สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การพัฒนาเครื่องตรวจสอบการพิมพ์ตะกั่วบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการประมวลผลภาพ

# DEVELOPMENT OF INSPECTION MACHINE FOR SOLDER PASTE PRINTING ON PCB BOARD USING IMAGE PROCESSING

T139888

วสันต์ แสงบัวเผื่อน

WASAN SAENGBUAPHUEN

ว 35 ก 2558

เลขหมู่.......

เลขทะเบียน 139888

วัน.เดือน.ปี 19 พ.ย. 2558

b 12725018

.b.....................

.i.....................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-030-177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEVELOPMENT OF INSPECTION MACHINE FOR SOLDER PASTE PRINTING ON PCB BOARD USING IMAGE PROCESSING

WASAN SAENGBUAPHUEN

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-030-177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การพัฒนาเครื่องตรวจสอบการพิมพ์ตะกั่วบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการประมวลผลภาพ

**Thesis Title** Development of Inspection Machine for Solder Paste Printing on PCB Board Using Image Processing

**นักศึกษา** นายวสันต์ แสงบัวเผื่อน

**รหัสประจำตัว** 53610608

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา

**หมายเลขวิทยานิพนธ์** KMITL-2015-EN-M-030-177

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผศ.ดร.อุนนัต พิณโสภณ | |
| ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ | |
| ผศ.ดร.ฐิตะพล หุยะนันท์ | |
| ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร | |
| ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** วันศุกร์ที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 13.00-15.00 น.
**สถานที่สอบ** ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-303

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว**

**(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)**
**คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การพัฒนาเครื่องตรวจสอบการพิมพ์ตะกั่วบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการประมวลผลภาพ |
| **นักศึกษา** | นายวสันต์ แสงบัวเผื่อน |
| **รหัสประจำตัว** | 53610608 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมเครื่องกล |
| **พ.ศ.** | 2558 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา |

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกระบวนการพิมพ์ตะกั่วก่อนที่จะประกอบตัวไอซีลงบนแผ่นวงจร ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบลักษณะและพื้นที่การพิมพ์ตะกั่วมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ณ.จุด จุดนั้นที่มีการพิมพ์ตะกั่ว ซึ่งบทความนี้ได้ประยุกต์ใช้กล้องวิดีโอ และเทคนิคการประมวลผลภาพเข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหา โดยเราทำการสร้างเครื่องตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา โดยนำเอาแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพิมพ์ตะกั่วมาวางบนตำแหน่งของเครื่องตรวจสอบ อ่านค่าด้วยกล้องแบบ Real-Time ที่ควบคุมบนแกน X และ Y ด้วย เอซี เซอร์โวมอเตอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมบน Visual Studio ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สามารถแสดงถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพิมพ์ตะกั่วไม่เต็มมาใช้ในอุตสาหกรรมรวมถึงการออกแบบฮีสโทแกรมของภาพและการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | Development of Inspection Machine for Solder Paste Printing on PCB Board Using Image Processing |
| **Student** | Mr.Wasan Saengbuaphuen |
| **Student ID.** | 53610608 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Mechanical Engineering |
| **Year** | 2015 |
| **Thesis Advisor** | Asst. Prof. Dr. Nattawoot Depaiwa |


## ABSTRACT

This paper presents a research which involves the process for printing solder paste onto PCB boards before assembling Integrated circuit on the circuit board. This PCB boards was examined for the physical characteristic and the areas of solder paste printing more than 80 percent at the solder paste deposited. This present study employ the video camera and technologies of image processing which could be help to reduce the defects of solder paste printing on PCB boards. The automatic optical inspection was constructed and determined the defects of the solder paste printing PCB boards by the real-time video camera on the x and y axis with AC servo motor control and design program for analysis on visual studio. The result of this study is provide the information and possibilities of the automatic optical inspection to determine the defects of solder paste printing on PCB boards compare with the industrial prototype include the process of design Image histogram and Image processing of the electronics product manufacturing industry in the future.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา ที่ให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายนิวัฒน์ สุขสาม ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ประสบความสำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายอมรรัตน์ พันสา วิศวกรอิเลคทรอนิกส์ บริษัท พานาโซนิค เอวีซี เน็ตเวิร์คส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในการในการสร้างชุดอุปกรณ์การทดลองและการเขียนโปรแกรมการการประมวลผลภาพ

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ นางบุญมี ระโหฐาน(มารดา) และ นายสมาน ระโหฐาน(ลุง) อย่างสูงที่คอยให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจขณะที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาโทจนประสบผลสำเร็จในการเล่าเรียน

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับมารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วสันต์ แสงบัวเผื่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญรูป.....VII
คำย่อและสัญลักษณ์.....X
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....9
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....9
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....10
1.6 ขั้นตอนการวิจัย.....10

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....11
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนที่.....13

บทที่ 3 ทฤษฎี.....14
3.1 ความสำคัญของภาพดิจิตอล.....14
3.2 การแสดงภาพดิจิตอล.....16
3.3 รูปแบบจำลองของสี.....17
3.4 การประมวลผลภาพ.....19
3.5 ฮีสโตแกรมของภาพ.....21
3.6 ความสว่างของภาพ.....34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 คอนทราสต์ของภาพ......35
3.8 การควบคุมแบบ P.I .D......36
3.9 การปรับ P.I .D. Loop......38
3.10 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์......39

บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย......46
4.1 กล่าวนำ......46
4.2 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการตรวจสอบ......46
4.3 ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์......43
4.4 การสร้างเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ......53
4.5 ขั้นตอนการทดลอง......61

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล......71
5.1 การสอบเทียบความแม่นยำของระบบเคลื่อนที่......71
5.2 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 1......74
5.3 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 2......75
5.4 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 3......76

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ......77
6.1 สรุปผลผลการทดสอบ......77
6.2 ข้อเสนอแนะ......77

เอกสารอ้างอิง......78
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก......80
ประวัติผู้เขียน......87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางลักษณะการกระจายของค่าระดับสีเทาของภาพที่มีจำนวนระดับสีเทา 8 ระดับ......................31

4.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องอุตสาหกรรมกับกล้องเว็บแคม......................................57

4.2 ตารางแสดง Light Source ประเภทต่าง..............................................................................................58

4.3 ตารางรหัสตัวอักษร ASCII Chart (Hex)..............................................................................................60

5.1 ตารางแสดงผลการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ................................................................72

5.2 ตารางแสดงผลการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ................................................................73

5.3 ตารางแสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 1.............................74

5.4 ตารางแสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 1.................................74

5.5 ตารางแสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 2.............................75

5.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 2.................................75

5.7 ตารางแสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 3.............................76

5.8 ตารางแสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 3.................................76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

1.1 ภาพแสดงแผนผังจำลองสายการผลิตของกระบวนการเอสเอ็มที.....2

1.2 ภาพแสดงแผนผังกระบวนการที่ต้องการตรวจสอบ.....2

1.3 ภาพแสดงเครื่องโหลดเดอร์ (Loader Machine).....3

1.4 ภาพแสดงกระบวนการโซลเดอร์สกรีน.....3

1.5 ภาพแสดงกระบวนการวางอุปกรณ์.....4

1.6 ภาพแสดงกระบวนการรีโฟร์.....5

1.7 ภาพแสดงโปรไฟล์ของเตารีโฟร์.....5

1.8 ภาพแสดงเครื่องตรวจจับความผิดพลาด (AOI Machine).....6

1.9 ภาพแสดงกระบวนการโซลเดอร์เวฟ.....6

1.10 ภาพแสดงการทดสอบวงจร (ICT).....7

1.11 ภาพแสดงวิธีการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง.....8

1.12 ภาพแสดงกระบวนการการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง.....8

3.1 ภาพแสดงระบบเก็บภาพดิจิตอล.....15

3.2 ภาพแสดงภาพดิจิตอลแบบขาวดำ.....16

3.3 ภาพแสดงรูปแบบจำลองสีอาร์จีบี.....18

3.4 ภาพแสดงไดอะแกรมของฮีสโทแกรมสามมิติของการแสดงภาพสีขนาด 24 บิต.....18

3.5 ภาพแสดงหลักการประมวลผลแบบจุดภาพ.....19

3.6 ภาพแสดงเทมเพลตขนาด 3x3 (n x m)).....21

3.7 ภาพถ่ายเปลวเพลิงกับฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง.....22

3.8 ภาพแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมที่สอดคล้อง.....23

3.9 ภาพที่มีลักษณะมืด เมื่อข้อมูลของระดับสีเทาของจุดความสว่างค่าต่ำๆ.....24

3.10 ภาพที่มีลักษณะสว่าง เมื่อข้อมูลของระดับสีเทาของจุดความสว่างค่าสูงๆ.....24

3.11 ภาพที่ดี เมื่อจุดภาพมีค่าระดับความสว่างเกือบทุกระดับ.....25

3.12 การแปลงฮีสโทแกรมโดยการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น.....26

3.13 ภาพแสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงฮีสโทแกรมของการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น.....26

3.14 ภาพที่ได้จากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น.....27




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.15 ภาพแสดงค่าฟังก์ชันตัวอย่างของการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น....27
3.16 ภาพจากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น....28
3.17 ภาพแสดงการปรับเท่าฮีสโทแกรมของตารางที่ 3.1....32
3.18 ภาพแสดงการปรับเท่าฮีสโทแกรมภาพ....33
3.19 การแปลงภาพไบนารีโดยใช้ขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรม....34
3.20 ภาพแสดงความสว่างของภาพที่มืดและสว่าง....35
3.21 ภาพแสดงคอนทราสต์ของภาพที่มีค่าน้อย....35
3.22 ภาพแสดงคอนทราสต์ของภาพที่มีค่าเหมาะสม....36
3.23 ภาพแสดงพื้นฐาน P.I D. โทโพโลยีควบคุมเซอร์โวมอเตอร์....37
3.24 ภาพแสดงอินพุตและเอาต์พุตของโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์....40
3.25 ภาพแสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แยกกระตุ้น....40
3.26 ภาพแสดงถึงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์....42
3.27 ภาพแสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล....43
4.1 ภาพแสดงกระบวนการ SMT....47
4.2 ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 1)....48
4.3 ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 2)....48
4.4 ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 3)....49
4.5 ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 4)....50
4.6 ภาพแสดงการติดตั้ง Visual C++ แบบ Win32 Application....51
4.7 ภาพแสดงการติดตั้ง project -> properties....51
4.8 ภาพแสดงการติดตั้ง Active Solution Platforms 1....52
4.9 ภาพแสดงการติดตั้ง Active Solution Platforms 2....52
4.10 ภาพแสดงหน้าต่าง Tool bar....53
4.11 ภาพแสดงถึงโครงสร้างของเครื่องตรวจสอบ....54
4.12 ภาพแสดงถึงการลดขนาดความสูงโครงสร้างลงจาก 940 มม. เป็น 200 มม. ....55
4.13 ภาพแสดงแนวแกนการเคลื่อนที่ X-Y Robot....55
4.14 ภาพแสดงคอนโทรเลอร์ของ X-Y Robot....56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ภาพแสดงระหว่างกล้องเว็บแคมกับกล้องอุตสาหกรรม....56
4.16 ภาพแสดงเลนส์(Loupe lens)ขนาด 40x....57
4.17 ภาพแสดงการให้แสงสว่าง(Lighting Method)....58
4.18 ภาพแสดงการให้แสงสว่างในแนวตั้งฉากกับกล้อง....59
4.19 ภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์การตรวจสอบด้วยภาพ....61
4.20 ภาพแสดงขนาดของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจสอบ....62
4.21 ภาพแสดงตำแหน่งที่ใช้ในการตรวจสอบ 15 จุด....63
4.22 ภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์การตรวจสอบด้วยภาพ....64
4.23 ภาพแสดงการการ Setting แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจสอบ....65
4.24 ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการบันทึกภาพเพื่อนำภาพมาต่อกัน....66
4.25 ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการบันทึกภาพต้นแบบ....66
4.26 ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ....67
4.27 ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ....67
4.28 ภาพแสดง Flow Chart ของการตรวจสอบ....68
4.29 ภาพแสดงจำนวนเม็ดสี RGB....69
4.30 ภาพแสดงวิธีการทำงานของ X-Y Table โดยรวม....70
5.1 ภาพแสดงเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ตรวจจับข้อบกพร่องบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์....71
5.2 ภาพแสดงการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X....72
5.3 ภาพแสดงการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y....73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อและสัญลักษณ์

| | | |
|---|---|---|
| PCB | = | Print Circuit Board |
| AOI | = | Automated Optical Inspection |
| SMT | = | Surface Mount Technology |
| FCT | = | Function Test |
| FPC | = | Flexible Printed Circuit |
| ICT | = | Information and Communication Technology |
| IC | = | Integrated Circuit |
| VGA | = | Video Graphic Array\ |
| ASCII | = | American Standard Code for Information Interchange |
| CCD | = | Charge Coupled Device |
| CMOS | = | Complementary Metal Oxide Semiconductor |
| OpenCV | = | Open Source Computer Vision |
| FPS | = | Frame per Second |
| RGB | = | สี Red, Green, Blue |
| PID | = | Proportional-Integral-Derivative Controller |
| FRF | = | ความถี่ที่ตอบสนอง |
| $R_a$ | = | ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ |
| $L_a$ | = | อินดัคแตนซ์ของอาร์เมเจอร์ |
| $V_g$ | = | โวลท์เต็จกำเนิดในอาร์เมเจอร์(โวลท์เต็จย้อนกลับ) |
| $R_f$ | = | ความต้านทานของฟิลด์ |
| $L_f$ | = | อินดัคแตนซ์ของฟิลด์ |
| $\phi$ | = | ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก |
| $\omega$ | = | ความเร็วของเพลาอาร์เมเจอร์ |
| $T_g$ | = | แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์ |
| $T_f$ | = | แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์ |
| $T_J$ | = | แรงเฉื่อยของมอเตอร์ |
| $T_L$ | = | แรงบิดโหลดบนเพลาของมอเตอร์ |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_g(t)$ = แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$ = แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_J(t)$ = แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$ = แรงบิดโหลด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมไปมากเป็นเหตุผลให้มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกำลังการผลิตต่อวันเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์(ICและPCB) ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนส่งเสริมจากภาคราชการในขณะเดียวกันก็เป็นอุตสาหกรรมที่อาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปัจจัยเสี่ยงต่อความปลอดภัยและอุบัติเหตุอุบัติภัยจากการทำงานในเรื่องอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (IC และ PCB) จึงได้จัดให้มีการจัดทำคู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (IC และ PCB) ขึ้น

แต่ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องผลิตชิ้นงานจำนวนมากจะใช้โลหะบัดกรีเป็นโลหะหลอมเหลวที่นิยมใช้ในการประกอบ PCB หรือโลหะบัดกรีแบบกึ่งของเหลวของแข็ง Solder paste ซึ่งนิยมใช้ในการผลิต FPC แบบ SMT (Surface mount technology) โดยเมื่อพิมพ์ Solder paste ลงบนตำแหน่งที่ต้องการ แล้วจึงวางไอซีหรือตัวเก็บประจุลงบน Solder paste จากนั้นจึงให้ความร้อนเพื่อให้ Solder paste หลอมตัวและประสานยึดติดไอซีหรือตัวเก็บประจุกับแผ่นวงจรพิมพ์ ถึงแม้ Solder paste เป็นส่วนประกอบเพียงเล็กน้อยแต่มีความสำคัญอย่างมากต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ ดังนั้นบทความวิจัยนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับข้อบกพร่องในการพิมพ์ตะกั่วไม่เต็มของSolder paste ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

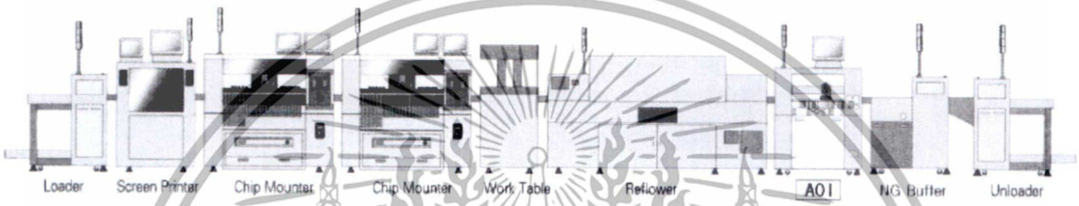
จึงมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น เครื่องตรวจสอบอัตโนมัติจึงเป็นเครื่องจักรที่ผู้ประกอบการนำเข้ามาใช้แทนผู้ปฏิบัติงานที่ตรวจสอบด้วยสายตาหรือทำงานในลักษณะซ้ำซากและงานที่เป็นอันตรายแก่สายตาผู้ปฏิบัติงานในลักษณะนี้เครื่องจักรอัตโนมัติสามารถทำงานแทนได้ จึงเรียกว่า ระบบวิชั่น

ระบบวิชั่น เป็นระบบที่ใช้สำหรับงานตรวจสอบทางกายภาพของแผ่น PCB โดยมีระบบการประมวลผลที่ใกล้เคียงกับการทำงานของมนุษย์ สามารถตัดสินใจและส่งผลลัพธ์ที่ต้องการได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ มนุษย์ใช้ตาเป็นส่วนรับภาพ และใช้สมองทำหน้าที่ประมวลตัดสินใจ ซึ่งลักษณะการประมวลผลของมนุษย์จะเป็นแบบอนาล็อก แต่สำหรับการตรวจสอบโดยระบบวิชั่นจะใช้กล้องทำหน้าที่แทนตาและใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลแทนสมองซึ่งเรียกว่าระบบวิชั่นแบบดิจิตอล ให้ความแม่นยำในการตรวจสอบ เนื่องจากใช้มาตรฐานเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.1 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการตรวจสอบ

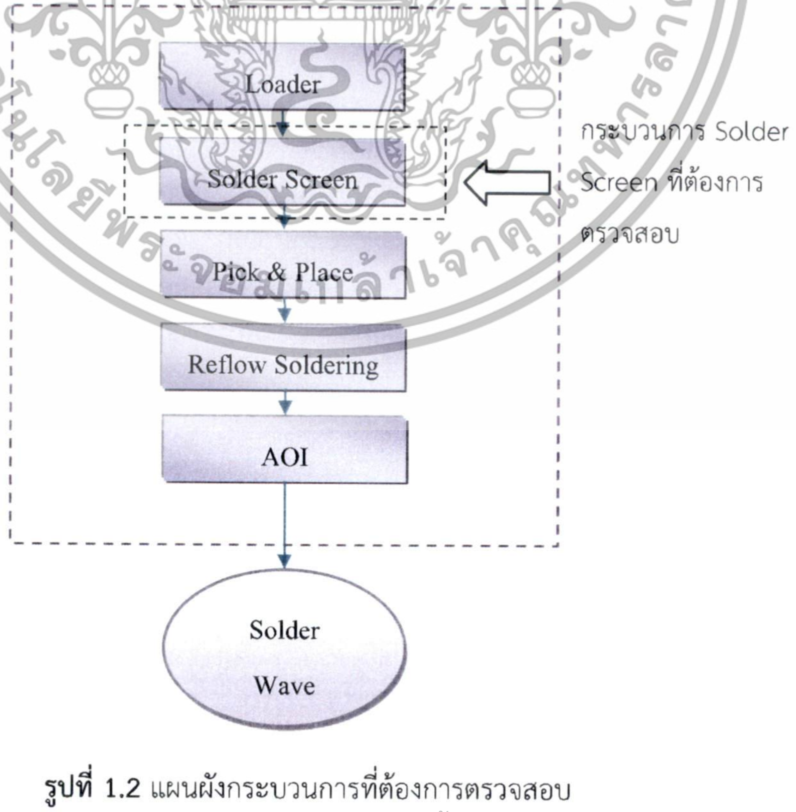
กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือเรียกว่าเอสเอ็มที(SMT Process) คือกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบขาไม่ทะลุลงบนแผ่นวงจรโดยใช้เครื่องจักรทำงานโดยอัตโนมัติ เป็นการทำงานเป็นลำดับจากเครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่ง กระบวนการเอสเอ็มทีเป็นกระบวนการที่ใหญ่และสำคัญที่สุดในส่วนของการประกอบ เปรียบเหมือนหัวใจหลักของการประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร ซึ่งสามารถดูได้จากผังจำลองสายการผลิตเอสเอ็มที ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งปรุกอบด้วยขั้นตอนย่อย 6 ขั้นตอนที่ต้องทำงานร่วมกัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้




**รูปที่ 1.1** แผนผังจำลองสายการผลิตของกระบวนการเอสเอ็มที

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [4]

ซึ่งในกระบวนการนี้ยังมีกระบวนการย่อยอีก 6 กระบวนการที่ต้องทำงานร่วมกัน ตามลำดับดังรูปที่ 1.2 ผังกระบวนการ SMT นี้

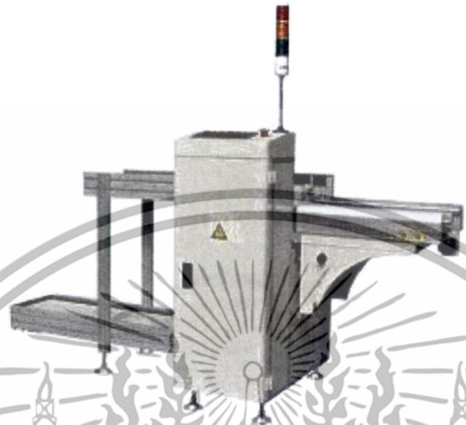



**รูปที่ 1.2** แผนผังกระบวนการที่ต้องการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.1.1.1 กระบวนการเตรียมแผ่นวงจร (Loader Process)**

กระบวนการเตรียมแผ่นวงจรเป็นกระบวนการที่นำเอาแผ่นวงจรที่จะใช้วางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใส่ลงในเครื่องโหลดเดอร์ (Loader Machine) ดังแสดงรูปที่ 1.3 ซึ่งเครื่องจะทำการใส่แผ่นวงจรอัตโนมัติทีละแผ่นวางบนรางสายการผลิต เพื่อส่งเข้าไปยังเครื่องสกรีนปรินส์เตอร์ (Screen Printer) ต่อไป

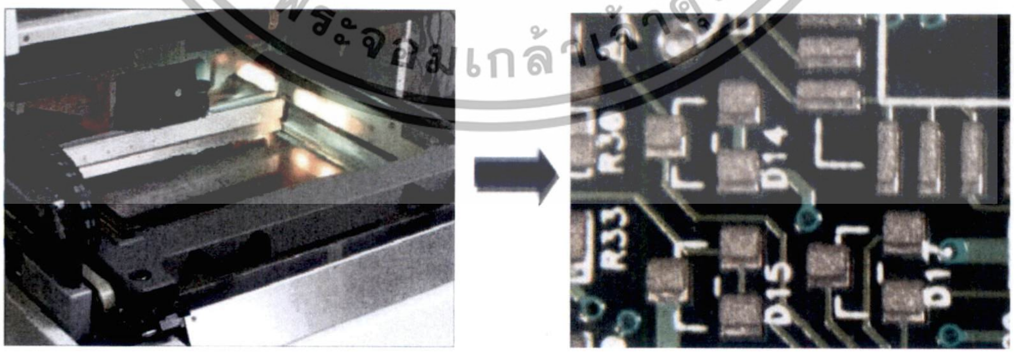


**รูปที่ 1.3** ภาพแสดงเครื่องโหลดเดอร์ (Loader Machine)

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [13]

**1.1.1.2 กระบวนการโซลเดอร์สกรีน (Solder Screen Process)**

กระบวนการโซลเดอร์สกรีนเป็นกระบวนการที่นำเอาตะกั่วครีม (Solder Paste) สกรีนส์ลงบนแผ่นวงจรตรงตำแหน่งที่ต้องการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับแผ่นวงจร ดังภาพที่ 1.4




**รูปที่ 1.4** ภาพแสดงกระบวนการโซลเดอร์สกรีน

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแผ่นสเตนซิล (Stencil) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ปิดลงบนแผ่นวงจร โดยจะมีรูที่พอดีกับตำแหน่งที่ต้องการบัดกรีนั้นก็คือตำแหน่งแพท (pad) ตรงบริเวณขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆซึ่งจะเหมือนบล็อกสกรีนส์เสื้อ (Block Screen) แต่เพียงเปลี่ยนจากสีที่ใช้สกรีนส์เป็นตะกั่วครีม

### 1.1.1.3 กระบวนการวางอุปกรณ์ (Pick and Place Process)

กระบวนการวางอุปกรณ์นี้เป็นการหยิบตัวอุปกรณ์ต่างๆมาวางบนแผ่นวงจรที่มีครีมตะกั่วอยู่บนตำแหน่งที่จะบัดกรีเรียบร้อยแล้ว โดยเครื่องชิพเมาส์เตอร์ (Chip Mounter) แต่เนื่องจากตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็กจึงต้องใช้เครื่องมือช่วย โดยเป็นจุกพลาสติกเล็กๆ (Nozzle) ที่จะมีลมดูด (Vacuum) ทำให้ตัวอุปกรณ์ลอยติดตามจุกพลาสติกแล้วไปวางบนตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ในหนึ่งสายการผลิตสามารถมีเครื่องวางอุปกรณ์ได้หลายเครื่องขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการจับอุปกรณ์แต่ละชนิด และเวลาในการวางอุปกรณ์ทั้งหมดในแต่ละแผ่นวงจร

รูปที่ 1.5 ภาพแสดงกระบวนการวางอุปกรณ์
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [15]

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 1.1.1.4 กระบวนการรีโฟร์ (Reflow Soldering Process)

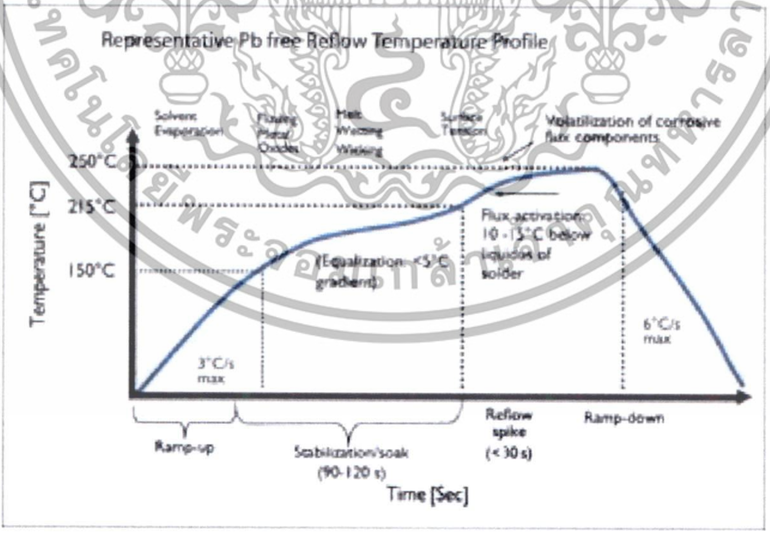
กระบวนการรีโฟร์เป็นการทำให้ตะกั่วครีมละลายจากสถานะของแข็งเป็นของเหลวและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้ตัวอุปกรณ์ติดอยู่กับแผ่นวงจร โดยเตาอบอุณหภูมิสูงที่มีรางยาวๆ สามารถควบคุมอุณหภูมิสูงได้เป็นช่วงๆ โดยสามารถเพิ่มลดอุณหภูมิใช้ช่วงต่างๆ ได้ ซึ่งในขณะที่แผ่นวงจรกำลังเคลื่อนผ่านเข้าไปในเตาอบก็จะทำให้ครีมตะกั่วละลายเพื่อเชื่อมระหว่างตัวอุปกรณ์กับแผ่นวงจร ซึ่งจะเหมือนกับการใช้หัวแร้งบัดกรีตะกั่วทั่วไป ดังแสดงรูปที่ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 1.6** ภาพแสดงกระบวนการรีโฟร์

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [16]

ในการปรับอุณหภูมิของเตาจะอ้างอิงจากพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวของตะกั่ว ซึ่งโดยทั่วไปจุดหลอมเหลวจะอยู่ที่ 230 องศาเซลเซียส โดยจะต้องปรับเตารีโฟร์ตามโปรไฟด์ดังภาพที่ 1.7 ซึ่งจะยากต่อการปรับมากเพราะเตาแต่ละรุ่นหรือยี่ห้อ จะมีความยาว หรือโซล (Zone) ในการปรับไม่เท่ากันจะต้องทำการทดลองปรับแล้ววัดออกมาก่อน แล้วจึงนำผลที่ออกมาไปวิเคราะห์โดยจะใช้โปรแกรมสำเร็จที่มีมากับเตารีโฟร์เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ (Parameters) ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ



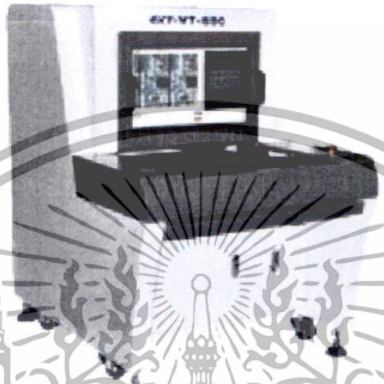

**รูปที่ 1.7** ภาพแสดงโปรไฟล์ของเตารีโฟร์

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.1.5 กระบวนการตรวจสอบ (AOI: Automated Optical Inspection)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการย่อยสุดท้ายของกระบวนการเอสเอ็มที ซึ่งเป็นกระบวนการที่ตรวจสอบความถูกต้องของตัวอุปกรณ์ว่าตรงตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ และยังสามารถที่จะป้องกันของเสียจากกระบวนการเอสเอ็มทีนี้ ก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการทดสอบ อื่นๆต่อไป ซึ่งจะใช้เครื่องตรวจจับความผิดพลาด (AOI Machine) แสดงดังภาพที่ 1.8 โดยหลักการทำงานมีพื้นฐานมาจากการสแกนรูปภาพแล้วนำมาทำการเปรียบเทียบ (Image Processing)

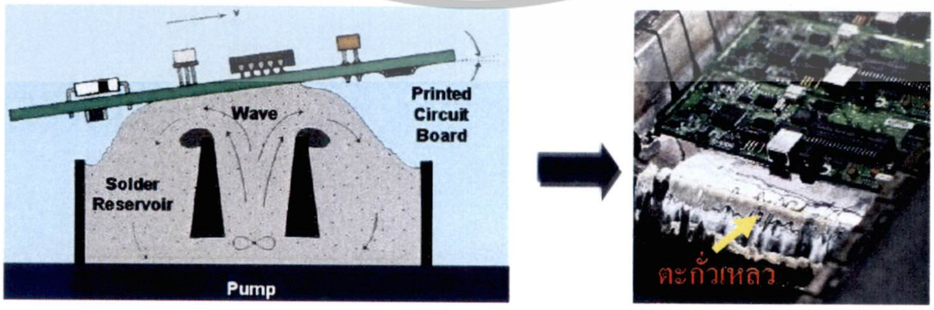


**รูปที่ 1.8** ภาพแสดงเครื่องตรวจจับความผิดพลาด (AOI Machine)

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [17]

### 1.1.1.6 กระบวนการโซลเดอร์เวฟ (Solder Wave)

กระบวนการโซลเดอร์เวฟ (Solder Wave) เป็นกระบวนการที่นำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดแบบขาทะลุแผ่นวงจรมาทำการวางและบัดกรีลงแผ่นวงจร ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้คนวางอุปกรณ์ลงแผ่นวงจรแล้วผ่านเครื่องโซลเดอร์เวฟ ซึ่งเครื่องโซลเดอร์เวฟจะคล้ายกับเตาที่ใช้หลอมตะกั่วเพื่อให้ตะกั่วมีสถานะที่เป็นของเหลวเพื่อจะได้กะขาอุปกรณ์ขึ้นไปติดกับแผ่นวงจร เวลาแผ่นวางจรถูกใส่เข้ามาในเครื่อง ดังแสดงรูปที่ 1.9




**รูปที่ 1.9** ภาพแสดงกระบวนการโซลเดอร์เวฟ

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.2 ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนการทดสอบประกอบด้วย 5 กระบวนการคือ กระบวนการทดสอบวงจรครั้งที่ 1 (ICT), กระบวนการทดสอบวงจรครั้งที่ 2 (Second ICT), กระบวนการทดสอบไฟฟ้าแรงสูง (Hi Pot), กระบวนการทดสอบฟังก์ชั่นการทำงาน (Functions Test) และกระบวนการสุดท้ายของการทดสอบคือจำลองการทำงานจริง ณ อุณหภูมิวิกฤติ (Thermal) ซึ่งแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

#### 1.1.2.1 กระบวนการทดสองวงจรครั้งที่ 1

กระบวนการทดสอบวงจรครั้งที่ 1 (ICT : Integrated Circuit Test) เป็นการทดสอบการบัดกรีที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เดี่ยว (Discrete Component) เช่น ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุโดยการใช้การป้อนแหล่งจ่ายไฟเข้ากับแผ่นวงจร แต่ละตำแหน่งของอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ผ่านทางฟิกเจอร์ (Fixture) จะและทดสอบแค่ช็อทกับโอเพน (Short-Open) เท่านั้น ดังแสดงรูปที่ 1.10

**รูปที่ 1.10** ภาพแสดงการทดสอบวงจร (ICT)
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [18]

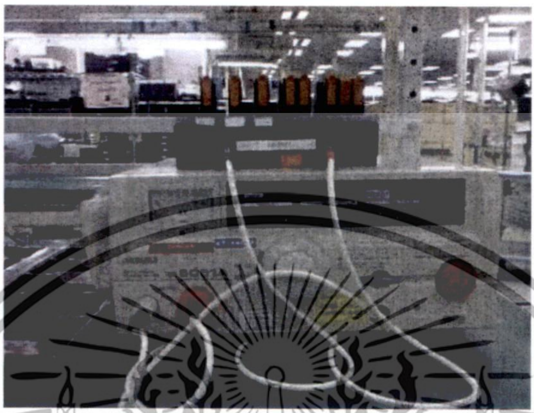
#### 1.1.2.2 กระบวนการทดสอบวงจรครั้งที่ 2

กระบวนการทดสอบวงจรครั้งที่ 2 (Second ICT) เป็นการทดสอบการบัดกรีที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และตัวกับแผ่นวงจร จะเน้นไปที่อุปกรณ์ประมวลผลที่ง่ายต่อการเสีย เช่น ไอซี (IC : Integrated Circuit) เป็นต้น โดยใช้การป้อนแหล่งจ่ายไฟเข้ากับแผ่นวงจร แต่ละตำแหน่งของอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ผ่านทางฟิกเจอร์ (Fixture) เหมือนกันครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.1.2.3 กระบวนการทดสอบไฟแรงสูง**

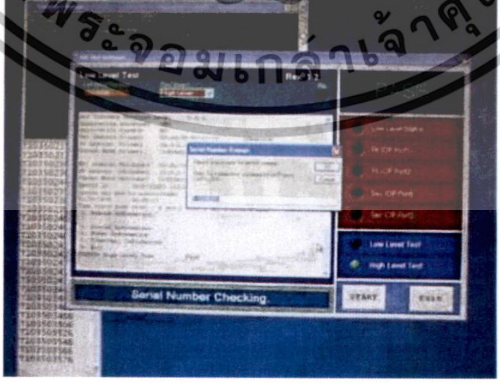
กระบวนการทดสอบไฟแรงสูง (Hi Pot) เป็นการทดสอบการป้องกันไฟกระชาก และทดสอบไฟในวงจรช๊อทลงกราวด์ (Short Ground) ของผลิตภัณฑ์โดยเครื่องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงไฮเวลท์ (Hi Voltage) ดังแสดงรูปที่ 1.11



**รูปที่ 1.11** ภาพแสดงวิธีการทดสอบวงจรไฟแรงสูง
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [18]

**1.1.2.4 กระบวนการทดสอบการทำงาน**

กระบวนการทดสอบการทำงาน (Functions Test) เป็นการทดสอบการใช้งานจริง โดยการโหลดโปรแกรมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะทดสอบผลิตภัณฑ์ว่าสามารถทำงานครบทุกฟังก์ชั่นการทำงานที่ระบุไว้ในคู่มือ ดังแสดงรูปที่ 1.12




**รูปที่ 1.12** ภาพแสดงกระบวนการทดสอบวงจรไฟแรงสูง
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.1.2.5 กระบวนการทดสอบการทำงาน ณ อุณหภูมิวิกฤติ**

กระบวนการทดสอบการทำงาน ณ อุณหภูมิวิกฤติ (Thermal Test) เป็นการทดสอบการทำงานจริงของผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างติดลบ 55 องศาเซลเซียสถึง 85 องศาเซลเซียส โดยการกำหนดระยะเวลา (Cycle Time) ซึ่งอุณหภูมิ ที่นำมาจำลองจะอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป (Industrial Grade) ในตู้จำลองอุณหภูมิ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในด้านการประยุกต์การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบในการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพิมพ์ตะกั่ว Solder paste ไม่เต็มตามเงื่อนไขที่กำหนดซึ่งต้องมากกว่า 80% ของพื้นที่ตรวจสอบโดยวัตถุประสงค์หลักงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.2.1 สร้างเครื่องต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ ที่มีลักษณะการทำงานเหมือนเครื่องตรวจสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมแทนกล้องอุตสาหกรรม

1.2.2 สร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และการรับภาพจากกล้องด้วยโปรแกรม Visual Studio โดยการทำงานร่วมกันระหว่างระบบกลไกเคลื่อนที่และระบบตรวจสอบด้วยกล้อง

1.2.3 การควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลคาร์ทีเซียน โดยใช้ระบบการตรวจสอบด้วยกล้องตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วได้อย่างถูกต้อง

1.2.4 ออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับกล้องเว็บแคมในการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในจุดที่ต้องการตรวจสอบได้อย่างครบถ้วน

## 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 ตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 0.55 ม.ม.ได้จากการขยายของเลนส์ที่มีการขยายได้ถึง 40เท่า

1.3.2 นำกล้องกล้องเว็บแคมพร้อมทั้งติดตั้งเลนส์ขนาด 40X เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างความยาวจริงไว้เป็นตัวคูณกับความยาวที่เราวัดได้จากภาพ

1.3.3 สร้างโปรแกรมรับภาพจากกล้องแล้วประมวลผลภาพเป็นภาพบิตแมปแสดงฮีสโทแกรมของภาพที่มีค่าคอนทราสต์เหมือนภาพต้นแบบ

1.3.4 สามารถถอดรหัส Protocol ใน IAI คอนโทรลเลอร์นำมาสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ได้จากการเข้ารหัสตัวอักษร เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างแป้นพิมพ์และคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อกำหนดวิธีการและเป้าหมายของการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ขอบเขตงานวิจัยประกอบด้วย

1.4.1 โปรแกรมการตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะตรวจสอบทั้งหมด 15 ตำแหน่งบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพริ้นตะกั่วเรียบร้อยแล้ว

1.4.2 สร้างเครื่องต้นแบบเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ขยายภาพในส่วนที่มีขนาดเล็กจากกล้องเว็บแคม

1.4.3 โปรแกรมที่ใช้ในการมองเห็นของเครื่องต้นแบบ จะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป คือ Visual Studio 2010 ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของแขนกลคาร์ทีเซียนและประมวลผลภาพจากกล้องวีดีโอ

1.4.4 ออกแบบเครื่องตรวจสอบต้นแบบบนพื้นฐานที่ไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ใหม่ได้จึงเป็นการออกแบบเพื่อให้เครื่องตรวจสอบที่สร้างขึ้นทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดและจัดหาได้ง่าย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถสร้างเครื่องตรวจสอบได้ในราคาถูกโดยมีประสิทธิภาพการตรวจสอบเทียบเท่าเครื่อง AOI

1.5.2 ลดความผิดพลาดในการตรวจสอบการควบคุมคุณภาพของแผ่น PCB ด้วยแรงงานคน

1.5.3 ได้แนวทางการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อยกระดับจากเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ ไปสู่ระบบที่สามารถใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

1.5.4 ได้ต้นแบบโปรแกรมระบบตรวจสอบด้วยกล้องเว็บแคม Camera ของเครื่องจักร

## 1.6 ขั้นตอนการวิจัย

1.6.1 ศึกษาทางทฤษฎีข้อมูลแขนกลคาร์ทีเซียนและการประมวลผลภาพ

1.6.2 ศึกษาโปรแกรม Visual Studio นำมาใช้

1.6.3 ทำการสร้างแบบจำลองเครื่องต้นแบบ

1.6.4 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกลคาร์ทีเซียน

1.6.5 เขียนโปรแกรมการเคลื่อนที่และโปรแกรมรับภาพ

1.6.6 นำภาพที่ได้มาต่อกันและบันทึกเป็นภาพต้นแบบ

1.6.7 ทำการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และดูค่าจากฮีสโทแกรม

1.6.8 เก็บข้อมูลเปรียบเทียบผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบแนวคิดและสมมุติฐานได้อย่างสมเหตุผลดังนี้

## 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

สมเกียรติ อุดมหรรษากุล ได้เรียบเรียงเรื่องการประมวลผลจากภาพดิจิตอลไว้ว่าการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับภาพต้นฉบับเพื่อให้ได้ ผลลัพธ์มีลักษณะภาพที่ต้องการ การแยกแยะประเภทและคุณลักษณะการกระทำกับภาพ จะช่วยคาดคะเนภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำในแต่ละแบบ [1] ต่อมาได้ศึกษางานวิจัยต่างๆเพื่อสร้างสมมุติฐานให้แก่งานวิจัยและ Ajay Pal ซิงห์ ได้เสนอวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์เปล่าโดยวิธีหาขอบภาพแสดงถึงโครงร่างของวัตถุภายในภาพด้วยเครื่องตรวจสอบจึงเห็นข้อบกพร่องได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ [2] จึงได้พบว่ามีระบบตรวจสอบแผ่นวงจรอิเลคทรอนิกส์ด้วยการแยกส่วนของภาพลักษณะจุดเด่นออกจากพื้นหลัง ด้วยเทคนิคการทำเทรชโฮลด์ งานวิจัยของ Sonal Kaushik ได้เสนอแผงวงจรหรือ (PCB) จะใช้กลไกสนับสนุนและการไฟฟ้าเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เส้นทางนำติดตามหรือร่องฝังสัญญาณจากแผ่นทองแดงเคลือบลงบนพื้นผิวตัวนำไฟฟ้า การตรวจสอบแบบอัตโนมัติของซีบีเอสมีจุดมุ่งหมายในทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการตรวจของมนุษย์ที่น่าเบื่อและไม่มีประสิทธิภาพในการมองหาข้อบกพร่องที่อยู่ใน ซีบีเอส ซึ่งอาจนำไปสู่ความล้มเหลวในการนำไฟฟ้า ในโครงการนี้ ระบบการตรวจสอบถูกนำไปใช้ในขั้นตอนแรกของการผลิตเช่นการทำ PCB เปล่า ก่อนอื่นเราเปรียบเทียบภาพมาตรฐาน PCB กับภาพ PCB ที่มีโดยใช้ขั้นตอนวิธีการลบอย่างง่ายที่สามารถเน้นตำแหน่งปัญหาหลัก เรายังได้เห็นผลกระทบของของเสียงในภาพ PCB ว่าสิ่งที่วิธีการนี้มีความเหมาะสมในการตรวจสอบภาพที่ผิดพลาด มุ่งเน้นที่จะตรวจสอบข้อบกพร่องบนแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [3]

ต่อมา Tae-Hyoung Park ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเส้นทางที่จะเพิ่มผลผลิตของเครื่อง AOI (ตรวจสอบแสงอัตโนมัติ) ในสายการประกอบ PCB (แผงวงจร) ปัญหาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหากลุ่มตรวจสอบและลำดับการตรวจของกล้องเพื่อลดเวลาในการทำงานโดยรวม วิธีการแบบครบวงจรมีการเสนอเพื่อตรวจสอบกลุ่มและลำดับไปพร้อม ๆ กัน เราใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมไฮบริดที่จะแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองที่นำเสนอในการตรวจสอบของวิธีการที่นำเสนอ การตรวจหาข้อบกพร่องในแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เปลือย โดยวิธีการใช้เครื่องตรวจภาพในระบบการประกอบแผงวงจรพิมพ์ ประกอบด้วยวงจรกับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิว มีสามขั้นตอนหลักที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตที่การตรวจสอบของแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อลดข้อบกพร่องที่มี ขั้นตอนแรกคือการพิมพ์ขั้นที่สองคือการผลิตชิ้นส่วนบนพื้นผิวของแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์และที่สามคือการบัดกรีส่วนประกอบ ในบทความนี้ระบบการตรวจสอบถูกนำไปใช้ในขั้นตอนแรกของการผลิตเช่นการทำแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์เปล่า เราเปรียบเทียบภาพมาตรฐานที่มีกับแผงวงจรวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะตรวจสอบโดยใช้อัลกอริทึมการลบแบบง่ายที่สามารถตรวจสอบตำแหน่งของเสีย มุ่งเน้นที่จะตรวจสอบข้อบกพร่องบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [4] ดังนั้นการจำแนกประเภทของข้อบกพร่องจึงเป็นอีกหลักการหนึ่งที่ Theingi Aye และ Ismall Ibrahim นำมาเป็นแนวคิดว่าการตรวจสอบแบบอัตโนมัติสำหรับ PCB เป็นที่ต้องการทางเทคโนโลยีในการออกแบบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการผลิตเพื่อลดระยะเวลาในการตรวจสอบและต้นทุนการผลิตเพราะการตัดสินใจของผู้ตรวจสอบของมนุษย์ไม่มีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายสูง มันจะมีประโยชน์มากในกระบวนการผลิต โดยผู้ผลิตสามารถตรวจสอบข้อบกพร่อง เพราะนี่คือข้อบกพร่องที่ตรวจพบได้มากกว่าในระยะเริ่มต้นใน PCB เปล่าในขั้นตอนต่อมาหลังจากที่เคลือบนี้จะประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตโดยการลดปริมาณของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกโยนออกไป ระบบการตรวจสอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดีขึ้นโดยการใช้การลงทะเบียนภาพเรขาคณิตเทคนิคเทรชโฮลด์ [5, 6] และการกรองเพื่อที่จะแก้ปัญหาการจัดตำแหน่งและไฟส่องสว่างที่ไม่สม่ำเสมอ

นอกจากปัญหาความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอแล้วยังมีข้อบกพร่องของฟลักซ์ใน แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ Ang TeohOng กล่าวว่าการตรวจสอบด้วยสายตาในข้อบกพร่องของฟลักซ์ในแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นอันตรายบนกระดานในรูปแบบของการกัดกร่อนและอาจทำให้เกิดอันตรายต่อแผงวงจร ในระยะสั้นจะนำมาปรับปรุงขั้นตอนการพิมพ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีคุณภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการยอมรับหรือปฏิเสธของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อพัฒนาขั้นตอนในการประมวลผลภาพที่จะตรวจพบข้อบกพร่องงฟลักซ์บนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในระหว่างขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ดีเครื่องจะได้รับการออกแบบและพัฒนาระบบการควบคุมอัตโนมัติร่วมกับกระบวนการเตรียมแผ่น/บรรจุแผ่น จัดการระบบนิวเมติกที่มีฝาสูญญากาศการตรวจสอบภาพและการจัดหมวดหมู่ (ยอมรับหรือปฏิเสธ) ระบบประมวลผลภาพจะขึ้นอยู่กับรูป (รูปแบบ) และภาพสีเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยรูปร่าง / พื้นผิวของหมุด แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการจับคู่รูปแบบในการตรวจสอบข้อบกพร่องของพื้นที่การวิเคราะห์สีของข้อบกพร่องฟลักซ์ในบอร์ด PCB มีการประมวลผลในอัตราร้อยละของพิกเซลสีแดงสีเขียวและสีฟ้า (RGB) รูปแบบ ฟิลเตอร์สีแดงหมายถึงค่าของกราฟที่วัดและเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนฟลักซ์ของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ระบบได้รับการทดสอบกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากสายการผลิตในโรงงานและประสบความสำเร็จในการตรวจข้อบกพร่องฟลักซ์บนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [7] ความถูกต้องที่ระดับ 86.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการการควบคุมการเคลื่อนที่

ระบบควบคุมอัตโนมัติเมื่อการทำงานของแขนกล 2 แกน ในแนวแกน X และแกน Y มีการผสมผสานความรู้ทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟแวร์ (Software) รวมทั้งนำความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และระบบฝังตัว (Embedded System) มาใช้นั้นจะเป็นการศึกษาทฤษฎีกลศาสตร์การเคลื่อนไหว L. Canan Dulger และ Ali Kirecci กล่าวว่าการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการติดตามสำหรับ AC ซิงค์โคนัส เซอร์โวมอเตอร์โมเดลทางคณิตศาสตร์ในระบบรวมไปถึง AC ซิงค์โคนัส เซอร์โวมอเตอร์กล่องเกียร์ และการรับน้ำหนักถูกพัฒนาในการตรวจสอบระบบการทำงานแบบไดนามิกส์ ระบบจะถูกควบคุมโดย PID แบบเก่า (Kp + Ki + Kd) ค่าที่จำเป็นสำหรับการตั้งค่าการควบคุมจะพบจากการทดลอง รูปแบบการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกันได้รับการออกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูรวมถึงคนที่จะดำเนินการ ดังนั้นการตรวจสอบรูปแบบการทดลองจะประสบความสำเร็จโดยใช้การตั้งค่าการทดลอง [8] การจำลองและผลการทดลองที่นำเสนอ การติดตามผลการดำเนินงานของระบบ AC เซอร์โวมอเตอร์ ถูกแสดงในรูปแบบของตัวควบคุม PID

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในรูปแบบการกำหนดการตอบสนองชั่วคราวของระบบในการควบคุมการออกแบบระบบปฏิเสธไม่ได้ว่ากระบวนการต้องมีหลายวิธีในการวิเคราะห์ตัวอย่างของเทคนิคที่รู้จักกันดีที่มีการใช้โดเมนเวลาและวิธีการที่โดเมนความถี่ บทความนี้จะเน้นในด้านพื้นฐานของการวิเคราะห์ความคิดเห็นของตัวควบคุมคลาสสิกในโดเมนความถี่ของการกัดในแกน XY ขับเคลื่อนด้วยระบบบอลสกรู ตัวควบคุมที่ใช้ในระบบเป็นแบบ PID พื้นฐานโดยใช้กราฟ UI ของ Matlab สำหรับกรณีนี้ฟังก์ชั่นการตอบสนองความถี่ (FRF) ของระบบถูกนำมาใช้แทนการประมาณการของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนไปเป็นตัวแทนของระบบจริง ผลในการจำลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากการปรับแต่งที่การควบคุมที่เหมาะสมระบบก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9]

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# ทฤษฎี

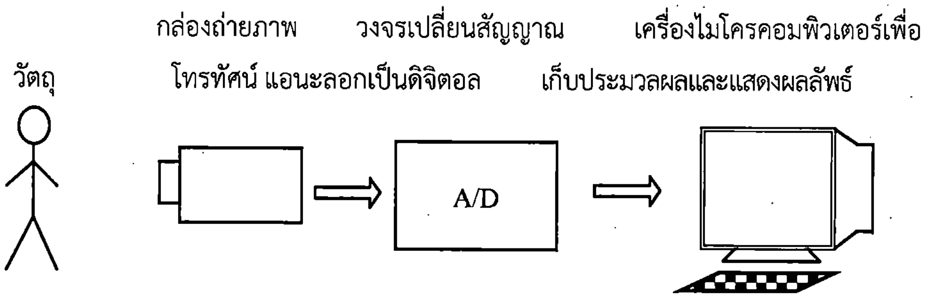
## 3.1 ความสำคัญของภาพดิจิตอล

ข้อมูลภาพได้จากแสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนผ่านเลนส์เข้าสู่ตัวบันทึกภาพ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของฟิล์ม (Film) หรือตัวตรวจรู้ (Sensor) ดังนั้นกระบวนการถ่ายภาพจึงเป็นวิธีการแปลงข้อมูลเชิงกายภาพ (Physical) ของวัตถุสามมิติ (Three-dimensional) มาเป็นข้อมูลภาพ (Image) ของวัตถุสองมิติ (Two-dimensional) สำหรับกรณีการบันทึกภาพของวัตถุด้วยกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ (Television camera) นั้น จะทำการบันทึกภาพอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะลอก (Analog) ในขั้นตอนนี้ตัวตรวจรู้จะทำการวัดค่าความเข้มของจุดเล็ก ๆ ทีละจุดไปเรื่อย ๆ ตามแนวเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งปกติจะไล่จากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง ค่าที่ตัวตรวจรู้วัดได้นี้เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพนั้น ในการพิจารณาภาพหนึ่งภาพใดที่ได้จากกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์จะเป็นภาพนิ่ง (Still picture) จากการนำภาพนิ่งที่เวลาต่าง ๆ มาจัดเรียงกันเป็นจำนวนมากแล้ว ให้แสดงผลในช่วงเวลาสั้น ๆ ภาพที่ได้จะมีลักษณะเคลื่อนไหว (Moving picture) สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะภาพนิ่งเท่านั้น

สัญญาณภาพในแต่ละเส้นสแกน (Scan) ที่ได้จากกล่องถ่ายโทรทัศน์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบแอนะลอก จะสอดคล้องกับความสว่างบนวัตถุที่ถ่ายได้ กล่าวคือ บริเวณที่สว่างจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง ส่วนบริเวณที่มืดจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ แต่เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้จะต้องนำไปประมวลผลด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro computer) เพื่อจุดประสงค์หนึ่งจุดประสงค์ใด ดังนั้นแต่ละเส้นสแกนจะถูกชักตัวอย่าง (Sampling) การชักตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามอัตราไนควิสต์ (Nyquist rate) สำหรับบล็อกไดอะแกรม (Block diagram) ของระบบเก็บข้อมูลภาพดิจิตอล (Digital image acquisition system) แสดงได้ดังรูปที่ 3.1

ในการชักตัวอย่างของแต่ละเส้นสแกนจะเป็นการบอกถึงรายละเอียด (Resolution) ของข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ทั้งนี้จะต้องขึ้นกับขีดความสามารถทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) ของตัวแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (A/D Converter) ว่าสามารถทำงานได้ที่ความถี่ของการชักตัวอย่าง (Sampling frequency) เท่าไร รวมทั้งช่วงเวลาเข้าถึง (Assess time) ของแรม (RAM) ที่ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวก่อนจะถ่ายโอน (Transfer) ข้อมูลดิจิตอลเข้าสู่หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลไว้อย่างถาวรหรือเพื่อการประมวลผลภาพ โดยปกติแล้วตัวแปลง A/D มักนิยมใช้ขนาด 8 บิต เพื่อให้สอดคล้องกับระบบทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.1** ระบบเก็บภาพดิจิตอล

จากการเก็บข้อมูลภาพดิจิตอลในแต่ละเส้นสแกน ถ้าหากภาพ ๆ หนึ่งมีจำนวนหลายเส้นสแกน ดังนั้นข้อมูลภาพดิจิตอลที่ได้สามารถเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันสองมิติของความเข้มของแสง f(x, y) โดยค่าของฟังก์ชันจะแสดงถึงค่าความเข้มของแสงที่พิกัดสเปเชียล (Spatial) เป็น (x, y) ถ้าหากใช้ A/D ขนาด 8 บิต จะพบว่าค่าความเข้มของแสงจะแบ่งออกได้ $2^8$ หรือ 256 ระดับของสีเทา เมื่อค่าระดับสีเทาเป็น 0 จะหมายถึงจุดภาพนั้นมีค่าความเข้มของแสงต่ำจะให้จุดภาพเป็นสีดำ ในทางตรงกันข้ามหากค่าระดับสีเทาเป็น 255 แสดงว่าจุดภาพนั้นมีค่าความเข้มของแสงสูงจะให้จุดภาพเป็นสีขาว ส่วนค่าอื่น ๆ ที่อยู่ระหว่างค่าทั้งสองคือ 0 ถึง 255 ก็จะมีระดับสีที่ไล่จากดำไปหาขาวนั้นเอง ภาพดิจิตอลเมื่อนำมาประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชัน f(x, y) สามารถเขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์ (Matrix) สองมิติ โดยแต่ละมิติจะแทนพิกัดสเปเชียลและค่าสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์จะเป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพนั้น อย่างเช่น ภาพขนาด MxN เขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

และสามารถเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ (Vector) ได้โดยการดึงข้อมูลภาพทีละแถวในแนวนอน (Row) หรือทีละแถวในแนวตั้ง (Column) การเขียนข้อมูลในรูปเวกเตอร์จะได้รูปแบบที่กะทัดรัดกว่าและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการประมวลสัญญาณดิจิตอลหนึ่งมิติที่มีอยู่

ในการนำข้อมูลภาพดิจิตอลไปใช้งานด้านต่าง ๆ จะต้องทำการประมวลผล ซึ่งสามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้สองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นการประมวลผลเชิงจุด (Point operation) จะเป็นวิธีการประมวลผลอย่างง่าย โดยจะทำการแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพต้นฉบับ (Original image) ให้เป็นค่าระดับสีเทาใหม่ในภาพผลลัพธ์ (Transformed image) หลังการแปลง เทคนิคที่จัดว่าเป็นการประมวลผลเชิงจุดคือ การปรับปรุงฮีสโทแกรม (Histogram modification) เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นการประมวลผลเชิงกลุ่มข้างเคียง (Neighborhood) เป็น

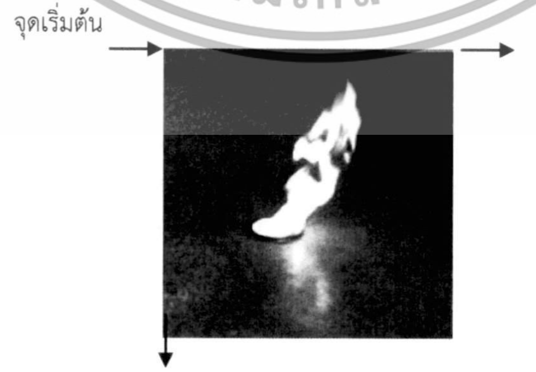
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนำค่าระดับสีเทาของจุดภาพข้างเคียงที่อยู่รอบ ๆ มาประมวลผลด้วย ซึ่งเทคนิคที่จัดว่าเป็นการประมวลผลเชิงกลุ่มข้างเคียงคือ การกรองสัญญาณภาพ (Filtering) เป็นต้น

## 3.2 การแสดงภาพดิจิตอล (Digital image representation)

ข้อมูลภาพดิจิตอลจะมีลักษณะเป็นแถวและลำดับ (Array) แต่ละจุดภาพจะอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ในทางกายภาพ แต่ละจุดภาพที่ถูกจัดวางอยู่ภาพจะมีตำแหน่งบอกพิกัดทางสเปเชียล (Spatial coordinate) ในรูปคาร์ดิเชียล (Cartesian) เป็น (x, y) เมื่อ x เป็นลำดับตำแหน่งในแนวนอน และ y เป็นลำดับตำแหน่งในแนวตั้ง ปกติแล้วตำแหน่งจุดภาพ (0, 0) จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นภาพ และการจัดลำดับของเส้นภาพจะเรียงจากบนลงล่าง ถ้าหากว่าเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชั่น f(x, y) จะทำให้ทราบว่าค่าของฟังก์ชั่นจะเป็นระดับความสว่างของจุดภาพดังกล่าว ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า ค่าระดับสีเทา (Brightness or gray level) ในแต่ละภาพจะมีจำนวนระดับสีเทาที่ระดับขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่นำมาเข้ารหัสว่ามีกี่บิต (Bit) ในบางครั้งถ้ากำหนดให้ฟังก์ชั่นหรือค่าระดับสีเทาอยู่ในแกน z ก็จะสามารถพล็อต (Plot) ข้อมูลภาพดิจิตอลให้เป็นภาพสามมิติได้ แต่การมองภาพเป็นการมองในแนวตั้งฉาก ดังนั้นค่าความสูงของระดับสีเทาในแกน z จึงถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในความดำของจุดภาพในสองมิติแทน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

หากจุดภาพที่อยู่ประชิดติดกันมีค่าความแตกต่างของระดับสีเทาก็จะเกิดเป็นขอบของวัตถุในภาพขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่าง ๆ นี้เองทำให้ผู้มองสามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพหรือสามารถจำแนก (Classify) วัตถุต่าง ๆ ในภาพได้ เนื่องจากตำแหน่งในโคออดิเนท (x, y) จะเป็นเลขจำนวนเต็มหน่วย (Integer) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งโคออดิเนทจึงมีจุดภาพที่เรียกว่า พิกเซล (Pixel หรือ Picture element) โดยขนาดของจุดภาพขึ้นอยู่กับค่า x และ y ที่จะแบ่งไป ตัวอย่างเช่น รูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นภาพขนาด 256 x 256 จุดภาพ และค่าความแตกต่างของความสว่างหรือระดับสีเทาเป็น 256 ระดับ




**รูปที่ 3.2** แสดงภาพดิจิตอลแบบขาวดำ
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



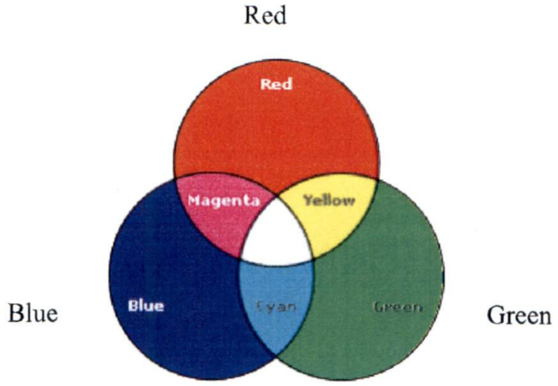
## 3.3 รูปแบบจำลองของสี (Color model)

การแสดงภาพสีมีลักษณะเป็นรูประบบพิกัดแบบสามมิติ แต่ละสีเกิดจากการผสมระหว่างแกนทั้งสาม โดยรูปแบบจำลองสีในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนไปตามฮาร์ดแวร์ เช่น จอภาพสี เครื่องพิมพ์ และการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ รูปแบบการจำลองสีที่นิยมใช่กันมากสำหรับจอมอนิเตอร์สี และกล้องวีดีโอ คือ RGB model (Red, Green, Blue) สำหรับรูปแบบจำลองสีแบบ CMY model (Cyan, Magenta, Yellow) นิยมใช้กับเครื่องพิมพ์สี โดยที่ Y คือ Luminance และ I กับ Q คือส่วนของ Chromatic ที่เป็น In phase และ Quadrature ตามลำดับ ส่วนรูปแบบจำลองความถี่สีที่ใช้ในการเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาระหว่างรูปแบบจำลองของสีแบบต่าง ๆ คือ ระบบรูปแบบจำลอง HIS (Hue, Saturation, Intensity) และรูปแบบจำลอง HSV (Hue, Saturation, Value) รูปแบบจำลองสีที่นิยมใช้กันมากสำหรับการประมวลผลภาพ (Image processing) นั้นคือ RGB model, CMY model และ HIS model สำหรับในบทนี้จะอธิบายเฉพาะรูปแบบจำลองของสีแบบอาร์จีบีเท่านั้น

### 3.3.1 รูปแบบจำลองสีแบบอาร์จีบี (RGB color model)

ลำของแสงเมื่อผ่านแท่งแก้วปริซึมแล้วแสงที่ออกมาไม่ได้เป็นสีขาว แต่จะประกอบไปด้วยสเปกตรัมที่ต่อเนื่องของสีที่มีย่านจากสีม่วง (Violet) ไปจนถึงแสงสีแดง (Red) โดยพื้นฐานแล้วสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุนั้น เกิดจากการธรรมชาติของแสงในการสะท้อนของวัตถุ ซึ่งแสงทั้งหมดทุกแสงจะถูกมองเป็นสีขาว วัตถุที่สะท้อนบางส่วนของสเปกตรัม (Spectrum) จะใช้บางเฉดของสีอย่างเช่นวัตถุที่มีแสงสีเขียวจะสะท้อนช่วงคลื่นที่มีความยาว 500 ถึง 700 นาโนเมตร โดยการดูดซับเอาความยาวคลื่นที่เหลือนอกนั้นไว้หมด ทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุชิ้นนั้นเป็นสีเขียวนั่นเอง ในย่านที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้นั้นความยาวคลื่นของแสงจะเป็นตัวกำหนดสีที่อยู่ในหน่วยนาโนเมตร (nm) ในระบบรูปแบบจำลองสีแบบอาร์จีบี (RGB color mode) นั้นจะมีสีหลัก ๆ อยู่ 3 สี คือ สีแดง (Red color) สีเขียว (Green color) สีน้ำเงิน (Blue color) จะถูกเรียกว่าสีปฐมภูมิ (Primary color) เมื่อมีการผสมของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน ก็จะได้สีต่าง ๆ ออกมามากมาย ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งสังเกตเห็นว่า สีน้ำเงินผสมสีแดงจะได้สีม่วง สีน้ำเงินผสมสีเขียวจะได้สีฟ้าแกมเขียว สีแดงผสมสีเขียวจะได้สีเหลือง วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอในการแสดงผลภาพ และมีความนิยมใช้กันมาก เช่น การแสดงผลในมอนิเตอร์ (Monitor) สีสำหรับใช้ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
139888

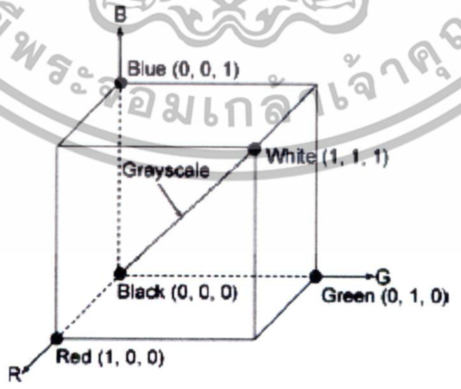



**รูปที่ 3.3** แสดงรูปแบบจำลองสีอาร์จีบี

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

**3.3.2 การแสดงภาพสีบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Display of color image on microcomputer)**

ข้อมูลภาพสีเป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ดังนั้นข้อมูลสีหนึ่งจุดจะมีขนาด 24 บิต หรือเรียกว่าเป็นข้อมูล 24 บิต ต่อหนึ่งจุดภาพ (Bit per Pixel) นั่นคือจุดแต่ละภาพจะมีความเป็นไปได้ที่จะมีข้อมูลภาพที่แตกต่างกันถึง $2^{24}$ ระดับ คือเท่ากับ 16.7 ล้านระดับที่แตกต่างกัน ถ้ามีการแสดงผลภาพสีนำข้อมูลภาพของทั้งสามสีมาพล็อตเป็นฮีสโทแกรม (Histogram) สามมิติ ซึ่งแต่ละแกนคือค่าระดับสีเทาของข้อมูลภาพที่มีค่าได้ตั้งแต่ 0-255 ทำให้เกิดบล็อกสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ภายในฮีสโทแกรมดังกล่าวจำนวน 256 x 256 x 256 บล็อก โดยแต่ละบล็อกคือข้อมูลของเฉดสีที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดภาพนั่นเอง ฮีสโทแกรมของภาพดังแสดงในรูปที่ 3.4




**รูปที่ 3.4** แสดงไดอะแกรมของฮีสโทแกรมสามมิติของการแสดงภาพสีโดยการใช้รูปแบบจำลองสีแบบอาร์จีบีที่มีขนาด 24 บิต ต่อจุดภาพ (1 แทนค่า 255)

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 การประมวลผลภาพ (Image processing)

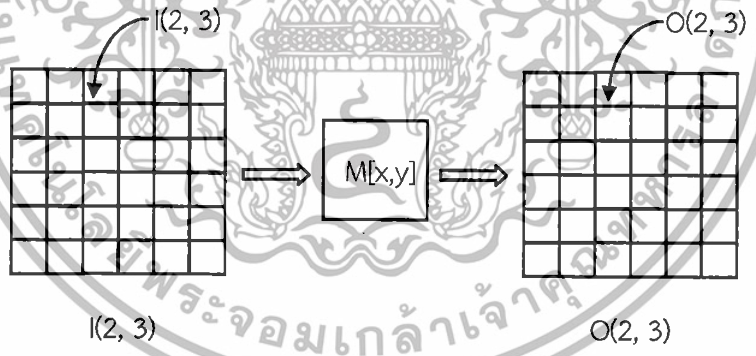
ในการประมวลผลข้อมูลภาพดิจิตอลจะทำได้ในสองลักษณะ โดยลักษณะแรกเป็นการประมวลผลแบบจุดภาพ (Pixel point processing) ส่วนลักษณะที่สองเป็นการประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพ (Pixel group processing)

### 3.4.1 การประมวลผลแบบจุดภาพ (Pixel point processing)

**เป็นวิธีการประมวลผลที่ง่ายที่สุด จะทำการเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของจุดภาพแบบจุดต่อ** จุดเป็นหลักการมูลฐาน ค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพที่เปลี่ยนไปโดยมากได้มาจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือทางตรรก สมการที่ใช้ในการประมวลผลแบบจุดภาพเขียนได้เป็น

$$O(x, y) = M[I(x, y)] \quad (3.2)$$

เมื่อ I(x, y) เป็นภาพอินพุต O(x, y) เป็นภาพเอาต์พุต และ M เป็นฟังก์ชันในการแทน (Mapping) ข้อมูล โดยจุดภาพที่พิกัดหนึ่งจะถูกปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาด้วยฟังก์ชันที่กำหนดไว้ ค่าระดับสีเทาใหม่ของจุดภาพดังกล่าวจะถูกนำมาแทนค่าลงในตำแหน่งพิกัดเดิมของภาพผลลัพธ์เอาท์พุท หลักการของการประมวลผลแบบจุดภาพดังแสดงในรูปที่ 3.5




**รูปที่ 3.5** หลักการประมวลผลแบบจุดภาพ

### 3.4.2 การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพ (Pixel group processing)

จากการประมวลผลแบบจุดภาพนั้นมักจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีการที่ว่านี้จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรายละเอียดทางสเปเชียลในภาพ เนื่องจากเป็นขบวนการแทนค่าแบบจุดภาพต่อจุดภาพของจุดภาพอินพุทกับจุดภาพเอาท์พุท ซึ่งขบวนการดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงจุดภาพข้างเคียง (Neighbor) กับจุดภาพอินพุท ในขณะที่การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพจะนำเอาค่าระดับสีเทาของจุดภาพละแวกข้างเคียงมาร่วมพิจารณาและคำนวณหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใหม่ เพื่อนำมาแทนค่าลงไปในจุดภาพกึ่งกลางของกลุ่มที่กำลังสนใจอยู่ ลักษณะนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดทางสเปเชียลในภาพ

ถ้าหากบริเวณใดของภาพดิจิตอลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพหรือความสว่างทันทีทันใด เช่น จากมืดเป็นสว่างหรือจากสว่างเป็นมืด บริเวณดังกล่าวจะให้ความถี่สูง ส่วนบริเวณใดที่ค่าระดับสีเทามีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือให้ค่าความสว่างเกือบเท่ากันตลอดบริเวณนั้นจะทำให้ความถี่ต่ำ โดยปกติแล้วบริเวณที่เป็นขอบวัตถุ (Edges) ในภาพจะเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง ดังนั้นถ้าหากการนำค่าความสว่างของจุดภาพที่สนใจกับจุดภาพในละแวกข้างเคียงมาทำการประมวลผล ซึ่งจะส่งผลให้ค่าจุดภาพที่สนใจเปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของจุดภาพในละแวกนั้น ในการประมวลผลโดยการใช้กลุ่มจุดภาพบางครั้งอาจทำให้ขอบวัตถุคมชัดขึ้น หรือในทางตรงกันข้าม ความคมชัดอาจถูกทำลายไป ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดการกรองทางสเปเชียล (Spatial filtering)

การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพ จะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก (Weighted) ให้กับจุดภาพต่าง ๆ ในละแวกข้างเคียง กลุ่มของจุดภาพที่จะถ่วงน้ำหนักนี้เรียกว่า เทมเพลต (Template) หรือเคอร์เนลส์ (Kernels) จะมีขนาด 3x3 หรือ 5x5 โดยปกติแล้วมักจะใช้เทมเพลตขนาด 3x3 ทั้งนี้เพราะถ้าใช้เทมเพลตขนาดใหญ่จะใช้เวลาการประมวลผลนาน ในการประมวลผลนั้นจะนำเทมเพลตที่เลือกไว้มาทาบบนภาพดิจิตอล โดยให้จุดกึ่งกลางของเทมเพลตทับกับจุดภาพที่สนใจ ซึ่งจุดภาพดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาไปตามการถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ของจุดภาพในเทมเพลต จากการเลื่อนเทมเพลตไปทีละจุดภาพจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง ลักษณะการทำงานดังกล่าวจะเรียกว่าการทำคอนโวลูชันในทางสเปเชียล (Spatial convolution)

ถ้าหากเทมเพลตขนาด 3x3 ที่เลือกใช้มีค่าถ่วงน้ำหนักทั้ง 9 จุด หรือสัมประสิทธิ์ทั้ง 9 ของการทำคอนโวลูชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในการประมวลผลเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ ซึ่งอยู่กึ่งกลางของเทมเพลตของการประมวลผลแต่ละครั้ง การทำคอนโวลูชันภาพอินพุท I(x, y) กับเทมเพลตของรูปที่ 3.6 จะได้ภาพเอาท์พุทที่จุด (x, y) เป็น O(x, y) โดย

$$\begin{aligned} O(x, y) = {} & W(1,1)I(x-1,y-1)+W(1,2)I(x-1,y)+W(1,3)I(x-1) \\ & W(2,1)I(x,y-1)+ W(2,2)I(x,y)+W(2,3)I(x,y+1) \\ & W(3,1)I(x+1,y-1)+ W(3,2)I(x+1,y)+W(3,3)I(x+1,y+1) \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$O(x, y) = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} W(i, j)I(x + 2 - i, y + 2 - j) \tag{3.4}$$

หรือเขียนเป็นสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| W(1,1) | W(1,2) | W(1,3) |
| W(3,1) | W(2,2) | W(2,3) |
| W(2,1) | W(3,2) | W(3,3) |

**รูปที่ 3.6** เทมเพลตขนาด 3x3

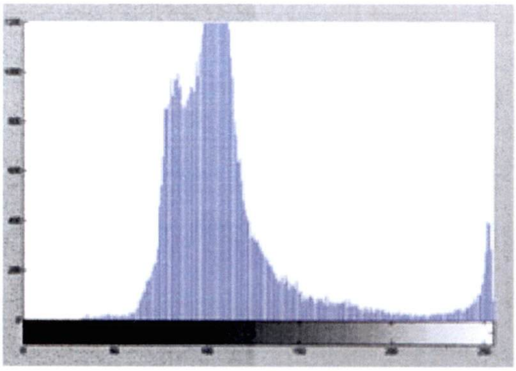
ในการประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพที่ใช้เทมเพลต 3x3 นั้น ปกติแล้วเส้นภาพเส้นแรกบนสุดและเส้นภาพล่างสุดกับเส้นภาพแนวตั้งแถวแรกกับแถวสุดท้ายจะไม่มีการประมวลผล ทั้งนี้เพราะเทมเพลตจะล้นขอบภาพทำให้ประมวลผลไม่ได้ ดังนั้นเพื่อให้ภาพเอาท์พุทขนาดเท่าเดิมจะมีการเติมค่าของจุดภาพให้ขอบทั้งสี่ด้านของภาพเอาท์พุท ในการเติมค่าให้จุดภาพดังกล่าว จะต้องมีหลักการในการเติมเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของการใช้เทมเพลตนั้น ๆ เช่น ถ้าเทมเพลตที่ใช้เป็นการหาค่าแกรเดียนท์ (Gradient) บริเวณขอบทั้งสี่ด้านของภาพที่ไม่มีการประมวลผลจะถูกแทนด้วยค่าศูนย์ เพราะถือว่าบริเวณขอบภาพมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับ สีเทาต่ำ แต่ถ้าเป็นการกรองทางสเปเชียลก็ให้ใส่จุดภาพบริเวณขอบทั้งสี่ด้านของภาพ ผลลัพธ์ด้วยค่าจุดภาพเดิมของภาพอินพุท อย่างไรก็ตามค่าของจุดภาพที่จะเติมให้ขอบภาพเอาท์พุทก็ไม่มีการกำหนดตายตัวว่าเป็นอย่างไรแน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความพอใจของผู้ประมวลผลภาพ

## 3.5 ฮีสโทแกรมของภาพ (Image histogram)

ภาพดิจิตอลแต่ละภาพจะถูกเข้ารหัสตามค่าความสว่างของจุดภาพ โดยปกติแล้วแต่ละจุดภาพจะถูกเข้ารหัสไว้ 8 บิต ทำให้มีระดับความสว่างจากดำไปขาวจำนวน 256 ระดับ ความสว่างของจุดภาพค่าต่าง ๆ จะกระจายไปทั่วภาพดิจิตอล ในการตรวจนับจำนวนจุดภาพที่มีระดับความสว่างเท่ากันว่ามีกี่จุดภาพในแต่ละภาพ จะเป็นความถี่ (Frequency) ของระดับความสว่างนั้น ความถี่ของระดับความสว่างทั้ง 256 ระดับ จะถูกนำมาเขียนเป็นกราฟแท่ง ซึ่งเรียกกันว่า ฮีสโทแกรม (Histogram) ตัวอย่างภาพถ่ายเปลวเพลิง รูปที่ 3.7 (ก) จะให้อีสโตแกรมที่สอดคล้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ภาพถ่ายเปลวเพลิง



(ข) ฮีสโทแกรมของภาพ (ก)

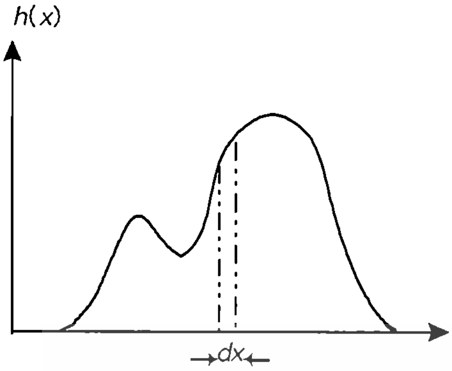
**รูปที่ 3.7** ภาพถ่ายเปลวเพลิงกับฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

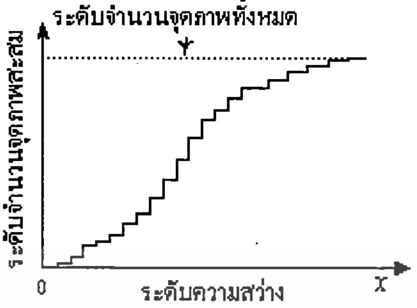
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

ฮีสโทแกรมของภาพจะให้ข้อมูลความสว่างของจุดภาพเท่านั้น โดยจะไม่มีข้อมูลสเปเชียล (Spatial information) หรือตำแหน่งของจุดภาพ ดังนั้นภาพสองภาพที่มีรายละเอียดแตกต่างกันอาจจะให้ฮีสโทแกรมที่เหมือนกันก็ได้ ประเด็นสำคัญของฮีสโทแกรมคือ สามารถมองเป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบดีสครีต (Discrete probability distribution) ถ้าหากนำจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพไปหารจำนวนจุดภาพของแต่ละระดับความสว่าง ดังนั้นความสูงของแต่ละแท่งของกราฟจะเป็นตัวบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดค่าความสว่างระดับดังกล่าวของจุดภาพในบริเวณใด ๆ ก็ได้ในภาพ ถ้าหาก h(k) เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นของระดับความสว่างจะมี dx เป็นค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้น โดยปกติแล้ว dx = 1 หรือบางครั้งอาจจะเขียนได้ว่า dx = (L-1)/L ถ้าหาก L เป็นจำนวนระดับความสว่างทั้งหมด

ในทางสถิติแล้ว h(x) จะเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function) หรือฮีสโทแกรม ซึ่งจะให้ $\int_0^x h(x)dx$ เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability function) หรือฮีสโทแกรมรวบรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



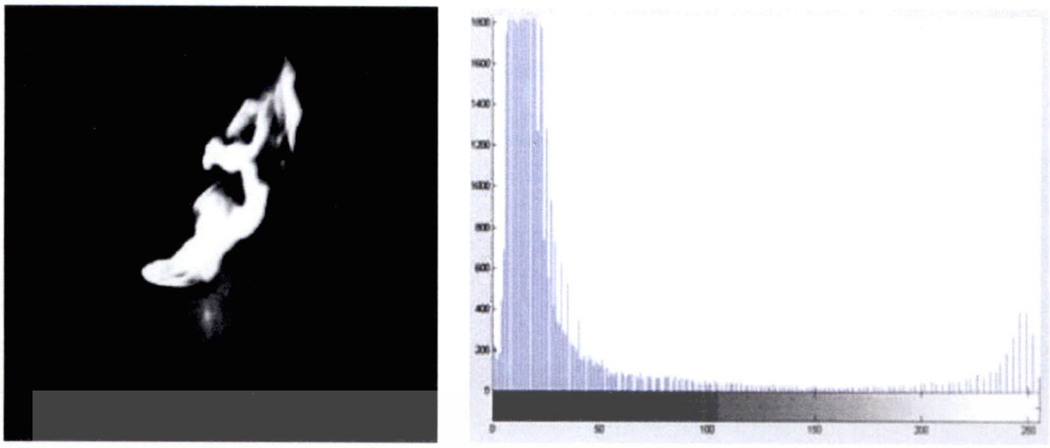

**รูปที่ 3.8** ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมที่สอดคล้อง ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

ฮีสโทแกรมของภาพจะมีส่วนช่วยบอกคุณลักษณะของภาพนั้น ๆ อย่างเช่น ถ้าหากฮีสโทแกรมของภาพรวมตัวกระจุกกันทางด้านซ้าย กล่าวคือ จุดภาพส่วนใหญ่มีค่าระดับความสว่างต่ำ ภาพที่ได้จะมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากฮีสโทแกรมของภาพรวมตัวกระจุกกันทางด้านขวา ซึ่งจุดภาพส่วนใหญ่มีค่าระดับความสว่างสูง ภาพที่ได้จะสว่างจ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยปกติแล้วภาพที่ดีควรจะมีการกระจายของระดับสีเทาทุก ๆ ระดับตลอดย่านของระดับความสว่างที่เข้ารหัสไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งภาพดังกล่าวจะได้คอนแทรสต์ในภาพสูง

$$\text{ค่าคอนแทรสต์ในภาพ} = \frac{\text{ค่าระดับความสว่างสูงสุดในภาพ} - \text{ค่าระดับความสว่างต่ำสุดในภาพ}}{\text{จำนวนระดับความสว่างทั้งหมดจากการเข้ารหัส}} \qquad (3.5)$$

เนื่องจากการเปลี่ยนฮีสโทแกรมของภาพมีผลทำให้จุดภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความสว่าง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากจุดภาพหนึ่งจุดภาพใดโดยไม่เกี่ยวข้องกับค่าระดับความสว่างของจุดภาพข้างเคียว ดังนั้นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงฮีสโทแกรมจะเป็นการประมวลผลภาพแบบจุด สำหรับผลลัพธ์หลังการเปลี่ยนแปลงฮีสโทแกรมอาจจะช่วยทำให้มองเห็นรายละเอียดในภาพชัดเจนขึ้น หรืออาจจะแย่ลงก็ได้ ดังนั้นในการประมวลผลภาพวิธีการเบื้องต้นทั่ว ๆ ไปที่รู้จักกันคือ การเปลี่ยนแปลงฮีสโทแกรมของภาพนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพดิจิตอล (ข) ฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

**รูปที่ 3.9** ภาพที่มีลักษณะมืด เมื่อข้อมูลของระดับสีเทาของจุดภาพส่วนใหญ่ปรากฏอยู่ทางด้านระดับ ความสว่างค่าต่ำ ๆ

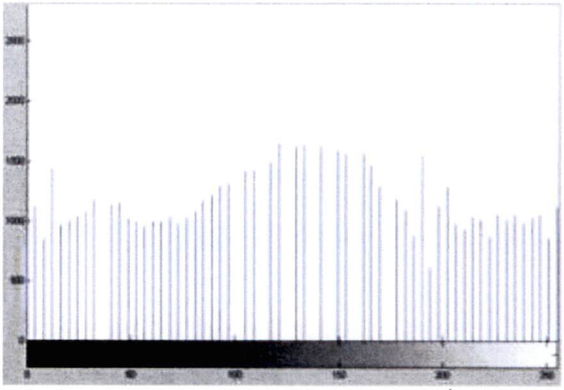
(ก) ภาพดิจิตอล (ข) ฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

**รูปที่ 3.10** ภาพที่มีลักษณะสว่าง เมื่อข้อมูลของระดับสีเทาของจุดภาพส่วนใหญ่ปรากฏอยู่ทางด้านระดับ ความสว่างค่าสูงๆ

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ภาพดิจิตอล



(ข) ฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

**รูปที่ 3.11** ภาพที่ดี เมื่อจุดภาพมีค่าระดับความสว่างเกือบทุกระดับ

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

**3.5.1 การยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น (Linear contrast stretch)**

จากการที่ค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่าง ๆ มีการรวมตัวเป็นกระจุกอยู่ในช่วงแคบ ๆ ช่วงใดช่วงหนึ่งของฮีสโทแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.9 หรือรูปที่ 3.10 ภาพเหล่านี้จะให้ความแตกต่างหรือคอนแทรสต์ในภาพต่ำ ยากที่จะทำการจำแนกรายละเอียดในภาพ บางครั้งอาจจะกล่าวได้ว่าภาพดังกล่าวมีพิสัยพลวัต (Dynamic range) แคบ ในการเพิ่มพิสัยพลวัตให้กว้างขึ้น (หรือแคบลงในทางกลับกัน) สามารถทำได้โดยใช้สมการเชิงเส้นที่เรียกกันในชื่อว่า การยืดคอนแทรสต์แบบ เชิงเส้น

ในการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น จะต้องทำการกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าระดับสีเทาจากฮีสโทแกรมของภาพต้นฉบับ (Original image) ว่าจะยืดไปอยู่ที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าระดับสีเทาในฮีสโทแกรมของภาพใหม่ที่ใด เช่น ถ้ากำหนดให้ $X_{min}$ และ $X_{max}$ เป็นช่วงของฮีสโตแกรม ภาพต้นฉบับจะถูกยืดไปเป็น $Y_{min}$ และ $Y_{max}$ ในฮีสโตแกรมภาพใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ถ้าหากค่า X เป็นค่าระดับสีเทาใด ๆ ที่จะทำการยืด $[X_{min} \le X \le X_{max}]$ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการคำนวณ ปกติมักจะกำหนดให้ค่าระดับสีเทา X ใด ๆ ที่มีค่าต่ำกว่าค่า $X_{min}$ จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น $X_{min}$ และค่าระดับสีเทา X ใด ๆ ที่มีค่าสูงกว่าค่า $X_{max}$ จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น $X_{max}$ ค่าระดับสีเทาใหม่ Y หลังการแปลงคำนวณได้ตามสมการที่ (3.6)

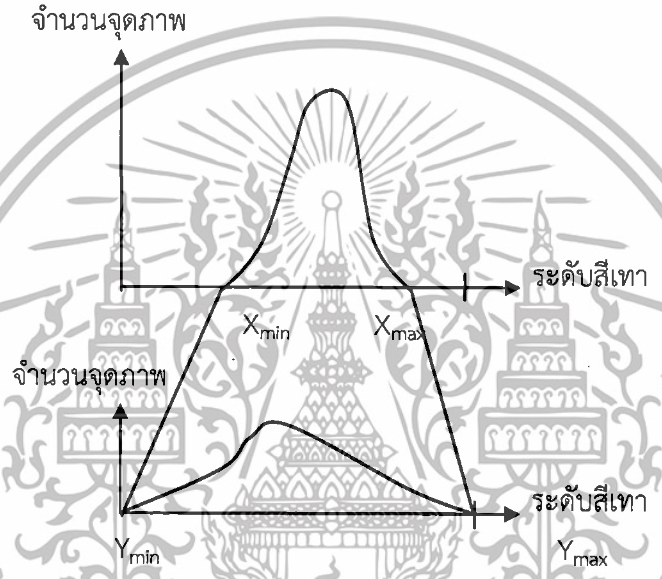
$$Y = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}(Y_{max} - Y_{min}) + Y_{min} \quad (3.6)$$

โดยค่า Y อยู่ระหว่าง $Y_{min}$ ถึง $Y_{max}$ ค่าระดับสีเทา Y หลังการแปลงส่วนใหญ่มักจะเป็นจำนวนอิงดรรชนี (Floating point number) ถึงแม้ว่าค่าระดับสีเทาเดิม X จะเป็นจำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

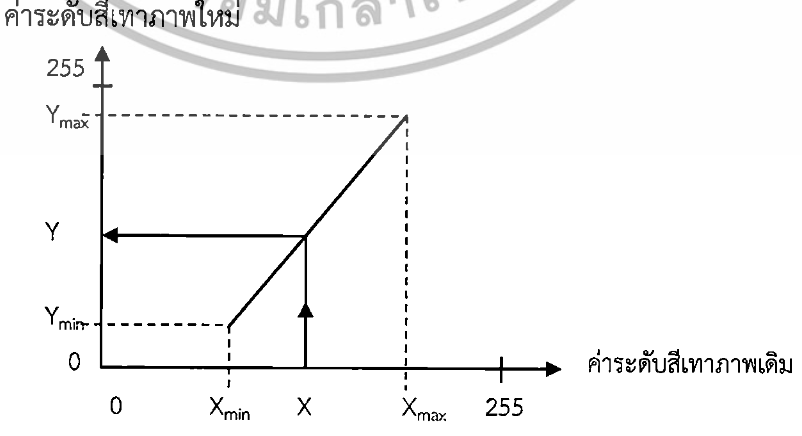
(Integer) ก็ตาม แต่โดยปกติแล้วค่าระดับสีเทาที่ใช้งานกันอยู่ในภาพดิจิตอลมักจะเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นค่าระดับสีเทา Y ที่คำนวณได้นั้นต้องทำการปัดเศษ (Round off) จึงมีผลทำให้ค่าระดับสีเทาบางค่าจะขาดหายไป ฮีสทแกรมใหม่หลังการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้นอาจจะขาดความต่อเนื่อง

เนื่องจากการแปลงค่าระดับสีเทาจากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้นนี้เป็นการประมวลผลภาพแบบจุดภาพ เพื่อให้การแปลงทำได้อย่างรวดเร็วมักนิยมนำตารางเปิดดูมาใช้งาน ซึ่งถ้าหากค่าระดับสีเทาเดิมและค่าระดับสีเทาใหม่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 สูตรที่ใช้ในการคำนวณจากสมการที่ (3.6) จะถูกนำมาใช้คำนวณไม่เกิน 256 ครั้ง จึงทำให้เวลาในการคำนวณที่ต้องใช้ในการแปลงภาพขนาดใหญ่ลดลงได้อย่างมาก




**รูปที่ 3.12** การแปลงฮีสโตแกรมโดยการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น

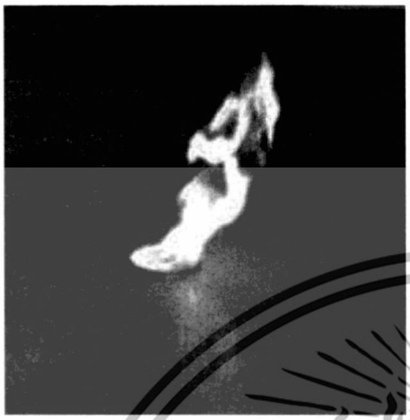
สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงฮีสโทแกรมจากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



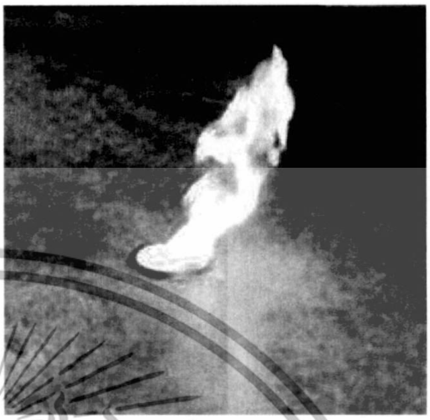

**รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงฮีสโทแกรมของการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 เป็นตัวอย่างจากการแปลงค่าระดับสีเทาของภาพโดยการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น ซึ่งภาพเดิมในรูปที่ 3.14 (ก) จะมีพิสัยพลวัตของระดับสีเทาแคบ ๆ ทำให้รายละเอียดในภาพยากต่อการจำแนก หลังการยืดคอนแทรสต์จะพบว่าความแตกต่างภายในภาพเด่นชัดขึ้น ดังรูปที่ 3.14 (ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ

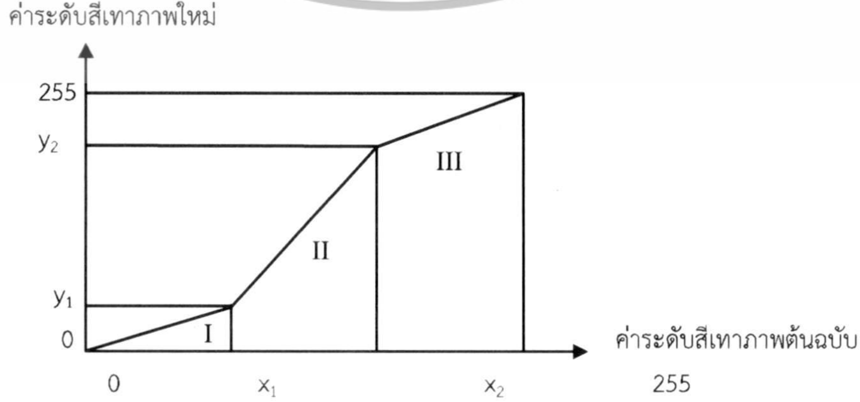


(ข) ภาพใหม่

**รูปที่ 3.14** ภาพที่ได้จากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

### 3.5.2 การยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น (Piecewise linear contrast stretch)

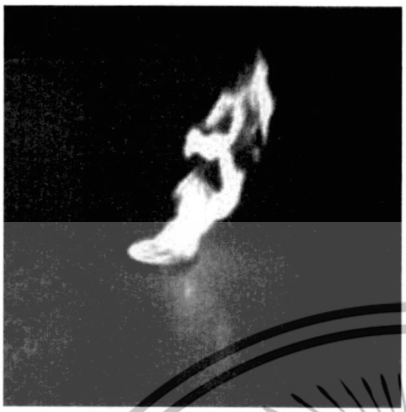
บางครั้งในการปรับปรุงความแตกต่างภายในภาพโดยการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้นอาจจะแบ่งช่วงการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้นได้หลายช่วง ทั้งนี้เพราะค่าระดับสีเทาบางช่วงในภาพต้นฉบับอาจมีความจำเป็นต้องการให้เกิดความแตกต่างสูง อย่างเช่นในช่วง II ของฮีสโทแกรม รูปที่ 3.15 ในขณะที่ค่าระดับสีเทาในช่วง III ต้องการให้เกิดความแตกต่างน้อยกว่า โดยในแต่ละช่วงสามารถใช้สมการที่ (3.6) ช่วยในการคำนวณระดับค่าสีเทาใหม่ที่ได้จากการแปลง




**รูปที่ 3.15** ค่าฟังก์ชันตัวอย่างของการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของภาพที่ได้จากการประมวลผลโดยการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้นช่วงแคบ ๆ หลาย ๆ ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 3.16



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพผลลัพธ์

**รูปที่ 3.16** ภาพจากการยืดคอนแทรสต์แบบเชิงเส้น
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

### 3.5.3 การปรับค่าฮีตโทแกรม (Histogram equalization)

ในการแปลงฮีสโทแกรมถ้าหากว่าค่าระดับสีเทาเดิมก่อนการแปลงคือ x ซึ่งจะถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalize) อยู่ในช่วง [0, 1] โดยฟังก์ชันในการแปลงคือ T(x) หลังการแปลงจะได้ค่าระดับสีเทาใหม่เป็น y ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ (3.7)

$$y = T(x) \tag{3.7}$$

เงื่อนไขของฟังก์ชันในการแปลงมีอยู่ 2 ประการ คือ

ก) T(x) เป็นผลการแปลงที่ได้ค่าเดียว (Single-valued) และมีการเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียว (Monotonically increasing) ภายในช่วง $0 \le x \le 1$

ข) $0 \le T(x) \le 1$ สำหรับ $0 \le x \le 1$

ส่วนการแปลงย้อนกลับ (Inverse transform) จากตัวแปร y เป็นตัวแปร x จะได้

$$x = T^{-1}(y) \quad \text{เมื่อ} \quad 0 \le y \le 1 \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตัวแปลงผกผันก็จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้ง 2 ประการดังกล่าวเช่นกัน ถ้าให้ $P_x(x)$ และ $P_y(y)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function) ของค่าระดับสีเทาต้นฉบับกับค่าระดับสีเทาหลังการแปลง ให้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.9)

$$p_y(y) = \left[ p_x(x)\frac{dx}{dy} \right]_{x = T^{-1}(y)} \quad (3.9)$$

ส่วนฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับค่าฮีสโตแกรม คือ

$$y = T(x) = \int_0^x p_x(w)dw \; ; 0 \le x \le 1 \quad (3.10)$$

เมื่อตัวแปร w เป็นตัวแปรหุ่น (Dummy variable) เทอมทางด้านขวามือของสมการที่ (3.10) ซึ่งเป็นเทอมการอินทิเกรต (Integrate) นั้น เป็นฟังก์ชันกระจายแบบสะสม (Cumulative distribution function) ของตัวแปร x จากการทำอนุพันธ์สมการที่ (3.11) เทียบกับตัวแปร x จะได้

$$\frac{dy}{dx} = p_x(x) \quad (3.11)$$

ทำการแทนสมการที่ (3.11) ในสมการที่ (3.9) พบว่า

$$P_y(y) = \left[ P_x(x).\frac{1}{P_x(x)} \right]_{x = T^{-1}(y)}$$

$$P_y(y) = 1 \text{ เมื่อ } 0 \le y \le 1 \quad (3.12)$$

ซึ่งพบว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าระดับสีเทา y ที่ได้หลังการแปลง จะมีลักษณะเป็นความหนาแน่นสม่ำเสมอ (Uniform) ภายในช่วงค่าของตัวแปร y

**ในการประมวลผลภาพดิจิตอลนั้น ฟังก์ชันต่าง ๆ จะต้องทำให้อยู่ในรูปดีสครีต อย่างเช่น ความน่าจะเป็นของค่าระดับสีเทาที่ระดับ k จากภาพต้นฉบับเขียนได้เป็น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_x(x_k) = \frac{N_k}{N} \tag{3.13}$$

เมื่อ $0 \leq x_k \leq 1$ และ k = 0, 1, ..., L-1 โดย L เป็นจำนวนระดับสีเทาทั้งหมด $N_k$ เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพที่มีระดับสีเทาเป็น k ในขณะที่ N เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพนั้น เมื่อนำค่า $p_x(x_k)$ ไปทำการพล็อตร่วมกับ $x_k$ จะได้กราฟ (Graph) ซึ่งเรียกว่า ฮีสโทแกรม นั่นเอง ในการปรับเท่าฮีสโทแกรมของสมการที่ (3.10) เขียนอยู่ในลักษณะดีสครีตได้เป็น

$$\begin{aligned} y_k = T(x_k) &= \sum_{i=0}^{k} \frac{Ni}{N} \\ &= \sum_{i=0}^{k} p_x(x_i) \end{aligned} \tag{3.14}$$

เมื่อ $0 \leq x_k \leq 1$ และ k = 0, 1, ..., L-1

ในการคำนวณหาค่า $y_k$ จากสมการที่ (3.14) จะได้

$$\begin{aligned} y_0 &= \sum_{i=0}^{0} p_x(x_i) = p_x(x_0) \\ &= 0.0225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \sum_{i=0}^{1} p_x(x_i) = p_x(x_0) + p_x(x_1) \\ &= 0.0225+0.2124 = 0.234953 \end{aligned}$$

สำหรับค่าอื่นดูได้จากคอลัมน์ (Column) ที่สี่ของตารางที่ 3.1 เนื่องจากจำนวนของระดับสีเทาก่อนทำการแปลงและหลังทำการแปลงจะมีจำนวนเท่ากัน และค่าความห่างของระดับ สีเทาเท่า ๆ กัน ในกรณีนี้คือห่างกัน 1/7 ดังนั้นค่าระดับสีเทา $y_k$ ที่ได้จะต้องถูกปรับค่าเข้าหาค่าระดับสีเทามาตรฐานที่ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งในกรณีนี้ค่าระดับสีเทามาตรฐานคือ 0, 1/7, 2/7, ..., 6/7 และ 1 ดังนั้นจากการแปลงฮีสโทแกรมด้วยวิธีการปรับเท่าจะได้ค่าระดับสีเทาใหม่ที่ใกล้เคียงกับระดับมาตรฐาน ดังแสดงในเทอมขวามือของคอลัมน์ที่สี่ของตารางที่ 3.1

ตัวอย่าง ภาพขนาด 64x64 จุดภาพมีการกระจายของค่าระดับสีเทา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

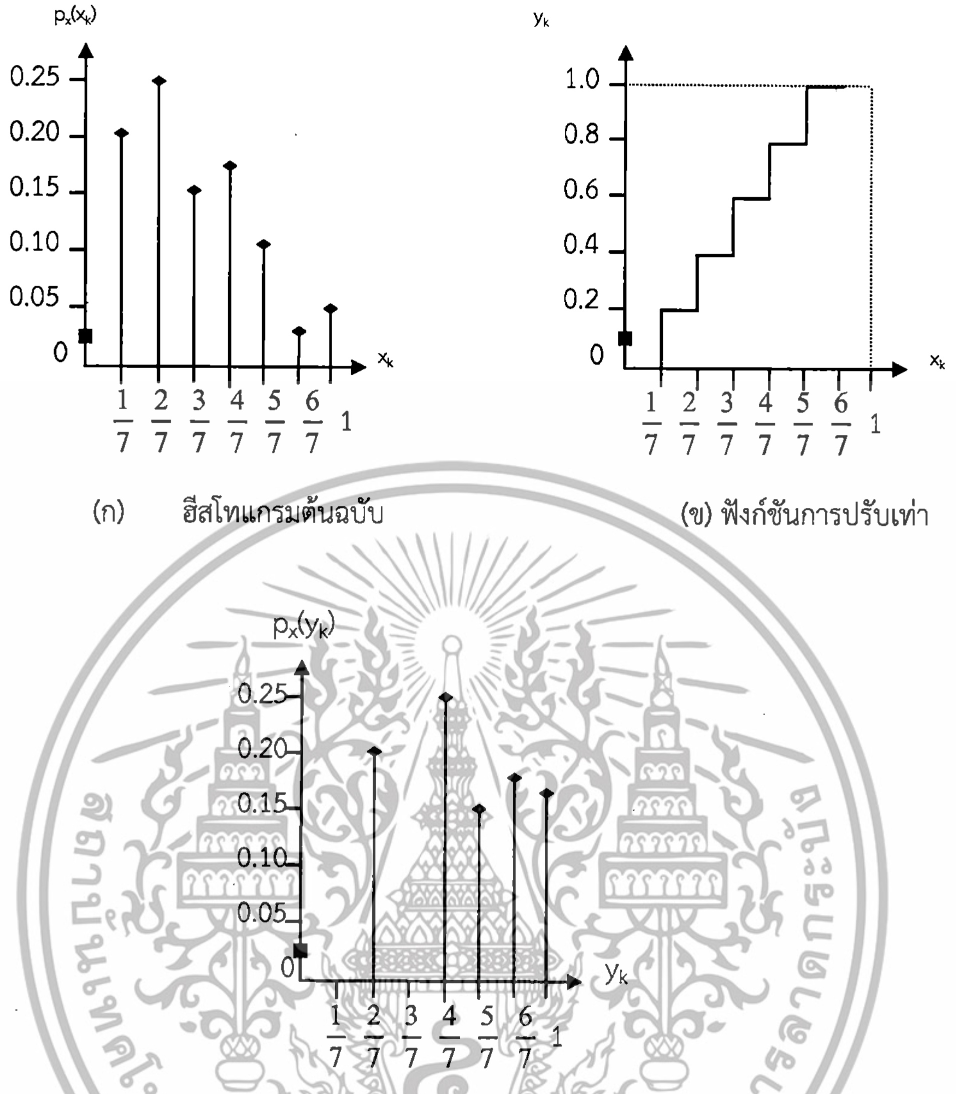
**ตารางที่ 3.1** ลักษณะการกระจายของค่าระดับสีเทาของภาพที่มีจำนวนระดับสีเทา 8 ระดับ

| $x_k$ | $N_k$ | $p_x(x_k) = \frac{N_k}{N}$ | $y_k = \sum_{i=0}^{k} p_x(x_i)$ |
|---|---|---|---|
| $x_0 = 0$ | 92 | 0.0225 | 0.0225 ≈ 0 |
| $x_1 = \frac{1}{7} = 0.1429$ | 870 | 0.2124 | 0.2349 ≈ 2/7 |
| $x_1 = \frac{2}{7} = 0.1429$ | 1103 | 0.2693 | 0.5042 ≈ 4/7 |
| $x_1 = \frac{3}{7} = 0.1429$ | 603 | 0.1472 | 0.6514 ≈ 5/7 |
| $x_1 = \frac{4}{7} = 0.1429$ | 760 | 0.1855 | 0.8369 ≈ 6/7 |
| $x_1 = \frac{5}{7} = 0.1429$ | 408 | 0.0996 | 0.9365 ≈ 1 |
| $x_1 = \frac{6}{7} = 0.1429$ | 116 | 0.0283 | 0.9648 ≈ 1 |
| $x_7 = 1$ | 114 | 0.0352 | 1.0000 ≈ 1 |

" ≈ " หมายถึง การประมาณ

จากการปรับเท่าฮีสโทแกรม พบว่า จุดภาพที่มีค่าระดับสีเทา 0 จะยังคงอยู่ที่ 0 ใน ฮีสโทแกรมใหม่ จุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเท่าเดิมเป็น 1/7 จะถูกแมป (Map) ไปอยู่ที่ค่าระดับสีเทา 2/7 ของฮีสโตแกรมใหม่ จุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเดิมเป็น 2/7, 3/7 และ 4/7 จะถูกแมปไปอยู่ที่ค่าระดับสีเทา 4/7, 5/7 และ 6/7 ในฮีสโทแกรมใหม่ ส่วนค่าระดับสีเทาเดิมที่เป็น 5/7, 6/7 และ 1 จะถูกแมปรวมไปอยู่ที่ค่าระดับสีเทา 1 ในฮีสโทแกรมใหม่ ดังนั้นจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทา 1 ในฮีสโทแกรมใหม่จะมีจำนวน 408 + 116 + 144 = 668 จุดภาพ หรือจะมีค่าความน่าจะเป็นรวมกันเท่ากับ 0.1631 สำหรับฮีสโทแกรมต้นฉบับและฮีสโทแกรมใหม่ที่ได้หลังการปรับเท่าฮีสโทแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ก) ฮีสโทแกรมต้นฉบับ

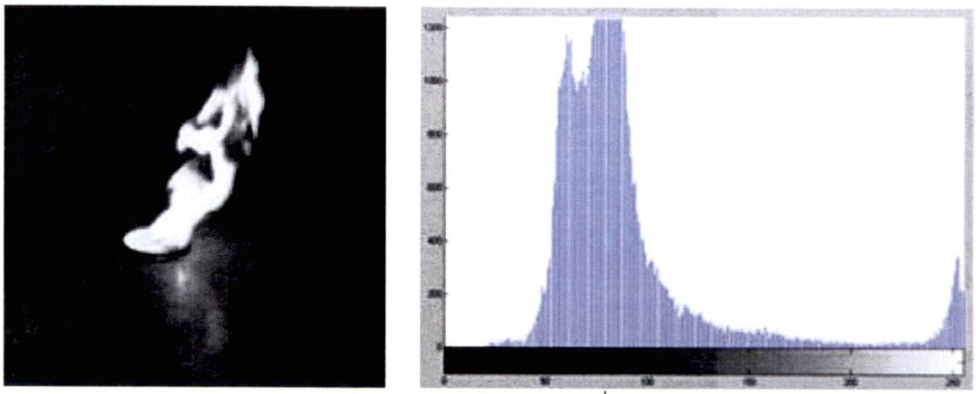
(ข) ฟังก์ชันการปรับเท่า

(ค) ฮีสโทแกรมหลังการปรับเท่า

**รูปที่ 3.17** การปรับเท่าฮีสโทแกรมของตารางที่ 3.1

เมื่อทำการประยุกต์การปรับเท่าฮีสโทแกรมให้กับภาพในรูปที่ 3.18 (ก) ก็จะได้ภาพดังรูปที่ 3.18 (ข) ซึ่งจะพบว่ารายละเอียดของภาพจะเด่นชัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับและฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

(ข) ภาพหลังการปรับเท่าฮีสโทแกรมและฮีสโทแกรมที่สอดคล้อง

**รูปที่ 3.18** การปรับเท่าฮีสโทแกรมภาพ
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

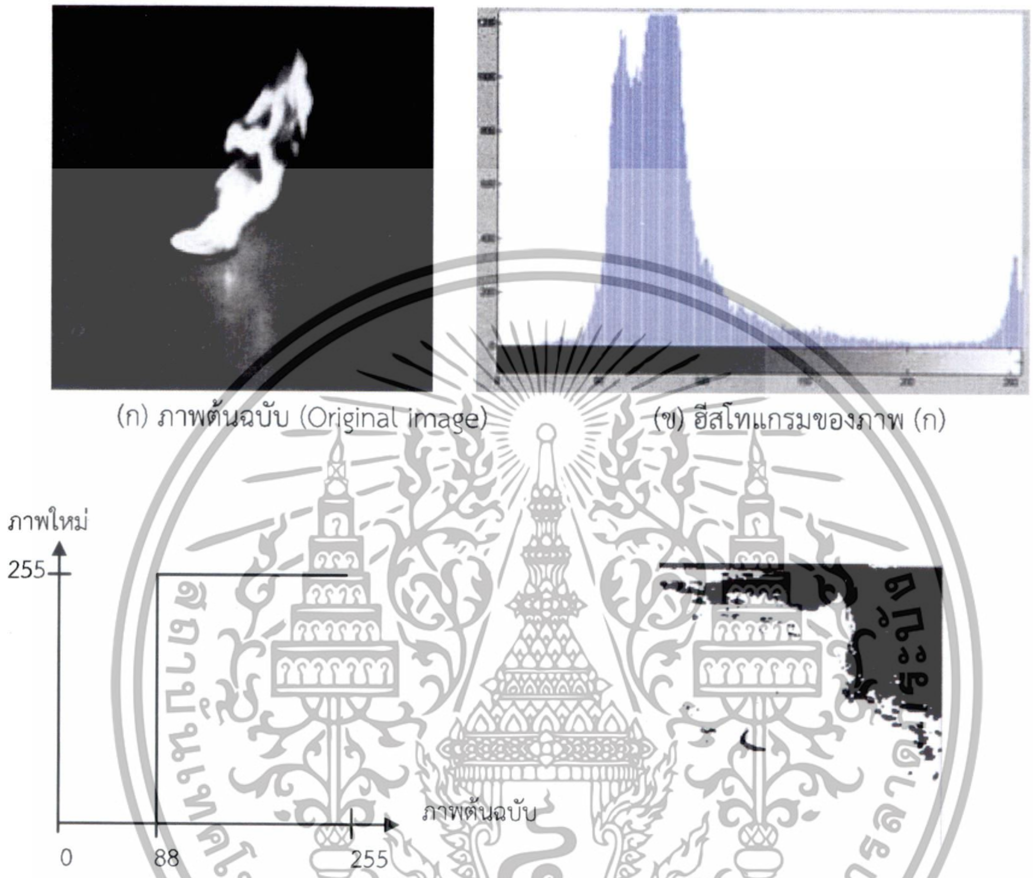
### 3.5.4 ขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรม (Histogram thresholding)

วิธีการปรับปรุงคุณภาพนี้เป็นการแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพไบนารี (Binary) ซึ่งจะให้จุดภาพมีค่าระดับสีเทาเพียงสองระดับ กล่าวคือ ถ้าหากค่าระดับสีเทาของจุดภาพมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding) จุดภาพนั้นจะถูกกำหนดค่าใหม่ให้เป็น 0 (จะเป็นจุดภาพที่มีสีดำ) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากค่าระดับสีเทาของจุดภาพมีค่าสูงกว่าค่าของขีดเริ่มเปลี่ยน จุดภาพนั้นก็จะถูกกำหนดค่าใหม่ให้เป็น 255 (จะเป็นจุดภาพที่มีสีขาว) สมการที่ใช้ในการแปลง คือ

$$y = \begin{cases} 0 & ; x \le T \\ 255 & ; x > T \end{cases} \qquad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพต้นฉบับ และ y เป็นค่าระดับสีเทาที่ผ่านการแปลง โดย T เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ตัวอย่างของภาพที่ได้จากการแปลงโดยใช้ขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.19




(ก) ภาพต้นฉบับ (Original image)

(ข) ฮีสโทแกรมของภาพ (ก)

(ค) ฟังก์ชันในการแปลงเมื่อกำหนดขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรมไว้ที่ 88

(ง) ภาพไบนารีที่ได้หลังการแปลงด้วยขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรม

**รูปที่ 3.19** การแปลงภาพไบนารีโดยใช้ขีดเริ่มเปลี่ยนฮีสโทแกรม
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [19]

## 3.6 ความสว่างของภาพ (Image brightness)

ความสว่างของภาพ (Image brightness) คือ ค่าเฉลี่ยของค่าระดับความเข้มเทาในแต่ละพิกเซลของภาพทั้งหมด ซึ่งถ้าเราสมมติให้ภาพมีขนาด N x M และ f(x, y) คือค่าระดับความเข้มเทาของแต่ละพิกเซลใด ๆ ที่พิจารณา เราจะสามารถคำนวณค่าความสว่างของภาพได้จากสมการที่ (3.16) รูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างของภาพระดับความเข้มเทาที่มีค่าความสว่างแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า รูปที่ 3.20 (ก) มีค่าความสว่างมากกว่ารูปที่ 3.20 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = \text{Brightness} = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \qquad (3.16)$$

(ก) ค่าความสว่างของภาพเท่ากับ 227

(ข) ค่าความสว่างของภาพเท่ากับ 27

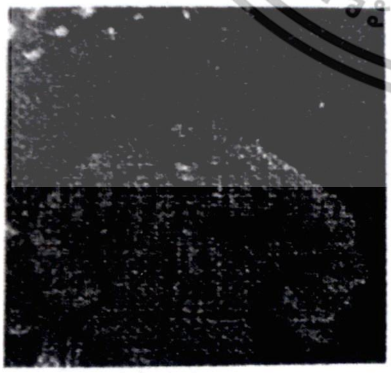
**รูปที่ 3.20** ความสว่างของภาพที่มืดและสว่าง

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [1]

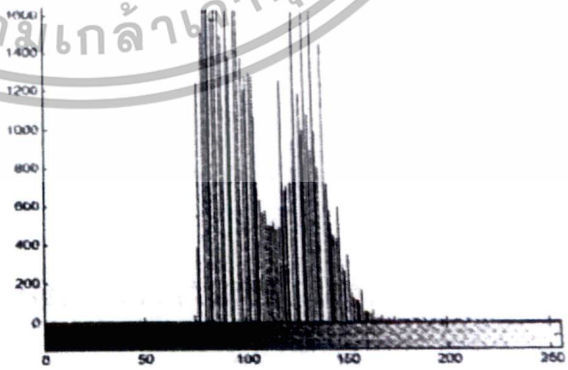
### 3.7 คอนทราสต์ของภาพ (Image contrast)

คอนทราสต์ของภาพ (Image contrast) มีค่าเป็นรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความเปรียบต่างระหว่างค่าระดับความเข้มเทาของแต่ละจุดภาพ (พิกเซล) กับค่าความสว่างของภาพ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าคอนทราสต์ของภาพได้จากสมการที่ (3.17) เมื่อพิจารณาสมการที่ (3.17) จะเห็นได้ว่าค่าคอนทราสต์ของภาพก็คือการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของภาพดิจิตอลนั่นเอง

$$C = \text{Contrast} = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) - B)^2} \qquad (3.17)$$



(ก) ค่าคอนทราสต์ของภาพเท่ากับ 23



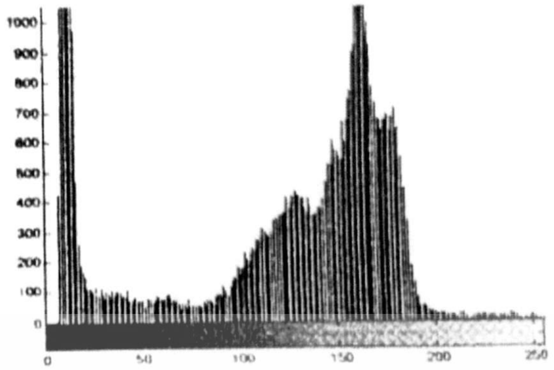


(ข) ฮีสโทแกรมของภาพที่มีค่าความคมชัดน้อย

**รูปที่ 3.21** คอนทราสต์ของภาพที่มีค่าน้อย

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ก) ค่าคอนทราสต์ของภาพเท่ากับ 62 (ข) ฮีสโทแกรมของภาพที่มีค่าความคมชัดเหมาะสม

**รูปที่ 3.22** คอนทราสต์ของภาพที่มีค่าเหมาะสม

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [1]

รูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างของภาพระดับความเข้มเทาที่มีค่าคอนทราสต์ (Contrast) ของภาพแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่ารูปที่ 3.22 นั้น ภาพมีค่าคอนทราสต์ที่เหมาะสม กล่าวคือ ภาพจะมีระดับความสว่างที่เหมาะสม (ภาพจะไม่มีความมืดหรือสว่างจนเกินไป) ซึ่งเราจะเห็นได้จากฮีสโทแกรมของข้อมูลภาพจะมีการกระจายครอบคลุมทุกข้อมูลของระดับค่าความเข้มเทา (Gray scale) ส่วนในรูปที่ 3.21 ภาพต้นฉบับมีค่าความคมชัดน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าภาพมีค่าคอนทราสต์ที่ไม่เหมาะสม (มีค่าคอนทราสต์ต่ำ) เนื่องจากมีระยะการกระจายของระดับความเข้มเทาต่ำสุดไปจนถึงระดับความเข้มเทาสูงสุดแคบ จากฮีสโทแกรมของข้อมูลภาพ จะเห็นได้ว่าฮีสโทแกรมของข้อมูลภาพมีการจับกลุ่มรวมกันอยู่ที่เฉพาะบริเวณช่วงกลางของค่าระดับความเข้มเทาเท่านั้น

## 3.8 การควบคุมแบบ P.I .D.

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการเคลื่อนไหวเซอร์โวทั่วไปที่ปรากฏในรูปที่ 3.23 โดยใช้สัญลักษณ์ Laplace มาตรฐาน ในภาพแรก, การขับเคลื่อน Servo ด้วย Loop ของกระแสไฟ เป็นแบบจำลองก็เป็นฟังก์ชั่นการถ่ายโอนเชิงเส้น G (s). แน่นอนการขับเคลื่อน Servoจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับกระแส ดังนั้นโมเดลเชิงเส้นตรงนี้ไม่ถูกต้องทั้งหมด แต่มันเป็นตัวแทนที่เหมาะสมในการแสดงการวิเคราะห์ของเรา ในรูปแบบพื้นฐานโดยทั่วไป Servo driveได้รับคำสั่งแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวแทนของมอเตอร์ที่ต้องการในปัจจุบันแรงบิดเพลามอเตอร์(T)เกี่ยวข้องกับกระแสของมอเตอร์(I) ด้วยค่าคงที่ของแรงบิด (Kt) สมการ (3.18) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์นี้

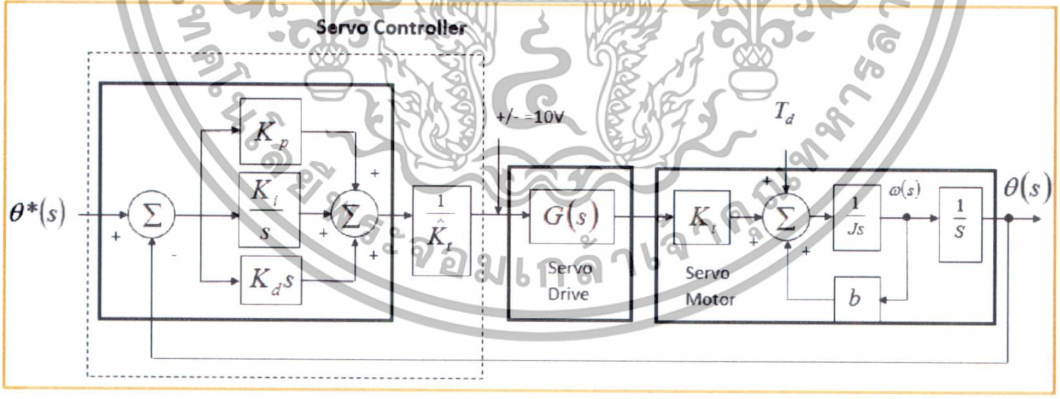
$$T = K_t I \tag{3.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัตถุประสงค์ของการอภิปรายนี้ ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนจากกระแสไฟหรือจริงๆแรงบิดที่สามารถประมาณเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำของความถี่เคลื่อนไหวที่เราสนใจและดังนั้นเราจึงแสดงความสัมพันธ์นี้ใน (3.19)

$$G(s) = 1 \tag{3.19}$$

Servomotor ถูกจำลองเป็นความเฉื่อย (J) ระยะหน่วงหนืด (b) และค่าคงที่แรงบิด (Kt) ประกอบด้วยค่าแรงเฉื่อยทั้งหมดของ servomotor และโหลดแรงเฉื่อย ซึ่งจะสันนิษฐานว่าโหลดเป็นคู่อย่างเหนียวแน่นที่แข็งแกร่งสะท้อนแบนด์วิดธ์ควบคุมของเซอร์โว สมมติฐานนี้ช่วยให้เราสามารถจำลองความเฉื่อยของระบบทั้งหมดเป็นผลรวมของมอเตอร์และความเฉื่อยโหลดความถี่ที่เราสามารถควบคุมได้ ความซับซ้อนมากขึ้นซึ่งมีความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงถ้าทั้งคู่ได้มีการรวมตำแหน่งมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจริง θ(s) ถูกวัดโดยการเข้ารหัสหรือแก้ไขควบคู่โดยตรงกับเพลามอเตอร์ อีกครั้งที่สมมติฐานพื้นฐานว่าอุปกรณ์จะติดตั้งอยู่อย่างเหนียวแน่นที่ความถี่สามารถปฏิเสธได้อย่างปลอดภัย การระเบิดของแรงบิดเพลาภายนอก Td มีการเพิ่มแรงบิดที่เกิดจากกระแสของมอเตอร์ให้แรงบิดที่มีการเร่งการความเฉื่อยรวม J.




**รูปที่ 3.23** ภาพแสดงพื้นฐาน P.I D. โทโพโลยีควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

รอบๆ เซอร์โวไดรฟ์และมอเตอร์เป็นตัวควบคุมเซอร์โวที่ปิดตำแหน่ง การควบคุมเซอร์โวพื้นฐานโดยทั่วไปมีทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวควบคุมP.I.D.วิถีจะมีคำสั่ง Set Point ตำแหน่งเท่านั้นที่มีข้อความในรูปที่ 3.23 เป็น θ * (s) ตัวควบคุม P.I .D. ทำงานในข้อผิดพลาดของตำแหน่งและผลคำสั่งของแรงบิดที่มีการปรับค่าเป็นบางครั้งโดยประมาณการของแรงบิดของมอเตอร์คงที่ Kt ถ้าไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราบค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์P.I .D.จะเป็นเพียงการปรับตามตาราง เพราะค่าที่แน่นอนของแรงบิดของมอเตอร์คงที่โดยทั่วไปไม่เป็นที่รู้จักสัญลักษณ์ "^" ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงว่าเป็นมูลค่าประมาณในการควบคุม โดยทั่วไป สมการ (3.20) ถือประกอบด้วยความถูกต้องเพียงพอเพื่อให้การส่งออกของการควบคุมเซอร์โว (ปกติอยู่ที่ประมาณ + / - 10 โวลต์) จะสั่งจำนวนที่ถูกต้องของปัจจุบันที่ต้องการแรงบิด

$$\hat{K}_t \approx K_t \quad (3.20)$$

มีสามgains ที่จะปรับในตัวควบคุม P.I.D คือ Kp, Ki *และ*Kd gains ทั้งหมดเหล่านี้ทำหน้าที่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในข้อผิดพลาด "*" หมายถึงค่าที่ได้รับคำสั่ง

$$\text{error}(t) = \theta^*(t) - \theta(t) \quad (3.21)$$

การส่งออกของตัวควบคุม P.I.Dคือสัญญาณแรงบิด ซึ่งแสดงออกทางคณิตศาสตร์ในโดเมนเวลาที่จะได้รับใน (3.22)

$$\text{P.I.D.output}(t) = K_p(\text{error}(t)) + K_i \int (\text{error}(t))dt + K_d \frac{d}{dt}(\text{error}(t)) \quad (3.22)$$

ตอนนี้เราดูที่วิธีการเลือก gain ของ $K_p$ $K_i$และ $K_d$

## 3.9 การปรับ P.I .D. Loop

มีสองวิธีหลักที่จะไปเกี่ยวกับการเลือก P.I .D. gains ทั้งผู้ใช้งานและความผิดพลาดหรือวิธีการวิเคราะห์ การใช้วิธีการทดลองและข้อผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญของผู้ใช้งานจากประสบการณ์ในอดีตของตัวเองที่มีระบบเซอร์โวอื่น ๆ หนึ่งในข้อเสียที่สำคัญคือความเข้าใจทางกายภาพเป็นสิ่งที่หมายถึง gain และไม่รู้ว่า gain ที่ดีที่สุดโดยมีความหมายอย่างไร แต่สำหรับทศวรรษที่ผ่านมานี้ก็เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุด ในความเป็นจริงก็ยังคงใช้มาจนถึงในทุกวันนี้สำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำมักจะพบในการควบคุมกระบวนการที่อยู่ต้องใช้การวิเคราะห์Ziegler and Nichols [10] นำเสนอวิธีการที่สะสมมาหลายปีจากประสบการณ์การควบคุมในอุตสาหกรรม แม้ว่าพวกเขาจะตั้งใจนำเสนอวิธีการปรับแต่งของพวกเขาสำหรับการใช้งานในการควบคุมกระบวนการเทคนิคของพวกเขาสามารถนำไปใช้กับการควบคุมเซอร์โว ขั้นตอนของพวกเขาโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 1 :** การตั้งค่า Ki และ Kd เป็นศูนย์ กระตุ้นระบบที่มีขั้นตอนคำสั่งค่อย ๆ เพิ่ม Kp จนกว่าตำแหน่งเพลาจะเริ่มแกว่งไปมา ณ จุดนี้บันทึกค่าของ Kp และ Ko บันทึกความถี่ของ fo

**ขั้นตอนที่ 2 :**ตั้งค่าสุดท้ายของ P.I .D. gains โดยใช้สมการ

$$K_p = 0.6K_o, \quad \text{Nm/rad}$$
$$K_p = 2f_oK_{po}, \quad \text{Nm/ (rad.sec)} \qquad (3.23)$$
$$K_d = \frac{Kp}{8\,fo} \quad \text{Nm/ (rad.sec)}$$

กล่าวคือ สัดส่วนส่งผลกระทบต่อการตอบสนองโดยรวมของระบบข้อผิดพลาดของตำแหน่ง. ระยะหนึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่จะบังคับให้ข้อผิดพลาดขงตำแหน่งเป็นศูนย์สำหรับคำสั่งตำแหน่งคงที่และระยะอนุพันธ์เป็นสิ่งจำเป็นในการตอบสนองจะแกว่งแต่น่าเสียดายที่ทั้งสามพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยการปรับพารามิเตอร์หนึ่งจะมีผลต่อการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ก่อนหน้า เป็นตัวอย่างของวิธีการปรับจูนนี้เราจะตรวจสอบการตอบสนองของมอเตอร์ Comp motor BE342A กับไดรฟ์เซอร์โวทั่วไปและการควบคุมพารามิเตอร์ต่อไปนี้:มอเตอร์รวมโมเมนต์

ความเฉื่อย $J = 50\text{x}10^{-6}$ kgm$^2$

มอเตอร์ Damping $b = 0.1\text{x}10^{-3}$ Nm/ (rad/sec)

ค่าคงที่ทอร์ก $Kt = 0.6$ Nm/A

เราเริ่มต้นด้วยการสังเกตการตอบสนองต่อคำสั่งที่ป้อนข้อมูลขั้นตอนที่มีแรงบิดที่ไม่มีการรบกวน ($Td = 0$).

**ขั้นตอนที่ 1:** ผลจากการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ระบบจะเริ่มสั่นที่ประมาณ 0.5 Hz ($fo$= 0.5Hz) ด้วย $K_o$ ประมาณ $5\text{x}10^{-5}$ Nm/ rad

**ขั้นตอนที่ 2:** การใช้ค่าเหล่านี้ P.I.D ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ Ziegler-Nichols (Z-N) แล้วใช้สมการ (3.23):

$K_p$= 3.0x $\text{x}10^{-4}$ Nm/ rad

$K_i$ = 3.0 $\text{x}10^{-4}$ Nm/ (rad/sec)

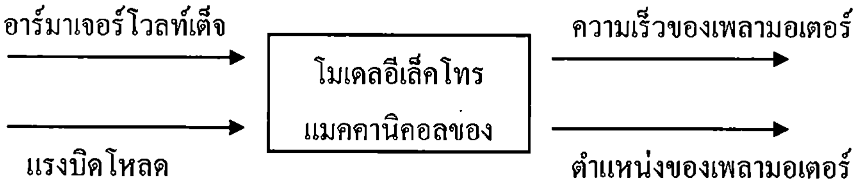
$K_d$= 7.4 $\text{x}10^{-5}$ Nm/ (rad/sec)

## 3.10 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีแอมปลิไฟล์ทั้งในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็วมักจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังงานในระบบการนำร่องและระบบบังคับต่างๆ และเนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสารแม่เหล็กและการขยายด้วยโซลิคสเตททำให้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบการขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดลูฟต่างๆ

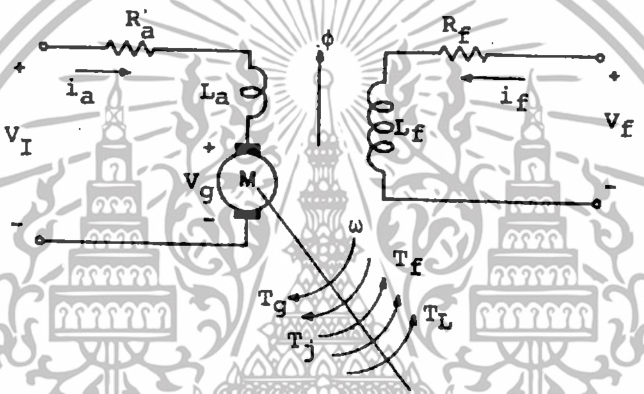
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมจะต้องใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ




**รูปที่ 3.24** แสดงอินพุตและเอาต์พุตของโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แยกกระตุ้นมีโมเดลดังแสดงในรูป




**รูปที่ 3.25** แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แยกกระตุ้น

ที่มาของภาพต้นฉบับ: [11]

$R_a$: ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

$L_a$: อินดัคแต้นซ์ของอาร์เมเจอร์

$V_g$: โวลท์เต็จกำเนิดในอาร์เมเจอร์(โวลท์เต็จย้อนกลับ)

$R_f$: ความต้านทานของฟิลด์

$L_f$: อินดัคแต้นซ์ของฟิลด์

$\phi$: ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

$\omega$: ความเร็วของเพลาอาร์เมเจอร์

$T_g$: แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

$T_f$: แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

$T_J$: แรงเฉื่อยของมอเตอร์

$T_L$: แรงบิดโหลดบนเพลาของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐานโมเดลของดีซีมอเตอร์ได้จากลูฟของอาร์เมเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (3.24)$$

เทอมโวลท์เต็จ $V_g(t)$ ในสมการ (3.24) คือโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์มาเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นในกระแสของฟิลด์ ($i_f$) ตามกฎของฟาราเดย์ลูฟของเส้นลวดตัวนำหมุนในฟิลด์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลท์เต็จขึ้นในขดลวดนั้น

$$V_i(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (3.25)$$

เมื่อ $\lambda(t)$ คือเส้นแรงแม่เหล็กที่ลิงเคจ(linkages) ไปยังขดลวดและ t คือเวลาในการหมุนของคอมมิวเทเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลท์เต็จขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ (3.25) เมื่อ $\frac{d\lambda(t}{dt}$ จะเป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ เราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K\phi(t)\omega(t) \quad (3.26)$$

สมมติให้กระแสของฟิลด์มีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟิลด์เนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นเส้นแรงฟิลด์ก็จะมีค่าคงที่ดังนั้นสมการ (3.26) ก็จะเป็น

$$V_g(t) = K_e\omega(t) \quad (3.27)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟิลมีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสของอาร์มาเจอร์

$$T_g(t) = K_t\, i_a(t) \quad (3.28)$$

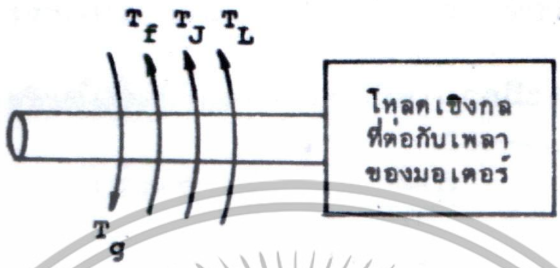
เมื่อ $K_t$ คือ ค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t)\,\omega(t) \quad (3.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะจ่ายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียจากแรงเสียดทาน หมายถึงความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กของโรเตอร์และฮีสเทรีซิส โดยแรงบิดต่างๆแสดงดังนี้




**รูปที่ 3.26** แสดงถึงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [11]

$T_g(t)$: แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$: แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_J(t)$: แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$: แรงบิดโหลด

ในช่วงเวลาใดๆก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับและมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด $T_f(t)$ $T_J(t)$ และ $T_L(t)$ ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J\frac{d\omega(t)}{dt} \tag{3.30}$$

เมื่อ J คือผลรวมของโมเม้นท์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่ที่เพาของมอเตอร์

ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสคอสฟริคชั่นและมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากฟริคชั่นอื่นๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J\frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \tag{3.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ B คือสัมประสิทธิ์ของวิสคอสฟริคชั่นของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ $T_f(t)$ คือ ผลรวมของฟริคชั่นของโหลดและมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลามอเตอร์ยกเว้นวิสคอสฟริคชั่น

สมการ (3.24) , (3.27) , (3.28) และ (3.31) เป็นชุดสมการพื้นฐานของดีซีมอเตอร์โมเดลและสมการเหล่านี้เราสามารถจะหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของดีซีมอเตอร์ได้ โดยใส่ลาปลาสทรานสฟอร์มทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐานได้เป็น

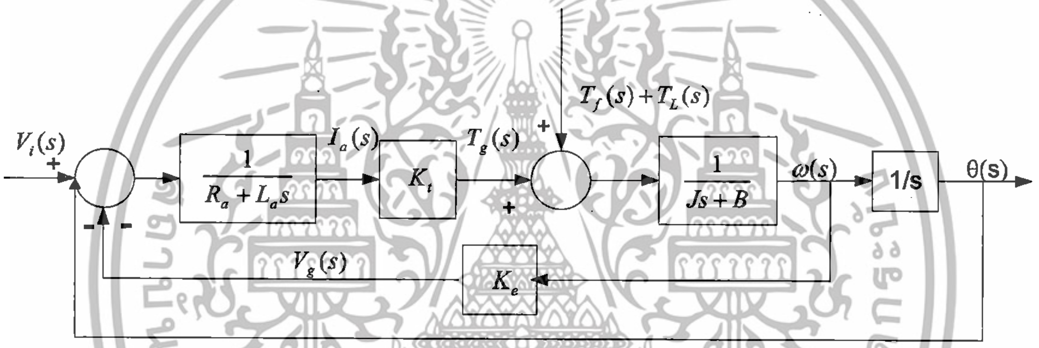
$$V_i(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a)\, I_a(s) \quad (3.32)$$

$$V_g(s) = K_e\omega(s) \quad (3.33)$$

$$T_g(s) = K_t\, I_a(s) \quad (3.34)$$

$$T_g(s) - T_f(s) - T_L(s) = (B + sJ)\,\omega(s) \quad (3.35)$$

สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสมการพื้นฐานเหล่านี้ได้ดังนี้




รูปที่ 3.27 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล

**ข้อสังเกต**

สมมติว่าโวลท์เตจที่ป้อนให้กับวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าคงที่ดังนั้นมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่คือทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่งด้วยโหลดที่คงที่ กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นโดยโรเตอร์จะหาได้จากสมการ (3.29) จะได้สมการ (3.36)

$$P_g = T_g\omega = K_t I_a \omega \quad (3.36)$$

เมื่อทุกเทอมในสมการสุดท้ายมีค่าคงที่เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่งกำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนโดยอาร์เมเจอร์ต้องเท่ากับ

$$P = V_g I_a = K_e\omega\, I_a \quad (3.37)$$

ดังนั้นเราจะได้ว่ากำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นต้องเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนในโรเดอร์คือสรุปได้ว่า $K_e = K_t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของดีซีมอเตอร์บล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 3.27 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุท และมีเอาต์พุทเป็นความเร็วเชิงมุม $\omega(s)$ และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม Ø(s) จากรูปที่ 3.27 ความเร็วเอาท์พุทของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s)V_i(s) + G_2(s)[T_f(s) + T_L(s)] \tag{3.38}$$

เมื่อ

$$G_1(s) = \left.\frac{\omega(s)}{V_i(s)}\right|_{T_f(s)+T_L(s)=0} \tag{3.39}$$

$$G_2(s) = \left.\frac{\omega(s)}{T_f(s)+T_L(s)}\right|_{V_i(s)=0} \tag{3.40}$$

$G_1(s)$ คือ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นระหว่างโวลท์เต็จและความเร็ว

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K_t K_e} = \frac{K_m}{\alpha S^2 + \beta s + 1} \tag{3.41}$$

เมื่อ

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t K_e}$$

$$\alpha = \frac{L_a J}{R_a B + K_t K_e}$$

$$\beta = \frac{R_a J + L_a B}{R_a B + K_t K_e}$$

สมการ (3.41) เป็นโวลท์เต็จทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของดีซีมอเตอร์ในเมื่อสมมติว่า $T_f$ และ$T_L$มีค่าเป็นศูนย์ สมการ (2.41) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$G_1(s) = \frac{K_t}{R_a B(1+\tau_e s)(1+\tau_m s) + K_t K_e}$$

เมื่อ

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} = \text{ไทม์คอนสแต้นท์ทางไฟฟ้า}$$

$$\tau_m = \frac{J}{B} = \text{ไทม์คอนสแต้นท์ทางเชิงกล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอินดัคแตนท์ของอาร์มาเจอร์มีค่าน้อย ไทม์คอนสแตนท์ทางไฟฟ้าสามารถตัดทิ้งได้และได้สมการเป็น

$$G_V(s) = \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K_t}{R_a(Js+B)+K_tK_e}$$

$$= \frac{K_m}{\tau s+1} \tag{3.42}$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{R_aJ}{R_aB+K_tK_e}$$

ในสมการ (3.42) ค่าคงที่ $K_m$ อาจเรียกได้ว่าเป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นแรงบิดโหลด $G_2(s)$ หาได้เป็น

$$G_2(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s)+T_L(s)} = \frac{-\frac{1}{Js+B}}{1+\frac{K_tK_e}{(Js+B)(L_as+R_a)}}$$

$$= \frac{-\frac{R_a}{K_t}K_m\left[\frac{L_a}{R_a}s+1\right]}{\alpha s^2+\beta s+1} \tag{3.43}$$

ซึ่งถ้าอินดัคแต้นท์ของอาร์มาเจอร์ไม่นำมาคิด จะทำให้ได้สมการ ดังนี้

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s)+T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t}K_m}{\tau s+1} \tag{3.44}$$

ซึ่งจากสมการที่ (3.44) เมื่อให้ค่าของ ว่า $T_f$ และ $T_L$ มีค่าเป็นศูนย์จะทำให้ค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นมีค่าดังนี้

$$\boxed{\omega(s) = G_V(s)V_i(s) = \frac{K_m}{\tau s+1}V_i(s)} \tag{3.45}$$

และจากรูปที่ 3.27 ตำแหน่งเอาท์พุทของระบบเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเดลคณิตศาสตร์ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จาก transfer function ในหัวข้อที่ 3.10 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์ ซึ่งจะได้ model ของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในรูปของสมการอันดับหนึ่งเป็นดังนี้ คือ

$$\omega(s) = G_V(s)V_i(s) = \frac{K_m}{\tau s + 1} V_i(s) \tag{3.46}$$

จากสมการข้างต้นดังกล่าวนั้นจะเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม (output) และ ค่าแรงดันที่ป้อน (input)

และในการควบคุมตำแหน่งจะมีการผ่านตัว Integrator (1/s) ทำให้ได้เอาท์พุตคือ $\theta(s)$ ซึ่งจากรูปที่ 3.27 และ transfer function ที่ได้จากสมการ 3.46 ข้างต้นนั้นเมื่อทำการผ่าน Integrator (1/s) เข้าไปจะทำให้ได้ค่าของ output เป็นมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ซึ่งเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\theta(s) = \frac{\omega(s)}{s} = \left[\frac{1}{s}\right]\left[\frac{K_m V_i(s)}{\tau s + 1}\right] \tag{3.47}$$

ส่วนในการหาโมเดลมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้น เรากำหนดให้โมเดลของมอเตอร์เป็นโมเดลมอเตอร์อันดับหนึ่ง (First Order)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

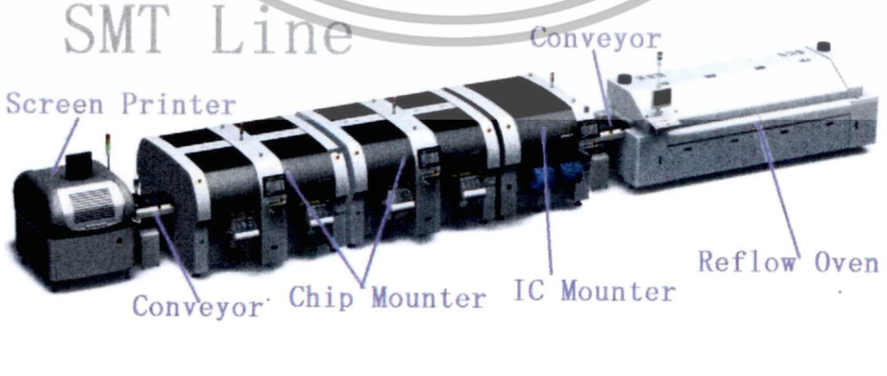
# บทที่ 4
# วิธีการดำเนินการวิจัย

## 4.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบในกระบวนการตรวจสอบตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเริ่มต้นด้วยการศึกษาจากปัญหาและเงื่อนไขข้อกำหนดการตรวจสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยสายตาของทางผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการตรวจสอบ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการตรวจสอบมาเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดข้อผิดพลาดในการตรวจสอบด้วยสายตาจากผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ซึ่งทางผู้ประกอบการได้มีการตรวจสอบเชิงกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ประกอบตัวไอซีเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพราะเป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ขั้นตอนสุดท้ายก่อนจะนำไปทดสอบ จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญและไม่ต้องการให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการตรวจสอบโดยใช้กล้องเว็บแคมและออกแบบ การตรวจสอบโดยใช้ภาพแทนการใช้สายตามนุษย์เพื่อเป็นแนวทางการนำไปสู่การพัฒนาระบบตรวจการสอบอัตโนมัติต่อไปในอนาคต

## 4.2 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ตรวจสอบ

กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือเรียกว่าเอสเอ็มที(SMT Process) คือกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบขาไม่ทะลุลงบนแผ่นวงจรโดยใช้เครื่องจักรทำงานโดยอัตโนมัติ เป็นการทำงานเป็นลำดับจากเครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่ง กระบวนการเอสเอ็มทีเป็นกระบวนการที่ใหญ่และสำคัญที่สุดในส่วนของการประกอบ เปรียบเหมือนหัวใจหลักของการประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร




**รูปที่ 4.1** ภาพแสดงกระบวนการ SMT
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [20]

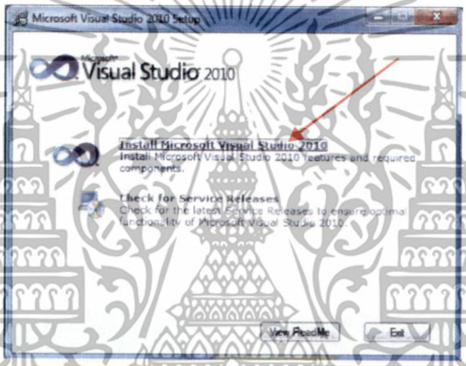
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 การประมวลผลภาพดิจิตอลด้วย Visual Studio

การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิตอล (Digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดการผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ภาพดิจิตอลเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆจำนวนมากเรียกว่า พิกเซล (pixel) โดยใช้ตัวเลขแทนค่าของระดับสีหรือระดับความสว่างของแต่ละพิกเซล ซึ่งสามารถปรับแต่งเพื่อการแสดงผลภาพตามต้องการได้ ดังนั้นภาพดิจิตอลจึงมีข้อดีตรงที่สามารถนำมาประมวลผลปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้ [12]

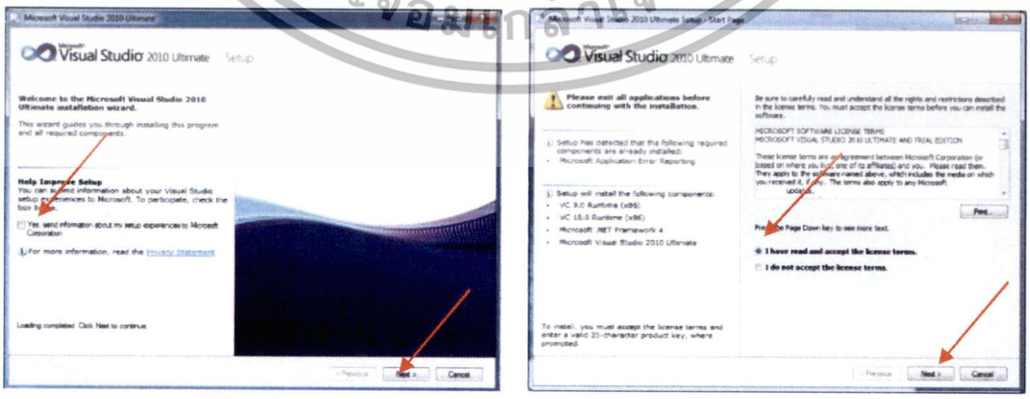
### 4.3.1 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Visual Studio

1. เลือก Install Microsoft Visual Studio 2010 ดังรูปที่ 4.2




**รูปที่ 4.2** ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 1)

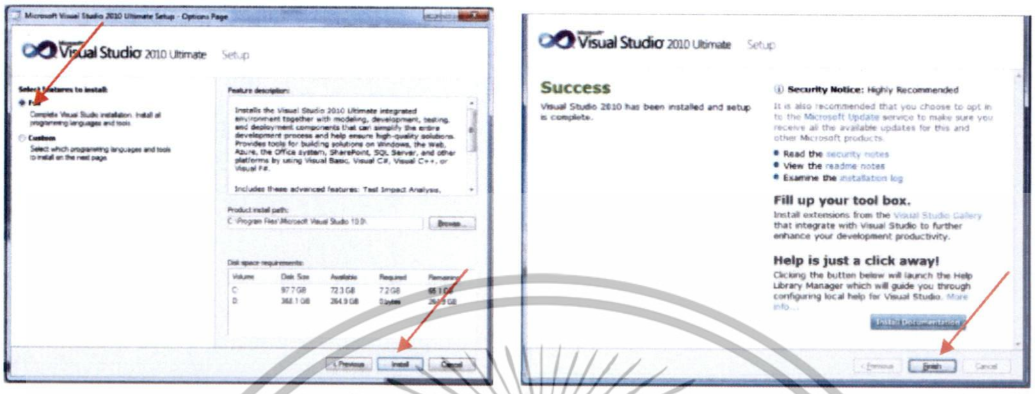
2. เอาเครื่องหมายถูกหน้า Yes, send information ... ออก แล้วกดปุ่ม Next เพื่อทำการติดตั้งจากนั้นเลือก I have read and accept the license แล้วกดปุ่ม Next ดังรูปที่ 4.3




**รูปที่ 4.3** ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 2)

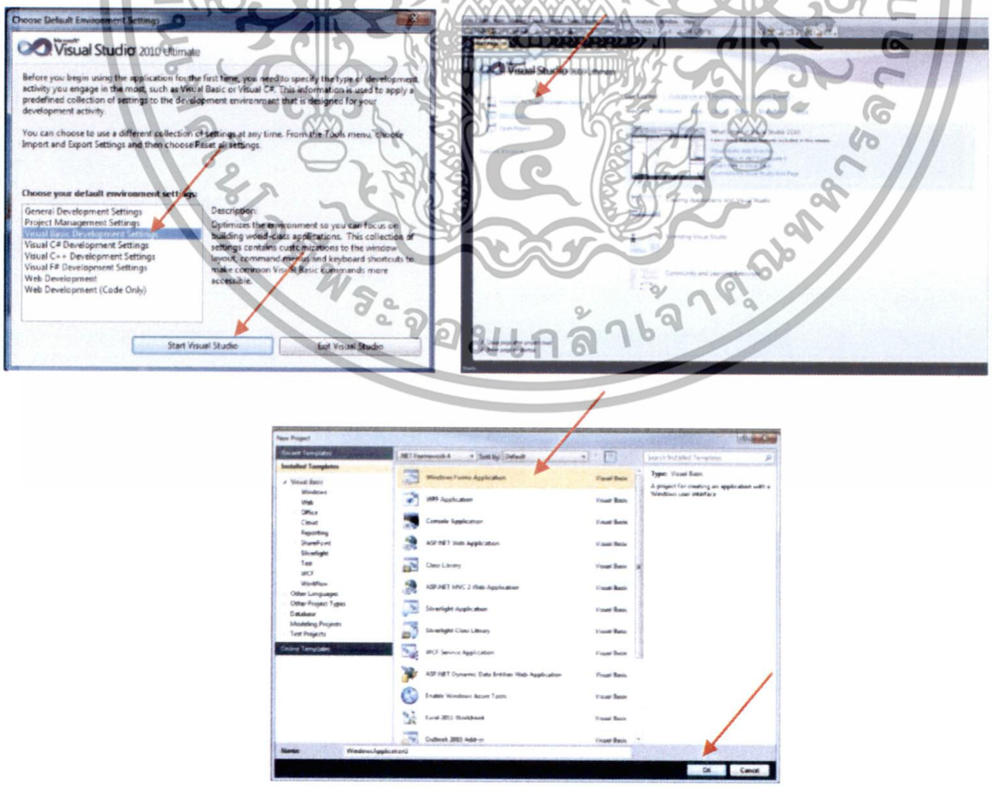
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกการติดตั้ง แบบ Full แล้วเลือก Install จากนั้นโปรแกรมจะทำการติดตั้ง Visual Studio ใช้เวลานาน (ประมาณ 30 นาที) ติดตั้งเสร็จแล้วจะขึ้นหน้าจอนี้ ให้เลือก Finishดังรูปที่ 4.4




**รูปที่ 4.4** ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 3)

5. ทดสอบเปิดโปรแกรมโดยเลือก Visual Basic Development Settings - > เลือก New Project แล้ว ->เลือก Windows Forms Application แล้วกดปุ่ม OK ถึงหน้านี้แสดงว่าโปรแกรม Visual Studio 2010 พร้อมใช้งานแล้ว ดังรูปที่ 4.5




**รูปที่ 4.5** ภาพแสดงติดตั้ง Visual Studio 2010 (step 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การติดตั้ง Library OpenCV ลงบน Visual Studio

OpenCV ย่อมาจาก Open source Computer Vision โดย library เหล่านี้ถูกเขียนด้วยภาษา C/C++ และสามารถรันภายใต้ระบบปฏิบัติการ Linux, Windows และ Mac OS X จุดประสงค์หลักของ OpenCV คือการนำมาพัฒนาโปรแกรมที่เน้น การคำนวณแบบ real time เป้าหมายหลัก ๆ ของ OpenCV ก็เพื่อเตรียมคำสั่งพื้นฐาน ที่ง่ายต่อการใช้งานทางด้าน Image Processing ทางด้าน Computer Vision และทางด้าน Machine Learning โดยจะเน้นไปที่ statistical pattern recognition และ clustering อย่างพวก K-Mean Clustering ทำให้เราสามารถพัฒนา โปรแกรมและต่อยอดขึ้นไปอีก ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจาก OpenCV มี library มากถึง 500 ฟังก์ชั่น ตัวอย่าง Application ที่นำมาใช้ เช่นการประมวลผลเกี่ยวภาพและสัญญาณ (Image and Signal Processing), การตรวจสอบลักษณะวัตถุจากภาพหรือวิดีโอ (Object Identification), การจดจำใบหน้า (Face Recognition) ม่านตา (iris Recognition), ตรวจสอบขอบหรือด้านของวัตถุ (Edge Detection), ตรวจสอบความเคลื่อนไหว (Motion Detection) เป็นต้น

โครงสร้างของ OpenCV

1. CV ประกอบไปด้วยคำสั่งประมวลผลภาพพื้นฐานและระดับสูง
2. MLL ประกอบด้วยคำสั่งเกี่ยวกับ machine learning library และการคำนวณทางสถิติและซึ่งประกอบไปด้วย statistical classifiers และ clustering tools.
3. HighGUI เป็ น library ส่วนหนึ่งของ OpenCV ที่ใช้สำหรับติดต่อกับระบบปฏิบัติการ ระบบไฟล์ และอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ ฟังก์ชันของ HighGUI เช่น ใช่ สำหรับเปิดหน้าต่างสำหรับการแสดงผล ใช้แสดงภาพ ใช้สำหรับการอ่านเขียนไฟล์กราฟิค ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเมาส์และคีย์บอร์ด
4. CXCore เป็ นชุดคำสั่งพื้นฐานโครงสร้างข้อมูล

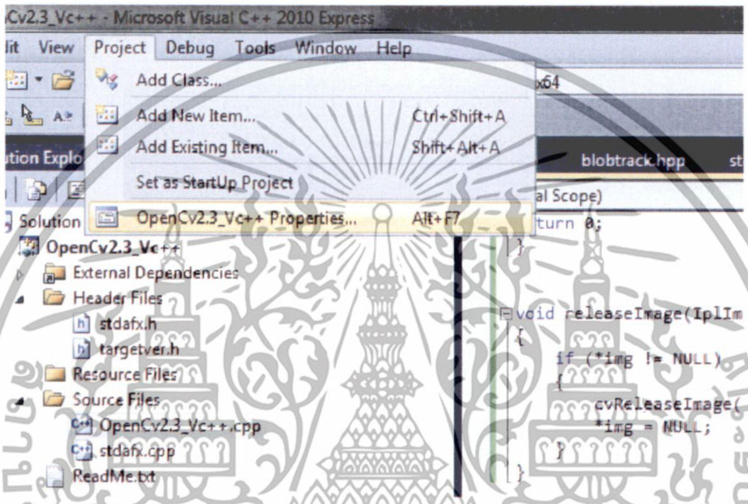
การติดตั้งโปรแกรม

สำหรับผู้ทำการวิจัยในเรื่องนี้ได้ใช้ Visual Studio 2010 บนระบบปฏิบัติการ window 7 แบบ 64 bit วิธีการติดตั้งจึงมีส่วนแตกต่างกับแบบ 32 bit และยุ่งยากกว่าพอสมควร ถ้าท่านใดเคยใช้ระบบปฏิบัติการ 32 bit Express อาจจะอ้างในการติดตั้งนี้ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

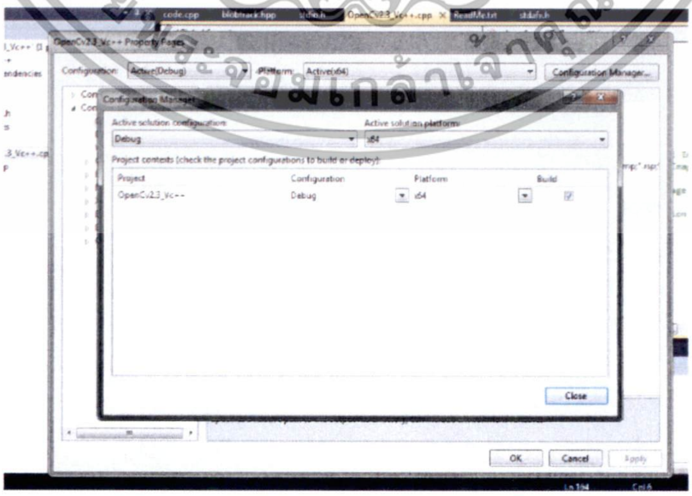
1. ดาวน์โหลดชุดพัฒนา OpenCV จาก http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-win/2.3/ โดยเลือกไปที่ OpenCV-2.3-win-superpack.exe แล้วทำการดาวน์โหลดลมา หลังจากนั้นเก็บไฟล์ไว้ที่ C:\OpenCv2.3

2. ทำการกำหนด System PATH ให้ระบบปฏิบัติการ Window เลือกไปที่ Environment Variables แล้ว Edit ที่ PATH จากนั้นให้ใส่ค่า C:\OpenCV2.2\bin;C:\OpenCV2.3\build\bin\;C:\OpenCV2.3\build\x64\vc10\bin\; เพื่อทำการ Extract ออกมาให้ทำการสร้างโปรเจคของ Visual C++ แบบ Win32 Application ดังรูปที่ 4.6




**รูปที่ 4.6** ภาพแสดงการติดตั้ง Visual C++ แบบ Win32 Application

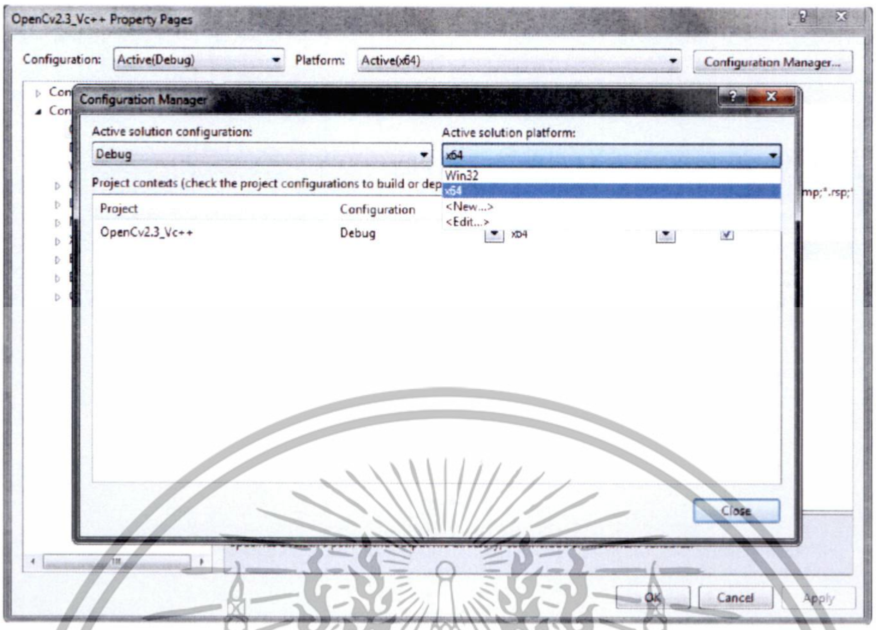
3. เลือกไปที่ project -> properties หลังจากนั้นให้กดไปที่ Configuration Manager ดังรูปที่ 4.7




**รูปที่ 4.7** ภาพแสดงการติดตั้ง project -> properties

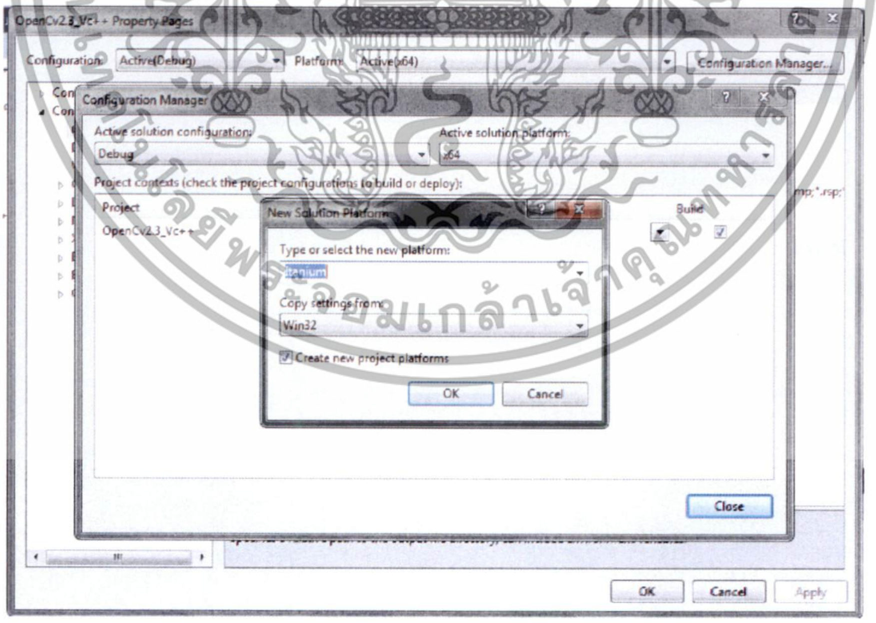
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นให้คลิกไปที่ Active Solution Platforms ดังรูปที่ 4.8




**รูปที่ 4.8** ภาพแสดงการติดตั้ง Active Solution Platforms

5. เลือก New จะปรากฏไดอะลอกบอกซ์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตั้งชื่อ ดังรูปที่ 4.9

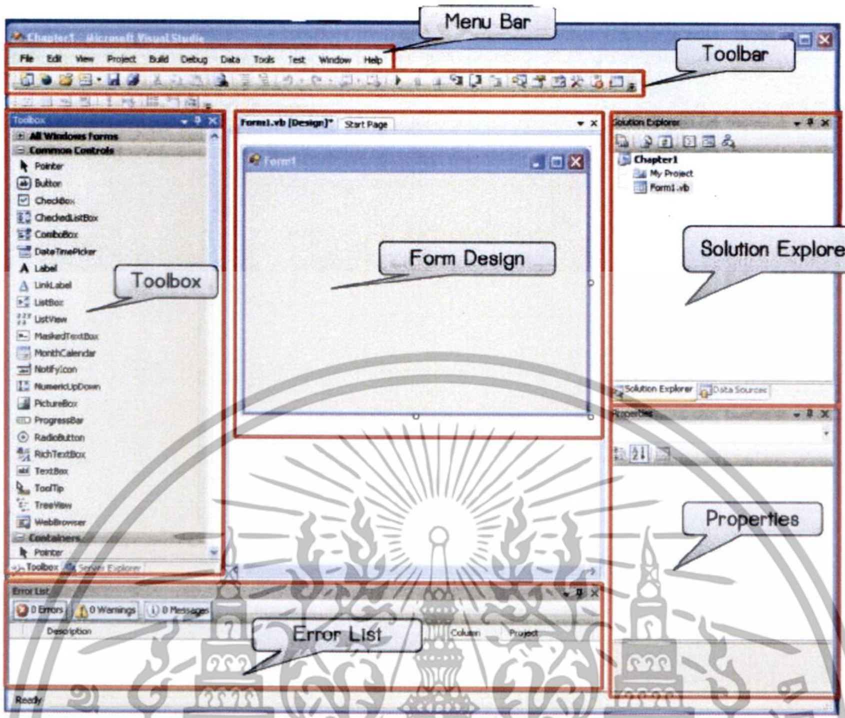



**รูปที่ 4.9** ภาพแสดงการติดตั้ง Active Solution Platforms

ในช่อง Type or select the new platform ให้พิมพ์ลงไปว่า x64 โดยให้สังเกตว่าสัญลักษณ์ Create new project platforms มีการใส่เครื่องหมายถูกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ถึงหน้านี้แสดงว่าโปรแกรม Visual Studio 2010 พร้อมใช้งานแล้ว



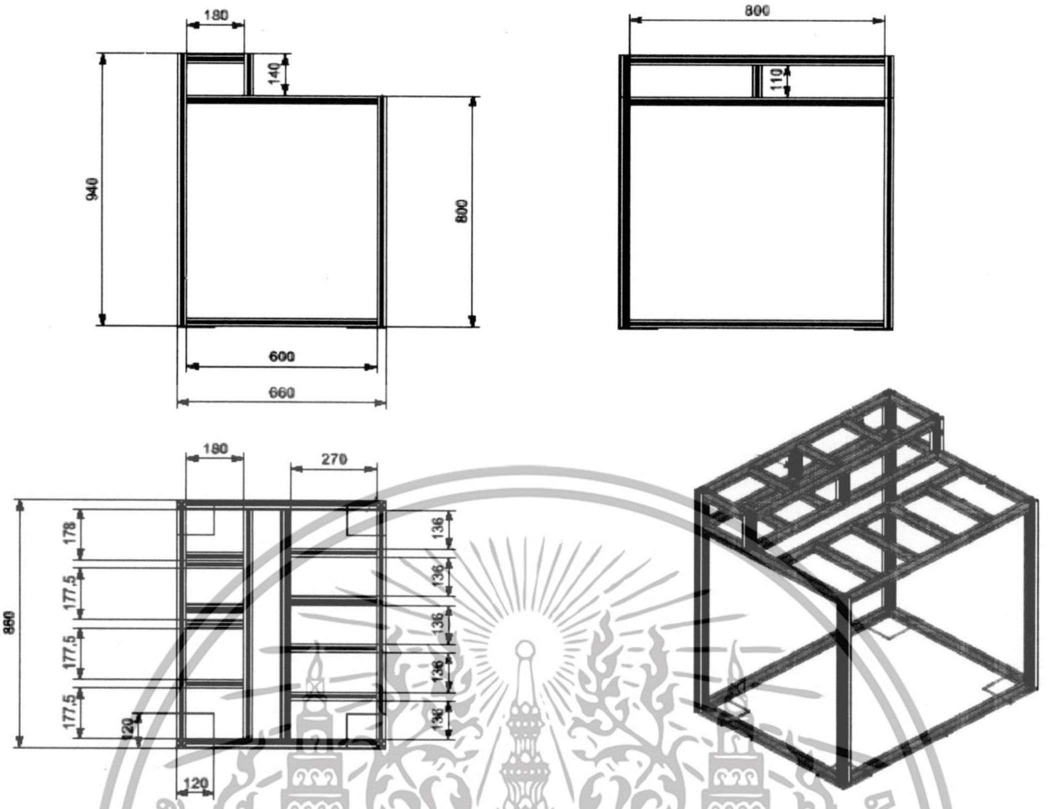

รูปที่ 4.10 ภาพแสดงหน้าต่าง Tool bar

## 4.4 การสร้างเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ

### 4.4.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องตรวจสอบ

ในงานวิจัยนี้ต้องทำการตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน เพื่อป้องกันแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของ แนวแกน Robot X และ Y เพราะว่าแรงที่สั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่จะทำให้กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งอยู่บนแกน Y บันทึกผลแบบ Real time มีค่าผิดพลาดได้สูง ดังนั้นโครงสร้างที่ผู้วิจัยนำมาออกแบบจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบในทุกๆ ด้านและดำเนินการใช้งบประมาณน้อยที่สุด โดยใช้ อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 40x40 มม. เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างตามขนาด ดังแสดงในรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.11 ภาพแสดงถึงโครงสร้างของเครื่องตรวจสอบ

**4.4.1.1 ลักษณะการสั่นสะเทือน**

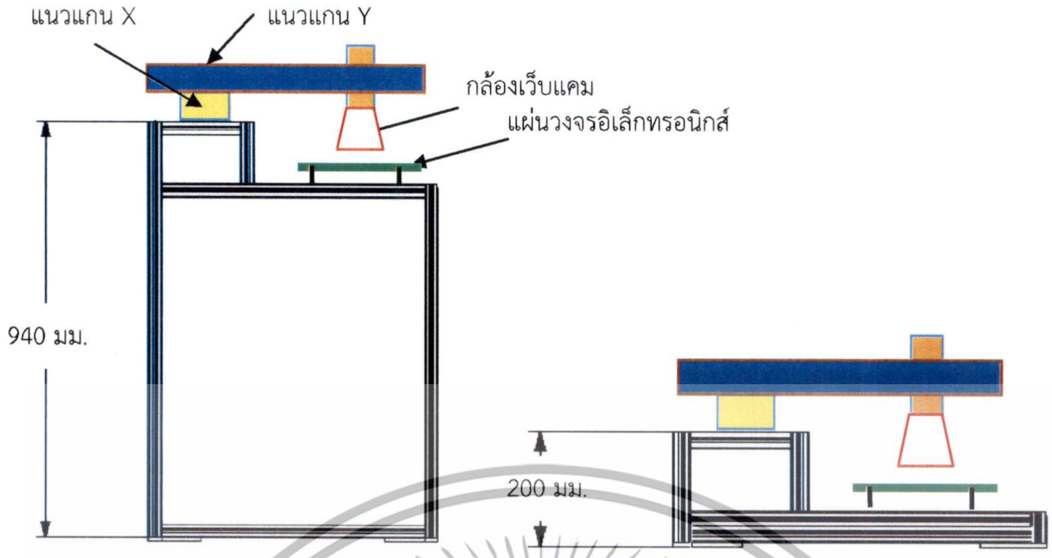
ลักษณะของการสั่นสะเทือนมีหลายลักษณะที่อาจจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโครงสร้างของเครื่องตรวจ มีดังนี้

1. ขนาดความสูงของโครงสร้างที่สูงเกินไป
2. ชิ้นส่วนการประกอบโครงสร้างไม่แน่นหนา
3. โครงสร้างมีน้ำหนักเบา
4. ความเร็ว (Speed) การเคลื่อนที่ของ X-Y table

**4.4.1.2 วิธีการแก้ปัญหาการสั่นสะเทือน**

1. ลดขนาดความสูงลงจาก 940 มม. ให้มีขนาดความสูงเป็น 200 มม. (ลดขนาดความสูงของโครงสร้างได้ต่ำสุดเพียงเท่านี้ เนื่องปัจจัยแวดล้อมในการติดตั้งอุปกรณ์) แสดงรูปที่ 4.13
2. เพิ่มอุปกรณ์จับยึดของอลูมิเนียมโปรไฟล์ทุกด้าน
3. เพิ่มน้ำหนักประมาณ 36 กก. ไว้ที่ฐานด้านล่างของโครงสร้าง
4. ความเร็ว (Speed) การเคลื่อนที่ของมาจากผลการทดลอง

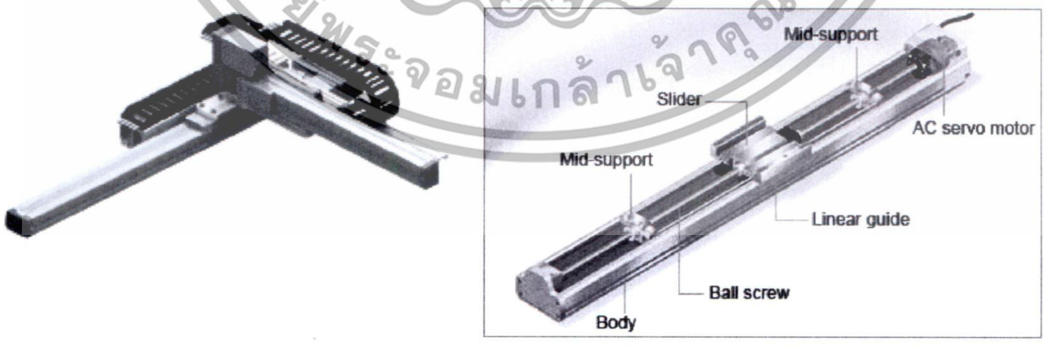
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.12** ภาพแสดงถึงการลดขนาดความสูงโครงสร้างลงจาก 940 มม. เป็น 200 มม.

**4.4.2 ชุดเคลื่อนที่ X-Y Robot**

การเคลื่อนที่บนแนวแกน X และ Y สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นแกนการเคลื่อนที่สำเร็จรูปของ IAI Robo Cylinder รุ่น RCP2-SA5C มอเตอร์เป็น เอซี เซอร์โวมอเตอร์ มีระยะการเคลื่อนที่ 0 – 400 มม. มีค่า Positioning Repeatability = ±0.02 มม. ค่า Lost motion = 0.2 มม. หรือน้อยกว่า บอลสกรูขนาด Dai.10 มม. และให้ความเร็วสูงสุดถึง 800 มม./วินาที ทั้งสองแกน ดังรูปที่ 4.13

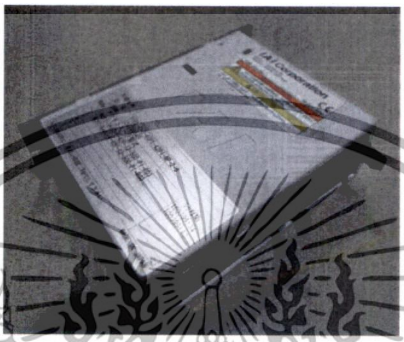



**รูปที่ 4.13** ภาพแสดงแนวแกนการเคลื่อนที่ X-Y Robot
ที่มาของภาพต้นฉบับ: [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4.3 คอนโทรเลอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X - Y

สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X-Y ผู้วิจัยเลือกใช้คอนโทรเลอร์ของ IAI รุ่น PSEL เพื่อจะได้ตรงตามรุ่นสำหรับเชื่อมต่อแนวแกนการเคลื่อนที่และเชื่อมต่อควบคุมได้สูงสุด 2 แกน IAI คอนโทรเลอร์ สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายภายนอก ผ่านทาง การสื่อสารแบบ RS-232, USB หรือ Ethernet โดยงานวิจัยนี้ใช้การเชื่อมต่อแบบ USB. ระหว่างคอนโทรเลอร์กับคอมพิวเตอร์ สามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งโหมด Auto และ Manual กะแสไฟ In put 24 โวล์ ดังรูปที่ 4.14



**รูปที่ 4.14** ภาพแสดงคอนโทรเลอร์ของ X-Y Robot

### 4.4.4 กล้องเว็บแคม(Camera)

กล้องเว็บแคม เป็นส่วนสำคัญหลักของการวิจัยในครั้งนี้โดยภาพที่ได้ออกมานั้น มาจากคุณสมบัติของกล้องที่นำมาใช้งานดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กล้องเว็บแคมของ Microsoft เซนเซอร์ความละเอียด 1080p HD ถ้าเป็นภาพวิดีโอ HD 720p Sensor เป็นระบบ CMOS และ Auto Focus ซึ่งสามารถจัดหาได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับกล้องอุตสาหกรรม (Industrial Camera) ที่มีราคาค่อนข้างสูง สำหรับงานวิจัยนี้เราได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องอุตสาหกรรม (Industrial Camera) กับกล้องเว็บแคมของ Microsoft แล้วว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ดังตารางที่ 4.1

**รูปที่ 4.15** ภาพแสดงระหว่างกล้องเว็บแคมกับกล้องอุตสาหกรรม

**ที่มาของภาพต้นฉบับ:** [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องอุตสาหกรรมกับกล้องเว็บแคม

| กล้อง | ชนิด | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|---|
| | Industrial Camera | -สัญญาณรบกวนต่ำ<br>-เลนส์ : C mount | -มีราคาแพง<br>-ความละเอียดต่ำ 0.3 ล้านพิกเซล |
| | กล้องเว็บแคม LifeCam Studio | -เซนเซอร์ : CMOS<br>-ความละเอียดสูง 5 ล้านพิกเซล<br>-ขนาดภาพสูงถึง(1920x1080)<br>-Auto โฟกัส<br>-ถ่ายภาพนิ่ง 30 FPS | -สัญญาณรบกวนสูง<br>-Software พัฒนาเอง |

**4.4.5 เลนส์(Loupe lens)**

เลนส์มีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เพราะจำเป็นต้องหาค่ากำลังการขยายของวัตถุหรือพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ กำลังการขยายมีตั้งแต่ 10x, 15x, 22x, 30x,..... มีให้เลือกหลายดีซายน์ แต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกขนาด 40x หรือมีกำลังการขยาย 40 เท่า โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์อยู่ที่ 25 ม.ม. มาเพื่อต้องการขยายส่วนจุดที่เล็กสุด 0.55 ม.ม. โดยเลนส์ที่อยู่ใกล้วัตถุเรียกว่าเลนส์นูน มีความยาวโฟกัสสั้น โดยมีวิธีการหาความยาวโฟกัสดังนี้

**รูปที่ 4.16** ภาพแสดงเลนส์(Loupe lens)ขนาด 40x

การหาขนาดของวัตถุจากกำลังการขยายภาพ

จากสูตร $$\text{กำลังการขยายภาพ} = \frac{\text{ขนาดของภาพ}}{\text{ขนาดวัตถุ}}$$

ขนาดของภาพ = 0.55x1,000 = 550 μm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังการขยาย = 40

แทนค่าในสูตรจะได้ ขนาดของภาพ = 40 x 550 µm.

= 22,000 µm.

ฉะนั้นอัตราขยาย 40x ของขนาดภาพจริง = 22 mm.

ภาพที่เรามองเห็นจะมีขนาด

#### 4.4.6 แสงสว่าง(Lighting Method)

ความสมบูรณ์และความสว่างของภาพมาเป็นตัวเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบันในการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือตัดสินใจซึ่งภาพต้นแบบจะต้องสามารถเป็นตัวแทนของภาพทั้งหมดได้ เพราะฉะนั้นการที่เราเลือกใช้แสงให้ถูกต้องและควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ในขณะที่บันทึกภาพต้นแบบและในขณะที่เดินเครื่องการผลิตจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกใช้เป็นหลอดชนิด LED ดังรูปที่ 4.17

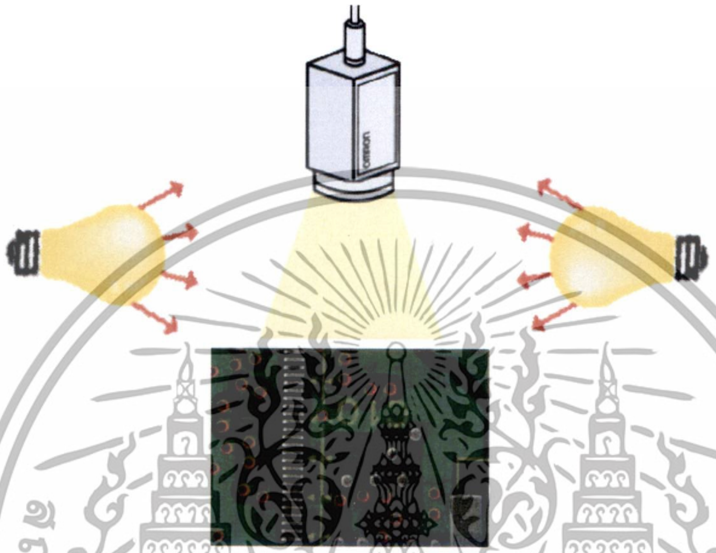
**รูปที่ 4.17** ภาพแสดงการให้แสงสว่าง(Lighting Method)

**ตารางที่ 4.2** ตารางแสดง Light Source ประเภทต่าง

| ชนิด | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| Halogen | -ให้ค่าแสงที่คงที่ | -กำเนิดความร้อน |
| Fluorescent | -ให้แสงนวลปกติ | -ต้องการความถี่สูง<br>-มีการแกว่งของแสง |
| LED | -ให้ความหนาแน่นแสงคงที่<br>-อายุการใช้งานนาน<br>-มีขนาดเล็ก | -ปริมาณแสงปรับได้มีค่าน้อย<br>-พื้นที่ใหญ่ๆจะให้แสงไม่เพียงพอ |
| Laser | -ให้แสงที่มีความเข้มสูง<br>-แสงมีลักษณะเป็น Liner | -ราคาแพง<br>-ระบบยุ่งยาก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการให้แสงแก่วัตถุที่ทำการวัดแสงสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของวัตถุที่ทำการวัด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองให้แสงแก่วัตถุมาทั้งหมด 3 วิธีและ วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ คือ การให้แสงในแนวตั้งฉากกับกล้อง Camera เป็นแนววงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 มม. เพื่อที่จะทำให้แสงจาก LED ไม่ตกกระทบบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้วสะท้อนกลับมายังกล้องทำให้เกิดภาพที่ไม่สมดุลแสงได้ แสดงในภาพที่ 4.18



**รูปที่ 4.18** ภาพแสดงการให้แสงสว่างในแนวตั้งฉากกับกล้อง

**4.4.7 การเชื่อมต่อระหว่าง IAI คอนโทรเลอร์กับแป้นพิมพ์**

IAI Protocol B คือชุด Protocol สำเร็จรูปเพื่อใช้ในการติดต่อระหว่าง IAI คอนโทรเลอร์กับระบบเครือข่ายภายนอก และความหมายของ Parameter แต่ละตัว ประกอบด้วย Send & Receive format เมื่อทำการส่ง command ออกไป Controller จะส่ง Response กลับมาอัตโนมัติทันที

คำสั่ง Command Format

**Header** เป็นสัญลักษณ์แทนด้วยการเริ่มต้นการส่งหรือรับ command Controller จะรับรู้ว่ามี command ส่งมาเมื่อตรวจสอบเจอ Header และ Header แทนด้วย

! สำหรับ การส่ง command

# สำหรับ Response (ในกรณีปรกติ)

& สำหรับ Response (ในกรณีเกิด Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Station** คือการระบุ Address ของตัว controller ที่ต้องการส่งคำสั่งไป โดย Station จะเป็น Hex (2bytes) เราต้องทำการแปลงค่าที่ใส่ใน I/O parameter 91 เช่นถ้า Controller Address = 153(d), Station จะเท่ากับ 99(h)

**Message ID** คือ code ของชุดคำสั่ง เพื่อระบุว่าคำสั่งนี้จะสั่งให้ทำอะไร เป็น Hex (3 bytes) เช่น code 232(h) สั่งให้ servo on/off, code 233(h) สั่ง Home เป็นต้น

**Content of Command** คือข้อมูลเพื่อขยายส่วนของ Message ID คำสั่งแต่ละคำสั่งจะมีความยาวของ Message ID ไม่เท่ากัน

**SC > Check Sum** คือการเข้ารหัสเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง ซึ่งจะได้จากการคำนวณ

**CR,LF** คือ(carriage return, line feed) คอนโทรโค๊ดของ ASCII สำหรับ IAI protocolจะเป็นสัญลักษณ์แทนการสิ้นสุดของการส่งชุดคำสั่ง controller จะทราบว่าคำสั่งถูกส่งมาเรียบร้อยแล้วเมื่อตรวจเจอ CR และ LF

การเข้ารหัสตัวอักษร รหัสแอสกี เป็นรหัสที่นิยมใช้กันมาก จนสามารถนับได้ว่าเป็นรหัสมาตรฐานที่ใช้ใน การสื่อสารข้อมูล ( Data Communications) ซึ่งจำเป็นต้องใช้รหัสการแทนข้อมูลเป็นระบบเดียวกัน เพื่อให้สามารถรับ - ส่งข้อมูลได้ในความหมายเดียวกัน รหัสแอสกีใช้เลขฐานสอง 8 หลักแทนข้อมูลหนึ่งตัว นั่นคือ 1 ไบต์มีความยาวเท่ากับ 8 บิต รวมทั้งมีการแบ่งรหัสออกเป็นสองส่วน คือโซนบิต (Zone bits) ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายมีจำนวน 4 บิตและนิวเมอริกบิต (Numeric bits)ในอีก 4 บิตที่เหลือ เช่น ถ้าเรากดตัว A จะมีค่าเท่ากับ 41(h), != 21(h) โดยดูได้จากตารางการเข้ารหัสตัวอักษร ASCII มาตรฐาน ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ตารางรหัสตัวอักษร ASCII Chart (Hex)

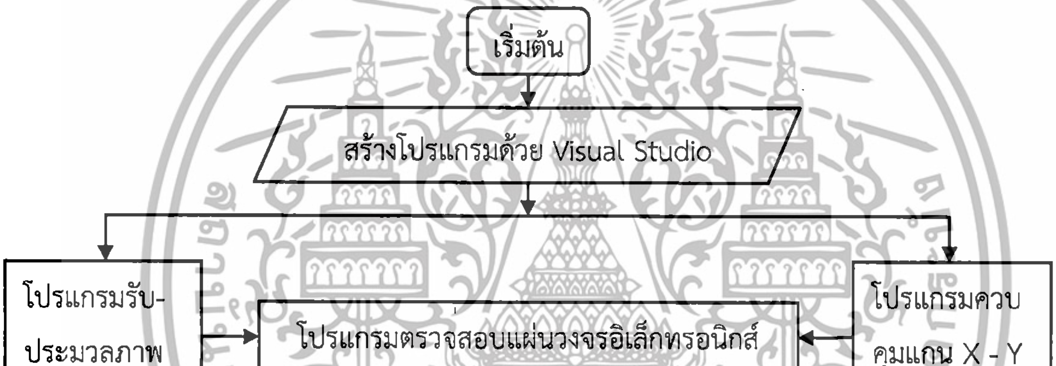
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | NL | SH | SX | EX | ET | EQ | AK | BL | BS | HT | LF | HM | CL | CR | SO | SI |
| 1 | DE | D1 | D2 | D3 | D4 | NK | SN | EB | CN | EM | SB | EC | → | ← | ↑ | ↓ |
| 2 | SP | ! | " | # | $ | % | & | ' | ( | ) | * | + | , | - | . | / |
| 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | : | ; | < | = | > | ? |
| 4 | @ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
| 5 | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | [ | \ | ] | ^ | _ |
| 6 | ' | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 7 | p | q | r | s | t | u | v | w | x | y | z | { | \| | } | ~ | DL |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ขั้นตอนการทดลอง

### 4.5.1 การออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้วยภาพ

งานวิจัยนี้ต้องการที่จะสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจสอบคุณภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการประมวลผลภาพแทนการทำงานของมนุษย์ด้วยสายตา ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะสร้างระบบตรวจสอบด้วยภาพนี้ โดยใช้ซอฟแวร์ Visual Studio กับกล้องเว็บแคมตรวจสอบสำหรับการประมวลผลภาพที่มีความสามารถในการตรวจจับสี RGB บริเวณพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบ โดยการเปรียบเทียบเม็ดสี RGB กับภาพต้นแบบ โปรแกรมตรวจสอบ จะแสดงผลเป็นกราฟฮีตโทแกรมที่มีจำนวนเม็ดสี RGB ที่รวมกัน ในกราฟฮีตโทแกรมจากวัตถุภาพ (กว้างxยาว มิลลิเมตร) การกำหนดภาพต้นแบบนั้นซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ทางโรงงานผู้ผลิตยอมรับได้โดยไม่ต่ำกว่า 80% ของพื้นที่ และไม่เกิน 130 ของพื้นที่ ฉะนั้นถ้าไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนข้อกำหนด โปรแกรมจะแสดงผลไม่ผ่าน “NG” โดยมีรายละเอียดกระบวนการดังรูปที่ 4.19

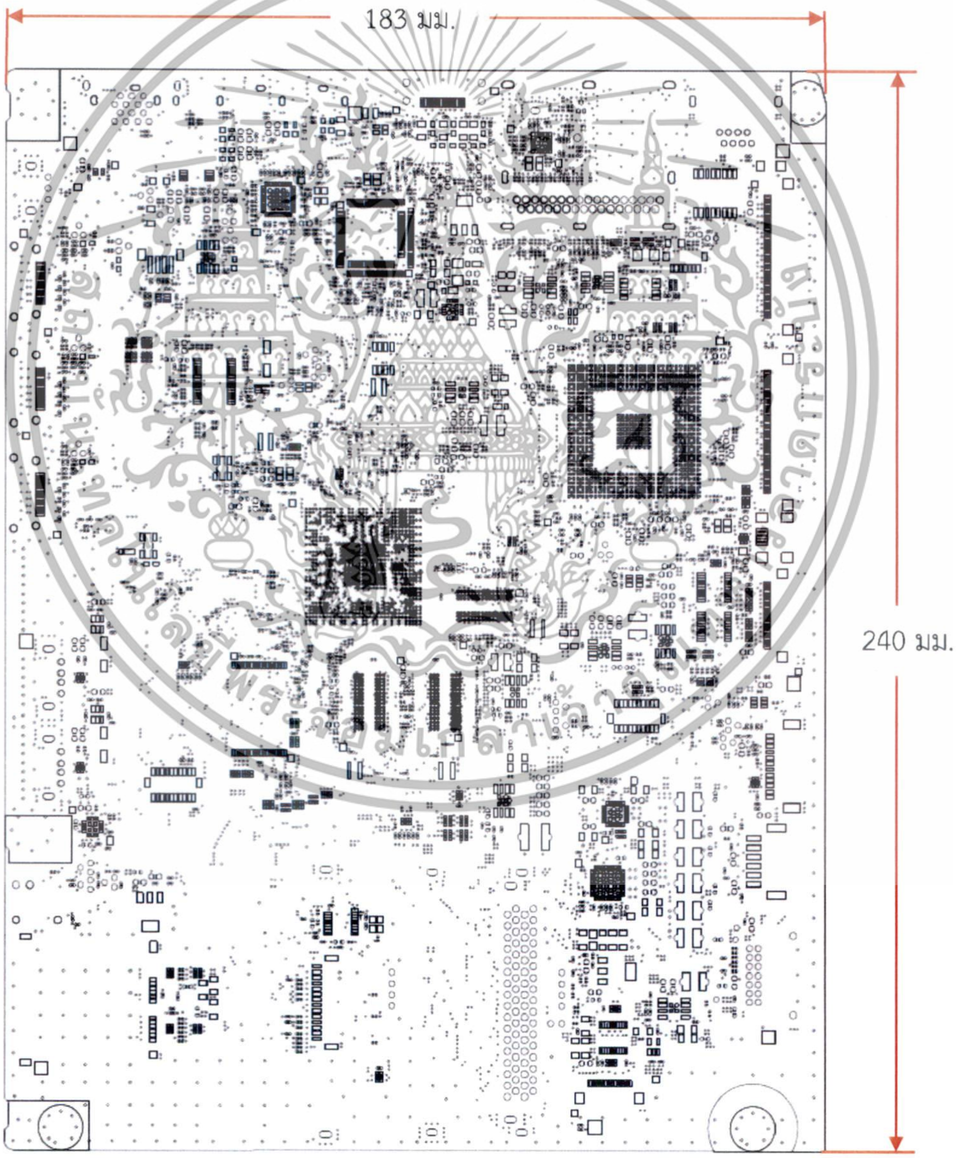



**รูปที่ 4.19** ภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์การตรวจสอบด้วยภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

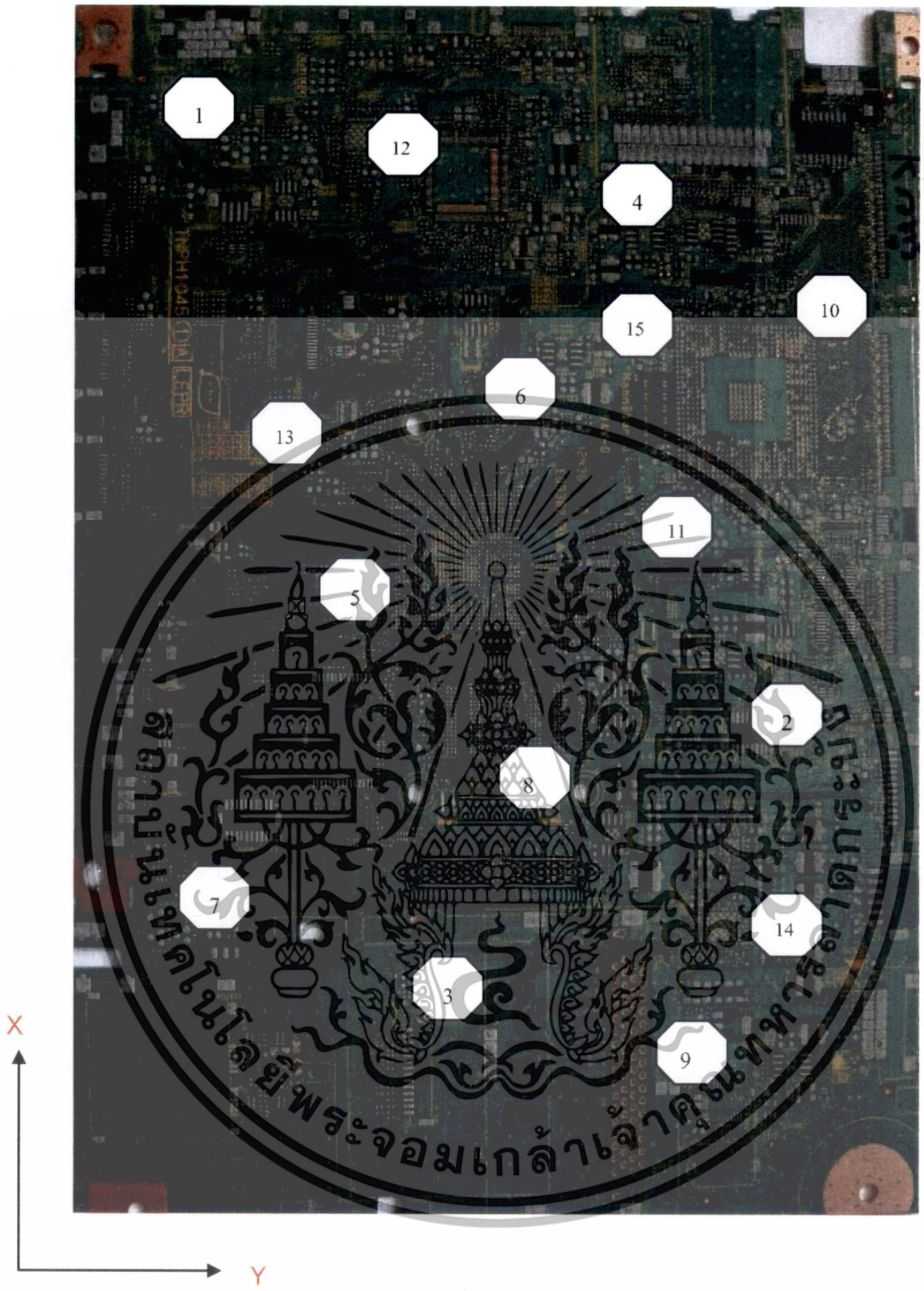
**4.5.1.1 ชิ้นงานตรวจสอบ**

สำหรับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพิมพ์ตะกั่วมาแล้วจำนวน 4 แผ่น และยังไม่ผ่านกระบวนการต่อไปในกระบวนการผลิต SMT และ 1 แผ่นแรกใช้สำหรับบันทึกเป็นภาพต้นแบบ อีก 3 แผ่นใช้สำหรับตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทดสอบมีขนาด 183x240 มม. ตรวจสอบทั้งหมดบนแผ่น 15 จุดตรวจสอบ ขนาดที่เล็กที่สุดคือ 0.55 มม. โดยจุดตรวจสอบนั้นส่วนหนึ่งจะกำหนดมาจากปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอีกส่วนหนึ่งเป็น Step กับตรวจสอบจากอีกจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งเพื่อให้เห็นระยะขจัดที่แตกต่าง แสดงดังรูปที่ 4.21 และขนาดของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 4.20




**รูปที่ 4.20** ภาพแสดงขนาดของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

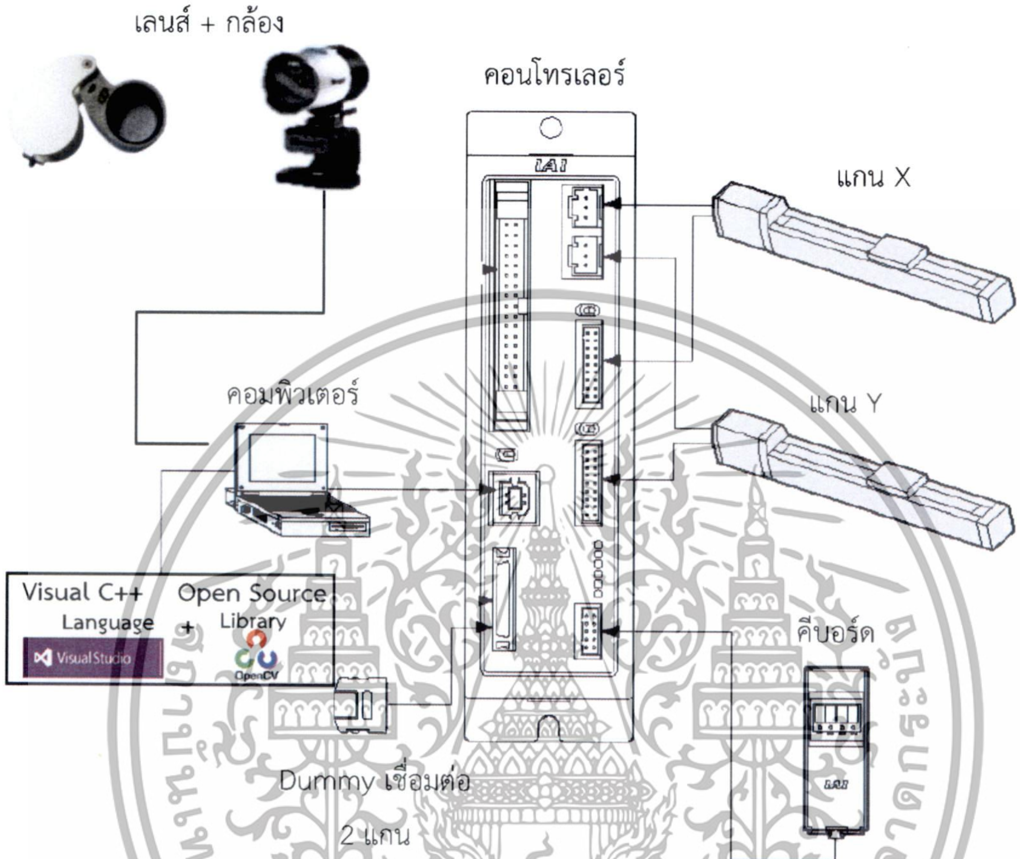



**รูปที่ 4.21** ภาพแสดงตำแหน่งที่ใช้ในการตรวจสอบ 15 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.2 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบด้วยภาพ

ในกระบวนการตรวจสอบด้วยภาพนั้นมีอุปกรณ์ที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

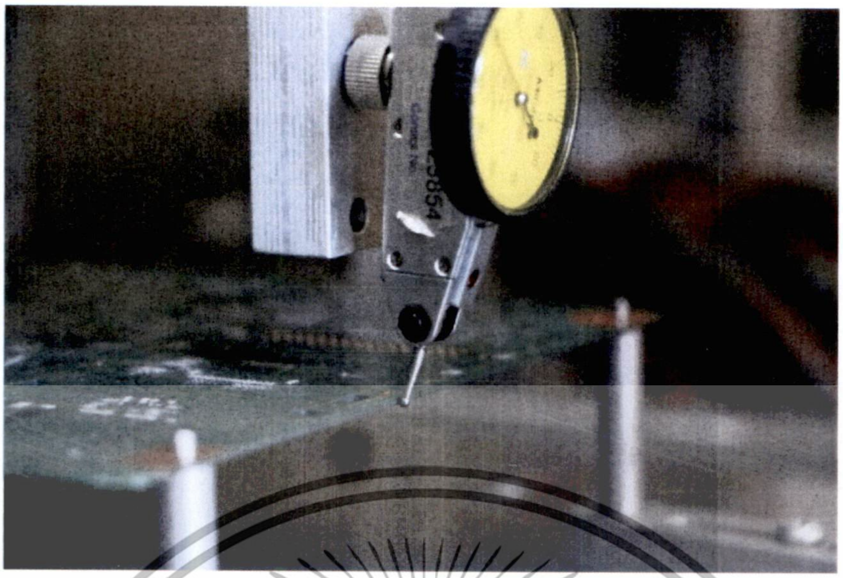



**รูปที่ 4.22** ภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์การตรวจสอบด้วยภาพ

### 4.5.3 การเตรียมการทดลอง

หลังจากที่ทำการจัดเตรียมเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จากนั้นต้องทำการ Setting แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจสอบ ให้ขนานกับแกนการเคลื่อนที่ X และ Y โดยนำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปวางบน Jig สำหรับตรวจสอบแล้วใช้ Dual Gage ความละเอียด 2 μm. ยึดติดบนแกน X ให้ด้านปลายเข็มแตะที่ขอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แล้วควบคุมให้แกน X เคลื่อนที่โดยใช้ Key board ใน Mode Jog. ค่อยๆเลื่อนในแนวแกน X จนได้ค่าที่ขนานกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และในแนวแกน Y ก็ปฏิบัติตามขั้นตอนนี้เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



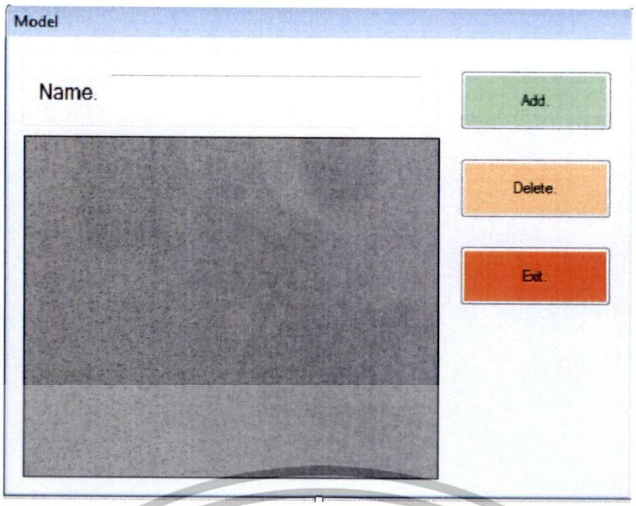
**รูปที่ 4.23** ภาพแสดงการการ Setting แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจสอบ

**4.5.4 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม Visual Studio ตรวจสอบภาพ**

ในขั้นตอนการตรวจสอบภาพนี้ต้องตรวจสอบว่าเราได้ทำการติดต่อกับกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งอยู่บนแกน Y แล้วหรือยังในการทำ Image Processing นั้น จะมี API ที่รองรับอยู่ ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ OpenCV เพราะว่า OpenCV นั้น เป็น Library ที่ใช้ในภาษา C/C++ ลักษณะโครงสร้างข้อมูลของมันคือ Pointer ทำให้การเข้าถึงข้อมูลนั้นทำได้อย่างรวดเร็ว แต่การนำมาใช้ใน C# นั้น บางทีก็อาจเกิดปัญหาขึ้นบ้าง เพราะว่า C# ไม่รองรับ Pointer ดังนั้นผู้จัดทำงานวิจัยนี้นี้เลยไปหา API ที่มีลักษณะคล้าย ๆ OpenCV ที่ใช้กับ C# มา ที่เรียกว่า Emgu เราจึงได้นำ Emgu มาทำการเชื่อมต่อกับเว็บแคมแทน แล้วจึงนำภาพที่ได้มาใช้โดย OpenCV อีกที ปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในการนำรูปภาพมาแสดงใน PictureBox นั้นเราใช้เป็น Bitmap ซึ่งใน C# นั้นเราสามารถเข้าไปแก้พวกค่า RGB/HSV ของ Bitmap ได้เลย แต่ว่ามันช้า เราจึงต้องใช้โครงสร้างข้อมูลของ OpenCV แทน แล้วค่อยแปลงมาเป็น Bitmap เพื่อแสดงใน PictureBox อีกที ทำการสร้างหน้าต่างของโปรแกรมโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการสร้างหน้าต่าง การบันทึกภาพโดยมีขนาด 1x1 นิ้ว หรือมีขนาด 5184 พิกเซล โดยหน้าต่างชื่อ แสดงให้เห็นถึงภาพถ่าย Step ที่ 1 ในการทดลองนี้ตั้งชื่อว่า “Mate_1” ตามลำดับ โดยด้านล่างชื่อจะมีแสดงภาพที่ถ่ายในแต่ละ Step สามารถเพิ่มหรือลบภาพออกได้ ถ้าภาพที่ได้มีความไม่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



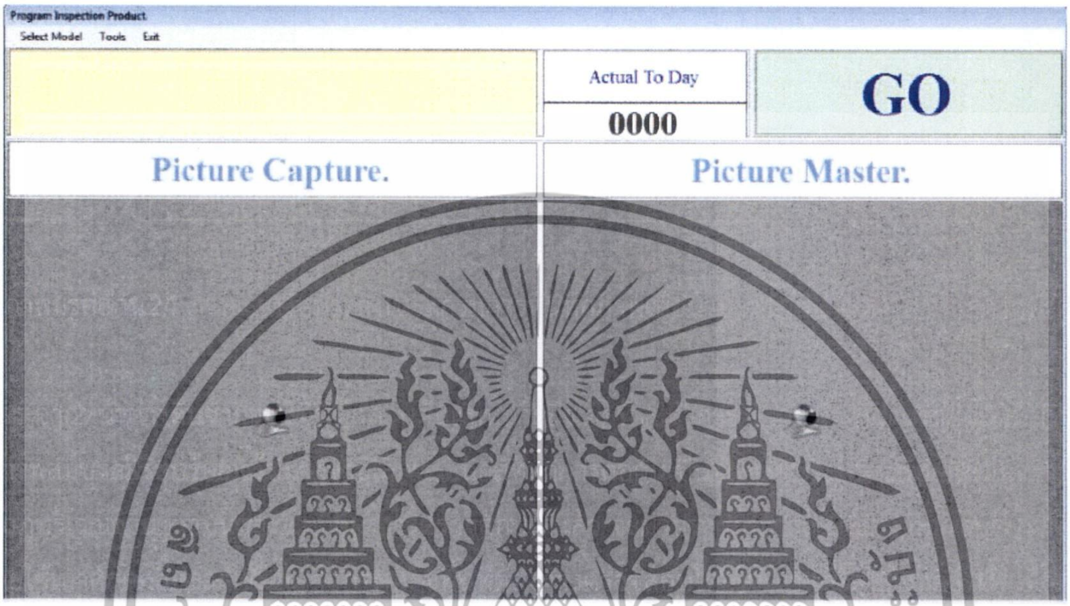

**รูปที่ 4.24** ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการบันทึกภาพเพื่อนำภาพมาต่อกัน

2. การสร้างหน้าต่างบันทึกภาพต้นแบบหมายถึง จุดที่จะทำการ จากหน้าต่างด้นซ้ายจะเป็นภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการต่อกันเป็นภาพสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว เมื่อเลือกภาพบริเวณต้องการตรวจสอบได้แล้ว จะมาปรากฏบริเวณด้านขวาบนของโปรแกรมจากนั้นเลือกจุดหรือพื้นที่ต้องการตรวจสอบโดยใช้เมาส์กดคลิ๊กลากเป็นเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมภาพที่ต้องการตรวจสอบจริงจะปรากฏด้านล่างขวามือตั้งชื่อแล้วกดบันทึกภาพเป็นภาพต้นแบบ ได้ดังรูปที่ 4.25

**รูปที่ 4.25** ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการบันทึกภาพต้นแบบ

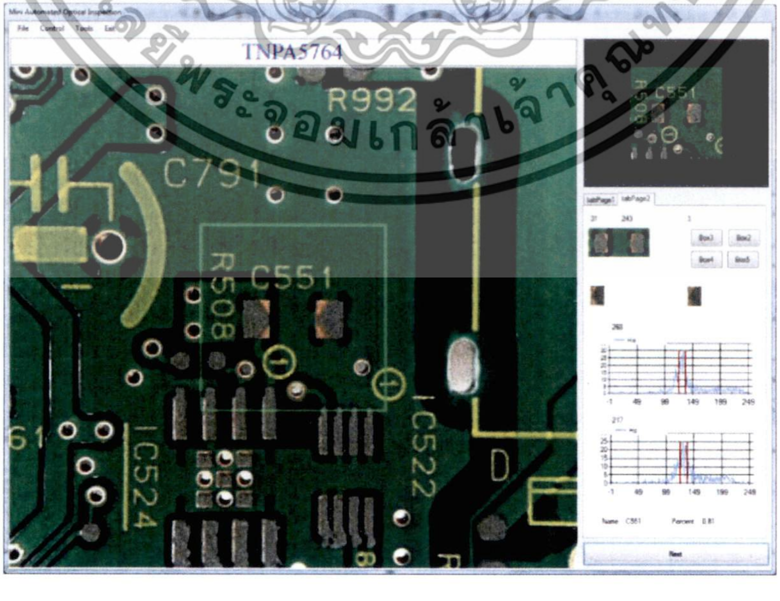
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้างหน้าต่างการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่ได้บันทึกไว้และมีเงื่อนไขคือค่าเม็ดสี RBG จากกราฟฮีสโทแกรมเมื่อคิดเป็นเปอร์จากภาพต้นแบบต้องไม่ต่ำกว่า 80% ของพื้นที่ และไม่เกิน 130 ของพื้นที่ ฉะนั้นถ้าผิดเงื่อนไขโปรแกรมจะแสดงคำว่า “NG” ถ้าอยู่ภายใต้เงื่อนไขโปรแกรมจะแสดงคำว่า “OK” ได้ดังรูปที่ 4.26




**รูปที่ 4.26** ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ

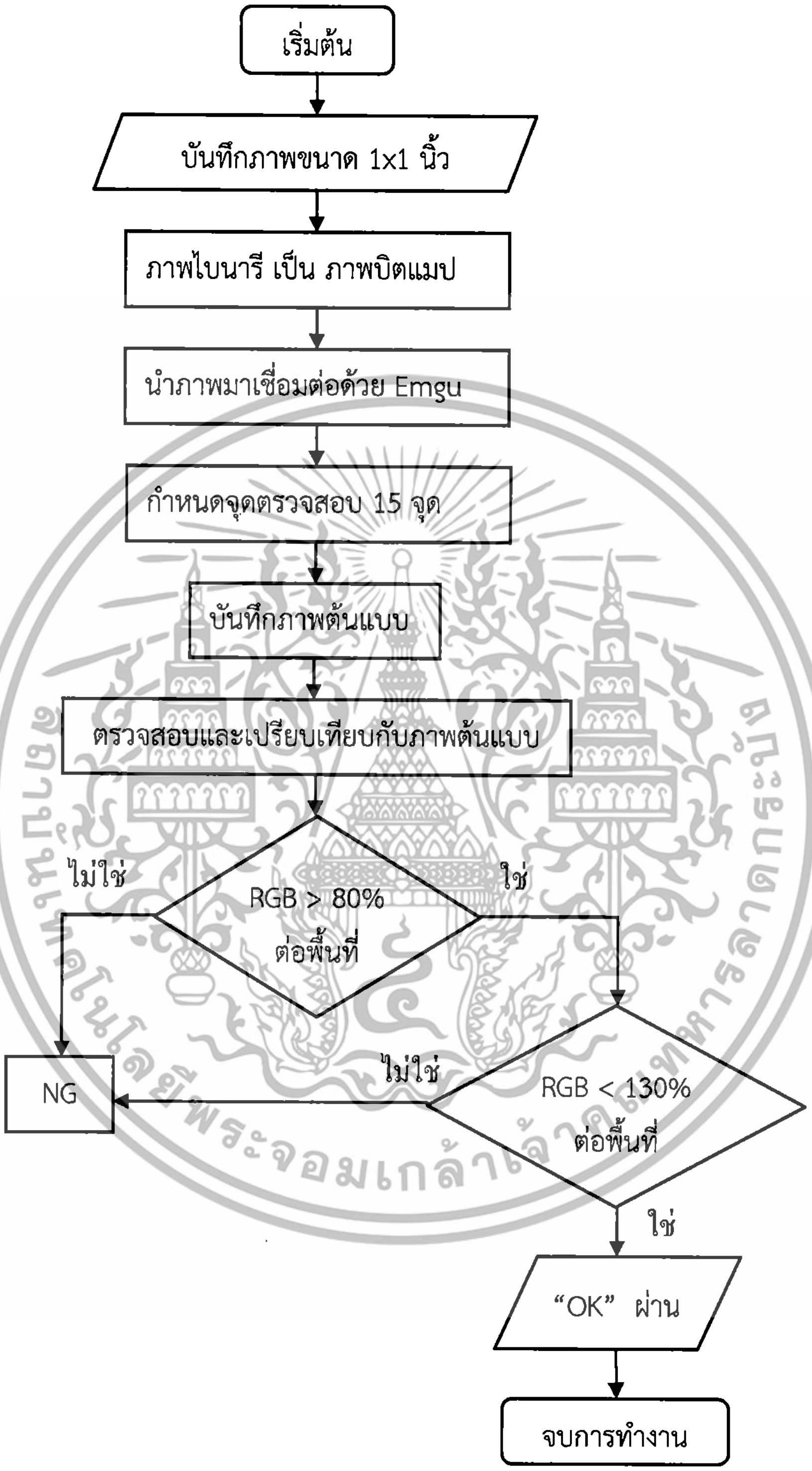
4. การสร้างหน้าต่างการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่แสดงเม็ดสี RGB ออกมาเป็นกราฟฮีสโทแกรม ดังรูปที่ 4.27




**รูปที่ 4.27** ภาพแสดงหน้าต่างโปรแกรมการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4.1 Flow Chart สำหรับการประมวลผลภาพ




**รูปที่ 4.28** ภาพแสดง Flow Chart ของการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.5 เทคนิคการใช้กราฟอิตโทแกรมเชื่อมโยงกับพื้นที่

งานอัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลภาพ บิตแมป (Bitmap) เป็นภาพแปรผันตามความละเอียดแบบ (Resolution Dependent) ประกอบขึ้นด้วยจุดสีต่างๆ ที่มีจำนวนคงที่ตายตัวตามการสร้างภาพที่มีความละเอียดของภาพต่างกันไป หากขยายภาพบิตแมป ก็จะพบว่ามีลักษณะเป็นตาราง เล็กๆซึ่งแต่ละบิตคือ ส่วนหนึ่งของข้อมูลคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบิตแมปมีค่า Pixel จำนวนคงที่จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องการขยายขนาดภาพไม่ส่งผลต่อจำนวนพิกเซลที่อยู่ในภาพ

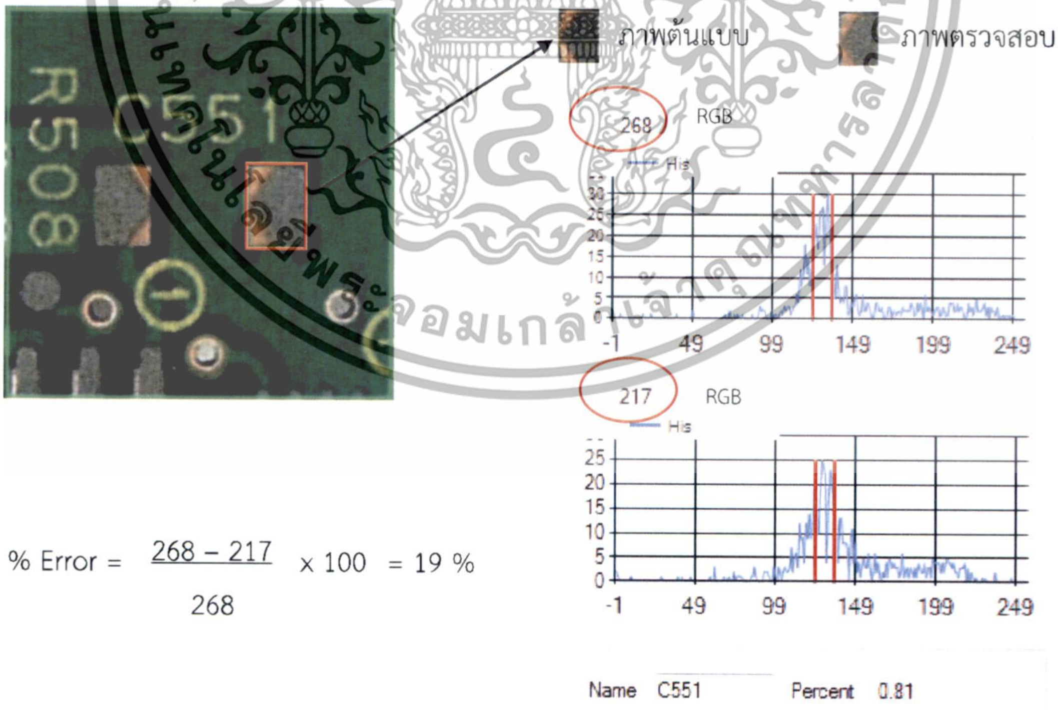
การสร้างฮิสโทแกรมของภาพสี (Color Histogram) โดยทั่วไปทำได้ 2 ลักษณะ คือ การสร้างฮิสโทแกรมแบบแยกองค์ประกอบ และการสร้างฮิสโทแกรมสีแบบรวมองค์ประกอบ (1)

1. การสร้างฮิสโทแกรมแบบแยกองค์ประกอบ โดยจะแสดงฮิสโทแกรมจากแบบจำลองสี RGB คือแยกแสดงให้เห็นในแต่ละสีกันไปเลย ช่วงค่าที่ได้ของปริภูมิ RGB: R [0, 255] - G [0, 255] - B [0, 255]

2. การสร้างฮิสโทแกรมแบบรวมองค์ประกอบ การแสดงฮิสโทแกรมแบบนี้เราจะต้องเปลี่ยนปริภูมิสีเดิมคือ RGB ไปเป็นปริภูมิอื่น

สำหรับการทดลองนี้เป็นการสร้างฮีตโทแกรมแบบรวมองค์ประกอบด้วยเม็ดสี RGB รวมกัน ให้โปรแกรมแสดงเป็นฮีตโทแกรมเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบและแสดงจำนวนเม็ดสี RGB จากนั้นนำไปคำนวณหาผล Error ต่อพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 4.29

คิดเป็นพื้นที่ nxy.




$$\% \text{ Error} = \frac{268 - 217}{268} \times 100 = 19\ \%$$

**รูปที่ 4.29** ภาพแสดงจำนวนเม็ดสี RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.6 ภาพรวมของการใช้งานเครื่องต้นแบบ

ทำการกดปุ่ม SO (Servo ON) เพื่อสตาร์ทจากนั้นกด H (Home) ก่อนทุกครั้งก่อนเริ่มต้นใช้งานเพื่อให้ Robo Cylinder อยู่ที่ตำแหน่ง X=0, Y=0 จากนั้นทำการ Move กล้องไปยังตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบโดยใช้ปุ่ม ขึ้น-ลง และ ซ้าย-ขวา แล้วกดปุ่ม Set point ไว้ ใช้เมาส์ลากครอบคลุมภาพตรงจุดที่ต้องการตรวจสอบแล้วกดปุ่ม Cap Picture ตรวจสอบดูภาพถ้าตรงตามตำแหน่ง กด Save Picture แล้วกดปุ่ม Button9 เพื่อบันทึกเป็น Point แล้วจึงย้ายไปตำแหน่งถัดไป หลังจากได้ภาพต้นแบบแล้วเปลี่ยนแผ่น PCB ที่มีการพริ้นตะกั่ว วางที่ตำแหน่งเดิม หน้าโปรแกรมถัดไป กด BOX1 กล้องตรวจจับจะเลื่อนไปตำแหน่งที่เซตไว้ประมวลผลภาพเปรียบเทียบภาพต้นแบบแสดงเป็นกราฟฮีสโทแกรมและแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์

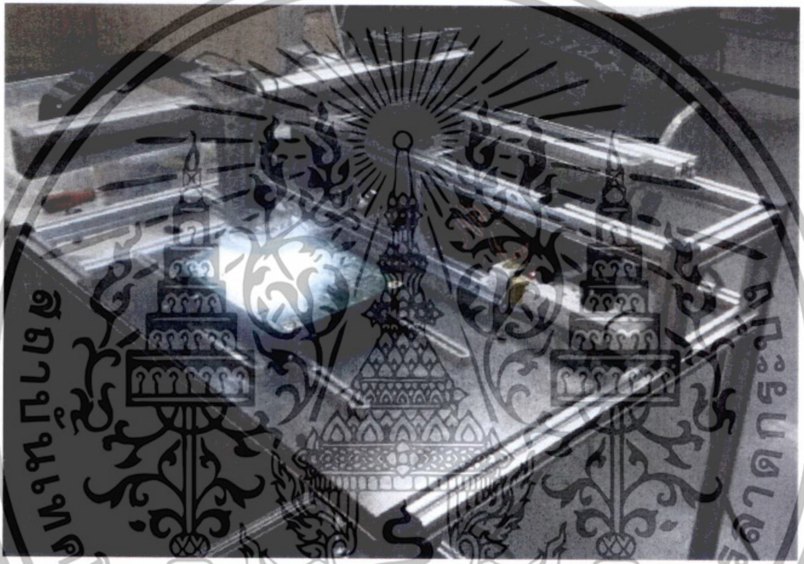
**รูปที่ 4.30** ภาพแสดงวิธีการทำงานของ X-Y Table โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

สำหรับงานวิจัยนี้จะนำเสนอผลการดำเนินงานสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แบบอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยกระบวนการวิจัยนี้ได้มีการทำงานร่วมกันทั้ง 2 ระบบ คือระบบการทำงานของชุดเคลื่อนอัตโนมัติ และระบบการทำงานของการตรวจสอบด้วยภาพ จึงต้องทำการทดสอบระบบการเคลื่อนให้สมบูรณ์ก่อนที่จะนำมาทางานร่วมกันกับการตรวจสอบด้วยภาพ เพื่อการทำงานถูกต้องและแม่นยำ



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ตรวจจับข้อบกพร่องบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

## 5.1 การสอบเทียบความแม่นยำของระบบเคลื่อนที่

ก่อนการทดลองการตรวจสอบด้วยภาพ ผู้วิจัยต้องทำการสอบเทียบแกนการเคลื่อนที่ X-Y เพราะว่าชุดการการเคลื่อนที่เป็นชุดสำเร็จรูปของ IAI ที่ผู้วิจัยจัดหามาเพื่อทำการทดลองการตรวจสอบด้วยภาพเท่านั้น จึงต้องทราบค่า Error ของแกนการเคลื่อนที่ X-Y เพื่อนำไปพิจารณาประกอบผลการทดลอง ทำการสอบเทียบโดยให้แกน Y หยุดนิ่งให้แกน X จากตำแหน่ง Home เคลื่อนที่ไปในระยะ 0.3 m. แล้วกลับมายังตำแหน่ง Home เหมือนเดิมโดยใช้ความเร็ว 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 m/sec. ตามลำดับ ได้โดยวิธีใช้ Dial Gage ความละเอียด 2 µm. Setting ให้เป็น 0 ไว้ที่ตำแหน่ง Home จากนั้นดูค่า Error จาก Dial Gage ในแต่ละครั้ง ในแกน Y สอบเทียบตามขั้นตอนเช่นเดียวกันกับแกน X ดังตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** แสดงผลการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

| | | ระยะที่คลาดเคลื่อน ณ.ตำแหน่ง Home แนวแกน X (μm.) | | | | | | | | | | Avg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | (μm) |
| ความเร็ว (m/sec) | 0.1 | 18 | 22 | 16 | 30 | 28 | 20 | 24 | 18 | 16 | 20 | **21.2** |
| | 0.2 | 20 | 16 | 20 | 28 | 18 | 20 | 30 | 16 | 14 | 18 | **20.0** |
| | 0.3 | 18 | 18 | 28 | 18 | 22 | 20 | 16 | 14 | 18 | 16 | **18.8** |
| | 0.4 | 20 | 26 | 24 | 18 | 16 | 20 | 28 | 16 | 14 | 20 | **20.2** |
| | 0.5 | 22 | 24 | 30 | 18 | 22 | 14 | 28 | 20 | 18 | 22 | **21.8** |

สรุปผลการสอบเทียบค่า Error ในแนวแกน X ได้ว่าที่ความเร็ว 0.1 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 21.1 μm = 0.0212 มม. , ที่ความเร็ว 0.2 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 20.0 μm = 0.0200 มม. , ความเร็ว 0.3 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 18.0 = 0.0180 มม. , ความเร็ว 0.4 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 20.2 = 0.0202 มม. , ความเร็ว 0.5 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 21.8 = 0.0218 มม. แสดงวิธีการสอบเทียบดังรูปที่ 5.2

**รูปที่ 5.2** ภาพแสดงการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.2** แสดงผลการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

| | | ระยะที่คลาดเคลื่อน ณ.ตำแหน่ง Home แนวแกน Y (μm.) | | | | | | | | | | Avg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| ความเร็ว (m/sec) | 0.1 | 12 | 14 | 10 | 16 | 6 | 22 | 12 | 18 | 10 | 16 | **13.6** |
| | 0.2 | 14 | 18 | 8 | 14 | 10 | 20 | 12 | 6 | 8 | 16 | **12.6** |
| | 0.3 | 8 | 12 | 10 | 18 | 20 | 6 | 10 | 12 | 16 | 22 | **13.4** |
| | 0.4 | 6 | 10 | 12 | 20 | 16 | 8 | 20 | 16 | 12 | 20 | **14.0** |
| | 0.5 | 10 | 8 | 16 | 6 | 18 | 10 | 8 | 20 | 16 | 14 | **12.6** |

สรุปผลการสอบเทียบค่า Error ในแนวแกน Y ได้ว่าที่ความเร็ว 0.1 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 13.6 μm = 0.0136 มม. , ที่ความเร็ว 0.2 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 12.6 μm = 0.0126 มม. , ความเร็ว 0.3 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 13.4 = 0.0134 มม. , ความเร็ว 0.4 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 14.0 = 0.0140 มม. , ความเร็ว 0.5 m/sec. ค่าเฉลี่ยเป็น 12.6 = 0.0126 มม. แสดงวิธีการสอบเทียบดังรูปที่ 5.3

**รูปที่ 5.3** ภาพแสดงการสอบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 1

การตรวจสอบด้วยภาพที่ออกแบบและประมวลผลโดยโปรแกรม Visual Studio โดยการประมวลผลจำต้องคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้ง ความเร็ว ระยะทาง ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ

**ตารางที่ 5.3** แสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 1

| | | % สี RGB ในแต่ละจุด | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จุดตรวจสอบ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ระยะขจัด (cm.) | | 4.24 | 17.02 | 11.23 | 16.86 | 10.63 | 7.38 | 11.34 | 5.66 | 7.21 | 15.65 | 5.93 | 6.11 | 6.74 | 14.72 | 12.51 |
| % สี RGB ภาพต้นแบบ | | 91 | 85 | 93 | 93 | 80 | 95 | 85 | 82 | 85 | 83 | 80 | 84 | 83 | 80 | 86 |
| ความเร็ว แกน X-Y m/sec | 0.1 | 92 | 83 | 91 | 93 | 81 | 89 | 88 | 83 | 86 | 87 | 80 | 85 | 85 | 82 | 89 |
| | 0.2 | 91 | 82 | 88 | 92 | 81 | 88 | 86 | 82 | 86 | 87 | 80 | 85 | 86 | 83 | 89 |
| | 0.3 | 89 | 83 | 82 | 91 | 82 | 88 | 86 | 82 | 85 | 85 | 80 | 85 | 84 | 82 | 88 |
| | 0.4 | 93 | 80 | 83 | 91 | 81 | 81 | 85 | 80 | 82 | 85 | 78 | 83 | 84 | 80 | 86 |
| | 0.5 | 83 | 80 | 81 | 89 | 81 | 77 | 83 | 80 | 82 | 82 | 77 | 83 | 84 | 81 | 86 |

**ตารางที่ 5.4** แสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 1

| การวิเคราะห์ | ความเร็วที่ใช้ (m/sec.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| ค่าเฉลี่ย % ความแม่นยำในการตรวจสอบ | 86 | 85 | 84 | 83 | 81 |
| ค่าเฉลี่ย % Error เทียบกับภาพต้นแบบ | -0.6 | 0.46 | 1.06 | 1.26 | 1.66 |

จากผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.2 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error น้อย 0.46% เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ และค่าเฉลี่ย Error มากสุดที่ความเร็ว 0.5 m/sec. , 1.66%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 2

**ตารางที่ 5.5** แสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 2

| | | % สี RGB ในแต่ละจุด | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จุดตรวจสอบ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ระยะขจัด (cm.) | | 4.24 | 17.02 | 11.23 | 16.86 | 10.63 | 7.38 | 11.34 | 5.66 | 7.21 | 15.65 | 5.93 | 6.11 | 6.74 | 14.72 | 12.51 |
| % สี RGB ภาพต้นแบบ | | 91 | 85 | 93 | 93 | 80 | 95 | 85 | 82 | 85 | 83 | 80 | 84 | 83 | 80 | 86 |
| ความเร็ว แกน X-Y m/sec | 0.1 | 85 | 88 | 88 | 93 | 85 | 89 | 88 | 82 | 85 | 87 | 80 | 84 | 85 | 81 | 88 |
| | 0.2 | 86 | 86 | 86 | 92 | 85 | 89 | 86 | 83 | 86 | 86 | 81 | 85 | 86 | 83 | 85 |
| | 0.3 | 84 | 85 | 85 | 91 | 83 | 88 | 86 | 82 | 82 | 85 | 80 | 84 | 84 | 82 | 88 |
| | 0.4 | 84 | 84 | 84 | 91 | 81 | 86 | 85 | 80 | 82 | 85 | 78 | 83 | 84 | 81 | 86 |
| | 0.5 | 82 | 82 | 82 | 89 | 82 | 86 | 83 | 81 | 80 | 82 | 77 | 83 | 82 | 81 | 87 |

**ตารางที่ 5.6** แสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 2

| การวิเคราะห์ | ความเร็วที่ใช้ (m/sec.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| ค่าเฉลี่ย % ความแม่นยำในการตรวจสอบ | 85 | 85 | 84 | 83 | 82 |
| ค่าเฉลี่ย % Error เทียบกับภาพต้นแบบ | 0 | 0 | 1.26 | 1.13 | 0.86 |

จากผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.1 และ 0.2 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error เท่ากับ 0.0% เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ และค่าเฉลี่ย Error มากสุดที่ความเร็ว 0.3 m/sec. , 1.26%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ผลการทดสอบระบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยภาพ แผ่นที่ 3

**ตารางที่ 5.7** แสดงผลการทดสอบหาข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่ 3

| | | % สี RGB ในแต่ละจุด | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จุดตรวจสอบ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ระยะขจัด (cm.) | | 4.24 | 17.02 | 11.23 | 16.86 | 10.63 | 7.38 | 11.34 | 5.66 | 7.21 | 15.65 | 5.93 | 6.11 | 6.74 | 14.72 | 12.51 |
| % สี RGB ภาพต้นแบบ | | 91 | 85 | 93 | 93 | 80 | 95 | 85 | 82 | 85 | 83 | 80 | 84 | 83 | 80 | 86 |
| ความเร็ว แกน X-Y m/sec | 0.1 | 84 | 82 | 88 | 93 | 86 | 91 | 94 | 83 | 86 | 87 | 80 | 81 | 85 | 82 | 86 |
| | 0.2 | 86 | 95 | 88 | 92 | 85 | 89 | 88 | 82 | 85 | 87 | 82 | 85 | 86 | 80 | 87 |
| | 0.3 | 91 | 82 | 85 | 93 | 89 | 88 | 86 | 80 | 82 | 85 | 81 | 84 | 94 | 82 | 88 |
| | 0.4 | 84 | 96 | 91 | 91 | 81 | 86 | 85 | 80 | 81 | 84 | 79 | 82 | 84 | 80 | 86 |
| | 0.5 | 82 | 81 | 82 | 89 | 82 | 85 | 83 | 78 | 80 | 80 | 80 | 83 | 83 | 81 | 84 |

**ตารางที่ 5.8** แสดงผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมกับการตรวจสอบ แผ่นที่ 3

| การวิเคราะห์ | ความเร็วที่ใช้ (m/sec.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| ค่าเฉลี่ย % ความแม่นยำในการตรวจสอบ | 85 | 87 | 85 | 84 | 83 |
| ค่าเฉลี่ย % Error เทียบกับภาพต้นแบบ | 0.06 | -1.33 | 1.33 | 0.86 | 1.53 |

จากผลการทดสอบหาความเร็วที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.1 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error เท่ากับ 0.06% เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ และค่าเฉลี่ย Error มากสุดที่ความเร็ว 0.5 m/sec เพราะมีค่าเฉลี่ย Error เท่ากับ 1.53%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 สามารถสร้างเครื่องต้นแบบในการตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหลักการทำงานเหมือนเครื่อง AOI โดยใช้กล้องเว็บแคมและเลนส์ขยายประกอบเข้าด้วยกันแทนกล้องอุตสาหกรรม ที่มีราคาสูงและขยายจุดที่เล็ก 0.55 mm. ได้

6.1.2 เชื่อมต่อระบบการทำงานระหว่างกลไกการเคลื่อน โดยถอดรหัส Command Format ชุด Protocol ของคำสั่งและระบบการรับภาพจากกล้อง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Visual Studio 2010 ได้

6.1.3 ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X-Y โดยใช้กล้องที่อ่านค่าแบบ Real Time แผ่น PCB ตัวอย่างที่ 1 ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.2 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error น้อย 0.46% แผ่น PCB ตัวอย่างที่ 2 ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.1 และ 0.2 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error เท่ากับ 0.0% แผ่น PCB ตัวอย่างที่ 3 ที่เวลา 1 วินาที ที่มีดีสุดคือ 0.1 m/sec. เพราะมีค่าเฉลี่ย Error เท่ากับ 0.06% ดังนั้นจึงควรใช้ความเร็วที่ 0.2 m/sec. ของเครื่องต้นแบบนี้ในการตรวจสอบแผ่น PCB

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 เนื่องจากเครื่องตรวจสอบต้นแบบเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัตินี้ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ภาพสาหรับการประมวลผล หากต้องการตรวจสอบเป็นระบบเวลาระยะยาว ระดับความเข้มของแสงในการทางานจึงมีผลต่อการประมวลผลด้วยภาพ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำต่าง ๆ ของค่าพารามิเตอร์

6.2.2 การทดลองในครั้งนี้บางประการจากกล้องเว็บแคม เนื่องจากประสิทธิภาพของกล้องที่นำมาใช้ตรวจสอบไม่สามารถเทียบเท่ากล้องตรวจจับในอุสาหกรรม (Industrial Camera) ได้ เมื่อกล้องมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว การบันทึกภาพในแต่ล่ะ Step บริเวณขอบภาพที่ทำการตัด/ต่อ มักเกิดปัญหาสีขอบภาพไม่เป็นขนาดเดียว กัน การทดลองแก้ไขโดยปรับความการถ่ายภาพให้ช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

[1] สมเกียรติ อุดมหรรษากุล. (2554). *การประมวลผลภาพดิจิตอลเบื้องต้น.* (พิมพ์ครั้งที่1). สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพมหานคร. ISBN 978-974-9918-75-3

[2] Ajay Pal Singh Chauhan, Sharat Chandra Bhardwaj. (2011). *Detection of Bare PCB Defects by Image Subtraction Method using Machine Vision*. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, Vol. 2, London, U.K.

[3] Sonal Kaushik, Javed Ashraf. *Automatic PCB Defect Detection using Image Subtraction Method.* (2012). International Journal of Computer Science and Network (IJCSN), Vol.1, Issue 5, October 2012

[4] Tae-Hyoung Park, Hwa-Jung Kim, and Nam Kim. (2006). *Path Planning of Automated Optical Inspection Machines for PCB Assembly Systems.* International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 4, no. 1, pp. 96-104, February 2006

[5] Theingi Aye, Aung Soe Khaing. (2014). *Automatic Defect Detection and Classification on Printed Circuit Board.* International Journal of Societal Applications of Computer Science. Vol. 3 Issue 3, March 2014, pp. 527-533

[6] Ismail Ibrahim, Syed Abdul Rahman Syed Abu Bakar, Musa Mohd Mokji, Jameel Abdulla Ahmed Mukrwd, Zulkifli MD Yusof, Zuwairie Ibrahim, Kamal Khalil, Mohd Saberi Mohamad. (2012). *A Printed Circuit Board Inspection System with Defect Classification Capability*. International Journal of Innovative Management, Vol. 3, Number 1, March 2012, pp. 82-87.

[7] Ang TeohOng, Zulkifilie Bin Ibrahim and Suzaimah Ramli, (2013). *Computer machine vision inspection on printed circuit boards flux defects*. American Journal of Engineering and Applied Sciences. 7, August 2013, pp. 263-273.

[8] L. Canan D¨ ulger and Ali Kirec¸ci. *Motion Control and Implementation for an AC Servomotor System*. Hindawi Publishing Corporation Modelling an Simulation in Engineering Volume 2007, 6 pages doi:10.1155/2007/50586

[9] L.Abdullah, Z.Jamaludin, Chiew T.H., N.A. Rafan, M.Y. Yuhazri. (2012). *Extensive Tracking Performance Analysis of Classical feedback control for XY Stage Ball screw drive system.* Applied Mechanics and Materials. Vol. 229-231 (2012) ppp. 750-755.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Ziegler, J.G., and Nichols, N.B., *Optimum Settings for Automatic Controllers, Transactions of The American Society of Mechanical Engineers (ASME).* v. 64, 1942, pgs. 759-768.

[11] ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ. 2535, *เจาะกึ๋น..หุ่นยนต์ควบคุมความเร็ว DCมอเตอร์ ด้วยระบบดิจิตอล เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* ฉ.114 (ก.พ. 2535): 143-148.

[12] Mr.Nattaphol Jasungnuen and Poolsak Koseeyaporn,Ph.D. *Digital Image Processing using Microsoft Visual C++ ,KMITNB.* Department of Teacher Training in Electrical Engineering

[13] Shenzhen Chuangjingrui Electronics Co.,Ltd. Loader Machine. [Online]. Available : http://www.szcjr.com/en/ pro.aspx?cid=428&Page=2

[14] Pentalogix Inc. SMT STENCILS & PASTE / SOLDER PASTE. [Online] Available : http://www.pentalogix.com/ solder-paste.php

[15] Inside the Factory Walls. 2010. American Innovative Klip Timer PCB. [Online] Available: http://techcrunch.com/2010/05/01/ going-it-alone-part-iii-inside-the-factory-walls/

[16] อานนท์ จิตรกร. 2554. การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียกรณีศึกษา โรงงานประกอบอิเล็กทรอนิกส์ สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. [Online] Available: http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0572/ 03chapter2.pdf

[17] CASHIDO CORPORATION. Production Capacity. [Online] Available: http://www.cashido.com.tw/en/product/

[18] Spectra-Tech Manufacturing, Inc. Wave Soldering [Online] Available: http://www.spectratechmfg.com/facility-tour.htm

[19] ศูนย์ข้อมูลวิจัยแห่งชาติ. Digital image acquisition system Available: http://dric.nrct.go.th/ direct_fulltext.php? [Online]

[20] Shenzhen Southern Machinery Sales And Service Co., Ltd. SMT equipement Provider. [Online]. Available: http://www.smthelp.com/smt/ automatic-screen-printer

[21] IAI Industrieroboter GmbH · Ober der Röth 4 · D-65824 Schwalbach am Taunus. [Online]. Available: http://www.iai-gmbh.de/de/

[22] Microsoft LifeCam Studio. [Online]. Available: http://www.webcam2home.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก (APPENDIX)

# ภาคผนวก ก

## โปรแกรมประมวลผลภาพด้วย Visual Studio

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

using Emgu.CV;
using Emgu.CV.Structure;
using Emgu.Util;
using Emgu.CV.UI;
using Emgu.CV.CvEnum;
using Emgu.CV.GPU;
using System.Drawing.Drawing2D;

using DirectShowLib;
using System.Runtime.InteropServices;

namespace Program_Inspection_Product
{
    public partial class frmInspection : Form
    {
        private ClassNewFunction NewFunction = new ClassNewFunction();
        //const int VIDEODEVICE = 0; // zero based index of video capture
device to use
        //const int VIDEOWIDTH = 1280; // Depends on video device caps 640
        //const int VIDEOHEIGHT = 720; // Depends on video device caps 480
        //const int VIDEOBITSPERPIXEL = 24; // BitsPerPixel values determined
by device

        int CameraIndex = 0;
        Image<Bgr, Byte> largeFrameStd = null;

        public frmInspection()
        {
            InitializeComponent();

            try
            {
                Parameter.camera = new Capture(0);
                Parameter.camera.ImageGrabbed += ProcessFrame1;

                //Parameter.camera1 = new CaptureDSL(VIDEODEVICE, VIDEOWIDTH,
VIDEOHEIGHT, VIDEOBITSPERPIXEL, pictureBox1);
            }
            catch (NullReferenceException excpt)
            {
                MessageBox.Show(excpt.Message);
                this.Close();
            }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }

        private void ProcessFrame1(object sender, EventArgs arg)
        {
            Image<Bgr, Byte> frame = Parameter.camera.RetrieveBgrFrame();
            Parameter.ImageMain = frame.Copy();
            largeFrameStd = frame.Copy();

            //Image<Bgr, Byte> largeFrame2 = largeFrame;
            //Rectangle Rectangle1;
            //Point NewPoint1 = new Point(0, 0);
            //Point NewPoint2 = new Point(largeFrame2.Width,
largeFrame2.Height);
            //Point OrgPoint = CenterBetweenPoints(NewPoint1, NewPoint2);
            //NewPoint1 = new Point(0, 0);
            //NewPoint2 = new Point(Parameter.DatWidth, Parameter.DatHeight);
            //Point NewPoint = CenterBetweenPoints(NewPoint1, NewPoint2);
            //Rectangle1 = new Rectangle(OrgPoint.X - NewPoint.X, OrgPoint.Y -
NewPoint.Y, Parameter.DatWidth, Parameter.DatHeight);

            //CvInvoke.cvSetImageROI(largeFrame2, Rectangle1);
            //ImageRoi = largeFrame2.Copy();
            //Parameter.ImageMainPoint = ImageRoi.PyrUp().Copy();
            //CvInvoke.cvResetImageROI(largeFrame2);

            if (Parameter.FlagsSpec == true)
            {
                Rectangle Rectangle1 = new Rectangle(430, 400, 150, 80);
                Rectangle Rectangle2 = new Rectangle(600, 400, 150, 80);

                frame.Draw(Rectangle1, new Bgr(0, 255, 0), 2);
                frame.Draw(Rectangle2, new Bgr(0, 255, 0), 2);
            }

            //Image<Bgr, Byte> largeFrame = new Image<Bgr, Byte>(960, 544);
//480

            Image<Bgr, Byte> largeFrame = new Image<Bgr, Byte>(960, 544); //480
            CvInvoke.cvResize(frame, largeFrame, INTER.CV_INTER_AREA);

            pictureBox1.Image = largeFrame.ToBitmap();
        }

        private void ReleaseData()
        {
            if (Parameter.camera != null)
            {
                Parameter.camera.ImageGrabbed -= ProcessFrame1;
                Parameter.camera.Stop();
                Parameter.camera.Dispose();
            }
            //Rs232.CloseSerial();
            //Boolean Flasdd = false;
            //Boolean FlasClose = axModuleI2C1.ConnectUSB(ref Flasdd);
        }

        private void frmInspection_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            //this.Text += " [" + VIDEOWIDTH + "x" + VIDEOHEIGHT + "]";
            Parameter.pathOnly = Environment.CurrentDirectory;
            NewFunction.ReadSetting();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Parameter.StrConn = "Server=" + Parameter.Server +
";Database=DBPAVCTH_SMT;Integrated Security=True;User
ID=07barcode;password=barcode07";

            //***** Start Seting. *******
            DsDevice[] devs =
DsDevice.GetDevicesOfCat(FilterCategory.VideoInputDevice); // getting video
devices
            IFilterGraph2 graphBuilder = new FilterGraph() as IFilterGraph2;
            IBaseFilter capFilter = null;
            if (graphBuilder != null)
                graphBuilder.AddSourceFilterForMoniker(devs[CameraIndex].Mon,
null, devs[CameraIndex].Name, out capFilter);

            // Setting Camera Control Property
            IAMCameraControl _camera = capFilter as IAMCameraControl;
            _camera.Set(CameraControlProperty.Focus, 17,
CameraControlFlags.Manual);
            _camera.Set(CameraControlProperty.Exposure, -7,
CameraControlFlags.Manual);
            _camera.Set(CameraControlProperty.Zoom, 0,
CameraControlFlags.Manual);
            _camera.Set(CameraControlProperty.Tilt, 0,
CameraControlFlags.Manual);
            _camera.Set(CameraControlProperty.Pan, 0,
CameraControlFlags.Manual);

            // Setting Video Proc Amp
            IAMVideoProcAmp vpa = capFilter as IAMVideoProcAmp;
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.Brightness, 30,
VideoProcAmpFlags.Manual);//50
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.Contrast, 10,
VideoProcAmpFlags.Manual);
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.Saturation, 160,
VideoProcAmpFlags.Manual);//200
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.Sharpness, 50,
VideoProcAmpFlags.Manual);
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.WhiteBalance, 5000,
VideoProcAmpFlags.Manual);//5555
            vpa.Set(VideoProcAmpProperty.BacklightCompensation, 0,
VideoProcAmpFlags.Manual);
            //***** End ******

            Parameter.camera.SetCaptureProperty(CAP_PROP.CV_CAP_PROP_FPS, 30);

Parameter.camera.SetCaptureProperty(CAP_PROP.CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 1280);

Parameter.camera.SetCaptureProperty(CAP_PROP.CV_CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 720);

            if (Find_AOI_Machinet(Parameter.Station.Trim()) != true)
            {
                Parameter.ReTry = 2;
                Parameter.TimeReTry = 450;
                Parameter.PercentFindObj = 0.65;
            }

            Parameter.camera.Start();
            Parameter.FlagsSpec = false;
            label1.Text = "Actual" + Environment.NewLine + "[" +
DateTime.Now.ToString("dd-MMM-yyyy") + "]";

            //Parameter.FlagsSpec = true;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            // if (Parameter.camera != null) Parameter.camera.FlipHorizontal =
!Parameter.camera.FlipHorizontal;
            // if (Parameter.camera != null) Parameter.camera.FlipVertical =
!Parameter.camera.FlipVertical;
        }

        private void frmInspection_Activate(object sender, EventArgs e)
        {
            //txtBarcode.Focus();
            //txtBarcode.SelectAll();
        }

        private void frmInspection_closed(object sender, FormClosedEventArgs e)
        {
            if (Parameter.m_ip != IntPtr.Zero)
            {
                Marshal.FreeCoTaskMem(Parameter.m_ip);
                Parameter.m_ip = IntPtr.Zero;
            }
        }

        public Boolean Find_AOI_Machinet(String NameMachine)
        {
            DataRow MyRow = null;

            String SqlCon = "SELECT   *   " +
                        "FROM        AOI_Machine   " +
                        "WHERE       NameMachine = '" + NameMachine + "' " +
                        "Order by IDNum ";

            DataTable MyTable = NewFunction.GetData(SqlCon, Parameter.StrConn);

            if (MyTable != null)
            {
                if (MyTable.Rows.Count != 0)
                {
                    MyRow = MyTable.Rows[0];

                    Parameter.ReTry = Convert.ToDouble(MyRow["ReTry"]);
                    Parameter.TimeReTry = Convert.ToDouble(MyRow["TimeReTry"]);
                    Parameter.PercentFindObj =
Convert.ToDouble(MyRow["PercentFindObj"]);
                    return true;
                }
                else
                {
                    return false;
                }
            }
            else
            {
                MessageBox.Show("Server.", "    ");
                return false;
            }
        }

        private void captureImageToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            SaveFileDialog SaveDiaFile1 = new SaveFileDialog();
            SaveDiaFile1.Filter = "JPPG (*.jpg)|*.txt|All files (*.*)|*.*";
            SaveDiaFile1.FilterIndex = 2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SaveDiaFile1.RestoreDirectory = true;

            if (SaveDiaFile1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {
                //Image<Bgr, Byte> Img1 = NewFunction.CaptureImg();
                //Img1.Save(SaveDiaFile1.FileName);
                largeFrameStd.Save(SaveDiaFile1.FileName);
                MessageBox.Show("Save Image Complete.", "Save Image",
MessageBoxButtons.OK);
            }
        }

        private void splitContainer5_Panel2_Paint(object sender, PaintEventArgs
e)
        {

        }

        private void tsmSelect_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            frmSelectModel NewfrmSelectModel = new frmSelectModel();
            if (NewfrmSelectModel.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {
                if (Parameter.MyAOI_Spec_Control_Std.Rows.Count != 0)
                {
                    DataRow MyRow = null;
                    MyRow = Parameter.MyAOI_Spec_Control_Std.Rows[0];
                    Parameter.PartNo = MyRow["PartNo"].ToString();
                    //Image<Bgr,Byte> Img= new
Image<Bgr,Byte>(MyRow["LocationImage"].ToString());
                    //Parameter.ImageMainStd = Img.Copy();
                    lbModelName.Text = Parameter.PartNo;
                    //StatusNow("Start", new Bgr(0, 255, 0), 230);
                    //cmdNext.Enabled = true;
                }
            }
            NewfrmSelectModel.Dispose();
            Parameter.FlagsSpec = true;
        }

        private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
        {
            if (lbDateTime.Text == "-")
            {
                txtBarcode.Focus();
                txtBarcode.SelectAll();
            }
            label1.Text = "Actual" + Environment.NewLine + "[" +
DateTime.Now.ToString("dd-MMM-yyyy") + "]";

            //lbDateTime.Text = DateTime.Now.ToString("dd-MM-yyyy HH:mm:ss");
            lbDateTime.Text = DateTime.Now.ToString();

        }

        private void lbDateTime_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void colseDisplayCameraToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
            Parameter.FlagsSpec = false;
            Parameter.camera.ImageGrabbed -= ProcessFrame1;
        }

        private void tsmOpenCamera_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Parameter.FlagsSpec = true;
            Parameter.camera.ImageGrabbed += ProcessFrame1;
        }

        private void exToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            this.Close();
        }

        private void tsmCreateMaster_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            frmGenStd NewfrmGenStd = new frmGenStd();
            if (NewfrmGenStd.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {

            }
            NewfrmGenStd.Dispose();
        }

        private void createMasterToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            frmGenStd NewfrmGenStd = new frmGenStd();
            if (NewfrmGenStd.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {

            }
            NewfrmGenStd.Dispose();
        }

        private void captureImageToolStripMenuItem1_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            SaveFileDialog SaveDiaFile1 = new SaveFileDialog();
            SaveDiaFile1.Filter = "JPG (*.jpg)|*.jpg";
            SaveDiaFile1.FilterIndex = 2;
            SaveDiaFile1.RestoreDirectory = true;

            if (SaveDiaFile1.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {
                //Image<Bgr, Byte> Img1 = NewFunction.CaptureImg();
                //Img1.Save(SaveDiaFile1.FileName);
                largeFrameStd.Save(SaveDiaFile1.FileName);
                MessageBox.Show("Save Image Complete.", "Save Image",
MessageBoxButtons.OK);
            }
        }

        private void openCameraToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs
e)
        {
            Parameter.FlagsSpec = true;
            Parameter.camera.ImageGrabbed += ProcessFrame1;
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        private void colseCameraToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Parameter.FlagsSpec = false;
            Parameter.camera.ImageGrabbed -= ProcessFrame1;
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-นามสกุล** | นายวสันต์ แสงบัวเผื่อน |
| **วัน เดือน ปีเกิด** | 22 สิงหาคม 2524 ที่สุพรรณบุรี |
| **ที่อยู่** | 72 หมู่ 7 ต.บ่อกรุ อ.เดิมบางนางบวช<br>จ.สุพรรณบุรี 72120 โทร.0-3557-5197 |
| **ประวัติการศึกษา** | 2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล<br>มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

| | |
|---|---|
| พ.ศ.2552-2557 | ตำแหน่งวิศวกรบริษัท พานาโซนิค เอวีซี เน็ตเวิร์คส์(ประเทศไทย) จำกัด<br>- ผลงานการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิต<br>- ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ New Model |
| พ.ศ.2557-ปัจจุบัน | ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการ บริษัท นาคากาวา ซังเกียว (ประเทศไทย) จำกัด<br>- ปรับปรุงกระบวนการผลิตและบริหารจัดการภายในแผนก<br>- ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ New Model Pre-Mass Product.<br>- ควบคุม Spare Part และออกแบบพัฒนา Tooling |

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้