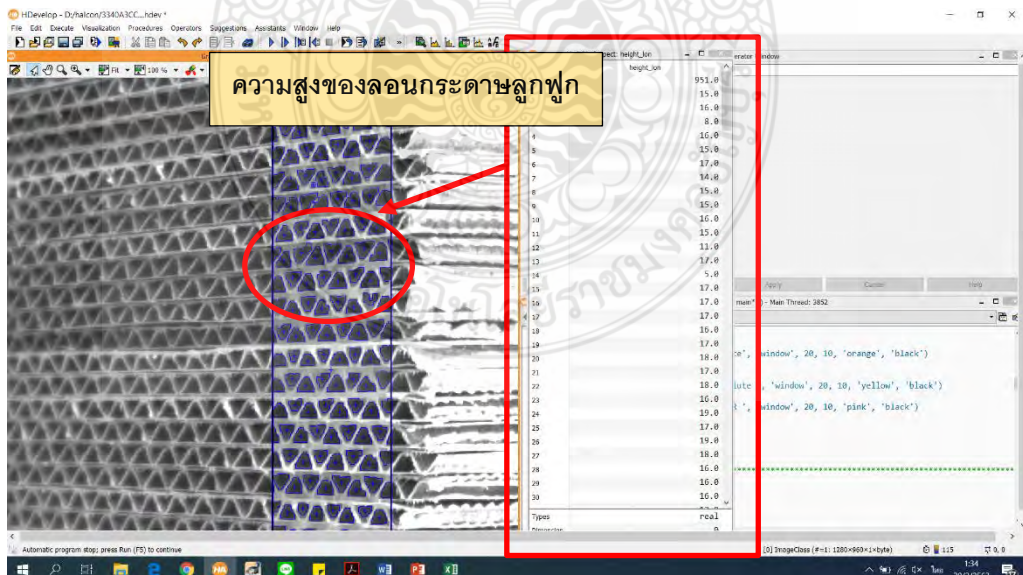
การนับพิกเซลของลอนกระดาษลูกฟูกจะนำพื้นที่ลอนที่ได้จากการวิเคราะห์บล็อก ซึ่งจะทำให้ได้จุดศูนย์กลางลอน ขนาดลอน และความสูงของลอน ดังนั้นจึงนำความสูงลอนที่ได้มากำหนดเป็นชนิดกระดาษลูกฟูก กำหนดระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ที่มุม 125 องศา ได้ค่าความสูงของลอน B จะอยู่ในช่วง 11-20 จุดภาพ และลอน C ค่าความสูงอยู่ในช่วง 21-30 จุดภาพ โดยที่ค่าความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกชนิด C เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.5 แสดงดังภาพที่ 3.28 แสดงขั้นตอนการหาความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก โดยการกำหนดพื้นที่ที่ใช้ทดสอบ 150x950 จุดภาพ

1) จากภาพลอนกระดาศลูกฟูกได้ตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูกทั้งหมดในภาพ จาก การวิเคราะห์ที่ล๊อบ แสดงผลการวิเคราะห์ที่ล๊อบดังภาพที่ 3.28



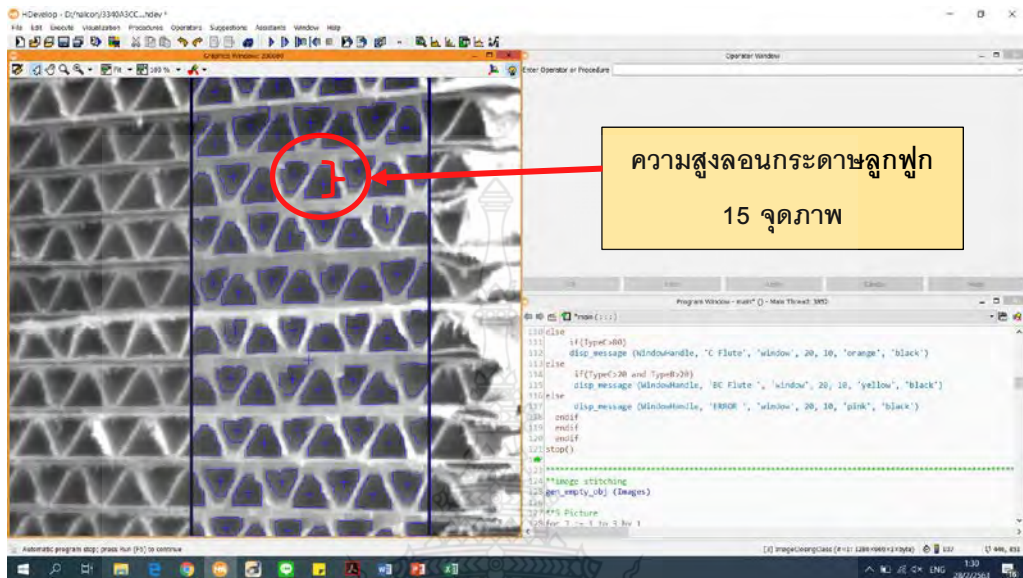
ภาพที่ 3.28 ตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูกด้านมุม

2) ทำการวิเคราะห์ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกด้วยโปรแกรม Halcon ด้วยเทคนิค การนับพิกเซล โดยทำการนับส่วนที่เป็นความสูง (Row) ของลอน จะได้ผลความสูงของลอนดังภาพที่ 3.29



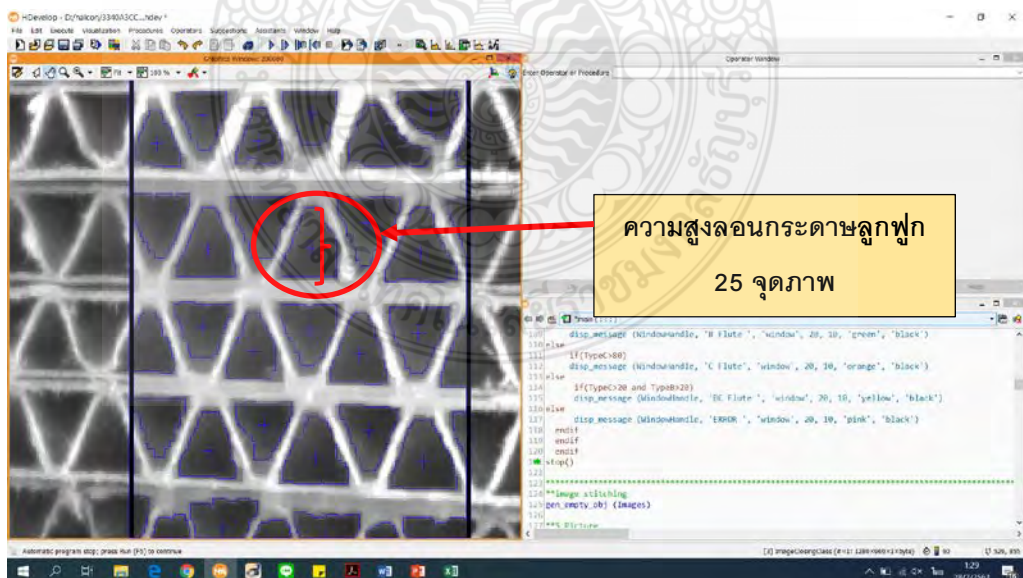
ภาพที่ 3.29 ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกด้านมุม

3) เมื่อได้ค่าความสูงลอน โดยที่ลอน B ค่าความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกจะอยู่ระหว่าง 11-20 จุดภาพ ดังภาพที่ 3.30



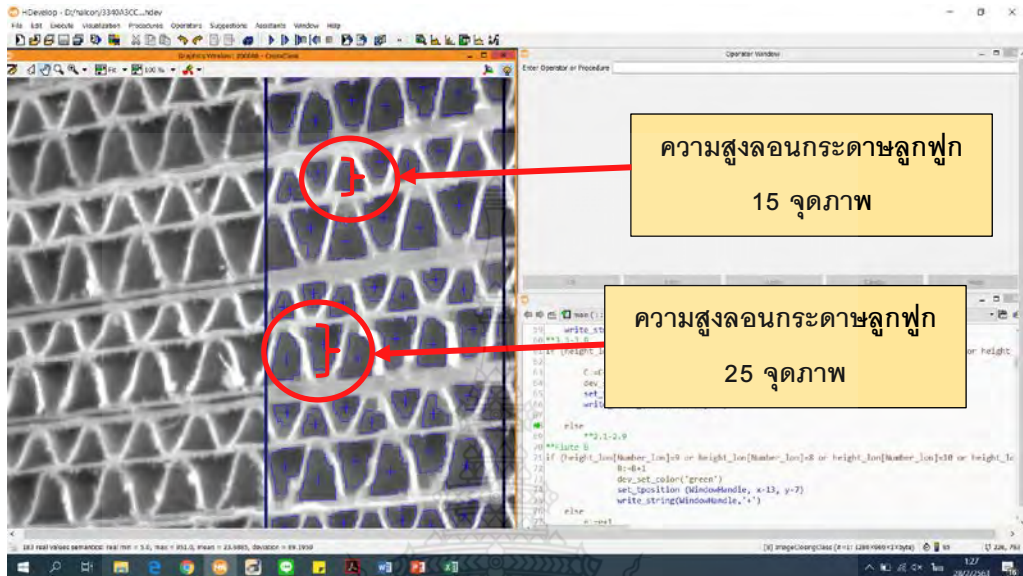
ภาพที่ 3.30 ความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกชนิด B ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

4) เมื่อได้ค่าความสูงลอน โดยที่ลอน C ค่าความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกจะอยู่ระหว่าง 21-30 จุดภาพ ดังภาพที่ 3.31



ภาพที่ 3.31 ความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกชนิด C ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

5) กระจาดชนิด BC จะประกอบด้วยลอน B และลอน C ประกอบเข้าด้วยกันเป็น 1 แผ่น ดังนั้นกระจาดชนิด BC จะมีลอน B และ C อยู่ด้วยดังภาพที่ 3.32

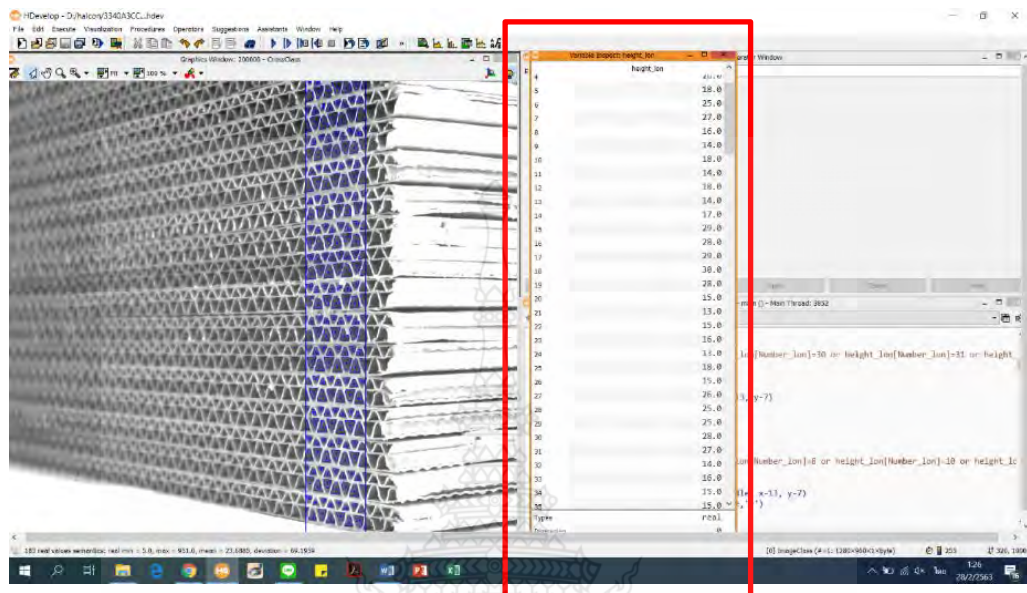


ภาพที่ 3.32 ความสูงของลอนกระจาดลูกฟูกชนิด BC ด้านมุม ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

3.4.6 การแยกชนิดกระจาดลูกฟูก

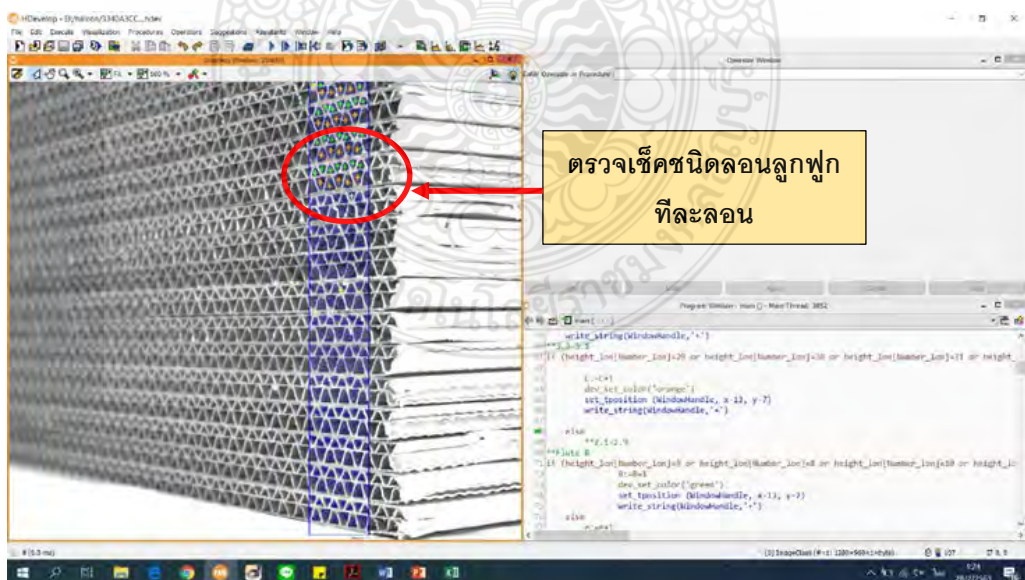
จากภาพที่ 3.33 แสดงให้เห็นว่าสำหรับการรับภาพด้านมุมของกระจาดลูกฟูก จะเห็นทั้งภาพด้านลอนและด้านรอยตัดซึ่งจะใช้ด้านลอนในการหาตำแหน่งลอนของกระจาดลูกฟูกโดยวิธีการหาพื้นที่ของลอนลูกฟูก ความสูงของลอนลูกฟูก ดังนั้นอัลกอริทึมที่ใช้ในบทความนี้มีเป้าหมายเพื่อต้องการหาตำแหน่งลอนลูกฟูกเพื่อหาค่าพื้นที่และค่าความสูงของลอนกระจาดลูกฟูกไปแยกชนิดกระจาดลูกฟูก อัลกอริทึมที่ใช้เช่นเดียวกับกับหัวข้อที่ 3.2.6 ทดสอบโดยการรับภาพจากกล้อง Area Scan ที่มีรายละเอียด 1280 x 960 จุดภาพโดยกล้องตั้งห่างจากกองกระจาดลูกฟูกที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ที่มุม 125 องศา ผลแสดงการแยกกระจาดลูกฟูกด้วยโปรแกรม Halcon ดังภาพที่ 3.36

1) เมื่อได้ความสูงของลอนกระตาดลูกฟูกทั้งหมดทุกลอนของพื้นที่ที่ใช้ทดสอบ 150x950 จุดภาพ จะแสดงความสูงของลอนดังภาพที่ 3.33



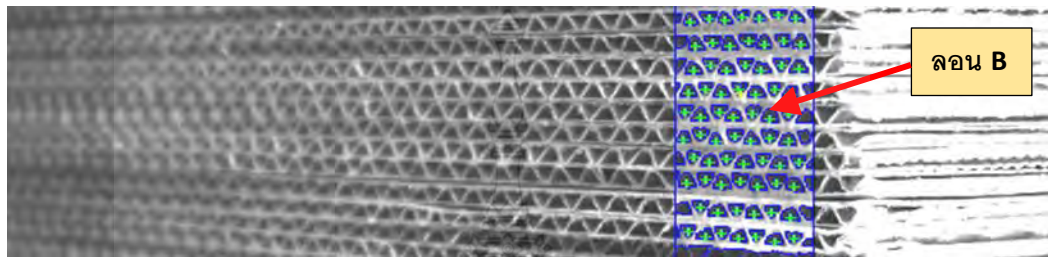
ภาพที่ 3.33 ความสูงของลอนลูกฟูกด้านมุม

2) ตรวจสอบเช็คชนิดลอนลูกฟูก โดยทำการตรวจสอบเช็คชนิดของลอน ทีละ 1 ลอน ในพื้นที่ที่ใช้ทดสอบ 150x950 จุดภาพ แสดงดังภาพที่ 3.34

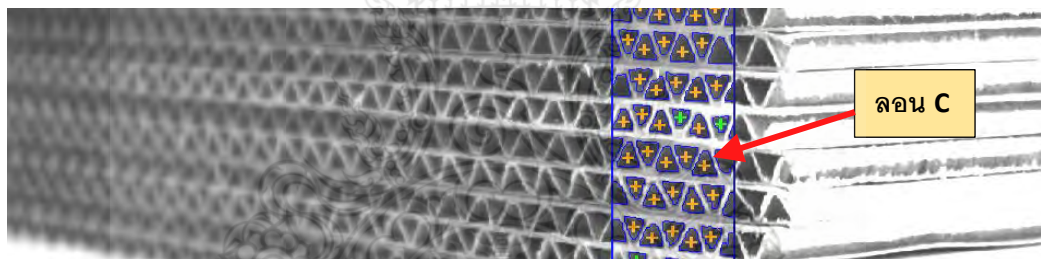


ภาพที่ 3.34 ผลการตรวจเช็คชนิดลอนลูกฟูก ทีละ 1 ลอน ของภาพด้านมุม

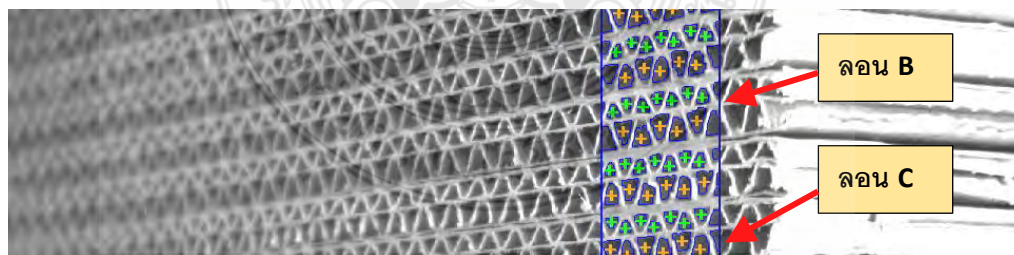
3) หากมีจำนวนลอน B มากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป กำหนดเป็นกระดาศชนิด B โดย ลอน B จะมีเครื่องหมาย + เป็นสีเขียว แสดงดังภาพที่ 3.35 (a) เมื่อมีจำนวนลอน C มากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป กำหนดเป็นกระดาศชนิด C โดยลอน C จะมีเครื่องหมาย + เป็นสีส้ม แสดงดังภาพที่ 3.35 (b) และเมื่อมีจำนวนลอน B และจำนวนลอน C มากกว่าร้อยละ 20 ขึ้นไป จะกำหนดเป็นกระดาศชนิด BC โดยกระดาศชนิด BC จะประกอบด้วยลอน B และลอน C แสดงดังภาพที่ 3.35 (c)



(a) กระดาศชนิด B ด้านมุม 125 องศา

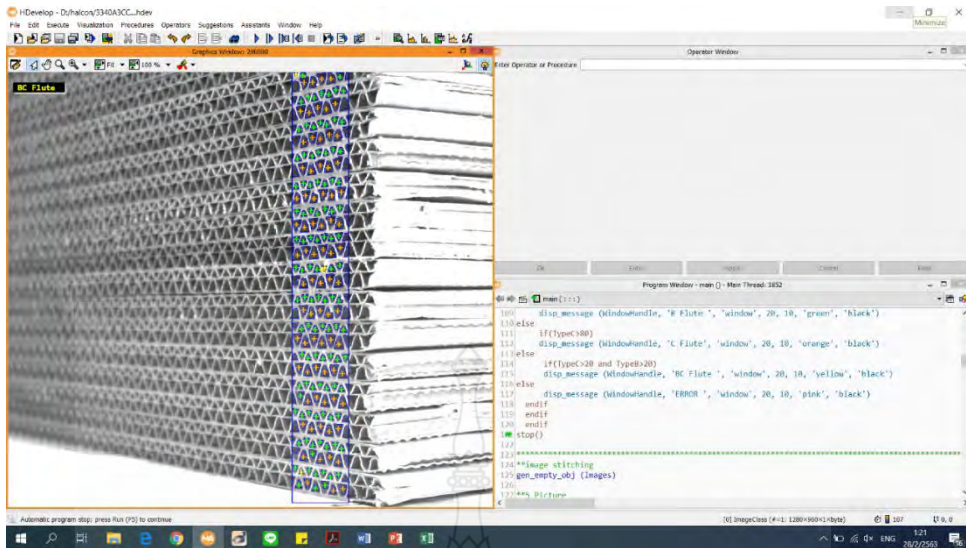


(b) กระดาศชนิด C ด้านมุม 125 องศา



(c) กระดาศชนิด BC ด้านมุม 125 องศา

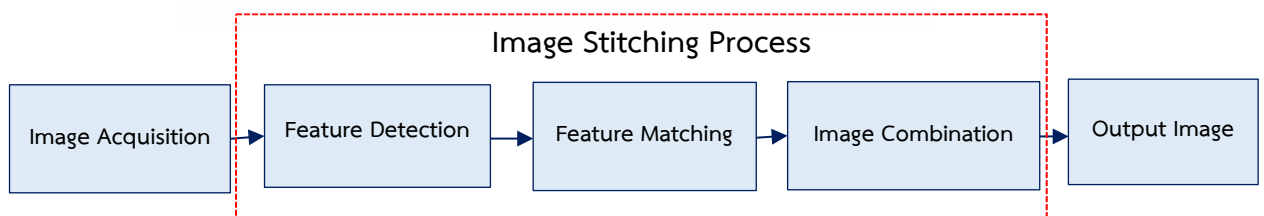
ภาพที่ 3.35 ผลการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ที่มุม 125 องศา



ภาพที่ 3.36 การแยกกระดาดชลุ้กฟูกด้านมุมชนิด BC ด้วยโปรแกรม Halcon

3.5 ออกแบบการรวมภาพกระดาดชลุ้กฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพ

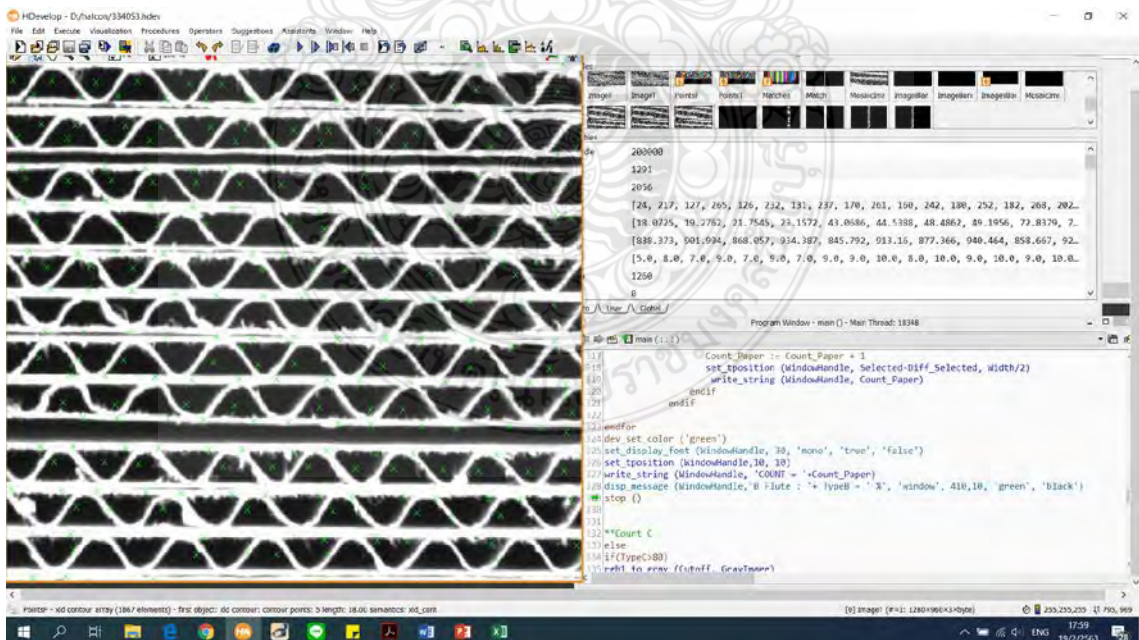
ภาพกระดาดชลุ้กฟูกที่ได้จากการรับภาพด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะมีพื้นที่ในการรับภาพที่จำกัดจึงนำภาพลอนชลุ้กฟูกจำนวนหลายภาพที่ถูกรับภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ โดยใช้เทคนิคการต่อภาพซึ่งเป็นวิธีสำหรับการนำภาพจำนวนหลายภาพนำมารวมให้เป็นภาพเดียวกันขนาดใหญ่หนึ่งภาพซึ่งจะทำให้มีรายละเอียดของภาพครอบคลุมตามต้องการ ดังนั้นการที่แต่ละภาพจะสามารถนำมาต่อกันจำเป็นต้องกำหนดให้ภาพต่างๆที่อยู่ติดกันมีส่วนที่ซ้อนทับกันเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการต่อภาพ โดยที่พื้นที่ที่ซ้อนทับกันระหว่างภาพที่อยู่ติดกันหากมีค่าน้อยจะทำให้จำนวนภาพที่นำมาใช้ในการต่อภาพมีจำนวนน้อยตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้การต่อภาพมีความรวดเร็วดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเทคนิคการต่อภาพมาใช้สำหรับรวมภาพลอนกระดาดชลุ้กฟูกชนิด B C และ BC และได้ทำการทดสอบหาขนาดที่การซ้อนทับของภาพที่อยู่ติดกันที่มีขนาดน้อยที่สุดที่จะยังคงทำให้ภาพลอนกระดาดชลุ้กฟูกแต่ละชนิดสามารถต่อกันได้ถูกต้อง โดยที่บริเวณพื้นที่ที่ซ้อนทับกันระหว่างภาพจะเป็นตำแหน่งที่ทำให้แต่ละภาพสามารถต่อกันได้ สำหรับอัลกอริทึมการรวมภาพลอนกระดาดชลุ้กฟูกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.37



ภาพที่ 3.37 อัลกอริทึมการรวมภาพกระดาดชลุ้กฟูก

3.5.1 การตรวจหาคุณลักษณะภาพ (Feature Detection)

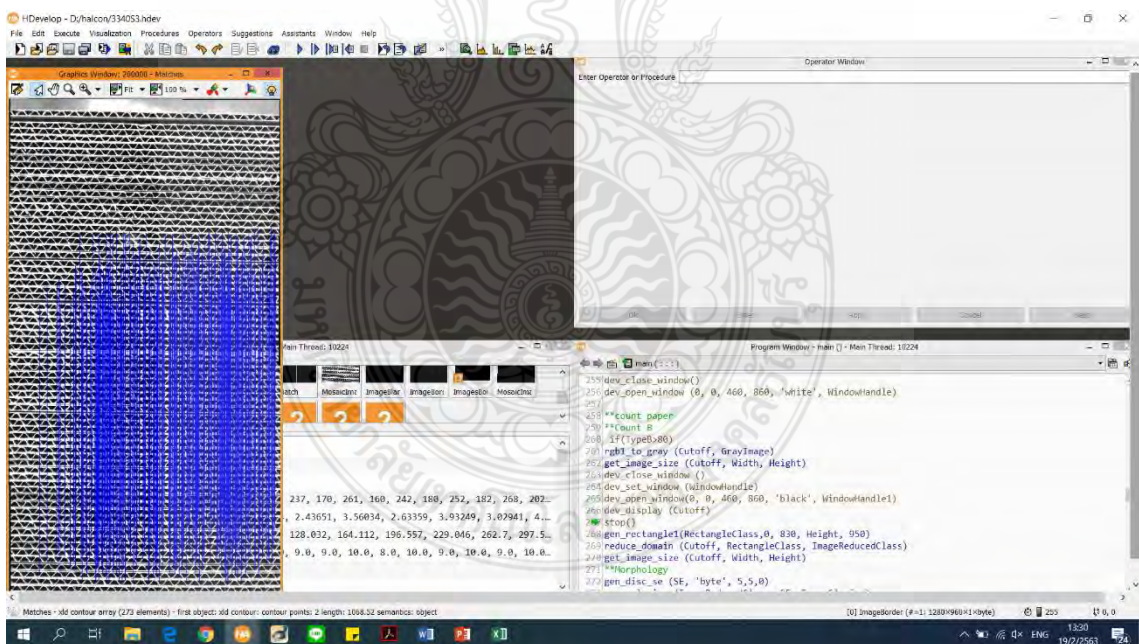
ภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกที่ถูกรับด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่จะถูกส่งมายังโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์โดยสื่อสารผ่านทาง GigE Vision เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการต่อภาพโดยภาพจะถูกทำการประมวลผลตามอัลกอริทึมการรวมภาพที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการหาคุณลักษณะภาพซึ่งจะมีความโดดเด่นและแตกต่างไปจากบริเวณที่อยู่รอบข้าง และสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกก่อนที่จะนำไปตรวจหาคุณลักษณะภาพจะต้องถูกกำจัดสัญญาณรบกวนเพื่อทำให้มีความคมชัดก่อนด้วยวิธีการกรองภาพแบบเกาส์เซียน ซึ่งจะเลือกการกรองด้วยวิธีคอนโวลูชัน เพื่อให้ระดับความเข้มแสงของเส้นลอนกระดาษลูกฟูกกับภาพพื้นหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน หลังจากผ่านการกรองแล้วไปตรวจหาคุณลักษณะภาพเพื่อทำให้คุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกมีความเด่นชัดขึ้น สำหรับคุณลักษณะภาพที่เลือกนำมาใช้ในการตรวจหาคุณลักษณะของภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคุณลักษณะมุมภาพ เนื่องจากมีความทนทานและไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภาพ โดยได้นำวิธีการตรวจหามุมของฟอร์ทเนอร์ (Foerster Corner Detector) มาใช้ในการตรวจหาคุณลักษณะมุมภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูก ซึ่งจะพิจารณาจากจุดภาพของบริเวณส่วนที่เป็นเส้นลอนลูกฟูกกับพื้นหลัง ซึ่งจะมีค่าระดับความเข้มสีที่แตกต่างกัน และสำหรับบริเวณของจุดภาพที่มีระดับความเข้มสีแตกต่างกัน จะทำให้เกิดเป็นจุดตัดระหว่างมุมของจุดภาพขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.38



ภาพที่ 3.38 คุณลักษณะมุมภาพกระดาษลูกฟูกที่ได้จากวิธีของฟอร์ทเนอร์

3.5.2 การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature Matching)

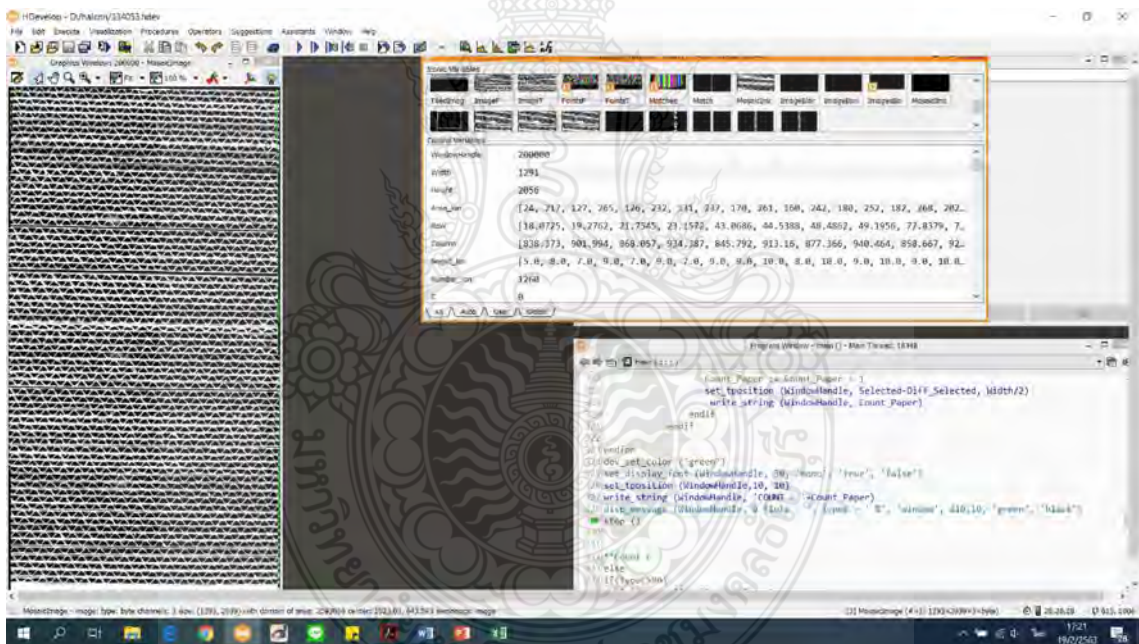
เมื่อทำการหาคุณลักษณะภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกได้แล้ว จากนั้นคุณลักษณะของภาพในแต่ละภาพที่มีความสอดคล้องกันจะถูกนำมาจับคู่กันเพื่อให้ภาพด้านลอนลูกฟูกแต่ละภาพสามารถทำต่อกันได้ โดยวิธีการจับคู่คุณลักษณะภาพจำเป็นต้องกำจัดคุณลักษณะของภาพที่ไม่สอดคล้องกันออกไปเพื่อทำให้การจับคู่ของแต่ละภาพมีความถูกต้อง เนื่องจากคุณลักษณะภาพที่หาได้จากในขั้นตอนก่อนหน้านั้นจะเป็นการหาคุณลักษณะภาพของด้านลอนลูกฟูกทั้งหมด ซึ่งจะทำให้มีคุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันและไม่สอดคล้องกันรวมอยู่ด้วยกัน ดังนั้นจึงได้นำวิธีของ RANSAC (Random Sample Consensus) มาใช้เพื่อกำจัดคุณลักษณะของภาพที่ไม่สอดคล้องกันออกไป ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าโดยจะหาจากระยะห่างของคุณลักษณะที่สอดคล้องกันแล้วเปรียบเทียบกับระยะค่ากำหนดขีดแบ่ง โดยที่คุณลักษณะภาพที่มีความสอดคล้องกันจะมีระยะห่างที่น้อยกว่าระยะค่ากำหนดขีดแบ่ง ในภาพที่ 3.39 แสดงการหาคุณลักษณะเด่นในภาพของแต่ละภาพและนำบริเวณของภาพที่เป็นจุดเดียวกันมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยจุดสีเขียวแสดงการหาลักษณะเด่นภาพของแต่ละภาพ และเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงการเชื่อมต่อกันของลักษณะจุดภาพที่สอดคล้องกันแต่ละภาพ



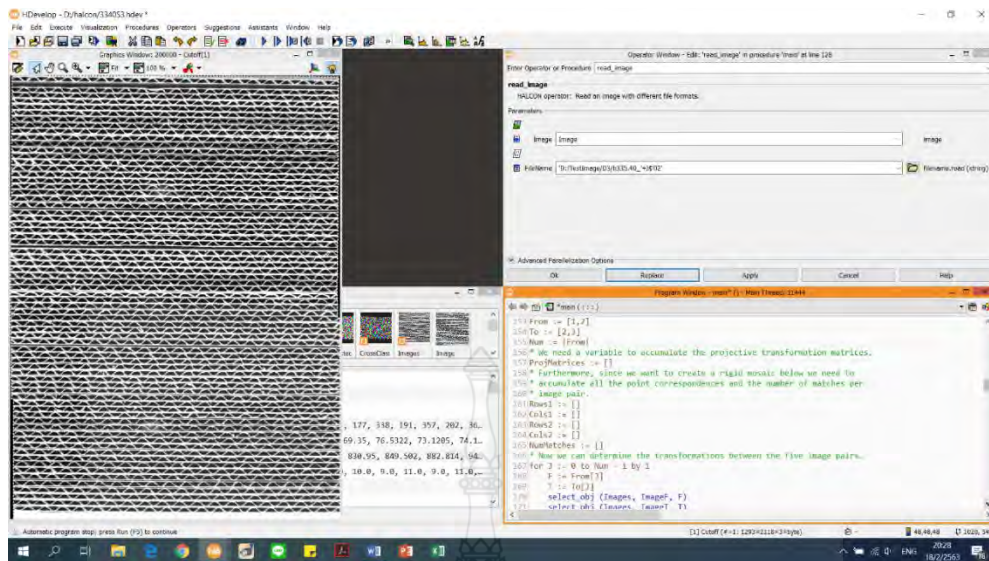
ภาพที่ 3.39 การจับคู่คุณลักษณะภาพที่สอดคล้องกัน

3.5.3 การรวมภาพ (Image Combination)

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของเทคนิคการต่อภาพคือการนำภาพทั้งหมดมารวมกันโดยที่ คุณลักษณะของภาพที่มีความสอดคล้องกันจะถูกนำมาจับคู่เข้าด้วยกัน เพื่อให้ภาพสามารถรวมเป็น ภาพเดียวกันได้ ซึ่งภาพที่เกิดจากการรวมกันจะมีลักษณะที่เอียงไปตามตำแหน่งของคุณลักษณะภาพที่ จับคู่กัน ซึ่งเมื่อทุกภาพถูกนำมารวมกันทั้งหมดแล้วพบว่าจะมีการเอียงไปจากแนวที่ควรจะเป็น แสดงดัง ภาพที่ 3.40 ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับโครงสร้างภาพทั้งหมดให้เรียงเป็นแนวเดียวกัน วิทยาพนธ์นี้ได้นำวิธี Bundle adjustment มาใช้เพื่อให้ภาพทั้งหมดเรียงอยู่ในแนวที่ควรจะเป็น ซึ่งเป็นวิธีสำหรับปรับปรุง โครงสร้างของภาพให้เหมือนกับลักษณะภาพจริง และเป็นการจัดโครงสร้างภาพให้มีความถูกต้องกับของ จริงมากที่สุดแสดงดังภาพที่ 3.41 ซึ่งเป็นการรวมภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูก 3 ภาพ โดยถูกปรับปรุง โครงสร้างการรวมภาพด้วยวิธี Bundle adjustment



ภาพที่ 3.40 ผลการต่อภาพกระดาศลูกฟูก

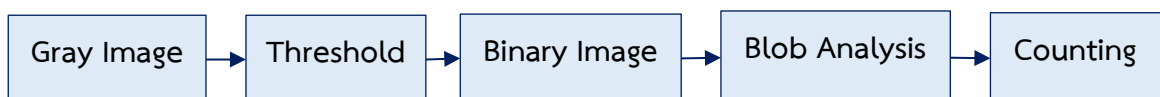


ภาพที่ 3.41 ผลการต่อภาพระดาศลुकฟुकหลังใช้ Bundle adjustment

หลังจากได้ทำการรวมภาพระดาศลुकฟुकทั้งหมดให้เป็นภาพเดียวกันได้แล้ว สำหรับขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนับจำนวนระดาศลुकฟुकโดยนำผลลัพธ์ภาพที่ได้จากการต่อภาพมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาจำนวนระดาศลुकฟुकว่ามีจำนวนถูกต้องตรงกับระดาศที่นำมาใช้ในการทดสอบหรือไม่ โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อที่ 3.6

3.6 ออกแบบอัลกอริทึมการนับจำนวนระดาศลुकฟुक

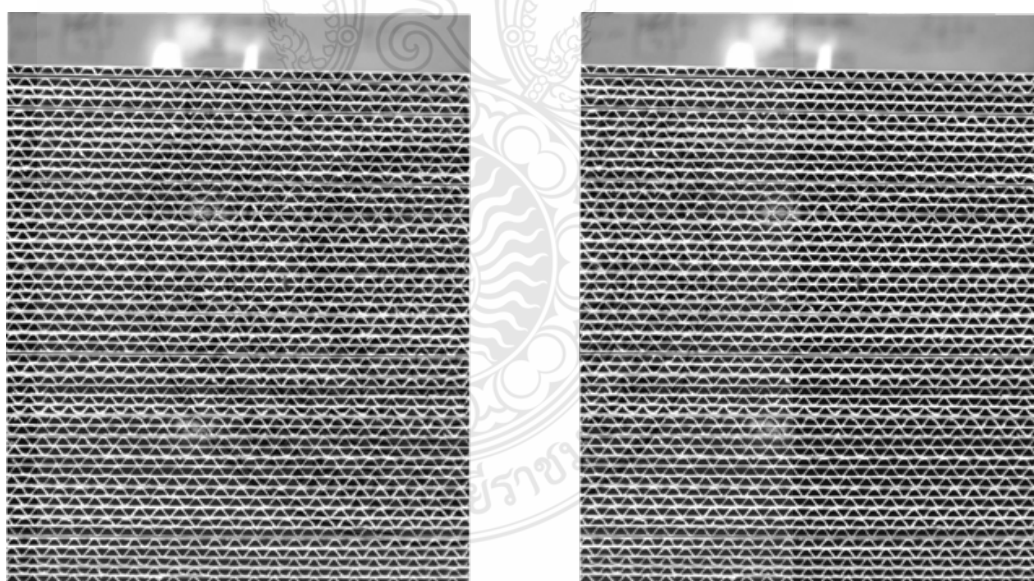
จากภาพที่ 3.41 แสดงผลลัพธ์ของการรวมภาพระดาศลुकฟुकด้วยเทคนิคการต่อภาพ จากนั้นนำภาพที่ได้ไปทดสอบการนับจำนวนระดาศลुकฟुकเพื่อทดสอบความถูกต้อง โดยใช้หลักการของการวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจนับระดาศลुकฟुकว่ามีจำนวนระดาศตรงตามจำนวนที่นำมาทดสอบหรือไม่ ทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์สลับตรวจหาตำแหน่งของลอนระดาศลुकฟुक เริ่มจากการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ของลอนลुकฟुकแต่ละลอน เพื่อหาจุดศูนย์กลางลอน และนำค่าจุดศูนย์กลางที่ได้ไปใช้หาจำนวนระดาศลुकฟुक โดยมีรายละเอียดของอัลกอริทึมการนับระดาศลुकฟुकแสดงดังภาพที่ 3.42



ภาพที่ 3.42 อัลกอริทึมสำหรับการนับจำนวนระดาศลुकฟुक

3.6.1 การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold)

สำหรับกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นกล้องชนิดที่ให้ภาพระดับสีเทา โดยจะมีค่าของระดับสีอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขนาดข้อมูลภาพให้มีค่าน้อยลงเพื่อทำให้การประมวลผลภาพมีความรวดเร็วขึ้นจึงได้ทำการแปลงภาพระดับสีเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยใช้วิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อแยกภาพออกเป็น 2 ส่วนซึ่งจะทำให้ข้อมูลภาพมีค่าอยู่ที่ 2 กับ 1 ซึ่งการที่ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกมีลักษณะเป็นภาพขาวดำจะทำให้สามารถแยกลอนของกระดาศลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลังได้ที่ค่าขีดแบ่ง 100 ดังภาพที่ 3.43 และเพื่อนำภาพไปใช้ในการตรวจหาพื้นที่ของวัตถุในภาพในขั้นตอนต่อไปซึ่งจะเห็นว่าลอนของกระดาศลูกฟูกบางลอนนั้นไม่ชัดเจนดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีด้วยวิธีการปิดภาพดังสมการที่ (2.4) ก่อนนำไปทำการนับกระดาศเพื่อทำการปิดจุดภาพสีขาวในลอนและให้ได้ลอนที่มีสีดำชัดเจนขึ้นโดยได้เลือกใช้ส่วนประกอบโครงสร้างของเมตริกซ์ ที่มีขนาด 5x5 เพราะหากส่วนประกอบโครงสร้างมีขนาดเล็กจะทำให้ปิดวัตถุได้ไม่หมดและถ้าขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ลอนบางส่วนหายไปซึ่งจะส่งผลทำให้การนับผิดพลาด



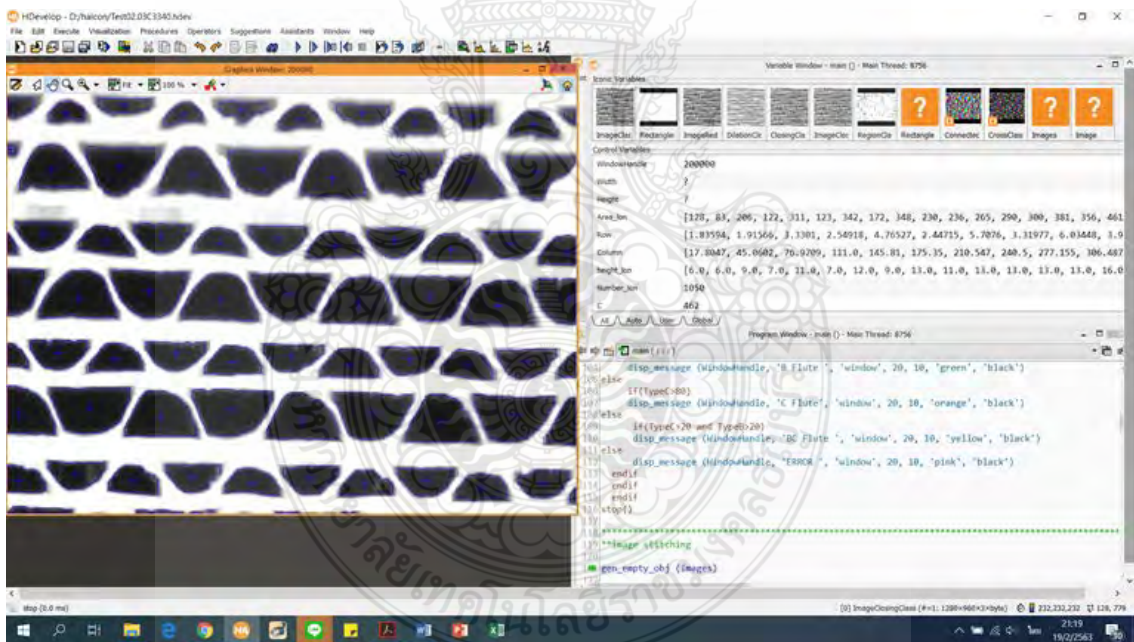
(a) ภาพระดับสีเทา

(b) ภาพขาวดำ

ภาพที่ 3.43 การปรับปรุงภาพสำหรับการนับ

3.6.2 การวิเคราะห์หีบถอบ (Blob Analysis)

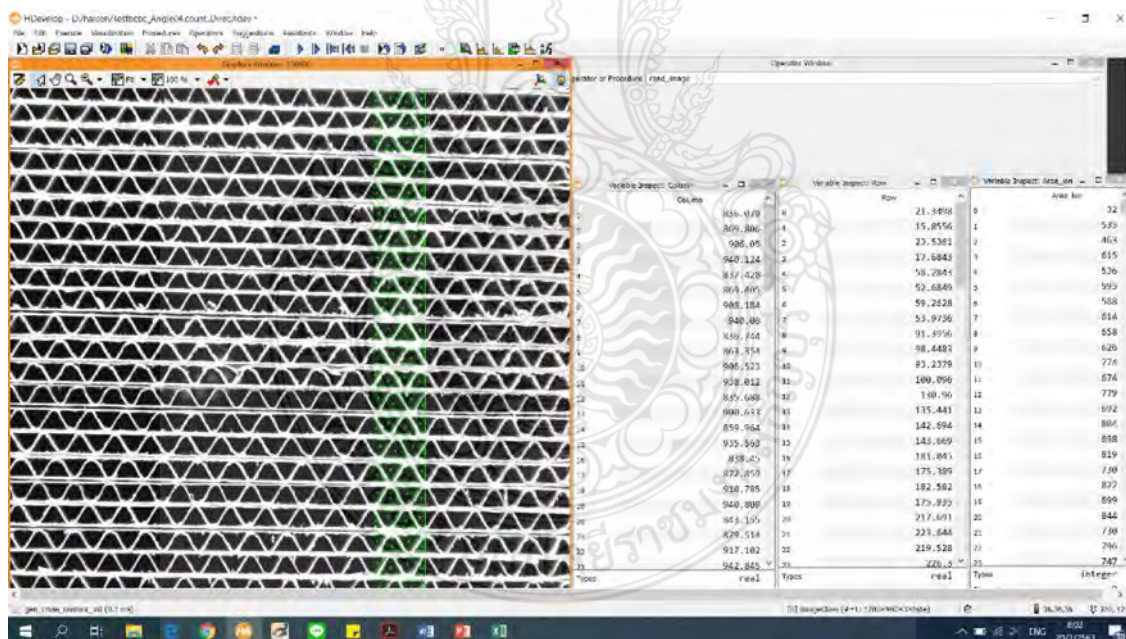
สำหรับภาพทางด้านลอนกระดาศลูกฟูกที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาความถูกต้องของอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งจะพบว่าเมื่อทำการแยกลอนลูกฟูกออกจากภาพพื้นหลังแล้วลักษณะของลอนลูกฟูกแต่ละลอนจะมีขนาดที่ไม่เท่ากันดังนั้นการที่จะสามารถนับจำนวนกระดาศลูกฟูกทางด้านลอนได้นั้นจำเป็นต้องทำการหาขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูกเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกในแต่ละแถวโดยได้เลือกนำหลักการวิเคราะห์หีบถอบมาใช้งานเพื่อทำการหาขนาดเส้นรอบวงของลอนลูกฟูกแต่ละลอนแล้วลากเส้นภายในลอนที่ยาวที่สุดเพื่อทำให้เกิดจุดตัดภายในลอนซึ่งจะทำให้ทราบค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอนเนื่องจากเมื่อลอนของลูกฟูกมีขนาดที่ไม่เท่ากันก็จะยังทำให้สามารถหาจุดศูนย์กลางได้ซึ่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกที่หาได้นั้นจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกต่อไปโดยสามารถแสดงจุดศูนย์กลางของลอนกระดาศลูกฟูกที่หาได้จากวิธีการวิเคราะห์หีบถอบได้ดังภาพที่ 3.44



ภาพที่ 3.44 การหาจุดศูนย์กลางลอนกระดาศลูกฟูกแต่ละลอนด้วยวิธีการวิเคราะห์หีบถอบ

3.6.3 วิธีนับจำนวนกระดาดลูกฟูก

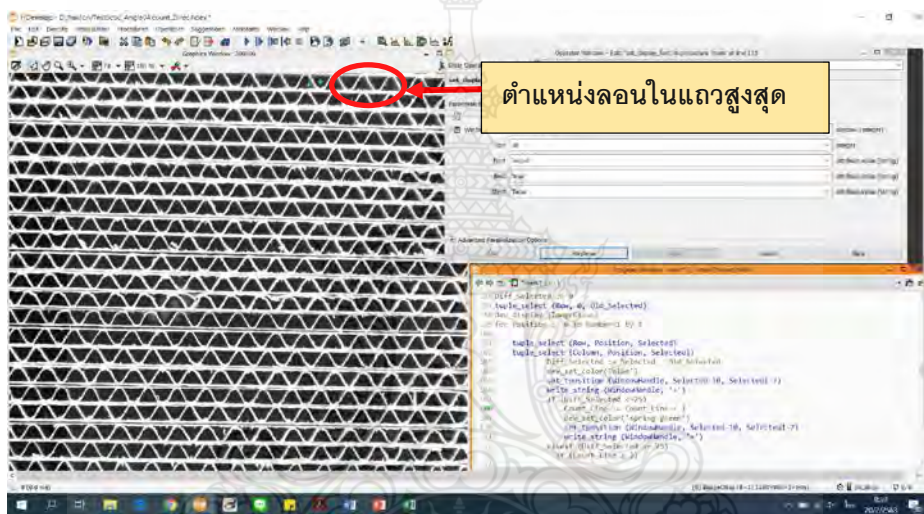
เมื่อหาขนาดพื้นที่ของลอนกระดาดลูกฟูกด้วยวิธีการวิเคราะห์หีบถีบจะหันให้ทราบตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกซึ่งจะเป็นค่าของแถว (row) และคอลัมน์ (column) โดยจะนำค่าจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนลูกฟูกที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลในการนับจำนวนกระดาดลูกฟูกโดยที่สำหรับกระดาดลูกฟูกชนิด C จำนวน 1 แผ่นจะมีกระดาดอยู่ 2 แถวซึ่งประกอบด้วยหนึ่งแถวคือกระดาดชนิดลอน B และอีกหนึ่งแถวเป็นกระดาดชนิดลอน C แต่สำหรับกระดาดลูกฟูกชนิด B และ C จะมีจำนวนกระดาดเพียงแถวเดียวเท่านั้นโดยที่แต่ละแถวของลอน B กับ C จะมีขนาดพื้นที่ลอนและระยะความห่างระหว่างแถวที่ต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดความสูงของลอนดังนั้นเมื่อนำมานับจำนวนกระดาดลูกฟูกจึงต้องกำหนดระยะห่างในการนับที่ต่างกันโดยในวิธีการนับจะใช้ค่าความแตกต่างของตำแหน่งจุดศูนย์กลางลอนลูกฟูกในแถวก่อนหน้ากับแถวที่อยู่ถัดไปเพื่อนำมากำหนดเป็นค่าระยะห่างระหว่างแถวของลอนเพื่อกำหนดการนับจำนวนกระดาดลูกฟูกโดยที่สามารถแสดงค่าจุดศูนย์กลางซึ่งคือตำแหน่งของแถวและคอลัมน์รวมถึงขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูกแสดงดังภาพที่ 3.45



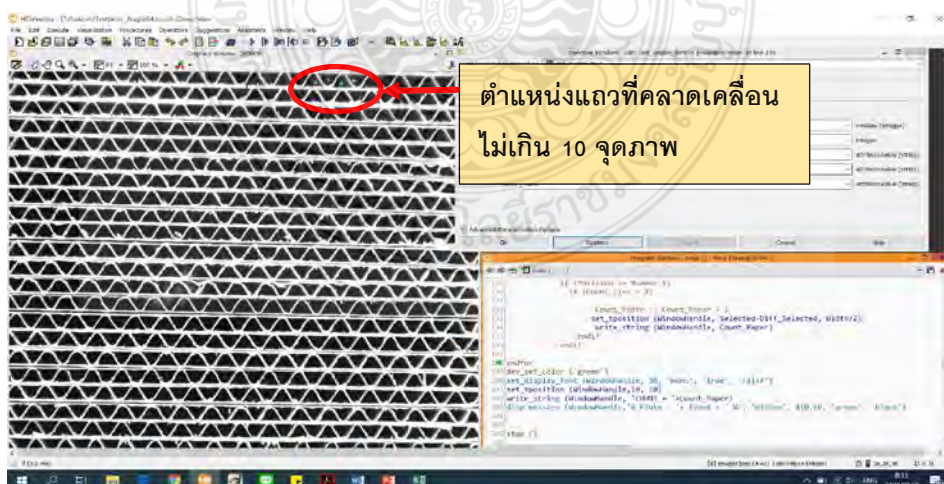
ภาพที่ 3.45 ตำแหน่งของแถวและคอลัมน์รวมถึงขนาดพื้นที่ของลอนลูกฟูก

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่นำมาใช้ในกระบวนการนับแล้วโดยวิธีในการนับกระดาษลูกฟูกทางด้านลอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) จากภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกทั้งหมดจะต้องหาตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อนับกระดาษแผ่นที่ 1 โดยจะทำการหาตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนซึ่งคือค่าจุดศูนย์กลางของลอนลูกฟูกจากนั้นทำการตรวจหาลอนของกระดาษลูกฟูกที่ค่าตำแหน่งแถวมีความคลาดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางของตำแหน่งแถวสูงสุดที่หาได้ไม่เกิน 10 จุดภาพและตรวจจำนวนลอนกระดาษลูกฟูกในแถวนั้นซึ่งหากมีจำนวนมากกว่าร้อยละ 50 ก็จะได้ถือว่าเป็นกระดาษลูกฟูกจำนวนหนึ่งแผ่นซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.46 และ 3.47

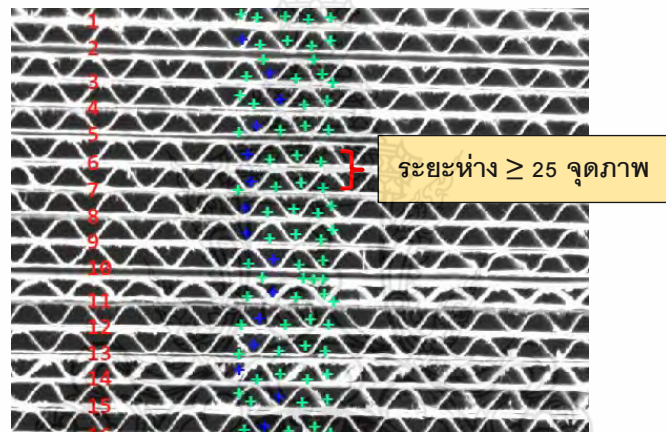


ภาพที่ 3.46 ตำแหน่งแถวสูงสุดของลอนกระดาษลูกฟูกในแถวแรก

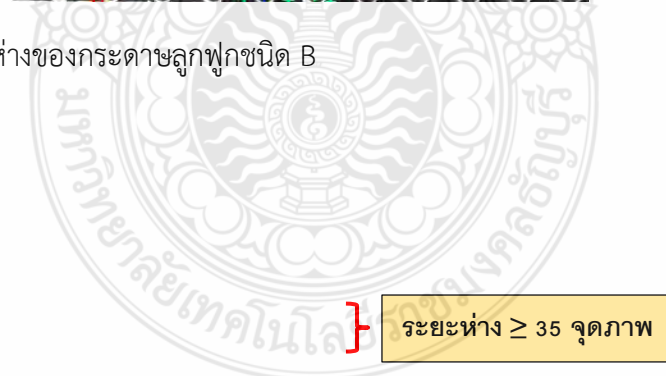


ภาพที่ 3.47 จำนวนกระดาษลูกฟูก 1 แผ่นที่มีจำนวนลอนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

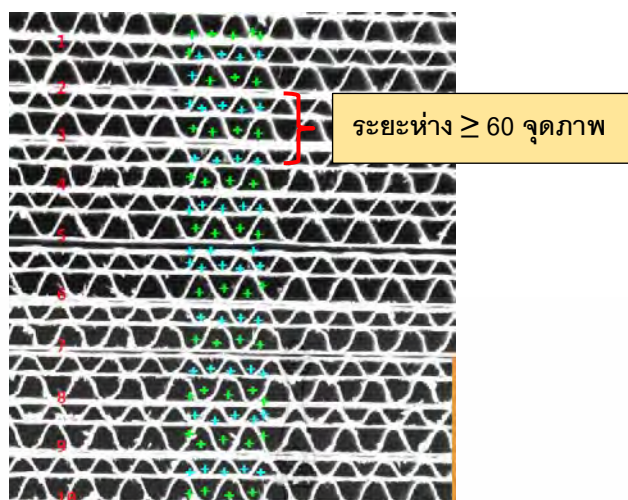
2) เมื่อหากระดาศลูกฟูกแผ่นที่ 1 ได้แล้วสำหรับวิธีการนับกระดาศลูกฟูกแผ่นถัดไปจะใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของตำแหน่งแถวสูงสุดในแผ่นก่อนหน้าแล้วหารระยะห่างระหว่างแถวโดยที่กระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดจะมีค่าระยะห่างระหว่างแถวที่ไม่เท่ากันซึ่งจากการหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางจึงได้กำหนดค่าความแตกต่างของตำแหน่งแถวสูงสุดในแผ่นก่อนหน้ากับแผ่นถัดไปของภาพลอนลูกฟูกชนิด BC ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 43 จุดภาพ ภาพด้านลอนกระดาศลูกฟูกชนิด C ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 35 จุดภาพและภาพด้านลอน B ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 25 จุดภาพ แสดงได้ดังภาพที่ 3.48 ถึง 3.50 จากระยะความแตกต่างของแต่ละแถวตามค่าที่กำหนดจะทำให้ทราบว่าตำแหน่งแถวสูงสุดของแผ่นถัดไปจากนั้นก็พิจารณาตามหัวข้อที่ 1 โดยที่ผลลัพธ์จะเป็นการนับเพิ่มทีละ 1 แผ่นต่อจากแผ่นก่อนหน้าและทำกระบวนการซ้ำจนครบภาพลอนกระดาศลูกฟูกทั้งหมด



ภาพที่ 3.48 ระยะห่างของกระดาศลูกฟูกชนิด B



ภาพที่ 3.49 ระยะห่างของกระดาศลูกฟูกชนิด C



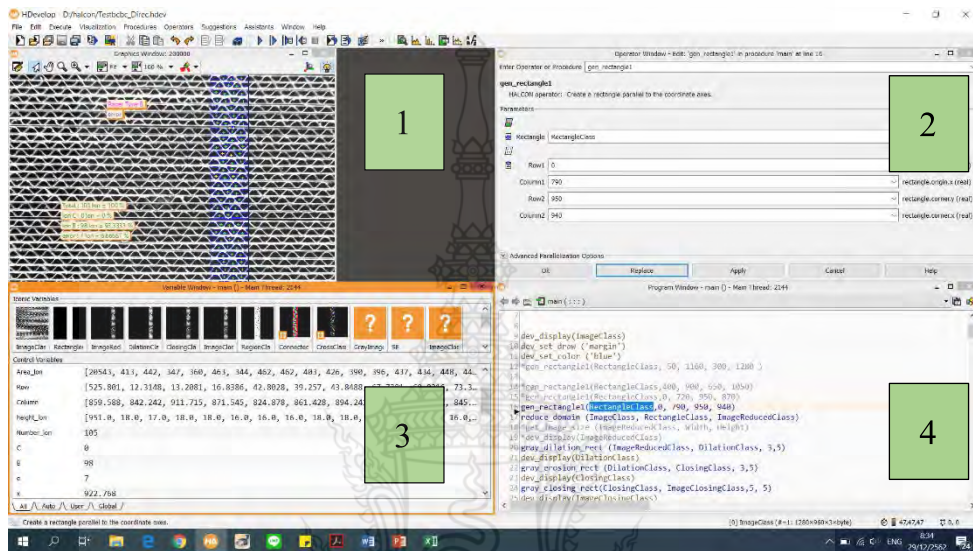
ภาพที่ 3.50 ระยะห่างของกระตาศลูกฟูกชนิด BC

3.7 โปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพ

เมื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการต่อภาพด้านลอนกระตาศลูกฟูกแล้วจำเป็นต้องนำอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้มาทดสอบความถูกต้องซึ่งในการทดสอบจะต้องทำการทดสอบกับเวลาจริง (Real-time) ดังนั้นโปรแกรมที่จะนำมาใช้สำหรับทดสอบอัลกอริทึมการต่อภาพด้านลอนลูกฟูกและตรวจนับจำนวนกระตาศจะต้องสามารถทำงานในลักษณะแบบเวลาจริงได้ดังนั้นจึงได้เลือกนำมาทดสอบด้วยโปรแกรม HALCON เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในระบบการตรวจสอบอัตโนมัติซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานการตรวจสอบต่างๆ เพราะสามารถทำการประมวลที่รวดเร็วใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยและทำงานแบบเวลาจริงได้โดยสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ถ่ายภาพเช่นกล้องหรือเว็บแคมได้โดยตรงโดยที่โปรแกรมสามารถทำการแก้ไขคำสั่งเพื่อปรับแก้ไขโค้ดคำสั่งซึ่งสามารถทำผ่านทางซอฟต์แวร์ HALCON ได้เลยจึงทำให้ง่ายต่อการใช้งานและโปรแกรมสามารถแปลงโปรแกรมที่เป็นภาษา HALCON (hdev) ไปประยุกต์ใช้กับภาษา Visual C #, C, C + +, และ NET เพื่อนำไปใช้ในงานต่างๆ

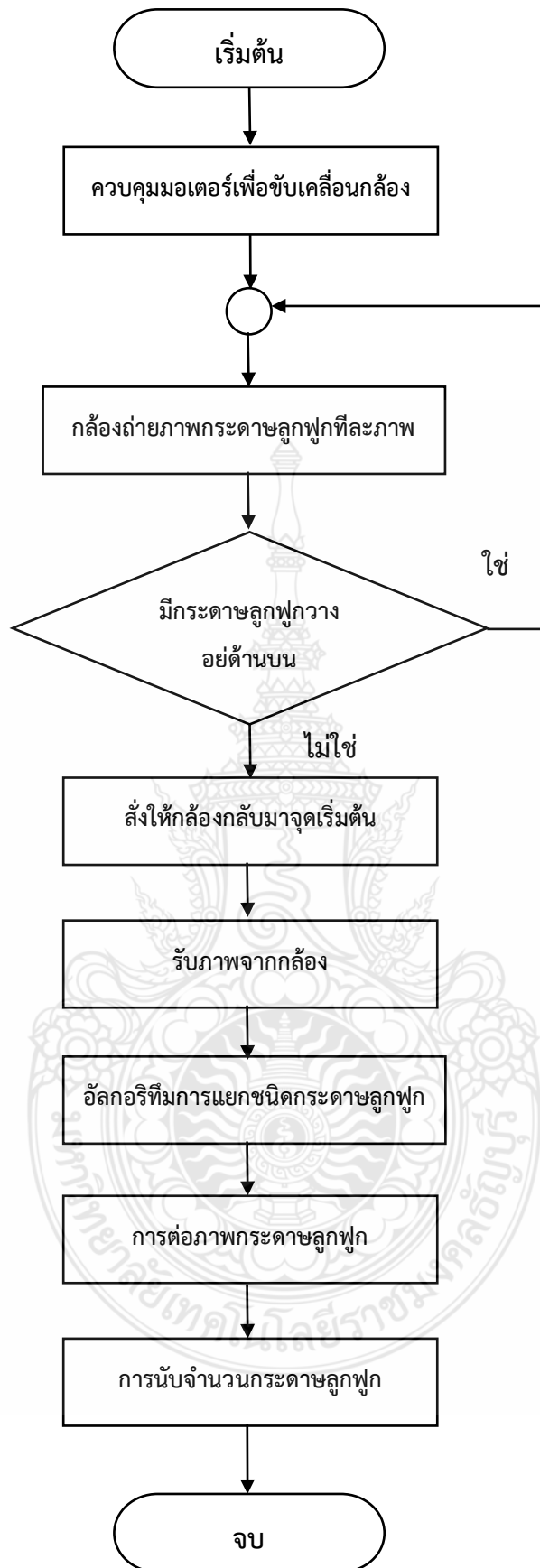
สำหรับการใช้งานโปรแกรม HALCON จะเป็นการเขียนคำสั่งลงในโปรแกรมซึ่งมีลักษณะเดียวกับการเขียนภาษา C โดยเป็นการป้อนคำสั่งด้วยการเขียนโค้ดดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีทักษะในการเขียนโปรแกรมจึงถือว่าเป็นข้อเสียของโปรแกรมแต่ข้อดีคือการทำงานของโปรแกรมมีการประมวลผลรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับโปรแกรม NI ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้สำหรับงานการตรวจสอบเช่นเดียวกันสำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำโปรแกรม HALCON มาใช้สำหรับทดสอบการรวมภาพด้านลอนกระตาศลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพและทำการตรวจนับจำนวนกระตาศลูกฟูกด้วยวิธีการประมวลผลภาพและสำหรับหน้าตาการใช้งานของโปรแกรม HALCON แสดงได้ดังภาพที่ 3.51 ซึ่ง

คำสั่งที่ใช้ในการทำงานจะถูกเขียนลงใน Program Window จะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 4 โดยที่หน้าต่างหมายเลข 2 คือ Operator Windows ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยในการค้นหาคำสั่งของโปรแกรมและยังสามารถทำการแก้ไขคำสั่งคือค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ด้วยจึงทำให้การเขียนโปรแกรมมีความง่ายขึ้นสำหรับภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 1 โดยเมื่อโปรแกรมการประมวลผลสำหรับค่าต่างๆที่เป็นผลลัพธ์ในโปรแกรมจะแสดงในหน้าต่างหมายเลข 3

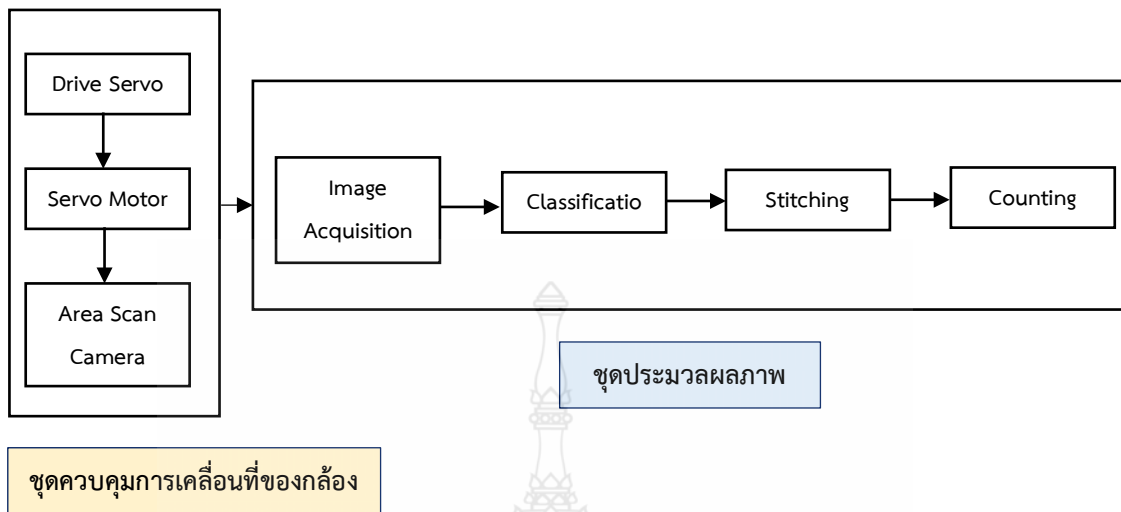


ภาพที่ 3.51 โครงสร้างของโปรแกรม HALCON

จากรูปที่ 3.40 แสดงหน้าต่างเพื่อการประมวลผลโดยมีรายละเอียดดังนี้
 หมายเลข 1 คือ หน้าต่างแสดงรูปภาพ
 หมายเลข 2 คือ หน้าต่างสำหรับแสดงคำสั่งและแก้ไขค่าพารามิเตอร์หรือสร้างพารามิเตอร์
 หมายเลข 3 คือ หน้าต่างเพื่อแสดงค่าการทำงานของโปรแกรมเมื่อมีการประมวลผลตามคำสั่ง
 หมายเลข 4 คือ หน้าต่างเพื่อเขียนโปรแกรมการทำงาน



ภาพที่ 3.52 แผนภูมิแสดงขั้นตอนทำงานของอัลกอริทึม



ภาพที่ 3.53 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของอัลกอริทึม

3.8 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ถ่ายภาพกระต่ายลูกฟูกทางด้านลอนลูกฟูก โดยนำทฤษฎีการประมวลผลภาพและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มาใช้ในการหาค่าความสูงของลอนลูกฟูกที่แต่ละค่าระยะการรับภาพ ซึ่งสำหรับการแยกชนิดกระต่ายลูกฟูกจะใช้โปรแกรม HALCON ประมวลผล จากการทดสอบกระต่ายลูกฟูกชนิดเดียวกันที่ระยะการรับภาพต่างกันจะมีความสูงของลอนที่ไม่เท่ากัน คือถ้าระยะการรับภาพมากขึ้นค่าความสูงของจะลดลง จากนั้นจึงนำอัลกอริทึมที่ได้ไปใช้ทดสอบการแยกชนิดของกระต่ายลูกฟูกซึ่งสามารถแยกชนิดได้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล สำหรับบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบและปรับปรุงอัลกอริทึมที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้อง จะเริ่มจากการทดสอบแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านลอนกระดาษลูกฟูก (Cut Off) ที่ระยะต่างๆเพื่อหาพื้นที่ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกที่น้อยที่สุดที่ยังคงแยกกระดาษชนิด B C และ BC ออกจากกันได้ อย่างถูกต้อง และทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นทำการต่อภาพนำภาพที่ได้จากการทดสอบมานับจำนวนกระดาษลูกฟูก และทำการทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านมุมของกระดาษลูกฟูกโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลทดสอบการรับภาพกระดาษลูกฟูกด้านลอนด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

การทดสอบรับภาพกระดาษลูกฟูกด้านลอนด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ได้นำกล้องยี่ห้อ Basler ace รุ่น Aca 1300 – 30 gm. มาใช้ในการรับภาพ มีค่าความละเอียดของภาพเท่ากับ 1280×960 จุดภาพ และมีขนาดเซ็นเซอร์รับภาพเท่ากับ 4.9×3.6 ตารางมิลลิเมตร โดยเลือกขนาดความยาวโฟกัสของกล้องเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีขนาด 1800 ลูเมน จำนวน 2 หลอด เพื่อให้แสงสว่างกับกระดาษลูกฟูก สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้ในการรับภาพด้านลอน ซึ่งกล้องจะมีพื้นที่ในการรับภาพ (Field of View) ที่จำกัด โดยขึ้นอยู่กับค่าระยะการรับภาพซึ่งคือระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์ของตัวกล้องกับกระดาษ (Working Distance) ดังนั้นจำเป็นต้องทำการทดสอบหาค่าระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์กับกระดาษลูกฟูกเพื่อหาระยะการรับภาพที่มีค่าน้อยที่สุด และสามารถเห็นกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC โดยที่ภาพยังมีความชัดเจนอยู่ ซึ่งสามารถคำนวณหาพื้นที่ในการรับภาพของกล้องได้ตามสมการที่ (2.3) และให้ผลการทดสอบของพื้นที่ในการรับภาพที่ระยะรับภาพต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ

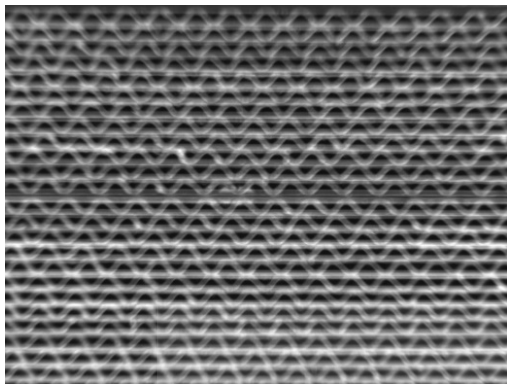
ระยะการรับภาพ (mm)	Field of View (FOV) ในแกน x (mm)	Field of View (FOV) ในแกน y (mm)	ขนาดจุดภาพเล็กที่สุดที่ สามารถตรวจสอบได้(mm ²)
250	96	72	0.15 × 0.15
280	109	81	0.17 × 0.17
300	117	87	0.18 × 0.18
330	129	96	0.20 × 0.20
350	137	102	0.21 × 0.21
380	149	111	0.23 × 0.23
420	165	123	0.26 × 0.26
450	177	132	0.27 × 0.27
480	190	141	0.29 × 0.29
500	198	147	0.31 × 0.31
520	206	153	0.32 × 0.32
550	218	162	0.34 × 0.34
580	230	171	0.36 × 0.36
600	238	177	0.37 × 0.37
620	246	183	0.38 × 0.38
650	258	192	0.40 × 0.40
680	271	202	0.42 × 0.42
700	279	208	0.43 × 0.43

จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบหาขนาดพื้นที่การรับภาพของกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ซึ่งมีระยะการรับภาพที่ระยะต่างๆ คำนวณหาพื้นที่ในการรับภาพและขนาดจุดภาพที่เล็กที่สุดเพื่อทดสอบหาระยะการติดตั้งอุปกรณ์ระหว่างกระดาดลูกฟูกกับหน้าเลนส์ของกล้องที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการรับภาพกระดาดลูกฟูก

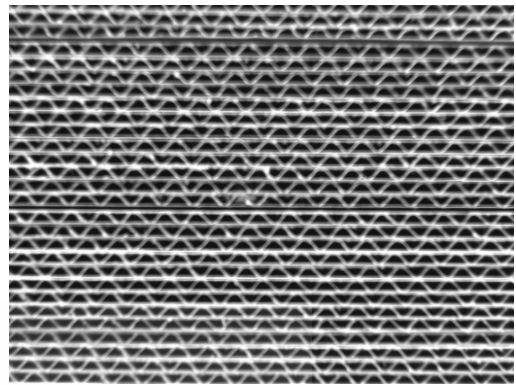
ตารางที่ 4.2 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ครอบคลุมในหนึ่งภาพด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่

ระยะการรับภาพ (มิลลิเมตร)	จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกต่อ 1 ภาพ (แผ่น)		
	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด BC
250	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้
280	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้
300	30	20	12
330	33	22	14
350	35	24	15
380	38	26	16
420	42	29	17
450	45	31	19
480	48	33	20
500	50	35	21
520	52	36	22
550	55	38	24
580	58	41	25
600	60	42	25

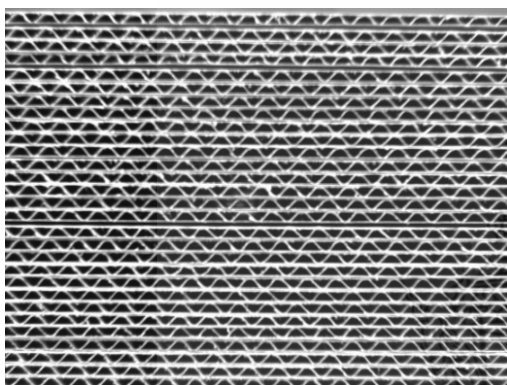
จากตารางที่ 4.2 แสดงระยะการรับภาพของกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด จะได้จำนวนกระดาษลูกฟูกที่ครอบคลุมในหนึ่งภาพพื้นที่การรับภาพระยะต่างๆ จากการทดสอบพบว่าที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร สามารถเห็นรายละเอียดของลอนกระดาษลูกฟูกได้ชัดเจน โดยกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC สามารถรับภาพกระดาษลูกฟูกได้จำนวน 33 แผ่น 22 แผ่น และ 14 แผ่น ตามลำดับ ซึ่งเพียงพอต่อการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก จึงเป็นระยะการรับภาพที่มีความเหมาะสมในการรับภาพมากที่สุด เนื่องจากที่ระยะการรับภาพน้อยกว่า 330 มิลลิเมตร จะทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน และที่ระยะมากกว่า 330 มิลลิเมตร จะทำให้พื้นที่การรับภาพมากขึ้น แต่รายละเอียดของลอนกระดาษลูกฟูกไม่ชัดเจนเพราะมีขนาดเล็ก โดยแสดงภาพพื้นที่ในการรับภาพด้านลอนกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ดังภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



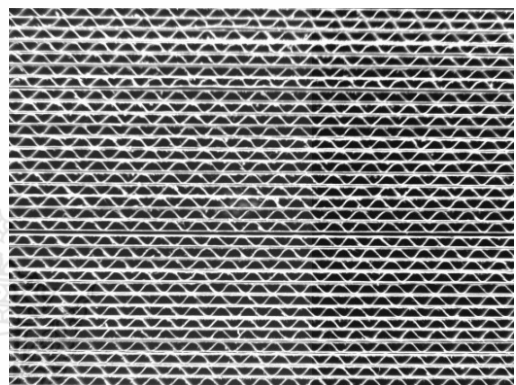
(a) WD = 250 mm



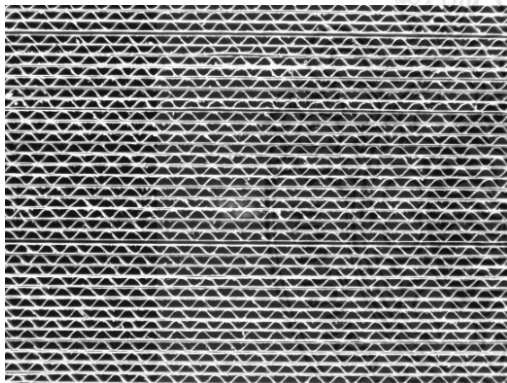
(b) WD = 280 mm



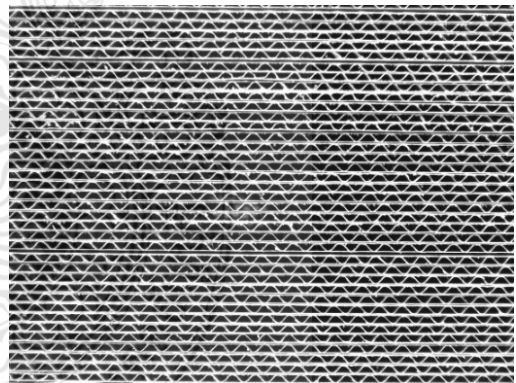
(c) WD = 300 mm



(d) WD = 330 mm

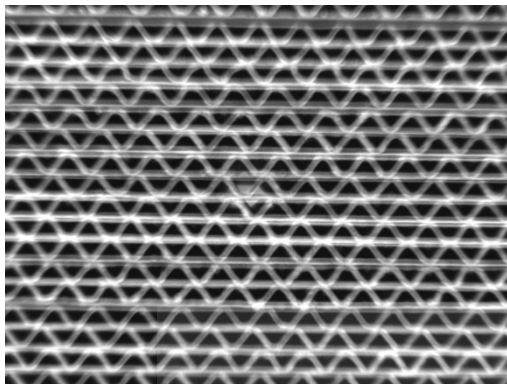


(e) WD = 350 mm

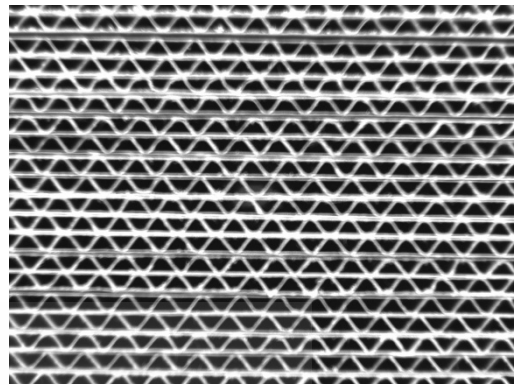


(f) WD = 380 mm

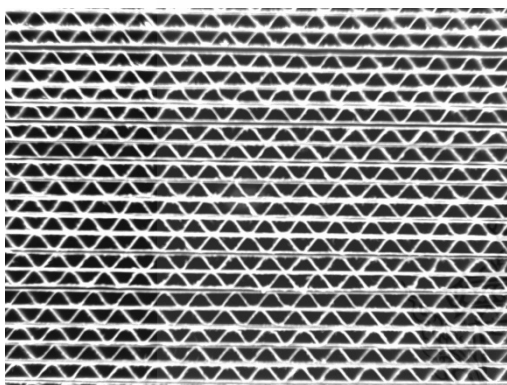
ภาพที่ 4.1 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ



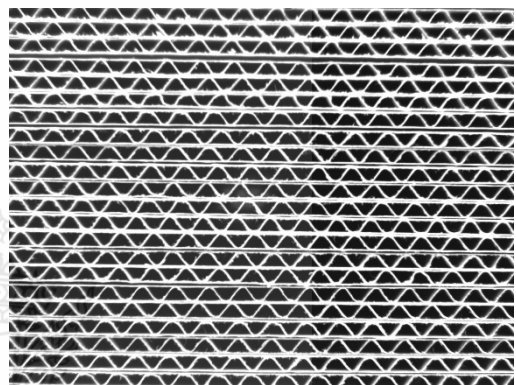
(a) WD = 250 mm



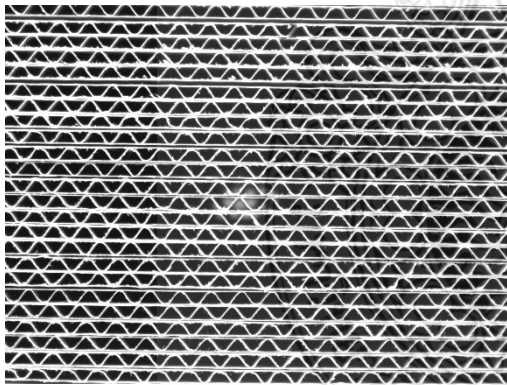
(b) WD = 280 mm



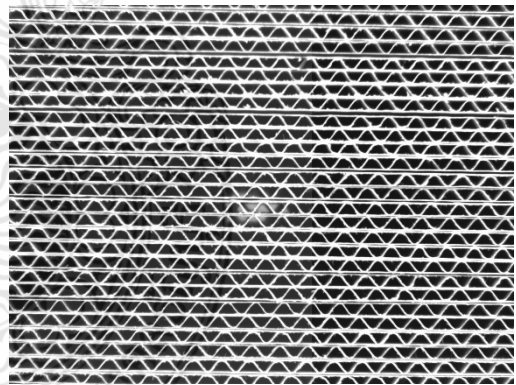
(c) WD = 300 mm



(d) WD = 330 mm

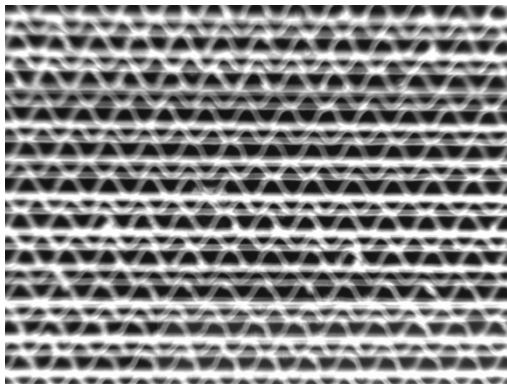


(e) WD = 350 mm

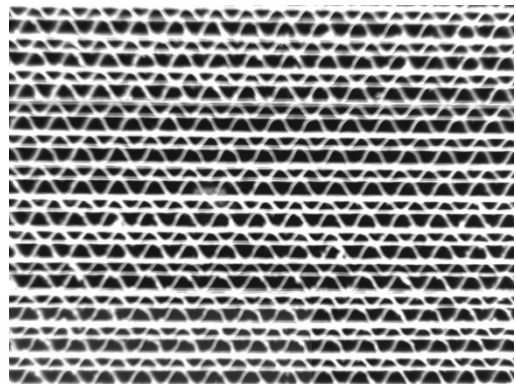


(f) WD = 380 mm

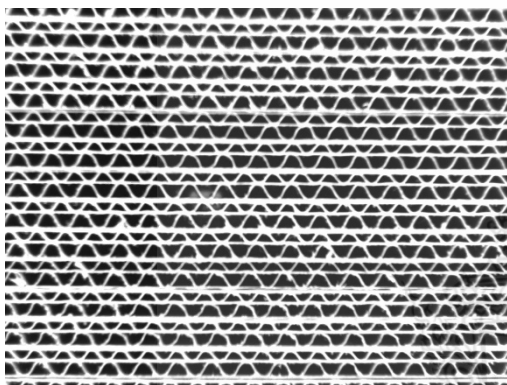
ภาพที่ 4.2 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ



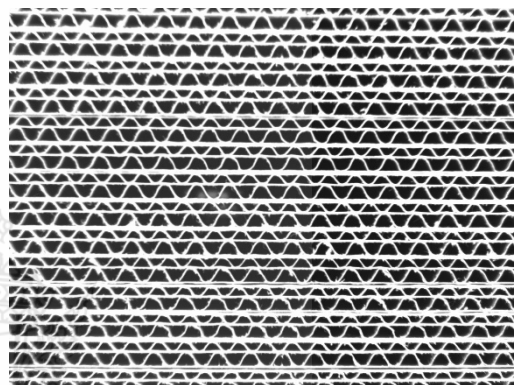
(a) WD = 250 mm



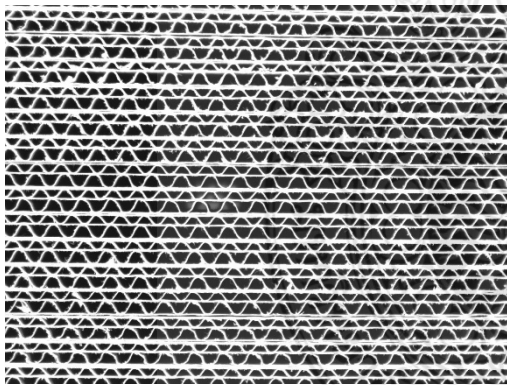
(b) WD = 280 mm



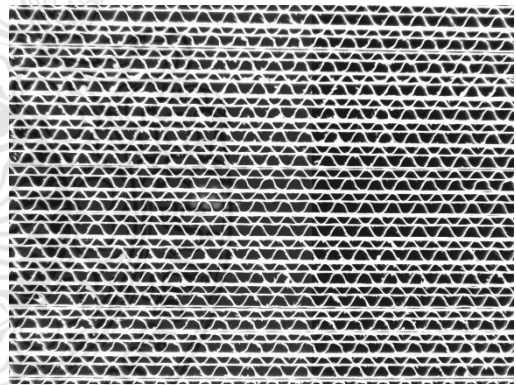
(c) WD = 300 mm



(d) WD = 330 mm



(e) WD = 350 mm



(f) WD = 380 mm

ภาพที่ 4.3 จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ



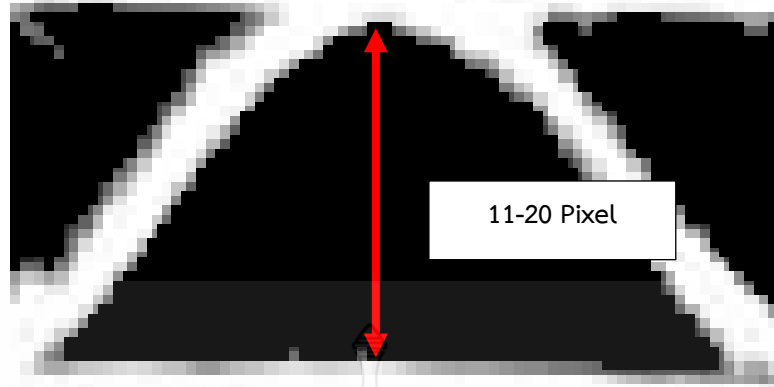
ภาพที่ 4.4 ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตรจากขอบกระดาษลูกฟูกถึงหน้าเลนส์กล้อง

4.2 ผลทดสอบความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกด้านลอนแต่ละชนิดที่ค่าระยะรับภาพต่างๆ

จากการทดสอบการหาระยะการรับภาพจากหัวข้อที่ 4.1 พบว่าพื้นที่ในการรับภาพ จำนวนกระดาษลูกฟูกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าระยะห่างระหว่างขอบกระดาษลูกฟูกถึงหน้าเลนส์กล้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงนำภาพกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดที่ได้จากระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ เพื่อนำมาหาความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก ซึ่งกระดาษลูกฟูกที่นำมาทดสอบจะมีกระดาษลูกชนิด B ชนิด C และชนิด BC ซึ่งจะมีลอน 2 ชนิด คือ ลอน B และ ลอน C โดยเปรียบเทียบขนาดความสูงของลอนตามมาตรฐานอุตสาหกรรมในตารางที่ 2.3 กับขนาดพื้นที่ของภาพที่ได้ การคำนวณหาความสูงลอนลูกฟูกสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.7) ค่าความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกที่ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดความสูงของลอนกระดาดลูกฟูกที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ

ระยะการรับภาพ (มิลลิเมตร)	ความสูงของลอนลูกฟูก (จุดภาพ)	
	ลอน B	ลอน C
250	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้
280	ไม่สามารถระบุได้	ไม่สามารถระบุได้
300	19	31
330	20	30
350	17	28
380	16	25
420	14	22
450	13	21
480	12	19
500	11	18
520	11	18
550	11	17
580	10	16
600	9	15
620	9	15
650	9	14
680	8	13
700	8	13



ภาพที่ 4.5 ความสูงของกระดาศลูกฟูกลอน B จำนวน 1 แผ่น ที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.3 แสดงขนาดความสูงของลอนกระดาศลอน B และ ลอน C ที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ โดยเมื่อระยะการรับภาพมีค่าน้อย ค่าความสูงของลอนจะมากขึ้น เมื่อระยะการรับภาพไกล ค่าความสูงของลอนจะลดลง เมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนจะอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร เท่ากับ 1 จุดภาพ ซึ่งระยะที่จะใช้ในการแยกชนิดกระดาศจะอยู่ที่ระยะ 330 มิลลิเมตร เนื่องจากเห็นพื้นที่ของลอนได้ชัดเจน ทั้งกระดาศชนิด B ชนิด C และ ชนิด BC ซึ่งทำให้หาความสูงของลอนได้ง่ายขึ้น อีกทั้งเป็นการลดพื้นที่การติดตั้งอุปกรณ์

4.3 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านลอน

การทดสอบอัลกอริทึมเพื่อหาความเป็นไปได้ในการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก โดยจะนำโครงสร้างของกระดาศลูกฟูกมาใช้ในการปรับค่าตัวแปรต่างๆ คือ สิ่งแวดล้อม และแสงสว่างของแหล่งจ่ายไฟ โดยใช้หลอด LED 1800 ลูเมน จำนวน 2 หลอด ทำการเก็บภาพกระดาศลูกฟูกทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะ 330 มิลลิเมตร โดยโปรแกรม Pylon viewer และทำการหาความสูงของกระดาศแต่ละชนิด ด้วยโปรแกรม Halcon การทดสอบอัลกอริทึมเพื่อแยกชนิดกระดาศลูกฟูก โดยทำการปรับปรุงอัลกอริทึมโดยเริ่มจากการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพระดับสีขาวดำเพื่อลดขนาดข้อมูลในการตรวจสอบ

4.3.1 การแยกผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านลอน

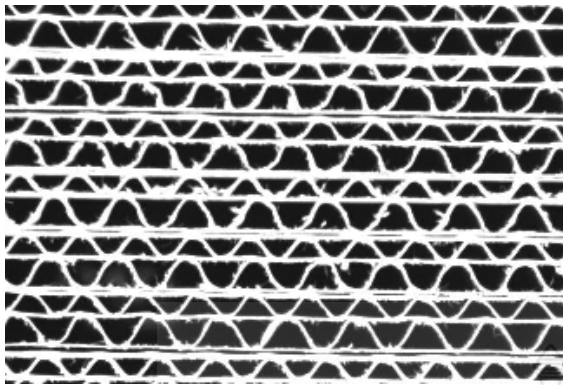
ทำการทดสอบหาความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกทั้ง 3 ชนิด ทำการปรับปรุงภาพบริเวณพื้นที่ลอนกระดาศลูกฟูกให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากลอนกระดาศลูกฟูกบางจุดไม่สมบูรณ์ จึงทำการเพิ่มตัวดำเนินการทางมอร์โฟโลยี เข้าไปในส่วนต่างๆ ของอัลกอริทึม โดยทำการปรับปรุงก่อนทำการกำหนดค่าขีดแบ่งและทำ Blob Analysis โดยมีขั้นตอนตามภาพที่ 4.6 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ภาพระดับสีเทา (Gray Image) ภาพที่ได้จากกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะเป็นภาพระดับสีเทาจึงทำการแปลงภาพให้เป็นภาพสีขาวดำ โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟ (Light Source) เพื่อเพิ่มความสว่างให้เห็นความแตกต่างของขอบกระดาศลูกฟูกกับพื้นที่ของลอนกระดาศลูกฟูกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อีกทั้งช่วยป้องกันแสงจากภายนอกมารบกวนดังภาพ

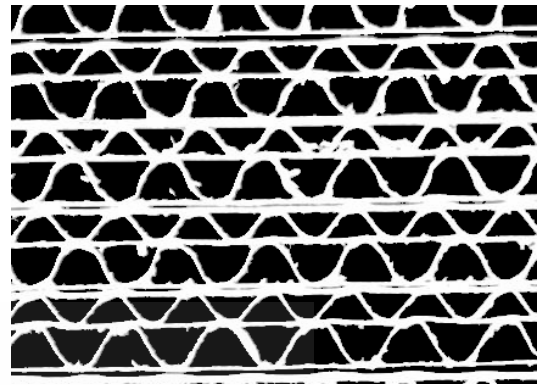
2) กำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่ง ซึ่งค่าที่ใช้ในการกำหนดค่าขีดแบ่งจะทำให้ภาพมีข้อมูลลดลง โดยการแบ่งภาพให้เป็น 2 ส่วน ซึ่งจะใช้ค่าขีดแบ่งแบบคงที่ โดยกำหนดจากฮิสโตแกรมของภาพที่ใช้ทดสอบ ค่าขีดแบ่งที่ทำให้เห็นขอบลอนกระดาศลูกฟูกชัดเจนคือ 150 เมื่อนำภาพที่ 4.6 (a) มาทำเป็นภาพขาวดำ

3) ภาพขาวดำ (Binary Image) เมื่อทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลของภาพลดลง จะได้ดังภาพที่ 4.6 (b) ทำให้เห็นลอนกระดาศลูกฟูกชัดเจนยิ่งขึ้น

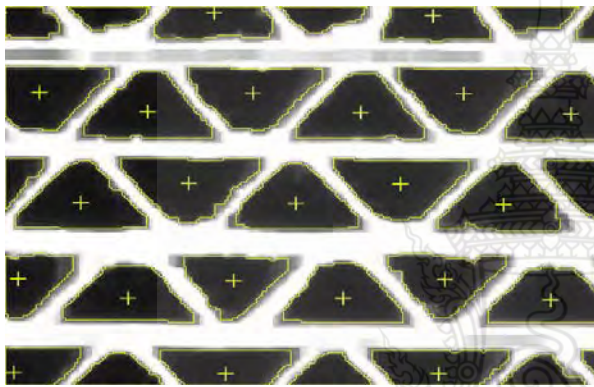
4) การวิเคราะห์หีบถัอบ (Blob Analysis) การแยกชนิดกระดาศลูกฟูกจะทำการแยกส่วนลอนของกระดาศลูกฟูกเพื่อใช้ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกแยกชนิดกระดาศ ดังภาพที่ 4.6 (c)



(a) ภาพระดับสีเทา



(b) ภาพขาวดำ



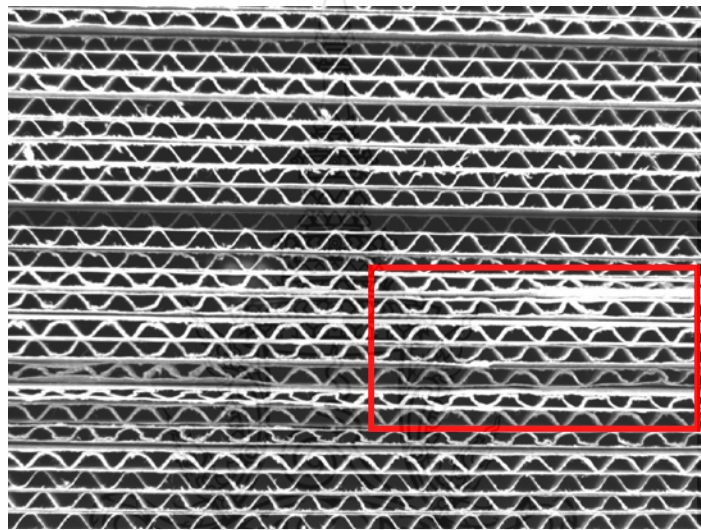
(c) วิเคราะห์ขอบ

ภาพที่ 4.6 อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบกับกระดาดาลูกฟูก

จากการทดสอบจะทำการทดสอบกระดาดาลูกฟูกชนิด C ผลการทดสอบที่ได้คือเมื่อนำภาพระดับสีเทาเพิ่มแหล่งจ่ายไฟจะให้เห็นภาพลอนชัดยิ่งขึ้น แต่เมื่อทำการแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำพบวัตถุที่ได้จากการวิเคราะห์ขอบแล้วยังมีบริเวณที่ไม่ใช่ลอนกระดาดาลูกฟูก ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการแยกชนิดกระดาดาลูกฟูก ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงอัลกอริทึมเพื่อแยกชนิดกระดาดาลูกฟูกให้มีความถูกต้องมากขึ้นในการทดสอบหัวข้อถัดไป

4.3.1 การแยกผลทดสอบอัลกอริทึมแบบที่ 1 สำหรับการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการปรับปรุงอัลกอริทึมโดยนำหลักการจากการศึกษางานวิจัยในบทที่ 2 มาใช้สำหรับการปรับปรุงภาพโดยมีการเพิ่มการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีไปปรับปรุงภาพให้เห็นขนาดและตำแหน่งของลอนชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการทำให้ขอบของลอนกระดาษลูกฟูกขยายและลบรอยต่อต่างๆ ภายในกระดาษลูกฟูก ก่อนกระบวนการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก ได้ทำการเพิ่มการปรับปรุงภาพมอร์โฟโลยีภาพระดับสีเทา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



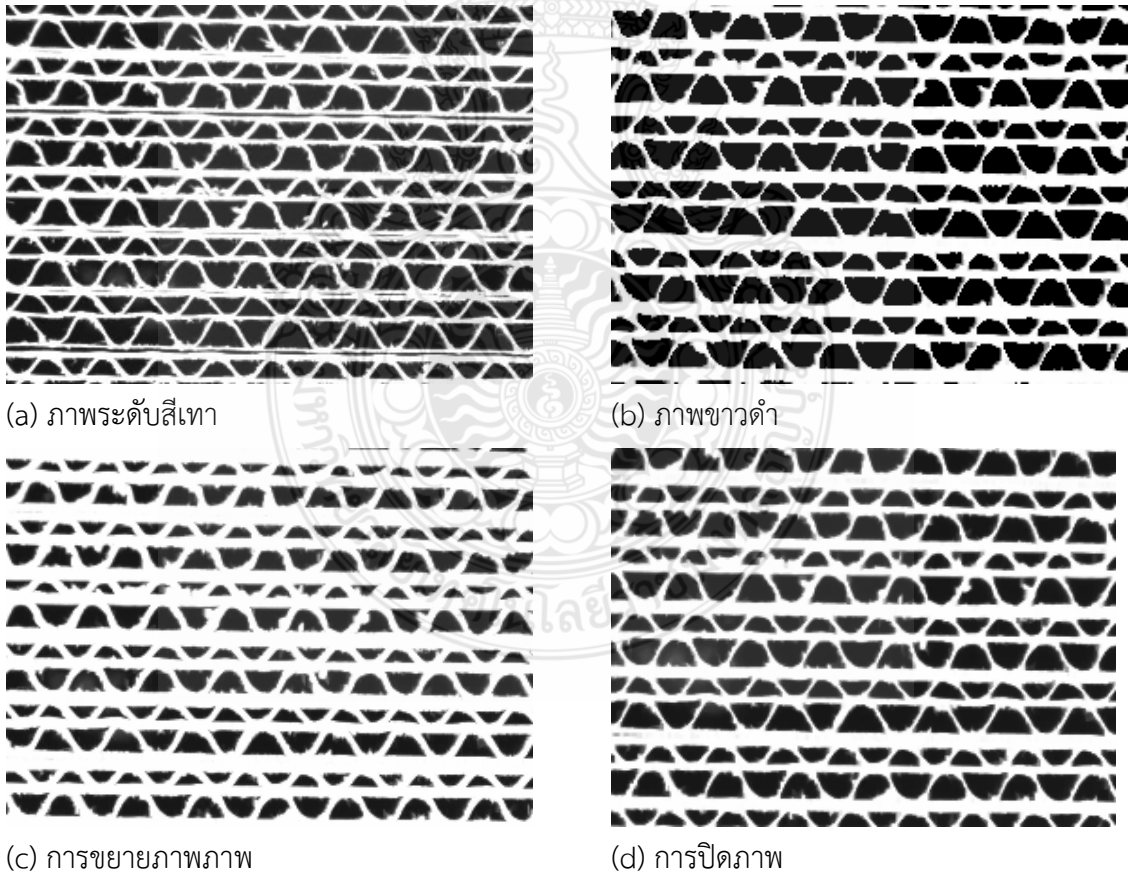
ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ไม่สมบูรณ์

1) ภาพระดับสีเทา (Gray Image) ภาพที่ได้จากกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะเป็นภาพระดับสีเทาซึ่งก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง เพื่อแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำได้มีการปรับปรุงภาพลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อให้เห็นพื้นที่ของลอนชัดเจนมากขึ้นโดยการใช้เทคนิคมอร์โฟโลยี โดยภาพที่ 4.8 (a) เป็นภาพตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ได้จากกล้องที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่ามีส่วนของลอนที่ไม่สมบูรณ์มีเศษรอยตัด ภาพที่ 4.8 (b) เป็นภาพที่ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยใช้การขยายภาพ ตามสมการที่ (2.3) โดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่างที่ใช้เป็นเมทริกซ์ 13×5 จากการทดสอบจะทำให้ภาพที่ได้มีขอบของลอนกระดาษลูกฟูกชัดเจนยิ่งขึ้น

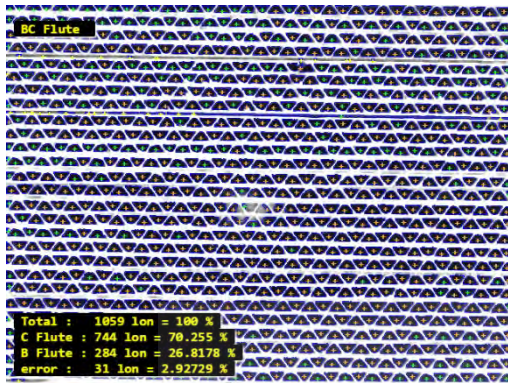
2) กำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) การแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำทำได้โดยกาหนดค่าขีดแบ่ง ซึ่งค่าที่ใช้ทดสอบเปลี่ยนจาก 150 เป็น 100 เมื่อนำภาพที่ 4.8 (a) มาทำเป็นภาพขาวดำจะได้ตามภาพที่ 4.8 (b)

3) ภาพขาวดำ (Binary Image) เมื่อทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำก่อนเข้ากระบวนการหาตำแหน่งของลอนกระดาศลูกฟูกจะต้องทำการปรับปรุงภาพลอนกระดาศลูกฟูกเพื่อลดความผิดพลาด จากภาพที่ 4.8 (b) มีส่วนขอบของกระดาศลูกฟูกและลอนกระดาศลูกฟูกที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่จึงนำการปรับปรุงภาพโดยการปิดภาพ ดังสมการที่ (2.5) โดยการปิดภาพจะมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้เห็นลอนกระดาศลูกฟูกที่ใช้ในการหาความสูงได้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่างขนาด 5x5 ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.8 (d)

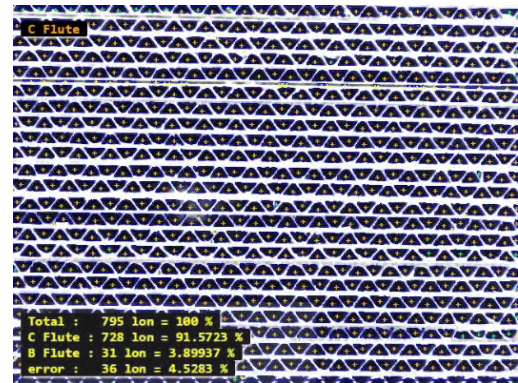
4) การวิเคราะห์หีบถ็อบ (Blob Analysis) การแยกชนิดกระดาศลูกฟูกจะทำการแยกส่วนลอนของกระดาศลูกฟูกเพื่อหาตำแหน่งของแต่ละลอนซึ่งจะได้ตำแหน่งของลอน



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึมครั้งที่ 1



(a) ตัวอย่างที่ 1



(b) ตัวอย่างที่ 2

ภาพที่ 4.9 ภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึม ครั้งที่ 1

การทดสอบเป็นกระตาศลูกฟูกชนิด C จากการทดสอบผลที่ได้คือ ค่าความถูกต้องของกระตาศชนิด C มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 80 โดยภาพที่ 4.9 เป็นภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึม ซึ่งจะเห็นว่าในตัวอย่างที่ 1 แสดงค่าเป็นลอน C อยู่ที่ร้อยละ 70 ส่วนตัวอย่างที่ 2 แยกได้เกินร้อยละ 80 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีส่วนของลอนกระตาศลูกฟูกที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในหัวข้อถัดไปจะทำการปรับปรุงภาพโดยการขยายภาพ เพื่อเพิ่มส่วนของลอนที่เป็นสีขาว และลดขนาดโครงสร้างให้ลดลงยิ่งขึ้น

4.3.2 การแยกผลทดสอบอัลกอริทึมแบบที่ 2 สำหรับการแยกชนิดกระตาศลูกฟูก

จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.1 ทำให้การปรับปรุงในหัวข้อนี้จะทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีด้วยการขยายภาพ และทำการปรับลดขนาดของส่วนประกอบโครงสร้างของการร่อนภาพ ทั้งในส่วนของภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำ ให้มีขนาดลดลงดังภาพที่ 4.10 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ภาพระดับสีเทาภาพที่ได้จากกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะเป็นภาพระดับสีเทาซึ่งก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง เพื่อแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำได้มีการปรับภาพลอนกระตาศลูกฟูกเพื่อให้เห็นพื้นที่ของลอนชัดเจนมากขึ้นโดยใช้เทคนิคมอร์โฟโลยี โดยภาพที่ 4.10 (a) เป็นภาพตัวอย่างกระตาศลูกฟูกที่ได้จากกล้องที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่ามีส่วนของลอนที่ไม่สมบูรณ์มีเศษรอยตัด ภาพที่ 4.10 (b) เป็นภาพที่ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยใช้การขยายภาพตามการที่ 2.3 โดยกำหนดส่วนประกอบโครงสร้าง ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ 3x5 การกำหนดส่วนประกอบโครงสร้างหากทำการกำหนดขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป จากการทดสอบจะทำให้ภาพที่ได้มีผลต่อความสูงของขนาดลอนกระตาศลูกฟูกทำให้การแยกชนิดกระตาศลูกฟูกเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของกระตาศลูกฟูก

2) ภาพขาวดำเมื่อทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำ ก่อนเข้ากระบวนการหาตำแหน่งของลอนกระตาศลูกฟูกจะต้องทำการปรับปรุงภาพลอนกระตาศลูกฟูกเพื่อลดความผิดพลาด จากภาพที่ 4.10 (c) มีส่วนขอบของกระตาศลูกฟูกและลอนกระตาศลูกฟูกที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่จึงนำการปรับปรุงภาพโดยการปิดภาพ ดังสมการที่ (2.5) โดยการปิดภาพจะมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้เห็นลอนกระตาศลูกฟูกที่ใช้ในการหาความสูงได้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่างขนาด 5×5 ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.10 (d) โดยจากการทำการทดสอบถ้าเป็นส่วนประกอบโครงร่างขนาดเล็กจะไม่สามารถตัดวัตถุได้หมดแต่ถ้าเป็นส่วนประกอบโครงร่างขนาดใหญ่ทำให้ลอนกระตาศลูกฟูกบางส่วนขาดหายไปและส่งผลกระทบต่อกระบวนการหาความสูงของลอนที่ผิดพลาด

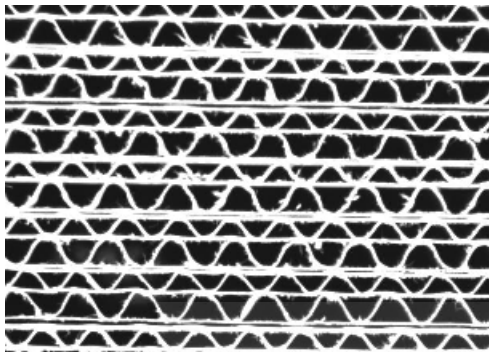
3) การขยายภาพของภาพระดับสีเทา เป็นการปรับปรุงส่วนประกอบโครงร่างของภาพระดับเทา เพื่อขยายขนาดพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวโดยจากเดิมส่วนประกอบโครงร่างของการขยายภาพอยู่ที่ 7×7 ได้ถูกเปลี่ยนเป็น 3×5 เนื่องจากการที่ขยายส่วนพื้นที่สีขาวทำให้มีพื้นที่สีขาวมากเกินไปทำให้โครงสร้างลอนกระตาศลูกฟูกบางส่วนขาดหายไป จึงทำการปรับให้เห็นส่วนสีดำมากขึ้น

4) การกร่อนภาพของภาพระดับสีเทา เป็นการปรับโครงร่างของภาพระดับสีเทาเพื่อลดขนาดของพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวช่วยเพิ่มส่วนที่เป็นสีดำของโครงสร้างลอนกระตาศลูกฟูก จึงทำการกำหนดส่วนประกอบโครงร่างที่ใช้ 5×5 ซึ่งสามารถลบรอยจุดที่เราไม่ต้องการได้

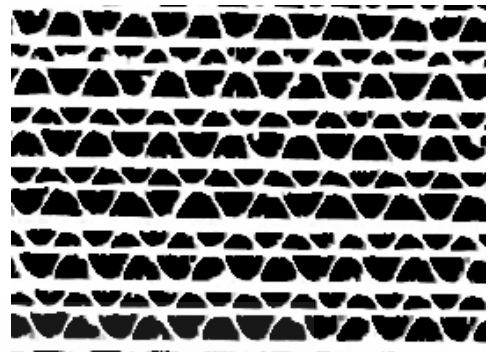
5) การวิเคราะห์หีบลิบเมื่อทำการวิเคราะห์หีบลิบจะทำให้เห็นตำแหน่งของลอนได้ชัดเจน ละตัวส่วนที่ไม่ต้องการออกได้ ช่วยลดความผิดพลาดของการแยกชนิดกระตาศลูกฟูก ดังภาพที่ 4.10 (e)

6) การนับพิกเซล ใช้ความสูงของลอนกระตาศลูกฟูกที่ได้จากการวิเคราะห์หีบลิบมาแยกชนิดกระตาศลูกฟูก โดยใช้ลอน B และลอน C กำหนดชนิดกระตาศลูกฟูก

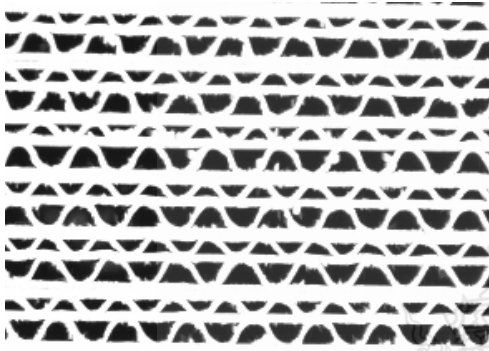
7) แยกชนิดกระตาศลูกฟูกการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกจะทำการแยกส่วนที่เป็นขนาดลอน B และ C คิดเป็นร้อยละของจำนวนลอนทั้งหมดใน 1 ภาพ



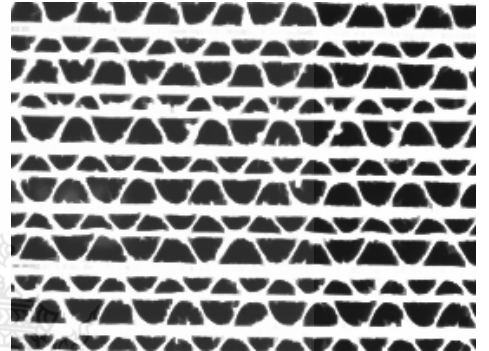
(a) ภาพระดับสีเทา



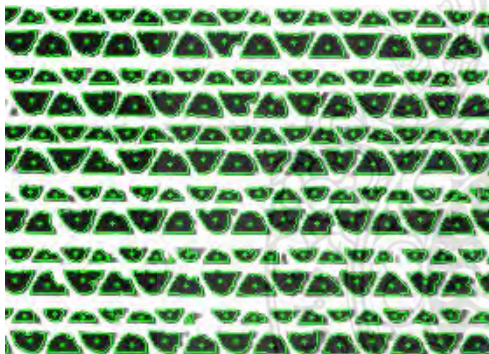
(b) ภาพขาวดำ



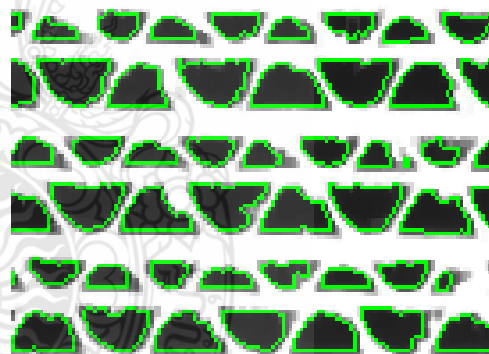
(c) การขยายภาพภาพ



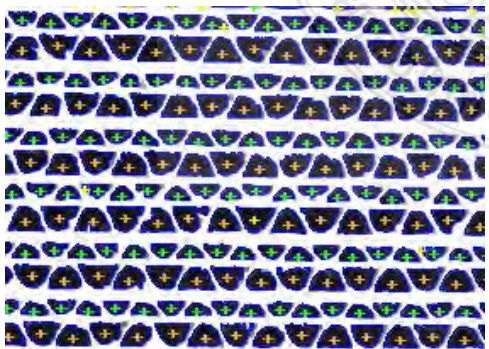
(d) การปิดภาพ



(e) การวิเคราะห์หีบไล่อ



(f) การนับพิกเซล



(g) การแยกชนิดกระดาดาลูกฟูก

ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

จากการปรับปรุงอัลกอริทึมสำหรับการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคมอร์โพลอยีมาทำให้ภาพลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้จากการรับภาพมีความชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถแยกชนิดกระดาศลูกฟูกในหัวข้อที่ 4.4 ต่อไป

4.4 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านลอน โดยกำหนดค่าระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

จากการทดสอบความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ซึ่งค่าความสูงของลอนที่ได้จากการวิเคราะห์หีบถีบกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดและนำมานับจำนวนพิกเซลจะมีความสูงของลอนไม่เท่ากัน จากตารางที่ 2.1 ความสูงของกระดาศแต่ละชนิด นำมาคำนวณเป็นพิกเซลความสูงลอน B และ C และนำไปกำหนดเป็นชนิดของกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC

4.4.1 ผลการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกชนิด B

สำหรับการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยกำหนดความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกอยู่ในช่วง 11-20 พิกเซล โดยกระดาศชนิด B จะมีร้อยละของจำนวนลอน B มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับพิกเซลโดยการวิเคราะห์หีบถีบ ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกชนิด B ดังตารางที่ 4.4

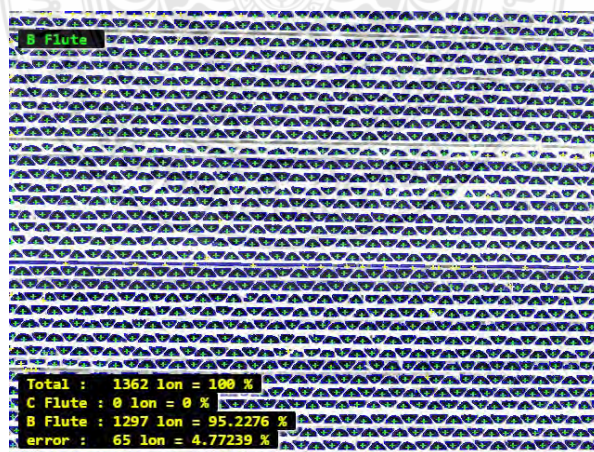
ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง B	ชนิดกระดาศ
1	95.23	0	4.77	✓	B
2	95.21	0.15	4.64	✓	B
3	94.29	0	5.71	✓	B
4	96.22	0	3.78	✓	B
5	96.82	0.23	2.95	✓	B
6	96.70	0.08	3.23	✓	B
7	97.58	0	2.42	✓	B
8	97.54	0.07	2.38	✓	B
9	97.15	0.08	2.78	✓	B

ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร (ต่อ)

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง B	ชนิดกระดาษ
10	97.37	0	2.63	✓	B
11	96.64	0.08	3.28	✓	B
12	97.76	0.08	2.16	✓	B
13	96.01	0	3.99	✓	B
14	94.43	0	5.57	✓	B
15	96.51	0.08	3.41	✓	B
16	96.60	0	3.40	✓	B
17	95.07	0	4.93	✓	B
18	93.27	0	6.93	✓	B
19	94.74	0.15	5.11	✓	B
20	95.05	0.07	4.87	✓	B
เฉลี่ย	96.00	0.05	3.94		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ร้อยละความถูกต้องของลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 96.00 ร้อยละของลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.05 และได้ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.94 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาษชนิด B ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าร้อยละของลอน B อยู่ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด B ได้ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

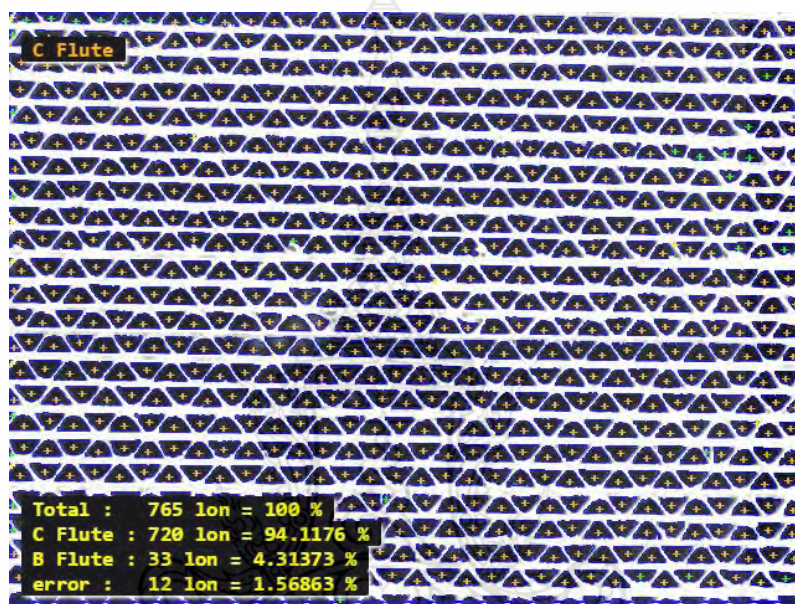
4.4.2 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด C

สำหรับการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยกำหนดความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกอยู่ในช่วง 21-30 พิกเซล โดยกระดาษชนิด C จะมีร้อยละของจำนวนลอน C มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับพิกเซลโดยการวิเคราะห์หับล้อบ ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด C ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง C	ชนิดกระดาษ
1	4.31	94.12	1.57	✓	C
2	5.19	91.96	2.85	✓	C
3	6.48	87.78	5.74	✓	C
4	4.74	92.06	3.20	✓	C
5	5.01	91.39	3.60	✓	C
6	8.89	87.80	3.30	✓	C
7	6.32	91.23	2.45	✓	C
8	5.35	93.74	0.91	✓	C
9	4.95	91.37	3.68	✓	C
10	5.43	90.53	4.04	✓	C
11	6.36	90.46	3.18	✓	C
12	9.24	85.52	5.24	✓	C
13	4.62	91.91	3.47	✓	C
14	4.41	93.90	1.69	✓	C
15	7.08	89.25	3.67	✓	C
16	3.99	93.95	2.06	✓	C
17	3.96	93.48	2.56	✓	C
18	5.03	93.04	1.93	✓	C
19	7.71	88.56	3.73	✓	C
20	3.90	91.57	4.53	✓	C
เฉลี่ย	5.65	91.18	3.17		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ร้อยละความถูกต้องของลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 91.18 ร้อยละลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5.65 และได้ร้อยละของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.17 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาษชนิด C ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าร้อยละลอน C อยู่ที่ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด C ได้ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

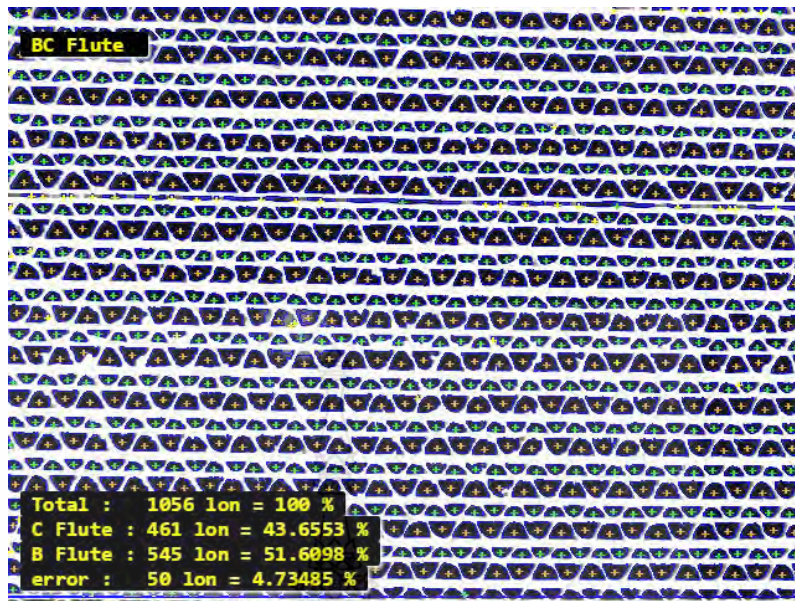
4.4.3 ผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด BC

สำหรับการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยกระดาษชนิด BC จะมีเปอร์เซ็นต์ลอน B และ C อยู่ที่ร้อยละ 20 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับพิกเซลโดยการวิเคราะห์บัสส์ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด BC ดังตารางที่ 4.6

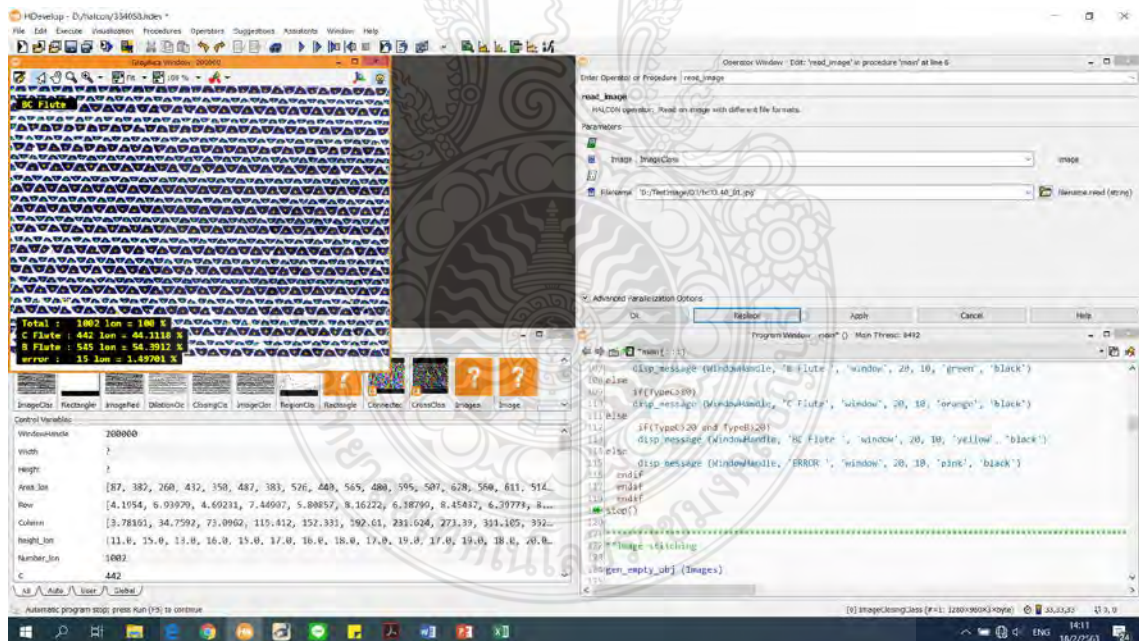
ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง BC	ชนิดกระดาศ
1	51.61	43.66	4.73	✓	BC
2	54.48	43.30	2.22	✓	BC
3	54.64	43.99	1.37	✓	BC
4	51.73	43.19	5.04	✓	BC
5	52.96	44.26	2.77	✓	BC
6	52.82	43.50	3.67	✓	BC
7	52.01	43.15	4.81	✓	BC
8	52.18	41.56	6.26	✓	BC
9	53.31	44.09	2.59	✓	BC
10	54.31	43.49	2.20	✓	BC
11	53.59	42.12	4.29	✓	BC
12	54.94	43.73	1.33	✓	BC
13	55.38	43.65	0.96	✓	BC
14	54.80	43.03	2.17	✓	BC
15	54.97	37.88	7.14	✓	BC
16	53.56	38.52	7.92	✓	BC
17	55.22	38.13	6.65	✓	BC
18	51.80	38.60	9.60	✓	BC
19	52.43	39.25	8.32	✓	BC
20	53.06	38.34	8.60	✓	BC
เฉลี่ย	53.49	41.87	4.63		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ร้อยละของลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 53.49 ร้อยละลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 41.87 และได้ร้อยละของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4.63 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาศชนิด BC ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าร้อยละของลอน C อยู่ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกชนิด BC ได้ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ผลการแยกกระดาดซลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.14 การแยกกระดาดซลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม HALCON

4.5 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านลอนที่ระยะรับภาพต่างๆ

จากหัวข้อที่ 4.4 เป็นการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากเป็นระยะที่เห็นภาพลอนได้ชัดเจน จากผลการทดสอบสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องทั้ง 3 ชนิด จึงถือว่าการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร สามารถทำให้การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกที่ระยะการรับภาพต่างๆ เพื่อหาระยะที่ยังสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ และให้ผลการแยกที่ถูกต้องโดยการทดสอบที่ระยะ 330 มิลลิเมตร เพื่อหาช่วงที่ความสามารถที่ยอมรับได้ในกาแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะการรับภาพที่เปลี่ยนแปลงไป ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านลอนชนิด B ที่ระยะการรับภาพต่างๆ

Working Distance (mm)	ค่าความสูงลอน		ทดสอบการแยกชนิดกระดาษ		
	ลอน B	ลอน C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
250	-	-	-	-	-
280	-	-	-	-	-
300	19	31	✓	✓	✓
320	20	30	✓	✓	✓
350	17	28	✓	✓	✓
380	16	25	✓	✓	✓
420	14	22	✓	✓	✓
450	13	21	✓	✓	✓
480	12	19	✓	✓	✓
500	11	18	x	x	x
520	11	18	x	x	x
550	11	17	x	x	x
580	10	16	x	x	x
600	9	15	x	x	x
620	9	15	x	x	x
650	9	14	x	x	x
680	8	13	x	x	x
700	8	13	x	x	x

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B พบว่าที่ระยะการรับภาพที่ไม่สามารถแยกชนิดกระดาษได้เมื่อมีระยะรับภาพที่ 500 มิลลิเมตร 700 มิลลิเมตร จะสามารถแยกชนิดกระดาษได้เมื่อมี ระยะการรับภาพที่ 300 มิลลิเมตร ถึง 480 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.8 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านลอนชนิด C ที่ระยะการรับภาพต่างๆ

Working Distance (mm)	ค่าความสูงลอน		ทดสอบการแยกชนิดกระดาษ		
	ลอน B	ลอน C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
250	-	-	-	-	-
280	-	-	-	-	-
300	19	31	✓	✓	✓
320	20	30	✓	✓	✓
350	17	28	✓	✓	✓
380	16	25	x	x	x
420	14	22	x	x	x
450	13	21	x	x	x
480	12	19	x	x	x
500	11	18	x	x	x
520	11	18	x	x	x
550	11	17	x	x	x
580	10	16	x	x	x
600	9	15	x	x	x
620	9	15	x	x	x
650	9	14	x	x	x
680	8	13	x	x	x
700	8	13	x	x	x

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการแยกกระตาศลูกฟูกชนิด C พบว่าที่ระยะการรับภาพที่ไม่สามารถแยกชนิดกระตาศได้เมื่อมีระยะรับภาพที่ 380 มิลลิเมตร ถึง 700 มิลลิเมตร จะสามารถแยกชนิดกระตาศได้เมื่อมี ระยะการรับภาพที่ 300 มิลลิเมตร ถึง 350 มิลลิเมตร

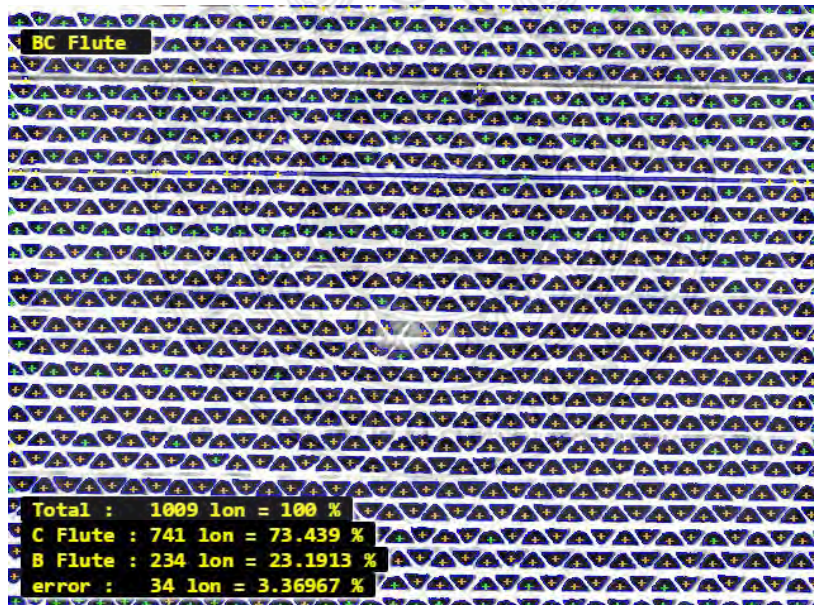
ตารางที่ 4.9 ผลทดสอบการแยกชนิดกระตาศลูกฟูกด้านลอนชนิด BC ที่ระยะการรับภาพต่างๆ

Working Distance (mm)	ค่าความสูงลอน		ทดสอบการแยกชนิดกระตาศ		
	ลอน B	ลอน C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
250	-	-	-	-	-
280	-	-	-	-	-
300	19	31	✓	✓	✓
320	20	30	✓	✓	✓
350	17	28	✓	✓	✓
380	16	25	✓	✓	✓
420	14	22	✓	✓	✓
450	13	21	x	x	x
480	12	19	x	x	x
500	11	18	x	x	x
520	11	18	x	x	x
550	11	17	x	x	x
580	10	16	x	x	x
600	9	15	x	x	x
620	9	15	x	x	x
650	9	14	x	x	x
680	8	13	x	x	x
700	8	13	x	x	x

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC พบว่าที่ระยะการรับภาพที่ไม่สามารถแยกชนิดกระดาษได้เมื่อมีระยะรับภาพที่ 450 มิลลิเมตร ถึง 700 มิลลิเมตร จะสามารถแยกชนิดกระดาษได้เมื่อมี ระยะการรับภาพที่ 250 มิลลิเมตร ถึง 420 มิลลิเมตร

สำหรับภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 600 มิลลิเมตร กระดาษลูกฟูกชนิด C สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 350 มิลลิเมตร และกระดาษลูกฟูกชนิด BC สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 450 ถึง 700 มิลลิเมตร

โดยที่ระยะการรับภาพระหว่าง 300 มิลลิเมตร ถึง 350 มิลลิเมตร สามารถแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B, C และ BC ได้ถูกต้อง ซึ่งจากจุดโฟกัส 330 มิลลิเมตร ขอบกระดาษเหลือมเข้าจุดโฟกัสได้ไม่เกิน 30 มิลลิเมตร และขอบกระดาษเหลือมออกจากจุดโฟกัสมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิเมตร จึงจะสามารถแยกชนิดกระดาษได้ถูกต้องเนื่องจากเมื่อค่าระยะการรับภาพมากขึ้นความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกจะลดลง และเมื่อค่าระยะการรับภาพมีค่าน้อยลงความสูงของลอนกระดาษจะเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งจะทำให้เห็นพื้นที่ลอนไม่ชัดเจน ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะเกิน 350 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 380 มิลลิเมตร

4.6 ผลทดสอบการต่อภาพกระดาษลูกฟูกของแต่ละระยะการรับภาพที่เปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับต่างๆ

การทดสอบการในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบต่อภาพกระดาษลูกฟูกโดยกำหนดระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาษลูกฟูกที่ค่าต่างๆ ทดสอบที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับเริ่มต้นตั้งแต่ร้อยละ 5 และเพิ่มขึ้นทีละร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 40 เพื่อทดสอบว่าระยะห่างระหว่างเลนส์กล้องกับกระดาษลูกฟูกที่สามารถต่อภาพกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดได้ถูกต้องต้องมีค่าร้อยละของพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพที่เท่าไร

ตารางที่ 4.10 ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้องในแต่ละค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับในแต่ละค่าระยะการรับภาพ

ระยะการรับภาพ (mm)	ระยะการเลื่อนตำแหน่งของกล้อง (cm)							
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
250	6.84	6.48	6.12	5.76	5.4	5.04	4.68	4.32
280	7.695	7.29	6.885	6.48	6.075	5.67	5.265	4.86
300	8.265	7.83	7.395	6.96	6.525	6.09	5.655	5.22
330	9.12	8.64	8.16	7.68	7.2	6.72	6.24	5.76
350	9.69	9.18	8.67	8.16	7.65	7.14	6.63	6.12
380	10.545	9.99	9.435	8.88	8.325	7.77	7.215	6.66
420	11.69	11.07	10.46	9.84	9.23	8.61	7.99	7.38
450	12.54	11.88	11.22	10.56	9.9	9.24	8.58	7.92
480	13.395	12.69	11.985	11.28	10.575	9.87	9.165	8.46
500	13.965	13.23	12.495	11.76	11.025	10.29	9.555	8.82
520	14.53	13.77	13.01	12.24	11.475	10.71	9.945	9.18
550	15.39	14.58	13.77	12.96	12.15	11.34	10.53	9.72
580	16.245	15.39	14.535	13.68	12.825	11.97	11.115	10.26
600	16.825	15.93	15.045	14.16	13.275	12.39	11.505	10.62
620	17.385	16.47	15.55	14.64	13.73	12.81	11.89	10.98
650	18.24	17.28	16.32	15.36	14.40	13.44	12.48	11.52
680	19.19	18.18	17.17	16.16	15.15	14.14	13.13	12.12
700	19.76	18.72	17.68	16.64	15.60	14.56	13.52	12.48

จากตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่งการเลื่อนกลิ้งเพื่อใช้ในการรับภาพกระดาดลูกฟูก พบว่าเมื่อระยะการรับภาพมีค่ามากจะสามารถรับภาพได้มาก และทำให้ระยะกลิ้งเคลื่อนที่ได้มาก ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับน้อยจะทำให้การเลื่อนตำแหน่งกลิ้งในแต่ละครั้งเคลื่อนที่ได้ไกลกว่าส่วนของเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับมากซึ่งจะทำให้ในการรับภาพมีความรวดเร็ว

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่ซ้อนทับต่างๆของกระดาดลูกฟูกชนิด B

ระยะการรับภาพ (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
250	X	X	X	X	X	X	X	X
280	X	X	X	X	X	X	X	X
300	X	X	X	X	X	X	X	X
330	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
350	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
380	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
420	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
450	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
520	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
550	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
580	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
600	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
620	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
650	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
680	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
700	-	-	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B พบว่าที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อยร้อยละ 25 คือ ที่ระยะการรับภาพ 380 มิลลิเมตร ถึง 650 มิลลิเมตร และสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ คือ ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ถึง 350 มิลลิเมตร และระยะการรับภาพ 680 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.16

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่ซ้อนทับต่างๆของกระดาษลูกฟูกชนิด C

ระยะการรับภาพ (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
250	X	X	X	X	X	X	X	X
280	X	X	X	X	X	X	X	X
300	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
330	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
350	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
380	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
420	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
450	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
520	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
550	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
580	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
600	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
620	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
650	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
680	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
700	-	-	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C พบว่าที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อยร้อยละ 25 คือ ที่ระยะการรับภาพ 300 มิลลิเมตร ถึง 620 มิลลิเมตร และสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ คือ ที่ระยะการรับภาพที่ 650 มิลลิเมตร ถึง 680 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบการต่อภาพแต่ละค่าระยะการรับภาพ ที่ค่าร้อยละพื้นที่ซ้อนทับต่างๆของกระดาษลูกฟูกชนิด BC

Working Distance (mm)	ทดสอบต่อภาพที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับต่างๆ							
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
250	X	X	X	X	X	X	X	X
280	X	X	X	X	X	X	X	X
300	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
330	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
350	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
380	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
420	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
450	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
480	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
500	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
520	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
550	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
580	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
600	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
620	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
650	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
680	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓
700	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓

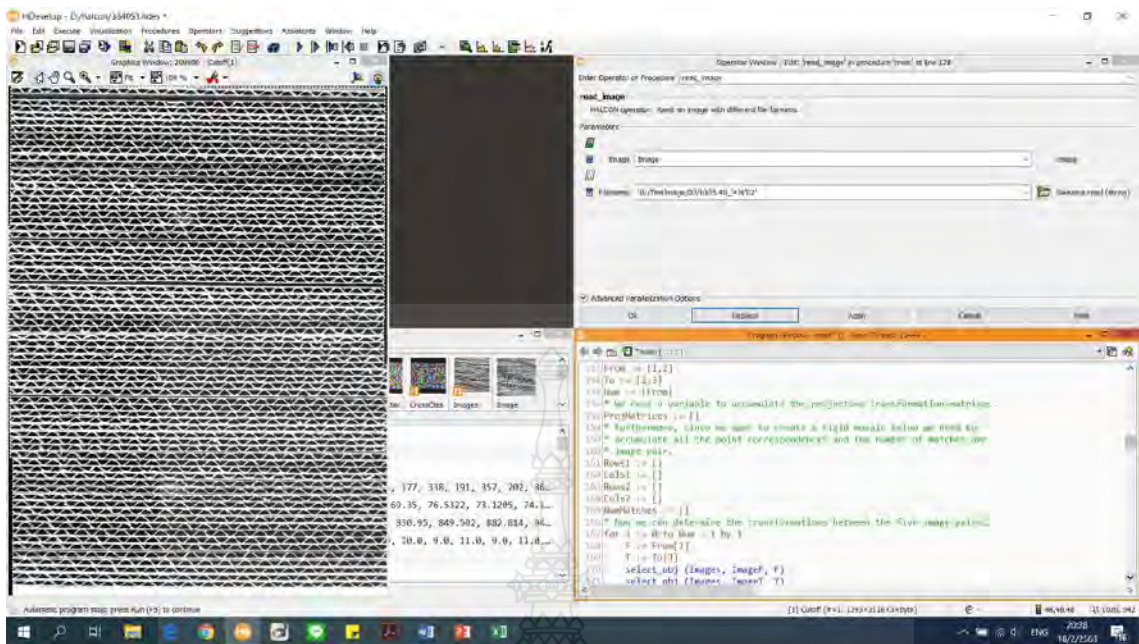
จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C พบว่าที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อยร้อยละ 20 คือ ที่ระยะการรับภาพ 500 มิลลิเมตร ถึง 580 มิลลิเมตร สามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ คือ ที่ระยะการรับภาพ 450 มิลลิเมตร ถึง 480 มิลลิเมตร และที่ระยะการรับภาพ 600 มิลลิเมตร ถึง 700 มิลลิเมตร และสามารถต่อภาพได้เมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับระหว่างภาพอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์ คือ ที่ระยะการรับภาพที่ 300 มิลลิเมตร ถึง 420 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.18

สำหรับภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B โดยเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยร้อยละ 25 สามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 380 ถึง 650 มิลลิเมตร และที่ระยะ 330 ถึง 350 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับของภาพอย่างน้อยร้อยละ 30 โดยที่ระยะน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร จะไม่สามารถต่อภาพกระดาษลูกฟูกได้

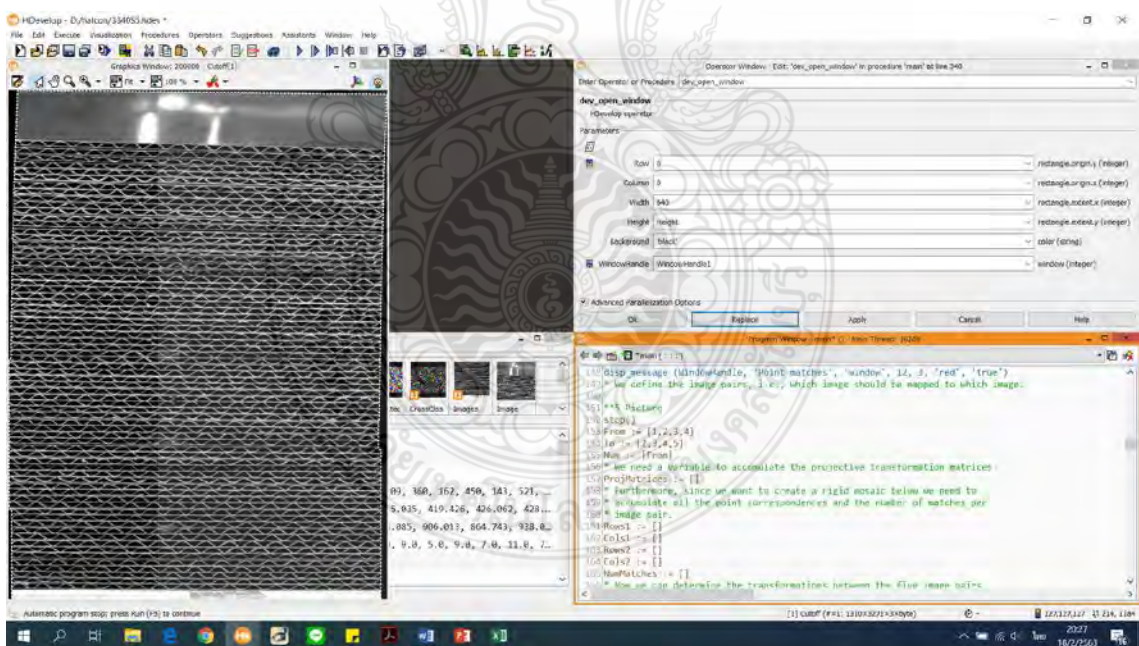
สำหรับภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C โดยเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยร้อยละ 25 สามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 620 มิลลิเมตร และที่ระยะ 650 ถึง 680 มิลลิเมตร จะสามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าพื้นที่ซ้อนทับของภาพอย่างน้อยร้อยละ 30 โดยที่ระยะน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร จะไม่สามารถต่อภาพกระดาษลูกฟูกได้

สำหรับภาพกระดาษลูกฟูกชนิด BC โดยเมื่อมีพื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยร้อยละ 20 สามารถต่อได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 500 ถึง 580 มิลลิเมตร ที่พื้นที่ซ้อนทับอย่างน้อยร้อยละ 25 สามารถต่อภาพได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 450 ถึง 480 มิลลิเมตร และระยะที่ 600 ถึง 700 มิลลิเมตร และที่พื้นที่ซ้อนทับของภาพอย่างน้อยร้อยละ 30 สามารถต่อได้เมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 400 มิลลิเมตร โดยที่ระยะน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร จะไม่สามารถต่อภาพกระดาษลูกฟูกได้

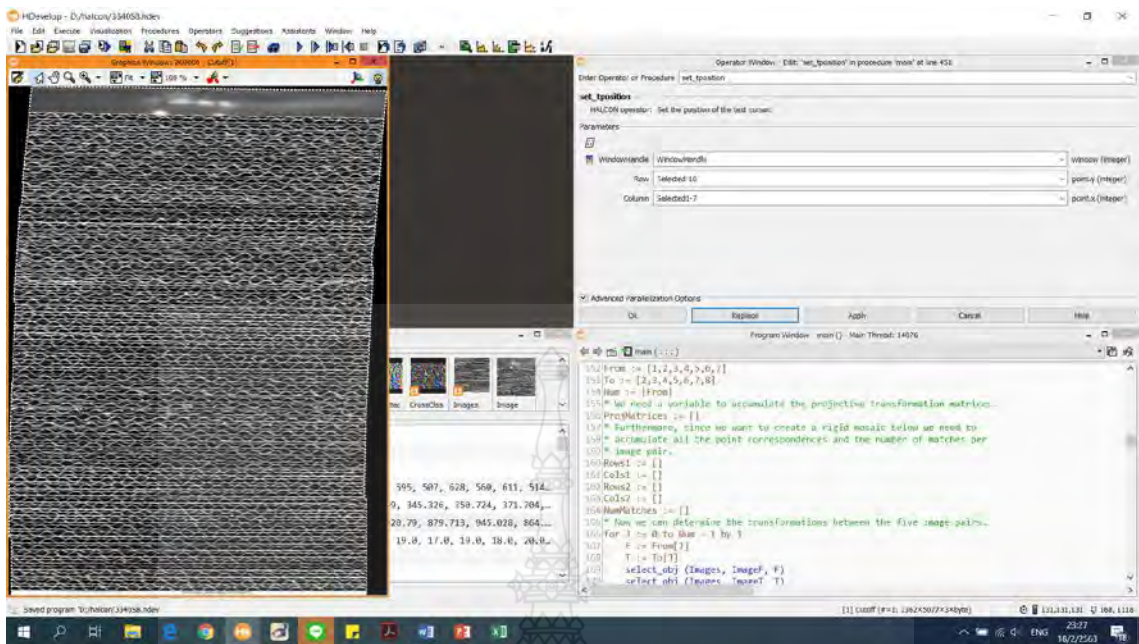
โดยที่ระยะเท่ากับ 250 มิลลิเมตร กระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดจะไม่สามารถใช้อัลกอริทึมรวมภาพกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพที่ออกแบบไว้ได้เนื่องจากจุดภาพที่ใช้ในการหาความสอดคล้องระหว่างภาพมีจำนวนไม่เพียงพอจึงทำให้อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ไม่สามารถทำการนำภาพมาต่อกันได้ และสำหรับค่าพื้นที่ซ้อนทับที่อย่างน้อยร้อยละ 30 จะเป็นค่าที่ให้ภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ต่อภาพได้ และภาพที่ 4.19 แสดงผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B ที่ระยะการรับภาพที่ 300 มิลลิเมตร ที่ไม่สามารถต่อภาพได้



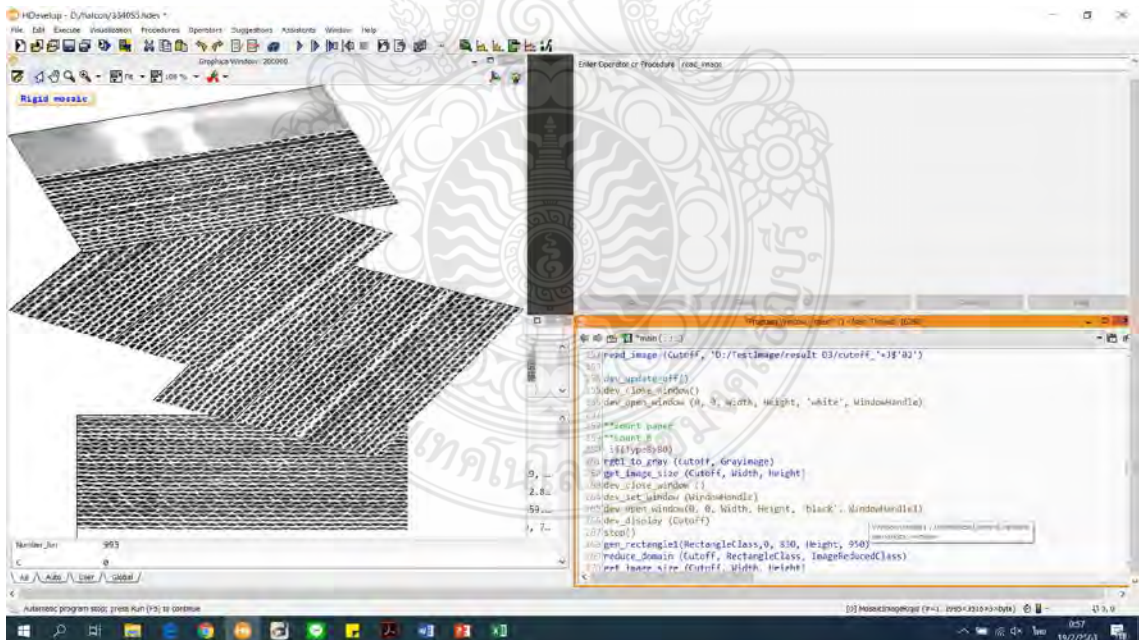
ภาพที่ 4.16 ผลการต่อภาพกระดาดลูกฟูกชนิด B ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.17 ผลการต่อภาพกระดาดลูกฟูกชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.18 ผลการต่อภาพกระดาดขลุ่ยขชนิด BC ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.19 ผลการต่อภาพกระดาดขลุ่ยขชนิด C ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

4.7 ผลทดสอบการนับกระดาศลูกฟูกด้านลอน

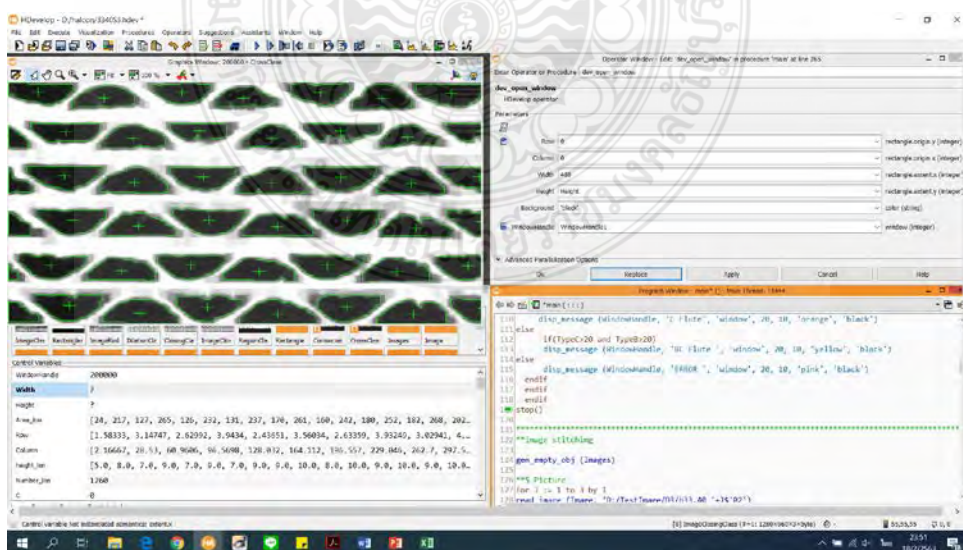
4.7.1 ผลทดสอบการนับกระดาศลูกฟูกด้านลอนที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40

4.7.1.1 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้วยโปรแกรม HALCON

สำหรับการนับกระดาศลูกฟูกชนิด B ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ลอน B จะมีความสูงของลอนอยู่ที่ 25 จุดภาพ การนับจำนวนกระดาศลูกฟูกจะกำหนดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางของลอนแต่ละแถวซึ่งจะพิจารณาความสูงของลอนระยะห่างของจุดศูนย์กลางของแถวสูงสุด กำหนดเป็นกระดาศลูกฟูกชนิด B 1 แผ่น ซึ่งผลการนับกระดาศลูกฟูกชนิด B สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.14

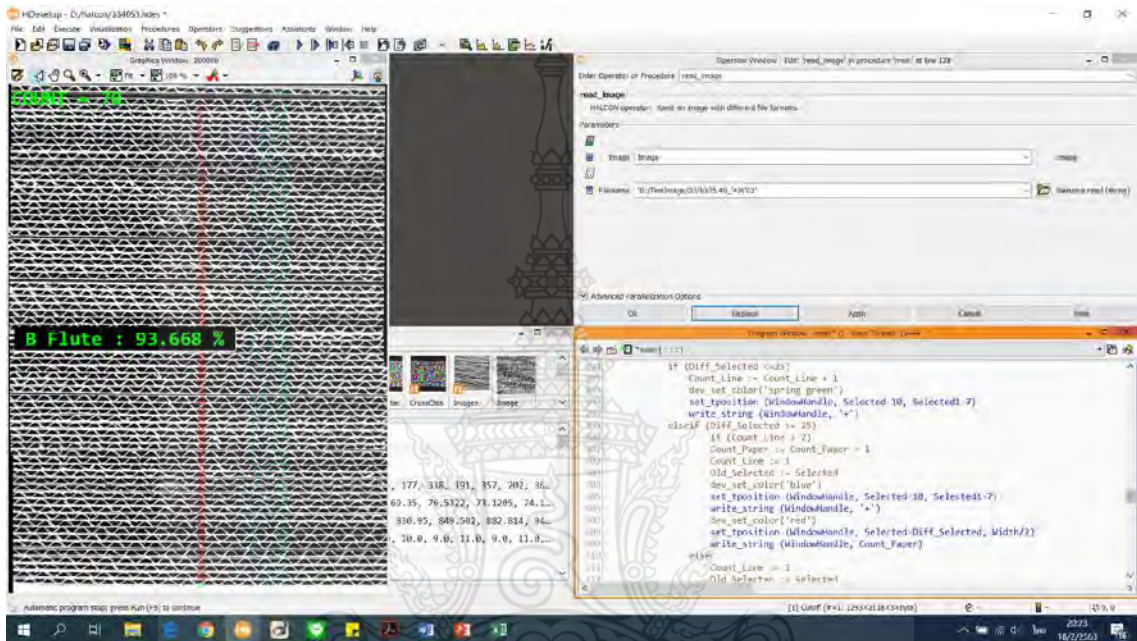
ตารางที่ 4.14 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40

ทดสอบการนับกระดาศลูกฟูก	จำนวนกระดาศที่ใช้ทดสอบ	จำนวนภาพที่ใช้ต่อ	จำนวนกระดาศที่ได้จากการนับ	ร้อยละความถูกต้องในการนับ
ครั้งที่ 1	70	3	70	100
ครั้งที่ 2	70	3	70	100
ครั้งที่ 3	70	3	70	100



ภาพที่ 4.20 การวิเคราะห์หับล้อเพื่อหาจุดศูนย์กลางของแต่ละลอนกระดาศลูกฟูก

จากตารางที่ 4.14 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จากภาพการต่อกระดาศลูกฟูกที่ค่าการซ้อนทับร้อยละ 40 ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร สามารถต่อภาพชนิด B จำนวน 3 ภาพเข้าด้วยกันและนับจำนวนกระดาศลูกฟูกได้ 70 แผ่น ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องร้อยละ 100 ตรงตามจำนวนกระดาศที่นำมาทดสอบ โดยแสดงผลการนับได้ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 ผลการนับกระดาศลูกฟูกชนิด B โดยใช้ระยะห่างระหว่างแถวของลอนในแต่ละแถว

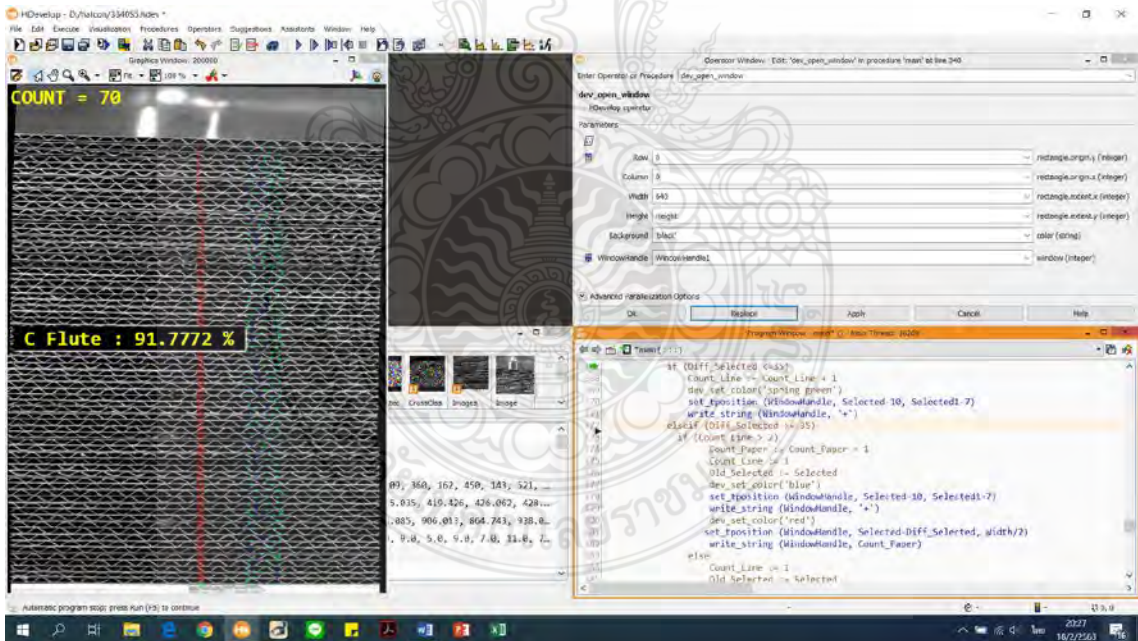
4.7.1.2 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C ด้วยโปรแกรม HALCON

สำหรับการนับกระดาศลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ลอน C จะมีความสูงของลอนอยู่ที่ 35 จุดภาพ การนับจำนวนกระดาศลูกฟูกจะกำหนดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางของลอนแต่ละแถวซึ่งจะพิจารณาความสูงของลอนระยะห่างของจุดศูนย์กลางของแถวสูงสุดกำหนดเป็นกระดาศลูกฟูกชนิด C 1 แผ่น ซึ่งผลการนับกระดาศลูกฟูกชนิด C สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40

ทดสอบการนับกระดาษลูกฟูก	จำนวนกระดาษที่ใช้ทดสอบ	จำนวนภาพที่เชื่อมต่อ	จำนวนกระดาษที่ได้จากการนับ	ร้อยละความถูกต้องในการนับ
ครั้งที่ 1	70	5	70	100
ครั้งที่ 2	70	5	70	100
ครั้งที่ 3	70	5	70	100

จากตารางที่ 4.15 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด C จากภาพการต่อกระดาษลูกฟูกที่ค่าการซ้อนทับร้อยละ 40 ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร สามารถต่อภาพชนิด C จำนวน 5 ภาพเข้าด้วยกันและนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ 70 แผ่น ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องร้อยละ 100 ตรงตามจำนวนกระดาษที่นำมาทดสอบ โดยแสดงผลการนับได้ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ผลการนับกระดาษลูกฟูกชนิด C ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร

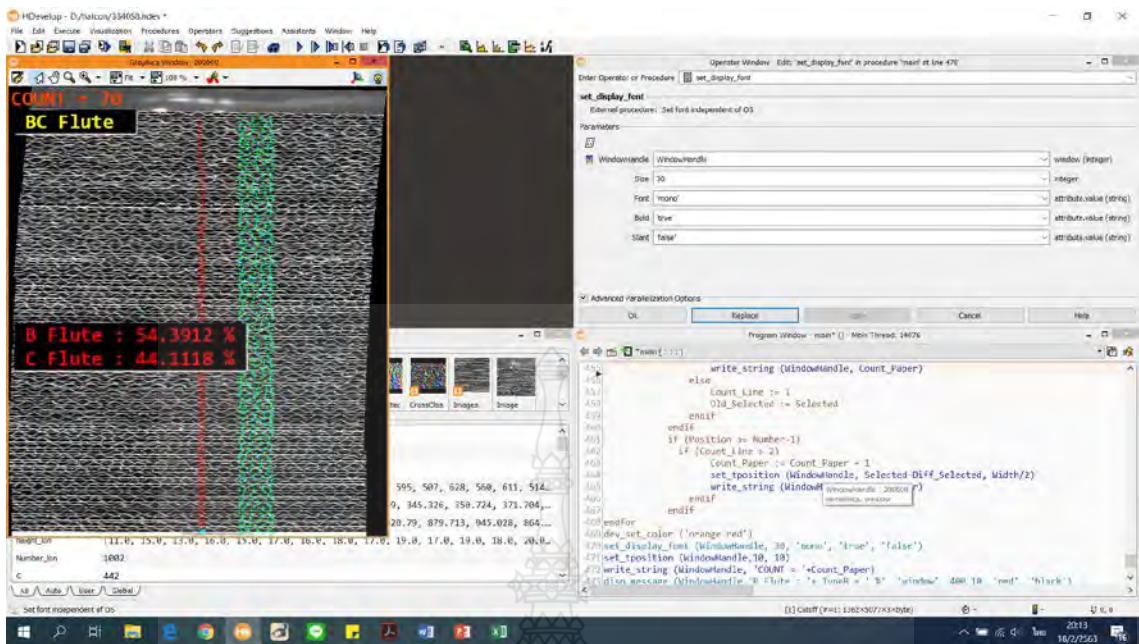
4.7.1.3 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC ด้วยโปรแกรม HALCON

สำหรับการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร กระดาษลูกฟูกชนิด BC จะประกอบด้วยลอน 2 ชนิด คือ ลอน B และ ลอน C สำหรับลอน B จะมีความสูงของลอนอยู่ที่ 25 จุดภาพ และสำหรับลอน C จะมีความสูงของลอนอยู่ที่ 35 จุดภาพ การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จะกำหนดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางของลอน C มาใช้นับ โดยจุดศูนย์กลางแผ่นที่ 1 กับแผ่นที่ 2 จะกำหนดให้มีระยะห่างมากกว่า 60 จุดภาพนับเป็นกระดาษลูกฟูกชนิด BC 1 แผ่น เนื่องจากกระดาษ BC จะมีลอน B อยู่ตรงกลางดังนั้นระยะห่างที่น้อยกว่า 25 จุดภาพ โดยหากเจอที่ระยะห่างดังกล่าวจะไม่นำมาพิจารณาในการนับ ซึ่งผลการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร ที่ค่าพื้นที่ซ้อนทับร้อยละ 40

ทดสอบการนับกระดาษลูกฟูก	จำนวนกระดาษที่ใช้ทดสอบ	จำนวนภาพที่ใช้ต่อ	จำนวนกระดาษที่ได้จากการนับ	ร้อยละความถูกต้องในการนับ
ครั้งที่ 1	70	8	70	100
ครั้งที่ 2	70	8	70	100
ครั้งที่ 3	70	8	70	100

จากตารางที่ 4.16 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกชนิด BC จากภาพการต่อกระดาษลูกฟูกที่ค่าการซ้อนทับร้อยละ 40 ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร สามารถต่อภาพชนิด BC จำนวน 8 ภาพเข้าด้วยกันและนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ 70 แผ่น ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งให้ความถูกต้องร้อยละ 100 ตรงตามจำนวนกระดาษที่นำมาทดสอบ โดยแสดงผลการนับได้ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 ผลการนับกระดาษลูกฟูกชนิด BC ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร

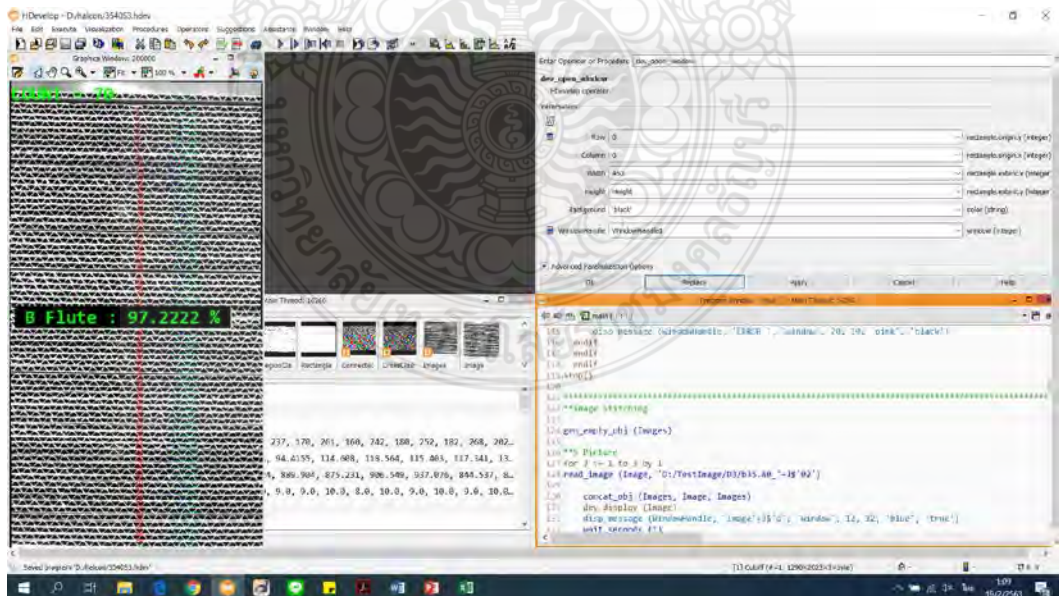
4.7.2 ผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกด้านลอนที่ระยะการรับภาพที่ค่าต่างๆ

จากหัวข้อที่ 4.9 เป็นการทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมมากที่สุด จากผลการทดสอบสามารถนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องทั้ง 3 ชนิด จึงถือว่าระยะการรับภาพที่ 330 มิลลิเมตร สามารถทำให้การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกมีความถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการทดสอบการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกที่ระยะการรับภาพต่างๆ เพื่อหาระยะที่ยังสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง โดยการทดสอบที่ระยะ 330 มิลลิเมตร เพื่อหาช่วงที่ความสามารถที่ยอมรับได้ในการนับจำนวนกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องเมื่อมีระยะการรับภาพที่เปลี่ยนแปลงไป ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.17 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้ (mm)	จำนวนภาพ	จำนวนกระดาศที่ใช้ทดสอบ	จำนวนกระดาศที่ได้จากการนับ
300	3	70	มากกว่าที่กำหนด
310	3	70	มากกว่าที่กำหนด
320	3	70	70
330	3	70	70
340	3	70	70
350	3	70	ต่ำกว่าที่กำหนด

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ทดสอบที่ระยะการรับภาพที่สามารถแยกชนิดกระดาศลูกฟูกและต่อภาพกระดาศลูกฟูกได้ พบว่าที่ระยะการรับภาพน้อยกว่า 330 มิลลิเมตร ออกไป 30 มิลลิเมตร จะไม่สามารถนับจำนวนภาพได้ถูกต้อง จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบระยะรับภาพที่เกินระยะ 330 มิลลิเมตร ออกไปที่ละ 10 มิลลิเมตร พบว่าสามารถนับกระดาศได้ถูกต้องที่ไม่เกินระยะ 350 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.24

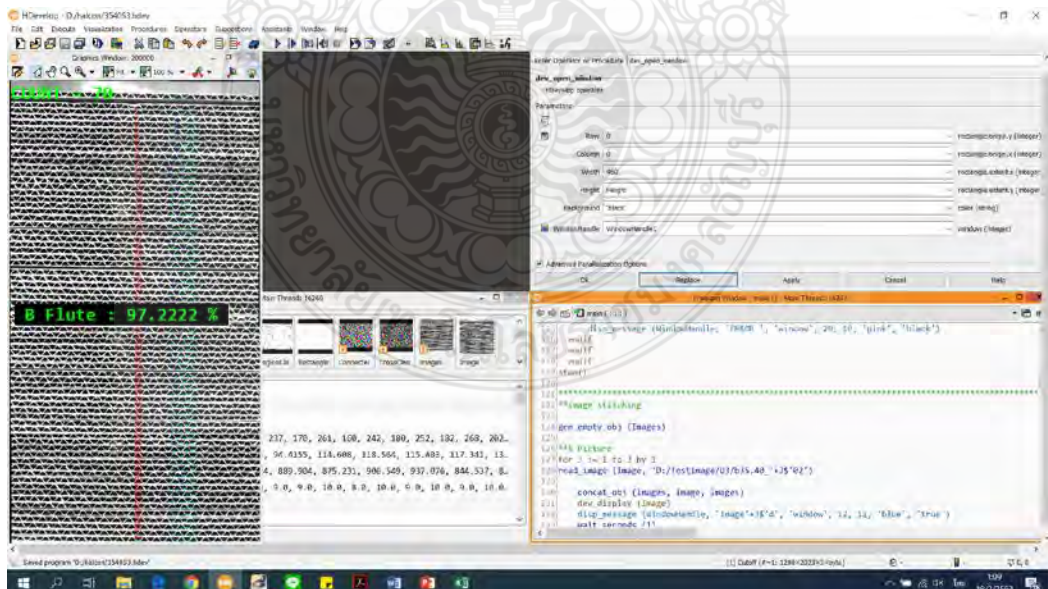


ภาพที่ 4.24 ผลการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ 350 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.18 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้ (mm)	จำนวนภาพ	จำนวนกระดาศที่ใช้ทดสอบ	จำนวนกระดาศที่ได้จากการนับ
300	5	70	มากกว่าที่กำหนด
310	5	70	มากกว่าที่กำหนด
320	5	70	70
330	5	70	70
340	5	70	70
350	5	70	ต่ำกว่าที่กำหนด

จากตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ทดสอบที่ระยะการรับภาพที่สามารถแยกชนิดกระดาศลูกฟูกและต่อภาพกระดาศลูกฟูกได้ พบว่าที่ระยะการรับภาพน้อยกว่า 330 มิลลิเมตร ออกไป 30 มิลลิเมตร จะไม่สามารถนับจำนวนภาพได้ถูกต้อง จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบระยะรับภาพที่เกินระยะ 330 มิลลิเมตร ออกไปที่ละ 10 มิลลิเมตร พบว่าสามารถนับกระดาศได้ถูกต้องที่ไม่เกินระยะ 350 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.25

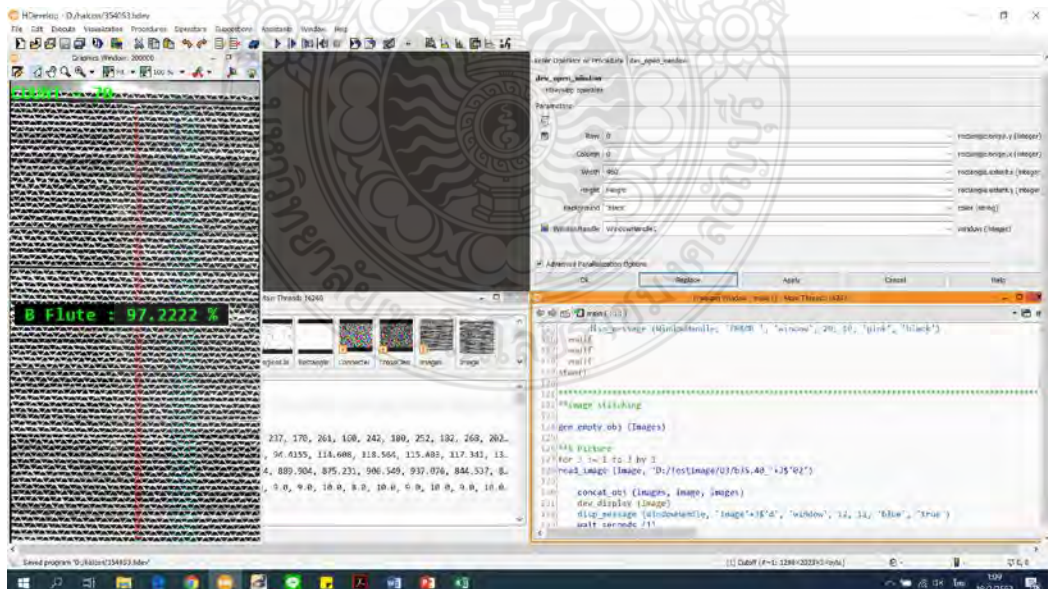


ภาพที่ 4.25 ผลการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด C จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ 380 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ด้วยโปรแกรม Halcon ที่ระยะการรับภาพที่สามารถต่อภาพได้

ระยะการรับภาพที่ต่อภาพได้ (mm)	จำนวนภาพ	จำนวนกระดาศที่ใช้ทดสอบ	จำนวนกระดาศที่ได้จากการนับ
300	8	70	มากกว่าที่กำหนด
310	8	70	มากกว่าที่กำหนด
320	8	70	70
330	8	70	70
340	8	70	70
350	8	70	ต่ำกว่าที่กำหนด

จากตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ทดสอบที่ระยะการรับภาพที่สามารถแยกชนิดกระดาศลูกฟูกและต่อภาพกระดาศลูกฟูกได้ พบว่าที่ระยะการรับภาพน้อยกว่า 330 มิลลิเมตร ออกไป 30 มิลลิเมตร จะไม่สามารถนับจำนวนภาพได้ถูกต้อง จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบระยะรับภาพที่เกินระยะ 330 มิลลิเมตร ออกไปที่ละ 10 มิลลิเมตร พบว่าสามารถนับกระดาศได้ถูกต้องที่ไม่เกินระยะ 350 มิลลิเมตร แสดงผลการต่อภาพดังภาพที่ 4.26

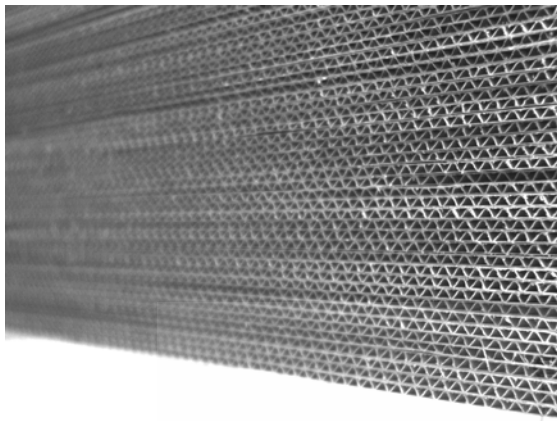


ภาพที่ 4.26 ผลการนับจำนวนกระดาศลูกฟูกชนิด BC จำนวน 70 แผ่น ที่ระยะรับภาพ 380 มิลลิเมตร

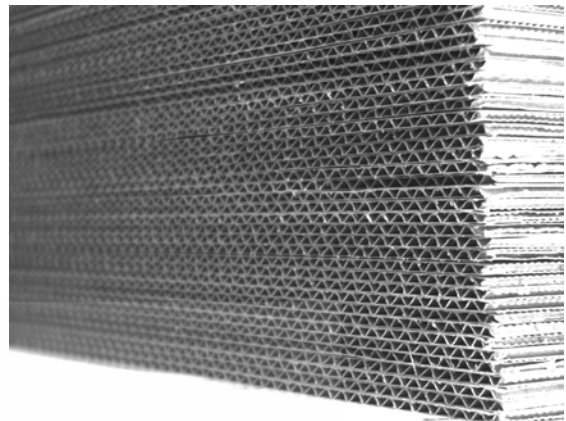
จากการทดสอบในหัวข้อ 4.7 เป็นการทดสอบการนับจำนวนกระตาดลูกฟูกจากระยะการรับภาพที่สามารถรวมภาพกระตาดลูกฟูกได้ถูกต้องด้วยเทคนิคการต่อภาพ เพื่อหาว่าระยะที่สามารถต่อภาพได้นั้นจะสามารถให้ผลการนับที่ถูกต้องด้วยหรือไม่ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าภาพกระตาดลูกฟูกชนิด BC สามารถนับกระตาดได้ถูกต้องเมื่อมีค่าระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 390 ถึง 510 มิลลิเมตร กระตาดชนิด C ระยะการรับภาพอยู่ในช่วง 430 ถึง 590 มิลลิเมตร และกระตาดชนิด B ระยะการรับภาพจะอยู่ในช่วง 400 ถึง 590 มิลลิเมตร ดังนั้นระยะของการโฟกัสกล้องที่มีความทนทานสำหรับการต่อภาพและนับผลที่ถูกต้องอยู่ในช่วงไม่เกิน ± 30 มิลลิเมตร โดยที่จุดภาพที่มีขนาดเล็กที่สุด คือจุดที่กล้องสามารถตรวจจับได้ และทำให้สามารถรวมภาพกระตาดลูกฟูกด้วยเทคนิคการต่อภาพได้โดยที่ให้ผลการนับจำนวนกระตาดลูกฟูกได้ถูกต้อง และสำหรับระยะการรับภาพนอกเหนือจากนี้การนับกระตาดลูกฟูกด้วยอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ไม่สามารถนับได้ถูกต้องเนื่องจากเมื่อภาพถูกนำมากำหนดค่าขีดแบ่งของลอนเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการนับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของภาพขาวดำที่เกิดขึ้นจะทำให้ไม่สามารถหาขนาดพื้นที่ของลอนได้ครบถ้วนจึงทำให้อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบเกิดความผิดพลาดในการนับ

4.8 ผลทดสอบการรับภาพด้านมุมด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ โดยกำหนดค่าระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

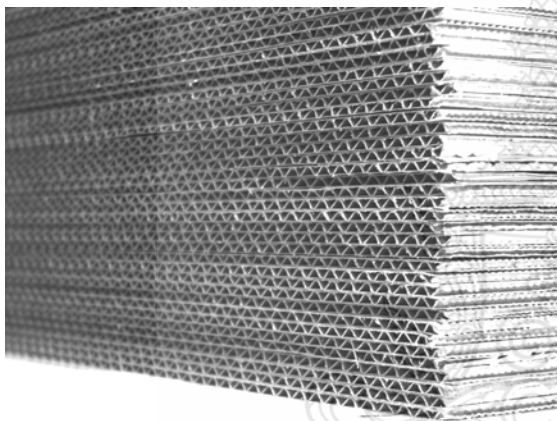
ผลการทดสอบการแยกชนิดกระตาดลูกฟูกด้านมุม ซึ่งทำการทดสอบที่มุมตั้งแต่ 115 องศา ถึง 130 องศาโดยการปรับค่าองศาทีละ 5 องศา เนื่องจากการปรับค่าทีละองศาที่มีค่าต่างกันไม่มาก โดยการเก็บภาพด้านมุมนั้น ในส่วนพื้นที่ที่ต้องการนำมาตรวจสอบจะใช้พื้นที่ 150x950 พิกเซล เนื่องจากความสูงของลอนกระตาดลูกฟูกจะมีค่าไม่เท่ากัน



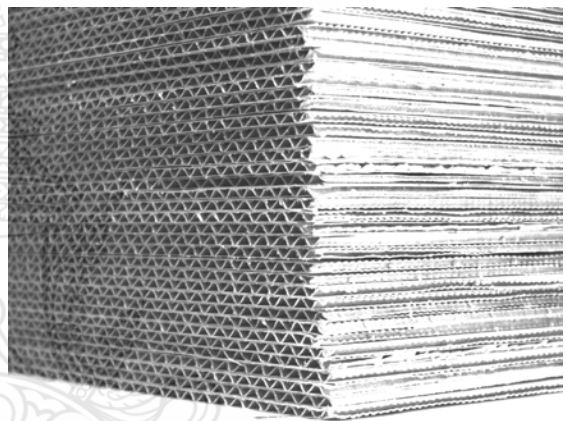
(a) มุม 115 องศา



(b) มุม 120 องศา

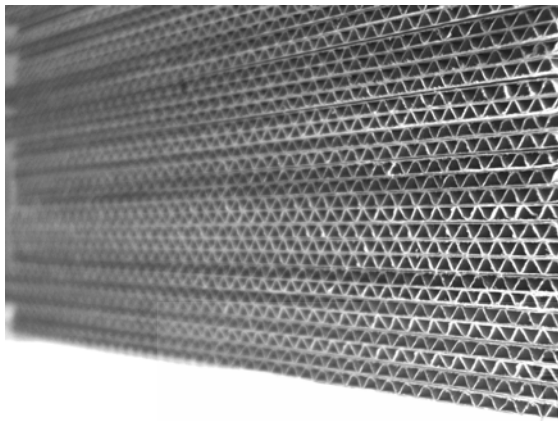


(c) มุม 125 องศา

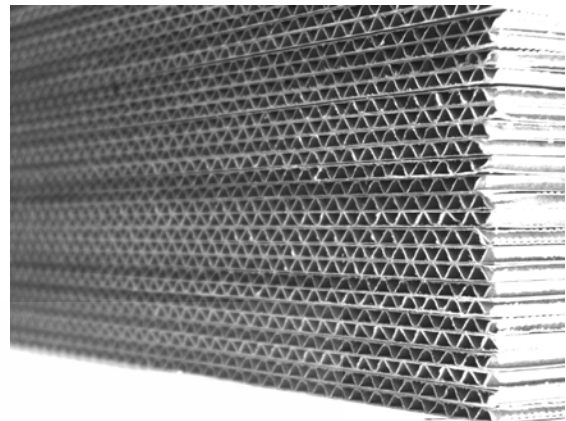


(d) มุม 130 องศา

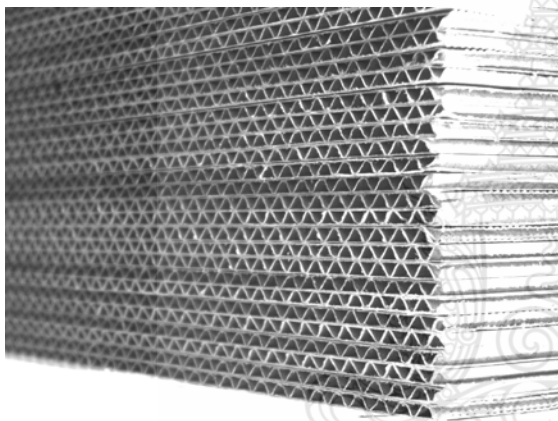
ภาพที่ 4.27 กระจาดาชลุฟูกชนิด B ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร



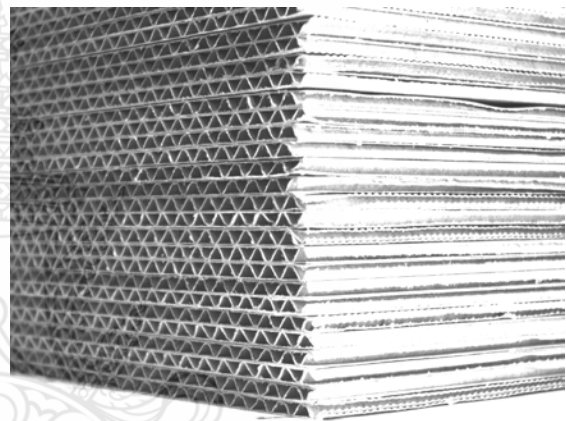
(a) มุม 115 องศา



(b) มุม 120 องศา

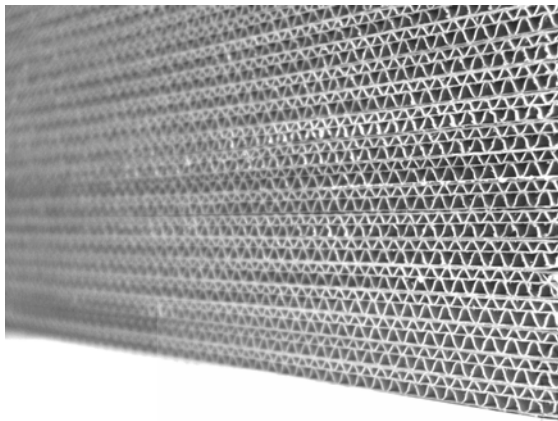


(c) มุม 125 องศา

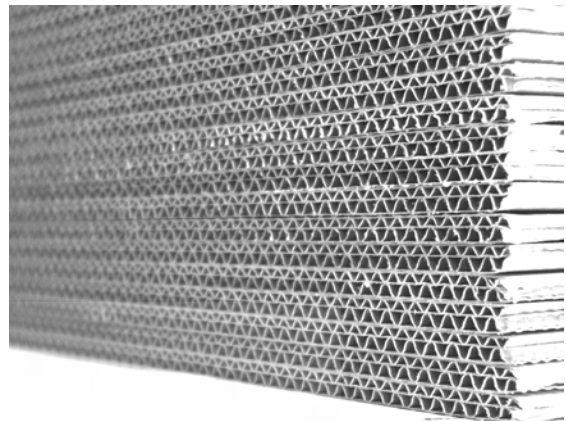


(d) มุม 130 องศา

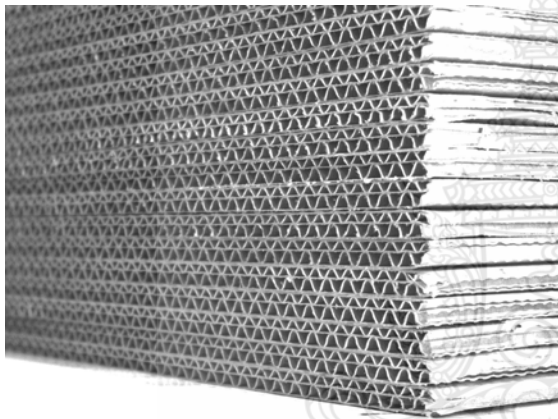
ภาพที่ 4.28 กระจาดาชลุฟูกชนิด C ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร



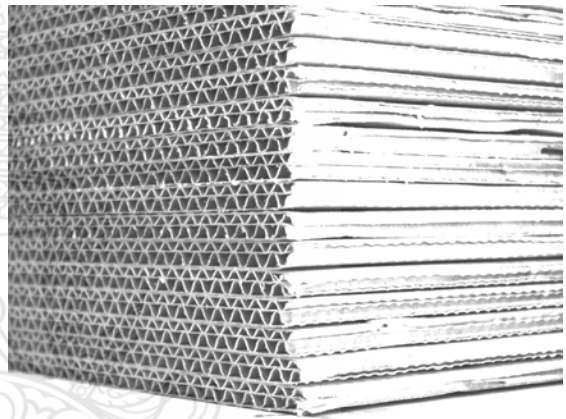
(a) มุม 115 องศา



(b) มุม 120 องศา



(c) มุม 125 องศา



(d) มุม 130 องศา

ภาพที่ 4.29 กระดาษลูกฟูกชนิด BC ด้านมุม ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร

4.9 ผลทดสอบอัลกอริทึมสำหรับการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมุม

การทดสอบอัลกอริทึมด้านมุมจะเป็นการทดสอบภาพลอนกระดาษลูกฟูกที่กล้องรับภาพแบบพื้นที่รับภาพด้านมุม 125 องศา เพื่อแยกชนิดของกระดาษลูกฟูกโดยนำอัลกอริทึมจากหัวข้อที่ 3.3 มาทำการปรับปรุงภาพลอนด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีเพื่อให้เห็นภาพลอนชัดเจนขึ้น เนื่องจากจะมีลอนกระดาษลูกฟูกบางจุดที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำการปรับปรุงภาพก่อนกำหนดค่าขีดแบ่งและแปลงภาพเป็นภาพขาวดำจากนั้นทำการวิเคราะห์บล็ออบเพื่อหาความสูงของลอนและแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.8 ทำให้การปรับปรุงในหัวข้อนี้จะทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีด้วยการขยายภาพ และทำการปรับลดขนาดของส่วนประกอบโครงร่างของการกร่อนภาพ ทั้งในส่วนของภาพระดับสีเทาและภาพขาวดำ ให้มีขนาดลดลงดังภาพที่ 4.30 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.9.1 ภาพระดับสีเทาภาพที่ได้จากกล้องรับภาพแบบพื้นที่จะเป็นภาพระดับสีเทาซึ่งก่อนเข้ากระบวนการกำหนดค่าขีดแบ่ง เพื่อแปลงภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำได้มีการปรับภาพลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อให้เห็นพื้นที่ของลอนชัดเจนมากขึ้นโดยใช้เทคนิคมอร์โฟโลยี โดยภาพที่ 4.30 (a) เป็นภาพตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ได้จากกล้องที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงภาพจะเห็นว่ามีส่วนของลอนที่ไม่สมบูรณ์มีเศษรอยตัด ภาพที่ 4.30 (b) เป็นภาพที่ได้ทำการปรับปรุงภาพโดยใช้การขยายภาพตามสมการที่ 2.3 โดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่าง ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ 3×5 การกำหนดส่วนประกอบโครงร่างหากทำการกำหนดขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป จากการทดสอบจะทำให้ภาพที่ได้มีผลต่อความสูงของขนาดลอนกระดาษลูกฟูกทำให้การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของกระดาษลูกฟูก

4.9.2 ภาพขาวดำเมื่อทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสีขาวดำ ก่อนเข้ากระบวนการหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกจะต้องทำการปรับปรุงภาพลอนกระดาษลูกฟูกเพื่อลดความผิดพลาดจากภาพที่ 4.30 (c) มีส่วนขอบของกระดาษลูกฟูกและลอนกระดาษลูกฟูกที่ไม่ต้องการปรากฏอยู่จึงนำการปรับปรุงภาพโดยการปิดภาพ ดังสมการที่ 2.5 โดยการปิดภาพจะมีหน้าที่ในการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพเพื่อให้เห็นลอนกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการหาความสูงได้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยกำหนดส่วนประกอบโครงร่าง ขนาด 5×5 ผลที่ได้ดังภาพที่ 4.30 (ง) โดยจากการทำการทดสอบถ้าเป็นส่วนประกอบโครงร่างขนาดเล็กจะไม่สามารถตัดวัตถุได้หมดแต่ถ้าเป็นส่วนประกอบโครงร่างขนาดใหญ่ทำให้ลอนกระดาษลูกฟูกบางส่วนขาดหายไปและส่งผลกระทบต่อกระบวนการหาความสูงของลอนที่ผิดพลาด

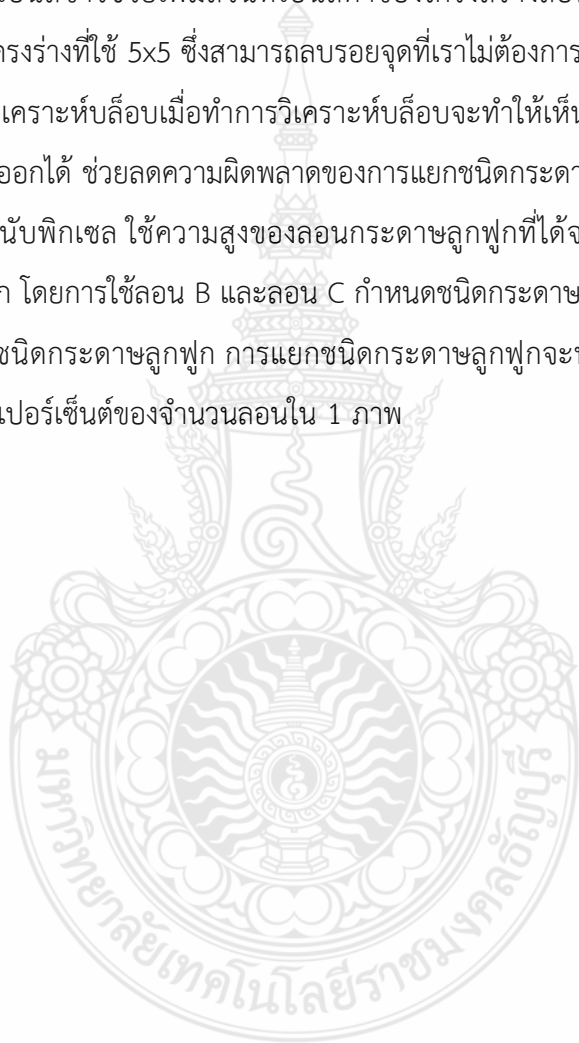
4.9.3 การขยายภาพของภาพระดับสีเทา เป็นการปรับปรุงส่วนประกอบโครงสร้างของภาพระดับเทา เพื่อขยายขนาดพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวโดยจากเดิมส่วนประกอบโครงสร้างของการขยายภาพอยู่ที่ 7×7 ได้ถูกเปลี่ยนเป็น 3×5 เนื่องจากการที่ขยายส่วนพื้นที่สีขาวทำให้มีส่วนที่เป็นสีขาวมากเกินไปทำให้โครงสร้างลอนกระดาศลูกฟูกบางส่วนขาดหายไป จึงทำการปรับให้เห็นส่วนสีดำมากขึ้น

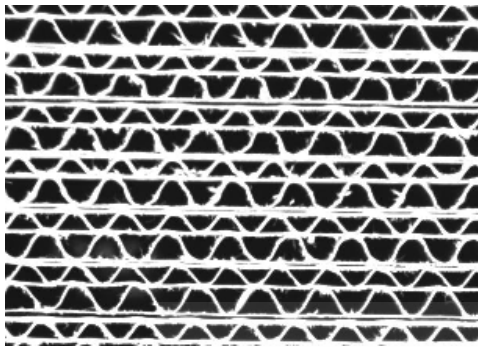
4.9.4 การกรองภาพของภาพระดับสีเทา เป็นการปรับโครงสร้างของภาพระดับสีเทาเพื่อลดขนาดของพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวช่วยเพิ่มส่วนที่เป็นสีดำของโครงสร้างลอนกระดาศลูกฟูก จึงทำการกำหนดส่วนประกอบโครงสร้างที่ใช้ 5×5 ซึ่งสามารถลบรอยจุดที่เราไม่ต้องการได้

4.9.5 การวิเคราะห์ห้บลิบเมื่อทำการวิเคราะห์ห้บลิบจะทำให้เห็นตำแหน่งของลอนได้ชัดเจนละตัวส่วนที่ไม่ต้องการออกได้ ช่วยลดความผิดพลาดของการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก ดังภาพที่ 4.30 (e)

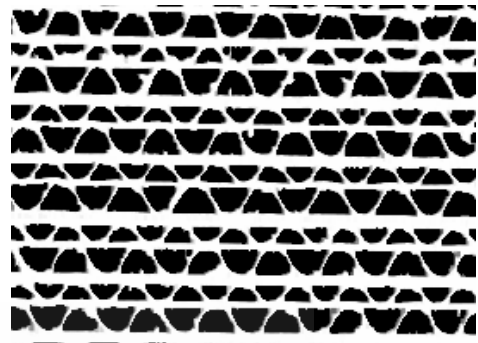
4.9.6 การนับพิกเซล ใช้ความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกที่ได้จากการวิเคราะห์ห้บลิบมาแยกชนิดกระดาศลูกฟูก โดยการใช้ลอน B และลอน C กำหนดชนิดกระดาศลูกฟูก

4.9.7 แยกชนิดกระดาศลูกฟูก การแยกชนิดกระดาศลูกฟูกจะทำการแยกส่วนที่เป็นขนาดลอน B และ C คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนลอนใน 1 ภาพ

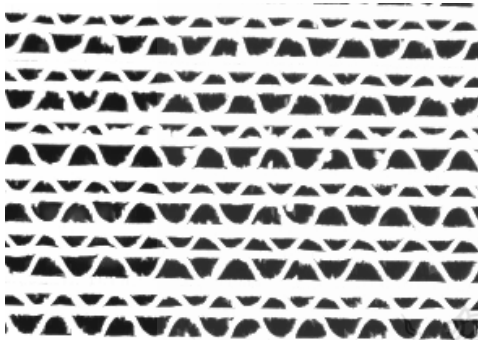




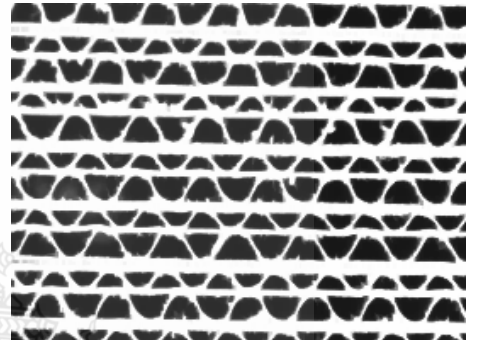
(a) ภาพระดับสีเทา



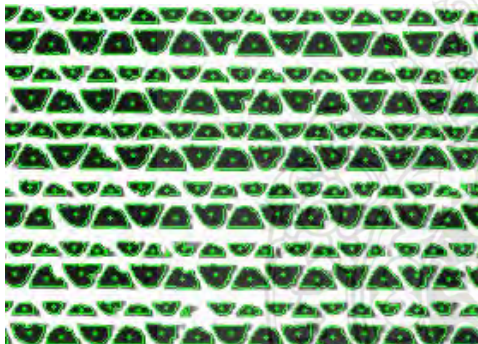
(b) ภาพขาวดำ



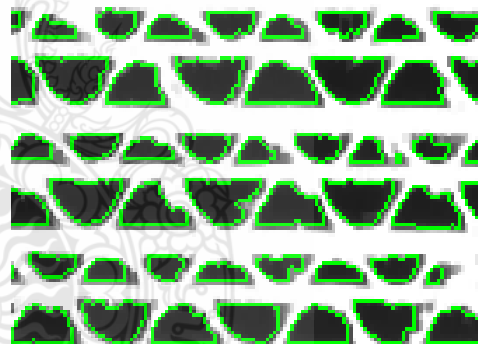
(c) การขยายภาพภาพ



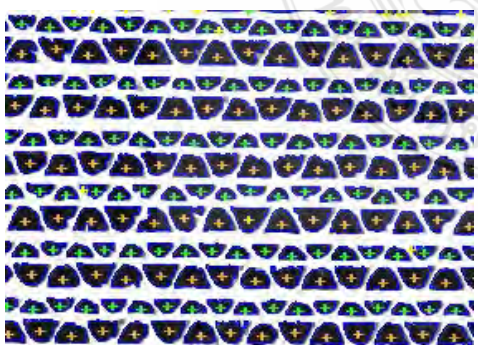
(d) การปิดภาพและการเปิดภาพ



(e) การวิเคราะห์หับล้อบ



(f) การนับพิกเซล



(g) การแยกชนิดกระตาสลูปฟูก

ภาพที่ 4.30 ผลการทดสอบอัลกอริทึมในแต่ละขั้นตอนการทำงานด้านมูม

4.10 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านมุม 125 องศา โดยกำหนดค่าระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

จากการทดสอบความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ซึ่งค่าความสูงของลอนที่ได้จากการวิเคราะห์หับล้อบกระดาศลูกฟูกแต่ละชนิดและนำมานับจำนวนฟิกเซลจะมีความสูงของลอนไม่เท่ากัน จากตารางที่ 2.1 ความสูงของกระดาศแต่ละชนิด นำมาคำนวณเป็นฟิกเซลความสูงลอน B และ C และนำไปกำหนดเป็นชนิดของกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC

4.13.1 ผลการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุม

สำหรับการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยกำหนดความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกอยู่ในช่วง 11-20 ฟิกเซล โดยกระดาศชนิด B จะมีร้อยละของจำนวนลอน B มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับฟิกเซลโดยการวิเคราะห์หับล้อบ ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกดังตารางที่ 4.20

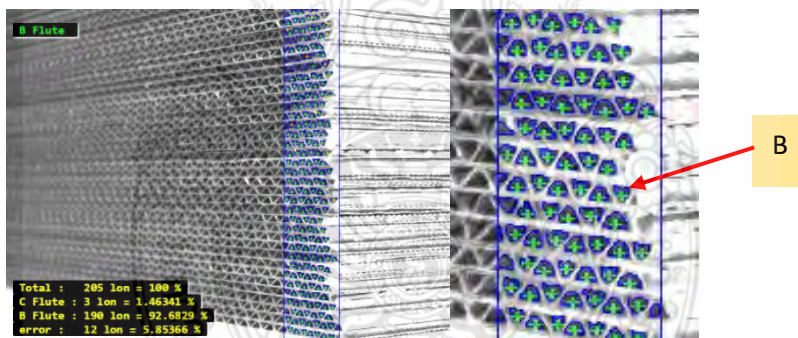
ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง B	ชนิดกระดาศ
1	94.55	0	5.45	✓	B
2	93.1	0	6.9	✓	B
3	88.14	0	11.86	✓	B
4	96.3	0	3.7	✓	B
5	98.18	0	1.82	✓	B
6	98.04	0	1.96	✓	B
7	86.54	0	13.46	✓	B
8	94.12	3.92	1.96	✓	B
9	93.88	0	6.12	✓	B
10	94	4	2	✓	B
11	98.04	0	1.96	✓	B
12	98.18	0	1.81	✓	B
13	98.15	0	1.85	✓	B
14	96.43	0	3.57	✓	B
15	96.08	1.96	1.96	✓	B

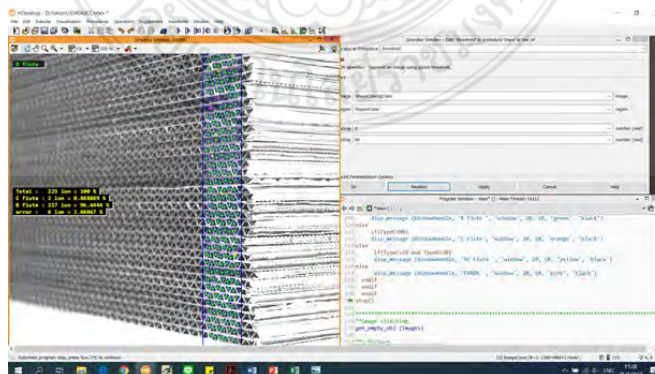
ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร (ต่อ)

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง B	ชนิดกระดาษ
16	94.12	0	5.88	✓	B
17	93.75	2.08	4.17	✓	B
18	97.92	0	2.08	✓	B
19	94.44	0	5.56	✓	B
20	96.08	0	3.92	✓	B
เฉลี่ย	95.00	0.59	4.39		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ความถูกต้องของลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 95.00 ลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.59 และได้ร้อยละของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4.39 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาษชนิด B ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าร้อยละของลอน B อยู่ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ดังภาพที่ 4.31 และภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.31 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.32 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม HALCON

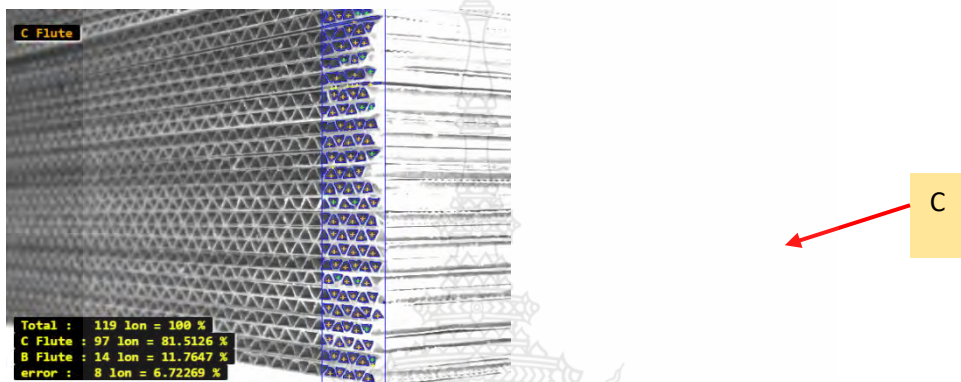
4.13.2 ผลทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุม

สำหรับการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยกำหนดความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกอยู่ในช่วง 21-30 พิกเซล โดยกระดาษชนิด C จะมีจำนวนลอน C มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับพิกเซลโดยการวิเคราะห์หับลือบ ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกดังตารางที่ 4.21

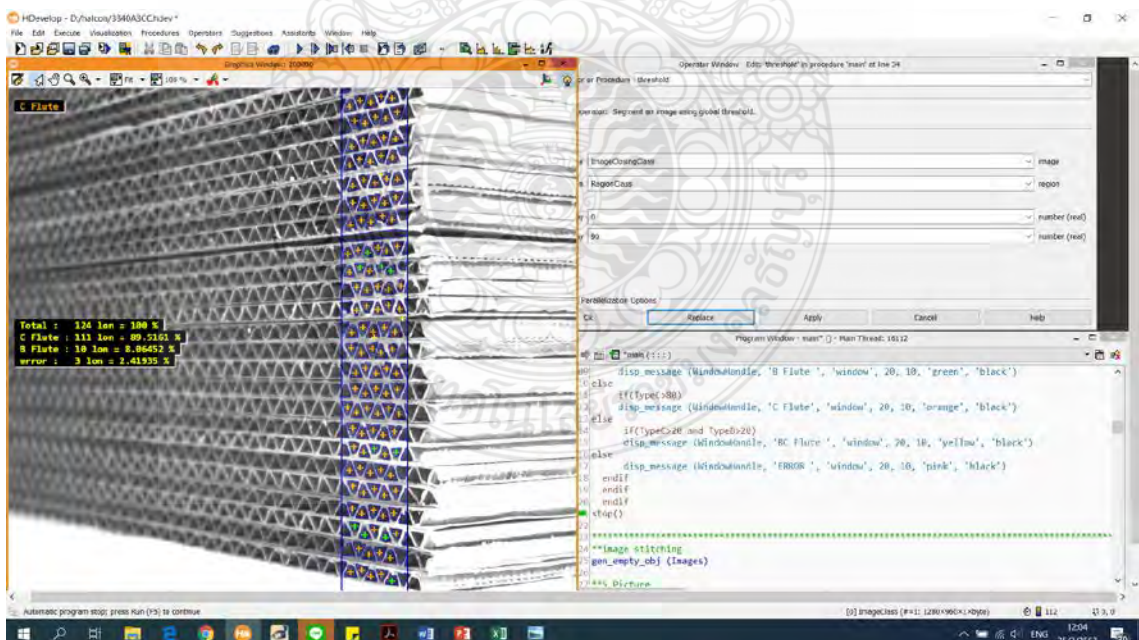
ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง C	ชนิดกระดาษ
1	11.76	81.51	6.72	✓	C
2	8.94	82.92	8.13	✓	C
3	8.33	83.33	8.33	✓	C
4	6.4	87.2	6.4	✓	C
5	8.06	89.51	2.41	✓	C
6	9.52	84.12	6.34	✓	C
7	5.78	85.95	8.26	✓	C
8	3.8	95.23	0.95	✓	C
9	5.45	89.09	5.45	✓	C
10	6.48	89.81	3.7	✓	C
11	3.7	87.96	8.33	✓	C
12	8.84	89.38	1.76	✓	C
13	8.19	86.06	5.73	✓	C
14	7.43	86.77	5.78	✓	C
15	9.82	86.6	3.57	✓	C
16	7.4	89.81	2.77	✓	C
17	8.47	85.59	5.93	✓	C
18	9.83	80.32	9.83	✓	C
19	7.54	90.56	1.88	✓	C
20	10.34	83.62	6.03	✓	C
เฉลี่ย	7.80	86.76	5.41		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ความถูกต้องของลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 86.76 ลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.80 และให้ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5.41 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาษชนิด C ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าร้อยละของลอน C อยู่ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ดังภาพที่ 4.33 และภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.33 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.34 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม HALCON

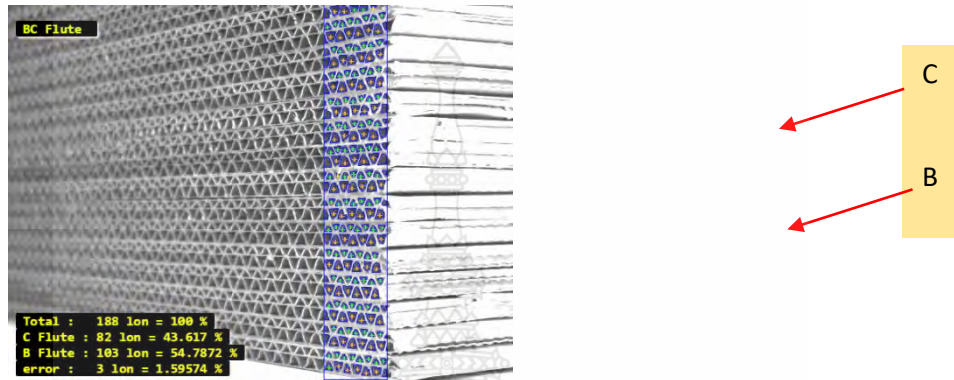
4.6.3 ผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด BC

สำหรับการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยกระดาษชนิด BC จะมีลอน B และ C อยู่ที่ร้อยละ 20 ขึ้นไป ทดสอบที่ระยะการรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร การแยกชนิดจะแยกชนิดลอนตามความสูงของลอนที่ได้จากการนับพิกเซลโดยการวิเคราะห์หีบถีบ ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกดังตารางที่ 4.22

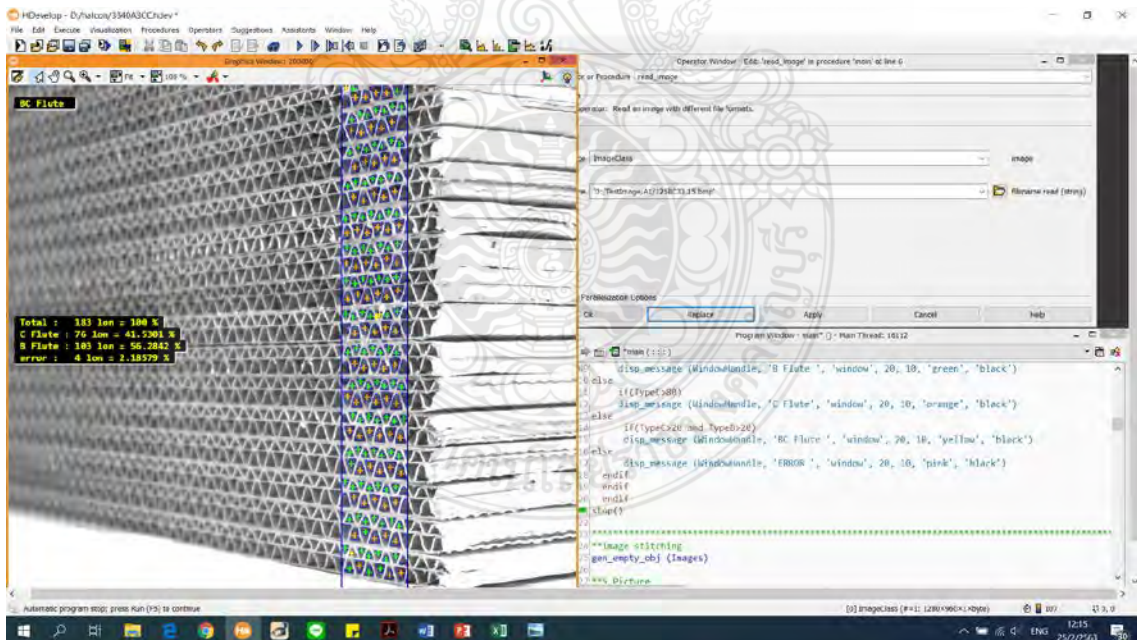
ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่าง	%ลอน B	%ลอน C	% error	ค่าความถูกต้อง BC	ชนิดกระดาษ
1	54.78	43.617	1.59	✓	BC
2	55.36	44.06	0.56	✓	BC
3	54.54	42.24	3.2	✓	BC
4	54.81	38.55	6.62	✓	BC
5	53.76	41.39	4.83	✓	BC
6	52.38	38.09	9.52	✓	BC
7	54.16	39.58	6.25	✓	BC
8	54.89	42.93	2.17	✓	BC
9	53.43	42.85	3.7	✓	BC
10	52.73	37.31	9.95	✓	BC
11	55.67	40.54	3.78	✓	BC
12	52.22	40.56	7.2	✓	BC
13	56.04	41.2	2.74	✓	BC
14	52.02	36.99	10.98	✓	BC
15	49.11	29.46	21.42	✓	BC
16	49.54	34.86	15.59	✓	BC
17	49.11	33.03	17.85	✓	BC
18	49.66	35.09	15.23	✓	BC
19	53.29	37.72	8.98	✓	BC
20	52.63	38.59	8.77	✓	BC
เฉลี่ย	53.00	39.93	8.04		

จากผลการทดสอบทำการทดสอบการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ซึ่งให้ร้อยละของลอน B เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 53.00 ลอน C เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 39.93 และได้ค่าร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 8.04 ผลที่ได้สามารถแยกกระดาษชนิด BC ได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีค่าลอน C อยู่ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ซึ่งแสดงผลการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ดังภาพที่ 4.35 และภาพที่ 4.36



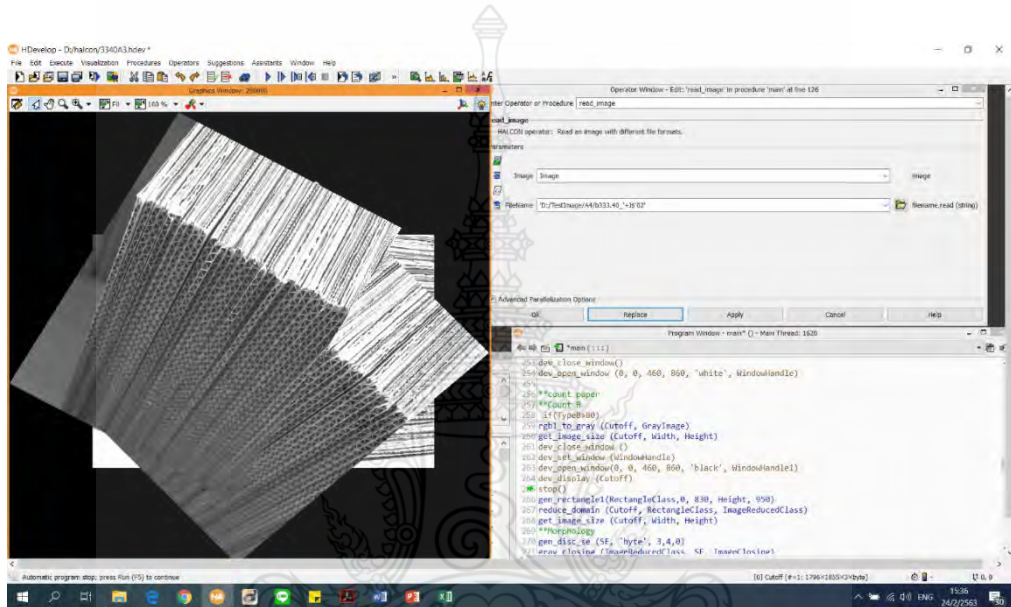
ภาพที่ 4.35 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด BC ด้านมุม ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร



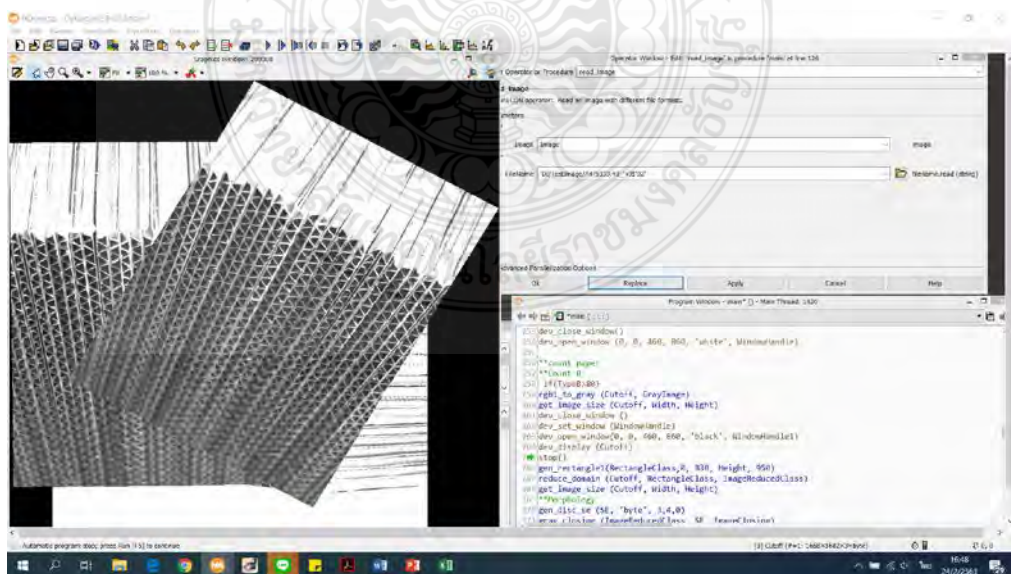
ภาพที่ 4.36 ผลการแยกกระดาษลูกฟูกชนิด C ด้านมุมที่ระยะรับภาพ 330 มิลลิเมตร ด้วยโปรแกรม HALCON

4.11 ผลทดสอบการต่อภาพกระดาษลูกฟูกมุ่ม 125 องศา ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร

การทดสอบการในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบต่อภาพกระดาษลูกฟูกที่มุ่ม 125 องศา ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร ทำการทดสอบกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C เพื่อทดสอบว่าสามารถต่อภาพได้หรือไม่ แสดงการต่อภาพดังภาพที่ 4.37 และภาพที่ 4.38

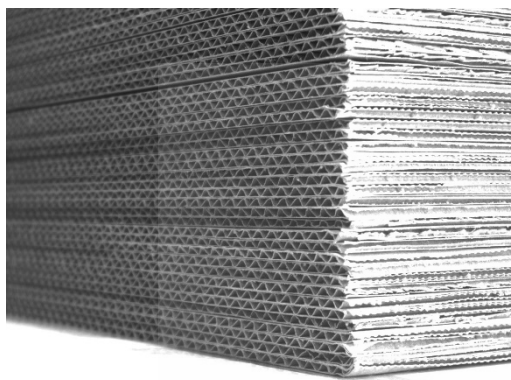


ภาพที่ 4.37 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B มุ่ม 125 องศา ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

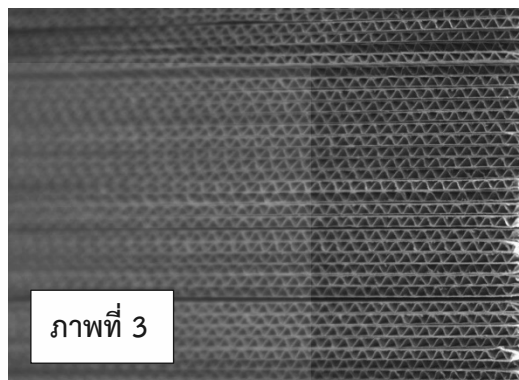


ภาพที่ 4.38 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด C มุ่ม 125 องศา ที่ระยะรับภาพเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

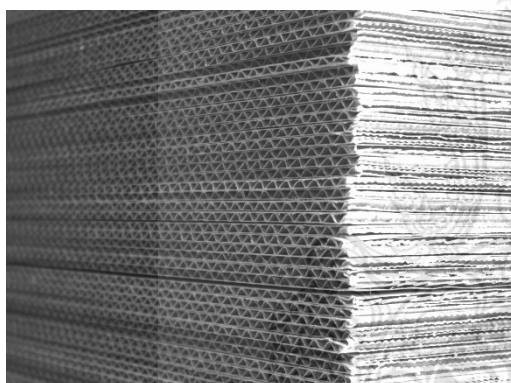
จากการทดสอบการต่อภาพกระดาษลูกฟูก มุม 125 องศา ที่ระยะการรับภาพ 330 มิลลิเมตร พบว่าไม่สามารถต่อภาพได้ จึงทำการปรับปรุงภาพกระดาษลูกฟูกโดยการดึงภาพและต่อภาพ ผลการดึงภาพแสดงดังภาพที่ 4.39



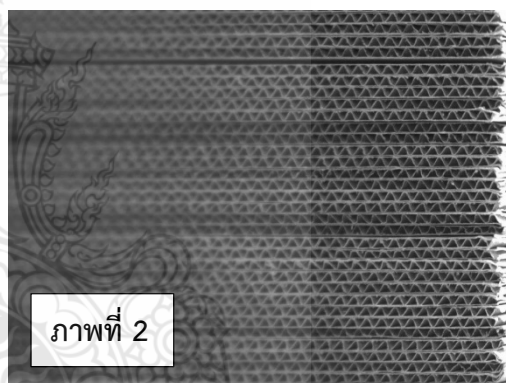
(a) กระดาษชนิด B มุม 125 ภาพที่ 1



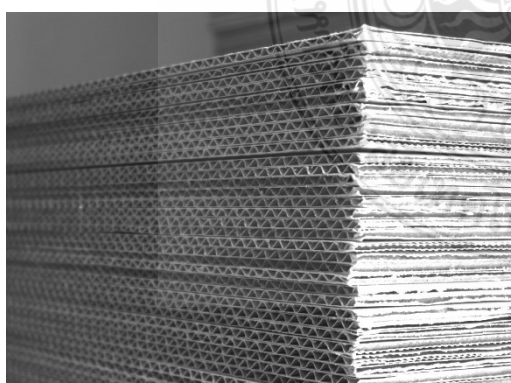
(b) ปรับปรุงภาพ ภาพที่ 1



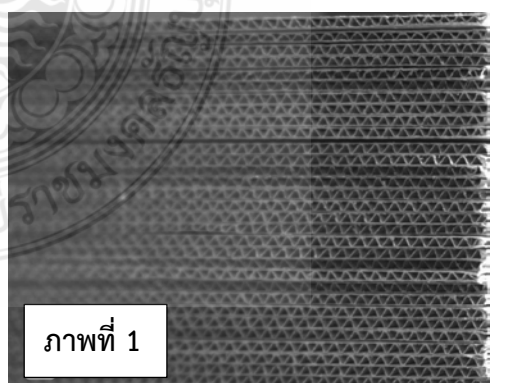
(c) กระดาษชนิด B มุม 125 ภาพที่ 2



(d) ปรับปรุงภาพ ภาพที่ 2



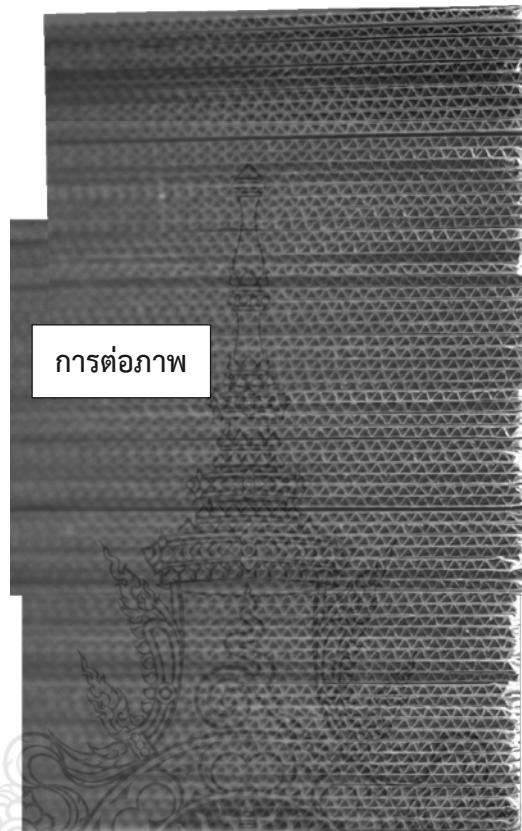
(e) กระดาษชนิด B มุม 125 ภาพที่ 3



(f) ปรับปรุงภาพ ภาพที่ 3

ภาพที่ 4.39 ภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา ที่ทำการปรับปรุงภาพ

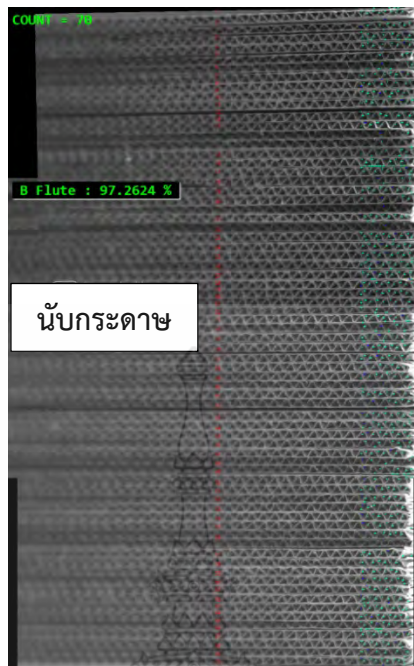
เมื่อทดสอบแล้วทำการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา สามารถต่อภาพได้และ
ได้ผลการทดสอบการต่อภาพ ดังภาพที่ 4.40



ภาพที่ 4.40 ผลการต่อภาพกระดาษลูกฟูกชนิด B มุม 125 องศา ที่ทำการปรับปรุงภาพ

4.12 ผลทดสอบการนับกระดาษลูกฟูกมุม 125 องศา

จากภาพที่ 4.40 นำผลที่ได้จากการต่อภาพกระดาษลูกฟูกที่ปรับปรุงแล้วมานับจำนวน
กระดาษลูกฟูกชนิด B จำนวน 70 แผ่นสามารถนับได้อย่างถูกต้องครบตามจำนวนที่นำมาทดสอบ
แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 ผลการนับกระดาษลูกฟูกชนิด B ด้านมุมที่ระยะรับภาพเท่ากับ 330 มิลลิเมตร

4.13 สรุป

ในบทนี้เป็นการนำสิ่งที่ออกแบบจากบทที่ 3 มาทดสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเพื่อหาอัลกอริทึมที่สามารถแยกกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านลอนสามารถระบุชนิดกระดาษลูกฟูกได้ จากนั้นต่อภาพกระดาษลูกฟูกและเลือกอัลกอริทึมการนับได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งยังปรับปรุงในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านมุม จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลจากโครงสร้างของกระดาษลูกฟูกมาใช้ในการหาชนิดกระดาษลูกฟูกนั้นจำแนกชนิดกระดาษได้และสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้อง แต่ยังไม่สามารถต่อภาพด้านมุมได้ หากต้องการต่อภาพด้านมุมจะต้องทำการปรับปรุงภาพและดึงภาพด้านมุมให้เป็นภาพตรงและทำการต่อภาพ จากนั้นทำการนับกระดาษลูกฟูกสามารถนับกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง

บทที่ 5

สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการรับภาพกระดาศลูกฟูกด้วยกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่ โดยได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC โดยใช้เทคนิคการนับพิกเซล อีกทั้งการรวมภาพกระดาศลูกฟูกและนับจำนวนกระดาศลูกฟูก ทดสอบอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม Halcon เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมกระดาศลูกฟูกและอุตสาหกรรมอื่นๆ

5.1 สรุปผลทดสอบการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาศลูกฟูก ที่ระยะการรับภาพระหว่าง 300 มิลลิเมตร ถึง 350 มิลลิเมตร สามารถแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ได้ถูกต้อง ซึ่งจากจุดโฟกัส 330 มิลลิเมตร ขอบกระดาศเหลื่อมเข้าจุดโฟกัสได้ไม่เกิน 30 มิลลิเมตร และขอบกระดาศเหลื่อมออกจากจุดโฟกัสมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิเมตร จึงจะสามารถแยกชนิดกระดาศได้ถูกต้องเนื่องจากเมื่อค่าระยะการรับภาพมากขึ้นความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกจะลดลง และเมื่อค่าระยะการรับภาพมีค่าน้อยลงความสูงของลอนกระดาศจะเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งจะทำให้เห็นพื้นที่ลอนไม่ชัดเจน

5.2 สรุปผลทดสอบการแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ด้านมุม 125 องศา

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาศลูกฟูกด้านมุม ที่ระยะการรับภาพระหว่าง 320 มิลลิเมตร ถึง 340 มิลลิเมตร สามารถแยกกระดาศลูกฟูกชนิด B C และ BC ได้ถูกต้อง ซึ่งจากจุดโฟกัส 330 มิลลิเมตร ขอบกระดาศเหลื่อมเข้าจุดโฟกัสได้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร และขอบกระดาศเหลื่อมออกจากจุดโฟกัสมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิเมตร จึงจะสามารถแยกชนิดกระดาศได้ถูกต้องเนื่องจากเมื่อค่าระยะการรับภาพมากขึ้นความสูงของลอนกระดาศลูกฟูกจะลดลง และเมื่อค่าระยะการรับภาพมีค่าน้อยลงความสูงของลอนกระดาศจะเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งจะทำให้เห็นพื้นที่ลอนไม่ชัดเจน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 กระจกฉลุฟูกที่นำมาใช้ควรมีขนาดลอนที่สมบรูณ์ทุกแผ่นเพื่อให้การแยกมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.2.2 การรับภาพกระจกฉลุฟูกควรให้แสงสว่างกับภาพที่สม่ำเสมอเพื่อให้ภาพมีความคมชัดเหมือนกันทุกภาพ



บรรณานุกรม

- [1] มีนา รัตนากร, “ระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยกล้องสำหรับงานตรวจนับกระดาษลูกฟูก,”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [2] วณิดา สุวรรณกิจ, “การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ,” วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2561.
- [3] ลีเปเปอร์ อินดัสเทรียล จำกัด, Leepaper (online), 2015, Available:
<http://leepaper.co.th/index.php/th/layout/layout-two#typesheet>.
(12 ธันวาคม 2561).
- [4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ชนิดของลอน จำนวนลอนต่อเมตรและ
ความสูงของลอน. มอก. 550-2555.
- [5] เวลธ แอดวานซ์ (1991) จำกัด, Wealth advance (online), 2018, Available:
<http://xn--12cfk6dj8escvb6oub.com/>. (17 ธันวาคม 2561).
- [6] บริษัทเอสซีจี แพคเกจจิ้ง จำกัด (มหาชน), SCG (online), 2019, Available:
<https://www.scgpackaging.com/packaging-supplies/specialties/converted-products/TH>. (20 มกราคม 2562).
- [7] ภิญโญ แยมพราย, “การคัดแยกเซลล์เม็ดเลือดขาวโดยอ้างอิงการวิเคราะห์ส่วนประกอบพื้นฐาน,”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [8] Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods., Digital Image Processing, Second edition.
Prentice Hall,2002. pp.1-793.
- [9] โครงการฝึกอบรมระบบตรวจรู้ด้วยกล้องสนับสนุน Industry 4.0 : ศูนย์พัฒนาบุคลากรเพื่อ
อุตสาหกรรมและปิโตรเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 23-24 สิงหาคม 2560.
- [10] Basler AG, Basler Camera Portfolio (online), 2018, Available:
<https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/>. (20 December 2018).
- [11] i-factory industrial appliance, หลอดไฟสำหรับแมชชีนวิชั่น (online), 2018, Available:
http://www.ifactoryonline.com/led_lighting-list.aspx/. (20 December 2018).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Nie Shiliang, Zhang Hongying, Zhang Liping, Fan Yang, Brost V., “Vertical scratches detection based on edge detection for old film,” *Industrial and Information System (IIS)*, vol.1, 10-11 July 2010, 2010. Pp.257-260.
- [13] 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.
- [14] อัจฉรรัตน์ ชัยมณี, จิรยุทธ ไชยจารุณิช, ยุวดี พิรพรพิศาล และนที ทองศิริ, “การนับจำนวนประชากรสาหร่าย *Chlorella sp.* ด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล,” การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่11, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553, หน้า.744-749.
- [15] ชลธิศา เวทโอสถ และนิคม สุวรรณวร, “การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจนับปริมาณรถบนถนนด้วยการประมวลผลภาพจากกล้องวีดี,” *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์* ครั้งที่ 5, 2556, หน้า. 35-48.
- [16] ภิญโญ แยมพราย, “การคัดแยกเซลล์เม็ดเลือดขาวโดยอ้างอิงการวิเคราะห์ส่วนประกอบพื้นฐาน,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2550
- [17] ภูมินทร์ ต้นอุตม์, กิรศักดิ์ พะยะ และธนสิทธิ์ นิตยะประภา, “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ขนาดภาพดอกดาวเรืองด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ,” *การประชุมวิชาการระดับชาติ* ครั้งที่ 4, 2560, หน้า. 1313-1326.
- [18] จิตรพงษ์ เจริญจิตร, อภิรักษ์ พันธุ์พัฒนาสกุล, พลวัฒน์ ไชยศรี, นายพีระพงษ์ พรหมดวง และสุธิดา พร้อมพงษ์อัศวะ, “ระบบแยกประเภทไข่มุก ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ,” *การประชุมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ* ครั้งที่ 9, 2561, หน้า.1679-1691.
- [19] วรากร คิดสำราญ, “การคัดแยกต้นกล้วยพาราโดยวิธีการประมวลผลภาพ,” *ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2550.
- [20] ชาญชัย นามพล, “การตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวแดงปนในข้าวขาวโดยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล,” *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 2558, หน้า. 59-71.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] นุชรี ธรรมโชติ, “การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธ์ของหมึกกล้วยแปรรูป,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2557.
- [22] จิตติวัชร ศิริอมรรัตน์ และทวีพล ชื้อสัจย์, “การนับแผ่นกระดาษลูกฟูกโดยระบบการประมวลผลภาพแบบพานอรามิก,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, ขอนแก่น, 2557.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๒

The 42nd Electrical Engineering Conference

EECON-42

ไฟฟ้ากำลัง โฟโตนิกส์ ระบบควบคุมและการวัดคุม
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1



วันที่ 30 ตุลาคม - 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอรี รีสอร์ท เขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

Akkharaphong Eksiri	Bangkok University
Anon Namin	Rajamangala University of Technology Lanna
Araya Florence	Ubon Ratchathani University
Arnon Singhasathein	Rajamangala University of Technology Phra-Nakhon
Atipong Suriya	Ubon Ratchathani University
Boonchai Techaumnat	Chulalongkorn University
Boonlert Suechoey	Southeast Asia University
Boonserm Kaewkamnerdpong	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Burasakorn Yoosooka	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Chaipichit Cumpim	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Chancha Dechthummarong	Rajamangala University of Technology Lanna
Chanchana Tangwongsan	Chulalongkorn University
Chanwit Kaewkasi	Suranaree University of Technology
Chaowanam Jamroen	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Charnyut Karnjanapiboon	Rajamangala University of Technology Lanna
Chatchai Neatpisarnvanit	Mahidol University
Chuttchaval Jeraputra	Mahidol University
Damrongrit Setsirichok	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Decha Wilairat	Mahidol University
Direk Sueaseenak	Srinakharinwirot University
Ekkachai Mujjalinvimut	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Jiradech Kongthon	Assumption University
Jukkrit Kluabwang	Rajamangala University of Technology Lanna
Kantida Pancharoen	Silpakorn University
Khanittha Kaewdang	Ubon Ratchathani University
Kiattisak Sengchaui	Prince of Songkla University
Korporn Panyim	Mahidol University
Krissada Asavaskulkiet	Mahidol University
Mongkol Saejia	Prince of Songkla University
Narong Apiratsakun	Assumption University
Narong Yoothanom	Sripatum University
Nattapong Jundang	Mahanakorn University of Technology



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

Nimit Boonpirom	Sripatum University
Nitikarn Nimsuk	Thammasat University
Noppatee Sabpayakom	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna
Noraset Wichaipanich	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Nutthaphong Tanthanuch	Thammasat University
Ong-art sadmai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pakpoom Hoyingcharoen	Prince of Songkla University
Panus Nattharith	Naresuan University
Parachai Juanuwattanukul	Sripatum University
Pasawee Srimode	Sripatum University
Pauline Kongsuwan	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Peerapol Yuvapoositanon	Mahanakorn University of Technology
Phaisan Ngamjanyaporn	Rangsit University
Phonsit Santiprapan	Prince of Songkla University
Pichai Aree	Thammasat University
Pokkrong Vongkoon	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Ponlakit Jariyatantiwait	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Pornchai Chanyagorn	Mahidol University
Pornrapeepat Bhasaputra	Thammasat University
Praphat Anmanee	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Rakkrit Duangsoithong	Prince of Songkla University
Samroeng Hintamai	Sripatum University
Somnida Bhatranand	Mahidol University
Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Sopon Phumeechanya	Silpakorn University
Sunisa Kunarak	Srinakharinwirot University
Supachai Vorapojpisut	Thammasat University
Supakit Kawdungta	Rajamangala University of Technology Lanna
Suparek Manitpornsut	University of the Thai Chamber of Commerce
Supattana Nirukkanaporn	Rangsit University
Supun Tiptipakorn	Mahidol University



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

Surachoke Thanapitak	Mahidol University
Surapong Suwankawin	Chulalongkorn University
Teerasak Somsak	Rajamangala University of Technology Lanna
Thamvarit Singhavilai	Mahidol University
Thanakorn Namhormchan	Eastern Asia University
Thanaset Thosdeekoraphat	Suranaree University of Technology
Thanomsak Sophon	Rajamangala University of Technology Isan
Thorin Theeradejvanichkul	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Tussanai Parthornratt	Assumption University
Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna
Uthen Kamnarn	Rajamangala University of Technology Lanna
Vinai Pornpojratanakul	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Vorrapath Kokaew	University of the Thai Chamber of Commerce
Wanayuth Sanngoen	Sripatum University
Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Wanchai Khamsen	Rajamangala University of Technology Lanna
Warakorn Charoensuk	Mahidol University
Watcharapan Suwansantisuk	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wattana Punlumjeak	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Wichian Ooppakaew	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Wirot Ponglangka	Rajamangala University of Technology Lanna
Wuthiporn Loedwassana	Mahanakorn University of Technology
กมลพรรณ จารูวาระกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
กฤติเดช บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กองพล อารีรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
กัณฑ์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
กานต์ เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
กิตติศักดิ์ เกิดประสพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
กิตติศักดิ์ ไตรพิพัฒพรชัย	มหาวิทยาลัยรังสิต
กีรติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

ไกรฤกษ์ เขยชื่น
คชพงศ์ สุमानนท์
คณิศร์ มาตรา
คมกฤษ บัญยี่ง
จงลักษณ์ พาหะชา
จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร
จักรพงษ์ สุธาภุชกุล
จักรี ศรีนนท์ฉัตร
จิรพัฒน์ แสงทอง
จิรวัดน์ คชสาร
จิระศักดิ์ สิ้นสุขอุดมชัย
จิรัฎฐ์ เหมือนชู
จิราพร เกียรติวุฒิมร
จุไรรัตน์ บุญคุณ
เจษฎาพร สถานทรัพย์
ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ชนมรัตน์ ตติยะวรรณนท์
ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย
ชัยวุฒ ชูรัักษ์
ชาญไชย ไทยเจียม
ชาย ชมภูอินไหว
ชูเกียรติ สอดศรี
ชูศักดิ์ กมลขันติธร
เชวศักดิ์ รักเป็นไทย
โชคชัย แสงดาว
ไชยรินทร์ อัครวโรดม
ไชยพร หล่อทองคำ
ณัฐภัทร พันธคง
ณพงศ์ ปณิธานธรรม
ณัฐพงศ์ พันธนะ
ณัฐพงศ์ วงศ์พร้อมมูล
ณัฐพร ฤทธิ์นุ้ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยพะเยา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยพะเยา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

ณัฐพล หาอุปละ

ณัฐวุฒิ ชยวานิช

ณัฐวุฒิ โสมะเกษตรินทร์

ดนุชา ประเสริฐสม

ดวงอาทิตย์ ศรีมูล

ติสพล ฉ่ำเฉียวกุล

โตมร สุนทรนภา

ถิระภัทร จริยะนรวิซซ์

ทศพร ณรงค์ฤทธิ

ทศนีย์ ชยวานิช

ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์

เทพพนม โสภาเพิ่ม

ธนกร เจณณวาสิน

ธนารัตน์ ต้นมณีประเสริฐ

ธัชชะ จุลชาติ

ธำรงรัตน์ อมรรักษา

นชิรัตน์ ราชบุรี

นภดล วิวัชรโกเศศ

นรารัตน์ เรื่องชัยจตุพร

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

นันทิยา ชัยบุตร

นิตย์ เพ็ชรรักษ์

นิตยา เกิดประสพ

นิพัทธ์ จันทรมินทร์

เนืองวงศ์ ทวยเจริญ

บงกช สุขอนันต์

บัญญัติ เหลือแดง

บุญชัย บุญชู

บุญยัง ปลั่งกลาง

ประชา คำภักดี

ประมวล ชูรัตน์

ประยุทธ์ อัครเอกฉมาลิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยรังสิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยสยาม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

ประสพโชค ให้อทองคำ
ประสิทธิ์ นครราช
ปรัชญสิทธิ์ สมานพิบูรณ์
ปราโมทย์ จางอิสรระกุล
ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
ปรีชา สาकरังค์
ปัญญา มาลีวัตร
ปิยนัย ภาชนะพรรณ
พกิจ สุวัตถ์
พงศธร เศรษฐีธร
พรชัย เปลี่ยนทรัพย์
พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล
พลิชฐ์ สุวรรณการ
พิชชานันท์ วงศ์ศิริธร
พิชิต กิตติสุวรรณ
พินิจ จิตจริง
พินิจ ศรีธร
พิสิษฐ ลีวัฒนกุล
พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร
พีรัมพร จิรนนทนากร
พูนศรี วรรณการ
ไพฑูรย์ รักเหลือ
ไพบูลย์ เกียรติสุขคนอาจร
ภัควัฒน์ จันทรตรี
ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ
มงคล ต่านบำรุงตระกูล
มนทล นาวงษ์
มนัส บุญเพียรทอง
มิตี รุจานุรักษ์
มุกทิศา สงฆ์จันทร์
ยงยุทธ นาราษฎร์
ยรรยงค์ พันธุ์สวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยศิลปากร



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

ยีนยง นิลสยาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ยุทธนา คงจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ยุทธนา จงเจริญ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ยุทธพงษ์ จิรรักษ์โสภาคกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ระพีพันธ์ แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รัฐศิลป์ รานอกภาณุวัชร	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
วรการ วงศ์สายเชื้อ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วัชร วีระเคนทร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วันจักรี เล่นวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วันชัย ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
วันชัย ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยรังสิต
วิทยา กุดแถลง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วินัย ศิลารวม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
วิโรจน์ แสงธงทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
วิไลพร แซ่ลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วีระชัย มาलयเวช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ศราวณ วงษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศราวุธ ชัยมูล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศิริชัย แดงอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศุภชัย ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ศุภฤกษ์ จันทร์จรัสจิตต์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
สงกรานต์ กันทวงศ์	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
สมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
สมเกียรติ อุดมहरษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สมชาย เปียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมบูรณ์ ศุขสาตร	มหาวิทยาลัยรังสิต



รายนามผู้พิจารณาบทความ (Reviewers) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

สมมาตร แสงเงิน

สัญญา คุณขาว

สันติธรรม พรหมอ่อน

สัมพันธ์ พรหมพิชัย

สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์

สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล

สิริวิช ทัดสวน

สุชาดา สิทธิจงสถาพร

สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ

สุดาร์ตน์ ขวัญอ่อน

สุธี รุกขพันธุ์

สุพจน์ สุขโพธารมณ

สุภวัฒน์ ตันวรรณรักษ์

สุเมธ เนติลัดदानนท์

สุรเชษฐ์ กานต์ประชา

สุรเชษฐ์ เดชฟุ้ง

สุรินทร์ แห่งมงาม

สุวัฒน์ ภัทรมาลัย

สุวิทย์ กิระวิทยา

อติคม ฤกษ์บุตร

อภิชัย ภัทรนันท์

อภิบาล พฤษพานุบาล

อัจฉรา พิเชฐจำเริญ

อำนาจ เรืองวารีย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยพะเยา

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



สารบัญบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42

รหัส	ชื่อบทความ	หน้า
DS09	การประมาณและติดตามค่าความถี่ด้วยตัวทำนายเชิงเส้นที่ใช้ระเบียบวิธี WLS แบบไร้ไบอัส	317
DS10	Performance Comparison of Three Mixed Noise Removal Techniques under Grayscale and Color Images	321
DS11	การประมาณช่องสัญญาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนักในการส่งข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงย้อนหลังสำหรับระบบมัลติยูสเซอร์โมโม่	325
DS12	Comparison the Implementation FIR Filter on FPGA with Windowing Methods	329
DS13	การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล	333
IPH01	มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสงในงานสื่อสารโทรคมนาคม	337
PH01	การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตัวตรวจจับแสงแบบ MSM ด้วยการสร้างพีระมิดแบบสุ่มบนร่องรูปตัวยูและการซินเตอร์ริง (Efficiency Increasing for MSM Photo-detector by Fabrication of Random Pyramid on U-Shape and Sintering)	341
PH02	Cross-Hatch Pattern of Indium Gallium Arsenide Bismide on Gallium Arsenide Substrate	345

การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

Corrugated Cardboard Classification by Pixel Counting Technique

นุชนารถ วงศ์กันทา และ ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี nuchanart_w@mail.rmutt.ac.th, chatchais@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล เพื่อนำไปใช้ในการเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการนับกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด โดยเริ่มจากการรับภาพระดับสีเทาด้วยกล้องขาวดำแบบสแกนพื้นที่ มาแปลงเป็นภาพไบนารีด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง และทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี จากนั้นใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ ในการหาพื้นที่ด้านลอนลูกฟูก ซึ่งทำให้ได้ค่าความสูงของลอนกระดาษลูกฟูกในรูปของจำนวนจุดภาพ และนำค่าดังกล่าวไปใช้เป็นเกณฑ์ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก จากผลทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้องเฉลี่ยที่ 87.81% ที่ระยะห่างของเลนส์กล้องจากก่องกระดาษ 33 เซนติเมตร \pm 2 เซนติเมตร

คำสำคัญ: การแยกชนิดกระดาษลูกฟูก การวิเคราะห์ห้ลือบ การนับพิกเซล

Abstract

This paper presents a method to classify the corrugated cardboard types with pixel counting techniques in order to choose an appropriate counting algorithm. Starting from receiving gray-scale images with a monochrome area scan camera then convert to binary images by thresholding and the images are improved with morphological techniques. After that blob analysis is employed for extracting and measuring the fluted area, which is the cut-off side of the corrugated cardboard. The corrugated height in form of the number of pixels is provided and it is used as a criterion to classify the corrugated cardboard types. From the experiment results, the proposed method can classify corrugated cardboard type correctly with an average accuracy of 87.81% at the focus distance of 33 cm \pm 2 cm.

Keywords: Corrugated Cardboard Classification, Blob Analysis, Pixel Counting Technique

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมกระดาษลูกฟูก มีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพกระดาษลูกฟูก เพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตก่อนการส่งต่อไปกระบวนการผลิตถัดไป ปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่งคือ จำนวนกระดาษลูกฟูกที่ผลิตกับจำนวนกระดาษลูกฟูกที่ได้จริงไม่ตรงกัน ซึ่งเกิดจากการใช้คนในการนับ ทำให้กระบวนการผลิตขาดคุณภาพ และเกิดความเสียหายในผู้ผลิต อีกทั้งเป็นการเสียเวลา สิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิต การนับจำนวนกระดาษลูกฟูกสามารถทำได้โดยการใช้กล้องชนิดรับภาพแบบเส้นมาใช้งานซึ่งสามารถถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกได้อย่างต่อเนื่องและนับได้ถูกต้องเมื่อกรณีขอบกระดาษลูกฟูกวางเรียงเสมอกัน [1] จากการศึกษาพบว่า กล้องชนิดรับภาพแบบเส้นมีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนสูง ต่อมาจึงได้มีการนำกล้องชนิดรับภาพแบบพื้นที่มาใช้งาน แต่มีพื้นที่ในการรับภาพจำกัด ไม่สามารถถ่ายภาพกระดาษลูกฟูกที่วางเป็นก่องสูงได้ จึงได้มีการวิจัยการรวมภาพกระดาษลูกฟูกเข้าด้วยกัน โดยการถ่ายภาพจำนวนหลายภาพแล้วนำมารวมกันด้วยเทคนิคการต่อภาพและให้ความถูกต้องในการตรวจสอบเมื่อกรณีขอบกระดาษลูกฟูกวางเรียงเสมอกัน [2] แต่ไม่สามารถบอกชนิดกระดาษลูกฟูก และเลือกอัลกอริทึมในการตรวจนับโดยอัตโนมัติได้ เนื่องจากกระดาษลูกฟูกจะมีขนาดของลอนลูกฟูกไม่เท่ากันจึงทำให้อัลกอริทึมในการนับกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน

บทความนี้จึงนำเสนอการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องรับภาพแบบพื้นที่ที่ด้านมุมของกระดาษลูกฟูก ทำการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นระดับขาวดำ จากนั้นปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยีและวิเคราะห์ห้กลุ่มภาพที่เป็นขาวดำ เพื่อตรวจหาตำแหน่งของลอนกระดาษลูกฟูกแล้วทำการออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก ทดสอบความถูกต้องชนิดกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างกระดาษลูกฟูก

2. โครงสร้างของกระดาษลูกฟูกและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก

ในปัจจุบันกระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากความทนทานสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย น้ำหนักเบา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งกระดาษลูกฟูกจะประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่เป็นลอนลูกฟูก(Corrugated Medium) และส่วนแผ่นกระดาษเรียบ (Liner Board) ที่นำมาประกบเข้ากับลอนลูกฟูก ดังรูปที่ 1 สำหรับตัวลอนลูกฟูกจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งจะทำให้กระดาษมีความแข็งแรง และสามารถต้านทานแรงกดจากรอบทิศทางได้ กระดาษลูกฟูกมีหลายชนิดโดยขึ้นอยู่กับชนิดของลอน แต่ละชนิดจะมีขนาดและความสูงที่แตกต่างกันไป ตามมาตรฐานกระดาษลูกฟูกของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.550-2555 [4] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของกระดาษลูกฟูก [2]

ชนิด	จำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูก	ความสูงของแผ่นลูกฟูก
A	1 แผ่น	4.50 มิลลิเมตร
B	1 แผ่น	2.50 มิลลิเมตร
C	1 แผ่น	3.50 มิลลิเมตร
E	1 แผ่น	1.20 มิลลิเมตร
BA	2 แผ่น	7.00 มิลลิเมตร
BC	2 แผ่น	6.00 มิลลิเมตร

2.2 เทคนิคมอร์โฟโลยี (Morphology)

เป็นการประมวลผลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพโดยใช้กับภาพระดับสีเทาและภาพระดับขาวดำเพื่อแยกวัตถุออกจากกัน หรือเชื่อมวัตถุในภาพเข้าด้วยกัน รวมไปถึงการลดสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพ ทำให้เห็นสิ่งที่สนใจชัดเจนขึ้น โดยกระบวนการพื้นฐานของมอร์โฟโลยีที่ใช้กับงานวิจัยชิ้นนี้มีดังนี้

2.2.1 การขยายภาพ (Dilation)

การขยายภาพเป็นเทคนิคการเพิ่มข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นการขยายจุดภาพส่วนที่เป็นพื้นที่สีขาว (logic 1) โดยเมื่อนำ Mask B ไปเปรียบเทียบกับจุดภาพของภาพ A ถ้าข้อมูลของภาพ A มีสีขาวในบริเวณที่ Mask B จะทำให้จุดนั้นเปลี่ยนเป็นสีขาว (logic 1) เมื่อจุดภาพในบริเวณที่ Mask B มีค่าตรงกับจุดเดิมจะมีค่าคงเดิม ตามสมการที่ 1 [3]

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A\} \quad (1)$$

โดยที่

- A คือ ภาพที่ต้องการนำมาขยาย
- B คือ ค่าการเคลื่อนที่ของ Mask B ในรูป A
- Z คือ เซตข้อมูลของจุดภาพ

2.2.2 การกร่อนภาพ (Erosion)

การลดขนาดภาพเป็นเทคนิคการลดข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นการลดขนาดของจุดภาพส่วนที่เป็นพื้นที่สีขาว (logic 1) โดยเมื่อนำ Mask B ไปเปรียบเทียบกับจุดภาพของภาพ A เช่นเดียวกันกับการขยายภาพถ้าข้อมูลของภาพ A มีสีดำในบริเวณที่ Mask B จะทำให้จุดนั้นเปลี่ยนเป็นสีดำ (logic 0) เมื่อจุดภาพในบริเวณที่ Mask B มีค่าตรงกับจุดเดิมจะมีค่าคงเดิม ตามสมการที่ 2 [3]

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

2.3 การวิเคราะห์แบบบล็อป (Blob Analysis)

การวิเคราะห์กลุ่มภาพที่เป็นไบนารีเป็นการวิเคราะห์กลุ่มของจุดภาพที่เป็นขาวดำ วิเคราะห์หากกลุ่มสีของวัตถุ ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของจุดเชื่อมต่อ (Region growing) ทำได้โดยวิธีกำหนดจำนวนจุดเชื่อมต่อแบบ 4-connected หรือแบบ 8-connected โดยที่ Region growing เกิดจากผลรวมของค่าขีดแบ่งและค่า Connected Component Analysis การวิเคราะห์บล็อปนั้นทำให้ได้จำนวนวัตถุทั้งหมดในภาพ ขนาดของแต่ละวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุ จุดศูนย์กลางวัตถุ เส้นขอบวัตถุ [1]

3. การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมูม

ขั้นตอนวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมูมมี 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนที่ 1 การหามูมกระดาษลูกฟูก ขั้นตอนที่ 2 การหาความสูงของลอนลูกฟูกด้านมูม และขั้นตอนที่ 3 การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมูม โดยภาพที่นำมาทดสอบเป็นภาพที่มาจากกล้องโมโนโครมชนิดรับภาพแบบพื้นที่ ที่มีรายละเอียด 1280×960 จุดภาพ กองกระดาษลูกฟูกวางห่างจากจุดโฟกัสที่ระยะ 33 เซนติเมตร รับภาพด้านมูมกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C โดยใช้แหล่งจ่ายแสงเพื่อปรับความสว่างของกระดาษลูกฟูกให้มีค่าคงที่

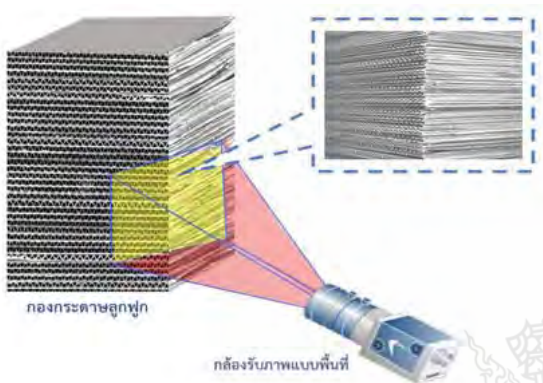


รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมูม

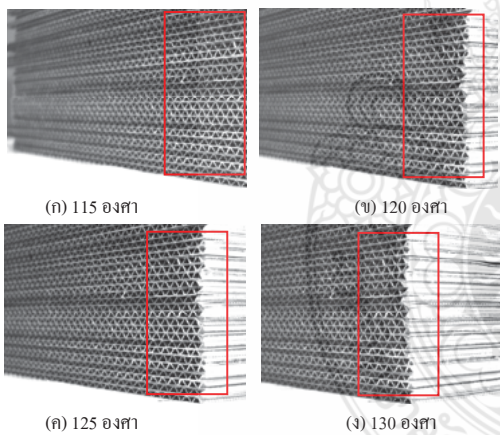
3.1 การหามูมระหว่างกล้องกับกองกระดาษลูกฟูก

เนื่องจากงานจริงในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกด้านลอนจะอยู่ด้านการส่งออกไปยังกระบวนการผลิตถัดไป ทำให้ไม่สามารถเก็บภาพนำมาตรวจนับได้ และด้านที่สามารถเก็บภาพได้คือด้านรอยตัด ซึ่งการแยกชนิดและการตรวจนับจะเกิดความผิดพลาดสูง จึงได้มีการออกแบบการวางกล้องเก็บภาพด้านมูม แสดงดังรูปที่ 3 เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ตัวกล้องชนกับกองกระดาษลูกฟูก และได้ทำการทดสอบหามูมระหว่างกล้องกับกองกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C โดยการเก็บภาพด้าน

มมตั้งแต่ 115-130 องศาที่ระยะตั้งฉากกับด้านลอน หรือด้านคัท-ออฟ แสดงดังรูปที่ 4 จากการทดสอบพบว่า มุม 115 องศา ด้านลอนของ กระจาดลูกฟูกจะขาดหายไปจากเดิมมาก มุม 120 องศา กระจาดลูกฟูก ลอน B เห็นลอนลูกฟูกไม่ชัดเจน มุม 130 องศา ส่วนของพื้นที่ลอนจะ เห็นได้น้อยลง ทำให้การตรวจสอบได้ยาก และมุม 125 องศา เป็นมุมที่ สามารถตรวจจับลอนได้ทั้ง 2 ชนิด และเห็นด้านลอนและขนาดลอน ลูกฟูกได้ชัดที่สุด จึงเลือกมุม 125 องศา มาทดสอบหาพื้นที่ลอนเพื่อใช้ ในการแยกชนิดกระจาดลูกฟูกต่อไป



รูปที่ 3 การเก็บภาพด้านมุมกระจาดลูกฟูก



รูปที่ 4 การเก็บภาพด้านมุมกระจาดลูกฟูกระยะ 33 เซนติเมตร

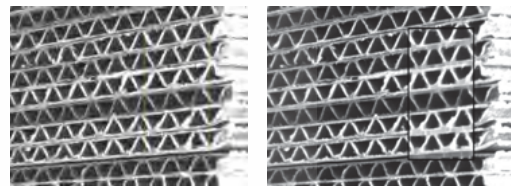
3.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Image)

ภาพกระจาดลูกฟูกด้านมุมที่ได้จากกล้องเป็นภาพระดับสีเทา นำมา แปลงเป็นภาพขาวดำ โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 90 ทำให้เห็นลอน ลูกฟูกชัดเจน และภาพมีขนาดข้อมูลลดลง ซึ่งทำให้สามารถจัดการกับ ภาพได้ง่ายขึ้น แสดงดังรูปที่ 5 (ก)

3.3 ภาพระดับขาวดำ (Binary Image)

จากการแปลงภาพเป็นระดับขาวดำยังมีส่วนของลอนที่ยังเห็นพื้นที่ ลอนไม่ชัดเจนจึงทำการปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี ด้วยวิธีการ กร่อนภาพและการขยายภาพ ได้จากสมการ(1) และ (2) ตามลำดับ โดย

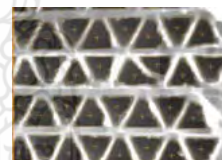
Mark ที่ใช้ในการกร่อนภาพเป็นเมทริกซ์ขนาด 3×3 และ Mark ที่ใช้ใน การขยายภาพเป็นเมทริกซ์ขนาด 5×5 เพื่อให้ได้ภาพลอนที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ผลที่ได้ดังรูปที่ 5 (ข) ถ้า Mark มีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไปจะทำให้ได้ ภาพลอนที่ได้มีขนาดไม่สมบูรณ์ เป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการ แยกชนิดกระจาด



รูปที่ 5 กระบวนการปรับปรุงภาพลอนลูกฟูก

3.4 การวิเคราะห์แบบบล็อบ (Blob Analysis)

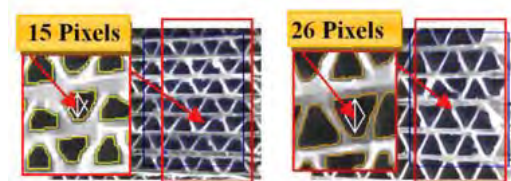
การวิเคราะห์แบบบล็อบ ถูกนำมาใช้เพื่อหาลอนของกระจาดลูกฟูก โดยทำการทดสอบกระจาดลูกฟูกชนิด B และ C ที่ความละเอียด 120 x 250 จุดภาพ จากการทดสอบวิเคราะห์บล็อบของภาพสิ่งที่ได้คือ ตำแหน่ง ของลอน จุดศูนย์กลางของลอน ขนาดของลอน และจำนวนลอน โดยรูป ที่ 6 เป็นการแสดงจุดศูนย์กลางของลอนกระจาดลูกฟูกชนิด C ที่ได้จาก การวิเคราะห์แบบบล็อบ



รูปที่ 6 ภาพแสดงลอนลูกฟูกด้วยการวิเคราะห์บล็อบของลอนลูกฟูกชนิด C

3.5 การนับพิกเซล (Pixel Counting)

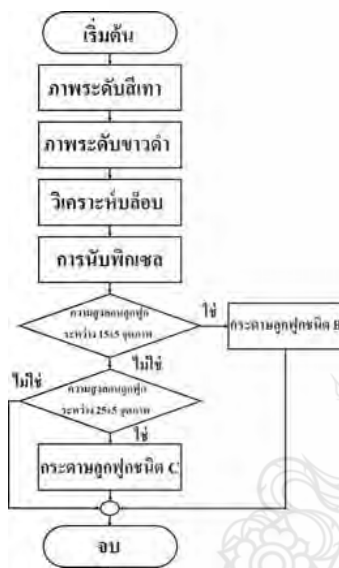
การนับจำนวนพิกเซลจะนับจากความสูงของลอนกระจาดลูกฟูกซึ่ง ได้มาจากการวิเคราะห์แบบบล็อบ ที่ความละเอียด 120×250 จุดภาพ รูปที่ 7 แสดงค่าความสูงของลอนกระจาดลูกฟูกชนิด B และ C ที่สมบูรณ์ ตามลำดับ โดยเทียบกับกระจาดจริงที่ระยะการรับภาพที่ 33 เซนติเมตร จากนับพิกเซลค่าความสูงของลอน B มีความสูงที่ 15±5 จุดภาพ และ กระจาดลูกฟูกชนิด C มีความสูง 25±5 จุดภาพ นำค่าความสูงที่ได้มา กำหนดอัลกอริทึมการแยกชนิดกระจาดลูกฟูก



รูปที่ 7 ภาพแสดงค่าความสูงของลอนลูกฟูก

3.6 การแยกชนิดกระดาษลูกฟูก

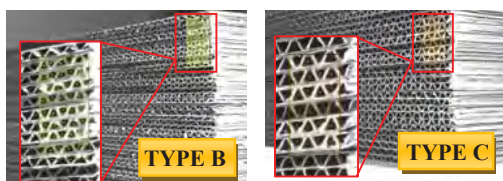
วิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกสามารถแยกได้โดยการนำค่าความสูงของลอนลูกฟูกที่ได้จากการนับพิกเซลมาใช้กำหนดชนิดกระดาษ ซึ่งกระดาษลูกฟูกชนิด B มีความสูงที่ 15 ± 5 จูคาฟ และกระดาษลูกฟูกชนิด C มีความสูง 25 ± 5 จูคาฟ ซึ่งได้จากการเก็บภาพที่ระยะรับภาพ 33 เซนติเมตร ที่มุม 125 องศา ความสูงของลอนต้องเป็นชนิดเดียวกัน และมีจำนวนลอนลูกฟูกมากกว่า 75 % ของพื้นที่ที่ทำกรทดสอบ เพื่อหาชนิดของกระดาษลูกฟูก โดยรูปที่ 8 แสดงขั้นตอนการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 8 ขั้นตอนการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก

4. ผลการทดสอบ

ภาพที่นำมาทดสอบเป็นกระดาษลูกฟูกชนิด B และ C โดยกำหนดความสูงของกระดาษลอน B ที่ 15 ± 5 จูคาฟ ความหนาของกระดาษลอน C ที่ 25 ± 5 จูคาฟ แผ่นกระดาษที่ใช้ทดสอบชนิด B จำนวน 50 แผ่น และชนิด C จำนวน 35 แผ่น ทดสอบการแยกชนิดกระดาษจำนวน 50 ตัวอย่าง และทดสอบที่กรณีขอบกระดาษวางเสมอกัน โดยใช้โปรแกรม HALCON ในการทดสอบอัลกอริทึมการแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้านมุม จากผลการทดสอบสามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องดังรูปที่ 9 และตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบในกรณีที่ขอบกระดาษวางห่างจากระยะรับภาพ



(ก) การแยกกระดาษลูกฟูกลอน B (ข) การแยกกระดาษลูกฟูกลอน C
รูปที่ 9 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

ตารางที่ 2 ผลการแยกชนิดกระดาษด้านมุมที่ขอบกระดาษเหลือระยะระยะรับภาพ

ระยะห่างจากระยะรับภาพ (cm)	เข้าหากล้อง				ออกจากกกล้อง		
	3	2	1	0	1	2	3
ความถูกต้องในการแยกชนิด B (%)	60.95	80.00	86.96	91.62	86.84	84.62	72.70
ความถูกต้องในการแยกชนิด C (%)	60.84	80.74	82.42	84.00	81.82	80.00	71.84

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการแยกชนิดกระดาษลูกฟูก ด้วยเทคนิคการนับพิกเซล สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้องโดยเฉลี่ยที่ 87.81% เมื่อขอบกระดาษลูกฟูกวางเสมอกันที่จุดโฟกัสที่ระยะ 33 เซนติเมตร มุม 125 องศา ในกรณีที่ขอบกระดาษวางเลยจุดโฟกัส ระยะที่สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้อย่างถูกต้องคือ ระยะขอบกระดาษวางห่างจากจุดโฟกัสเข้าหากล้อง 2 เซนติเมตร และออกจากกกล้อง 2 เซนติเมตร สำหรับระยะที่วางขอบกระดาษมากกว่าระยะดังกล่าว จะไม่สามารถแยกชนิดกระดาษลูกฟูกได้ถูกต้อง เนื่องจากพื้นที่ของลอนจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการรับภาพเมื่อระยะรับภาพมีค่ามากพื้นที่ของลอนลูกฟูกจะลดลงทำให้รายละเอียดที่ได้ไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้เพื่อตรวจวัดความสูงลอน ซึ่งจะนำไปพัฒนาอัลกอริทึมให้สามารถต่อภาพและนับกระดาษลูกฟูกด้านลอนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] มีนา รัตนกร, “การตรวจหาพื้นที่ลอนของกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35, ปทุมธานี, 12-14 ธันวาคม 2555, หน้า 857 – 860.
- [2] วนิดา สุวรรณกิจ, “การรวมภาพกระดาษลูกฟูกโดยใช้เทคนิคการต่อภาพ,” การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10, นครศรีธรรมราช, 27-28 มีนาคม 2561, หน้า 661 – 664.
- [3] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Second edition, Prentice Hall, 2002
- [4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ชนิดของลอนจำนวนลอนต่อเมตรและความสูงของลอน. มอก. 550-2555.



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๔๒ (EECON-42) มหาวิทยาลัยมหิดล

ระหว่างวันที่ ๓๐ ตุลาคม - ๑ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๖๒

ขอขอบเกียรติบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

นุชฌาน วงศ์กันทา วัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล

ได้นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง

การแยกชนิดกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคการนับพิกเซล

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต ฤกษ์บุตร)

นายกสมาคมวิศวกรรมไฟฟ้า(ประเทศไทย)

(ดร.สุพรรณ ทัพย์ทิพากร)

ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวนุชนารถ วงศ์กันทา
วัน เดือน ปี เกิด 19 ธันวาคม 2537
ที่อยู่ 57/39 หมู่ 7 ตำบลลำลูกกา อำเภอลำลูกกา
จังหวัดปทุมธานี 12150
การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน ครูฝึกในสถานประกอบการบริษัทสมาร์ท (2015) เซอร์วิสเซสจำกัด
จังหวัดกรุงเทพมหานคร
เบอร์โทรศัพท์ 09-4516-5539
อีเมลล์ nuchanart_w@mail.rmutt.ac.th

