



การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบน  
แผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน

**Study of Suitable Light Sources for Solder Dot Volume Measurement on  
Printed Circuit Card Assembly**

จีรวัดน์ โสภาจารย์

**Jerawat Sopajarn**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Engineering in Electrical Engineering**

**Prince of Songkla University**

**2554**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่ว  
บนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน

ผู้เขียน              นายจิรวัดน์ โสภกาจารย์

สาขาวิชา              วิศวกรรมไฟฟ้า

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร อัยรักษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ บุญเหลือ พงศ์คารา)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาณตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน
ผู้เขียน	นายจิรวัดน์ โสภกาจารย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาณตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน (Printed Circuit Card Assembly: PCCA) ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยการนำชุดภาพของตะกั่วที่ได้จากการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดภาพ เช่น แสง ตำแหน่งโฟกัส และมุมมองของกล้อง เป็นต้น จากภาพที่ได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และคำนวณหาปริมาณของตะกั่ว จากผลการศึกษานำไปสู่การพัฒนากระบวนการเพื่อใช้ในการหาปริมาณของตะกั่ว การวัดปริมาณของตะกั่วจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิต PCCA

คำสำคัญ            การประมวลผลภาพ ตรวจสอบปริมาณตะกั่ว แผ่นวงจร

**Thesis Title** Study of Suitable Light Sources for Solder Dot Volume Measurement on Printed Circuit Card Assembly

**Author** Mr.Jerawat Sopajarn

**Major Program** Electrical Engineering

**Academic Year** 2010

### **ABSTRACT**

This research studies the suitable light sources for solder dot volume measurement on printed circuit card assembly (PCCA). The measurement was based on image processing techniques. The solder images were captured from several controlled conditions, such as light conditions, focus positions and camera view angles. These captured images were then analyzed based on the relationship of the captured images, and the solder dots volume was finally calculated. The studies will lead to the development of the system for solder volume measurement. The results from the solder volume measurement can help PCCA makers improve the production line of PCCA

Keywords: Image processing, solder volume inspection, Printed Circuit Card Assembly

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบ.....	4
1.5.2 ทดสอบการหาปริมาณของตะกั่วที่ความเข้มแสง 8 ค่า และ โฟกัสวัตถุ แตกต่างกัน.....	4
1.5.3 วัดความถูกต้องของเครื่องมือต้นแบบ โดยเปรียบเทียบกับ SEM.....	5
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 แสงในกระบวนการมองเห็น.....	7
2.1.1 สเปกตรัมของแสง.....	7
2.1.2 ความส่องสว่าง (Illuminance).....	9
2.1.3 ความสว่าง (Luminance).....	9
2.1.4 ความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุ (Luminance of Object).....	10
2.1.5 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง.....	10
2.2 พฤติกรรมของแสง.....	10
2.2.1 การสะท้อน (Reflection).....	10
2.2.2 การสะท้อนกลับหมด.....	11
2.2.3 การเลี้ยวเบนและแทรกสอด.....	12
2.2.4 การหักเหของแสง.....	12
2.2.5 สีของวัตถุ.....	13
2.3 เลนส์.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ความคลาดของเลนส์.....	16
2.4.1 ความคลาดทรงกลม.....	16
2.4.2 โคม่า.....	17
2.4.3 ความคลาดเพี้ยน.....	17
2.4.4 ความคลาดโค้ง.....	18
2.4.5 ความคลาดเอียง.....	18
2.4.6 ความคลาดตรงค้.....	19
2.4.7 แสงพรั.....	19
2.5 หลักการควบคุมตำแหน่งโฟกัส.....	20
2.5.1 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active.....	20
2.5.2 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Passive.....	20
2.6 การประมวลผลภาพ.....	20
2.6.1 การแยกบริเวณ (Image Segmentation).....	21
2.6.2 การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction).....	21
2.6.3 มาตรฐานของสี.....	22
2.6.4 การหาขอบภาพ (Edge Detection).....	25
2.7 การหาปริมาตรรูปทรงสามมิติ โดยการตัดตามขวางเป็นแผ่นบาง ๆ.....	25
2.8 Solid Work Simulation.....	28
2.8.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources).....	29
2.8.2 คุณสมบัติของแสง (Optical Properties).....	29
3. การออกแบบระบบ.....	31
3.1 การจำลองแหล่งกำเนิดแสง (Light Source Simulation).....	32
3.1.1 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright Field.....	32
3.1.2 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	33
3.1.3 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field.....	35
3.2 การออกแบบระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง.....	36
3.2.1 การออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลภาพจากกล้อง.....	37

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบแหล่งกำเนิดแสง.....	38
3.3.1 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright Field.....	38
3.3.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	39
3.3.3 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field.....	40
3.4 การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง.....	41
3.4.1 หลักการควบคุมความเข้มแสง.....	42
3.4.2 โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง.....	43
4. การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ.....	45
4.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสง.....	45
4.1.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright Field.....	46
4.1.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	48
4.1.3 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field.....	50
4.1.4 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง.....	51
4.2 การศึกษาผลของการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกับวัตถุ.....	52
4.2.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของ วัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright Field.....	53
4.2.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของ วัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	55
4.2.3 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของ วัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field.....	56
4.2.4 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของ วัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง....	57
4.3 การศึกษาผลของการกระจายแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ.....	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark Field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง.....	60
4.3.2 การศึกษาผลของการหาปริมาตรของก้อนตะกั่วจากเครื่อง SEM.....	61
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผล.....	62
5.2 ปัญหา.....	65
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED และ ตัวช่วยสะท้อนแสง.....	70
ภาคผนวก ข ก้อนตะกั่วบนแผ่น Flip Chip ของฮาร์ดดิสก์ที่ได้จากการ SEM .....	73
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	80



## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบแมชชีนวิชั่น.....	6
2-2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามองเห็น.....	8
2-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของ แหล่งกำเนิดแสงกับความยาว.....	8
2-4 ลักษณะการสะท้อนของแสง.....	11
2-5 ลักษณะการหักเหของแสง.....	12
2-6 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์เว้า.....	14
2-7 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์นูน.....	14
2-8 ความคลาดเคลื่อนทรงกลมของกระจกโค้ง.....	16
2-9 ความคลาดทรงกลมของเลนส์.....	17
2-10 ความโค้งของภาพเมื่อวัตถุอยู่ไกล.....	18
2-11 ระบบสี RGB.....	22
2-12 ระบบสี HSV.....	23
2-13 ระบบสี HIS.....	24
2-14 ภาคตัดขวางของรูปทรงสามมิติ.....	25
2-15 ทรงกระบอกมีความยาว $h$ หน่วย.....	26
2-16 รูปทรงสามมิติที่มีภาคตัดขวางไม่สมมาตร.....	26
2-17 รูปทรงสามมิติเมื่อแบ่งออกเป็น $n$ ช่วง.....	27
2-18 ภาคตัดขวางของพื้นที่ $k$ .....	27
2-19 การจำลอง LED บนโปรแกรม Solid Work.....	28
2-20 การจำลองโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง (ก) แบบ Bright field และ (ข) แบบ Dark field.....	29
2-21 การกำหนดการสะท้อนแสงของผิววัตถุ (ก) สะท้อนกลับหมด และ (ข) การหักเหของแสง.....	30
3-1 โครงสร้างของระบบแมชชีนวิชั่น.....	31
3-2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field.....	32
3-3 การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field.....	33
3-4 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	34

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	ภาพประกอบ	หน้า
3-5	ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	34
3-6	การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	35
3-7	แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field.....	35
3-8	การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field.....	36
3-9	ตัวอย่างโปรแกรมรับข้อมูลภาพ.....	37
3-10	ส่วนแสดงข้อมูลภาพจากกล้อง.....	38
3-11	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	39
3-12	แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ในส่วนของตัวให้แสง.....	39
3-13	แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ในส่วนของตัวสะท้อนแสง.....	40
3-14	แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field.....	40
3-15	ตัวอย่างวัตถุซึ่งใช้สำหรับการทดสอบ.....	42
3-16	การควบคุมการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง.....	42
3-17	ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมความเข้มแสง.....	43
3-18	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	43
4-1	กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสง.....	46
4-2	ลักษณะของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field.....	47
4-3	ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Bright field.....	47
4-4	ลักษณะของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	48
4-5	ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dome.....	49
4-6	ลักษณะของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field.....	50
4-7	ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dark field.....	50
4-8	ลักษณะของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง.....	51
4-9	ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง.....	52
4-10	กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุ.....	53
4-11	ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field.....	54

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	ภาพประกอบ	หน้า
4-12	ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome.....	55
4-13	ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field.....	56
4-14	ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง.....	58
4-15	กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหา ปริมาตรวัตถุ.....	59
4-16	เปรียบเทียบปริมาตรจากวัตถุ 4 ชนิด คือ ลูกปิงปองสีเหลือง ลูกปิงปองสีขาว ก้อนตะกั่ว และก้อนตะกั่วบน flip chip.....	60
4-17	ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ของฮาร์ดดิสก์.....	61
5-1	โครงสร้างของระบบการตรวจวัดปริมาตรตะกั่ว.....	63

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เนื่องจากการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขนาดเล็กลง มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้น และมีความจุของวงจรมากขึ้น ดังนั้นการที่อุปกรณ์มีขนาดเล็กลงจึงจำเป็นต้องมีวิธีการในการตรวจสอบปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีความเหมาะสมด้วย ซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาตรของตะกั่วบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม เพื่อป้องกันการขาดของวงจรถือการลัดวงจรได้ และยังสามารถควบคุมคุณภาพของแผ่นวงจรให้ได้ตามมาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และเนื่องจากการที่อุปกรณ์มีขนาดเล็กลงทำให้วิธีการในการตรวจสอบปริมาตรของตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ให้ต้องการความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยปัจจุบันเครื่องมือต่าง ๆ ที่นำมาใช้สำหรับการหาปริมาตรของตะกั่วที่ประสิทธิภาพที่ใช้สำหรับหาปริมาตรของตะกั่วยังมีจุดด้อยและยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งยังมีราคาสูงทำให้มีความสิ้นเปลืองในการสั่งซื้อเครื่องมือใหม่ หรือการนำเข้าเครื่องมือการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วจากต่างประเทศ

Surface Mounted Technique (SMT) เป็นวิธีการสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนพื้นผิว โดยมีวิธีการดังนี้ การกัดลายวงจร การหยดตะกั่วลงบนแผ่นวงจร และการละลายก้อนตะกั่วเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยในเป้าหมายในงานวิจัยนี้คือการหาปริมาตรของตะกั่วในกระบวนการหยดตะกั่ว

ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาตรของตะกั่วผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการที่นำมาตรวจสอบในงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ซึ่งเป็นการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพที่ควบคุมตำแหน่งการโฟกัส โดยระบบจะทำการควบคุมความเข้มแสงให้มีความเหมาะสมสำหรับการเก็บภาพและทำการบันทึกภาพที่โฟกัสต่างๆ กัน จากนั้นนำภาพที่ได้มาประมวลผลโดยใช้ทฤษฎีทางด้านการประมวลผลภาพเพื่อทำการหาขอบภาพและพื้นที่ซึ่งได้จากการบันทึกภาพในแต่ละโฟกัส หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาตรรวมของตะกั่วและทำภาพจำลองวัตถุเป็น 3 มิติ ซึ่งการคำนวณหาปริมาตรของตะกั่วจะต้องนำทฤษฎีทางด้านการประมวลผลภาพและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาประกอบด้วย

ในโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในด้านการหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาปริมาตรของตะกั่ว เพื่อให้ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความถูกต้องและยังได้มาตรฐานทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาถึงความแม่นยำและความถูกต้องในการหาปริมาตรของตะกั่ว รวมทั้งราคาของเครื่องมือต้นแบบที่มีราคาถูก

## 1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.1 Automated Inspection of Solder Paste by Directional LED Lighting [1]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจสอบรอยเชื่อมของตะกั่วแบบอัตโนมัติโดยการจัดทิศทางของแสงลักษณะของงานวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนาในส่วนของคุณค่าของแหล่งกำเนิดแสงที่มีผลต่อการสร้างภาพ 3 มิติ โดยตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันจะทำให้ขอบของภาพที่ใช้ในการจำลองภาพ 3 มิติแตกต่างกัน และเพิ่มความแม่นยำในการจำลองภาพ 3 มิติด้วยการใช้ Fuzzy system ซึ่งทำให้เกิดความแม่นยำในการจำลองภาพ 3 มิติ

### 1.2.2 Evaluation and Optimization of Package Processing, Design, and Reliability through Solder Joint Profile Prediction [2]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษารอยเชื่อมซึ่งใช้วิธีการต่างๆ ทั้งในทางกลและทางไฟฟ้า การเชื่อมต่อถูกใช้สำหรับงานต่าง ๆ เช่น flip-chip แพ็คเกจระดับไมโครชิพ ball-grid array และส่วนประกอบในฮาร์ดดิสก์ การทำนารูปร่างของรอยเชื่อมถูกรวมเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยในกระบวนการพัฒนาในระดับไมโครชิพ และออกแบบในระดับแพ็คเกจ และเพิ่มความน่าเชื่อถือ โดยในการวิจัยนี้เป็นการแสดงแอปพลิเคชันของการวิเคราะห์โมเดล และการใช้โปรแกรม surface evolver ในการวิเคราะห์ความหลากหลายของวิธีการประมวลผลรอยเชื่อม และประเภทของแพ็คเกจ การทำนารูปร่างของรอยเชื่อมถูกรวมไว้สำหรับการออกแบบในระดับไมโครชิพ ส่วนประกอบของชิพ และแพ็คเกจระดับไมโครชิพ ผลลัพธ์จากวิธีการทำนายนี้นี้เป็นการตรวจสอบกับการทดลองการวัดทางเรขาคณิตในแต่ละระดับของการออกแบบ

### 1.2.3 Full-Field 3-D measurement of Solder Pastes Using LCD-Based Phase Shifting Techniques [3]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจสอบคุณภาพของการบัดกรีตะกั่วเป็นสิ่งที่ต้องระวังในกระบวนการบัดกรีบนผิวของแผ่นวงจร โดยเทคนิคการยึดอุปกรณ์บนผิว (SMT) จะทำให้ส่วนประกอบลดลง การใช้ระบบ 3 มิติวัดการติดของตะกั่วมีความสำคัญมากขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าตะกั่วเชื่อมต่อกัน ปัจจุบันเครื่องวัด 3 มิติสำหรับการวัดการติดของตะกั่ว ส่วนใหญ่มีพื้นฐานเป็น

ระบบเลเซอร์ซึ่งก็ยังมีปัญหาในเรื่องความเร็วในการตรวจสอบซึ่งยังคงช้าอยู่โดยในการวิจัยนี้ได้ นำเอาเทคนิคในการเลื่อนระยะเพื่อจำลองการบัดกรีตะกั่วเป็น 3 มิติเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบมากขึ้น

#### 1.2.4 Three-Dimensional Volume and Position Recovering Using a Virtual Reference Box [4]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาข้อมูลของตำแหน่งและปริมาตรของวัตถุ 3 มิติ บนพื้นฐานการถ่ายภาพด้วยกล้อง 2 ตัว ข้อมูลของตำแหน่งและปริมาตรได้มาจากการถ่ายภาพเสมือน ซึ่งสร้างมาจากข้อมูลของวัตถุในแนวดิ่งและแนวนอนของวัตถุ การถ่ายภาพเริ่มจากการปรับภาพให้ได้ในส่วนที่สนใจ การหาตำแหน่งและปริมาตรได้จากการสร้างภาพเสมือนของวัตถุเพื่อประมาณค่า สำหรับการหาปริมาตรและตำแหน่งของวัตถุ โดยจากการวิจัยสามารถนำมาหาปริมาตรของวัตถุได้จริง ซึ่งงานดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติได้

#### 1.2.5 Reconstructing the 3D Solder Paste Surface Model Using Image Processing and Artificial Neural Network [5]

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสร้างภาพ 3 มิติของรอยเชื่อมของตะกั่วโดยใช้ทฤษฎีทางการประมวลผลภาพและข่ายประสาทเทียม ลักษณะของงานวิจัยเป็นการวิจัยเพิ่มจากการจำลองวัตถุแบบ 3 มิติโดยการใช้เลเซอร์ ซึ่งมีต้นทุนในผลิตสูงและระบบยังทำงานช้าอยู่ โดยในงานวิจัยนี้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ทฤษฎีทางการประมวลผลภาพและข่ายประสาทเทียมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานของระบบให้เร็วขึ้น โดยมีการทำงาน คือ ระบบจะทำการถ่ายภาพจากกล้องที่ความเข้มแสงแตกต่างกันทำให้ได้พื้นที่ของวัตถุที่ความสูงแตกต่างกัน และนำมาวิเคราะห์โดยใช้ข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ระบบมีการทำงานที่เร็วขึ้นแต่ยังไม่มีการกล่าวถึงในกรณีที่ก้อนตะกั่วมีรูปร่างกลมซึ่งอาจจะมีปัญหาในการสร้างโมเดล 3 มิติได้

### 1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแสง ระยะ โฟกัส และมุมกล้องที่มีผลต่อการหาปริมาตรของตะกั่ว

1.3.2 เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้กับเครื่องมือต้นแบบซึ่งใช้ในการหาปริมาตรของตะกั่ว

1.3.3 เพื่อพัฒนาเครื่องมือต้นแบบซึ่งใช้ในการหาปริมาตรของตะกั่ว

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือหาปริมาณของตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยภาพ ซึ่งทำการศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมความเข้มแสง การควบคุมตำแหน่งโฟกัสของกล้อง และการปรับมุมกล้อง ภายใต้ข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- มีแหล่งกำเนิดแสงเพียงแหล่งเดียว
- ภาพขาวดำ (Gray Scale) ความละเอียดภาพ 350 x 300 พิกเซล
- ขนาดภาพในแนวนอน 70 มิลลิเมตร ถึง 120 มิลลิเมตร
- ขนาดภาพในตั้ง 70 มิลลิเมตร ถึง 120 มิลลิเมตร

## 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 1.5.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบ

โดยการศึกษา ข้อดีข้อเสียของเทคนิคการหาปริมาณแบบต่างๆ ที่มีใช้อยู่โดยเลือกเฉพาะเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในการหาปริมาณของตะกั่วได้อย่างถูกต้องซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนการใช้กล้องถ่ายภาพ 1 ตัว จากนั้นทำการออกแบบในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงเหมาะสมสำหรับการหาขอบภาพสำหรับนำไปหาปริมาณของวัตถุให้มีความถูกต้องแม่นยำ ออกแบบในส่วนของอุปกรณ์การถ่ายภาพ ภาคการแสดงผล ภาคประมวลสัญญาณและเปรียบเทียบค่าปริมาณของตะกั่วที่หาได้กับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการจริง แล้วปรับปรุงอัลกอริทึมและเครื่องมือให้สามารถหาปริมาณของตะกั่วได้อย่างถูกต้อง

### 1.5.2 ทดสอบการหาปริมาณของตะกั่วที่ความเข้มแสง 8 ค่า และโฟกัสวัตถุแตกต่างกัน

โดยในการศึกษาได้ทำการหาปริมาณของตะกั่ว และทดสอบในห้องที่มีการควบคุมความสว่างของแสง ซึ่งมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพียงแหล่งเดียว จากนั้นทำการเก็บภาพที่ความสูงของวัตถุต่างกัน โดยการปรับโฟกัสของกล้องให้มองวัตถุชัดในตำแหน่งที่ต่างกันจากบนลงล่าง จากนั้นนำไปหาปริมาณ เมื่อทำการหาปริมาณเสร็จก็จะทำการเปลี่ยนความเข้มของแสงและทำซ้ำกระบวนการเดิม จากนั้นนำค่าที่ได้จากการหาปริมาณ โดยใช้ความเข้มแสงแตกต่างกันมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการ โดยแผนการทดลองในการหาปริมาณของตะกั่วจะแบ่งได้ดังนี้

#### 1.5.2.1 การปรับความเข้มของแสง

- ปรับค่าความเข้มแสงที่ระดับที่ 1

- ถ่ายภาพของตะกั่วที่ความสูงของแตกต่างกัน โดยการปรับโฟกัสของกล้อง
- ทำซ้ำวิธีการเดิมแต่ทำการเปลี่ยนความเข้มของแสงอีก 8 ระดับ

#### 1.5.2.2 การบันทึกข้อมูล

- เก็บค่าภาพถ่ายในแต่ละโฟกัส

### 1.5.3 วัดความถูกต้องของเครื่องมือต้นแบบโดยเปรียบเทียบกับ SEM

ในช่วงกระบวนการทดลองเครื่องมือต้นแบบจะทำการถ่ายภาพวัตถุบนแผ่นวงจรพิมพ์ตามกระบวนการดังต่อไปนี้

- ทำการปรับความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงให้มีความเหมาะสม
- ถ่ายภาพและบันทึกภาพของตะกั่วที่ความสูงแตกต่างกัน โดยการปรับค่าโฟกัสของกล้องจากความจุดสูงสุดของตะกั่วไปจนถึงฐานของตะกั่ว
- หลังจากเก็บภาพของตะกั่วในแต่ละโฟกัสทำการหาขอบภาพที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาความแตกต่างของแสงที่เกิดขึ้นในแต่ละโฟกัส
- ทำการหาปริมาตรของตะกั่วโดยใช้สมการหาค่าปริมาตรของตะกั่ว ดังนี้

$$V = \int_{h_0}^{h_n} A(x)dx \quad \text{โดย } V \text{ คือ ปริมาตรของตะกั่ว}$$

- นำค่าปริมาตรที่ได้จากการเครื่องมือต้นแบบ ไปตรวจสอบค่าการวัดปริมาตรซึ่งได้จาก SEM

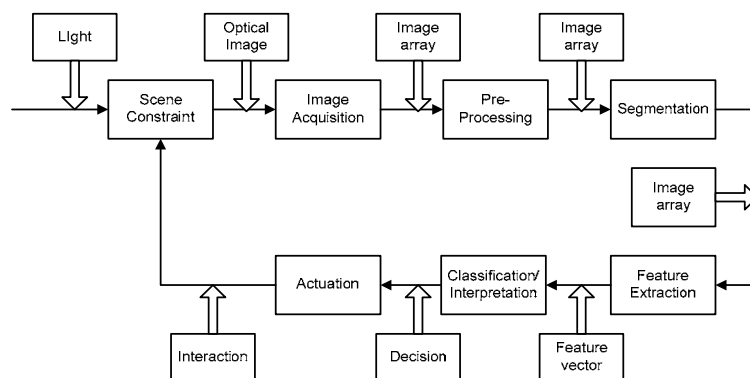


## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน จำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบแมชชีนวิชัน เพื่อนำไปสู่กระบวนการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ได้อย่างแท้จริง

ระบบแมชชีนวิชัน (Machine Vision System) หรือ ระบบการตรวจสอบด้วยภาพ เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุหรือชิ้นงาน เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ การนับจำนวนชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น โดยผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจจะใช้เพื่อคัดแยกงานคือออกจากงานเสีย หรือเพื่อการคัดแยกเกรดของชิ้นงานก็ได้ โดยมีการทำงานที่แม่นยำกว่าสายตามนุษย์ โดยสามารถควบคุมคุณภาพในการทำงานได้สม่ำเสมอว่า ต่างจากสายตามนุษย์ที่อาจมีความเหนื่อยล้า เป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดได้ นอกจากนี้ระบบแมชชีนวิชันยังสามารถตรวจเช็คคุณภาพชิ้นงานได้ตั้งแต่ช่วงต้นของกระบวนการผลิตซึ่งในบางกระบวนการคนไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้น ๆ ได้ ทำให้สามารถคัดแยกชิ้นงานที่เสียออกได้อย่างรวดเร็ว โดยส่วนประกอบของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบแมชชีนวิชัน ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังภาพประกอบที่ 2-1



ภาพประกอบที่ 2-1 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบแมชชีนวิชัน [6]

ภายในกระบวนการทำงานของระบบแมชชีนวิชั่นพบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการประมวลผลข้อมูลภาพ และการวิเคราะห์ภาพ โดยปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ภาพ คือ กระบวนการทางแสงโดยแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องเหมาะสมกับชนิดของวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีความถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุด

## 2.1 แสงในกระบวนการมองเห็น

จากกระบวนการมองเห็นแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้มองเห็นวัตถุโดยแสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเดินทางในรูปแบบคลื่นที่มีความถี่ต่าง ๆ โดยแหล่งกำเนิดแสงมีทั้งแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ เป็นต้น และแสงที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น แสงสว่างจากหลอดไฟชนิดต่าง ๆ เป็นต้น โดยแสงที่มนุษย์สร้างขึ้นจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแสง การกำเนิดแสงสว่างสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ[7] คือ

1). Incandescent คือ แสงสว่างที่เกิดขึ้นจากวัตถุร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $873\text{ K}^{\circ}$  หรือ  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  วัตถุจะปล่อยพลังงานความร้อนออกมา ซึ่งพลังงานที่ปล่อยออกมาเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ณ อุณหภูมินั้น ๆ

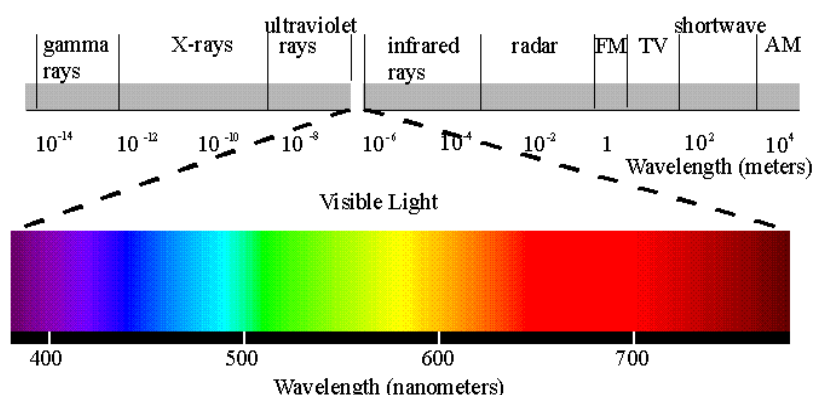
2). Luminescence คือ แสงซึ่งเกิดขึ้นจากวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยลักษณะการแผ่รังสีจาก Luminescent เป็นผลจากการกระตุ้นวาเลนอิเล็กตรอนของอะตอมไม่ว่าจะอยู่ในสถานะก๊าซหรือ Crystalline solid หรือ Organic Molecule ก็ตามจะทำให้ได้ความยาวคลื่นทั้งหมดของการแผ่รังสีเป็นสเปกตรัมที่ต่อเนื่อง

ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้สามารถทำการควบคุมการส่องสว่างของแสงได้โดยการควบคุมพลังงานที่ให้กำเนิดแสง ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคุณลักษณะของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง โดยในปัจจุบันนี้ได้มีการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงไว้หลายชนิดด้วยกัน เช่น Incandescent Lamps, Metal Vapor Lamps, Xenon Lamps, Fluorescent Lamps, LEDs (Light Emitting Diodes) และ LASERS เป็นต้น โดยสามารถพิจารณาคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิดได้จากคุณสมบัติเหล่านี้

### 2.1.1 สเปกตรัมของแสง

แสงเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านจากวัตถุชนิดหนึ่งไปยังอีกวัตถุชนิดหนึ่ง การเคลื่อนที่ของพลังงานแสงจะอยู่ในรูปของคลื่น ซึ่งมีหลายความยาวช่วงคลื่น โดยความยาว

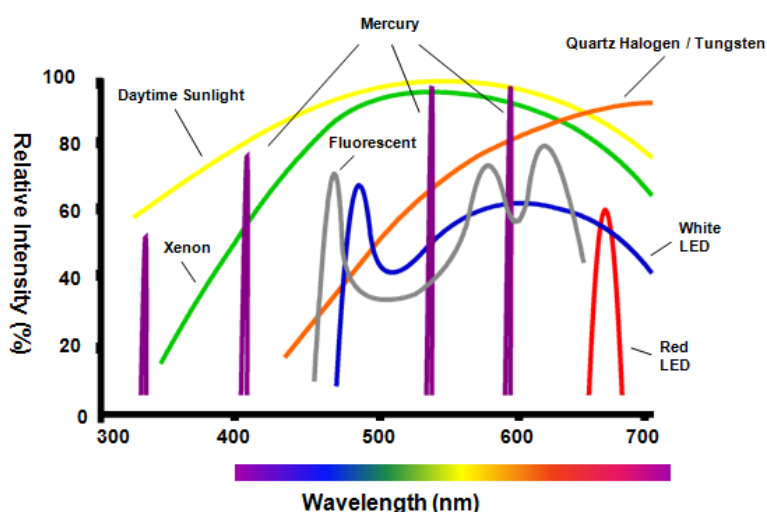
ช่วงคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ คือ ช่วงความยาวคลื่น 380 – 760 นาโนเมตร ส่วนพลังงานรูปอื่นเช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต เอกซเรย์ ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 นาโนเมตร หรือ คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ ซึ่งมีความยาวคลื่นยาวกว่า 760 นาโนเมตร จะไม่ช่วยให้เกิดการมองเห็นซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพประกอบที่ 2-2



ภาพประกอบที่ 2-2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามองเห็น [8]

จากคุณสมบัติทางสเปกตรัมของแสง สามารถกำหนดคุณภาพของสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงได้ดังนี้

2.1.1.1 Spectral energy distribution curve เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงกับความยาวคลื่น สามารถแสดงดังภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของ แหล่งกำเนิดแสงกับความยาวคลื่น [9]

2.1.1.2 อุณหภูมิของสี (Color Temperature) สำหรับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบสีของแหล่งกำเนิดแสง (หลอดไฟ) แบบหนึ่ง คือ วัตถุดำ (Black Body) ที่ได้รับพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับวัตถุดำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อุณหภูมิของวัตถุดำจะเปลี่ยนแปลง ทำให้สีของวัตถุดำเปลี่ยนเป็นสีส้ม, สีเหลือง, สีเหลืองอ่อน และสีขาว ที่อุณหภูมิสีต่างกัน โดยเรียกอุณหภูมิเหล่านี้ว่า อุณหภูมิสี (มีหน่วยเป็นเคลวิน K) อุณหภูมิสีนี้ใช้เป็นตัวกำหนดสีของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ ซึ่งใกล้เคียงกัน เช่น ที่อุณหภูมิ 2500 K วัตถุดำจะมีสีเหลืองเทียบเคียงกับหลอดโซเดียมความดันสูงหรือที่อุณหภูมิ 2800 K วัตถุดำจะมีสีเหลืองอ่อนเทียบเคียงกับสีของหลอดอินแคนเดสเซนต์ เป็นต้น

2.1.1.3 ความถูกต้องของสี (Color Rendering) ความถูกต้องของสีของหลอดไฟ หมายถึงหลอดไฟสามารถแสดงคุณลักษณะของสีว่ามีประสิทธิภาพและการแสดงสีเป็นอย่างไร ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะของสี ของแหล่งกำเนิดแสงจะใช้ ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI) ที่เกิดจากหลอดไฟที่ถูกทดสอบ แล้วนำมาเทียบกับแหล่งกำเนิดอ้างอิงที่มีอุณหภูมิสีเท่ากัน

## 2.1.2 ความส่องสว่าง (Illuminance)

ความส่องสว่าง หรือ อิลูมิแนนซ์ หมายถึง ความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุ หรือเรียกว่า ความส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน/ม.<sup>2</sup> หรือ ลักซ์ (ถ้าหน่วยเป็น ลูเมน/ฟุต<sup>2</sup> ความส่องสว่างเป็น ฟุตแคนเดิล) ความส่องสว่างหาได้จากสมการ (1)

$$\text{ความส่องสว่าง หรือ อิลูมิแนนซ์} = \text{ปริมาณแสง (ลูเมน)} / \text{พื้นที่ (ม.}^2\text{)} \quad (1)$$

โดยมาตรฐานทางแสงสว่างในแต่ละประเทศอาจกำหนดไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับอิลูมิแนนซ์หรือความส่องสว่างต่างกันสำหรับการใช้งานในพื้นที่อย่างเดียวกัน

## 2.1.3 ความสว่าง (Luminance)

ความสว่าง หรือ ลูมิแนนซ์ หมายถึง ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ หรือเรียกว่า ความสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลา/ม.<sup>2</sup> ด้วยแสงปริมาณเดียวกันที่กระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน เช่น ให้แสงปริมาณเดียวกันกระทบกับกระดาษสี

ขาวและสีดำ จะเห็นได้ว่าแสงสะท้อนจากสีขาวมากกว่าสีดำทำให้เกิดความรู้สึกว่ากระดาษสีขาวสว่างกว่าสีดำ ลูมิแนนซ์มีความสัมพันธ์กับอิทธิพลของแสง (2)

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2)$$

โดยให้

$L$  คือ ลูมิแนนซ์ (แคนเดลา/ม.<sup>2</sup>)

$\rho$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

$E$  คือ อิทธิพลของแสง (ลักซ์)

#### 2.1.4 ความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุ (Luminance of Object)

เมื่อมีแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสงมายังวัตถุจะทำให้เกิดการส่องสว่างบนผิววัตถุขึ้น แสงส่วนหนึ่งจะทำการสะท้อนออกจากวัตถุตามหลักของการสะท้อนซึ่งหากให้มีค่าการสะท้อนของวัตถุเท่ากับ  $\rho$  ทำให้เกิดความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อความส่องสว่างของวัตถุมากขึ้นจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ชัดขึ้น

#### 2.1.5 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสง

ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่มาจากหลักการเปลี่ยนของพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแสง นิยามการวัดประสิทธิภาพจาก Luminous flux ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็น Lumen/Watt

## 2.2 พฤติกรรมของแสง

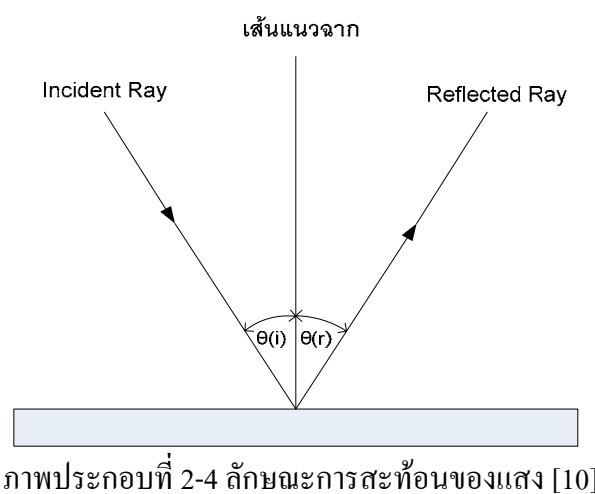
### 2.2.1 การสะท้อน (Reflection)

เมื่อแสงเคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางชนิดหนึ่ง ตกกระทบกับผิวหรือขอบของตัวกลางอีกชนิดหนึ่งจะทำให้มีแสงส่วนหนึ่งที่สะท้อนกลับไปยังตัวกลางเดิม และมีส่วนที่ส่งผ่านไปในตัวกลางอันใหม่ซึ่งเป็นส่วนที่แสงหักเหตามสมบัติของแสง ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติผิวหรือขอบของตัวกลางที่แสงตกกระทบเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางอันเดิม โดยในกรณีที่ผิวของวัตถุตกกระทบมีลักษณะเป็นแบบผิวเรียบ สามารถพิจารณาลักษณะการสะท้อนของแสงได้ดังภาพประกอบที่ 2-4

เนื่องจากพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นตัวกำหนดลักษณะของการสะท้อนของแสง ดังนั้นสามารถแบ่งการสะท้อนได้เป็นสามประเภทคือ การสะท้อนโดยตรง (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิว

สะท้อนของวัตถุเป็นแบบราบเรียบ) การสะท้อนแบบกระจายปกติ (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นแบบไม่ราบเรียบและแนวของการสะท้อนจะเป็นไปแบบมีรูปแบบ) และการสะท้อนแบบกระจายไม่ปกติซึ่งเกิดจากผิวสะท้อน (เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสะท้อนของวัตถุเป็นแบบไม่ราบเรียบ และแนวของการสะท้อนจะเป็นไปแบบไม่มีรูปแบบ กระจัดกระจาย) ค่าของการสะท้อนคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$\text{ค่าการสะท้อนของแสง} = \frac{\text{แสงที่สะท้อน}}{\text{แสงที่ตกกระทบ}} \quad (3)$$



โดยให้

$\theta(i)$  คือ มุมตกกระทบ (Incident angle)

$\theta(r)$  คือ มุมสะท้อน (Reflected angle)

จากสมการค่าการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ความยาวคลื่น อุณหภูมิสี มุมตกกระทบของแสง กระบวนการขึ้นรูปทางเคมี การขึ้นรูปทางกล และรูปร่างของวัตถุ เป็นต้น

### 2.2.2 การสะท้อนกลับหมด

แสงจะสามารถสะท้อนกลับทั้งหมด เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห มากไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหแสงน้อย และมุมของการตกกระทบมากกว่ามุม Margin เมื่อ กำหนดให้  $n$  เป็นค่าดัชนีหักเหของแสง สามารถแสดงการหาค่ามุม Margin ได้ดังสมการ (4)

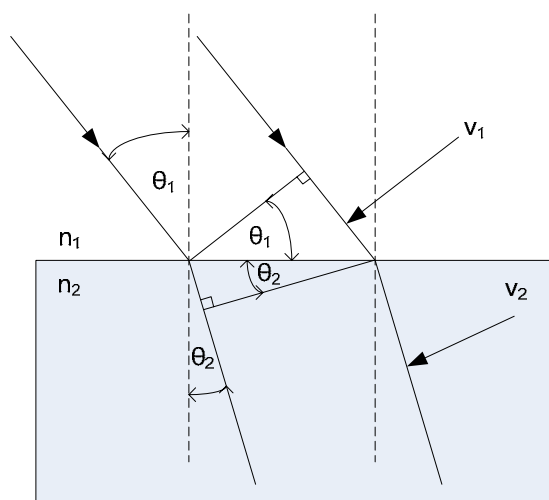
$$\text{Margin} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (4)$$

### 2.2.3 การเลี้ยวเบนและแทรกสอด

คุณสมบัติการเลี้ยวเบนและแทรกสอดของลำแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ขอบของวัตถุ แสงอาจจะมีการเปลี่ยนทิศทางเกิดขึ้น ขนาดของการกระจายออกของลำแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง ความยาวคลื่นมากจึงมีโอกาสเกิดการกระจายออกของลำแสงมาก แสงสีแดงจะเกิดการกระจายมากกว่าแสงสีน้ำเงิน

### 2.2.4 การหักเหของแสง

การหักเหของแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหไม่เท่ากัน โดยสามารถพิจารณาการหักเหของแสงได้จากได้จากภาพประกอบที่ 2-5



ภาพประกอบที่ 2-5 ลักษณะการหักเหของแสง [11]

จากภาพประกอบที่ 2-5 แสดงให้เห็นลักษณะการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางซึ่งมีดัชนีหักเหไม่เท่ากัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ความเร็วของแสงเปลี่ยนไป สามารถพิจารณาการหักเหของแสงดังสมการที่ (5)

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

โดยให้

$v_1$  คือ ความเร็วแสงในตัวกลางที่ 1

$v_2$  คือ ความเร็วแสงในตัวกลางที่ 2

$\theta_1$  คือ ค่ามุมระหว่างรังสีตกกระทบกับเส้นปกติเรียกว่า มุมตกกระทบ

$\theta_2$  คือ ค่ามุมระหว่างรังสีหักเหกับเส้นปกติเรียกว่า มุมหักเห

$n_1$  คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1

$n_2$  คือ ค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 2

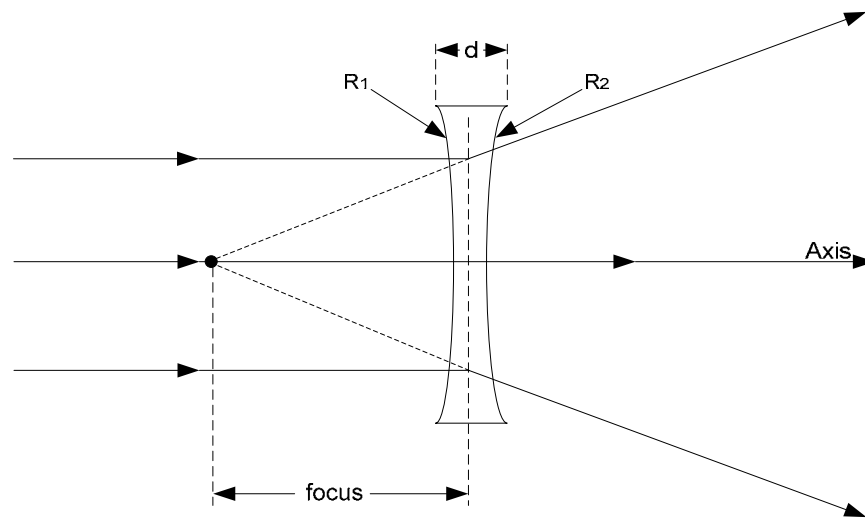
### 2.2.5 สีของวัตถุ

วัตถุดูดกลืนความยาวคลื่นที่ต่างกับตัวเองแต่จะสะท้อนความยาวคลื่นที่ตรงกันกับวัตถุ ซึ่งจะพบว่าความเข้มที่สูงที่สุดคือการส่องสว่างด้วยสีเดียวกันกับวัตถุ เช่น วัตถุสีน้ำเงินส่องสว่างด้วยแสงสีน้ำเงินจะให้ความเข้มสูงสุด

### 2.3 เลนส์

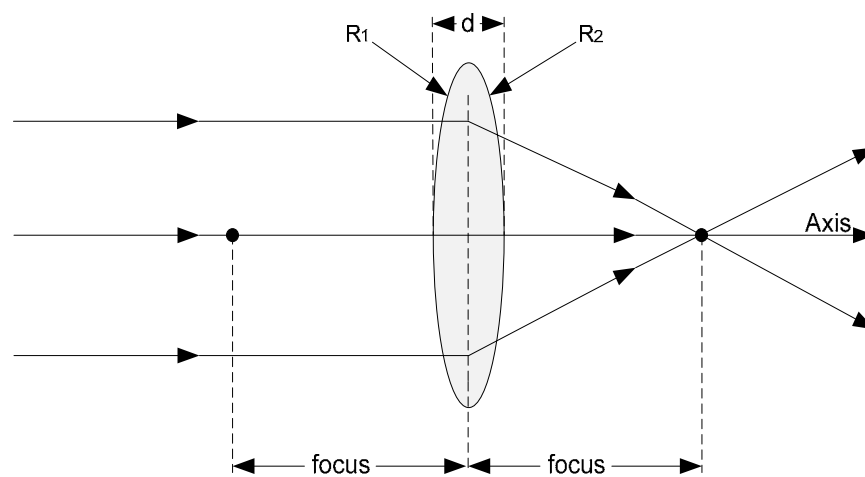
เลนส์ เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ทางแสงโดยทั่วไป เช่น แว่นขยาย กล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ และกล้องสองตา โดยล้วนแต่เกิดการหักเหของแสง 2 ครั้ง ที่ผิวทั้งสองของเลนส์แต่ละอัน โดยเลนส์จะมีลักษณะเป็นตัวกลางโปร่งใสซึ่งมีผิวหน้าเป็นผิวโค้ง ซึ่งเลนส์มีอยู่ 2 ชนิดคือ เลนส์เว้า หรือ เลนส์ชนิดถ่างแสง คือ เลนส์ที่มีความหนาตรงกลางระหว่างผิวหน้าทั้งสอง น้อยกว่าทางขอบ เลนส์ชนิดนี้เมื่อมีแสงขนานกับแกนमुखสำคัญกระทบเลนส์แล้ว การหักเหที่เกิดที่ผิวหน้าทั้งสองของเลนส์ จะทำให้รังสีของแสงถ่างออกจากกัน ถ้าต่อแนวรังสีที่ถ่างออกเหล่านั้นไปจะพบกัน ณ จุดหนึ่งบนแกนमुखสำคัญเรียกว่า จุดโฟกัสเสมือน (Virtual Focus) ซึ่งเสมือนว่ารังสีเหล่านั้นออกจากจุดตัดพร้อมกันนั้น แสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 2-6





ภาพประกอบที่ 2-6 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์เว้า [11]

เลนส์นูน หรือ เลนส์ชนิดที่บีบแสง คือ เลนส์ที่มีความหนาตรงกลางระหว่างผิวหน้าทั้งสองมากกว่าตรงขอบ เลนส์ชนิดนี้เมื่อมีแสงขนานกับแกนमुखสำคัญกระทบเลนส์แล้วการหักเหซึ่งเกิดที่ผิวหน้าทั้ง 2 ของเลนส์ จะทำให้รังสีของแสงตีบเข้าหากัน และแสงจะไปตัดกันจริงๆ ณ จุด ๆ หนึ่งบนแกนमुखสำคัญของเลนส์ เรียกว่า จุดโฟกัสจริง (Real Focus) แสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 2-7



ภาพประกอบที่ 2-7 ตัวอย่างลำแสงผ่านเลนส์นูน [11]

โดยให้

$d$  คือ ความหนาของเลนส์

$f$  คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์

$R_1$  คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านหน้าเลนส์

$R_2$  คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านหลังเลนส์

จากภาพประกอบที่ 2-6 และ ภาพประกอบที่ 2-7 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ คือ เมื่อวัตถุอันหนึ่งอยู่ ณ อนันต์ โดยมีรังสีตกกระทบเลนส์อันหนึ่งตามแนวขนานกับแกนमुखสำคัญ รังสีหักเหยอมผ่านจุดโฟกัสจริงสำหรับกรณีเลนส์นูน หรือมีแนวขนานไปผ่านจุดโฟกัสเสมือนสำหรับกรณีเลนส์เว้า โดยเกิดเป็นภาพจริงและภาพเสมือน ณ ตำแหน่งดังกล่าว นั้นตามลำดับ จึงแสดงว่าในกรณีนี้ระยะภาพมีค่าเท่ากับความยาวโฟกัส เมื่อระยะวัตถุ =  $\infty$  โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (6) หรือเรียกว่าสมการช่างเลนส์ (lens-maker's equation)

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

(6)

อัตราขยายของภาพ เป็นค่าที่บอกถึงมาตราส่วนของขนาดของภาพต่อขนาดของวัตถุ ซึ่งเป็นค่าสำคัญที่จะใช้ในการตัดสินใจในการเลือกเลนส์ สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ (7)

$$M = -\frac{S_2}{S_1} = \frac{f}{f - S_1} \quad (7)$$

โดยให้

$M$  คือ อัตราขยาย

$S_1$  คือ ระยะวัตถุ

$S_2$  คือ ระยะภาพ

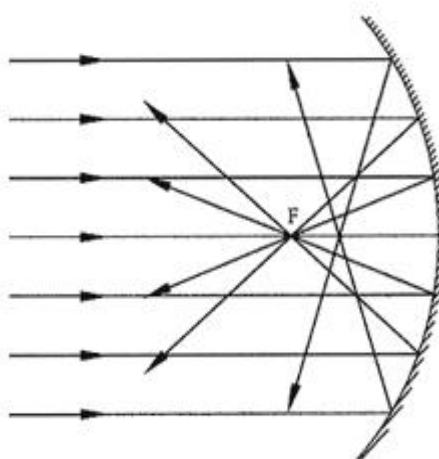
$f$  คือ ระยะโฟกัสของเลนส์

## 2.4 ความคลาดของเลนส์

เนื่องจากเลนส์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวเลนส์ โดยเลนส์ถือเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดข้อบกพร่องในการมองเห็นได้ เนื่องจากการขยายตัวของเลนส์ ทำให้รังสีที่จะมาเกิดภาพมีมากขึ้น รังสีที่อยู่ห่างจากแกนและใกล้แกนก็จะไม่มาพบกันที่จุดเดียว ทำให้ภาพที่เห็นไม่ชัดเจน ซึ่งเรียกว่า เกิดความคลาด (aberration) หรือเนื่องจากตำแหน่งของวัตถุอยู่นอกแกนทำให้ได้ภาพที่ผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงในลักษณะต่าง ๆ

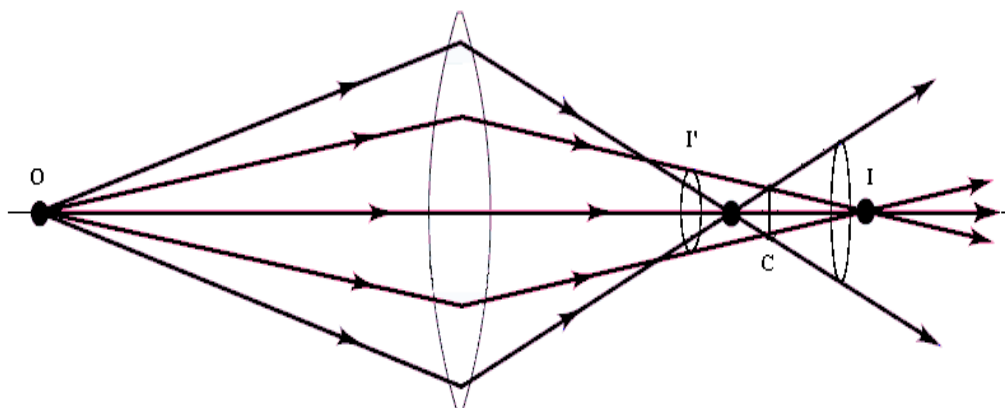
### 2.4.1 ความคลาดทรงกลม

ความคลาดทรงกลม (Spherical aberration) ของกระจกโค้ง เป็นข้อเสียที่ทำให้รังสีที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของกระจกไม่พบกันที่จุดเดียว เนื่องจากแสงตกกระทบกระจกโค้งที่ส่วนต่าง ๆ ของกระจก รังสีที่ตกกระทบจะทำมุมไม่เท่ากัน ดังภาพประกอบที่ 2-8 ในกรณีเช่นนี้เมื่อนำจากมารับภาพจะได้ภาพที่ไม่ชัด เนื่องจากแสงไม่ได้สะท้อนมาตัดกันที่จุดเดียวกัน ความคลาดนั้นจะทำการแก้ไขได้ยาก แต่ก็ยังสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบรูปร่างความโค้งของตัวสะท้อนใหม่ เพื่อให้แสงสะท้อนมาตัดกันที่จุดเดียว



ภาพประกอบที่ 2-8 ความคลาดเคลื่อนทรงกลมของกระจกโค้ง [12]

ส่วนความคลาดทรงกลมของเลนส์ เป็นข้อเสียที่ทำให้รังสีที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของเลนส์ไม่พบกันที่จุดเดียว สามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 2-9



ภาพประกอบที่ 2-9 ความคลาดทรงกลมของเลนส์ [12]

ถ้าเอากลมมารับภาพที่จุด I และ I' จะได้ภาพเป็นจุดสว่างตรงกลางรอบ ๆ เป็นวงกลมขนาดต่าง ๆ กันที่ C วงกลมจะมีขนาดเล็กที่สุดเรียกว่า วงแห่งการสับสนน้อยสุด ถ้าเอากลมรับที่ตำแหน่งนี้จะได้ภาพที่ดีที่สุด ความคลาดทรงกลมของเลนส์สามารถแก้ไขได้โดยการบังแสงที่ตกห่างแกนออก ให้แสงส่วนใหญ่ผ่านตรงกลางเลนส์แทน จะทำให้แสงที่ผ่านเลนส์ตัดกันที่จุดเดียวกัน

#### 2.4.2 โคม่า

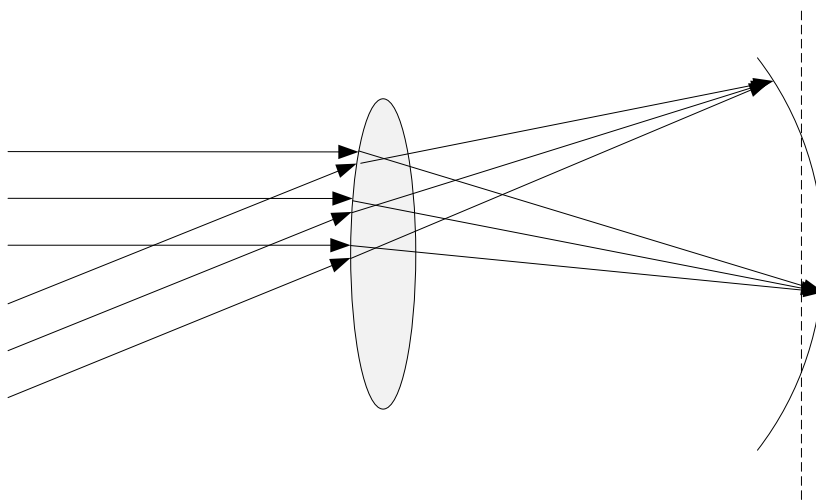
โคม่าเป็นความคลาดที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่นอกแกน แสงจากวัตถุที่อยู่นอกแกนจะหักเหผ่านเลนส์ด้วยมุมต่าง ๆ กัน และเลนส์ไม่อาจรวมแสงจากทุกส่วนของเลนส์ให้พบกันที่จุดเดียว ทำให้ภาพของวัตถุเป็นจุด

#### 2.4.3 ความคลาดเพี้ยน

เมื่อวัตถุอยู่นอกแกน ทำให้การขยายของภาพที่อยู่ห่างแกนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความคลาดเพี้ยน (Distortion) ความคลาดชนิดนี้จะตรวจสอบได้ง่ายโดยตรวจสอบภาพของวัตถุที่ประกอบด้วยเส้นตรง เช่น รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่จะต้องมองเห็นเหลี่ยมมุมอย่างชัดเจน จะเห็นภาพโค้งน้อย ๆ เนื่องจากกำลังขยายด้านความยาวไม่เท่ากัน แต่สำหรับวัตถุที่เป็นจุดความคลาดเพี้ยนไม่มีผลมากนัก เพียงแต่ทำให้ตำแหน่งของภาพห่างจากแกนมากหรือน้อยไปกว่าที่ควรจะเป็น ความคลาดเพี้ยนเล็กน้อยสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ดูด้วยตาไม่ทำให้เกิดผลเสียอะไร

#### 2.4.4 ความคลาดโค้ง

ความคลาดโค้ง (field curvature) เป็นความคลาดของเลนส์อีกอย่างหนึ่งที่สามารถตรวจพบได้โดยง่าย เมื่อจุดรวมแสงเบี่ยงเบนไปจากระนาบที่ควรจะเป็น การพิจารณาภาพของวัตถุที่อยู่ในระยะไกลและไม่ได้อยู่ในแนวแกน ภาพที่ชัดเจนจะแทนโดยส่วนโค้งของวงกลม ดังภาพประกอบที่ 2-10



ภาพประกอบที่ 2-10 ความโค้งของภาพเมื่อวัตถุอยู่ไกล [12]

จากภาพประกอบที่ 2-10 จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของภาพทั้ง 3 มิติ เป็นรูปกระโถน ความโค้งถือว่าเป็นบวก ถ้าด้านที่เว้าของกระโถนอยู่ทางด้านเลนส์ซึ่งเป็นกรณีของเลนส์นูน เมื่อเห็นเลนส์เว้าด้านที่นูนของภาพจะอยู่ใกล้เลนส์ ในกรณีนี้เรียกว่า ความโค้งเป็นลบ ตัวอย่างของความคลาดโค้งของภาพอาจจะสังเกตเห็นได้โดยง่ายโดยการฉายภาพนิ่งลงบนฉาก แม้ว่าจะเป็นเครื่องฉายชั้นดี ก็อาจจะสังเกตเห็นของภาพไม่ชัดบ้าง แม้ว่าตรงจุดรวมแสงจะชัดเจนก็ตาม จุดรวมแสงจะอยู่ต่างระนาบกัน เมื่อเอาฉากรับระหว่างกลางของจุดรวมแสงทั้งสองแห่งนี้ตรงเส้นประในรูป จะได้ภาพที่ชัดพอสมควร การแก้ไขความคลาดโค้งโดยใช้เลนส์เว้าที่เหมาะสมประกอบกับเลนส์นูนก็จะได้ภาพที่ดีขึ้น

#### 2.4.5 ความคลาดเอียง

ความคลาดเอียง (Astigmatism) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่นอกแกน ภาพที่เกิดจากวัตถุอาจมีจุดรวมแสงเป็นสองระนาบ รังสีที่มาจากระนาบนอนและระนาบตั้งไม่ตัดกันที่จุดเดียวกัน รังสีที่มาจากระนาบนอนจะไปตัดกันที่จุดหนึ่ง และรังสีที่มาจากระนาบตั้งไปตัดกันอีกจุดหนึ่ง ระยะ

ระหว่างจุดตัดทั้งสองนี้เป็นค่าความแตกต่างของจตุรวมแสงทั้งสองระนาบซึ่งแปรตามวัตถุที่อยู่นอกแกนและจะกลายเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่บนแนวแนวรังสีจากทั้งสองระนาบจะมาตัดกันที่จุดเดียวกัน ถ้าหากวัตถุไม่เป็นจุดภาพที่ได้จะมีรูปร่างไปคนละแนวแต่มีจุดร่วมกันที่บนแกน ภาพที่อยู่ตรงกลางของระนาบทั้งสองจะเป็นวงกลมที่สับสนน้อยที่สุด

#### 2.4.6 ความคลาดรงค์

เมื่อใช้อุปกรณ์กับแสงขาวซึ่งประกอบด้วยความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เมื่อแสงผ่านเลนส์ ภาพที่รับได้จะมีขอบเป็นสีต่าง ๆ เนื่องจากเกิด ความคลาดรงค์ (Chromatic aberration) เนื่องจากเลนส์นูนก็คล้ายกับปริซึมสองอันเอาฐานมารวมกัน และเลนส์เว้าคล้ายเอายอดของปริซึมสองมันมาต่อกัน จึงทำให้เลนส์มีทางยาวโฟกัสเปลี่ยนตามความยาวคลื่น ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางจึงเปลี่ยนไปตามความยาวคลื่น ทางยาวโฟกัสของเลนส์จะสั้นกว่าสำหรับแสงคลื่นสั้น และยาวกว่าสำหรับแสงคลื่นยาว ภาพของวัตถุที่เป็นจุด จะเป็นจุดสีต่าง ๆ เรียงกันไปบนแกน สำหรับวัตถุที่มีขนาดจะได้ภาพขนาดต่าง ๆ กันสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน

การแก้ไขความคลาดรงค์อาจแก้ไขได้โดยการใช้เลนส์หลายชิ้นและทำด้วยแก้วที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันมาประกบกัน ความคลาดของเลนส์อันหนึ่งจะไปหักล้างกับความคลาดของเลนส์อีกอันหนึ่งแทน เพราะมีรูปร่างต่างกันและมีกำลังกระจายต่างกันอีกด้วย เลนส์ชนิดนี้เรียกว่า เลนส์อรงค์ เลนส์ที่มีคุณภาพดีที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ซับซ้อน การที่มีเลนส์มากขึ้นจะทำให้ลดข้อบกพร่องจากความคลาดชนิดอื่นไปด้วย

#### 2.4.7 แสงพร่า

ลักษณะของเลนส์ซึ่งเป็นพื้นราบ เมื่อรังสีตกกระทบจะสะท้อนไป 4-6 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ของแสงสะท้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมตกกระทบเพิ่มขึ้น ผิวหน้าของเลนส์นูนจะสะท้อนแสงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์และไปไม่ถึงจุดภาพส่วนผิวหน้า 5 เปอร์เซ็นต์ ของ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับจะสะท้อนสู่ผิวแรกแม้เพียงแสงสะท้อนกลับประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ของแสงตกเดิมก็จะมีผลทำให้เกิดแสงพร่าบนฉาก ซึ่งแสงพร่าหรือแสงกระจัดกระจายนี้ไม่ทำให้ภาพที่มองเห็นดีขึ้น แต่จะทำให้ภาพได้รับแสงไม่สม่ำเสมอและก่อให้เกิดภาพมัว

## 2.5 หลักการควบคุมตำแหน่งโฟกัส

ตำแหน่งโฟกัสหรือตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาพและภาพมีความคมชัดมากที่สุด ซึ่งการปรับโฟกัสในการถ่ายภาพเป็นระบบปรับโฟกัสที่สามารถเข้าใจได้ง่ายสามารถอธิบายได้คือ โดยทั่วไปก่อนทำการถ่ายภาพผู้ถ่ายจะต้องทำการปรับภาพไปยังตำแหน่งโฟกัสก่อนทุกครั้ง เพื่อให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากที่สุดแล้วทำการถ่ายภาพ ในปัจจุบันการควบคุมตำแหน่งโฟกัสที่รู้จักมีอยู่หลายประเภทแต่ที่เป็นที่นิยมมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีการคือ

### 2.5.1 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Active

ทำได้โดยการยิงลำแสงอินฟราเรดไปที่เป้าหมายและใช้เวลาในการสะท้อนกลับของลำแสงมายัง เซนเซอร์เป็นตัวเลขคำนวณระยะทางจากเป้าหมายมายังเซนเซอร์ นิยมใช้ในระบบถ่ายภาพอย่างง่ายทั่วไป เช่นในกล้องดิจิทัลระดับเริ่มต้นและกล้องถ่ายภาพบนโทรศัพท์มือถือ ระบบโฟกัสแบบ Active แทบทั้งหมดไม่สามารถวัดระยะโฟกัสลดบานหน้าต่างหรือตะแกรงตาข่าย เพราะแสงอินฟราเรดถูกสะท้อนเมื่อกระทบกระจกหรือเส้นลวด นอกจากนี้ยังมีกล้องโฟกัสพลาดเพื่ออยู่ใกล้เป้าหมายที่ต้องการถ่ายมากๆ เพราะเวลาที่สะท้อนกลับมายังเซนเซอร์เร็วเกินไปทำให้ไม่สามารถคำนวณระยะทางได้

### 2.5.2 การควบคุมตำแหน่งโฟกัสแบบ Passive

ทำได้โดยการใช้ลำแสงที่สะท้อนวัตถุตามธรรมชาติซึ่งตกบนเซ็นเซอร์ และปรับเลนส์ให้ได้คอนทราสต์มากที่สุดภายในพื้นที่เซ็นเซอร์ ถูกใช้งาน 2 รูปแบบได้แก่ phase difference และ contrast-detect ระบบแบบ phase detection จะแยกแสงที่กำลังเข้ามาเป็นชั้นของรูปภาพย่อยๆ และเปรียบเทียบภาพนั้นๆ ผ่านเซ็นเซอร์ ทำการปรับโฟกัสของเลนส์จนกระทั่งรูปย่อยเหล่านั้นทับกันสนิท ส่วนระบบ contrast-detect เป็นระบบที่วัดความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างพิกเซลใกล้เคียงในรูปที่เกิด จากเลนส์และระบบจะปรับเลนส์จนกระทั่งเซ็นเซอร์ได้รับค่าความต่างที่ดี

## 2.6 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ จะเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (Digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดผ่านกระบวนการต่าง ๆ ด้วยดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ ในระบบของดิจิทัล อินพุตและเอาต์พุตของระบบจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น

Digital image analysis จะเกี่ยวกับวิธีการอธิบายและการจดจำ ข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลและเอาพุตจะเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้นและขั้นตอนต่างๆ ที่ของการประมวลผลรูปภาพ ได้แก่ Image Acquisition (การรับรู้ข้อมูลภาพ) Image Segmentation ใช้ในการแยกแยะรายละเอียดของภาพ

### 2.6.1 การแยกบริเวณ (Image Segmentation)

การแยกบริเวณ หรือ Image Segmentation เป็นวิธีการที่ใช้ในการแยกข้อมูลภาพออกจากกัน เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลภาพในแต่ละส่วน คือ ส่วนที่จำเป็น และส่วนที่ไม่จำเป็น ทำให้สามารถลดข้อมูลภาพที่ไม่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ได้ โดยข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการนี้แล้ว จะทำให้ข้อมูลมีความชัดเจนยิ่งขึ้น และสะดวกต่อการนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยกระบวนการแยกมีอยู่ 2 วิธี คือ

2.6.1.1 การแยกบริเวณ โดยการใช้ค่า Threshold ค่า threshold เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพ gray Scale สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า threshold นั้น จะเป็นการแปลงภาพ gray scale ให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ (Binary Image) โดยเงื่อนไขว่าถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า threshold ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นด้านมืด และถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่าค่า threshold แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 255 หรือเปลี่ยนเป็นด้านสว่างไป

2.6.1.2 การแยกบริเวณโดยการใช้ขอบของวัตถุ (Edge based segmentation) สำหรับการแบ่งบริเวณด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการหาขอบของวัตถุก่อน ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล คือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนดนั่นเอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจจับได้โดยการใช้ตัวตรวจจับขอบ (Edge Detector) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการด้วยกัน

### 2.6.2 การคำนวณหาคุณลักษณะของวัตถุ (Feature Extraction)

เป็นกระบวนการซึ่งจะแยกลักษณะเฉพาะของภาพออกมาเป็นค่าอินพุตในระบบการเรียนรู้ต่อไป กระบวนการคำนวณหาคุณลักษณะเฉพาะของภาพนั้น สามารถทำไปพร้อมกับกระบวนการ connected components labeling ได้เลย เช่น การคำนวณหาพื้นที่ หรือการหาเส้นรอบวงของวัตถุ แต่การคำนวณหาคุณลักษณะเฉพาะของภาพบางประเภทนั้นต้องรอให้จบสิ้นกระบวนการ

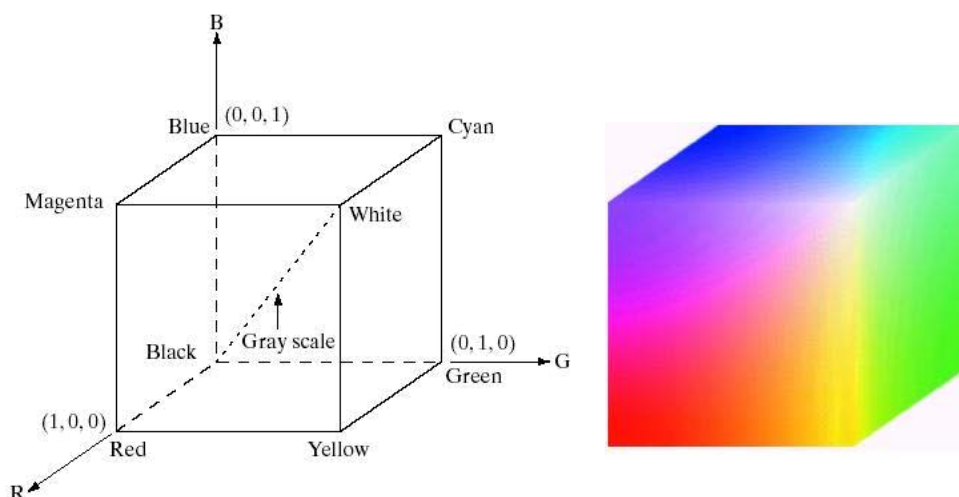


connected components labeling ก่อน เพื่อให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุเสียก่อน เช่น การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ หรือ ความเข้มแสงเฉลี่ยของวัตถุทั้งชิ้น

### 2.6.3 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีนั้นมีอยู่หลากหลายระบบ แต่โดยทั่วไปแล้วนั้นมาตรฐานของสีจะมีหลักการที่เหมือนกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในพื้นที่ 3 มิติ และจะมีแกนที่ใช้อ้างอิงถึงจุดสีในพื้นที่ของแต่ละแกน ซึ่งจะมีความเป็นอิสระต่อกัน

2.6.3.1 ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่อาศัยหลักการการรวมแม่สีของแสงเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยแสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีเขียว เมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เมื่อถ้าฉายแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาวดังภาพประกอบที่ 2-11



ภาพประกอบที่ 2-11 ระบบสี RGB [13]

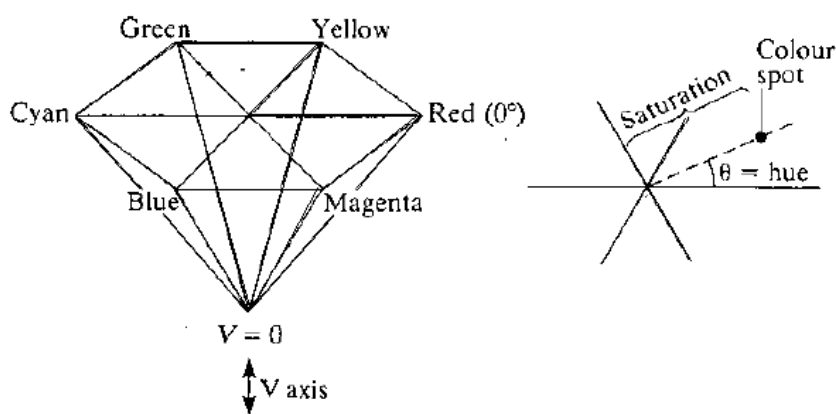
2.6.3.2 ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) เป็นระบบสีที่อาศัยหลักการใช้ Hue Saturation และ Value และ Hue คือค่าสีหลักทั้งสามสี ได้แก่ ค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ถ้าเกิดค่า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนให้เป็นสีแดง และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนไปตามความถี่สเปกตรัมของสีจนถึง 255 แล้วจะกลับมาเป็นสีแดงเช่นเดิมอีกครั้ง และสามารถแทนให้อยู่ในรูปองศาได้ คือ สีแดง มีค่าเท่ากับ 0 องศา สีเขียว มีค่าเท่ากับ 120 องศา และสีน้ำเงิน มีค่าเท่ากับ 240 องศา

Hue สามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังสมการที่ (8),(9) และ (10)

$$red_k = red - \min(red, green, blue) \quad (8)$$

$$green_k = green - \min(red, green, blue) \quad (9)$$

$$blue_k = blue - \min(red, green, blue) \quad (10)$$



ภาพประกอบที่ 2-12 ระบบสี HSV [13]

จากภาพประกอบที่ 2-12 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ระบบ Hue พบว่าจะมีค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีสองค่าเท่ากับ 0 แล้ว Hue จะเป็นมุมของสี (ค่าสี) มีค่าเป็นไปตามสีที่สามและถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ Hue หรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาว

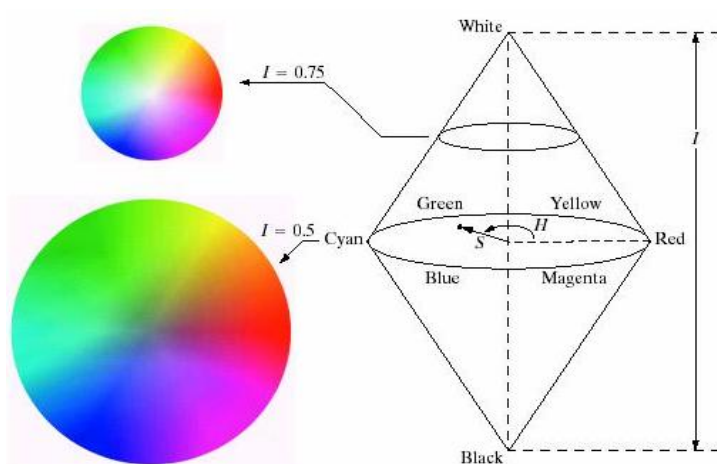
Saturation คือ ความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี Hue ซึ่งจะเป็นสีขาวล้วนแต่ถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย โดย Saturation สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (11)

$$Saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue)} \quad (11)$$

Value คือ ความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (12)

$$Value = \max(red, green, blue) \quad (12)$$

2.6.3.3 ระบบสี HSI (Hue Saturation Intensity) ในระบบสี HSI นั้นสีที่เรามองเห็นจะประกอบไปด้วย ประเภทของสี (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) และความเข้มของสี (Intensity) ดังภาพประกอบที่ 2-13



ภาพประกอบที่ 2-13 ระบบสี HSI [13]

จากภาพประกอบที่ 2-13 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ประเภทของสี Hue คือ เคนดี ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-359 ซึ่งจะไล่ลำดับการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงไปยังสีเขียว (Hue = 0 → Hue = 120) และจากสีเขียวไปยังสีน้ำเงิน (Hue = 120 → Hue = 240) และจากสีน้ำเงินไปยังสีแดง (Hue = 240 → Hue = 0)

การอิ่มตัวของสี (Saturation) คือ ค่าที่ระบุว่าสีนั้นอยู่ห่างจากแกนกลางของกรวยมากเท่าใด โดยที่ถ้าหากค่าความอิ่มตัวของสีมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้ใกล้เคียงกับเคนดีที่แท้จริงมากขึ้น

ความเข้มของสี (Intensity) คือ ค่าที่ใช้ระบุว่าสีนั้นมีความเข้มมากเท่าใด โดยถ้าความเข้มสีมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบสีขาวมาก ในทางกลับกันถ้าค่านี้มีค่าน้อยลงก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีดำมากขึ้น

### 2.6.4 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

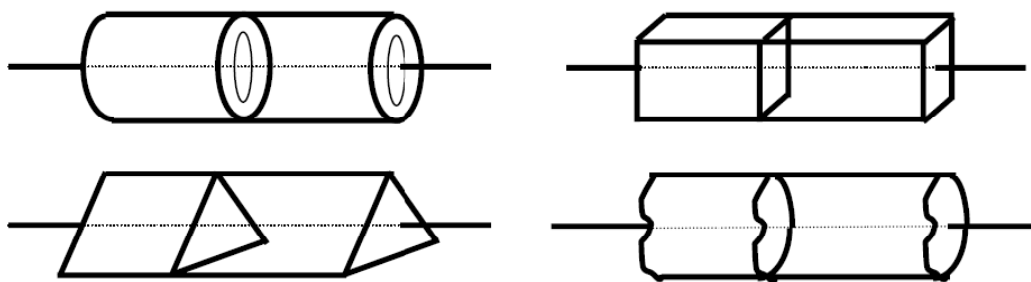
การหาขอบภาพ คือ การตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือวิธี Gradient และวิธี Laplacian โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.4.1 Gradient เป็นความคิดแรกที่ใช้วิเคราะห์หาขอบภาพ โดยใช้วิธีการวัดความเปลี่ยนแปลงของความเข้ม (Gray level) ของจุดภาพที่กำลังพิจารณากับจุดภาพที่อยู่ข้างเคียง เพื่อการตัดสินใจต่อไปว่าเป็นขอบภาพหรือไม่ โดยวิธีนี้จะหาขอบด้วยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า Threshold จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt และ Canny

2.6.4.2 Laplacian วิธีนี้จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า เป็น 0 ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธี Gradient สามารถใช้กรองความถี่ต่ำได้ขอบโครงภาพ ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น

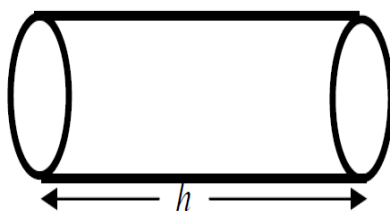
### 2.7 การหาปริมาตรรูปทรงสามมิติ โดยการตัดตามขวางเป็นแผ่นบาง ๆ

รูปทรงสามมิติที่มีส่วนตัด ที่เกิดจากการตัดกันระหว่างระนาบที่ตัดตั้งฉากกับแกน  $x$  และรูปทรงสามมิติเราเรียกส่วนตัดนี้ว่า ภาคตัดขวาง ตามแกน  $x$  ดังภาพประกอบที่ 2-14



ภาพประกอบที่ 2-14 ภาคตัดขวางของรูปทรงสามมิติ [14]

ถ้ารูปทรงกระบอกตรงถูกทำให้เกิดขึ้น โดยมี การเลื่อนบริเวณระนาบที่มีพื้นที่  $A$  ไปเป็นระยะทาง  $h$  หน่วย ดังภาพประกอบที่ 2-15

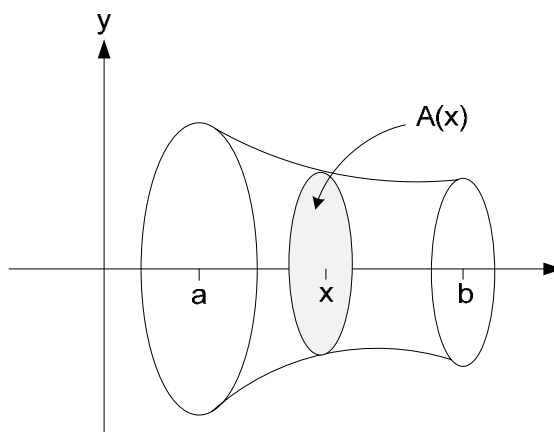


ภาพประกอบที่ 2-15 ทรงกระบอกมีความยาว  $h$  หน่วย [14]

จากภาพประกอบที่ 2-15 เราสามารถหาปริมาตรของรูปทรงกระบอกตรงได้ดังสมการที่ (13)

$$\text{ปริมาตร} = \text{พื้นที่ฐาน (พื้นที่ส่วนตัดขวาง)} \times \text{ความสูง} \quad (13)$$

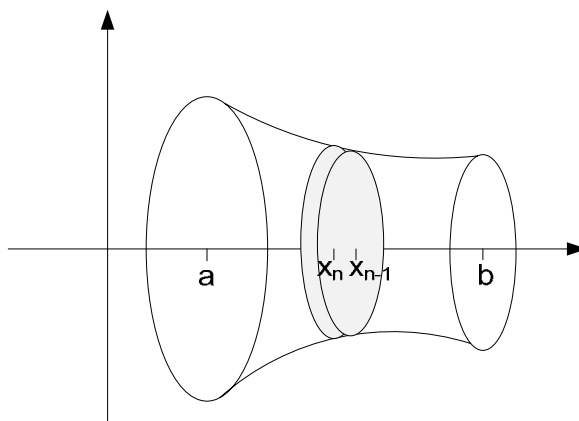
สำหรับรูปทรงสามมิติที่เป็นรูปทรงกระบอกตรงหรือไม่เป็น จะสามารถหาปริมาตรได้โดยวิธีการเฉือน (Slicing) ออกเป็นชิ้น ๆ ได้ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2-16 รูปทรงสามมิติที่มีภาคตัดขวางไม่สมมาตร [15]

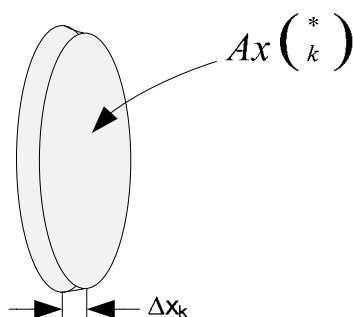
จากภาพประกอบที่ 2-16 สมมติให้  $S$  เป็นรูปทรงสามมิติที่มีภาคตัดขวางไม่สมมาตร โดยมีความยาวไปตามแกน  $x$  และมีขอบเขตจาก  $a$  ถึง  $b$  จะได้ว่าส่วนตัดขวางที่ตั้งฉากกับแกน  $x$  จะแปรค่าไปตามจุด  $x$  สมมติให้  $A(x)$  แทนพื้นที่ของส่วนตัดขวางที่จุด  $x$  ดังภาพประกอบที่ 2-16 หากทำการแบ่งช่วงปิด  $[a, b]$  ออกเป็น  $n$  ช่วงย่อย ให้แต่ละช่วงกว้าง  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$  โดยกำหนดจุดแบ่งอยู่ที่จุด  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}$  ระหว่าง  $a$  และ  $b$  แล้วนำแผ่น

ระนาบที่ตั้งฉากต่อแกน  $x$  ตัดผ่านจุดเหล่านี้ ระนาบเหล่านี้จะตัด  $S$  ออกเป็น  $n$  ชิ้น เรียกว่า  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  ได้ดังภาพประกอบที่ 2-17



ภาพประกอบที่ 2-17 รูปทรงสามมิติเมื่อแบ่งออกเป็น  $n$  ช่วง [15]

ดังนั้นเมื่อเลือกจุด  $x_k^*$  ใด ๆ ในช่วงย่อย  $k$  แล้ว ส่วนตัดขวางที่  $x_k^*$  จะสามารถใช้ประมาณส่วนตัดขวางของ  $S_k$  ได้ และสามารถหาปริมาตรของ  $S_k$  ได้โดยเป็นรูปทรงกระบอกตรงที่มีความหนา  $\Delta x_k$  และพื้นที่ส่วนตัดขวาง  $A(x_k^*)$  ดังภาพประกอบที่ 2-18



ภาพประกอบที่ 2-18 ภาคตัดขวางของพื้นที่  $k$  [15]

จากภาพประกอบที่ 2-18 เราสามารถหาปริมาตรของชิ้น  $S_k$  โดยการประมาณได้ดังสมการที่ (14)

$$V_k \approx A(x_k^*)\Delta x_k \quad (14)$$

และปริมาตรทั้งหมดของ  $S$  จะมีค่าประมาณดังสมการที่ (15)

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

หรือ

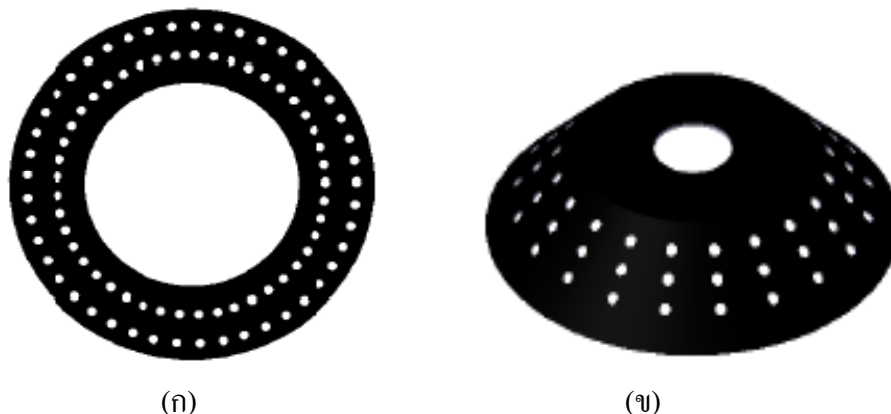
$$V = \sum_{k=1}^n A(x_k^*) \Delta x_k \quad (15)$$

## 2.8 Solid Work Simulation

ในการออกแบบระบบแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้ง่ายในการศึกษากระบวนการกระจายแสงแบบต่าง ๆ จึงได้นำเอาโปรแกรม Solid work [16] เข้ามาช่วยในการจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field และทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงโดยจำลองการเกิดแสงจากแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แบบ โดยในการออกแบบจะทำการออกแบบ LED และโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง และกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับค่าจริงและทำการจำลองลักษณะการกระจายแสง โครงสร้างของ LED และโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 2-19 และ ภาพประกอบที่ 2-20 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 2-19 การจำลอง LED บนโปรแกรม Solid work



ภาพประกอบที่ 2-20 การจำลองโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง (ก) แบบ Bright field และ (ข) แบบ Dark field

ภาพประกอบที่ 2-19 จาก และภาพประกอบที่ 2-20 แสดงการจำลองโครงสร้างของ LED และโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field และแบบ Dark field ซึ่งจะถูกล่ามถึงในหัวข้อการจำลองแหล่งกำเนิดแสงในบทที่ 3 การออกแบบระบบ

### 2.8.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Sources)

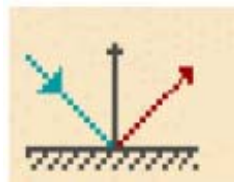
การกำหนดผิวหน้าของแหล่งกำเนิดสามารถกำหนดได้กับทุกพื้นผิวของแหล่งกำเนิดแสง โดยสามารถควบคุมคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงได้ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าที่ให้กับแหล่งกำเนิดแสง (ลูเมนหรือวัตต์)
- สเปกตรัม (ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง)
- การแผ่รังสี (สามารถกำหนดจุดเกิดรังสีบนผิวของแหล่งกำเนิดแสงได้)
- การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงและจำนวนรังสีที่เกิดขึ้น

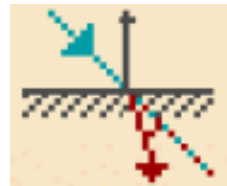
### 2.8.2 คุณสมบัติของแสง (Optical properties)

ในการออกแบบสามารถกำหนดลักษณะผิวของวัตถุให้มีลักษณะการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันได้ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุจริง ตัวอย่างของการกำหนดลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 2-21





(ก)



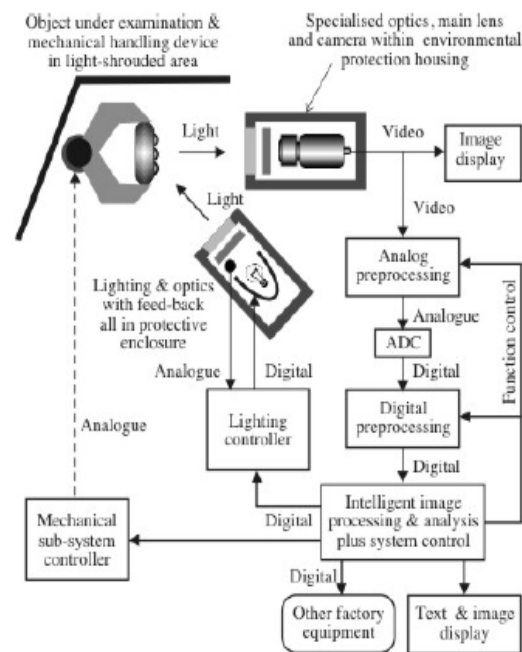
(ข)

ภาพประกอบที่ 2-21 การกำหนดการสะท้อนแสงของผิววัตถุ (ก) สะท้อนกลับหมด และ (ข) การหักเหของแสง

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบแมชชีนวิชั่นเพื่อใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วยการออกแบบระบบควบคุมภาพจากกล้อง การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง การออกแบบระบบการควบคุมตำแหน่งโฟกัส จากการออกแบบระบบแมชชีนวิชั่นจะนำไปสู่การศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ต่อไป



ภาพประกอบที่ 3-1 โครงสร้างของระบบแมชชีนวิชั่น [17]

จากภาพประกอบที่ 3-1 แสดงให้เห็นโครงสร้างทั่วไปของระบบแมชชีนวิชั่นซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกคือฮาร์ดแวร์ ได้แก่ กล้อง แหล่งกำเนิดแสง คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ส่วนที่สอง คือ ซอฟต์แวร์ ได้แก่ โปรแกรมควบคุมแหล่งกำเนิดแสง โปรแกรมควบคุมการทำงานของกล้อง เป็นต้น

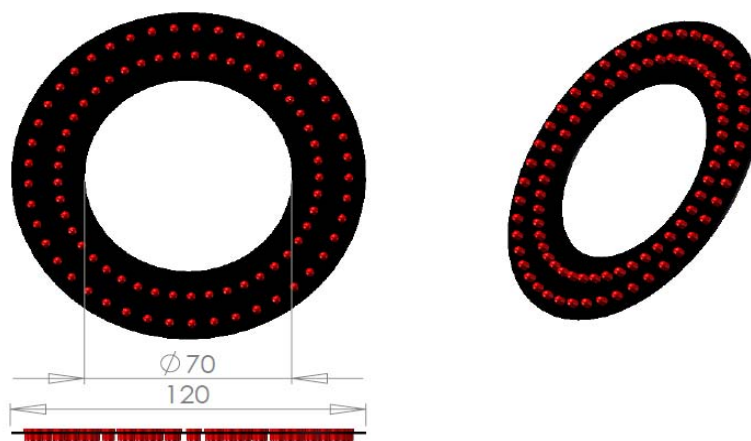
### 3.1 การจำลองแหล่งกำเนิดแสง

ในระบบแมชชีนวิชั่นนั้นแหล่งกำเนิดแสงถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ สำหรับช่วยในการมองเห็น และวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้มีความรวดเร็วในกระบวนการทำงาน ดังนั้นเมื่อนำเอาการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสม ควบคู่กับการใช้ LED เป็นตัวให้แสงสว่างจะทำให้แหล่งกำเนิดแสงที่ได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในกระบวนการนี้จึงเป็นการศึกษาลักษณะการให้แสงสว่างและการกระจายตัวแสงจากของแหล่งกำเนิดแสง 3 ประเภท ซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยการจำลองด้วยโปรแกรม Solid Work เพื่อทำการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับใช้ในระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน

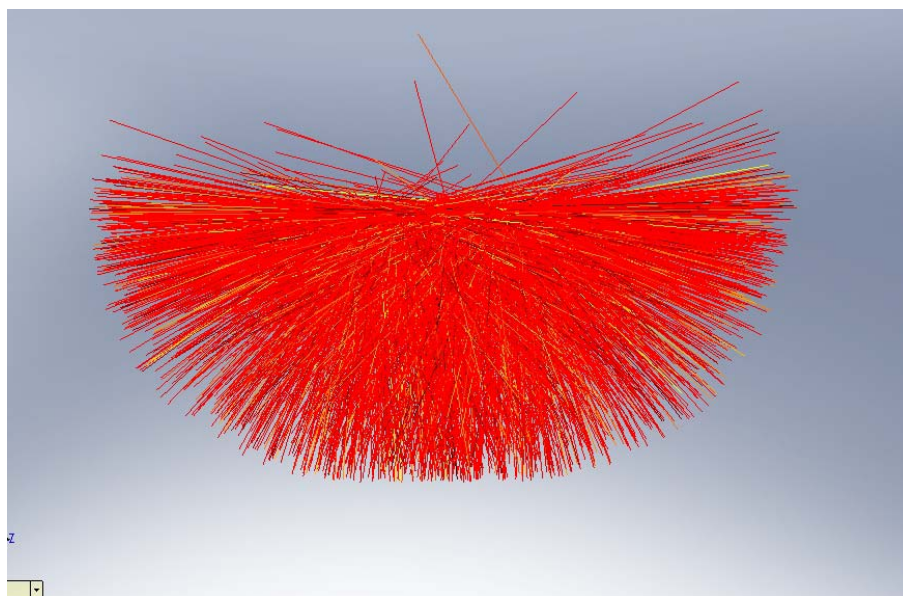
#### 3.1.1 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright Field

ในกระบวนการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field สามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

จากภาพประกอบที่ 3-2 เป็นการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยใช้โปรแกรม Solid work 2007 แหล่งกำเนิดแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และประกอบด้วย LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร 90 ดวง จากนั้นได้ทำการศึกษาลักษณะการส่องสว่างของแหล่งแบบ Bright field โดยผลซึ่งได้จากการจำลองสามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-3

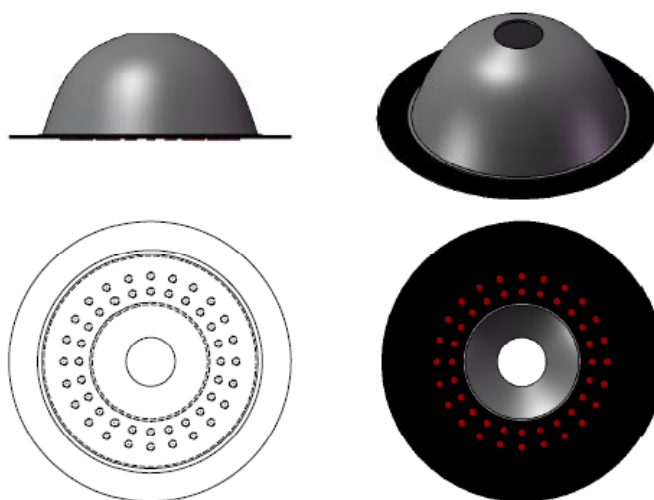


ภาพประกอบที่ 3-3 การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

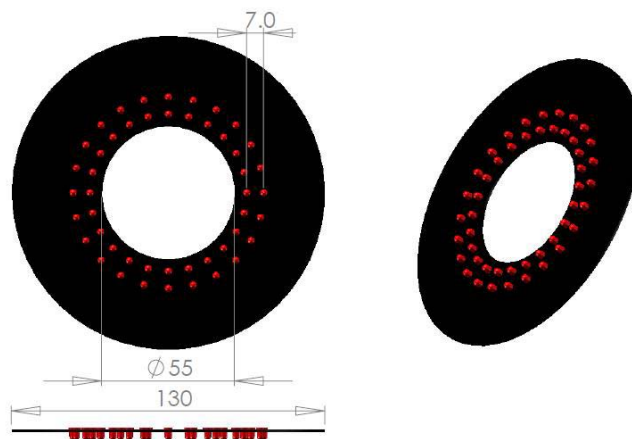
จากภาพประกอบที่ 3-3 แสดงผลการจำลองการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยในการจำลองจะให้ LED สีแดงเป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยกำหนดให้มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร

### 3.1.2 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

ในกระบวนการนี้เป็นการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยสามารถแสดงโครงสร้างและขนาดของแหล่งกำเนิดแสง ได้ดังภาพประกอบที่ 3-3 และ ภาพประกอบที่ 3-4

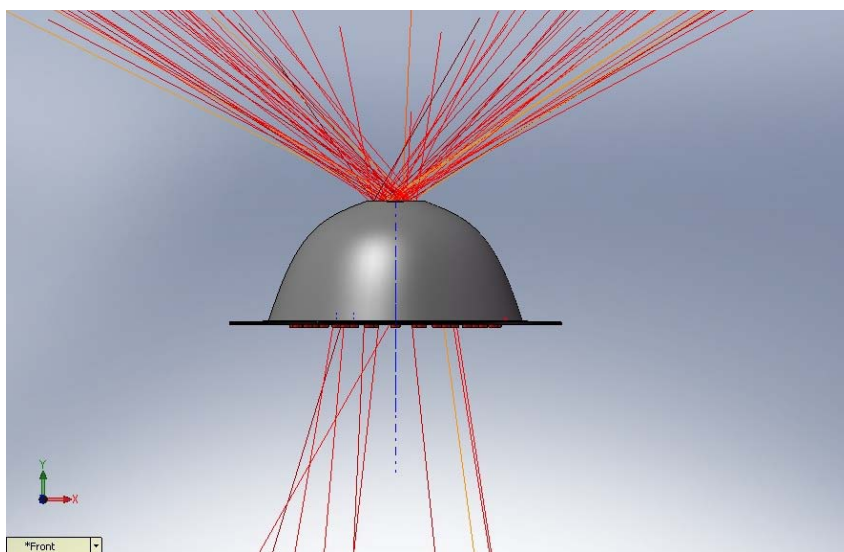


ภาพประกอบที่ 3-4 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome



ภาพประกอบที่ 3-5 ขนาดของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากภาพประกอบที่ 3-4 และ ภาพประกอบที่ 3-5 เป็นการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยใช้โปรแกรม Solid work 2007 โดยแหล่งกำเนิดแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร และประกอบด้วย LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร 48 ดวง จากนั้นจะทำการศึกษาลักษณะการส่องสว่างของแหล่งแบบ Dome โดยผลซึ่งได้จากการจำลองสามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-5

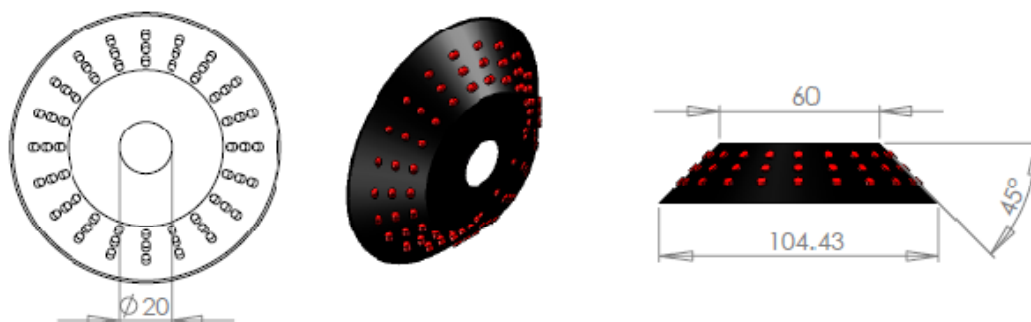


ภาพประกอบที่ 3-6 การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากภาพประกอบที่ 3-6 แสดงผลการจำลองการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยในการจำลองจะให้ LED สีแดงเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยกำหนดให้มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร ลำแสงที่ถูกจำลองขึ้นมาจะสะท้อนกับตัวโคมซึ่งมีผิวเป็น Alloy กลับลงมาส่องสว่างให้กับวัตถุ และมีแสงอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้นไปทางด้านบนของโคม โดยลำแสงส่วนนี้จะส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ข้อมูลภาพเนื่องจากปริมาณของแสงที่เข้าสู่ตัวกล้องมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลภาพได้อย่างถูกต้อง

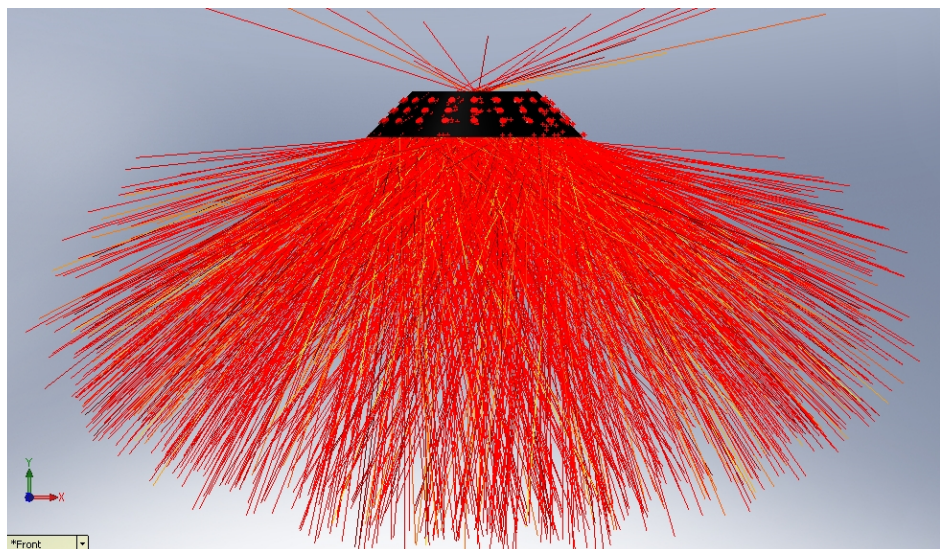
### 3.1.3 การจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

ในกระบวนการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field สามารถแสดงให้เห็นโครงสร้างและขนาดของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ดังภาพประกอบที่ 3-7



ภาพประกอบที่ 3-7 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

จากภาพประกอบที่ 3-7 เป็นการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยใช้โปรแกรม SolidWork 2007 แหล่งกำเนิดแสงมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 6 และ 10.4 เซนติเมตร โดยตัวแหล่งกำเนิดแสงจะทำมุม 45 องศา กับระนาบ และประกอบด้วย LED สีแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร 60 ดวง จากนั้นจะทำการศึกษาลักษณะการส่องสว่างของแหล่งแบบ Dark field โดยผลซึ่งได้จากการจำลองสามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-8



ภาพประกอบที่ 3-8 การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

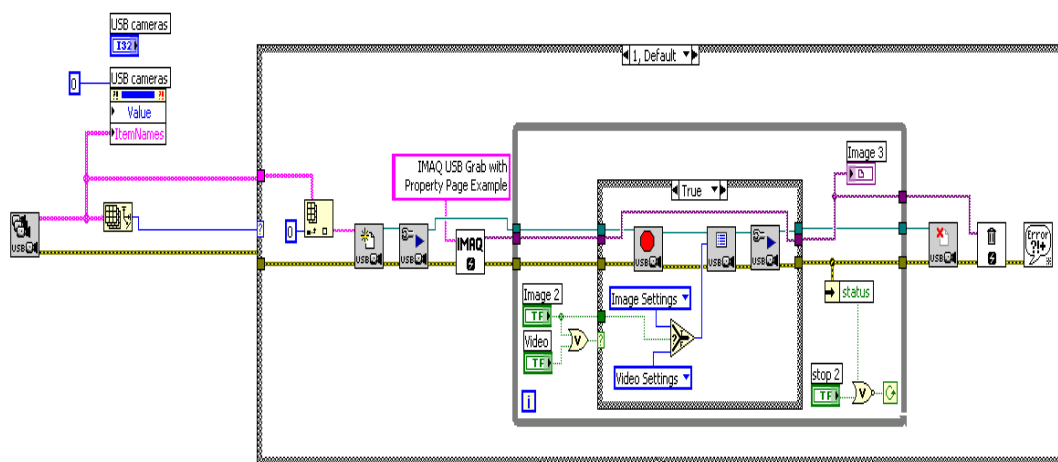
จากภาพประกอบที่ 3-8 แสดงผลการจำลองการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยในการจำลองจะให้ LED สีแดงเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยกำหนดให้มีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร แสงที่ได้จากการจำลองจะให้การส่องสว่างทำมุม 45 องศา กับวัตถุซึ่งจะทำให้เห็นคุณลักษณะต่าง ๆ ของวัตถุได้ดีกว่าแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

### 3.2 การออกแบบระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง

ในการออกแบบเลือกใช้เซ็นเซอร์ภาพซึ่งใช้เทคโนโลยีแบบ CMOS เนื่องจากเป็นเซ็นเซอร์แบบ CMOS มีคุณภาพดีและมีราคาถูก ในการออกแบบและพัฒนาระบบการรับส่งข้อมูลภาพจากกล้อง ได้ทำการเลือกใช้กล้องของบริษัท Vimicro รุ่น Vimicro301 [18] โดยมีขนาดเซ็นเซอร์ 1/3 นิ้ว เลนส์ประกอบภายใน สามารถปรับระยะโฟกัสได้ตั้งแต่ 30 มิลลิเมตร ถึงระยะอนันต์ สำหรับการออกแบบเลือกใช้ภาพสีขนาด 350 x 300 พิกเซล ความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที การสื่อสารระหว่างกล้องไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสามารถสื่อสารกันโดยใช้การเชื่อมต่อผ่านสายแบบ USB โดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลโดยใช้โปรแกรมรับข้อมูลซึ่งได้จากกล้อง และทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมการทำงานของกล้อง

### 3.2.1 การออกแบบโปรแกรมรับข้อมูลภาพจากกล้อง

การออกแบบโปรแกรมในการรับข้อมูลภาพจากกล้องสำหรับนำค่ารูปภาพไปทำการวิเคราะห์จะใช้การออกแบบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW [19] ร่วมกับ Image Acquisition software (IMAQ) [20] ซึ่งจะสามารถรองรับการเชื่อมต่อได้ทั้งกล้องที่เป็น USB หรือกล้องที่มีการเชื่อมต่อแบบอนาล็อก ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกในการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมการรับข้อมูลภาพจากกล้อง



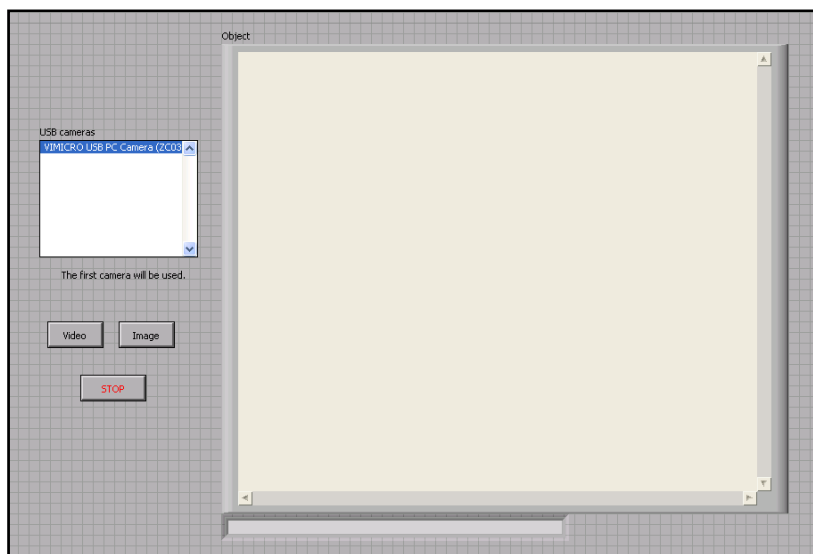
ภาพประกอบที่ 3-9 ตัวอย่าง โปรแกรมรับข้อมูลภาพ

จากภาพประกอบที่ 3-9 สามารถอธิบายหลักการการทำงานของโปรแกรมรับข้อมูลภาพได้ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ขั้นตอนเริ่มต้นทำงานของโปรแกรม
- ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมของกล้อง
- ส่วนที่ 3 ขั้นตอนรับและแสดงข้อมูลภาพ
- ส่วนที่ 4 ขั้นตอนการปิดการทำงานของกล้องและหยุดการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนของการรับข้อมูลภาพและแสดงภาพกำหนดให้คาบการทำงานเท่ากับ 150 มิลลิวินาที และระยะเวลาในแต้รอบการทำงานเท่ากับ 120 มิลลิวินาที แสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-10





ภาพประกอบที่ 3-10 ส่วนแสดงข้อมูลภาพจากกล้อง

### 3.3 การออกแบบแหล่งกำเนิดแสง

จากการจำลองแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้โปรแกรม SolidWork 2007 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแสงซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field, แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field จะถูกนำมาออกแบบเป็นแหล่งกำเนิดแสงจริง โดยในการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงจะเลือกใช้ LED สีแดง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และมีความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร มุมการให้แสงสว่างสูงสุดเป็น 50 องศา สำหรับให้แสงสว่างแก่ระบบแมชชีนวิชั่น ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

#### 3.3.1 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

จากการจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field สามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 3-11



ภาพประกอบที่ 3-11 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

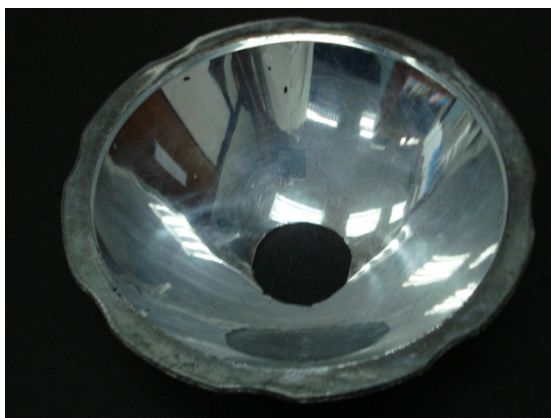
จากภาพประกอบที่ 3-11 แสดงให้เห็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยประกอบไปด้วยตัวถังวงกลมสีดำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และใช้ LED สีแดง ขนาด 3 มิลลิเมตร ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร จำนวน 90 หลอด สำหรับให้แสงสว่างแก่ระบบแมชชีนวิชั่น

### 3.3.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากการจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome สามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 3-12 และ ภาพประกอบที่ 3-13



ภาพประกอบที่ 3-12 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ในส่วนของตัวให้แสง

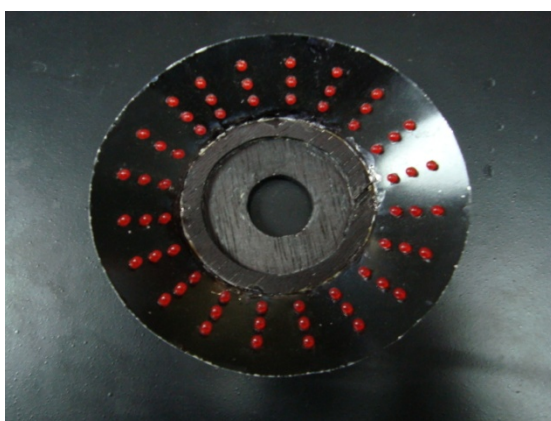


ภาพประกอบที่ 3-13 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ในส่วนของตัวสะท้อนแสง

จากภาพประกอบที่ 3-12 และภาพประกอบที่ 3-13 แสดงให้เห็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยประกอบไปด้วยตัวถังวงกลมสีดำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และใช้ LED สีแดงขนาด 3 มิลลิเมตร ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร จำนวน 48 หลอด มีตัวโคมสำหรับเป็นตัวสะท้อนแสงทำด้วยพลาสติกเคลือบอลูมิเนียมผิวเรียบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงได้ไกลยิ่งขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร สำหรับให้แสงสว่างแก่ระบบแมชชีนวิชั่น

### 3.3.3 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

จากการจำลองแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field สามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 3-14



ภาพประกอบที่ 3-14 แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

จากภาพประกอบที่ 3-14 แสดงให้เห็นแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แหล่งกำเนิดแสงมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 6 และ 10.4 เซนติเมตร โดยตัวแหล่งกำเนิดแสงจะทำมุม 45 องศา กับระนาบ และประกอบด้วย LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร 60 ดวง สำหรับให้แสงสว่างแก่ระบบแมชชีนวิชั่น

### 3.4 การออกแบบระบบควบคุมความเข้มแสง

ในปัจจุบันหลอด LED เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในระบบแมชชีนวิชั่นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของความยาวคลื่นแสงที่คงที่เมื่ออุณหภูมิของหลอดเพิ่มขึ้น, อายุการใช้งาน, ราคาของ, การบำรุงรักษาเมื่อเกิดการเสียหาย, กระบวนการออกแบบระบบ, ความร้อน, ความเข้มแสง, อันตรายที่เกิดจากการใช้งาน เป็นต้น นอกจากนี้การจัดการจัดฉากที่เหมาะสมจะทำให้สามารถพิจารณาคุณสมบัติของ LED ได้ดียิ่งขึ้นทำให้คุณภาพของภาพที่ได้มีค่าดีที่สุด

สำหรับหลอด LED นั้นมีอยู่หลายช่วงความยาวคลื่นแสงโดยพิจารณาจากสีของ LED นั่นก็คือความยาวคลื่นแสงต่างกันจะให้แสงสีต่างกันโดยการใช้งานทั่วไปสามารถเลือกใช้ได้หลายช่วงความยาวคลื่นแสงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงาน แต่การเลือกใช้ LED สำหรับระบบแมชชีนวิชั่นนั้นจะคำนึงถึงความยาวคลื่นแสงที่จะส่งผลกระทบต่อวัตถุเป็นหลัก เนื่องจากจะต้องทำการวิเคราะห์ภาพซึ่งได้จากระบบแมชชีนวิชั่น ดังนั้นการเลือกใช้หลอด LED จึงเลือกใช้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นคงที่เมื่ออุณหภูมิของหลอดเปลี่ยนไปเนื่องจากการใช้งานแหล่งกำเนิดแสงเป็นเวลานาน

โดยความส่องสว่างที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงจะต้องเพียงพอต่อการใช้งานและมีความสม่ำเสมอในการให้แสงสว่างแก่ระบบ ดังนั้นการนำหลอด LED มาใช้ต่อรวมกันจะทำให้เพิ่มอัตราการให้แสงหรือเพิ่มกำลังการส่องสว่างแก่ระบบได้ดียิ่งขึ้น จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับนำมาใช้กับระบบแมชชีนวิชั่น และจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีขึ้น เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดแสงน้อยลง

ภายในหลอด LED คือประกอบด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสง มีเส้นลวดทองคำขนาดเล็กมากเชื่อมระหว่างสารกึ่งตัวนำและขา LED โดยชิ้นส่วนทั้งหมดจะถูกบรรจุในพลาสติกใสทรงโดม ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง โดยลักษณะลำแสงที่ออกจากหลอด LED จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น รูปร่างของถ้วยสะท้อนแสง ขนาดของชิปสารกึ่งตัวนำ รูปร่างของเลนส์ ระยะห่างระหว่างตัวชิปกับผิวพลาสติกที่หุ้มอยู่ เป็นต้น

ในการเลือกวัตถุทดสอบได้ทำการเลือกวัตถุทดสอบที่มีลักษณะพื้นผิวและสีของวัตถุทดสอบที่มีลักษณะแตกต่างกัน เพื่อการพิจารณาการสะท้อนของแสงที่เกิดจากวัตถุต่างชนิดกัน โดยสามารถพิจารณาวัตถุที่ใช้สำหรับการทดสอบได้ดังภาพประกอบที่ 3-15

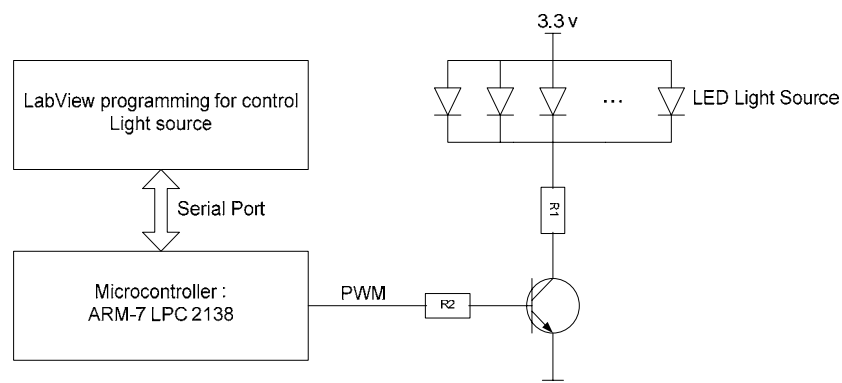


ภาพประกอบที่ 3-15 ตัวอย่างวัตถุซึ่งใช้สำหรับการทดสอบ

จากภาพประกอบที่ 3-15 ตัวอย่างวัตถุซึ่งใช้สำหรับการทดสอบประกอบด้วย ก้อนตะกั่วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร สูงประมาณ 3 มิลลิเมตร ลูกปิงปองสีขาว และลูกปิงปองสีเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร

#### 3.4.1 หลักการควบคุมความเข้มแสง

ในการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED ซึ่งใช้ในระบบแมชชีนวิชั่นสำหรับการตรวจด้วยภาพนั้นได้เทคนิคการควบคุมแบบ Pulse width modulation (PWM) [21] ร่วมกับการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ โดยใช้เทคนิคการต่อหลอด LED แบบขนาน ในการควบคุมความเข้มแสงของหลอด LED สามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 3-16

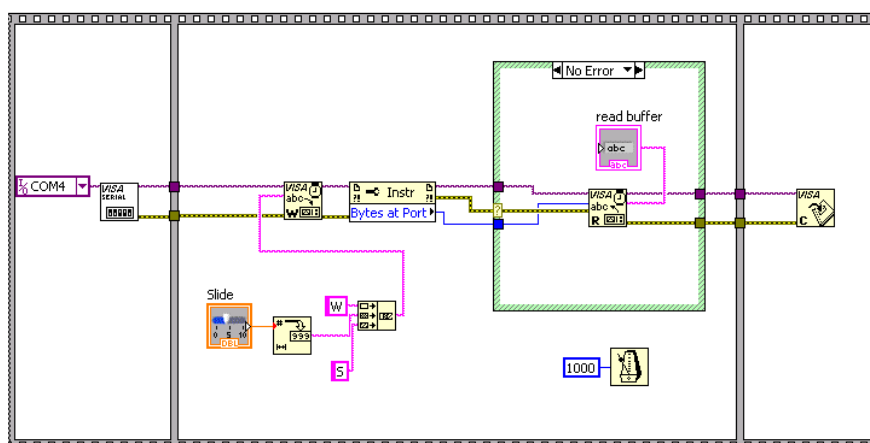


ภาพประกอบที่ 3-16 การควบคุมการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง

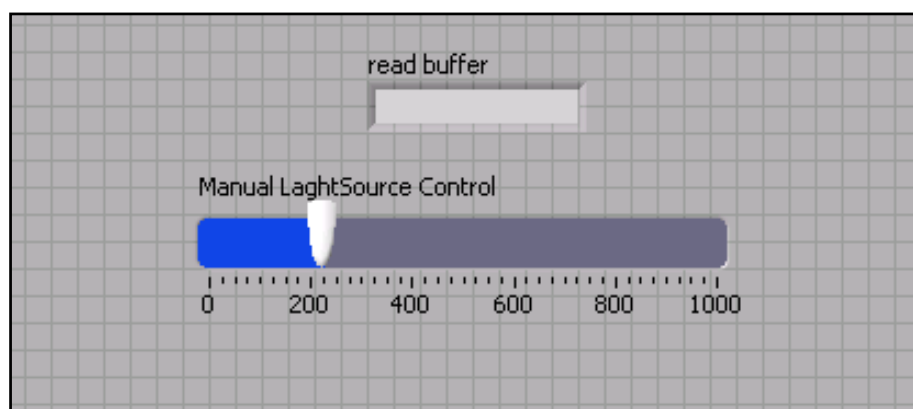
จากภาพประกอบที่ 3-16 การควบคุมการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง เป็นการควบคุมค่าของความเข้มแสงจากโปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรม LabVIEW จะรับค่าความเข้มแสงที่ต้องการจากผู้ใช้แล้วทำการส่งคำสั่งผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7 LPC 2138 หลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับคำสั่งก็จะทำการสร้างสัญญาณ PWM ส่งไปควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง และทำการส่งค่ากลับมาแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW เพื่อเป็นการตรวจสอบค่า

### 3.4.2 โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง

การออกแบบโปรแกรมควบคุมความเข้มแสงจะอาศัยการควบคุมโดยใช้โปรแกรม LabView โดยสามารถพิจารณาได้ดังภาพประกอบที่ 3-17 และภาพประกอบที่ 3-18



ภาพประกอบที่ 3-17 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมความเข้มแสง



ภาพประกอบที่ 3-18 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

ในการควบคุมความเข้มแสงทำการควบคุมความเข้มแสงผ่านทางโปรแกรม NI LabVIEW และส่งค่าของผู้ใช้โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นก็จะทำการประมวลผลคำสั่งซึ่งมาจากโปรแกรม NI LabVIEW โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM-7 LPC 2138 และทำการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปควบคุมความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง

## บทที่ 4

### การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ

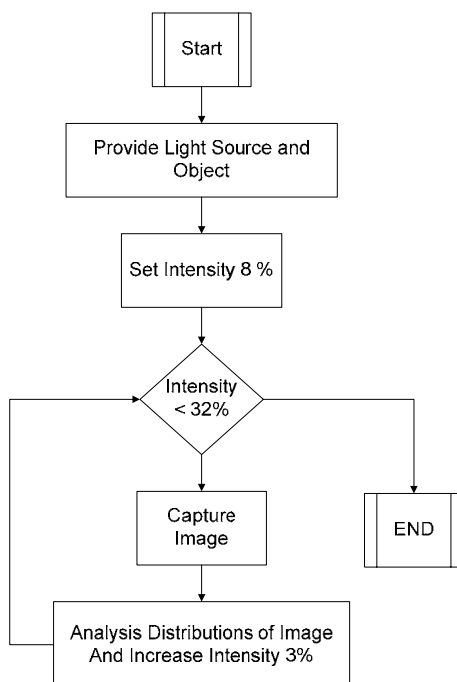
ในบทนี้จะทำการศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงในแต่ละแหล่งกำเนิดแสงของระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ซึ่งทำการควบคุมแสงจากภายนอกโดยการทำการทดลองแหล่งกำเนิดแสงในห้องมืด และใช้วัตถุป้องกันแสงเป็นวัสดุสีดำเพื่อลดอัตราการสะท้อนของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสง โดยจะทำการพิจารณาการกระจายตัวของแสงที่ความเข้มแสงต่าง ๆ กันในแต่ละแหล่งกำเนิดแสง โดยในที่นี่จะทำการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงทั้งหมด 3 ชนิด คือ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบลักษณะของการกระจายตัวของแสงของแต่ละแหล่งกำเนิดแสงเพื่อหาลักษณะการกระจายตัวที่ดีที่สุด ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบระบบการให้แสงสำหรับการหาปริมาตรของตะกั่วต่อไป

#### 4.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสง

การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field จะทำการทดลองโดยการควบคุมค่าความความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละแบบ โดยทำการปรับค่าความเข้มแสงจากเข้มแสงน้อยไปหาความเข้มแสงมาก โดยทำการควบคุมค่าของความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงผ่านทางโปรแกรม NI LabVIEW ซึ่งจะรับค่าจากผู้ใช้ และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม เพื่อสร้างเป็นสัญญาณ PWM ไปควบคุมแหล่งกำเนิดแสง หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของแสงด้วยองค์ประกอบทางภาพ

โดยในกระบวนการศึกษาการกระจายตัวของแสงเพื่อให้ครอบคลุมสำหรับระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ได้ทำการแบ่งลักษณะการทดลองออกเป็นส่วนต่าง ๆ และ มีกระบวนการในการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.1





ภาพประกอบที่ 4-1 กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสง

จากภาพประกอบที่ 4-1 บล็อกไดอะแกรมแสดงกระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสง ในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field, แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการเตรียมแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการทดลอง ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยผู้ใช้งานทางโปรแกรม NI LabView โดยในที่นี้เริ่มต้นการกำหนดความเข้มแสงอยู่ที่ 8% เมื่อเทียบจากความเข้มแสงสูงสุด และทำการบันทึกข้อมูลภาพ หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของแสงโดยวิธีการประมวลผลภาพ และทำการเพิ่มค่าความเข้มแสงจนเสร็จสิ้นกระบวนการ คือ ความเข้มแสงน้อยกว่า 32% ของความเข้มแสงทั้งหมดที่แหล่งกำเนิดแสงให้ได้ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าจะทำการทดลองโดยให้ค่าความเข้มแสง อยู่ระหว่าง 8% – 29% เนื่องจากผลที่ได้จากการทดลองบอกให้รู้ว่าเมื่อยิ่งให้ความเข้มแสงมากขึ้นจะส่งผลให้วิเคราะห์ข้อมูลของภาพผิดพลาดมากขึ้นเนื่องจากภาพที่ได้มีความสว่างมากเกินไป

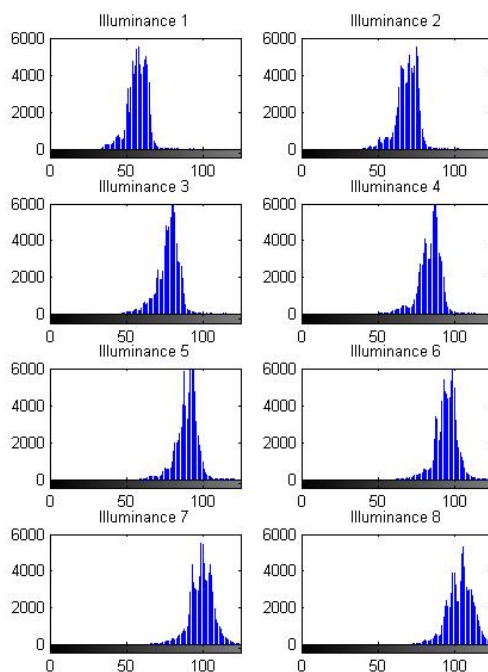
#### 4.1.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงของฉากหลัง จากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยในการทดลองจะทำการควบคุมค่าความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ทั้งหมด 8 ครั้ง โดยใช้ฉากรับแสงเป็นฉากสีดำ ซึ่งทั้งหมดจะเป็นการ

รับค่า คำสั่งจากผู้ใช้ผ่านทางโปรแกรม NI LabView โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-2



ภาพประกอบที่ 4-2 ลักษณะของแสงซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field



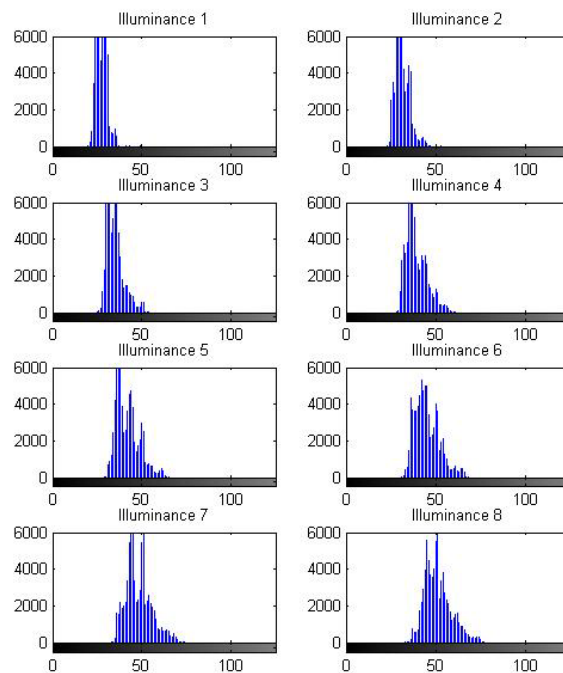
ภาพประกอบที่ 4-3 ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Bright field

จากภาพประกอบที่ 4-2 แสดงให้เห็นความเข้มแสงซึ่งเกิดจากการให้ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แตกต่างกัน 8 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำภาพซึ่งได้จากการทดลองทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของแสง โดยแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-3 ซึ่งเป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยทำการนำภาพสี RGB (ภาพประกอบที่ 4-2) มาทำการแปลงเป็นภาพ Gray scale แล้วนำไปพล็อตเป็นฮิสโตแกรมเพื่อดูการกระจายตัวของแสง โดยในแกน X คือ แกนของความเข้มแสง และแกน Y คือ แกนของการซ้ำค่า(ความถี่) เดิมของความเข้มแสง จากภาพประกอบที่ 4-3 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ คือ เมื่อความเข้มแสงของระบบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้การกระจายตัวของแสงเปลี่ยนไปโดยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นการกระจายตัวของแสงจะดีขึ้นคือ มีค่าความเข้มแสงเดียวกันเพิ่มมากขึ้นหรือฮิสโตแกรมแคบลงนั่นเอง แต่เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งค่าของการกระจายตัวจะมีค่าไม่ดี

#### 4.1.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome



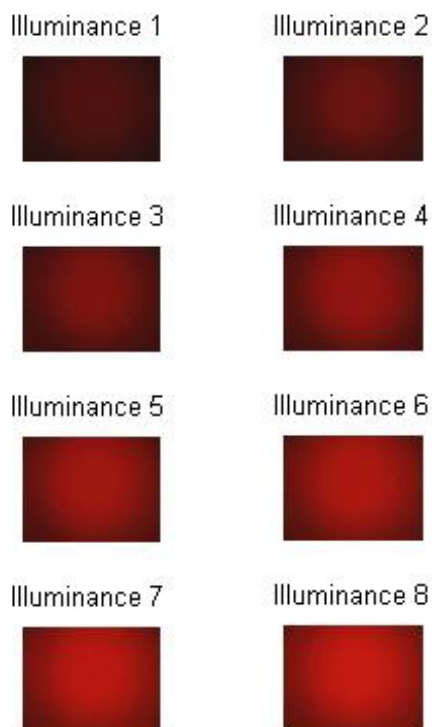
ภาพประกอบที่ 4-4 ลักษณะของแสงซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome



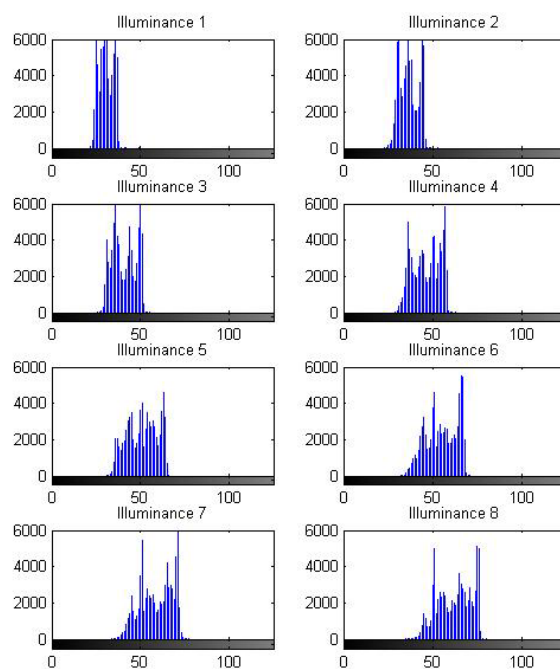
ภาพประกอบที่ 4-5 ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dome

จากภาพประกอบที่ 4-4 แสดงให้เห็นความเข้มแสงซึ่งเกิดจากการให้ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome แตกต่างกัน 8 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำภาพซึ่งได้จากการทดลองทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของแสง โดยแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-5 ซึ่งเป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยทำการนำภาพสี RGB (ภาพประกอบที่ 4-4) มาทำการแปลงเป็นภาพ Gray scale แล้วนำไปพล็อตเป็นฮิสโตแกรมเพื่อดูการกระจายตัวของแสง โดยในแกน X คือแกนของความเข้มแสง และแกน Y คือ แกนของการซ้ำค่า(ความถี่) เดิมของความเข้มแสง จากภาพประกอบที่ 4-5 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ คือ ค่าของการกระจายตัวเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome มีค่าที่ไม่ดีมากนักเนื่องจากการกระจายตัวของแสงบอกให้ทราบว่า การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีความเข้มแสงน้อย(ภาพมืด) เมื่อค่าของความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทำการกระจายตัวของแสงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ดีพอสำหรับการนำไปใช้ในการทำเป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทดสอบวัตถุเนื่องจากการกระจายตัวของแสงที่มากเกินไป

### 4.1.3 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field



ภาพประกอบที่ 4-6 ลักษณะของแสงซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field



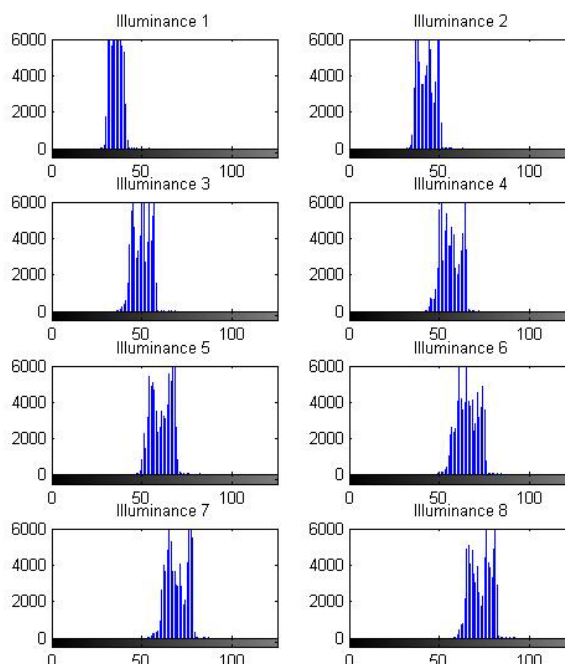
ภาพประกอบที่ 4-7 ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dark field

จากภาพประกอบที่ 4-6 แสดงให้เห็นความเข้มแสงซึ่งเกิดจากการให้ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แตกต่างกัน 8 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำภาพซึ่งได้จากการทดลองทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของแสง โดยแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-7 ซึ่งเป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยทำการนำภาพสี RGB (ภาพประกอบที่ 4-6) มาทำการแปลงเป็นภาพ Gray scale แล้วนำไปพล็อตเป็นฮิสโตแกรมเพื่อดูการกระจายตัวของแสง โดยในแกน X คือแกนของความเข้มแสง และแกน Y คือ แกนของการซ้ำค่า(ความถี่) เดิมของความเข้มแสง จากภาพประกอบที่ 4-7 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ คือ ค่าของการกระจายตัวเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field มีลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แต่เมื่อพิจารณาในกรณีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของแสงเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field มีการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายตัวของแสงที่ดีกว่า เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มแสงค่าความสว่างของระบบจะเปลี่ยนแปลงไม่มากจนเกินไป

#### 4.1.4 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark filed แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง



ภาพประกอบที่ 4-8 ลักษณะของแสงซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง



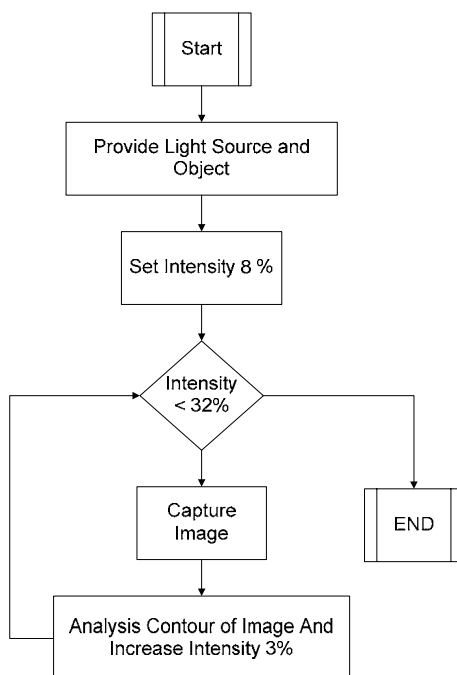
ภาพประกอบที่ 4-9 ลักษณะการกระจายตัวของแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง

จากภาพประกอบที่ 4-8 แสดงให้เห็นความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงหลังจากเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง ทำให้มีค่าความเข้มแสงที่ดีขึ้น และเมื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของแสงซึ่งแสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-9 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายตัวของแสงดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ Dark field

#### 4.2 การศึกษาผลของการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกับวัตถุ

การศึกษาผลของการสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกับวัตถุจะใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field, แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ซึ่งจะทำให้การทดลองโดยการควบคุมค่าความความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละแบบ โดยทำการปรับค่าความเข้มแสงจากเข้มแสงน้อยไปหาความเข้มแสงมาก และจะทำการวิเคราะห์การสะท้อนแสงของวัตถุด้วยองค์ประกอบทางภาพ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการพิจารณา Contour ของแสงในแต่ละความสูงของวัตถุ

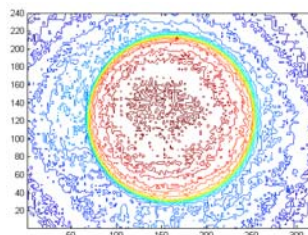
โดยในกระบวนการศึกษาการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกับวัตถุได้ทำการแบ่งลักษณะการทดลองออกเป็นส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีกระบวนการในการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.10



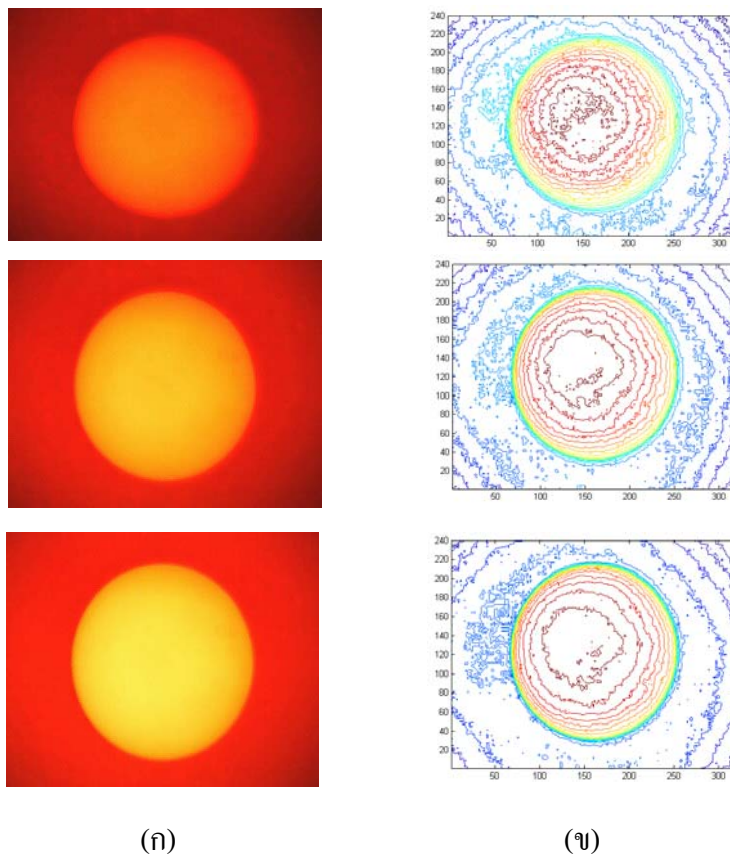
ภาพประกอบที่ 4-10 กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุ

จากภาพประกอบที่ 4-10 แสดงให้เห็นกระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุ โดยมีกระบวนการทดลองคือ จะทำการเตรียมวัตถุที่จะทำการทดลองในที่นี้ เลือกใช้ลูกปิงปองสีเหลือง และลูกปิงปองสีขาว (ภาพประกอบที่ 3-15) และเลือกแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบ Bright field จากนั้นเพิ่มความเข้มแสงให้แก่ระบบ 8% แล้วทำการบันทึกข้อมูลรูปภาพ แล้วนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ contour ของภาพหลังจากนั้นก็ทำการเพิ่มค่าความเข้มแสงและทำการกระบวนการเดิมจนครบ เสร็จ เมื่อเสร็จจะทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงแล้วเริ่มกระบวนการทดลองใหม่ซึ่งจะแสดงให้เห็นลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุได้ในหัวข้อต่อไป

#### 4.2.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field



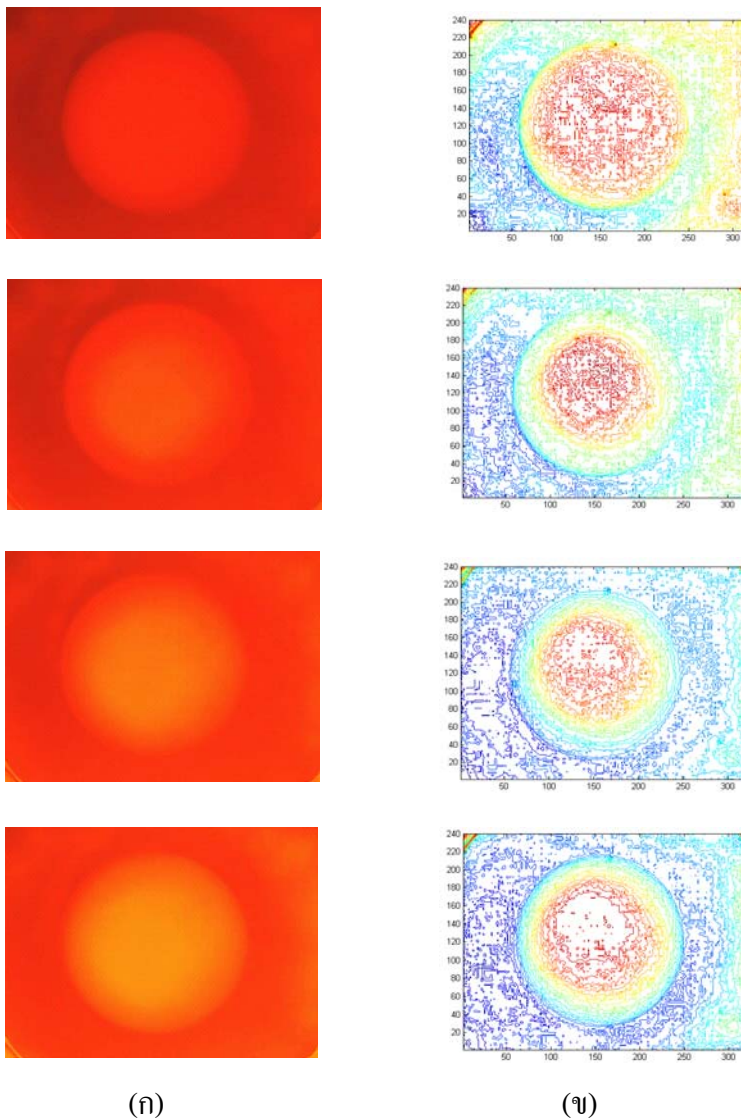




ภาพประกอบที่ 4-11 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง  
แบบBright field

จากภาพประกอบที่ 4-11 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสงกับวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field โดยวัตถุเป็นลูกปิงปองสีเหลือง รูป (ก) แสดงลูกปิงปองในแต่ละความเข้มแสง ส่วนรูป (ข) จะเป็นลักษณะของ contour ของลูกปิงปองในแต่ละความเข้มแสง โดยลักษณะ contour ของลูกปิงปองจะมีลักษณะที่ไม่ดีเนื่องจากไม่สามารถไล่ contour ของลูกปิงปองได้ตามความสูงที่ควรจะเป็นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของแสงเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field ยังไม่เหมาะสม

#### 4.2.2 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

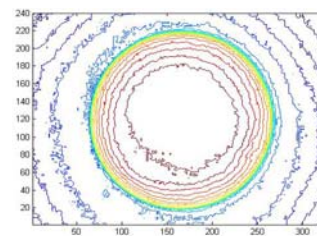
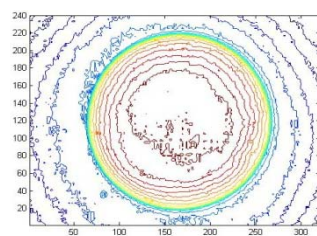
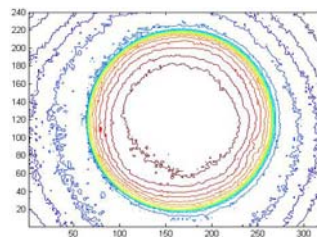
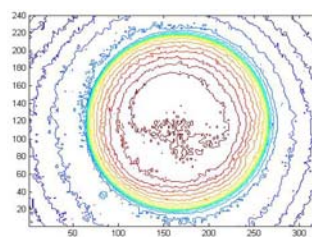


ภาพประกอบที่ 4-12 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากภาพประกอบที่ 4-12 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome โดยวัตถุทดสอบจะเป็นลูกปิงปองสีเหลืองรูป (ก) แสดงให้เห็นลูกปิงปองที่ให้ความเข้มแสงแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้แสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome มีลักษณะการให้แสงที่ไม่เหมาะสมทำให้ไม่เหมาะสำหรับการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพ ส่วนรูป (ข) จะเป็นลักษณะของ contour ของลูกปิงปองในแต่ละความเข้มแสง โดยลักษณะ

contour ของลูกปิงปองจะมีลักษณะที่ไม่ดีเนื่องจากไม่สามารถสร้างเส้น contour ของลูกปิงปองได้ตามความสูงเนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome มีค่าที่ไม่คงที่

#### 4.2.3 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field



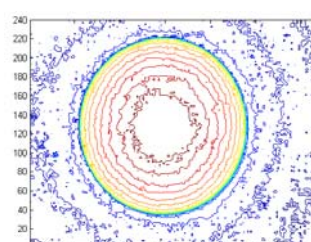
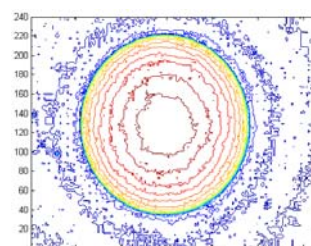
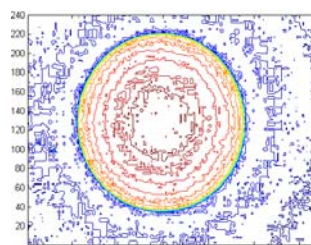
(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 4-13 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

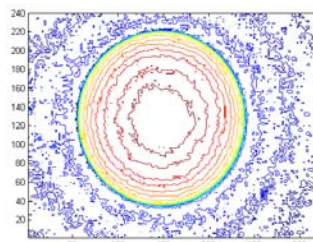
จากภาพประกอบที่ 4-13 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยวัตถุทดสอบจะเป็นลูกปิงปองสีเหลือง รูป (ก) แสดงให้เห็นลูกปิงปองที่ให้ความเข้มแสงแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้แสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field มีลักษณะการให้แสงที่ดีทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนความเข้มแสงให้แก่ระบบ เหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพ ส่วนรูป (ข) จะเป็นลักษณะของ contour ของลูกปิงปองในแต่ละความเข้มแสง โดยลักษณะ contour ของลูกปิงปองจะมีลักษณะที่ดีในความเข้มแสงที่ 2 และ ความเข้มแสงที่ 4 ส่วน contour ของลูกปิงปองในความเข้มแสงที่ 1 และ ความเข้มแสงที่ 3 ให้ลักษณะของ contour ได้ไม่ดีนั้นแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field มีค่าไม่คงที่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ถือว่ามีการกระจายตัวของแสงดีกว่าจึงนำไปสู่กระบวนการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field โดยการเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสงให้แก่ระบบให้แสง

#### 4.2.4 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง





(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 4-14 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง

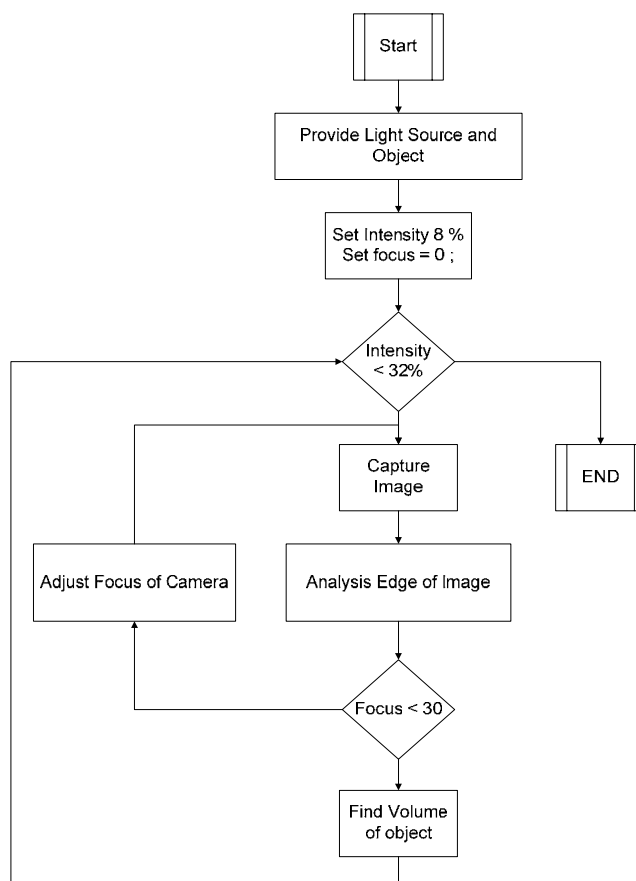
จากภาพประกอบที่ 4-14 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง รูป (ก) แสดงให้เห็นลูกปิงปองที่ให้ความเข้มแสงแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าการให้แสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสงมีลักษณะการให้แสงที่ดีทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนความเข้มแสงให้แก่ระบบ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่ได้มีค่าที่ดีขึ้นเมื่อพิจารณาจาก contour ของแต่ละความเข้มแสง และรูป (ข) จะแสดงให้เห็นลักษณะการสะท้อนของแสงของวัตถุในแต่ละความเข้มแสงโดยลักษณะของ contour ที่ได้จะมีลักษณะที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งสามกรณีที่ศึกษามาเนื่องจากมีลักษณะการสะท้อนของแสงในแต่ละความสูงได้ถูกต้องมากที่สุด

#### 4.3 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ

การศึกษาผลของการกระจายแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุจะเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาผลของการกระจายตัวของแสง (หัวข้อ 4.1) และจากการศึกษาผลของการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกับวัตถุ (หัวข้อ 4.2) โดยผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาตรของวัตถุที่สุดคือแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง ดังนั้นในการศึกษาในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาโดยการควบคุมค่าความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง โดยทำการปรับค่าความเข้มแสงจากเข้มแสงน้อยไปหาความเข้มแสงมาก และทำการวิเคราะห์หาปริมาตรของวัตถุด้วยองค์ประกอบทางภาพ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการพิจารณาขอบภาพของวัตถุในแต่ละโฟกัส

โดยในกระบวนการศึกษาการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ เพื่อให้ครอบคลุมสำหรับระบบการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ในการผลิตฮาร์ดดิสก์

ด้วยเทคนิควิธีการประมวลผลภาพ ได้ทำการแบ่งลักษณะการทดลองออกเป็นส่วนตัว่าง ๆ และมีกระบวนการในการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.15

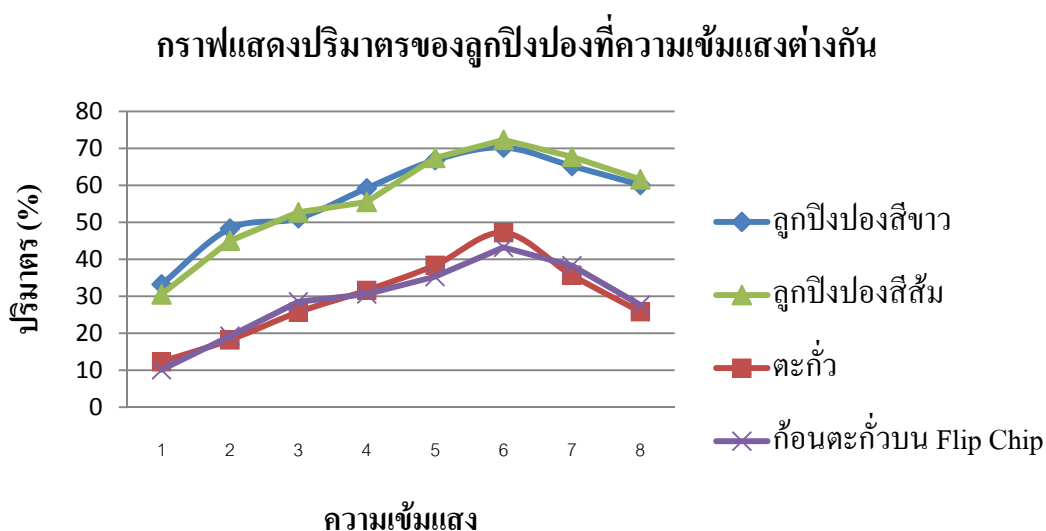


ภาพประกอบที่ 4-15 กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ

จากภาพประกอบที่ 4-15 กระบวนการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ โดยมีกระบวนการในการทำงาน ดังนี้ เตรียมแหล่งกำเนิดแสงให้กับระบบโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field กำหนดความเข้มแสงให้มีค่าเป็น 8% และทำการกำหนดโฟกัสเริ่มต้นเป็น 0 และให้ลูกปิงปองสีเหลืองสำหรับการทดลองแรก แล้วเริ่มกระบวนการเก็บภาพ ทำการหาขอบภาพที่ได้จากแต่ละโฟกัสเมื่อครบทุกโฟกัสจะทำการหาปริมาตรของวัตถุ หลังจากนั้นทำการปรับค่าความเข้มแสงและทำกระบวนการเดิมจนครบ 8 ครั้ง และทำการเปลี่ยนชนิดของวัตถุโดยผลในการศึกษาจะแสดงให้เห็นในหัวข้อต่อไป

### 4.3.1 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาณวัตถุในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสง

เป็นการศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาณวัตถุ 3 ชนิด คือ ลูกปิงปองสีเหลือง ลูกปิงปองสีขาว ก้อนตะกั่ว และก้อนตะกั่วบน flip chip โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แบบมีตัวช่วยสะท้อนแสงให้กับระบบ ซึ่งมีกระบวนการในการหาปริมาณดังภาพประกอบที่ 4-15 และปริมาณที่ได้จากวัตถุแต่ละชนิดแสดงให้เห็นดังกราฟประกอบที่ 4-16 ดังนี้

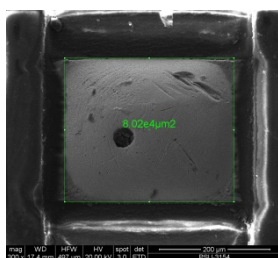


ภาพประกอบที่ 4-16 เปรียบเทียบปริมาณจากวัตถุ 4 ชนิด คือ ลูกปิงปองสีเหลือง ลูกปิงปองสีขาว ก้อนตะกั่ว และก้อนตะกั่วบน flip chip

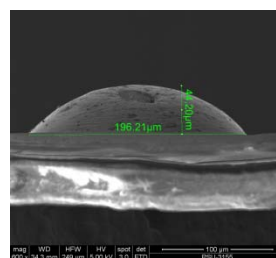
จากภาพประกอบที่ 4-16 แสดงให้เห็นผลที่ได้จากการหาปริมาณจากวัตถุ 4 ชนิด คือ ลูกปิงปองสีเหลือง ลูกปิงปองสีขาว ก้อนตะกั่ว และก้อนตะกั่วบน flip chip โดยเปรียบเทียบกับปริมาณจริงของวัตถุแต่ละชนิด จากกราฟแสดงให้เห็นค่าความถูกต้องของปริมาณของวัตถุที่หาได้มีค่าไม่เท่ากันโดยปริมาณของลูกปิงปองจะหาปริมาณได้ถูกต้องมากกว่าปริมาณจากก้อนตะกั่ว แต่ค่าของปริมาณที่หาได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในลูกปิงปอง ทั้ง 2 สี และแนวโน้มที่เหมือนกันในก้อนตะกั่วทั้ง 2 แบบ คือ ก้อนตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ และก้อนตะกั่วบน flip chip ของฮาร์ดดิสก์

#### 4.3.2 การศึกษาผลของการหาปริมาณของก้อนตะกั่วจากเครื่อง SEM

ในหัวข้อนี้จะเป็นการหาปริมาณของก้อนตะกั่วบน flip chip ของฮาร์ดดิสก์ โดยการใช้เครื่อง Scanning Eletron Microscopy (SEM) เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณซึ่งได้จากการใช้ SEM เปรียบเทียบผลจากการหาปริมาณจากอัลกอริทึม โดยผลที่ได้จากการใช้เครื่อง SEM แสดงให้เห็นดังภาพประกอบที่ 4-17



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 4-17 ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ของฮาร์ดดิสก์

จากภาพประกอบที่ 4-17 แสดงตะกั่วบนบนแผ่น flip chip โดยภาพ (ก) แสดงก้อนตะกั่วแบบ Top view และ ภาพ (ข) แสดงก้อนตะกั่วแบบ front view โดยปริมาตรก้อนตะกั่วที่ได้ประมาณ 290 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ค่าปริมาตรจากการหาด้วยเครื่อง SEM จะนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับปริมาตรซึ่งหาได้จากการทดลองการหาปริมาณก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ของฮาร์ดดิสก์ สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข



## บทที่ 5

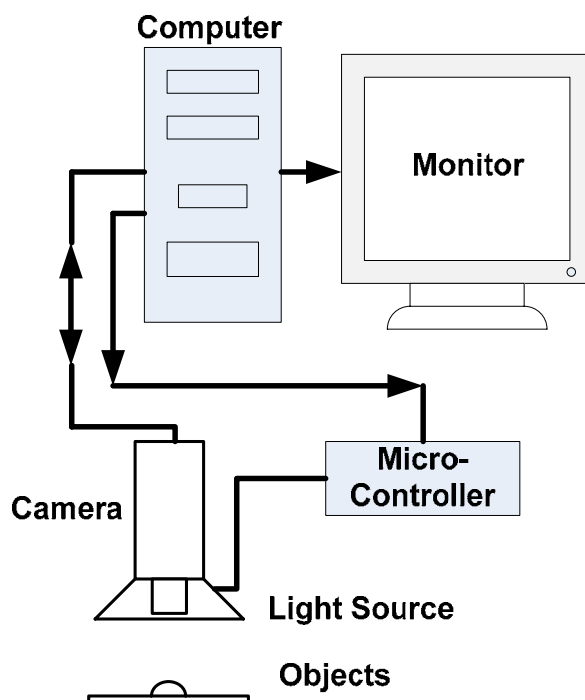
### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปเกี่ยวกับงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรค ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพต่อไป

#### 5.1 สรุปผล

ผลจากการศึกษาองค์ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าแสงและการจัดออกประกอบทางฉากจะมีเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อระบบการตรวจวัดปริมาตร กล่าวคือประสิทธิภาพของระบบการหาปริมาตรของวัตถุจะขึ้นอยู่กับกระบวนการออกแบบแหล่งกำเนิดแสง และกระบวนการจัดฉาก ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวได้ตั้งเป็นหัวข้อวิจัยในส่วนของการศึกษาการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุ และการกระจายแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรของวัตถุ สำหรับระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน

จากหัวข้อวิจัยดังกล่าวได้นำไปสู่การออกแบบระบบพื้นฐานสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบรับข้อมูลภาพจากกล้อง ระบบควบคุมความเข้มแสง ระบบควบคุมตำแหน่งโฟกัส และระบบการหาขอบภาพของวัตถุ สำหรับใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาผลของการปรับตำแหน่งโฟกัส และการศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field, แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome, แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field และแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ที่มีตัวช่วยสะท้อนแสง ซึ่งสามารถศึกษาโครงสร้างของระบบแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาตรตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาประกอบกัน ได้ดังภาพประกอบที่ 5-1



ภาพประกอบที่ 5-1 โครงสร้างของระบบการตรวจวัดปริมาตรตะกั่ว

#### 5.1.1 การศึกษาผลของการจำลองแหล่งกำเนิดแสง

จากการศึกษาผลของการจำลองแหล่งกำเนิดแสงแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงขึ้นอยู่กับค่าของพลังงานที่ให้แก่แหล่งกำเนิดแสง เมื่อให้พลังงานกับแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าให้พลังงานกับแหล่งกำเนิดแสงมากขึ้นจะทำให้ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยนไป ทำให้ค่าของความเข้มแสงไม่คงที่ และส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยภาพผิดเพี้ยนไป ซึ่งจะทำให้ความน่าเชื่อถือลดลงไป

#### 5.1.2 การศึกษาผลของการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

จากการศึกษาแหล่งการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แสดงให้เห็นว่าค่าการกระจายตัวของแสงมีค่าที่ดีเนื่องจากมีค่าของความเข้มแสงที่สม่ำเสมอและคงที่ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้ส่องสว่างเพื่อมองวัตถุต่างๆ ไป ซึ่งมีความสูงของวัตถุไม่มากเกินไป เนื่องจากถ้าเป็นวัตถุที่มีความสูงมากเกินไปจะทำให้การส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงไม่ทั่วถึงทุกส่วนของวัตถุ

### 5.1.3 การศึกษาผลของการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากการศึกษาแหล่งการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome แสดงให้เห็นว่าค่าการกระจายตัวของแสงจะมีค่าการกระจายที่ไม่ดีเนื่องจากการกระจายตัวของแสงมากเกินไป และยังมีแสงบางส่วนที่พุ่งขึ้นจากตัวแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวกล้องทำให้กระบวนการในการมองเห็นผิดไปจากเดิม และทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพมีความน่าเชื่อถือน้อยลงไป

### 5.1.4 การศึกษาผลของการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

จากการศึกษาแหล่งการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แสดงให้เห็นว่าค่าการกระจายตัวของแสงจะมีค่าที่ค่อนข้างดี แต่ยังไม่ดีเท่ากับแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field แต่มีข้อดีก็คือแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field สามารถส่องสว่างได้ดีกว่า

5.1.5 การศึกษาผลของการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field หลังเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง

จากการศึกษาการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field หลังเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง ทำให้พบว่าการกระจายตัวของแสงดีขึ้นเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ก่อนการเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง

5.1.6 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field

จากการศึกษาการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพแสดงให้เห็นว่าการสะท้อนแสงของวัตถุจะสะท้อนแสงได้ดีมีความผิดเพี้ยนน้อย

5.1.7 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

จากการศึกษาการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนแสงของวัตถุจะสะท้อนแสงได้ไม่ดีเนื่องจากการที่มีแสงบางส่วนส่องจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่ตัวกล้องทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยภาพมีค่าที่ไม่ถูกต้อง

5.1.8 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

จากการศึกษาการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนแสงของวัตถุจะมีค่าที่ดีกว่า

แหล่งกำเนิดแสงแบบ Bright field และ แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome แต่ก็ยังมี contour บางส่วนที่ ผิดเพี้ยนอยู่

5.1.9 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจาก แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field หลังเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง

จากการศึกษาการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุจาก แหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field หลังเพิ่มตัวช่วยสะท้อนแสง แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนแสงของ วัตถุจะมีค่าที่ดีขึ้นจากแบบ Dark field ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยภาพมีความถูกต้องมาก ยิ่งขึ้น

5.1.10 การศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ

จากการศึกษาผลของการกระจายตัวของแสงที่ส่งผลต่อการหาปริมาตรวัตถุ แสดง ให้เห็นว่าการกระจายตัวของแสงที่เหมาะสมจะส่งผลให้การหาปริมาตรของวัตถุมีความแม่นยำมาก ขึ้น นอกจากนั้นความเข้มแสงที่เหมาะสมก็จะทำให้การหาปริมาตรของวัตถุมีความถูกต้องด้วย เช่นกัน

## 5.2 ปัญหา

5.2.1 จากการศึกษาการจำลองการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามยังมีปัญหาในส่วนของ ตัว Simulation เองที่ยังไม่สามารถจำลองค่าที่จำเป็นบางประการได้ เช่น การวัดค่าความเข้มแสง เนื่องจากข้อจำกัดของตัวโปรแกรม

5.2.2 ปัญหาเกี่ยวกับการจัดองค์ประกอบทางแสง หรือ การจัดทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงซึ่ง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการหาปริมาตรวัตถุนั้น กระบวนการจัดทิศทางของแสงจะมีผลต่อความ แม่นยำในการหาปริมาตรของก้อนตะกั่ว

5.2.3 ปัญหาเกี่ยวกับการสั่นเนื่องจากเซนเซอร์รับภาพหรือกล้องมีความไวต่อการสั่น หากเกิด การสั่นขึ้นในกระบวนการทดลองจะทำให้ตัวกล้องเคลื่อนตำแหน่ง ดังนั้นเมื่อทำการบันทึกรูปภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์ จะทำให้วิเคราะห์หาปริมาตรของวัตถุมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สำหรับผู้ที่สนใจที่จะจำลองการการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงนั้นจำเป็นต้องเข้าใจ เกี่ยวกับทฤษฎีการให้กำเนิดแสงสว่างของอุปกรณ์ให้แสงแต่ละประเภท เช่น LED หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น เพื่อจะสามารถวิเคราะห์ลักษณะการส่องสว่างได้ถูกต้อง ซึ่งการจำลองการส่องสว่าง

นี้อาจจะนำไปใช้กับงานอื่นนอกจากงานทางด้านแมชชีนวิชั่น เช่น การจำลองการส่องสว่างของไฟฉาย, หรือการส่องสว่างของตัวไฟหน้ารถยนต์ เป็นต้น

5.3.2 สำหรับผู้ที่สนใจเกี่ยวกับระบบการตรวจสอบด้วยภาพนั้นจำเป็นจะต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับการออกแบบแหล่งกำเนิดแสงเพื่อจะได้แหล่งกำเนิดแสงที่มีอัตราการส่องสว่างคงที่และครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจทั้งหมด

5.3.3 หลอด LED แต่ละดวงนั้นมีอัตราการให้แสงสว่างที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากกระบวนการในการผลิตดังนั้นผู้จึงควรสอบเทียบหลอด LED ก่อนนำไปใช้งานจริง

5.3.4 การออกแบบแหล่งกำเนิดแสงด้วยหลอด LED เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลภาพนั้นผู้ควรพิจารณาถึงจุดอับแสงซึ่งเกิดจากตัวหลอดด้วย ซึ่งจะทำให้การออกแบบแหล่งกำเนิดแสงได้อัตราการส่องสว่างที่คงที่ และมีความสม่ำเสมอในการส่องสว่าง

5.3.5 จากการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มของปริมาตรมีทิศทางไปในแนวเดียวกันและมีจุดที่หาปริมาตรได้สูงสุดที่ความเข้มแสงเดียวกัน แต่เนื่องจากการทดลองยังไม่ครอบคลุมวัตถุหลาย ๆ ชนิดจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าความเข้มแสงที่ดีที่สุดสำหรับการหาปริมาตรจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันตลอด

5.3.6 ในหัวข้อการหา Contour หากสามารถทำให้วงกลมที่ได้จากความเข้มแสงแต่ละชั้นมีค่าดีขึ้นหรือการเป็นวงกลมมากขึ้น จะทำให้พิจารณารูปร่างของวัตถุได้ดีกว่าเดิม

5.3.7 ในการควบคุมแหล่งกำเนิดแสงอาจจะใช้การควบคุมโดยการปรับกระแสให้ LED แบบเชิงเส้นแทน การใช้ PWM เพื่อทำให้แหล่งกำเนิดแสงมีค่าการให้แสงที่คงที่มากกว่าเดิม

5.3.8 ในหัวข้อการหาปริมาตรตะกั่วบนแผ่น flip chip ซึ่งหาปริมาตรได้ 43 เปอร์เซนต์นั้น อาจจะมีผลมาจากค่า Error ของเครื่อง SEM ส่วน Error จริงซึ่งได้จากเครื่องต้นแบบอาจจะน้อยกว่านี้

## บรรณานุกรม

- [1] K.H. Pang, M.H. Chu, Automated Inspection of Solder Paste by Directional LED Lighting, IEEE International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China, September 2008, pp. 232-237.
- [2] B.H. Yeung, T.Y. Lee, Evaluation and Optimization of Package Processing Design and Reliability through Solder Joint Profile Prediction, IEEE Electronic Components and Technology Conference, 2001.
- [3] H.N. Yen, D.M. Tsai, J.Y. Yang, Full-Field 3-D Measurement of Solder Pastes Using LCD-Based Phase Shifting Techniques, IEEE Trans. Electro., Packag., Manuf. Technol. vol.29, January 2006, pp.50-57.
- [4] P. Roberto, G. Kurka, M. Rudek, Three-Dimensional Volume and Position Recovering Using a Virtual Reference Box, IEEE transactions on Image Processing, vol. 16, NO. 2, February 2007, pp. 573-576.
- [5] F.C. Yang, C.H. Kilo, J.J. Wing, C.K. Yang, Reconstructing the 3D Solder Paste Surface Model Using Image Processing and Artificial Neural Network, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004, pp. 3051-3056.
- [6] G.J. Awcock, R. Thomas, Applied Image Processing, McGraw-Hill, 1996
- [7] ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทคนิคการส่องสว่าง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- [8] Electromagnetic Spectrum, [ออนไลน์].สืบค้นจาก <http://www.optics.arizona.edu/Nofziger/UNVR195a/Class12/C12P1.htm>
- [9] A practical Guide to Machine Vision Lighting, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6901>
- [10] สมพงษ์ ใจดี, ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 4, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- [11] ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ฟิสิกส์ 2, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [12] นิรันดร์ แนบชิด, แสงประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2526
- [13] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Prentic-Hall International, 2002.

- [14] การหาปริมาตรรูปทรงตัน, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
<http://teerasak.rmutl.ac.th/13applicationintegraldisk>
- [15] Integral, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
<http://e-learning.kku.ac.th/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=7518>
- [16] SolidWorks. SolidWorks® Simulation, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
<http://www.solidworks.com/sw/products/fea-cfd-simulation-software.htm>
- [17] Machine Vision System, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
<http://bruce.cs.cf.ac.uk/bruce>
- [18] Vimicro Cooperation. WEB Digital PC camera user's manual: Vimicro 301 Neptune.
- [19] เจริญ เพชรมณี, เรียนลัด LabVIEW Software for Measurement and Automation, ซี  
เอ็ดดูเคชั่น, 2547
- [20] Image Acquisition, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2808>
- [21] Pluse Width Modulation, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)
- [22] H. Alexander, Handbook of Machine Vision, WILEY-VCH GmbH & Co.KGaA,  
2006.

**ภาคผนวก**



**ภาคผนวก ก**

**ข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED และตัวช่วยสะท้อนแสง**

## หลอด LED สีแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร



## TAIWAN OASIS LED DATA SHEET

PART NO. : TOL-30aUReDAa-U4M

## DESCRIPTION

SOURCE MATERIAL \_\_\_\_\_ AlGaInP  
 COLOR \_\_\_\_\_ Ultra Red  
 LENS \_\_\_\_\_ Red Diffused

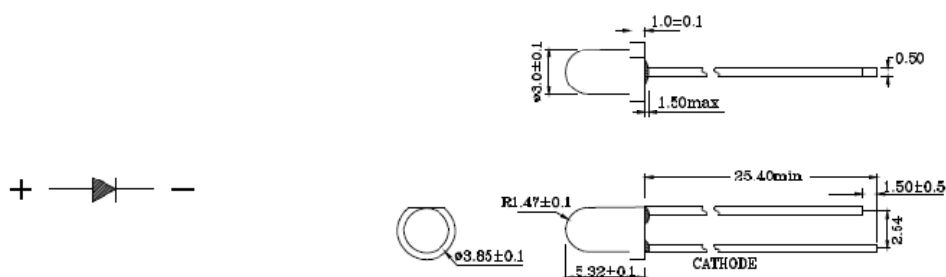
## ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Ta=25°C)

PULSE CURRENT (1/10 DUTY, CYCLE 0.1ms PULSE WIDTH) \_\_\_\_\_ 100mA  
 REVERSE VOLTAGE \_\_\_\_\_ 5.0V  
 CONTINUOUS FORWARD CURRENT \_\_\_\_\_ 25mA  
 RECOMMEND OPERATING CURRENT \_\_\_\_\_ 15mA  
 OPERATING TEMPERATURE \_\_\_\_\_ -25°C TO 85°C  
 STORAGE TEMPERATURE \_\_\_\_\_ -30°C TO 100°C  
 LEAD SOLDERING TEMPERATURE \_\_\_\_\_ 260°C FOR 3 SECONDS  
 (2mm from body)

## CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

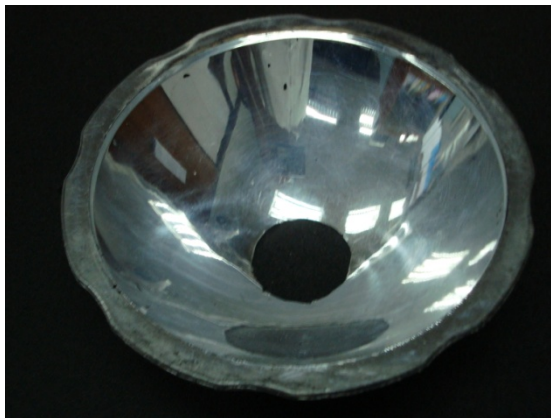
PARAMETER	CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS
POWER DISSIPATION		Pd			90	mW
DOMINANT WAVELENGTH	If=20mA	$\lambda_d$		630		nm
SPECTRUM HALF WIDTH	If=20mA	$\Delta\lambda$		15		nm
FORWARD VOLTAGE	If=20mA	V <sub>F</sub>		2.0	2.3	V
REVERSE CURRENT	V <sub>R</sub> =5V	I <sub>R</sub>			100	μA
LUMINOUS INTENSITY	If=20mA	I <sub>v</sub>	75	150		mcđ
FULL VIEWING ANGLE	If=20mA	2θ <sub>1/2</sub>		50		deg.

## INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM



DATE	2002/3/20	SCALE	2.5:1	TOLERANCE	±0.25 ANGLE ±5°	DRAWN	D Q H	CHECKED	
UNIT	M/M	SHEET NO.	1/1	DRAWING NO.	S-30aUReDAa-U4M-A	CUSTOMER		APPROVED	

ตัวช่วยสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome



ภาพประกอบที่ ก-1 ตัวช่วยสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome

ภาพประกอบที่ ก-1 แสดงตัวช่วยสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dome ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร วัสดุทำด้วยพลาสติกเคลือบด้วยอลูมิเนียม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง

### ตัวช่วยสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field



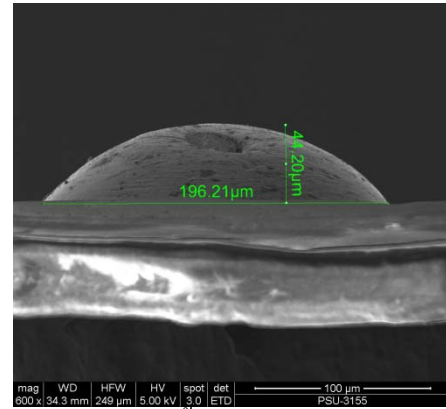
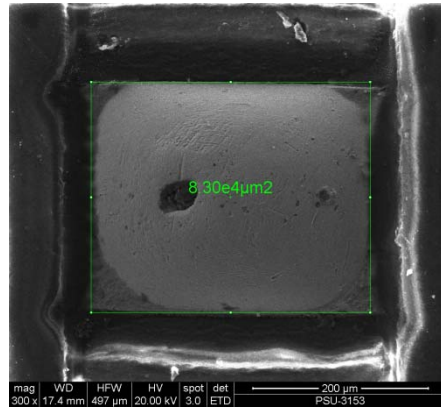
ภาพประกอบที่ ก-2 ตัวช่วยสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field

ภาพประกอบที่ ก-2 แสดงตัวช่วยสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดแสงแบบ Dark field ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร วัสดุทำโลหะสังกะสีเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสะท้อนแสง

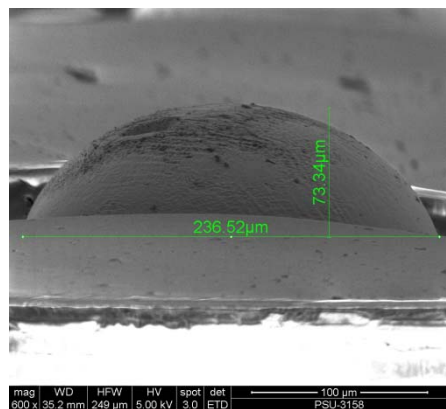
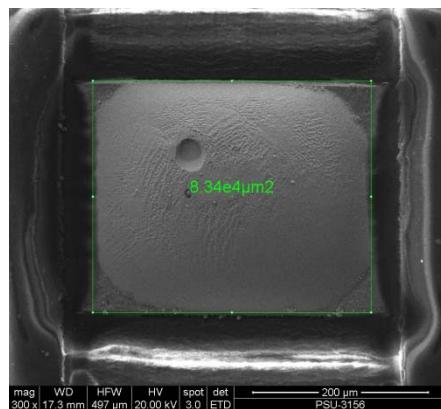
ภาคผนวก ข

ก่อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ของฮาร์ดดิสก์ที่ได้จากการ SEM

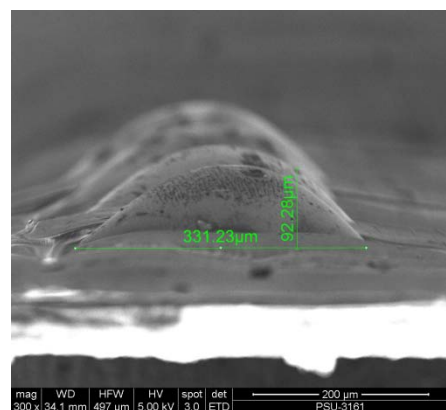
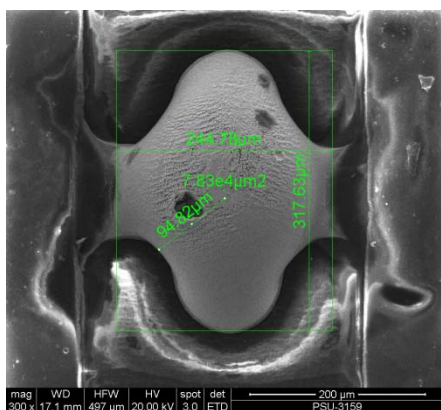
## ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ของฮาร์ดดิสก์ที่ได้จากการ SEM



ภาพประกอบที่ ข-1 ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ชั้นที่ 1



ภาพประกอบที่ ข-2 ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ชั้นที่ 2



ภาพประกอบที่ ข-3 ก้อนตะกั่วบนแผ่น flip chip ชั้นที่ 3

**ภาคผนวก ก**

**A Light Source for a Solder Dot Volume Visual Inspection System**

# A Light Source for a Solder Dot Volume Visual Inspection System

Jerawat Sopajarn<sup>1</sup>, Krerckchai Thongnoo<sup>2</sup>, Montri Karnjanadecha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla  
<sup>1</sup>sjerawat@hotmail.com

<sup>2</sup>krerkchai.t@psu.ac.th

<sup>3</sup>Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla  
<sup>3</sup>montri@coe.psu.ac.th

**Abstract**—This paper presents a lighting technique of a machine vision system for solder dot volume measurement of a printed circuit card assembly (PCCA). The measurement is based on the analysis of light intensity characteristics of the captured images at different focuses. In order to achieve the measurement accuracy, the images of solder dot surface were constructed from a reflective light using dark-filed illumination to increase effectiveness reflex of the solder dot surface. However, in order to enhance the lighting of the light source in the machine vision system. A reflector was added to the light source to enhance the light distribution and the light intensity on the inspected PCCA. The distribution of light intensity of each pixel is the criteria used to qualify the images. It is found that the resultant images shown the significant improvement.

**Keywords**— machine vision; lighting; illumination; inspection

## I. INTRODUCTION

Now a day machine vision systems have been widely used in industries such as electronics industry, components industry, food industry, automation industry and automobile industry. The main purpose of using machine vision systems is to increase accuracy and speed in the manufacturing process. Machine visions are used for solder dots volume measurement or solder dot defect inspection on the printed circuit boards in the electronic manufacturing process, counting car parts in the automobile industry.

The visual inspection used in the manufacturing industry to increase productivity and reliability of products. In the electronic industry the machine vision used to inspection electronic joint, volume or defects of solder dots. In the machine vision the lighting affects vision [1-4], the electronic device inspection in manufacturing industry the lighting affects characteristic and incapitate of images for image analysis such as edge detection or the image depth. When characteristic of images is changing by the lighting therefore images from the machine vision has the error [5-7]. The errors from images affect characteristic images analysis by result from analysis images incorrect.

From fig. 1 show block diagram of the model of machine vision system. The machine vision system included the

camera, light source, electronic circuit card to digitize the signal from the camera, computer or dedicated electronic image processing hardware, software used for image processing.

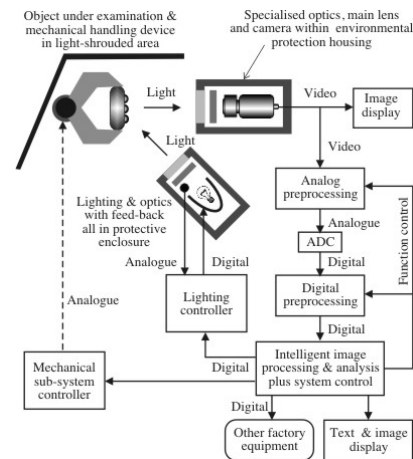


Fig. 1 Model of machine vision system [8].

This paper presents the study of light source distribution of machine vision systems for solder dots volume measurement in electronic industries. Section II presents background of light sources and lighting. Details of proposed study and experimental results are illustrated in Section II and Section IV respectively.

## II. THE NECESSITY OF LIGHT SOURCE FOR MACHINE VISION SYSTEMS

Lighting affects overall quality of machine vision systems. Light sources are major components of the systems, images captured from different types of light sources have different characteristics. One important factor that increases efficiency of machine vision systems is lighting distribution of light sources. Different light sources have different lighting distribution [1] that affects image analysis. For example, machine vision systems used for solder dot measurement on printed circuit boards in the manufacturing process require

light sources with uniform lighting distribution. Thus, to improve various aspects of machine vision systems such as reliability of product, effectiveness of image analysis, accuracy and precision, lighting distribution must be increased.

### III. PRINCIPLE OF THE LIGHT SOURCE

Light sources used in machine vision systems include dark field lighting, bright field lighting, and dome lighting.

1) *Dark field lighting*: Dark field lighting can be subdivided into circular, linear, and directional types. The first requiring a specific light head geometry design. This type of lighting is characterized by low or medium angle of light incidence, particularly for the circular light head varieties.

2) *Bright field lighting*: Bright field lighting is used to check three-dimensional surface information with a projected light pattern. Bright field can check the shape of three-dimensional parts, measure the height of objects. Partial bright field lighting is the most commonly used vision lighting technique.

3) *Dome lighting*: Dome lighting is very effective for curved, specular surfaces. These lighting components are not only extended in the plane but also in depth. The most extreme case of diffuse incident lighting is a shadow-free lighting. Diffuse dome lighting is commonly used in the automotive industry.

### IV. PROPOSE METHOD FOR DISTRIBUTION OF ILLUMINANCE INSPECTION

To increase performance and reliability in machine vision, various optimal environmental factors must be maintained. In case of solder dot measurement, lighting from the light source in machine vision systems is one of the major factors that must be properly controlled. This section shows the study of the lighting distribution characteristic resulting from each type of light sources including dark field lighting, bright field lighting, and dome lighting.

#### A. Machine Vision System

The prototype machine vision system for solder dot inspection in manufacturing process, as shown in fig. 2, consists of a camera, a light source with reflector, a personal computer and software for image analysis. The equipment specifications are detailed as followed.

##### 1) Hardware

- Computer : Processor CORE<sup>™</sup> 2 Duo
- Camera : 350 x 288 CMOS
- Light Source : RED LEDs
- Microcontroller : ARM7 LPC2138

##### 2) Software

- MATLAB
- Light source and focus control software

- OS : Windows XP

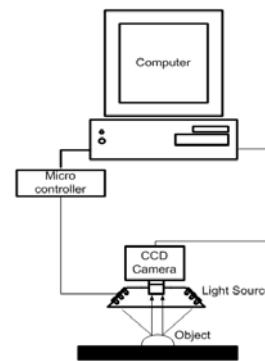


Fig. 2 Machine vision system for experiment.

From fig. 2 we designed a machine vision system for study the lighting distribution

#### B. LED Light Source

Light emitter diode (LED) is selected because of its superior properties such as of the life time, size, design implementation, heat, intensity, price, vibration resistance, low energy etc.

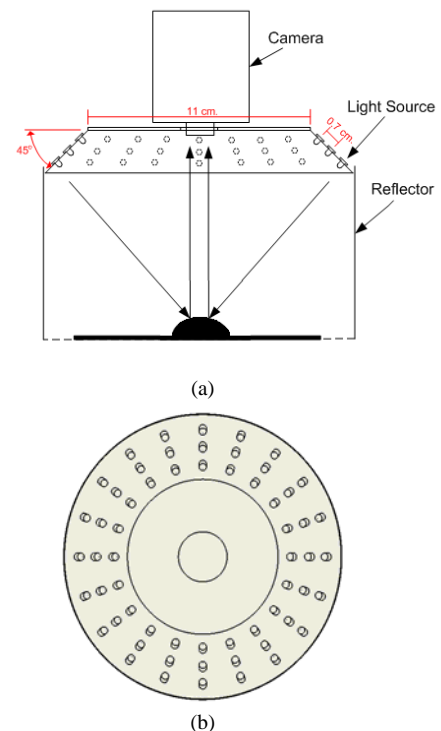


Fig. 3 (a) The reflective nature of the light source with a dark field reflector to optimize light distribution. (b) A bottom view light source.

Fig. 3 shows the details of the light source used in the experiment. Three types of lighting were used in the the experiment, a dark field light source, a bright field light source, and a dome light source. Each light source was constructed using sixty 3-mm LEDs with skill angel 50°. The



wavelength of each LED is 680 nm. Each a light source structure also includes the reflector which was used to improve lighting distribution. Moreover, the lighting distribution of a dark field light source after installing a reflector has been constant in each pixel [1].

**C. Methods**

In order to monitor the reflection of the lighting, image processing algorithms were used to analyse the lighting distribution in each pixel. To reduce reflection of the lighting reflected into the camera, dark background color images of 320x240 pixels were used for image analysis. Lighting from external light sources were also controlled to improve image analysis quality. A printed circuit card assembly was used as a sample. The camera was moved in vertical direction in predefined steps as shown in Fig. 4, at each step the image of solder was captured for further analysis. Light source intensity was also controlled in order to achieve constant intensity.

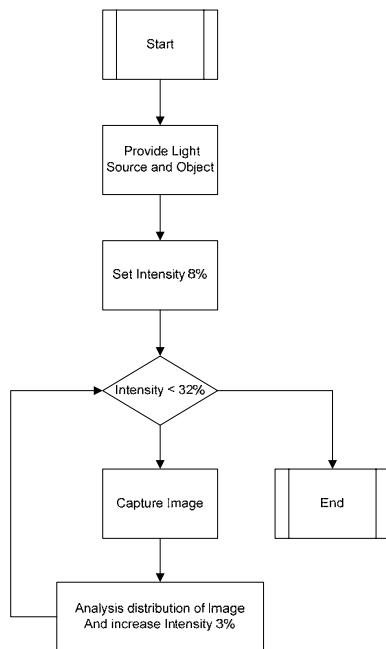


Fig. 4 Systems Block Diagram

**V. EXPERIMENTAL RESULTS**

In order to qualified the lighting distribution of each light source, a test image of PCCA as shown in Fig. 5 (a). A contour image constructed from sub-images at different focuses as shown ig Fig. 5 (b) was used to finally qualify the lighting distribution.

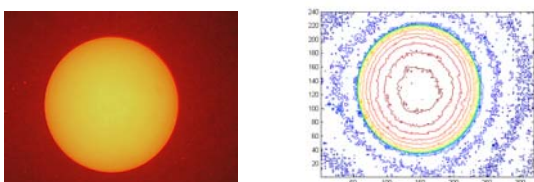


Fig . 5 (a) is original image, (b) contour of original image.

**A. Distribution of Lighting from a Light source Dark field.**

Lighting distributions from a dark field light source at each steps are shown in Fig. 6. Note that the shapes of lighting distributions are changed depending on intensity variation.

The appropriate lighting distribution is the figures that have the lighting distribution in the range 50-75 of 0-255 gray scale. For solder dot measurement on printed circuit board in electronic manufacturing, Fig. 5 is considered as the appropriate lighting distribution. The results for dark field light source, bright filed light source and dome light source are shown in Fig. 6 - 8 respectively. Note that these results are similar to the dark field light source.

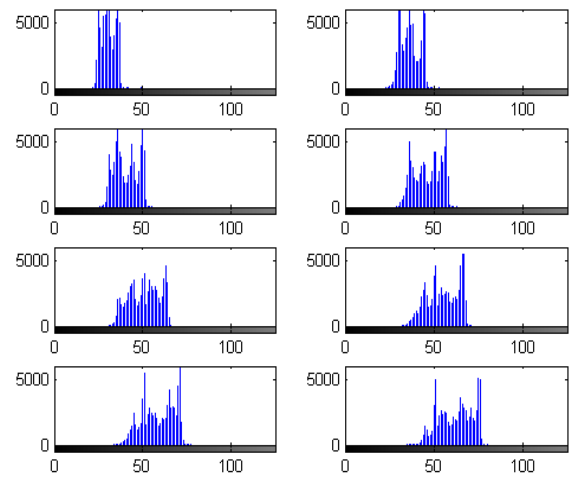


Fig. 6 distribution of illuminance 1-8.

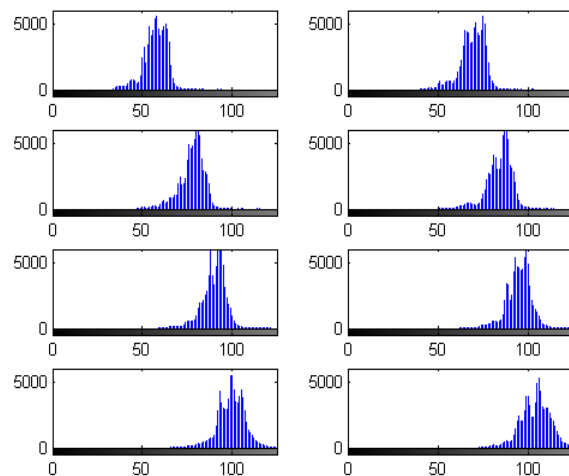


Fig. 7 distribution of illuminance 1-8.

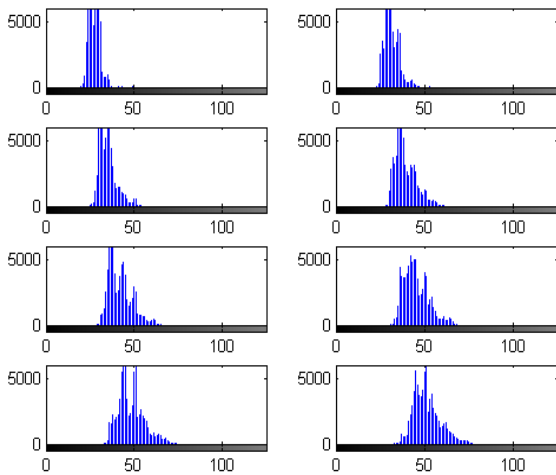


Fig. 8 distribution of illuminance 1-8.

Fig. 9 shows the lighting distribution of the dark field light source after adding a reflector. It can be seen that the result after adding a reflector is improved significantly.

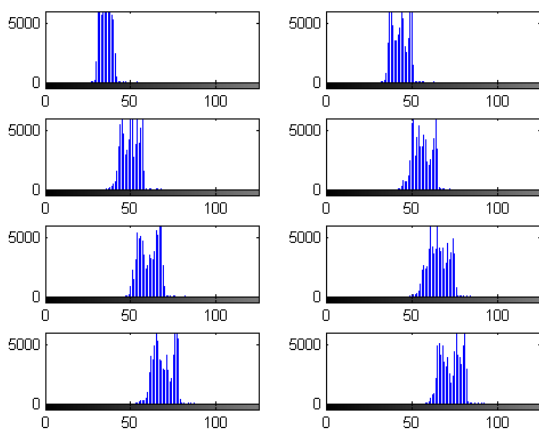


Fig. 9 Show distribution of illuminance after add reflector at illuminance 1-8

## VI. CONCLUSION

The different lighting distribution affects solder dot measurement. With the proper lighting distribution, the edge and height of solder dot can be analyzed correctly. To increase accuracy in the image analysis process, appropriate light source must used. This research reveals that the appropriate light source for solder dot measurement is a dark field light source with a reflector.

## VII. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank I/UCRC in Data Storage Technology, the faculty of Engineering, Khon Kaen University and National Electronics and Computer Technology Center and Belton Industrial (Thailand) Ltd. for supporting the research grant under CPN-HR 13-03-52 M.

## VIII. REFERENCES

- [1] H. Alexander, *Handbook of Machine Vision*, WILEY-VCH GmbH & Co.KGaA, 2006.
- [2] M. M. Manfredonia, P.W. Nutter and C.D. Wright, *FDTD Analysis of Recording Light Distribution in a Near-Field MAMMOS Recording System*, IEEE Transactions on Magnetic, Vol. 41, No.10, pp. 2866 – 2868, Oct. 2005.
- [3] C. Quan, S.H. Wang, C.J. Tay, I. Reading and Z.P. Fang, *Integrated Optical Inspection on Surface Geometry and Refractive Index Distribution of a Microlens Array*, Optics Communications, Elsevier B.V., pp. 223 – 231, 14 July 2003.
- [4] C.H. Kuo, F.C Yang, J.J. Wing and C.K. Yang, *Construction of 3D Solder Paste Surfaces Using Mutil-Projection Images*, London, England: Springer-Verlag, pp. 509 – 519, 2006.
- [5] C.K. Xue and Y.K. Sun, *An Improved Structured Light Inspection of Specular Surfaces Based on Quaternary Coding*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 128 – 139, 2009.
- [6] H. M. Loh and M. S. Lu, *Printed Circuit Board Inspection Using Image Analysis*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No.2, pp. 426 – 432, Mar. 1999.
- [7] T.Y. Ong, Z. Samad and M.M. Ratnam, *Solder joint inspection with multi-angle imaging and an artificial neural network*, London, England: Springer-verlag, pp. 455 – 462, 2007.
- [8] (2010) Cardiff University Website. [Online]. Available: <http://bruce.cs.cf.ac.uk/bruce/>

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายจิรววัฒน์ โสภอาจารย์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210120006	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า-การวัดคุมฯ)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2550

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนโครงการวิจัยเพื่อการศึกษาในระดับปริญญาตรี โท และเอก ประจำปีการศึกษา 2552 รหัสโครงการ CPN-HR 13-03-52 M ของศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Jerawat Sopajarn, Krerckchai Thoongnoo, Montri Karnjanadecha, A Light Source for a Solder Dot Volume Visual Inspection System, 2011 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technoloth(ICESIT2011), February 9-11, 2011.