

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

Nondestructive Quality Inspection of Orange Using Infrared



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วย

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH

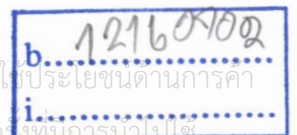
ปีงบประมาณ 2551

TA

414.5

(ค2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
เลขทะเบียน.....106019.....
เมื่อวันที่.....5 ส.ค. 2553.....



ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) “การตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด”
(ภาษาอังกฤษ) “Non destructive Quality Inspection of Orange Using
Infrared”

ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย) นาย อภินัย ฤกษ์รัตน์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Apinai Rerkratn

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

กอง/คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์
กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวง/ทบวง กระทรวงศึกษาธิการ
ที่อยู่ ถนนลาดพร้าว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 0-2739-0643 โทรสาร 0-2739-2384

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำปี.....2551..... จำนวนเงิน..... 495,000.....บาท
ระยะเวลาการทำการวิจัย.....1.....ปี ตั้งแต่.....1.....ตุลาคม.2550.....ถึง.....30.....กันยายน..2551

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณสำหรับขับแอลอีดีอินฟราเรด วงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด วงจรกรองสัญญาณรบกวน วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี วงจรขับมอเตอร์สำหรับหมุนผลส้ม และวงจรเชื่อมต่อ ซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจร จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อส่งข้อมูลไปบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล ข้อมูลของแรงดันที่วัดได้จะถูกนำไปคำนวณออกมาเป็นภาพตัดขวางด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน(Filter Back-projection method) โดยภาพตัดขวางของผลส้มที่ได้จะใช้สำหรับการประเมินคุณภาพของผลส้มที่นำมาทดสอบ โดยจากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมากับผลส้มตัวอย่างปรากฏว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้ในการแยกแยะผลส้มที่มีเนื้อฟามออกจากผลส้มที่มีเนื้อปกติได้โดยไม่ต้องใช้การผ่าผลส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This research project presents the system development for nondestructive quality inspection of orange using infrared. The proposed system consists of infrared driver circuit, infrared detector circuit, noise filter circuit, RMS-TO-DC converter, motor driver circuit used to rotate orange, and interface card. The output from the design system is sent to A/D converter (12 bits) for converting the signal to digital and recording on computer. The converted digital data obtained from measuring process are employed for reconstructing cross sectional images of object (orange) by filter back-projection method. The quality inspection of orange can be determined these cross section images. Experimental results verify that the proposed technique can inspect dry juice sac orange from normal orange without cutting the orange.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
สารบัญ.....	II
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	1
1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	2
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	2
1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย.....	3
1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย.....	4
บทที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายในผลไม้โดยใช้เทคนิคทางแสง.....	5
2.1 การตรวจสอบคุณภาพโดยการวัดแสงและสี.....	7
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องของระหว่างแสงและวัตถุที่นำมาทดสอบ.....	10
2.3 เทคนิค Delayed Light Emission (DLE).....	16
2.4 ระบบการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยแสง.....	20
2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการวัดทางแสงกับวัตถุต่างๆ.....	25
บทที่ 3 ระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	31
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit).....	32
3.2 วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรด (Infrared Detector).....	35
3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวน(Noise filter circuit).....	36
3.4 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี (RMS-TO-DC Converter Circuit).....	36
3.5 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A TO D Converter).....	37
3.6 วงจรขับเคลื่อนปลั๊กมอเตอร์ (Stepping Motor Driver).....	38
3.7 การ์ดอินเตอร์เฟซ (Interface Card).....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.8 โปรแกรมสำหรับควบคุมการหมุนของผลส้ม.....	42
3.9 อัลกอริทึมในการสร้างภาพตัดขวาง.....	43
3.9.1 คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพตัดขวาง.....	43
3.9.1.1 การอินทิเกรตในแนวเส้น(Line Integrals) และการโปรเจกชัน (Projections).....	43
3.9.1.2 การแปลงเรดอน(Radon Transform).....	44
3.9.2 อัลกอริทึมของการสร้างภาพตัดขวาง.....	45
3.9.2.1 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้การแปลงฟูเรียร์.....	45
3.9.2.2 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้วิธีแบคโปรเจกชัน.....	51
3.9.2.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้วิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน(FBP).....	54
บทที่ 4 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมา.....	57
บทที่ 5 บทสรุป.....	84
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก ก ลักษณะการวางเลย์เอาต์ของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วย แสงอินฟราเรด.....	86
ภาคผนวก ข ต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแสงและรูปแบบในการวัด.....	9
2.2 ตัวตรวจวัดแสงแบบต่างๆ.....	24
3.1 คุณสมบัติของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลรุ่น ET-AD12.....	38
3.2 คุณสมบัติของการ์ดอินเตอร์เฟซรุ่น ET – 8255.....	39
3.3 การใช้งานแอดเดรสของการ์ด ET – 8255.....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
2.2 ค่าการสะท้อนของวัสดุต่างๆ.....	9
2.3 ผลกระทบของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุ.....	10
2.4 ลักษณะการสะท้อนของแสงในรูปแบบของ Specular และ diffused.....	11
2.5 แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อแสงเดินทางกระทบผลไม้ม.....	13
2.6 รูปแบบของการสะท้อนแบบต่างๆ Diffuse reflection, Regular reflection, Body reflection เมื่อทำการยิงแสงเข้าไปผลไม้ม.....	13
2.7 เส้นทางการแพร่กระจายของแสงในวัตถุ.....	15
2.8 แลปพลังงานของควอนตัมของแสงระหว่างการเกิด DLE.....	17
2.9 ปรัชการณณ์ DLE เมื่อทำการฉายแสงด้วยความยาวคลื่นต่างๆบนลูกพีชสีเขียว (Green peach).....	18
2.10 กราฟแสดงการลดลงของค่าความเข้ม DLE ที่ระยะเวลาหลังการฉายแสงต่างๆของ อุณหภูมิ 28°C และ 6.5°C.....	19
2.11 ค่าความเข้มของ DLE สำหรับการทดสอบกับผลมะนาวที่มีค่าคลอโรฟิลล์ต่างๆ (A)สีเขียวเข้ม (B)สีเขียวอ่อน (C)สีเงิน (D)สีเหลือง.....	19
2.12 การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, วัตถุที่ต้องการวัด และตัวตรวจวัดแสงสำหรับ การวัดค่าการสะท้อนของผิววัตถุ.....	24
2.13 การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, วัตถุที่ต้องการวัด และตัวตรวจวัดแสงสำหรับการวัด ค่าการส่งผ่านแสงในวัตถุ.....	25
2.14 ตัวอย่างของระบบคัดแยกวัตถุหรือผลไม้อัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการวัดค่าการสะท้อนแสง.....	28
2.15 ตัวอย่างของระบบคัดแยกวัตถุหรือผลไม้อัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการวัดค่า DLE.....	28
3.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	31
3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับแอลอีดีอินฟราเรด (Infrared LED).....	32
3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555.....	33
3.4 ลักษณะของเกาท์พุทของวงจรถอดสัญญาณที่ทำการออกแบบขึ้นมา.....	35
3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด(Infrared Detector).....	35
3.6 วงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	36
3.7 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล รุ่น ET-AD12.....	37
3.9 วงจรภายในของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12.....	37
3.10 วงจรขับสแต็ปี่งมอเตอร์สำหรับหมุนผลส้มที่ใช้ทดสอบ.....	38
3.11 ลักษณะของการ์คอินเตอร์เฟสรุ่น ET – 8255.....	39
3.12 วงจรภายในของการ์ด ET-8255.....	40
3.13 ลักษณะพอร์ตของ ไอซี 8255 และสัญญาณควบคุม.....	41
3.14 อัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของผลส้ม.....	42
3.15 โปรเจกชันของวัตถุ $f(x,y)$ ที่มุม θ	43
3.16 เรขาคณิตของการแปลงเรดอน.....	45
3.17 ทฤษฎีบทของฟูเรียร์สไลด์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงฟูเรียร์ของ โปรเจกชันกับการแปลงฟูเรียร์ของภาพ.....	46
3.18 Block diagram แสดงวิธีการสร้างภาพตัดขวาง โดยใช้การแปลงฟูเรียร์.....	49
3.19 (a) รัสเตอร์เชิงขั้ว (b) รัสเตอร์เชิงขั้วมุมฉาก.....	49
3.20 การประมาณค่าจุด Q	50
3.21 โปรเจกชันของฟังก์ชัน 2 มิติ.....	51
3.22 Block diagram แสดงวิธีการสร้างภาพตัดขวาง โดยใช้วิธีฟิลเตอร์แบค โปรเจกชัน.....	54
3.23 ภาพแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของ Ram-lak Filter.....	56
4.1 บล็อกโคอะแกรมของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	57
4.2 กล้องบรรจุแซมเปิล(sample) สำหรับการทดลอง.....	57
4.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา.....	58
4.4 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา.....	58
4.5 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ.....	59
4.6 ลักษณะสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรด.....	59
4.7 ลักษณะสัญญาณจากวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรดและ แรงดันที่ใช้ขับแอลอีดีอินฟราเรด.....	60
4.8 ลักษณะของแรงดันที่ใช้ขับแอลอีดีอินฟราเรดกับสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอด.....	60
4.9 ลักษณะของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด.....	61
4.10 ลักษณะของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณรบกวน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	ลักษณะของแรงดันอินพุทและเอาต์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี.....62
4.12	ลักษณะของเอาต์พุทของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี.....62
4.13	วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสง.....63
4.14	ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....63
4.15	ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....64
4.16	การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....64
4.17	วงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....65
4.18	ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....65
4.19	ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....65
4.20	การลงอุปกรณ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....66
4.21	วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด....66
4.22	ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....67
4.23	ลายวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....67
4.24	การลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....67
4.25	วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)68
4.26	วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์)68
4.27	การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28	วงจรมิมพ์ของวงจรถับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)69
4.29	วงจรมิมพ์ของวงจรถับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์)70
4.30	การลงอุปกรณ์ของวงจรถับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....70
4.31	วงจรมิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)70
4.32	วงจรมิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์)71
4.33	การลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....71
4.34	ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล.....72
4.35	ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากผลส้มที่นำมาทดสอบ ที่เก็บไว้ในรูปแบบ M ไฟล์ซึ่งเป็นเมตริกซ์ของแรงดัน (V) ขนาด 90 x 2573
4.36	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ.....73
4.37	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 1).....74
4.38	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 10).....74
4.39	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 20).....75
4.40	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 30).....75
4.41	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 40).....76
4.42	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 50).....76
4.43	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 60).....77
4.44	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 70).....77
4.45	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 80).....78
4.46	ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 90).78
4.47	ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่ดี.....79
4.48	ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียหายในผล.....79
4.49	ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียหายในผล.....80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.50	ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียหายในผล.....	80
4.51	ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียหายในผล.....	80
4.52	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ยังไม่ผ่านการฟิลเตอร์.....	81
4.53	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Cosine function.....	81
4.54	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Hamming function.....	82
4.55	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Ram-Lak function.....	82
4.56	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Hamm function.....	82
4.57	ภาพตัดขวางของผลส้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Shepp-Logan function.....	83
ก1	แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลาย ด้วยแสงอินฟราเรด.....	86
ก2	แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสง อินฟราเรด.....	86
ก3	แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสง อินฟราเรด.....	86
ข1	ต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	87
ข2	ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	87
ข3	ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	88
ข4	ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สัมนับว่าเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่คนนิยมรับประทานกันมาก ทำให้มีเกษตรกรผู้ปลูกสวนส้มในไทยมีการขยายพื้นที่การปลูกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณส้มในประเทศเพิ่มขึ้นจนส่งผลให้ราคาส้มมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจสวนส้มจึงเริ่มขยายตลาดส่งออกส้มไปยังต่างประเทศ ทั้งนี้เพื่อรองรับกับปริมาณส้มที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยตลาดเป้าหมายของการส่งออกที่สำคัญก็คือ ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สหรัฐและแคนาดา เป็นต้น โดยคู่แข่งที่สำคัญก็คือ ประเทศจีน ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับวงการส้มไทย การพัฒนาคุณภาพของส้มที่นำส่งออกจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะเข้าไปทำการเจาะขยายตลาดการส่งออกส้มไปยังต่างประเทศ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการตรวจสอบคุณภาพของส้มก่อนที่จะนำส่งออกจำหน่ายหรือส่งออกไปยังต่างประเทศ ทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงอินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลส้มก่อนจะนำส่งออกจำหน่ายหรือส่งออกไปยังต่างประเทศ

1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคุณภาพของส้มแบบไม่ทำลายเพื่อประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพส้มก่อนที่จะนำออกจำหน่ายหรือส่งออกไปยังต่างประเทศ
2. เพื่อศึกษาหาความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบคุณภาพส้ม
3. พัฒนาระบบการตรวจสอบผลไม้มือแบบไม่ทำลาย
4. พัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

1.2. ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดเพื่อประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพส้มก่อนที่นำไปจำหน่าย หรือส่งออก ไปยังต่างประเทศ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดเพื่อประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพส้มก่อนที่นำไปจำหน่าย หรือส่งออกไปยังต่างประเทศ
2. เป็นการเพิ่มมูลค่าและความน่าเชื่อถือให้กับผู้ส่งออกส้มไทยอันจะส่งผลดีให้กับเกษตรกรผู้ปลูกส้มในไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กระตุ้นให้เกิดการทำวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุในประเทศ
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาระบบตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดเพื่อใช้งานด้านอื่นๆ เช่น การตรวจสอบความสุกของผลไม้ เป็นต้น
5. ช่วยประหยัดแรงงานและเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของผลส้ม
6. ได้เทคโนโลยีพื้นฐานในการสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดเพื่อนำไปพัฒนาต่อในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

1.4 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

นำเสนอรายงานผลงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ พร้อมทั้งนำเสนอบทความวิจัยในสถานที่ต่างๆ และถ่ายทอดเทคโนโลยีในการสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดแก่นักคิดและหน่วยงานต่างๆ ที่สนใจนำระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดไปใช้งานหรือพัฒนาต่อ เช่น

- นักศึกษา จากมหาวิทยาลัยหรือสถาบันต่างๆ
- นักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ
- หน่วยงานทางภาคเกษตรกรรม
- หน่วยงานทางภาคอุตสาหกรรม
- เกษตรกร บุคคลทั่วไปหรือผู้สนใจที่จะนำระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดไปประยุกต์ใช้งาน
- ฯลฯ

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

สำหรับขั้นตอนและวิธีการทำวิจัยการตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติขององค์ประกอบทั่วไปของส้ม
2. ศึกษาหาข้อมูลทางด้านเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงอินฟราเรด
3. ศึกษาและทดสอบหาความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดสอบผลส้ม
4. ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด
5. ทดสอบและปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่สร้างขึ้นมา
6. สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสถานที่ในการทำการทดลองและเก็บข้อมูลจะใช้สถานที่ของคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

เริ่มต้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2550 จนถึง กันยายน 2551 ซึ่งจะทำการวิจัยให้เสร็จภายใน
ปีงบประมาณ 2551

แผนการดำเนินการตลอดโครงการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	งปประมาณปี 2551												
	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	
1. ศึกษาคุณสมบัติขององค์ประกอบทั่วไปของส้อม	←	→											
2. ศึกษาหาข้อมูลทางด้านเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงอินฟราเรด		←	→										
3. ศึกษาและทดสอบหาความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดสอบผลส้อม			←	→									
4. ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบคุณภาพส้อมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด				←	→								
5. ทดสอบและปรับปรุงระบบตรวจสอบคุณภาพส้อมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่สร้างขึ้น						←	→						
6. สร้างต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้อมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด									←	→			
7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์											←	→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

1. อุปกรณ์, เครื่องมือวัด และเครื่องทดสอบที่ใช้ในการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
2. อุปกรณ์ส่วนใหญ่สามารถหาซื้อและจัดทำภายในประเทศได้ โดยมีบางส่วนที่จะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ เช่น เซนเซอร์อินฟราเรด เป็นต้น
3. วัสดุที่ใช้ทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพสัมผัสแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดสามารถหาได้ง่ายเนื่องจาก สัมสามารถหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายในผลไม้โดยใช้เทคนิคทางแสง

การพัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์การเกษตรและอาหารใน ขบวนการผลิตต่างๆ ได้มีการพัฒนามานานแล้ว[1] นับตั้งแต่การเริ่มใช้คนในการตรวจสอบในยุค แรกๆ ตลอดจนมีนำเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มาช่วยในการพัฒนาวิธีการ ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหาร โดยการพัฒนาจะมุ่งเน้นในการหากรรมวิธี ตลอดจนเทคนิคในการตรวจสอบคุณภาพให้ใช้เวลาและกำลังคนในการตรวจสอบลดลง ทั้งนี้เพื่อ ลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภค

Klamer และ Twigg ได้ให้คำนิยามของคุณภาพอาหาร(Quality of foods) คือ “องค์ประกอบ ของคุณสมบัติที่แตกต่างเฉพาะตัวของอาหารแต่ละชนิดที่ให้คุณภาพระดับที่ผู้บริโภคต้องการ” เป้าหมายของการควบคุมคุณภาพอาหารก็คือ การควบคุมคุณภาพของอาหารที่อยู่ภายใต้การผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับราคาที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เพื่อความสะดวกในการควบคุมคุณภาพ เราสามารถที่จะแยกขบวนการควบคุมคุณภาพเป็น 3 ช่วงคือ

1. การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ (Raw material control)
2. การควบคุมคุณภาพของการผลิต (Process control)
3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Finish product inspection)

จากขบวนการต่างๆดังที่กล่าวมาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ขบวนการควบคุมคุณภาพ ของวัตถุดิบและขบวนการควบคุมคุณภาพการผลิตจะต้องมีประสิทธิภาพ สำหรับการใช้สีมาใช้ใน การตรวจสอบคุณภาพในขบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอาหารนับได้ว่าเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ ในการตรวจสอบคุณภาพอาหารว่าดีหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น พืช ผักและผลไม้ต่างๆ

สำหรับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยสีนั้น ได้มีการนำมาใช้นานแล้วตั้งแต่ การใช้คนทำการตรวจสอบในการคัดเลือกและแยกแยะคุณภาพผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ ตาของคนในการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์ยังไม่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ มาก นอกจากนี้ยังมีผลของการเมื่อยล้าของตาที่ใช้ในการตรวจสอบ, ความสามารถในการจดจำสีได้ ไม่มาก, ความสามารถในการแยกแยะสีของวัตถุแต่ละชนิด, ความสามารถในการมองเห็นของแต่ละ คน และผลของสภาพแสงสว่างในขณะที่ทำการตรวจสอบ ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่มีผล ต่อการใช้คนในการตรวจสอบคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ตาของคนเราโดยปกติแล้วจะมี ข้อจำกัดในการมองเห็นแสงที่มีความยาวคลื่นก่อนข้างจำกัดคืออยู่ในช่วง 400-700 ไมโครเมตรซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคบมากเมื่อเทียบกับช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic spectrum) ที่กว้างมาก

โดยทั่วไปแล้วในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตรวจสอบทั้งภายในและภายนอกเช่น การตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ เป็นต้น อาจจำเป็นต้องใช้ความยาวคลื่นที่นอกเหนือจากที่ตาคนเรามองเห็น(400-700 ไมโครเมตร) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีความสามารถในการตรวจจับความยาวคลื่นนอกเหนือจากย่านที่ตาคนเรามองเห็นเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น พืช ผัก และผลไม้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่คุณภาพก่อนที่จะส่งออกไปจำหน่ายยังผู้บริโภค สำหรับการนำเทคนิคทางแสงมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายนี้สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ในรูปแบบออนไลน์ (Online) ซึ่งสามารถใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการตรวจสอบมาก

จากการนำแสงมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรดังที่กล่าวมา Chen ได้สรุปข้อดีของการนำแสงมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรดังนี้

1. แสงให้คุณสมบัติที่สัมพันธ์กันกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่นำมาตรวจสอบ
2. แสงไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการตรวจสอบ
3. แสงมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือที่ทำการวัดน้อยมาก เช่น ความเข้มของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง, ค่าความไว(Sensitivity) ของตัวตรวจจับแสง (Light detector) ตลอดจนความคลาดเคลื่อนของการตอบสนองของระบบที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

สำหรับในบทนี้จะแสดงรายละเอียดของการนำแสงมาประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยใช้แสงในย่าน UV, Visible, Near-IR, และ ย่าน IR ซึ่งแสงในย่านที่กล่าวมาได้มีการนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในปัจจุบัน สำหรับการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแบบไม่ทำลายด้วยแสงนี้จะใช้ในการตรวจสอบว่าผลไม้ที่ทำการตรวจสอบแก่ได้ที่หรือยัง (Maturity), ความสุกของผลไม้ (Ripeness), ตลอดจนการตรวจสอบคุณภาพภายนอกและภายในของผลไม้ที่ทำการตรวจสอบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การตรวจสอบคุณภาพโดยการวัดแสงและสี

การจำแนกหรือตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยอาศัยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Analytical Chemistry) ของผลิตภัณฑ์นั้น และการวัดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical properties) ซึ่งรวมถึงคุณสมบัติของความสามารถในการทำละลาย (Solubility), คุณสมบัติของการระเหย (Volatility), กลิ่น (Odor) และคุณสมบัติอื่นๆที่ใช้ในการแยกแยะคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น มวล (Mass), ปริมาตร (Volume), ความหนาแน่น (Density) และคุณสมบัติอื่นๆที่ใช้ในการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

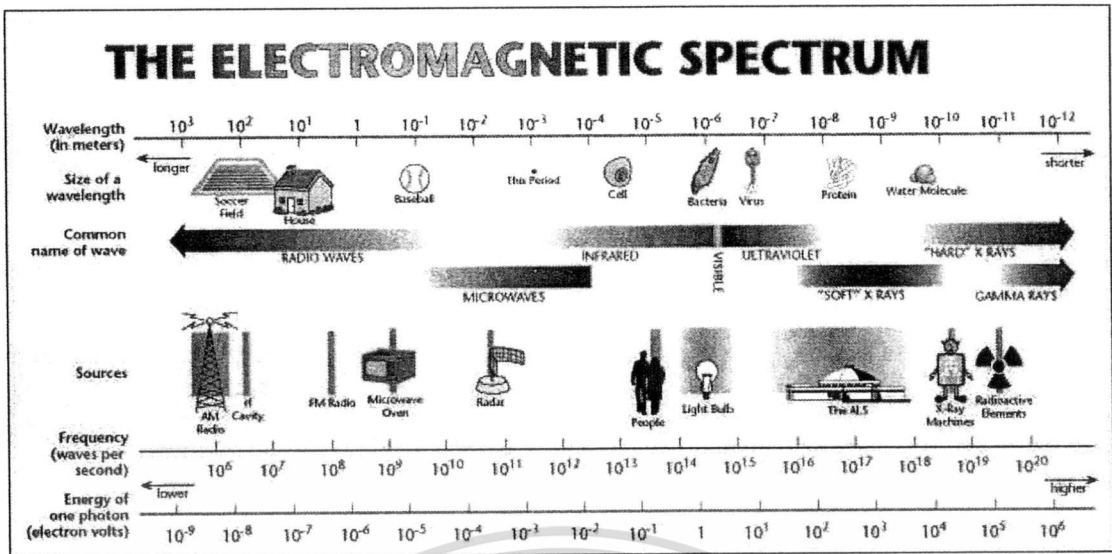
สืบทอดได้ว่าเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร Isaac Newton ได้ทำการพัฒนารากฐานของการตรวจวัดสีมาใช้งานโดยได้ทำการสร้างระบบเพื่อทำการทดลองในปี ค.ศ. 1700 โดยเขาได้ตรวจพบว่าแสงสีขาวที่เราเห็นนี้ความจริงประกอบด้วยเฉดสีที่แตกต่างกันซึ่งเราเรียกว่าสเปกตรัมของแสง (Visible spectrum)

ด้วยลักษณะเฉพาะของแสงจึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการใช้ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุ เนื่องจากวัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะของสีที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะองค์ประกอบของวัตถุนั้น สีนับเป็นสิ่งแรกที่ใช้ในการจำแนกส่วนประกอบโดยอ้างอิงกับการกระจายสเปกตรัมของแสงซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสงที่จ่ายให้กับวัตถุเพื่อดูการกระจายของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ หากไม่มีแหล่งกำเนิดแสงก็จะไม่เกิดการกระจายของแสงในวัตถุนั้น นอกจากนี้ องค์ประกอบภายในวัตถุที่แตกต่างกันไปในวัตถุแต่ละชนิดจะให้ลักษณะการกระจายของแสงแตกต่างกันไป โดย Francis และ Clydesdale ได้สรุปองค์ประกอบต่างๆที่ทำให้วัตถุแต่ละชนิดมีลักษณะของสีและการกระจายของแสงแตกต่างกันไปดังนี้

1. ลักษณะการแพร่กระจายของสเปกตรัมของแสงแต่ละชนิด
2. ลักษณะของการมองแสงหรือตรวจจับแสง เช่น มุมในการตรวจสอบหรือทิศทางที่ใช้ในการสังเกต
3. ลักษณะคุณสมบัติเฉพาะของการกระจายสเปกตรัมของวัตถุที่สัมพันธ์กับการดูดกลืน (Absorption), การสะท้อน (Reflection) และค่าการส่งผ่านของแสง (Transmission)
4. ค่าความไวต่อการตอบสนองต่อแสงสีต่างๆของตา

โดยปกติแล้วตาของคนเราจะสามารถมองเห็นสีได้กว้างกว่าช่วงสีของวัตถุซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะให้สีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของวัตถุนั้น โดยแสงจะเป็นตัวกระตุ้นพื้นฐานที่ทำให้เกิดสีของวัตถุนั้นซึ่งจะต้องพิจารณาจากสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

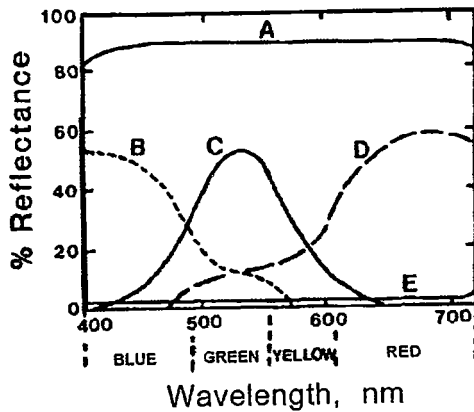


รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า[2]

จากสเปกตรัมในรูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้แสงในการตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะใช้นานความยาวคลื่นต่างๆของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปที่ 2.1

การแพร่กระจายของแสงเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์อย่างหนึ่งซึ่งพลังงานจะถูกส่งจากจุดๆหนึ่งไปจุดอื่นรอบทิศทาง โดยคุณสมบัติการแพร่กระจายผ่านฟรีสเปซ(Free space) จะเหมือนกันทั้งหมดทุกความยาวคลื่นตลอดสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีแกมมา(Gamma ray) จนถึง ความยาวคลื่นที่ยาวที่สุด ซึ่งทุกความยาวคลื่นจะมีความเร็วเท่ากันในสภาพสุญญากาศ(Vacuum) โดยความยาวคลื่นช่วงที่ตาคนเรามองเห็น(Visible light) จะเป็นช่วงสั้นๆของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 390 นาโนเมตร (สีม่วง) จนถึง 750 นาโนเมตร(สีแดง) โดยการตอบสนองของตาคนเรานั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละความยาวคลื่นในช่วงนี้ โดยตาของคนเราจะตอบสนองได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตรซึ่งเป็นสีเหลืองเขียว(Yellow-Green) ถ้าหากการกระจายสเปกตรัมของแสงมีลักษณะไม่เท่ากันจะทำให้คนเรามองเห็นเป็นสีต่างๆแต่หากการกระจายของสเปกตรัมของแสงมีค่าเท่ากันก็จะทำให้เรามองเห็นเป็นสีขาว จากการไม่เท่ากันของการกระจายแสงจะทำให้มองเห็นเป็นสีต่างๆ นอกจากนี้คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงที่แสงสีเดียว หรือแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวก็สามารถที่จะทำให้เรามองเห็นเป็นแสงสีนั้นๆได้ นอกจากนี้สิ่งที่จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ ก็คือ ความสามารถในการสะท้อนแสงของวัตถุที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้



รูปที่ 2.2 ค่าการสะท้อนของวัตถุสีต่างๆ

(A) วัตถุสีขาว (B) วัตถุสีฟ้า (C) วัตถุสีเขียว (D) วัตถุสีแดง (E) วัตถุสีดำ

โดยทั่วไปแล้วคุณลักษณะเฉพาะของสีจะประกอบด้วย 3 องค์ประกอบด้วยกันคือ

1. แหล่งกำเนิดแสง(Radiator)
2. วัตถุ(Object)
3. ผู้สังเกต(Observer)

โดยรายละเอียดแต่ละแฟกเตอร์(Factors) สามารถแสดงได้ดังนี้

1. คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงจะถูกกำหนดโดยลักษณะคุณภาพของการกระจายสเปกตรัมของแสง, มุมในการกระจายแสง และความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง
2. วัตถุ(Object)
3. ผู้สังเกต(Observer) จะให้ลักษณะของการตรวจจับต่างกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการตรวจวัด ซึ่งจะมีรูปแบบแตกต่างกันออกไปดังตารางที่ 2.1

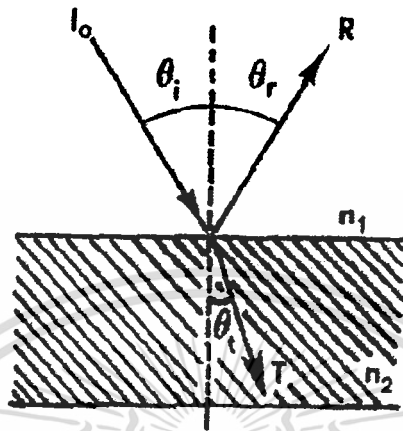
ตารางที่ 2.1 ลักษณะคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแสงและรูปแบบในการวัด

Physical measurement	Sensory term equivalent
Radiant energy	Light
Reflectance	Lightness, value
Dominant wavelength	Hue, color
Purity	Chroma, intensity, strength
Directional reflectance	Gloss, sheer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องระหว่างแสงและวัตถุที่นำมาทดสอบ

เมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุที่ทำการทดสอบจะก่อให้เกิด การสะท้อนของแสงของวัตถุ (Reflect), การส่งผ่านวัตถุ(Transmit), การดูดกลืนจากวัตถุ(Absorb) หรือ การหักเหของแสงจากวัตถุ(Refract) โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลกระทบของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุ

จากรูปที่ 2.3 แสงที่ตกกระทบจะอ้างอิงเส้นทางที่แหล่งกำเนิดแสงจ่ายให้กับวัตถุซึ่งจะเกิดการสะท้อนจากผิววัตถุ, แสงส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่านเข้าไปในวัตถุโดยมุมที่แสงเดินทางผ่านจะแตกต่างไปจากมุมที่แสงตกกระทบ โดยมุมที่เปลี่ยนไปจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและความยาวคลื่นของแสง การส่งผ่านและการดูดกลืนของแสงในแต่ละความยาวคลื่นแสงจะสอดคล้องกับกฎ “Law of Conservation of energy” ผลรวมของค่าการสะท้อน, การส่งผ่านและการดูดกลืน จะเท่ากับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบวัตถุ ดังสมการที่ (2.1)

$$I_0 = I_R + I_T + I_A \quad (2.1)$$

เมื่อ

- I_0 = Quantity of incident radiation
- I_R = Quantity of reflected radiation
- I_T = Quantity of transmitted radiation
- I_A = Quantity pf absorbed radiation

หลังจากที่แสงเดินทางมากระทบจุดเชื่อมต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด เราสามารถหาทิศทาง การเคลื่อนที่ของลำแสงผ่านตัวกลางที่แตกต่างกันจาก Snell's law ดังสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_2 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_t \quad (2.2)$$

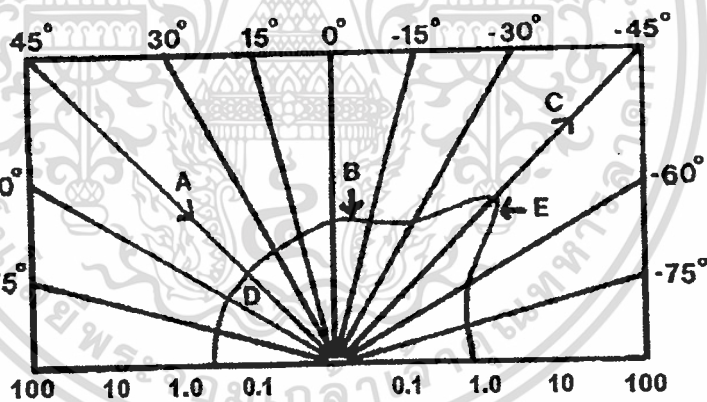
เมื่อ n_1 = Index of refraction of the surrounding medium

n_2 = Index of refraction of the object

θ_i = Angle of incidence

θ_t = Angle of transmitted ray

จากคุณสมบัติของแสงดังที่กล่าวมา วัตถุที่นำมาทดสอบอาจจะใส, ทึบแสง และขุ่นมัว แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจะถูกพิจารณาว่าเป็นวัสดุที่มีลักษณะขุ่นมัว ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์บางชนิดจะยอมให้แสงที่ความยาวคลื่นใดคลื่นหนึ่งผ่าน สำหรับในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจะประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการสะท้อนของแสงคือคุณสมบัติของการแตกกระเจิงหรือการแพร่กระจายของแสงภายในผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งคุณสมบัติการสะท้อนของนี้จะมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนเนื่องจากผลของคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุที่นำมาตรวจสอบ ซึ่งการสะท้อนของแสงจะมีรูปแบบ Regular หรือ Specular reflection และ diffused reflection ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการสะท้อนของแสงในรูปแบบของ Specular และ diffused โดย (A) ลำแสงที่ตกกระทบ(Incident beam) (B) Flat (C) Specular reflection (D) Diffused Reflection (E) Gloss

การสะท้อนของแสงจากพื้นผิวที่ราบเรียบเป็นเงาสามารถเรียกได้ว่าเป็นการสะท้อนแบบ Specular reflection ซึ่งในส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการเคลือบผิววัตถุ จากกฎพื้นฐานของ Specular reflection ซึ่งกล่าวว่า มุมของลำแสงที่ตกกระทบผิวของวัตถุจะต้องเท่ากับมุมที่แสงสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ สมการ Fresnel กำหนดคุณสมบัติของการสะท้อนแสงแบบ Specular reflection โดยค่า

เอกสารความเข้มของแสงที่สะท้อนจากผิววัตถุสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.3) ถึง (2.5) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัตถุที่ขนานกับแสงที่สะท้อน

$$R_{\parallel} = \left[\frac{(n_2/n_1)^2 \cos\theta_i - \left[(n_2/n_1)^2 - \sin^2\theta_i \right]^{1/2}}{(n_2/n_1)^2 \cos\theta_i + \left[(n_2/n_1)^2 - \sin^2\theta_i \right]^{1/2}} \right]^2 \quad (2.3)$$

สำหรับวัตถุที่ตั้งฉากกับลำแสง

$$R_{\perp} = \left[\frac{\cos\theta_i - \left[(n_2/n_1)^2 - \sin^2\theta_i \right]^{1/2}}{\cos\theta_i + \left[(n_2/n_1)^2 - \sin^2\theta_i \right]^{1/2}} \right]^2 \quad (2.4)$$

สำหรับการสะท้อนในรูปแบบปกติ

$$R = R_{\parallel} = R_{\perp} = \left[\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right]^2 \quad (2.5)$$

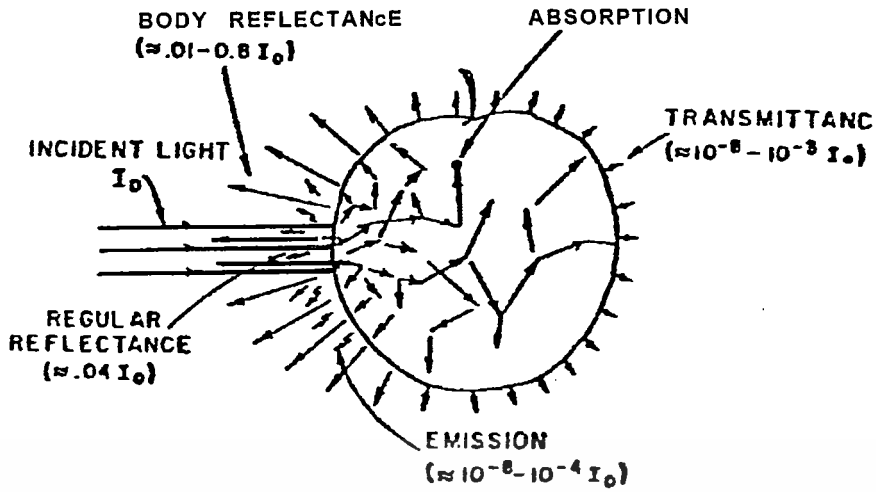
สำหรับค่าการลดทอนของคลื่นที่ส่งผ่านวัตถุออกไปในวัตถุที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous), ตัวกลางไม่มีการดูดกลืนที่มีลักษณะกระจัดกระจาย (Non diffusing absorbing medium) สามารถหาได้จากกฎของ Beer-Lambert's ดังสมการที่ (2.6)

$$I_T = I_0(1 - R)e^{-kt} \quad (2.6)$$

ถ้าหากพื้นผิวที่ลำแสงตกกระทบประกอบด้วยพื้นผิวที่ขรุขระไม่เรียบจะทำให้แสงที่ตกกระทบกระจัดกระจายไปในทิศทางต่างๆ ซึ่งในรูปแบบนี้การกระจายของแสงที่สะท้อนออกมาสามารถอธิบายได้โดยใช้ Lambert's Cosine law โดยลำแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวที่ไม่เรียบจะมีมากกว่าหนึ่งครั้งก่อนที่จะสะท้อนออกมา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการสะท้อนของแสงมีค่าน้อยกว่าการสะท้อนของพื้นผิวที่ราบเรียบ

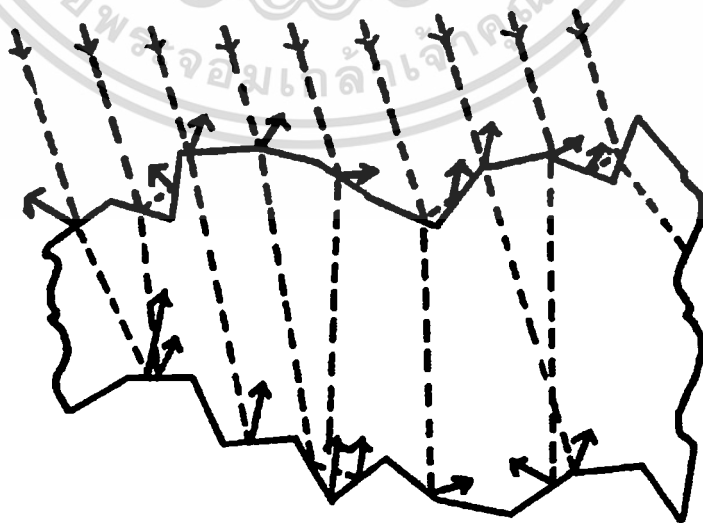
เมื่อลำแสงตกกระทบพื้นผิวแล้วเกิดการสะท้อนออกไปทั่วทุกทิศทางเท่าๆกันแสดงว่าพื้นผิวนั้นมีความราบเรียบ โดยในการสะท้อนรูปแบบนั้นเราเรียกว่าเป็นการสะท้อนแบบ “Diffuse reflection” ซึ่งการสะท้อนจะทำมุม 45° จากแสงที่ตกกระทบ สำหรับในกรณีทั่วไปการสะท้อนแบบ “Diffuse reflection” จะทำให้เกิดการมองเห็นเป็นสีต่างๆขึ้นมา ซึ่งรูปแบบการสะท้อนแสงแบบนี้จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่อยู่ในธรรมชาติทั่วไปด้วย เช่น อาหาร พืช ผักผลไม้ต่างๆ และวัสดุทางการเกษตรต่างๆ ซึ่งจะมองเห็นสีที่เกิดจากแสงสะท้อนกลับออกมาจากพื้นผิวของวัตถุเหล่านั้น Birth ได้ทำการแสดงให้เห็นว่าแสงต้องเดินทางผ่านเม็ดสีที่อยู่ภายในเซลล์ของวัตถุจึงจะทำให้เกิดเห็นเป็นสีภายนอกขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อแสงเดินทางกระทบผลไม้

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นรูปแบบการเดินทางของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุตัวอย่างซึ่งในที่นี้ใช้ผลไม้ในการทดลอง โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุจำพวกพืช ผัก และผลไม้หรืออาหารจะมีโครงสร้างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous) เมื่อฉายแสงเข้าไปในผลไม้ที่ทำการทดสอบจะเกิดการกระจายของแสงไปในทุกทิศทางดังรูปที่ 5 โดยจะแสงปริมาณ 4-5% ของปริมาณแสงที่ตกกระทบที่จะไม่กระจายออกโดยจะสะท้อนกลับโดยตรงจากพื้นผิวหรือที่เรียกว่า “Regular reflectance” และจะยังคงมีปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในพื้นผิวและไปกระทบกับเนื้อเยื่อภายในผลไม้และเกิดการกระจายของแสงภายในเนื้อผลไม้ในทุกทิศทุกทาง นอกจากนี้ยังมีแสงส่วนหนึ่งที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิวอีกด้านของผลไม้ที่ทำการทดสอบ ซึ่งการสะท้อนนี้เป็นการสะท้อนอยู่ในตัวผลไม้ที่ทำการทดสอบซึ่งเราเรียกว่า “Body reflectance” โดยลักษณะของการเกิดการสะท้อนแบบต่างๆ ในผลไม้ที่ทำการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

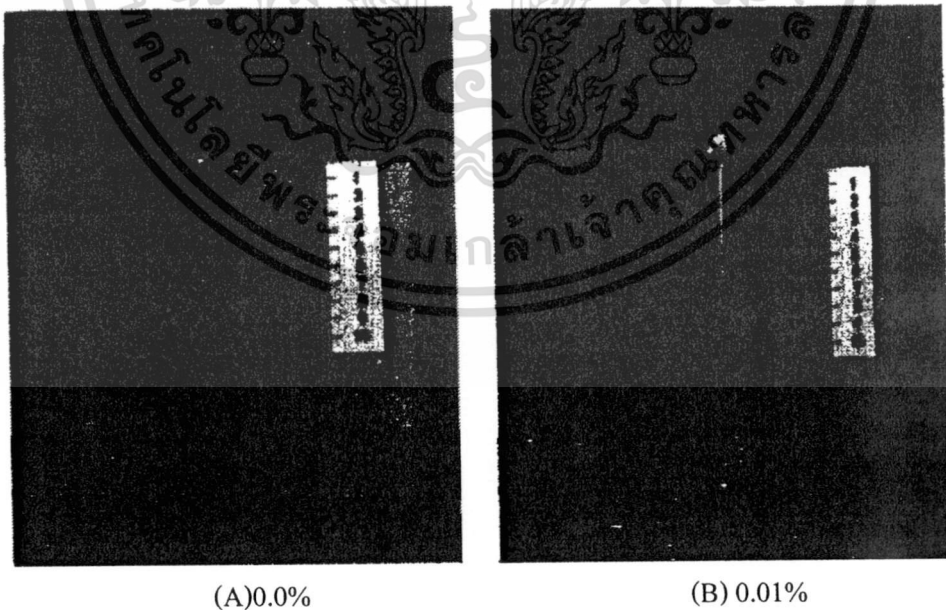


รูปที่ 2.6 รูปแบบของการสะท้อนแบบต่างๆ Diffuse reflection, Regular reflection, Body

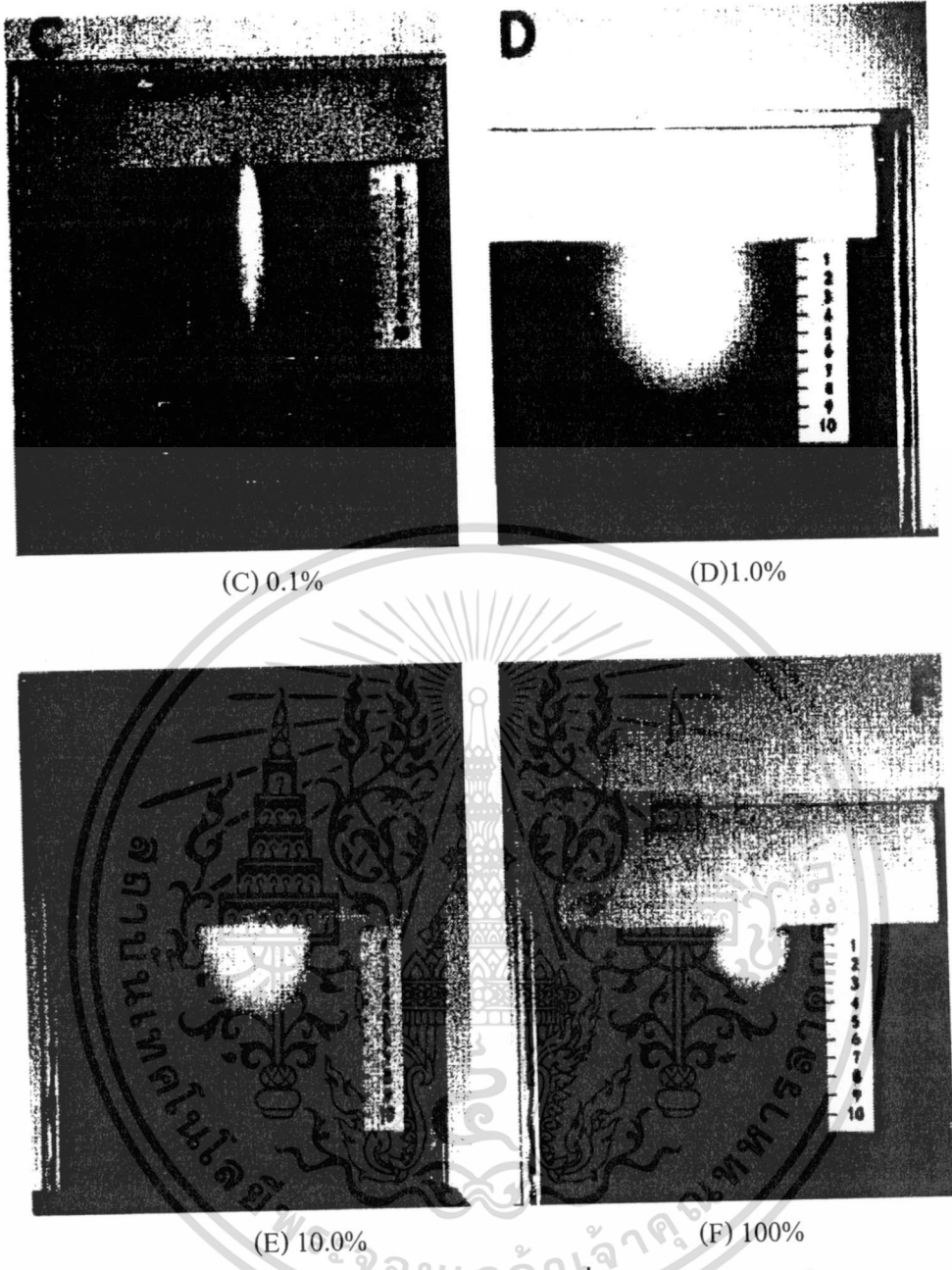
reflection เมื่อทำการยิงแสงเข้าไปผลไม้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสะท้อนแบบ Body reflectance จะมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับ Diffuse reflection ซึ่งเป็นการสะท้อนหลักที่เกิดกับผลไม้ นอกจากนี้ยังมีแสงอีกส่วนหนึ่งที่ผ่านเข้าไปในเนื้อผลไม้และสุดท้ายจะทะลุออกมาจากผลไม้ที่ทำการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของเนื้อผลไม้ที่ทำการทดสอบจะทำให้ผลของการดูดกลืนแสงของผลไม้ที่ทำการทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยค่าการดูดกลืนจะเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของผลไม้ที่ทำการทดสอบ, ความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ในการทดสอบ (Wave length) และระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ผ่านผลไม้ที่นำมาทดสอบ (Path length) ค่าการดูดกลืนแสงของวัตถุนี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบอื่นได้ โดยค่าการดูดกลืนแสงของวัตถุนี้สามารถที่แปลงให้อยู่ในรูปของการกระจายแสง (Radiation) เช่น ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) และ Delayed light emission

เมื่อเร็วๆ นี้ Birth ได้เสนอแนวทางในการอธิบายว่าแสงแพร่กระจายในวัตถุที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันซึ่งจะให้ค่าความแน่นอนในส่วนของฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนของแสงมากกว่ารูปแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ซึ่งในรูปที่ 2.3 นั้นจะแสดงเส้นทางของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุที่ไม่มีการดูดกลืนของแสง (Non absorbing) และไม่มีการแพร่กระจายของแสง (Non diffusing) แต่อย่างไรก็ตาม วัตถุทางด้านเกษตรและอาหารส่วนใหญ่เมื่อถูกยิงด้วยแสงจะเกิดการกระจายของแสงที่มุมต่างๆแตกต่างกันไป โดย Birth ได้ทำการใช้ลำแสงเลเซอร์ในการอธิบายว่าแสงเมื่อตกกระทบวัตถุแล้วเกิดการแพร่กระจายอย่างไรในวัตถุที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรหรืออาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เส้นทางการแพร่กระจายของแสงในวัตถุที่มีการแพร่กระจายปานกลาง (Diffusing medium) ซึ่งจะมีการกระจายของแสงมาก โดยจากรูปลำแสงเลเซอร์จะถูกยิงผ่านน้ำที่บรรจุอยู่ในแก้ว จากนั้นจึงทำการเติมน้ำนมลงไปในการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของปริมาณนมเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับการกระจายของแสง โดยปริมาณนมที่เติมลงไปและลักษณะการกระจายของแสงที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7(A)-7(F)

จากรูปที่ 2.7 ลำแสงเลเซอร์จะถูกยิงผ่านน้ำที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วโดยเราจะทำการเติมนมลงไปในการทดลองนี้จะมีทั้งหมด 6 ระดับตั้งแต่ 0-100% โดยลักษณะการกระจายของแสงในตัวอย่าง (Sample) ที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีลักษณะการกระจายทุกทิศทางซึ่งเป็นคุณสมบัติทั่วไปของการกระจายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวัตถุที่ไม่ใช่โลหะ(Non-metal) จากรูปที่ 2.7 จะเห็นว่าขนาดครีสมิของแสงที่กระจายออกมาเมื่อยิงแสงเลเซอร์เข้าไปในหลอดแก้วที่บรรจุน้ำและนมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณนมที่อยู่ในน้ำหรือสรุปคือเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของวัตถุที่นำมาทดสอบ ซึ่งโดยสรุปแล้วการกระจายของแสงจากผิวของวัตถุที่นำมาทดสอบจะประกอบไปด้วย Regular reflectance, Body reflectance, Transmittance และ Emission(Fluorescence, Phosphorescence, Delayed light emission) ซึ่งปรากฏการณ์สะท้อนหลายรูปแบบที่เกิดขึ้นภายในวัตถุที่นำมาทดสอบนี้เราเรียกว่า “Light scattering”

ค่าดัชนีการหักเหของแสง(Index of refraction) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสง(Absorption coefficient) เป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาปรากฏการณ์การกระจายของแสง(Light scattering) ในวัสดุสำหรับในวัสดุทางการแพทย์และอาหารจะประกอบด้วยโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนไม่คงที่ ดังนั้น Birth จึงได้ให้แนวทางในการประยุกต์ใช้งานแสงในการตรวจสอบวัสดุทางการแพทย์และอาหารดังนี้

1. ค่าดัชนีหักเหในวัสดุทางการแพทย์และอาหารอยู่ในช่วง $1.4 \pm 10\%$
2. ในบรรดาวัสดุทางการแพทย์และอาหารที่มีสีขาว, สีแดง หรือสีเหลือง สามารถที่จะตั้งสันนิษฐานว่าเป็นวัตถุที่ไม่มีการดูดกลืนแสงในย่านแสงสีแดงและย่านใกล้อินฟราเรด (Near-infrared)
3. ในการใช้คุณสมบัติทางแสงในวัสดุทางการแพทย์และอาหารสามารถหาค่าการดูดกลืนของแสง(Absorption) จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการนำมาใช้งาน

2.3 เทคนิค Delayed Light Emission (DLE)

Strehler และ Arnold ได้ค้นพบปรากฏการณ์ Delayed Light Emission (DLE) ขึ้นโดยบังเอิญ โดยในขณะที่ทำการฉายแสงลงไปในต้นไม้สีเขียว จากนั้นทำการหยุดฉายแสงลงบนต้นไม้แล้วทำการพิจารณาค่าความยาวหลังจากทำการหยุดฉายแสง โดยปรากฏการณ์ DLE สามารถอธิบายได้ดังนี้ “DLE คือระยะเวลาที่วัตถุที่นำมาทดสอบสามารถที่จะเก็บพลังงานในรูปแบบของปฏิกิริยาเคมีไว้โดยผ่านกลไกทางเคมีที่เกี่ยวกับคุณสมบัติการเรืองแสงซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีลักษณะคล้ายกับขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช(Photo synthesis) โดยขบวนการทางเคมีนี้จะใช้เป็นตัวอ้างอิงใน DLE ซึ่งแตกต่างจากขบวนการเรืองแสงที่เรียกว่า Phosphorescence ซึ่งแต่ก่อนเราเชื่อว่าขบวนการทางเคมีซึ่งก่อให้เกิดการกระตุ้น โมเลกุลด้วยเอนไซม์ แต่ในทางตรงกันข้าม Phosphorescence เกิดจากปรากฏการณ์ ทางฟิสิกส์ที่เกิดจากการคายพลังงานของระดับพลังงานแล้วให้พลังงานแสงออกมา ซึ่งโดยความจริงแล้วนั้นแสงจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารละลายภายในวัตถุหรืออาจเกิด

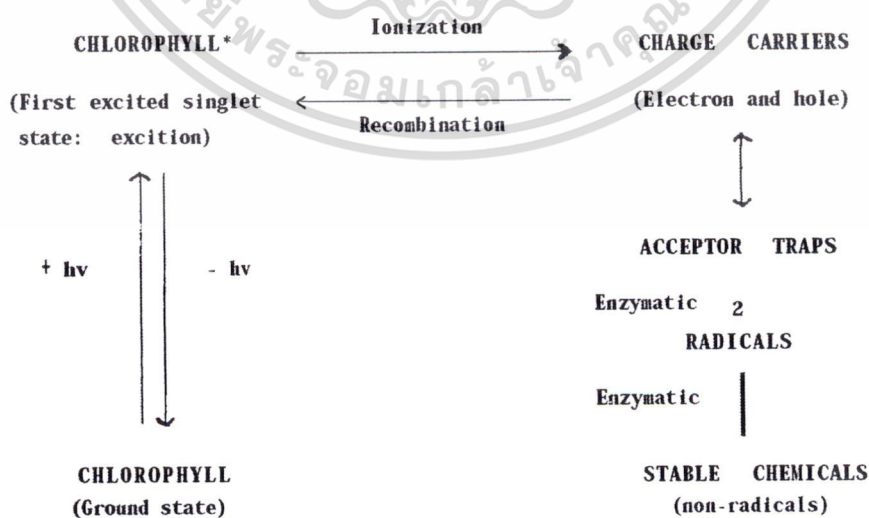
เอกสารถ่ายรังสีอัลตราไวโอเล็ต(UV) ลงไปในพืชซึ่งเซลล์ที่ให้แสงสว่างจะยังคงอยู่แม้จะถูกแสงยูวี ซึ่งผลจากนี้ไม่อาจรู้ได้ทั้งหมด อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปรากฏการณ์ทางเคมีที่กล่าวมานี้จะเป็นกลไกที่ทำให้เกิด DLE ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะส่งผลให้ความสว่างของวัตถุที่ถูกยิงด้วยแสงจะสัมพันธ์กับการสังเคราะห์แสงของวัตถุนั้นมากกว่าปรากฏการณ์ Fluorescence โดยองค์ประกอบที่คล้ายกันระหว่างปฏิกิริยาการเปล่งแสง(Luminescent) และการสังเคราะห์แสงสามารถแสดงได้ดังนี้

1. โดยธรรมชาติแล้วอุณหภูมิมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา
2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปริมาณแสง UV
3. ช่วงเวลาในการอิมตัวของความเข้มของแสง
4. องค์ประกอบของสารเคมีสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา
5. สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ CO₂
6. การลดลงของความเข้มแสงอาจเกิดจากการกระจายแสงต่อเนื่องเป็นเวลานาน

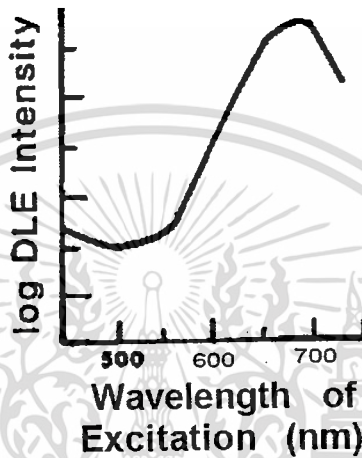
สำหรับการเปล่งแสงของวัตถุนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของ Chlorophyll แต่ในทางตรงกันข้าม Strehler และ Arnold ได้ทำการอธิบายว่าการเปล่งแสงเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในขบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งแสงเหล่านี้จะเกิดการดูดกลืนส่วนประกอบที่ไม่ใช่เอนไซม์ภายในวัสดุหรือพืช ต่อมาได้มีการอธิบายการเกิดแสงโดยใช้ทฤษฎีทางเคมีคอนดักเตอร์พีสิคส์ในการกำเนิดแสงจากขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์ DLE แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของวัตถุจะมีผลต่อปรากฏการณ์ DLE ซึ่งมีการทำวิจัยโดย Chlorellac และ Scenedesmus ได้แสดงให้เห็นว่าการเกิดการดูดกลืนของแสงในวัตถุเป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ล้วนๆ โดยทางผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงแถบพลังงานของควอนตัมของแสงระหว่างการเกิด DLE ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แถบพลังงานของควอนตัมของแสงระหว่างการเกิด DLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ DLE อาจะเกิดในพืชผักผลไม้หรือวัสดุที่มีการสังเคราะห์แสงได้ โดยปริมาณการเปล่งแสงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ความเข้มแสงที่ฉายเข้าไปในวัตถุ, ความยาวคลื่นของแสงที่ฉายเข้าไปในวัตถุ, ขนาดของพื้นที่ที่แสงฉายเข้าไปในวัตถุ, ระยะเวลาในการฉายแสงเข้าไปในวัตถุ, ช่วงเวลาที่ใช้ฉายแสงและหยุดฉายแสง และปริมาณคลอโรฟิลล์(Chlorophyll) ที่อยู่ภายในพืช ผักหรือผลไม้ที่ทำการทดสอบ สำหรับอุณหภูมิของวัตถุที่ทำการทดสอบไม่ใช่ปัญหาหลักของการตรวจสอบวัตถุทางการเกษตรด้วยเทคนิค DLE เนื่องจากผลของอุณหภูมิต่อค่า DLE นั้นมีค่าน้อยมาก



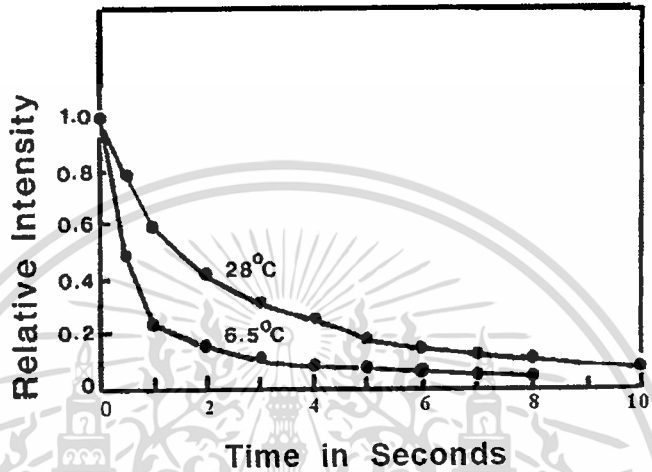
รูปที่ 2.9 ปรากฏการณ์ DLE เมื่อทำการฉายแสงด้วยความยาวคลื่นต่างๆบนลูกพีชสีเขียว (Green peach)

จากรูปที่ 2.9 แสดงลักษณะความเข้มของ DLE เมื่อทำการฉายแสงด้วยความยาวคลื่นๆต่างลงบนลูกพีชสีเขียว โดยจากกราฟช่วงความยาวคลื่นประมาณ 680 นาโนเมตร จะให้ความเข้มของ DLE สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามค่า DLE จะมีค่าสูงในช่วงความยาวคลื่น 625 ถึง 725 นาโนเมตร ซึ่งจากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ฉายวัตถุที่ทำการทดสอบมีผลอย่างมากต่อค่าความเข้มของ DLE

ความเข้มของ DLE จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความเข้มของแสงที่ฉายลงไปบนวัตถุที่ทำการทดสอบจนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัว(Saturation) หลังจากผ่านจุดอิ่มตัวไปแล้ว ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณแสงที่ฉายให้กับวัตถุก็จะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของค่า DLE ดังนั้นหลังจากผ่านจุดอิ่มตัวไปแล้วการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ฉายจะไม่มีผลกระทบต่อค่า DLE แต่อย่างไรก็ตามการใช้แสงความเข้มสูงก็มีข้อดีคือจะใช้เวลาในการเข้าสู่จุดอิ่มตัวต่ำ ซึ่ง Chuma ได้ทำการศึกษาโดยใช้กล้วยในการหาค่าความเข้มสูงสุดของ DLE สำหรับการฉายแสง 2 วินาทีหรือน้อยกว่า โดยค่าความเข้มแสงที่ต้องใช้ประมาณ 1375 ลักซ์ (Lux) หรือมากกว่า นอกจากนี้ Chuma ยังได้ทำการทดลองฉายแสงเป็นเวลานานถึง 60 วินาที ซึ่งหลังจาก 60 วินาทีไปแล้วค่าความเข้มของ DLE จะคงที่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

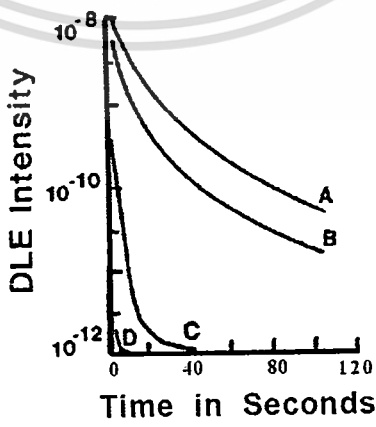
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากทำการศึกษาผลกระทบของเวลาในการฉายแสงต่อค่าความเข้มของ DLE แล้ว การใช้วัดปริมาณความเข้มของ DLE ที่ระยะเวลาต่างๆก็เป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบวัตถุที่ใช้เทคนิคของ DLE โดยสำหรับกรณีวัด ค่า DLE ที่อุณหภูมิปกติ จะทำการตรวจวัดค่าความเข้มของ DLE ในช่วงเวลา 0.01 วินาที จนถึงหลายนาที่ แต่อย่างไรก็ตามค่าความเข้มของ DLE จะลดลงตามระยะเวลาที่มากขึ้นหลังจากการหยุดฉายแสง ซึ่งเราจะทราบได้ในเทอมของการลดลงของค่าความเข้ม DLE (Decay of DLE) โดยกราฟการลดลงของค่าความเข้ม DLE นี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการลดลงของค่าความเข้ม DLE ที่ระยะเวลาหลังการฉายแสงต่างๆ ของอุณหภูมิ 28°C และ 6.5°C

จากกราฟในรูปที่ 2.10 เราพบว่าอุณหภูมิของวัตถุมีผลต่อค่าการลดลงของค่าความเข้ม DLE โดยที่เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิต่ำค่าการลดลงของค่าความเข้ม DLE จะสูงกว่าเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูง จากการทดลองยังค้นพบอีกว่าปริมาณความเข้มของ DLE จะขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอโรฟิลล์ในวัตถุ โดยความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มของ DLE และปริมาณคลอโรฟิลล์ในวัตถุสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ค่าความเข้มของ DLE สำหรับการทดสอบกับผลมะนาวที่มีค่าคลอโรฟิลล์ต่างๆ (A)สีเขียวเข้ม (B)สีเขียวอ่อน (C)สีเงิน (D)สีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 ผลมะนาวที่มีสีต่างกัน 4 ระดับ ตั้งแต่สีเขียวเข้ม, สีเขียวอ่อน, สีเงินและสีเหลือง ซึ่งมีความเข้มของค่าคลอโรฟิลล์ลดหลั่นกันมาตามลำดับจะถูกนำมาทำการศึกษาค่าความเข้มของ DLE โดยการศึกษาก่อนจะทำการวัด ค่าความเข้มของ DLE หลังจากทำการฉายแสงไปแล้วที่เวลาต่างๆ ไปจนครบ 2 นาที จากผลการทดลองพบว่าค่าปริมาณความเข้มของ DLE จะขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในวัตถุนั้น จากความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของ DLE กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในวัตถุนั้น เราจึงอาศัยความสัมพันธ์นี้มาใช้ในการวัดค่าความสุกของผลไม้ต่างๆ ได้ เช่น Apple, Apricot, Banana, Bell pepper, Nectarine, Olive, Onion, Orange, Peach, Persimmon, Plum, Pomegranate และ Tomato ซึ่งจะทำให้การวัดค่าความเข้มของ DLE เพื่อใช้ในการหาค่าคลอโรฟิลล์ที่ผิวของพืช ผักหรือผลไม้ที่นำมาตรวจสอบ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาไปใช้ในการสร้างเครื่องมือในการคัดแยกผลไม้แบบอัตโนมัติโดยใช้ค่าความเขียว(Greenness) และค่าดัชนีความสุก(Ripening index) ในการตรวจสอบโดยอาศัยพื้นฐานของการวัดค่าความเข้มของ DLE

2.4 ระบบการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยแสง

การวัดค่าการสะท้อนและค่าการส่งผ่านของแสงเป็นวิธีการตรวจสอบที่ใช้กันอยู่แพร่หลายทั่วไป ค่าการดูดกลืนพลังงานของแสงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวัด โดยการประยุกต์ใช้กฎการแปลงพลังงาน (Law of conservation of energy) การหาค่าการดูดกลืนพลังงานของแสงจะสามารถหาได้จากการวัดพลังงานแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนจากวัตถุ โดยเราสามารถแสดงสมการของค่าการดูดกลืนพลังงานของแสง(A) ได้ดังสมการที่ 2.7

$$A = \log_{10} 1/T \quad (2.7)$$

เมื่อ T คือ ค่าการส่งผ่านของแสง

ค่าความเข้มของแสง (Optical density : OD) เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ใช้ในการวัดปริมาณทางแสงโดยการประยุกต์ใช้ในกรณีเมื่อทำการฉายแสงลงไปวัตถุแล้วปริมาณแสงถูกลดทอนโดยรูปทรงของวัตถุที่ทำการวัดนั้นคือ เกิดการการกระจายและการดูดกลืนของแสง โดยค่าความเข้มของแสง(OD) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.8

$$OD = \log_{10} (I_1 / I_2) \quad (2.8)$$

เมื่อ I_1 = ค่าพลังงานของแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน I_2 = ค่าพลังงานของแสงที่ผ่านวัตถุออกมา อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้ววัตถุทางด้านเกษตรและอาหารจะมีลักษณะทึบแสง คือ จะมีค่าการสะท้อนของแสงสูงกว่าค่าการส่งผ่านแสงและมีค่า DLE ในช่วงความยาวคลื่นแสงในย่าน Visible และ IR อยู่ในช่วง 1 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานแสงที่ตกกระทบ โดยค่าความเข้มของการสะท้อนของแสงจะใช้ในการประเมินคุณภาพของวัตถุทางการเกษตรที่นำมาทดสอบ ถึงแม้ว่าความเข้มของการส่งผ่านแสงภายในวัตถุทางการเกษตร(10^{-8} - 10^{-3} ของความเข้มของแสงที่ตกกระทบ) จะมีค่าน้อยกว่าค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ(4×10^{-2} ของความเข้มของแสงที่ตกกระทบ) แต่อย่างไรก็ตามการวัดค่าการส่งผ่านหรือการวัดค่าการดูดกลืนของแสงมีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบวัตถุทางการเกษตรมากกว่าการวัดค่าการสะท้อนของแสงเนื่องจากการวัดค่าการส่งผ่านและการวัดค่าการดูดกลืนทางแสงสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในวัตถุได้เป็นอย่างดี เช่น การตรวจดูสีภายในวัตถุหรือการตรวจหาจุดบกพร่องภายในผลไม้ เป็นต้น สำหรับตัวอย่างของการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านการศึกษา เช่น Kramer และ Smith ได้ทำการประยุกต์ใช้งานการวัดค่าการส่งผ่านของแสงเป็นครั้งแรกในการใช้ตรวจสอบการสุกหรือการแก่ โดยการให้แสงในการวิเคราะห์โครงสร้างของผลไม้ที่นำมาทดสอบ ส่วน Norris ประยุกต์ใช้เทคนิคในการวัดการส่งผ่านแสงเพื่อใช้ในการตรวจสอบลักษณะของสีภายในผักและผลไม้ และใช้ในการตรวจสอบการแก่และการสุกของผักและผลไม้ ตลอดจนการตรวจหาจุดบกพร่องและความสมบูรณ์ของเนื้อภายในผักและผลไม้

Sarker และ Obrien ได้ทำการอธิบายถึง 3 วิธีในการวิเคราะห์ลักษณะของแสงในการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่ใช้ทดสอบ(มะเขือเทศ) โดยวิธีแรกอาศัยหลักการพื้นฐานของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic wave) ซึ่งจะมองว่าผลไม้ประกอบด้วยองค์ประกอบภายในหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงแตกต่างกันไป ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้จะมีความยากลำบากมากตามจำนวนขอบเขตเงื่อนไขที่มากขึ้นตามความซับซ้อนของพืชผักผลไม้ที่นำมาทดสอบ นอกจากนี้คุณสมบัติของภายในวัตถุที่ทำการวัดยังมีค่าไม่แน่นอน ดังนั้นการทำนายคุณสมบัติของการส่งผ่านแสงโดยเทคนิคการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นไปได้ยากหรือไม่ได้เลย สำหรับวิธีที่สองจะอาศัยทฤษฎีของ Kubelka-Munk ซึ่งวิธีการนี้จะเอาผลของการกระจายแสงมาใช้ในการคำนวณด้วย แต่เนื่องจากความยุ่งยากในการคำนวณเนื่องจากผลไม้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน วิธีการนี้จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งานจริง ส่วนวิธีที่สามจะใช้การอนุมานลักษณะ โมเดลของผลไม้ที่นำมาทดสอบโดยการพิจารณาจากระบบการวัดและการวิเคราะห์จากแสงที่ใช้ในการทดสอบ โดยทั่วไปแล้วข้อมูลของการสะท้อนแสงสามารถแสดงในลักษณะของลิเนียร์สเกลในลักษณะของเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงได้ ในขณะที่การส่งผ่านแสงภายในวัตถุจะเรียกให้ชัดเจนว่าค่าความเข้มแสง(Optical density) สำหรับการวัดผลการตอบสนองต่อย่านความยาวคลื่นแสงของวัตถุทางการเกษตรจะทำโดยการวัดปริมาณแสงที่ได้มาจากการส่องออกมาในย่าน

ความยาวคลื่นแสงต่างๆซึ่งโดยทั่วไปแล้วในทางการค้าจะพบในหลักการนี้ในเครื่องสเปกโตรโฟโตเมทรีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์(Spectrophotometer) ซึ่งสามารถใช้วัดสเปกตรัมของการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของวัตถุและสเปกตรัมของการส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยเฉพาะวัตถุที่มีค่าความเข้มแสงต่ำ โดยข้อดีของการใช้การวัดค่าการส่งผ่านแสงมาใช้ในการตรวจสอบวัตถุมีข้อดีคือ

1. การวิเคราะห์ทำได้ง่ายเนื่องจากค่าความแตกต่างของค่าความเข้มแสงในวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนการส่งผ่านแสงในวัตถุนั้น ซึ่งค่าความแตกต่างนี้สามารถคำนวณหาได้ง่าย
2. การพล็อตค่าในรูปแบบล็อกการิทึม(Logarithmic) ทำให้สามารถแสดงความเข้มของแสงได้ในย่านที่กว้าง โดยค่าการส่งผ่านแสงจะอยู่ในช่วงสเกล 1-100 หรือ 2 ออเดอร์ของแมกนิจูด แต่สำหรับค่าความเข้มของแสงจะอยู่ในช่วง 5 ออเดอร์ของแมกนิจูด
3. มีความลิเนียร์ระหว่างค่าความเข้มแสงและค่าการดูดกลืนแสงของวัตถุที่นำมาทดสอบ

สำหรับเทคนิคที่กล่าวมานี้เป็นเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในการวัดทางแสงโดย Birth และ Finney ได้ทำการอธิบายเพิ่มเติมในการใช้เทคนิคการวัดทางแสงในการตรวจสอบวัตถุ โดยอุปกรณ์พื้นฐานที่จะในการวัดคุณสมบัติทางแสง(การสะท้อนและการส่งผ่านทางแสง) จะประกอบด้วยเครื่องมือที่คุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง
2. ระบบสำหรับควบคุมการกระจายแสง
3. ระบบสำหรับตรวจวัดแสง
4. องค์ประกอบอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแสงต้องนำมาพิจารณาด้วย

หลอดไฟแบบไส้ทั้งสแตน, หลอดไฟแบบอาร์ค(Arc lamp), หลอดฟลูออเรสเซนต์(Fluorescent lamp) และเลเซอร์ แหล่งกำเนิดแสงตามที่กล่าวมาเป็นที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในระบบวัดแสงที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้จะแพร่กระจายแสงออกมามากมายที่ความยาวคลื่นต่างๆขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้งานของผู้ใช้แต่ละราย

กระจกกรองแสงนับว่าเป็นอุปกรณ์ทางแสงอันหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการตัดหรือดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการออกไปโดยยังคงให้แสงที่ความยาวคลื่นอื่นผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดแสงที่กล่าวมาแล้วยังคงถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอก ดังนั้นในงานที่ต้องการแหล่งจ่ายแสงที่มีความคลื่นแน่นอนจะใช้ปริซึมหรือเกรตติง(Grating) ในการแยกแสงที่ความยาวคลื่นที่ต้องการออกไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ผ่านการเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวัตถุที่ต้องการทดสอบซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยเทคนิคที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป เช่น การดูด้วยตา(Visual), การถ่ายภาพ (Photography), ตัวตรวจจับทางไฟฟ้า(Electrical Detector), โฟโตอิมิสชัน(Photoemission) และตัวตรวจจับแบบโซลิดสเตต(Solid-state detector) จากตัวอย่างของการตรวจจับสัญญาณดังที่กล่าวมา การดูด้วยตาเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการตรวจสอบสีซึ่งสามารถทำการตรวจสอบซ้ำได้สะดวกและรวดเร็ว โดย Birth ได้สรุปความต้องการพื้นฐานสำหรับการใช้เทคนิคการดูด้วยตาในการทดสอบสีของวัตถุที่มาทดสอบดังนี้

1. ความเข้มของแสงและเงื่อนไขในการดูวัตถุจะต้องมีมาตรฐานที่แน่นอนเหมือนกันทุกวัตถุ
2. จะต้องมีสีมาตรฐานในการสอบเทียบ เนื่องจากคนเราไม่สามารถจำลักษณะข้อแตกต่างของสีได้มากพอที่จะใช้อ้างอิงในทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่ตาของคนเรามีความสามารถที่จะแยกแยะความแตกต่างของสีได้อย่างแม่นยำ
3. ข้อจำกัดของการใช้ตาในการแยกแยะสีที่ควรทราบประกอบด้วยข้อจำกัดอันเกิดจากคน ได้แก่ ตาบอดสี(Color blindness), ความกดดันทางอารมณ์, การเจ็บป่วยและการตัดสินใจในลักษณะของสีในแต่ละบุคคล

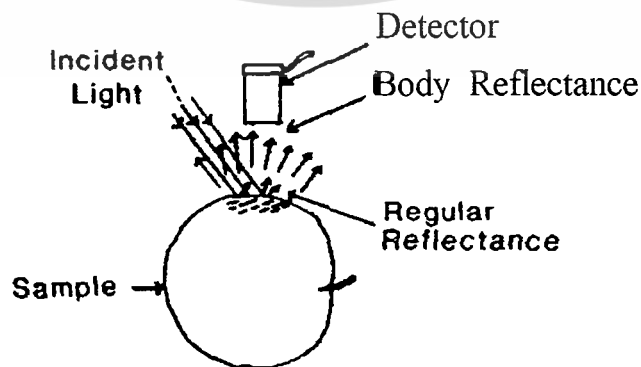
สำหรับตัวตรวจจับแสงทางไฟฟ้าซึ่งลักษณะของความร้อน(Thermal) หรือควอนตัม(Quantum)ในการตรวจจับแสงได้ถูกพิจารณาออกแบบมาเพื่อใช้กับระบบวัดทางแสง โดยโฟโตมัลติพลายเออร์(Photomultiplier) ได้ถูกพัฒนามาโดยใช้หลักการของโฟโตอิมิสชัน(Photoemission)ในการนำมาใช้ในระบบตรวจวัดแสงในย่าน Near-IR จนถึง Ionizing นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงเพื่อใช้ในระบบวัดแสงทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำมีข้อดีคือ อุปกรณ์มีขนาดเล็ก สามารถใช้งานในย่านแรงดันต่ำ และใช้งานได้ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่กว้าง โดยโหมดการทำงานจะมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบของโฟโตโวลต์ทาคิก(Photovoltaic) ซึ่งการทำงานของตัวตรวจวัดแสงจะให้ค่าแรงดันเอาท์พุทที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณแสงที่ตกกระทบตัวตรวจวัดแสง และรูปแบบของโฟโตคอนดักทิฟ(Photoconductive) ซึ่งจะต้องมีการจ่ายแรงดันให้กับตัวตรวจวัดแสง เมื่อมีแสงมาตกกระทบก็จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดเป็นกระแสไหลขึ้นมา โดยรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการสร้างตัวตรวจวัดแสง ตลอดจนรูปแบบในการทำงานตลอดจนความยาวคลื่นแสงที่สามารถตรวจจับได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detector material	Wavelength range (nm)	Temperature (K)	Mode of operation
CdS	400-850	300	Photoconductive
CdSe	650-800	300	Photoconductive
GaAs	400-900	300	Photovoltaic
Cu-Cu ₂ O	400-600	300	Photovoltaic
Si	500-1.050	300	Photovoltaic or photoconductive
PbS	700-3,500	300	Photoconductive
PbSe	1,000-6,000	78	Photoconductive
PbTe	1,000-5,500	78	Photoconductive
InAs	1,000-3,500	300	Photovoltaic
InSb	1,000-6,000	78	Photoconductive
Ge:AsSb	1,000-5,000	78	Photoconductive
Ge:Hg	2,000-14,000	4	
Ge:Cu	5,000-30,000	4	
Ge-Si:Zn	5,000-40,000	50	
InSb	6,000-300,000	4	

ตารางที่ 2.2 ตัวตรวจวัดแสงแบบต่างๆ

สำหรับเป้าหมายของการตรวจสอบคุณภาพวัตถุทางการเกษตรด้วยแสงสามารถทำได้โดยการวัดการกระจายแสงในรูปแบบที่ต้องการเช่น การวัดการสะท้อนของแสงและการวัดการส่งผ่านของแสง เป็นต้น โดยการวัดจะทำการวัดในย่านความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ โดยจำกัดความยาวคลื่นอื่นที่ไม่ต้องการออกไป โดยใช้อุปกรณ์ในการควบคุมความยาวคลื่นแสงที่ต้องการ เช่น ปริซึม (prism) กระจกกรองแสง (Glass filter) และเกรตติง (grating) เป็นต้น สำหรับประสิทธิภาพของการวัดจะขึ้นอยู่กับ แหล่งกำเนิดแสง ตัวควบคุมความยาวคลื่น ตัวตรวจวัดแสง และตำแหน่งในการตรวจวัดซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบในการวางอุปกรณ์การวัดว่าเราวางได้ตรงจุดที่เราต้องการตรวจสอบหรือไม่ Chen ได้อธิบายลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ในการวัดทางแสงไว้ 2 รูปแบบคือ การจัดวางอุปกรณ์การวัดในการวัดค่าการสะท้อนของพื้นผิววัตถุซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12

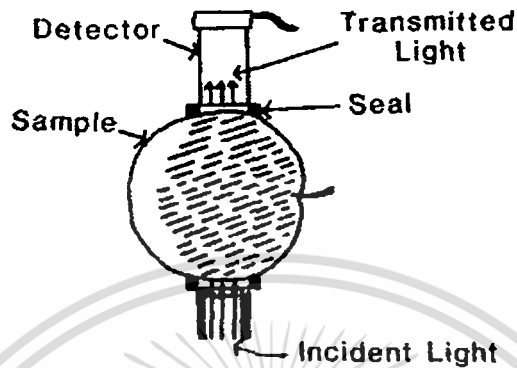


รูปที่ 2.12 การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, วัตถุที่ต้องการวัด และตัวตรวจวัดแสงสำหรับ

การวัดค่าการสะท้อนของพื้นผิววัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 การวัดค่าการสะท้อนของพื้นผิววัตถุนิยมใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของวัตถุ เช่น สีภายนอก, การถูกทำลายของผิวภายนอกในผลไม้ และการวัดระดับความแตกต่างของพื้นผิววัตถุเป็นต้น สำหรับการวัดคุณสมบัติของแสงอีกหนึ่งรูปแบบที่นิยมใช้กันก็คือ การวัดค่าการส่งผ่านแสงในวัตถุซึ่งรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, วัตถุที่ต้องการวัด และตัวตรวจวัดแสง สำหรับการวัดค่าการส่งผ่านแสงในวัตถุ

จากรูปที่ 2.13 การวัดค่าการส่งผ่านแสงภายในวัตถุนิยมใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของวัตถุที่นำมาวัด แต่เนื่องจากการตรวจวัดทำได้ยากและค่าความเข้มแสงที่ออกมาจากวัตถุมีค่าต่ำ ดังนั้นตัวตรวจวัดแสงจะต้องมีค่าความไวในการวัดสูงและต้องทำการวัดในภาชนะบรรจุที่ปิดทึบ

2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการวัดทางแสงกับวัตถุต่างๆ

1. ผักและผลไม้

ในบรรดาผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ผักและผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขั้นตอนในการตรวจสอบยุ่งยากซับซ้อนมากเนื่องจากมีขั้นตอนในการนำผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวมาทำการบรรจุ ก่อนส่งออกจำหน่ายมากมายหลายขั้นตอน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในทุกๆขั้นตอนในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้วิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสินค้าและผลผลิต ดังนั้นการใช้วิธีการตรวจสอบที่เฉพาะเจาะจงที่เหมาะสมกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญตัวอย่าง เช่น ผลไม้ที่สุกพอเหมาะและคุณภาพดีเป็นเป้าหมายสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ก่อนส่งออกไปสู่ท้องตลาด ซึ่งวิธีการพื้นฐานสำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายของผักและผลไม้ได้แก่ การใช้การวัดคุณสมบัติการส่งผ่านแสงของผักและผลไม้ที่นำมาทดสอบ สำหรับการประยุกต์ใช้คุณสมบัติการส่งผ่านของแสงมาใช้ในการพัฒนาการตรวจสอบต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การตรวจสอบความแก่หรือความสุกของผลไม้
2. การพัฒนาระบบคัดแยกแบบอัตโนมัติ
3. การตรวจสอบข้อบกพร่องทั้งภายในและภายนอกของผลไม้ รวมถึงการตรวจสอบการเข้าของเนื้อผลไม้ทั้งที่เกิดจากเครื่องจักรและเชื้อโรค

สำหรับรายละเอียดการประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ในรูปแบบต่างๆที่ได้กล่าวมามีดังนี้

1. การตรวจสอบความแก่หรือความสุกของผลไม้

ความสุกของผลไม้จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสี รส กลิ่น และลักษณะของเนื้อผลไม้ ซึ่งก่อให้เกิดสภาพที่เหมาะสมในการนำมารับประทาน แต่สิ่งที่สามารถมองเห็นได้อย่างหนึ่งในการสังเกตความสุกของผลไม้ส่วนใหญ่ก็คือ การเปลี่ยนแปลงของสีผิว แต่อย่างไรก็ตามการตรวจสอบค่าความสุกโดยการสังเกตสีผิวอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากมีผลไม้หลายชนิดที่สีผิวภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงแต่เนื้อภายในยังไม่สุก ดังนั้นการสังเกตเพียงสีภายนอกอย่างเดียวจึงไม่สามารถตรวจสอบความสุกของผลไม้ได้อย่างถูกต้อง เพราะฉะนั้นเทคนิคทางแสงจึงถูกพัฒนามาใช้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสีผิวและเนื้อภายในจะสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในเนื้อผลไม้ ซึ่งสีของผลไม้จะมีผลต่อการส่งผ่านของแสงในเนื้อผลไม้ที่ทำการวัดดังนั้นเราจึงนำเอาคุณสมบัตินี้มาใช้ในการตรวจสอบความสุกของผลไม้โดยใช้การวัดค่าการส่งผ่านของแสง

สำหรับการนำเอาเทคนิคการวัดคุณสมบัติทางแสงมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ นั้นจะประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้

1. ค่าระดับแมกนิจูด (Magnitude) ในการวัดมีความสำคัญอย่างมากในการวัดให้ครอบคลุมค่าระดับความสุกของผลไม้
2. ค่าระดับการเปลี่ยนแปลงค่าของการวัดจะต้องเพียงพอจะเป็นที่ยอมรับในระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผลไม้

โดยระบบวัดที่สร้างขึ้นจะต้องมีมาตรฐานในการวัด โดยปราศจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของผลไม้ เช่น ขนาด, รูปร่าง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของระบบเครื่องมือ เช่น ความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง, ค่าความไวของตัวตรวจวัดแสง, ค่าอัตราขยายของวงจรตรวจวัดแสง เป็นต้น ซึ่งหลายปีที่ผ่านมามีการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของผลไม้โดยใช้แสงกันอย่างแพร่หลาย โดยได้แบ่งเทคนิคในการทดสอบเป็น 4 แบบ คือ

1. ใช้ความยาวคลื่นแสงเดียวในการวัดคุณสมบัติทางแสงของผลไม้แล้วทำการพิจารณาผลของการวัด
2. ใช้หลักการวัดความแตกต่างของคุณสมบัติทางแสงโดยใช้ความยาวคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดอัตราส่วนของคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้ความยาวคลื่น 2 ความยาวคลื่น วิธีนี้มีข้อดีคือผลการวัดจะเป็นอิสระต่อค่าความไวของเครื่องมือวัด
4. การวัดโดยใช้วิธีต่างๆดังที่กล่าวมารวมกัน

2. การพัฒนาระบบคัดแยกแบบอัตโนมัติ

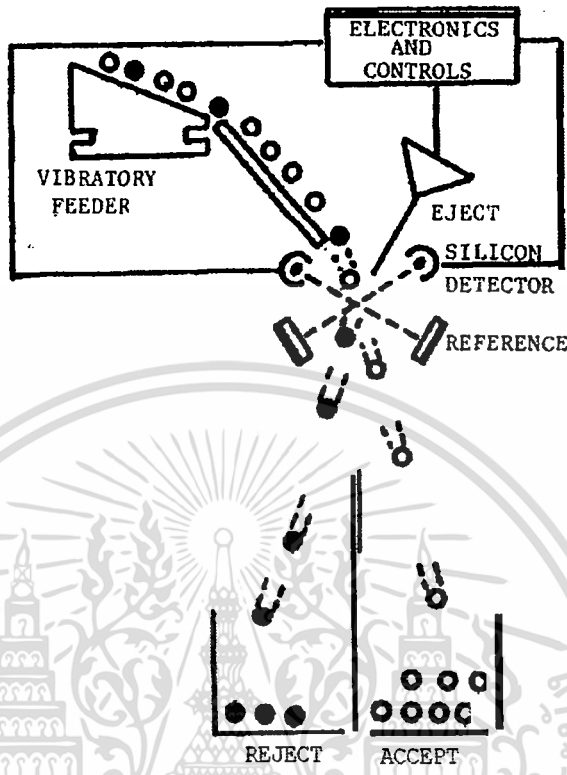
เนื่องจากความหลากหลายทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปไม่แน่นอนทำให้ระยะเวลาในการสุกของผลไม้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้การคัดแยกผลไม้สุกด้วยมือจำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการคัดแยกผลไม้สุกออกจากกลุ่ม ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการคัดแยกสูง ตัวอย่างเช่น ในการคัดแยกลูกพรุนด้วยมือของบริษัท California prune ทำให้เสียค่าใช้จ่ายถึง 1.6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบคัดแยกผลไม้อัตโนมัติขึ้นมา ซึ่งระบบจะทำงานเริ่มตั้งแต่การนำผลไม้ที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้วมาทำการคัดแยกจนถึงการบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบที่เราทำการออกแบบขึ้นมา

จากคุณสมบัติการส่งผ่านของแสงในวัตถุรวมถึงเทคนิค DLE ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการคัดแยกผลไม้แบบอัตโนมัติสำหรับการคัดแยกผัก, ผลไม้ แลผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ โดย Gillesspie ได้ทำการสรุปขั้นตอนการทำงานของระบบคัดแยกผลไม้แบบอัตโนมัติไว้ดังนี้

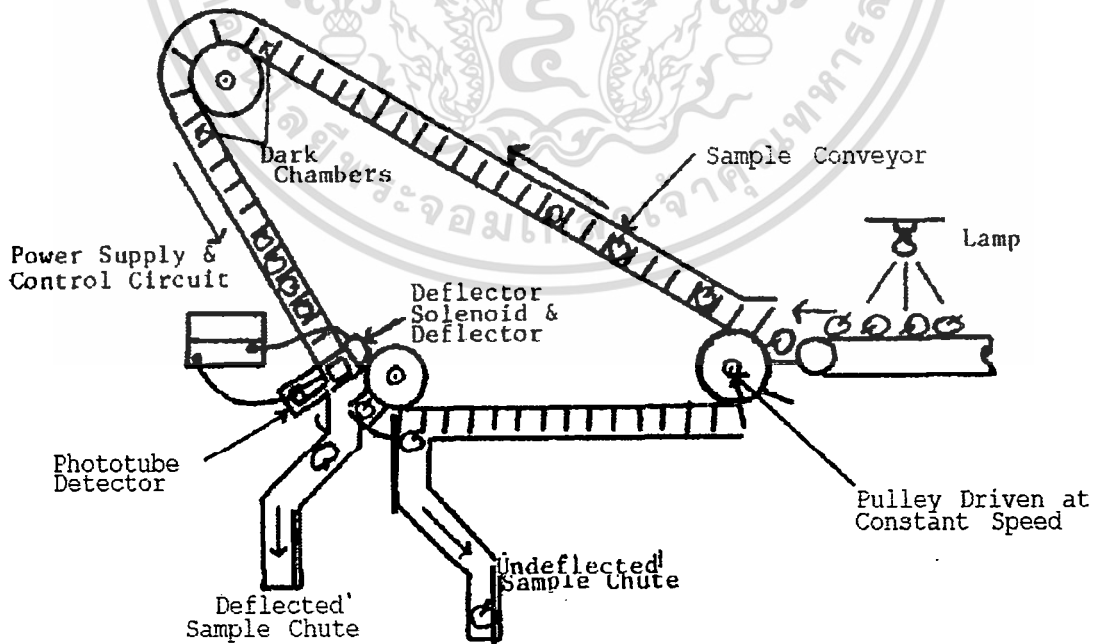
1. ลักษณะเฉพาะตัว(Singulation) เนื่องจากขนาดของวัตถุมีผลต่อการตรวจสอบ ต้องมีการคัดแยกขนาดของวัตถุที่มาตรวจสอบก่อนส่งไปขั้นตอนต่อไป
2. ความเร่ง(Acceleration) เพื่อให้คุ้มค้ำกับการลงทุนในการสร้างระบบคัดแยกอัตโนมัติ จำนวนของวัตถุที่จะทำการคัดแยกจะต้องสูงในระหว่างที่ระบบทำงานเพื่อให้คุ้มค้ำในการจัดสร้างและลงทุน โดยความเร่งของระบบที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมในการตรวจสอบและส่งวัตถุไปในขบวนการต่อไป
3. ตำแหน่ง(Presentation) สำหรับวัตถุที่ถูกนำมาตรวจสอบหรือทำการคัดแยกจะต้องถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนที่จะเข้าสู่ระบบตรวจวัด(Sensor)
4. การตรวจสอบ(Evaluation) ในแต่ละวัตถุที่นำมาทดสอบจะถูกเปรียบเทียบกับวัตถุมาตรฐานหรือข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิง
5. การคัดแยก(Separation) สำหรับขั้นตอนสุดท้าย วัตถุหรือผลไม้ที่นำมาทดสอบแต่ละชิ้นจะถูกแบ่งแยกโดยคุณสมบัติของสีหรือคุณสมบัติอื่นที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้

สำหรับวัตถุหรือผลไม้ที่มีลักษณะบอบบางระบบจะถูกปรับให้ช้าลงเพื่อลดผลกระทบต่อวัตถุหรือผลไม้ที่ทำการตรวจสอบ สำหรับระบบตรวจสอบที่ใช้เทคนิค DLE กล้องหรือภาชนะที่เอกลำไส้วัตถุหรือผลไม้จะต้องทำเป็นภาชนะปิดเพื่อป้องกันแสงภายนอกมารบกวนวัตถุหรือระบบที่ทำงานหรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดอยู่ สำหรับตัวอย่างของระบบคัดแยกวัตถุหรือผลไม้อัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการวัดค่าการสะท้อนแสงและเทคนิคการวัดค่า DLE สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของระบบคัดแยกวัตถุหรือผลไม้อัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการวัดค่าการสะท้อนแสง



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างของระบบคัดแยกวัตถุหรือผลไม้อัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการวัดค่า DLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพัฒนาระบบคัดแยกแบบอัตโนมัติมาทดแทนการคัดแยกด้วยมือมีข้อดีดังนี้คือ

1. สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการจ้างคนในการคัดแยก
2. ลดปริมาณการเกิดการชำหรือการเสียหายของผลไม้ขณะทำการคัดแยก
3. มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในการคัดแยก และไม่มีผลกระทบจากการตัดสินใจของบุคคลที่มีเกณฑ์ในการแยกแยะแตกต่างกันไป
4. สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
5. ให้คุณภาพของงานดีกว่าการใช้คนตรวจสอบและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสะอาดปลอดภัย

3. การตรวจสอบคุณภาพภายนอกและภายในผลไม้

ถ้าพูดถึงข้อได้เปรียบของการวัดค่าความแตกต่างของคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผลไม้ที่นำมาทดสอบซึ่งประกอบด้วยข้อบกพร่องภายนอกและภายในผลไม้ ซึ่งรวมถึงความเสียหายที่เกิดจากเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างการเก็บเกี่ยวและหลังเก็บเกี่ยว, การสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคขึ้นในเนื้อผลไม้ ซึ่งข้อบกพร่องที่กล่าวมานี้จะเกิดขึ้นมากน้อยแตกต่างกันไปซึ่งจำเป็นต้องมีการคัดแยกผลไม้เป็นเกรดหรือระดับต่างๆ ในการจัดจำหน่าย โดยปัญหาหนึ่งที่พบบ่อยในกระบวนการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องจักรก็คือ การเกิดตำหนิหรือรอยชำขึ้นที่ผิวผลไม้ ทำให้ไม่เหมาะสมในการนำมารับประทาน สำหรับการเกิดตำหนิหรือรอยชำที่ผิวของผลไม้เราสามารถให้เทคนิคในการวัดการสะท้อนของแสงมาใช้เป็นตัวคัดแยกผลไม้ที่มีตำหนิหรือรอยชำที่ผิวออกไปได้ โดยทำการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนของแสงของผลไม้ที่นำมาทดสอบกับค่าการสะท้อนแสงในผลไม้ปกติ ซึ่งหากค่าการสะท้อนของแสงที่วัดได้จากผลไม้ที่นำมาทดสอบมีค่าแตกต่างไปจากค่าปกติเราก็จะทำการคัดแยกผลไม้ลูกนั้นออกไป แต่สำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องที่อยู่ภายในเนื้อผลไม้ นั้นจะใช้เทคนิคในการวัดค่าการส่งผ่านของแสงในเนื้อผลไม้แทนวิธีการวัดค่าการสะท้อนของแสง

ถึงแม้ว่าระบบการคัดแยกผลไม้แบบอัตโนมัติจะให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคัดแยกด้วยมือ แต่อย่างไรก็ตามยังมีองค์ประกอบอื่นที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบการคัดแยกผลไม้แบบอัตโนมัติ เช่น รูปร่างหรือลักษณะของผลไม้, ขนาดของผลไม้, อัตราส่วนของพื้นผิวที่ทำการทดสอบต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของผลไม้, ลักษณะของสีและแสงที่ใช้ในการตรวจสอบ และองค์ประกอบอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจสอบ โดยระบบคัดแยกอัตโนมัติ องค์ประกอบต่างๆ ดังที่กล่าวมาเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญของผู้พัฒนาระบบคัดแยกอัตโนมัติที่จะต้องทำการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

การประยุกต์ใช้เทคนิคทางแสงในการตรวจสอบผลผลิตทางการเกษตรได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างมากหลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็จะมีเทคนิคและวิธีการแตกต่างกันออกไป แต่ทั้งนี้คุณภาพของการตรวจสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของคุณสมบัติของแสงที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดจนการตั้งเงื่อนไขในการตรวจสอบต่างๆ อย่างระมัดระวังเพื่อให้ได้ผลการวัดถูกต้องทั้งนี้เพื่อนำผลการวัดไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อบ่งบอกคุณภาพของตัวอย่าง(Sample) ที่นำมาทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

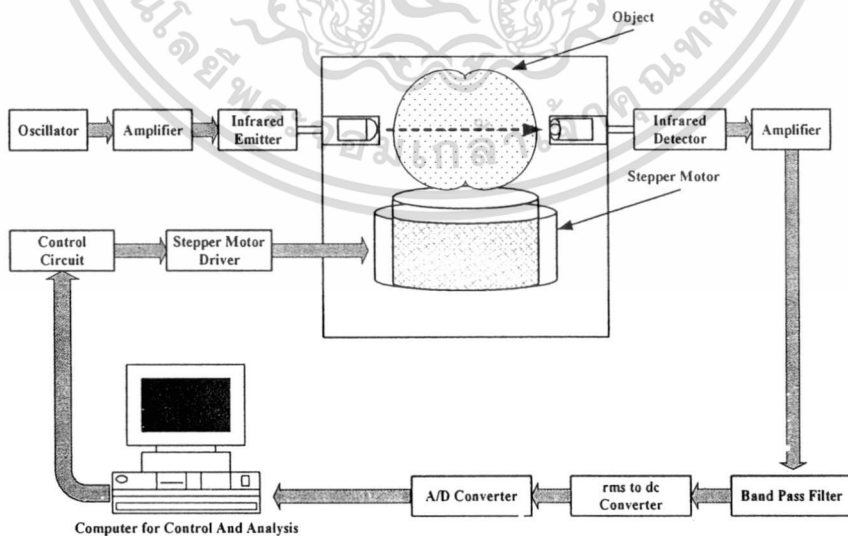
บทที่ 3

ระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

ปัญหาสำคัญสำหรับส้มที่นำออกไปจำหน่ายหรือทำการส่งออกไปยังต่างประเทศก็คือ ลักษณะของเนื้อส้มที่มีลักษณะ เนื้อฟาม ซึ่งทำให้รสชาติของส้มด้อยลง โดยลักษณะของเนื้อฟามที่พบมากที่สุดคือ ฟามแห้ง(Dry juice sack) ซึ่งจะมีลักษณะ เป็นถุงเนื้อสีขาวขุ่นแห้ง ไม่มีน้ำ และผนังเซลล์มีความหนาแน่นกว่าปกติ โดยจะพบมากบริเวณขั้วหรือก้นของผลส้ม ในผลที่มีมากอาจพบลามถึงครึ่งผลหรือเกือบเต็มผล

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น เราศึกษาพบว่าเนื้อเยื่อของผลส้มที่ปกติ และเนื้อเยื่อของผลส้มที่มีลักษณะฟามจะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่า หากเรายิงแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมเข้าไปในผลส้ม แล้วใช้ตัวตรวจจับแสงอินฟราเรดทำการตรวจจับแสงอินฟราเรดที่ผ่านเนื้อส้มออกมา เราก็จะได้ค่าความเข้มของแสงอินฟราเรดที่มีค่าแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความหนาแน่นของเนื้อเยื่อภายในผลส้ม(ขึ้นอยู่กับว่าเป็นเนื้อปกติ หรือเนื้อฟาม) จากค่าความแตกต่างของค่าความเข้มแสงอินฟราเรดที่วัดได้นี้เราจะนำไปใช้ในการแยกแยะคุณภาพของส้มที่นำมาทดสอบ สำหรับในโครงการวิจัยนี้เราจะเพิ่มชุดสำหรับหมุนผลส้มเพื่อทำการวัดคุณสมบัติของผลส้มในมุมต่างๆ ก่อนจะนำข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดส่งเข้าเครื่อง ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลในการแยกแยะคุณภาพของผลส้มที่นำมาทดสอบ

สำหรับส่วนประกอบของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1



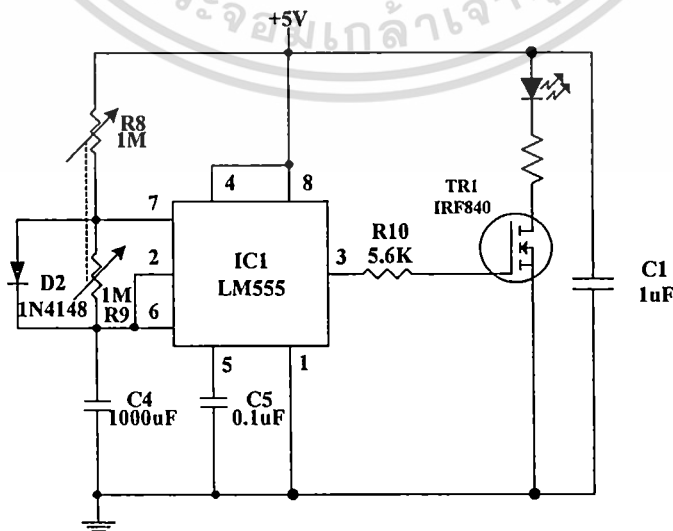
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ(Oscillator Circuit)จะกำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ต เพื่อป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณ(Amplifier Circuit) แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งไปขับหลอดกำเนิดแสงอินฟราเรด(Infrared Emitter)เพื่อส่งแสงอินฟราเรดเข้าไปในผลส้มที่นำมาทดสอบ เมื่อแสงอินฟราเรดผ่านเข้าไปในผลส้มก็จะเกิดการลดทอนของแสง(มากขึ้นขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดและลักษณะของเนื้อส้ม) แสงอินฟราเรดที่ผ่านผลส้มออกมาจะไปกระทบกับตัวตรวจจับแสงอินฟราเรด(Infrared Detector) ซึ่งจะเปลี่ยนค่าความเข้มของแสงอินฟราเรดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีขนาดแปรผันตรงกับขนาดความเข้มของแสงที่ตกกระทบ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายสัญญาณ ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรกรองความถี่ผ่าน(Band-pass Filter Circuit) ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาหาค่าระดับสัญญาณดิซีซี โดยวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (RMS-TO-DC Converter Circuit) ค่าระดับสัญญาณดิซีซีที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter Circuit) เพื่อนำค่าระดับแรงดันดิซีซีที่วัดได้บันทึกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ จากนั้นเราจะทำการหมุนผลส้มไปครั้งละประมาณ 1-5 องศา (ขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดที่ต้องการ) แล้วทำการเก็บข้อมูลของระดับความเข้มแสงที่วัดได้(ในที่นี้คือค่าระดับสัญญาณดิซีซีที่แปรผันตามความเข้มของแสงอินฟราเรด) เราจะหมุนผลส้มและเก็บข้อมูลไปจนครบ 360 องศา แล้วจึงนำข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดมาประมวลผลเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลส้มที่นำมาทดสอบ จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 เราสามารถออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับทำงานตามฟังก์ชันต่างๆที่ได้ออกแบบไว้สำหรับระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดได้ดังนี้

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit)

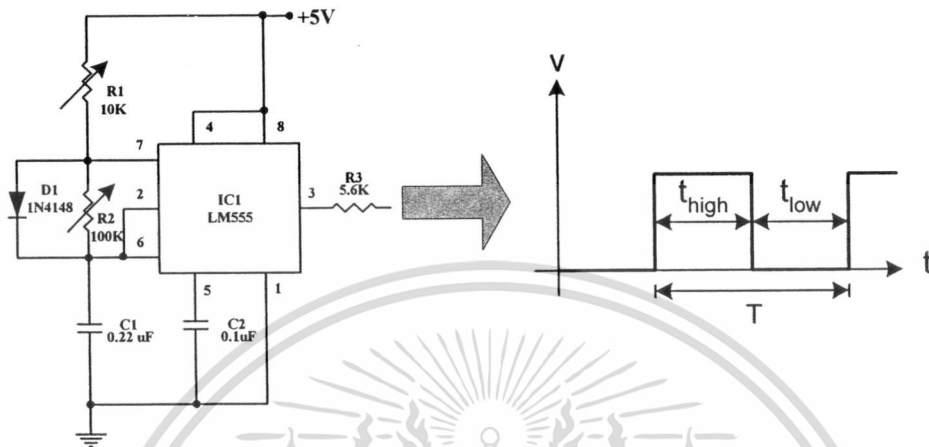
สำหรับวงจรมกำเนิดสัญญาณจะใช้ไอซี 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ต เอาท์พุทของไอซี 555[3] จะถูกขยายโดยส่งไปขับTR1 IRF840[4] ก่อนที่จะส่งไปขับแอลอีดีอินฟราเรดโดยลักษณะของวงจรมกำเนิดสัญญาณสามารถแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับขับแอลอีดีอินฟราเรด (Infrared LED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 3.2 ไอซี LM555 จะถูกต่อให้ทำงานในรูปแบบของวงจรอะสเตเบิล (Astable circuit) ดังวงจรในรูปที่ 3.3 โดยเราสามารถหาค่าคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งไปขับแอลอีดีอินฟราเรดได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์โดยใช้ไอซี LM555

จากวงจรในรูปที่ 3.3 เราจะนำไดโอดมาต่อขนานกับ R2 เพื่อช่วยในการจัดค่าความถี่เกิด (Duty-cycle) ของเอาต์พุตจากวงจร (ในวงจรนี้เราใช้ R1, R2 และ C1 ในการควบคุมการสร้างสัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ) เราสามารถคำนวณหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง (t_{high}), ค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ (t_{low}), ค่าคาบเวลารวมทั้งหมด (T), ค่าความถี่ (f) และค่าความถี่เกิดของวงจรได้จากสมการที่ (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

$$t_{high} = 0.695 * R1 * C1 \quad (3.1)$$

$$t_{low} = 0.695 * R2 * C1 \quad (3.2)$$

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695 * (R1 + R2) * C1 \quad (3.3)$$

$$f = 1/T \quad (3.4)$$

$$\text{Duty Cycle}(\%) = (t_{high}/T) * 100 \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.1) ถึง (3.5) ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณจะต้องคำนึงถึงความถี่ตอบสนองของแอลอีดีอินฟราเรดที่ใช้ด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้เราออกแบบที่ใช้ความถี่อยู่ที่ประมาณ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลเฮิร์ต ดังนั้นในการออกแบบวงจรเราจะออกแบบให้วงจรสร้างสัญญาณที่มีค่าความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 1 กิโลเฮิร์ต

จากสมการที่ (3.1) ถึง (3.5) เราสามารถที่จะออกแบบหาค่าอุปกรณ์ที่จะใช้ในกรณีที่ต้องการปรับค่าความถี่เอาต์พุตดังนี้

จากสมการที่ (3.4) เรากำหนดค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตไว้ที่ 1 กิโลเฮิร์ต จะหาค่าคาบเวลารวมทั้งหมด(T) ของความถี่ได้ดังนี้

$$T = 1/f = 1/1000 = 1\text{ms}$$

ดังนั้นค่าคาบเวลารวมทั้งหมด(T)จะเท่ากับ 1 มิลลิวินาที เพราะฉะนั้นหากเรากำหนดค่าความถี่ไซเคิลของวงจรเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เราจะหาค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง(t_{high})และค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ(t_{low})ได้ดังนี้

$$t_{\text{high}} = t_{\text{low}} = T/2 = 1/2 \text{ ms} = 0.5 \text{ ms}$$

จากค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าสูง(t_{high})และค่าคาบเวลาที่เอาต์พุตมีค่าต่ำ(t_{low}) เท่ากับ 0.5 ms ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $C1 = 10 \text{ nF}$ และ $R1 = R2$ เราจะสามารถหาค่า $R1$ และ $R2$ ได้ดังนี้

$$t_{\text{high}} = t_{\text{low}} = 0.695 * R1 * C1 = 0.695 * R2 * C1 = 0.5 \text{ ms}$$

$$t_{\text{high}} = t_{\text{low}} = 0.695 * R1 * 10\text{nF} = 0.695 * R2 * 10\text{nF} = 0.5 \text{ ms}$$

ดังนั้นจะได้

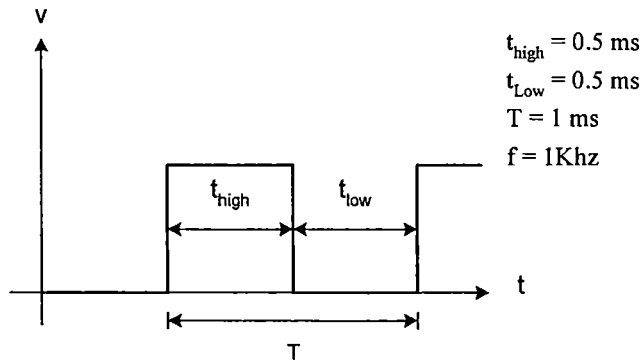
$$R1 = R2 = (0.5 * 10^{-3}) / (0.695 * 10 * 10^{-9}) = 71,942.45 \text{ Ohm}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$R1 = R2 = 71,942.45 \text{ Ohm}$$

แต่ในการใช้งานจริงเราจะใช้ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้(VR 100 Kohm) มาใช้ในการปรับค่าความถี่ให้ได้ 1 กิโลเฮิร์ต ตามต้องการ ซึ่งค่าอุปกรณ์ดังที่กล่าวจะทำให้วงจรในรูปที่ 3.3 กำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีคุณสมบัติดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

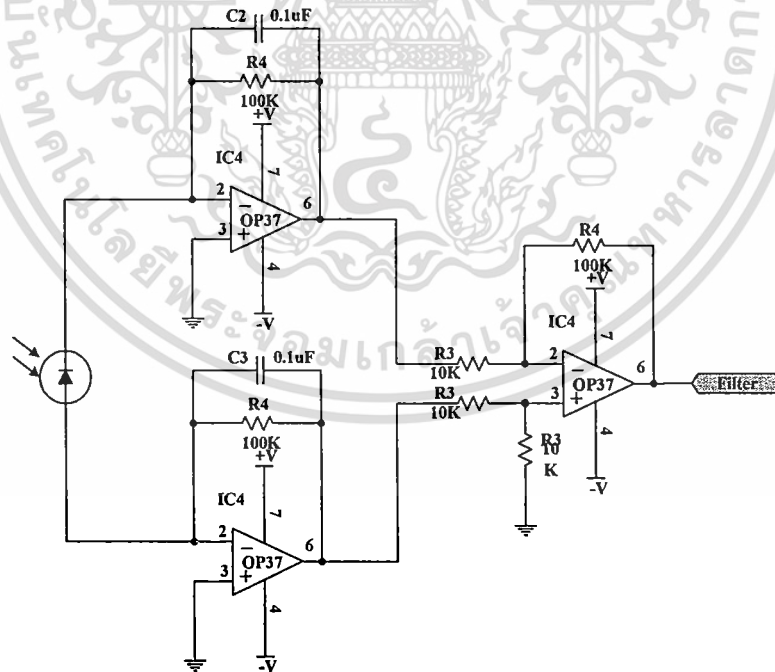


รูปที่ 3.4 ลักษณะของเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบขึ้นมา

สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรถ่ายสัญญาณจะถูกส่งไปขยายสัญญาณ โดย TR1 IRF840 ก่อนที่จะส่งไปขับแอลอีดีอินฟราเรดเพื่อผลิตแสงอินฟราเรดส่งผ่านผลส้มต่อไป

3.2 วงจรตรวจจับแสงอินฟราเรด (Infrared Detector)

แสงอินฟราเรดจากแอลอีดีอินฟราเรดจะส่องผ่านผลส้มก่อนที่จะไปตกกระทบกับโฟโตไดโอดซึ่งต่ออยู่กับวงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด (IC OP37[4]) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตไดโอด โดยลักษณะของวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



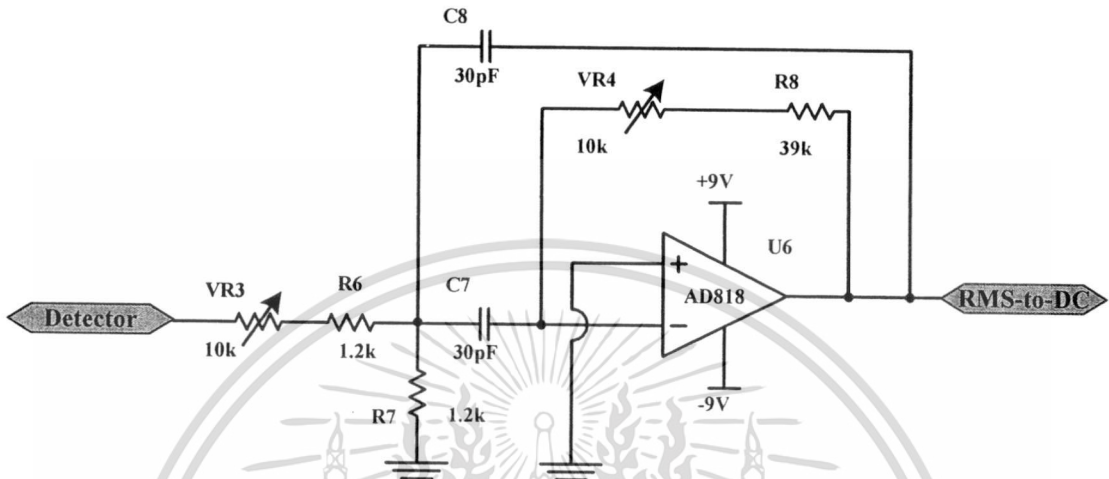
รูปที่ 3.5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด (Infrared Detector)

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณที่ผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรดจะถูกส่งไปยังวงจรกรองสัญญาณรบกวนเพื่อตัดสัญญาณรบกวนออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวน(Noise filter circuit)

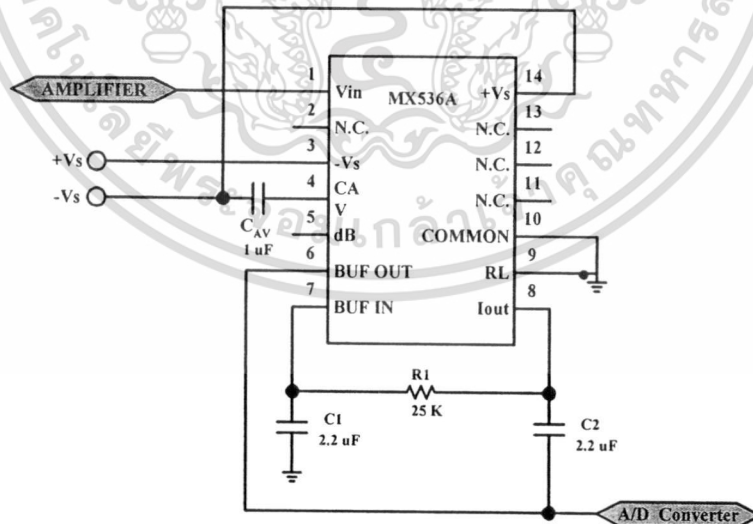
สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรดจะถูกขยายและกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวงจรกรองสัญญาณรบกวนซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ก่อนที่จะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีต่อไป



รูปที่ 3.6 วงจรกรองสัญญาณรบกวน

3.4 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี (RMS-TO-DC Converter Circuit)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี ในระบบนี้จะใช้ไอซีสำเร็จรูปของบริษัท MAXIM เบอร์ MX536A[8] ซึ่งรองรับแรงดันอินพุตได้ในช่วง $0 - 7 V_{RMS}$ สำหรับลักษณะ ของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีโดย MX536A จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



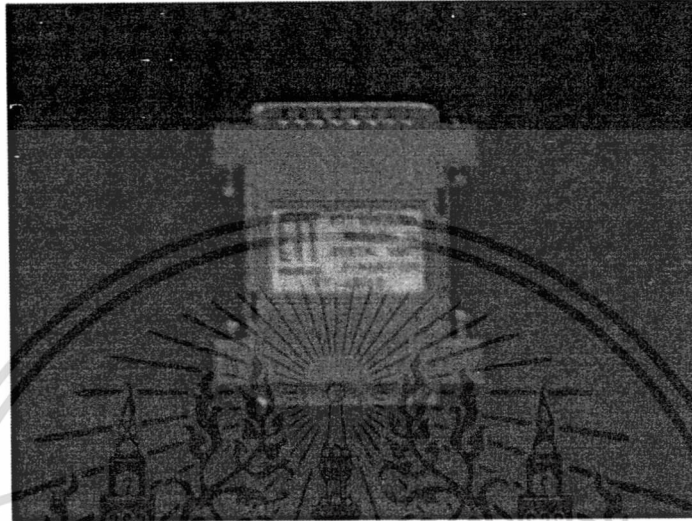
รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

เอาต์พุตจากวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซีจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวัดสำหรับนำไปคำนวณเพื่อสร้างภาพตัดขวางของผลสัมฤทธิ์ต่อไป

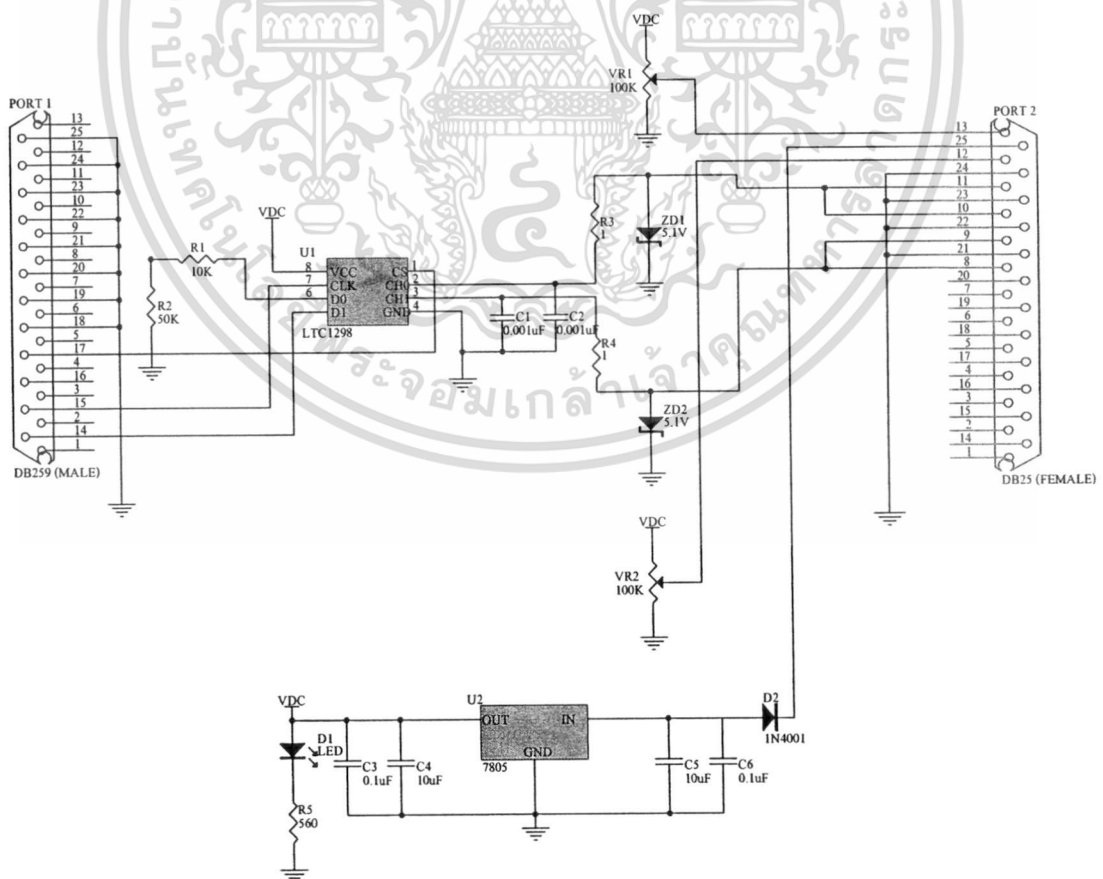
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A TO D Converter)

สำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะใช้บอร์ดของบริษัท ETT รุ่น ET-AD12 ซึ่งเป็นบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer Port) โดยมีลักษณะและคุณสมบัติของวงจรดังรูปที่ 3.8, รูปที่ 3.9 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.8 ลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล รุ่น ET-AD12



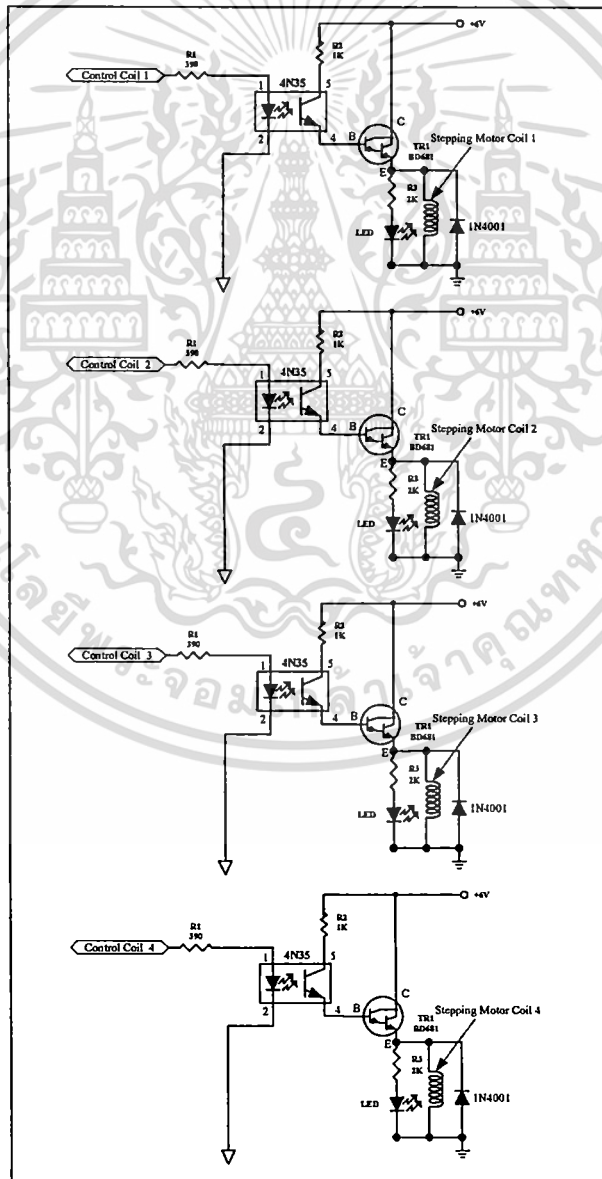
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่พิมพ์ขึ้นเพื่อแจกจ่ายให้เพื่อนร่วมงานในหน่วยงานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกนอกระบบได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของบอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลรุ่น ET-AD12

คุณสมบัติของของบอร์ด ET-AD12	
CONVERTION TIME	60 μ S
SAMPLING RATE	11.1 KHz
INPUT CHANNEL	2 CHANNEL
GAIN ERROR	+/- 2 LSB
ANALOG INPUT RANGE	-0.05 V TO +5.05 V
+VCC SUPPLY	+9 VDC

3.6 วงจรขับสตีปลิงมอเตอร์ (Stepping Motor Driver)

สำหรับวงจรขับสตีปลิงมอเตอร์สำหรับหมุนผลส้ม ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10

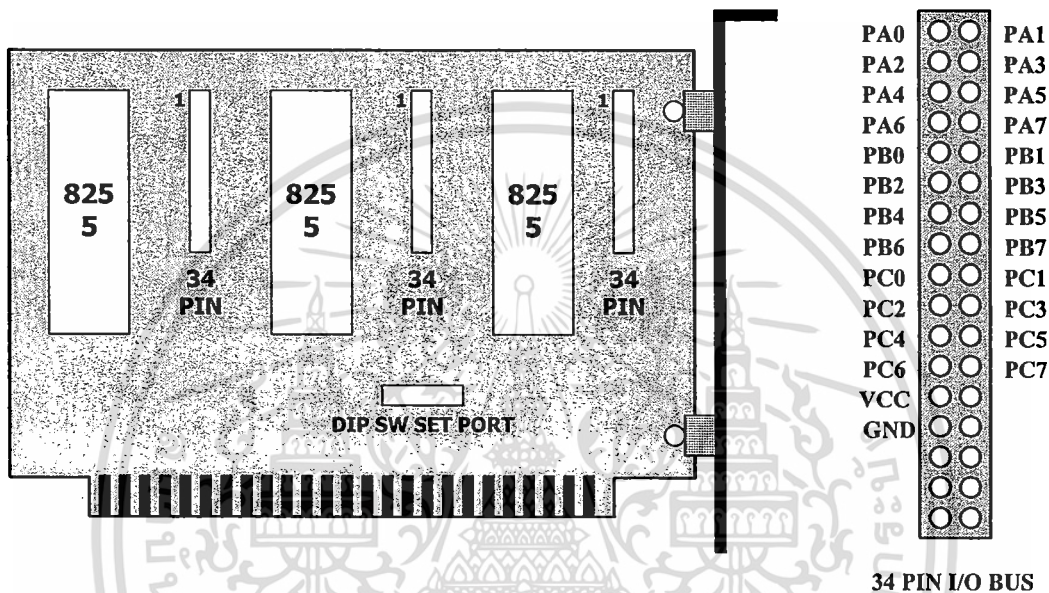


รูปที่ 3.10 วงจรขับสตีปลิงมอเตอร์สำหรับหมุนผลส้มที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การ์ดอินเทอร์เฟซ (Interface Card)

การ์ดอินเทอร์เฟซทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมวงจรขับสเต็ป มอเตอร์สำหรับหมุนผลส้มที่ใช้ทดสอบ โดยการ์ดอินเทอร์เฟซที่ใช้เป็นของบริษัท ETT รุ่น ET-8255 ซึ่งเป็นการต่อขยายระบบเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ให้มีส่วนของอินพุทพอร์ตและเอาต์พุทพอร์ต เพิ่มมากขึ้น โดยในส่วนของการ์ดอินเทอร์เฟซนี้จะมีพอร์ตให้ใช้งานจำนวน 9 พอร์ต (1 พอร์ตมี 8 บิต) ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของการ์ด ET-8255 สามารถแสดงดังรูปที่ 3.11 และตารางที่ 3.2

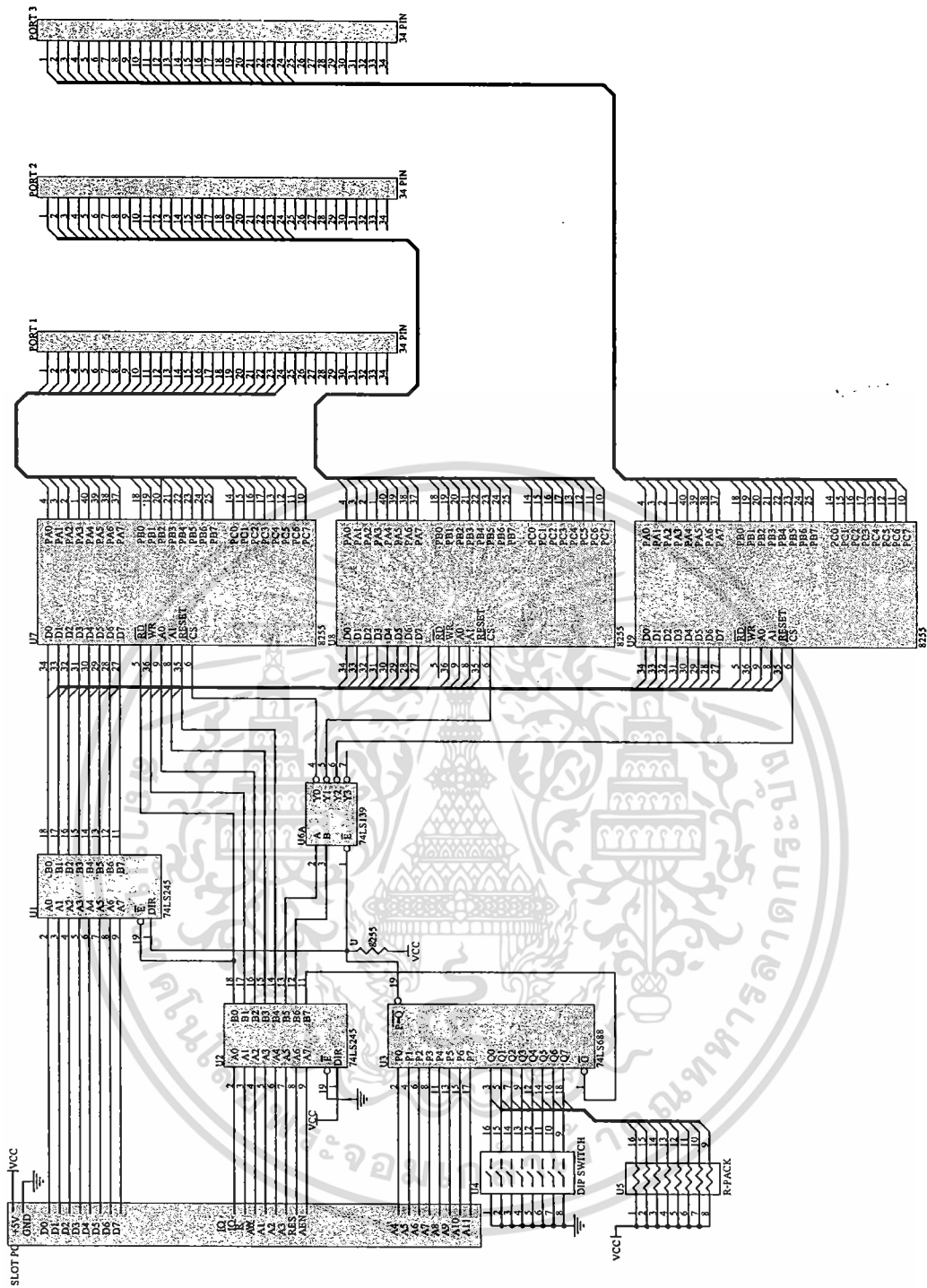


รูปที่ 3.11 ลักษณะของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น ET – 8255

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของการ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น ET – 8255

คุณสมบัติของของบอร์ด ET-8255	
INPUT LOGIC LOW	MIN = -0.5 VOLTS , MAX = 0.8 VOLTS
INPUT LOGIC HIGH	MIN = 2.0 VOLTS , MAX = 5 VOLTS
OUTPUT LOW VOLTAGE PORTS (I-SINK = 1.7 mA)	0.45 VOLTS
OUTPUT HIGH VOLTAGE PORTS (I-SOURCE = 200 uA)	2.4 VOLTS
POWER CONSUMPTION	300 mA
SIZE	HALF SLOT (13 X 11 CM).
PORT	3 (8255 I/O PORT 3 X 8 BIT)
CONNECTOR	3 (34 PIN)
DECODE PORT	8 POSITION DIP SW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

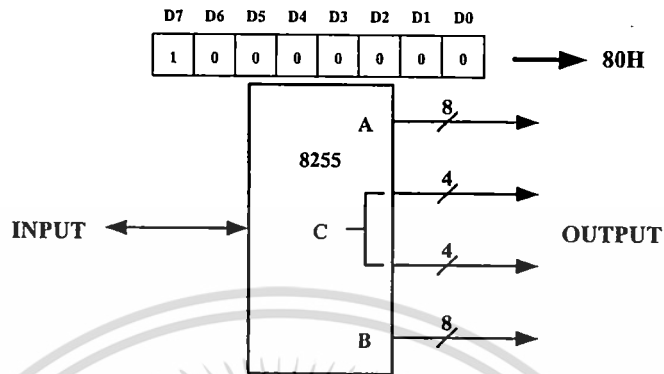


รูปที่ 3.12 วงจรภายในของการ์ด ET-8255

สำหรับรูปที่ 3.12 แสดงลักษณะวงจรภายในของการ์ด ET-8255 ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนของไอซี 8255 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ทและเอาต์พุทพอร์ท และส่วนของ ไอซีที่ทำหน้าที่ในการเลือกแอดเดรสของพอร์ท คือ ไอซี 74LS688 , 74LS139 และดิพสวิทช์

ในส่วนในของไอซี 8255 นี้จะมีพอร์ทใช้งาน 3 พอร์ทและพอร์ทควบคุมอีก 1 พอร์ทโดย ก่อนที่จะใช้งานไอซี 8255 เราจะต้องส่งสัญญาณควบคุมไปยังพอร์ทควบคุมเพื่อกำหนดให้พอร์ท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 พอร์ตทำหน้าที่เป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาต์พุตพอร์ต โดยในระบบเก็บข้อมูลจากผลสัมฤทธิ์จะกำหนดพอร์ตทั้งหมดให้เป็นเอาต์พุตพอร์ต ซึ่งจะใช้โหมดในการควบคุมเป็นโหมด 0 และคอดโทรลโค้ด(Control Code) 80H ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ลักษณะพอร์ตของไอซี 8255 และสัญญาณควบคุม

ในส่วนของการเลือกแอดเดรสในการใช้งานของการ์ด ET-8255 นี้จะใช้แอดเดรส 300H ถึง 30BH ซึ่งรายละเอียดในการใช้งานแอดเดรสสามารถแสดงดังตารางที่ 3.3

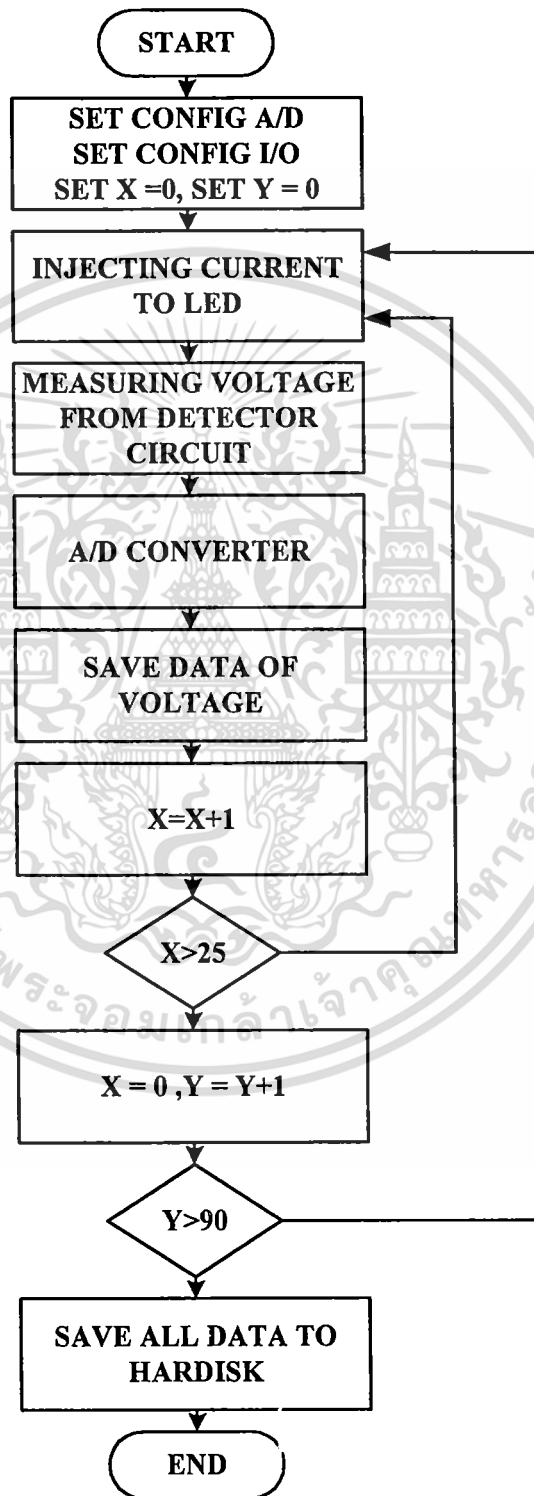
ตารางที่ 3.3 การใช้งานแอดเดรสของการ์ด ET – 8255

ตารางการใช้พอร์ตในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของการ์ด ET-8255	
หมายเลขพอร์ตในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	การใช้งานพอร์ตของการ์ด ET-8255
300H	PORT A 8255#1
301H	PORT B 8255#1
302H	PORT C 8255#1
303H	CONTROL PORT 8255#1
304H	PORT A 8255#2
305H	PORT B 8255#2
306H	PORT C 8255#2
307H	CONTROL PORT 8255#2
308H	PORT A 8255#3
309H	PORT B 8255#3
30AH	PORT C 8255#3
30BH	CONTROL PORT 8255#3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 โปรแกรมสำหรับควบคุมการหมุนของผลส้ม

สำหรับ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการหมุนผลส้มและเก็บข้อมูลที่วัดได้จะใช้โปรแกรมภาษา C++ โดยลักษณะของอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของผลส้มสามารถแสดงได้ดังโฟลว์ชาร์ตดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 อัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของผลส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

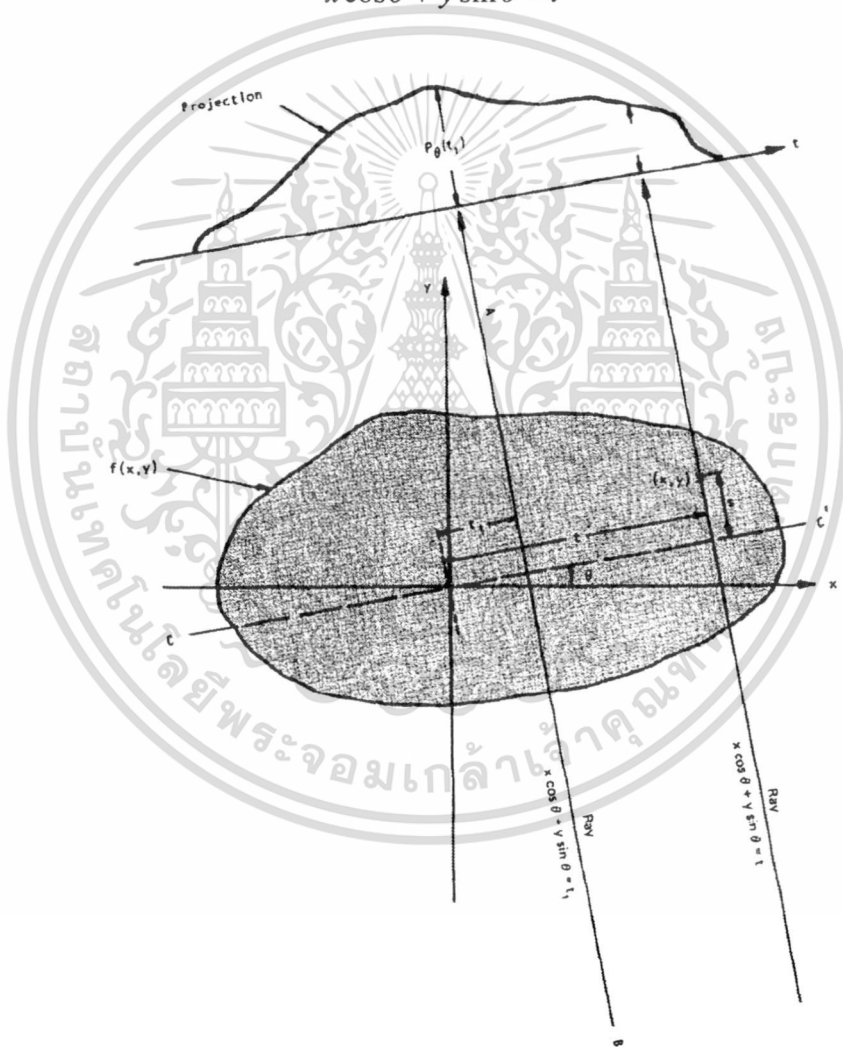
3.9 อัลกอริธึมในการสร้างภาพตัดขวาง[9-12]

3.9.1 คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพตัดขวาง

3.9.1.1 การอินทิเกรตในแนวเส้น(Line Integrals) และการโปรเจกชัน(Projections)

การอินทิเกรตในแนวเส้นเป็นการแสดงถึงการอินทิเกรตของตัวแปรของวัตถุตลอดแนวเส้นจากรูปที่ 3.15 แสดงถึงการใช้ระบบพิกัด(Coordinate system) อธิบายการอินทิเกรตในแนวเส้นและการโปรเจกชันจากภาพ สมมติให้ $f(x,y)$ คือวัตถุรูปร่าง 2 มิติ และสมการของเส้น AB ในรูปที่ 3.15 คือ

$$x \cos \theta + y \sin \theta = t \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.15 โปรเจกชันของวัตถุ $f(x,y)$ ที่มุม θ

จากความสัมพันธ์ในสมการ (3.6) จะได้นิยามของการอินทิเกรตในแนวเส้น คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_\theta(t) = \int_{(\theta,t) \text{ line}} f(x,y) ds \quad (3.7)$$

ใช้เคลต้า ฟังก์ชัน เขียนใหม่ได้เป็น

$$P_\theta(t) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} f(x,y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dx dy \quad (3.8)$$

3.9.1.2 การแปลงเรดอน(Radon Transform)

การแปลงเรดอนของฟังก์ชัน $f(x,y)$ เขียนแทนด้วย $g(s,\theta)$ ซึ่งนิยามคือการอินทิเกรตในแนวเส้นตลอดเส้น ที่มีมุม θ และระยะ s จากจุดกำเนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.16 สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$g(s,\theta) = Rf = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) (x \cos \theta + y \sin \theta - s) dx dy, -\infty < s < \infty, 0 \leq \theta < \pi \quad (3.9)$$

สัญลักษณ์ R คือตัวกระทำการแปลงเรดอน (Radon transform operator) การแปลงเรดอนของฟังก์ชัน $f(x,y)$ หรือ $g(s,\theta)$ สามารถเขียนสมการใหม่ให้อยู่ในระบบพิกัดการหมุน (s,u) (Rotating coordinate system) ซึ่ง

$$\begin{aligned} s &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ u &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned}$$

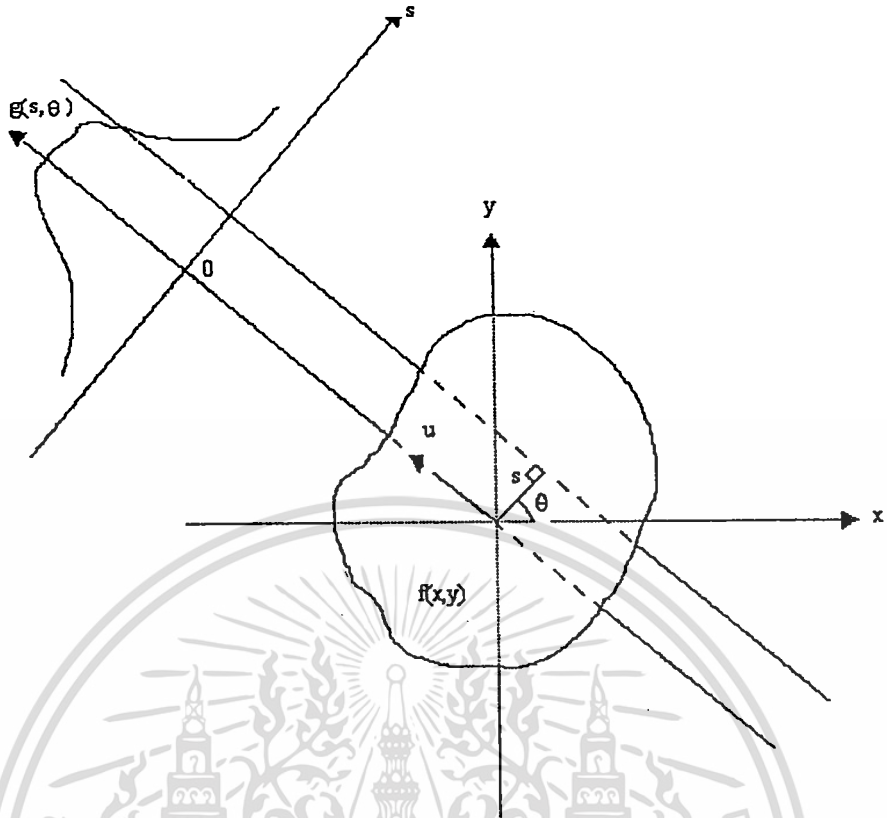
หรือ

$$\begin{aligned} x &= s \cos \theta - u \sin \theta \\ y &= s \sin \theta + u \cos \theta \end{aligned} \quad (3.10)$$

จากสมการที่(3.9) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$g(s,\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \theta - u \sin \theta, s \sin \theta + u \cos \theta) du, -\infty < s < \infty, 0 \leq \theta < \pi \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 เรขาคณิตของการแปลงเรดอน

3.9.2 อัลกอริทึมของการสร้างภาพตัดขวาง

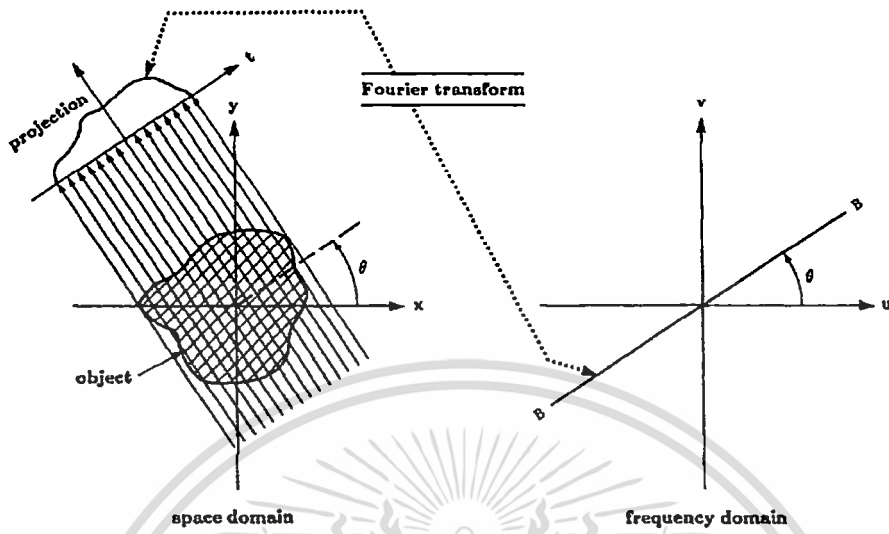
จากข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ เราสามารถนำมาสร้างภาพตัดขวางแสดงลักษณะองค์ประกอบภายในของสั้มนำมาทดสอบได้ โดยทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวาง โดยในวิธีการสร้างภาพตัดขวางนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้เป็นการสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบขนาน(Parallel-Beam) และการสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบกรวย(Cone-Beam) แต่สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะใช้เทคนิคในการสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบขนานตามรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลที่ออกแบบไว้ดังนี้

อัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างภาพตัดขวางที่มีทางเดินแสงแบบขนานนั้นประกอบด้วยหลายวิธีได้แก่ วิธีการแปลงฟูเรียร์, วิธีแบคโปรเจกชัน(Back-Projection Algorithm) และวิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน(Filter back projection algorithm)

3.9.2.1 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้การแปลงฟูเรียร์

วิธีนี้เป็นารสร้างภาพตัดขวางโดยใช้นิยามจากทฤษฎีของฟูเรียร์สไลด์(The Fourier Slice Theorem) ซึ่งระบุไว้ว่าเมื่อเราทำการหาโปรเจกชันของภาพ $f(x,y)$ ที่มีมุมต่างๆ θ_1 , เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\theta_2, \dots, \theta_k$ แล้วทำการแปลงฟูรีเยร์โปรเจกชันเหล่านั้น จะมีค่าเท่ากับการแปลงฟูรีเยร์สองมิติของภาพตามแนวเส้นที่ทำมุม $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ เช่นกัน ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ทฤษฎีบทของฟูรีเยร์สไลด์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงฟูรีเยร์ของโปรเจกชันกับการแปลงฟูรีเยร์ของภาพ

เราจะทำการพิสูจน์ทฤษฎีบทของฟูรีเยร์สไลด์ได้โดยเริ่มต้นจากการนิยามของการแปลงฟูรีเยร์ 2 มิติของภาพ $f(x,y)$ จะได้

$$F(u, v) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (3.12)$$

และให้ $S_{\theta}(w)$ คือการแปลงฟูรีเยร์ของข้อมูลโปรเจกชันที่มุม $\theta(P_{\theta})$

$$S_{\theta}(w) = \int_{-\alpha}^{\alpha} P_{\theta}(t) e^{-j2\pi w t} dt \quad (3.13)$$

พิจารณาการแปลงฟูรีเยร์ของวัตถุตลอดเส้นในโดเมนความถี่ โดยให้ $v = 0$ จะได้

$$F(u, v) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} f(x, y) e^{-j2\pi u x} dx dy \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากตัวประกอบเฟส(Phase factor) จะไม่ขึ้นอยู่กับ y เราสามารถแบ่งการอินทิเกรตออกเป็น 2 ส่วนคือ

$$F(u, v) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \left[\int_{-\alpha}^{\alpha} f(x, y) dy \right] e^{-j2\pi ux} dx \quad (3.15)$$

จะเห็นว่าเทอมที่อยู่ในวงเล็บเหมือนกับสมการของโปรเจกชันตลอดแนวนอนที่ค่า x คงที่ ซึ่งก็คือการโปรเจกชันภาพ $f(x, y)$ ที่มุม $\theta = 0$

$$P_{\theta=0}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy \quad (3.16)$$

เอา(3.16) แทนใน (3.15) จะได้

$$F(u, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\theta=0}(x) e^{-j2\pi ux} dx \quad (3.17)$$

ทางด้านขวามือแสดงถึงการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติของโปรเจกชัน $P_{\theta=0}$ ดังนั้นเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโปรเจกชันในแนวตั้งกับการแปลง 2 มิติของฟังก์ชันวัตถุคือ

$$F(u, 0) = S_{\theta=0}(u) \quad (3.18)$$

จะเห็นว่าเป็นรูปแบบอย่างง่ายของทฤษฎีบทของฟูเรียร์สไลด์ ผลที่ได้นี้จะไม่ขึ้นอยู่กับการหมุนระหว่างวัตถุกับระบบพิกัด เราสามารถพิสูจน์ทฤษฎีบทของฟูเรียร์สไลด์ที่มุมอื่นได้โดยให้ $f(t, s)$ คือฟังก์ชัน $f(x, y)$ ในระบบพิกัดหมุน (Rotated Coordinate System) ดังในรูปที่ 3.17 พิกัด (t, s) สัมพันธ์กับพิกัด (x, y) โดยความสัมพันธ์

$$\begin{bmatrix} t \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

ซึ่งในระบบพิกัด (t, s) เราจะสามารถเขียนโปรเจกชันตลอดแนวเส้นของค่าคงที่ t ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t,s) ds \quad (3.20)$$

จากสมการที่ 3.13 การแปลงฟูเรียร์ เราเอานิยามของโปรเจกชันไปแทนในสมการ จะได้

$$S_\theta(w) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(t,s) ds] e^{-j2\pi w t} dt \quad (3.21)$$

จากนั้นเอาผลที่ได้มาแปลงให้อยู่ในระบบพิกัด (x,y) โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ (3.19) จะได้

$$S_\theta(w) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-j2\pi w(x \cos \theta + y \sin \theta)} dx dy \quad (3.22)$$

ทางด้านขวาของสมการ คือการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติ ที่ความถี่ $u = w \cos \theta, v = w \sin \theta$

$$S_\theta(w) = F(w, \theta) u = F(w \cos \theta, w \sin \theta) \quad (3.23)$$

จากสมการทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงโปรเจกชันของฟังก์ชันวัตถุที่มุม $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ และการแปลงฟูเรียร์ของแต่ละโปรเจกชันนั้น เราสามารถหาค่าของ $F(u,v)$ ได้ถ้าจำนวนโปรเจกชันมีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้นควรจะรู้ค่า $F(u,v)$ ในทุกๆจุดในระนาบ uv จากนั้นจึงทำการแปลงกลับฟูเรียร์เพื่อที่จะหาค่าฟังก์ชันวัตถุ $f(x,y)$

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) e^{j2\pi w(u x + v y)} du dv \quad (3.24)$$

ถ้าฟังก์ชัน $f(x,y)$ มีขอบเขตคือ $-\frac{A}{2} < x < \frac{A}{2}$ และ $-\frac{A}{2} < y < \frac{A}{2}$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (3.24) ใหม่ได้เป็น

$$f(x,y) = \frac{1}{A^2} \sum_m \sum_n F\left(\frac{m}{A}, \frac{n}{A}\right) e^{j2\pi((m/A)x + (n/A)y)}, -\frac{A}{2} < x < \frac{A}{2}, -\frac{A}{2} < y < \frac{A}{2} \quad (3.25)$$

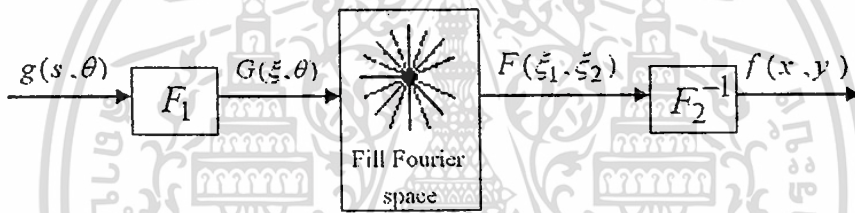
ในทางปฏิบัติเราจะรู้ว่าส่วนประกอบของฟูเรียร์มีจำนวนจำกัด สามารถเขียนใหม่ได้เป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x, y) = \frac{1}{A^2} \sum_{m=-N/2}^{N/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} F\left(\frac{m}{A}, \frac{n}{A}\right) e^{j2\pi((m/A)x + (n/A)y)}, -\frac{A}{2} < x < \frac{A}{2}, -\frac{A}{2} < y < \frac{A}{2} \quad (3.26)$$

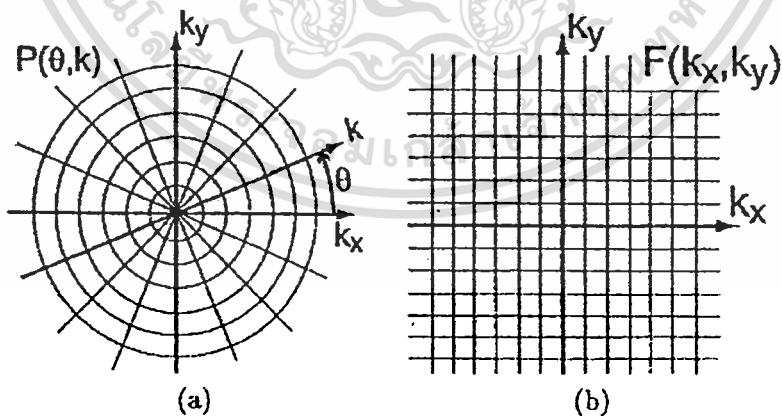
โดยสมมติว่า N เป็นจำนวนเต็มคู่ เราจะเห็นว่าค่าความละเอียด (Resolution) ของภาพที่สร้างได้จะถูกกำหนดโดย N สมการ (3.26) สามารถถูกคำนวณได้แบบเร็วโดยใช้อัลกอริทึมการแปลงฟูเรียร์เร็ว (FFT) ถ้าเรารู้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จำนวน N^2 ของ $F(m/A, n/A)$

จากทฤษฎีข้างต้นนี้เราสามารถแบ่งขั้นตอนวิธีการสร้างภาพกลับด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. นำข้อมูลโปรเจกชันไปแปลงฟูเรียร์ 1 มิติจะได้ $F_1\{P_\theta(r)\} = P_\theta(k)$
2. วาง $P_\theta(k)$ ในราสเตอร์เชิงขั้ว (Polar raster) จะได้ $P_\theta(k, \theta)$ จากนั้นจึงประมาณค่าให้อยู่ในราสเตอร์มุมฉาก (Rectangular raster) ดังรูปที่ 3.19
3. ทำการแปลงกลับฟูเรียร์ 2 มิติของ $F(k_x, k_y)$ จะได้ $f(x, y)$



รูปที่ 3.18 Block diagram แสดงวิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้การแปลงฟูเรียร์

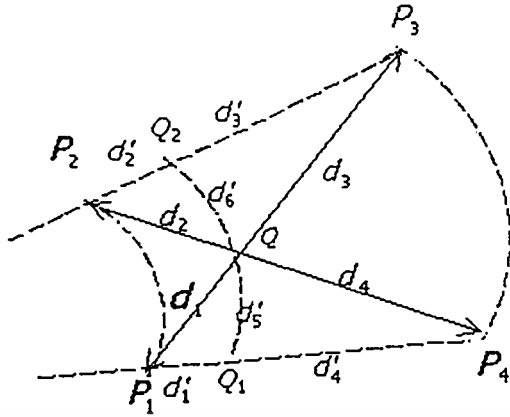


รูปที่ 3.19 (a) ราสเตอร์เชิงขั้ว (b) ราสเตอร์เชิงขั้วมุมฉาก

การประมาณค่าในช่วงจากราสเตอร์เชิงขั้วไปยังราสเตอร์มุมฉาก สามารถทำได้หลายวิธี

จากรูปที่ 3.20 จะทำการหาจุด Q จาก P1, P2, P3, P4 ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การประมาณค่าจุด Q

1. การหาจุดที่ใกล้ที่สุด

$$F(Q) = F(P_k) \quad k : \min\{d_i\} = d_k \quad (3.27)$$

2. การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

$$F(Q) = \frac{\sum_{k=1}^4 F(P_k)/d_k}{\sum_{k=1}^4 1/d_k} \quad (3.28)$$

3. การประมาณค่าในช่วงแบบไม่เชิงเส้น

$$F(Q) = \frac{F(Q_1)/d'_5 + F(Q_2)/d'_6}{(1/d'_5) + (1/d'_6)} = \frac{F(Q_1)/d'_6 + F(Q_2)/d'_5}{d'_5 + d'_6} \quad (3.29)$$

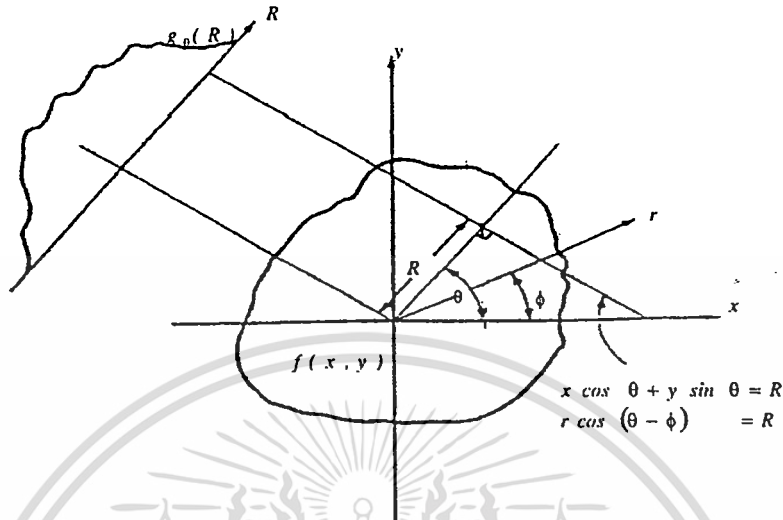
ซึ่ง

$$F(Q_1) = \frac{F(P_1)/d'_4 + F(P_4)/d'_1}{d'_1 + d'_4}, \quad F(Q_2) = \frac{F(P_2)/d'_3 + F(P_3)/d'_2}{d'_2 + d'_3} \quad (3.30)$$

3.9.2.2 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้วิธีแบคโปรเจกชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้วิธีแบคโปรเจกชันนั้นเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ความยุ่งยากทางคณิตศาสตร์มีน้อย โดยมีคูห์ล(Kuhl) และเอดเวิร์ดส์ (Edwards) เป็นสองคนแรกที่น่าวิธีนี้ไปสร้างภาพตัดขวางของผู้ป่วยได้สำเร็จ



รูปที่ 3.21 โปรเจกชันของฟังก์ชัน 2 มิติ

จากรูปที่ 3.21 และนิยามของ โปรเจกชันที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.9.1.1 จะได้นิยามของแบคโปรเจกชันที่มุม θ คือ

$$b_{\theta}(x, y) = \int_0^{\pi} g_{\theta}(R) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - R) dR \quad (3.31)$$

$b_{\theta}(x, y)$ คือ ตัวกระทำแบคโปรเจกชัน (Backprojection operator) ของ โปรเจกชัน $g_{\theta}(R)$ ที่มุม θ ดังนั้นการสร้างภาพกลับ (Reconstruction) จากวิธีแบคโปรเจกชัน คือ ผลรวมของแบคโปรเจกชันทุกๆมุมจะได้

$$\begin{aligned} f_b(x, y) &= \int_0^{\pi} b_{\theta}(x, y) d\theta \\ &= \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_0^{\pi} g_{\theta}(R) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - R) dR d\theta \\ &= \int_0^{\pi} d\theta \int_{-\alpha}^{\alpha} g_{\theta}(R) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - R) dR \end{aligned} \quad (3.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f_b(x, y)$ คือ ภาพที่ได้จากการสร้างภาพกลับ ซึ่งการสร้างภาพกลับแบบนี้มักจะเรียกว่า ภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์ของชั้นของเนื้อเยื่อตามความลึกที่เลือกไว้(Laminogram) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแบคโปรเจกชัน ($f_b(x, y)$) นี้ จะไม่ใช่วัตถุต้นฉบับที่นำมาสร้างภาพกลับ ($f(x, y)$) ซึ่งจะอธิบายได้ดังนี้

เริ่มต้น พิจารณาคุณสมบัติของเดลต้าฟังก์ชัน คือ

$$\delta(r) = \begin{cases} 1 & \text{if } r = 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.33)$$

สมมติให้เดลต้าฟังก์ชันที่จุดกำเนิดคือฟังก์ชันรูปภาพต้นฉบับ $f(x, y)$ จะได้

$$f(x, y) = \delta(x)\delta(y) \rightarrow \frac{\delta(r)}{\pi r} \quad (3.34)$$

จากพิกัดเชิงมุมจาก $x \cos \theta + y \sin \theta = R$ และพิกัดเชิงขั้ว $R \cos(\theta - \phi) = R$ จะสามารถเขียนโปรเจกชัน $g_\theta(R)$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} g_\theta(R) &= \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - R) dx dy \\ &= \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} f(r, \phi) \delta(r \cos(\theta - \phi) - R) r dr d\phi \end{aligned} \quad (3.35)$$

นำสมการที่ (3.34) ไปแทนลงในสมการ (3.35) จะได้

$$g_\theta(R) = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{\delta(r)}{\pi r} \delta(r \cos(\theta - \phi) - R) r dr d\phi \quad (3.36)$$

จัดรูปแบบสมการใหม่จะได้

$$g_\theta(R) = \int_0^\pi \int_{-\infty}^\infty \frac{\delta(r)}{\pi r} \delta(r \cos(\theta - \phi) - R) dr d\phi \quad (3.37)$$

จาก $\int dr \delta(r) f(r) = f(0)$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_\theta(R) = \int_0^\pi d\phi \frac{\delta[R]}{\pi} = \delta(R) \quad (3.38)$$

แสดงว่าโปรเจกชันของเดลต้าฟังก์ชันก็คือ เดลต้าฟังก์ชันเช่นกัน ถ้าเดลต้าฟังก์ชันเหล่านี้ ถูกแบคโปรเจกชันจะได้ผลตอบสนองอิมพัลส์คือ

$$\begin{aligned} h_b(r) &= \int_0^\pi d\theta \int_{-\alpha}^\alpha \delta(R) \delta(r \cos(\theta - \phi) - R) dR \\ &= \int_0^\pi \delta(r \cos(\theta - \phi)) d\theta \end{aligned} \quad (3.39)$$

จากเดลต้าฟังก์ชันของฟังก์ชันของตัวแปร

$$\delta[f(x)] = \sum \frac{\delta(x - x_n)}{|f'(x_n)|} \quad (3.40)$$

ซึ่ง x_n คือรากของ $f(x)$ จะได้

$$f(\phi) = r \cos(\theta - \phi), \quad \phi_1 = \frac{\pi}{2} + \theta \quad (3.41)$$

$$f'(\phi) = r \sin(\theta - \phi) \Big|_{\phi_1 = \frac{\pi}{2} + \theta} = r$$

ดังนั้น

$$h_b(r) = \int_0^\pi \frac{\delta\left(\phi - \left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right)}{r} = \frac{1}{r} \quad (3.42)$$

จะได้การสร้างภาพกลับด้วยวิธีแบคโปรเจกชัน คือ

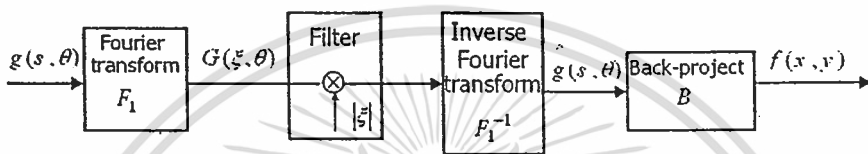
$$f_b(x, y) = f(x, y) ** \frac{1}{r} \quad (3.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

** คือคอนโวลูชัน 2 มิติ และภาพที่ได้จากวิธีนี้จะเบลอ โดยสามารถแก้ปัญหาด้วยการใช้วิธีฟิลเตอร์ก่อนที่จะทำการแบคโปรเจกชัน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.9.2.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้วิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน(FBP)

วิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชันนี้เป็นวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างภาพตัดขวาง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับการปรับปรุงจากวิธีแบคโปรเจกชันในการลดผลของ $\frac{1}{r}$ ซึ่งวิธีนี้จะใช้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบทของฟูเรียร์สไลด์ช่วยในการพิสูจน์



รูปที่ 3.22 Block diagram แสดงวิธีการสร้างภาพตัดขวาง โดยใช้วิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน

จากทฤษฎีบทของฟูเรียร์สไลด์ภาพ $f(x, y)$ จะสามารถหามาได้จากการแปลงฟูเรียร์ย้อนกลับ

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv \quad (3.44)$$

ถ้าให้ (w, θ) เป็นระบบพิกัดแบบโพลาร์(Polar Coordinate) ในระนาบ uv เราสามารถเขียนสมการ (3.44) ใหม่ได้เป็น

$$f(x, y) = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} F(w, \theta) e^{j2\pi(x \cos \theta + y \sin \theta)} w dw d\theta$$

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} F(w, \theta) e^{j2\pi(x \cos \theta + y \sin \theta)} w dw d\theta + \int_0^{\pi} \int_0^{\infty} F(w, \theta) e^{j2\pi(x \cos \theta + y \sin \theta)} w dw d\theta \quad (3.45)$$

จากนั้นใช้คุณสมบัติ

$$F(w, \theta + \pi) = F(-w, \theta) \quad (3.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (3.45) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} \left[\int_{-\infty}^{\infty} F(w, \theta) |w| e^{j2\pi w t} dw \right] d\theta \quad (3.47)$$

$$= \int_0^{\pi} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{\theta}(w) |w| e^{j2\pi w t} dw \right] d\theta$$

โดยที่

$$t = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.48)$$

และเราสามารถเขียนสมการ (3.47) ใหม่ได้เป็น

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} Q_{\theta}(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \quad (3.49)$$

โดยที่

$$Q_{\theta}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\theta}(w) |w| e^{j2\pi w t} dw \quad (3.50)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าในการสร้างภาพตัดขวางเราสามารถทำได้โดยการนำข้อมูลแต่ ละโปรเจกชัน $P_{\theta}(t)$ มาทำการฟิลเตอร์ ที่มีผลตอบสนองทางความถี่(Frequency Response) เท่ากับ $|w|$ ดังสมการ(3.50) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทำการแบคโปรเจกชันดังสมการ(3.49) โดยที่ ฟิลเตอร์ในสมการ(3.50) เรียกว่า Ram-Lak Filter

พารามิเตอร์ w เป็นตัวแปรความถี่ โดยหลักการแล้วอินทิกรัลในสมการ(3.50) ต้องทำตลอด ทุกย่านความถี่ ในทางปฏิบัติพลังงานที่อยู่ในส่วนประกอบ(Components) การแปลงฟูเรียร์เหนือ ความถี่ค่าหนึ่งจะมีค่าน้อย ดังนั้นการโปรเจกชันจึงถูกทำในแถบความถี่ที่จำกัด(Bandlimited) โดย ให้ w แทนค่าความถี่ซึ่งถ้าเกินจากนี้พลังงานสำหรับการ โปรเจกชันจะมีค่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสมมติว่าข้อมูลโปรเจกชันถูกสุ่มด้วยช่วงของการสุ่มเท่ากับ τ ซม. เราสมมติว่าไม่มีปัญหาเรื่อง Aliasing ซึ่งกล่าวเป็นนัยว่าในโดเมนของการแปลง(Transform Domain) โปรเจกชันไม่มีพลังงานนอกย่านความถี่(-W,W) โดยที่

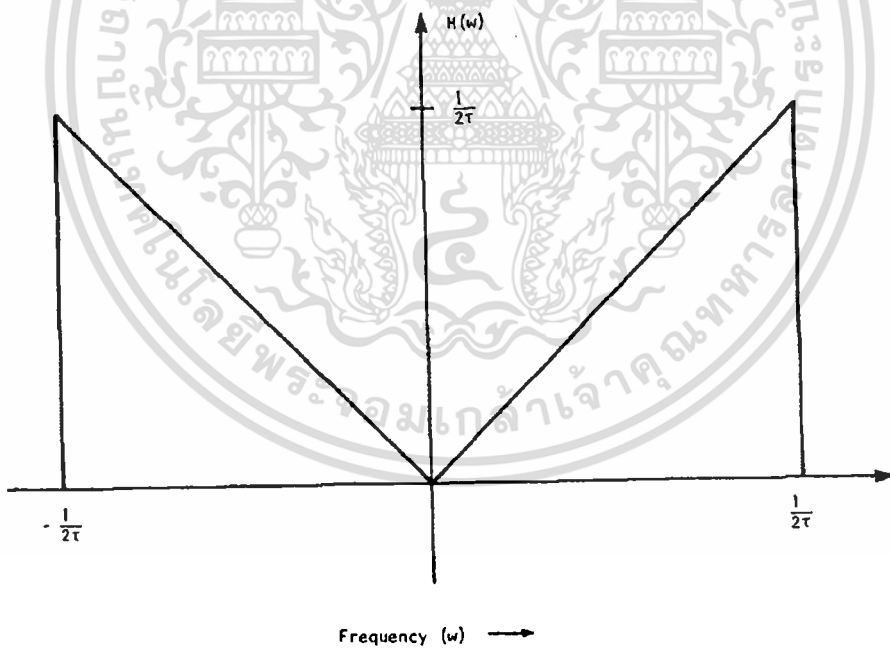
$$W = \frac{1}{2\tau} \quad \text{ไซเคิลต่อซม.} \quad (3.51)$$

เราจะสามารถเขียนสมการ Ram-Lak Filter ได้เป็น

$$H(w) = |w|b_w(w) \quad (3.52)$$

โดยที่

$$b_w(w) = \begin{cases} 1 & |w| \leq \frac{1}{2\tau} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3.53)$$



รูปที่ 3.23 ภาพแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของ Ram-lak Filter

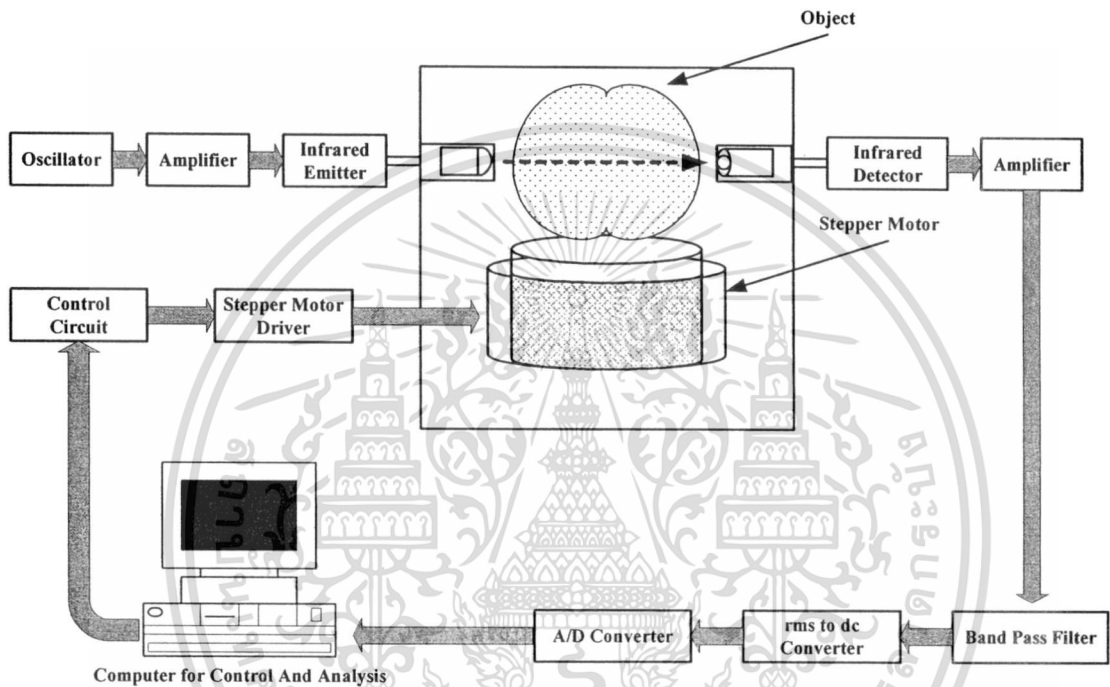
จากรายละเอียดของหลักการสร้างภาพตัดขวางทั้งหมดดังที่กล่าวมา เราจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป(MATLAB)ในการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยรายละเอียดของการสุ่มที่ได้จากการวัดและลักษณะภาพตัดขวางที่ได้จะแสดงรายละเอียดในบทต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

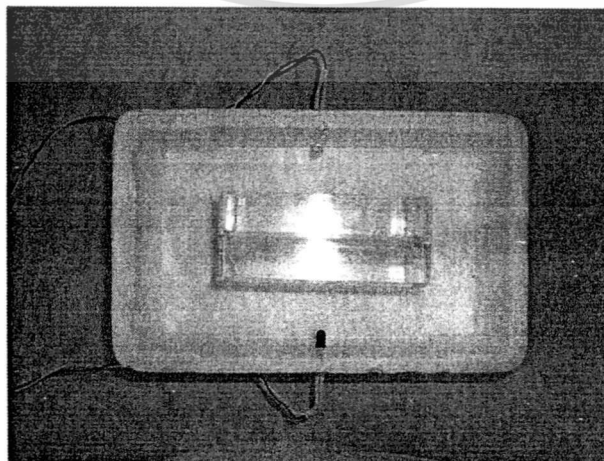
การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นมา

สำหรับในบทนี้จะเป็นการทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาโดยจะทำการนำเอาวงจรในบทที่ 3 มาทำการสร้างและทดสอบสัญญาณว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ดังรายละเอียดตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 ดังนี้

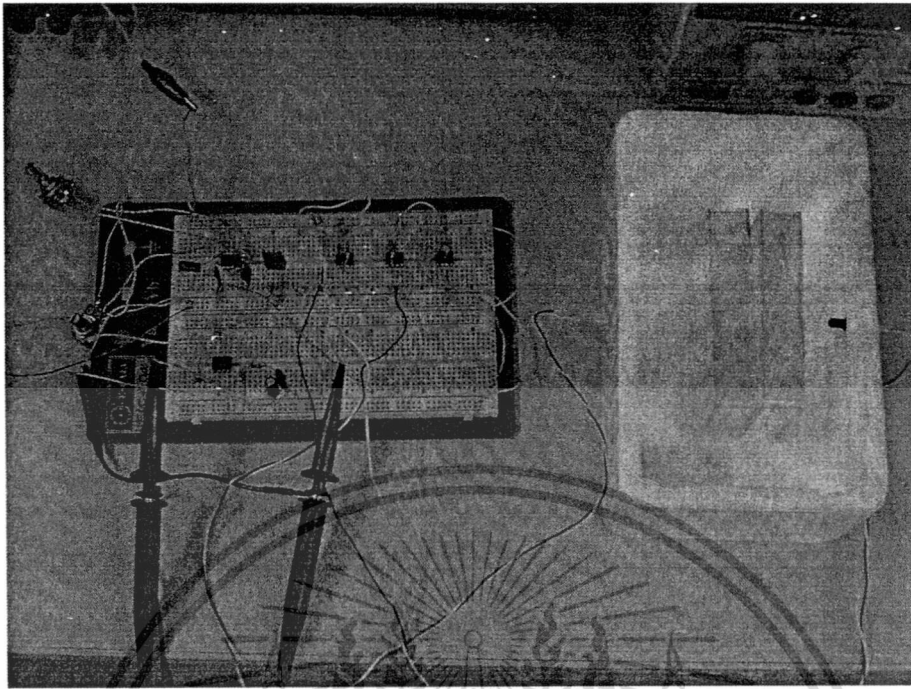


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

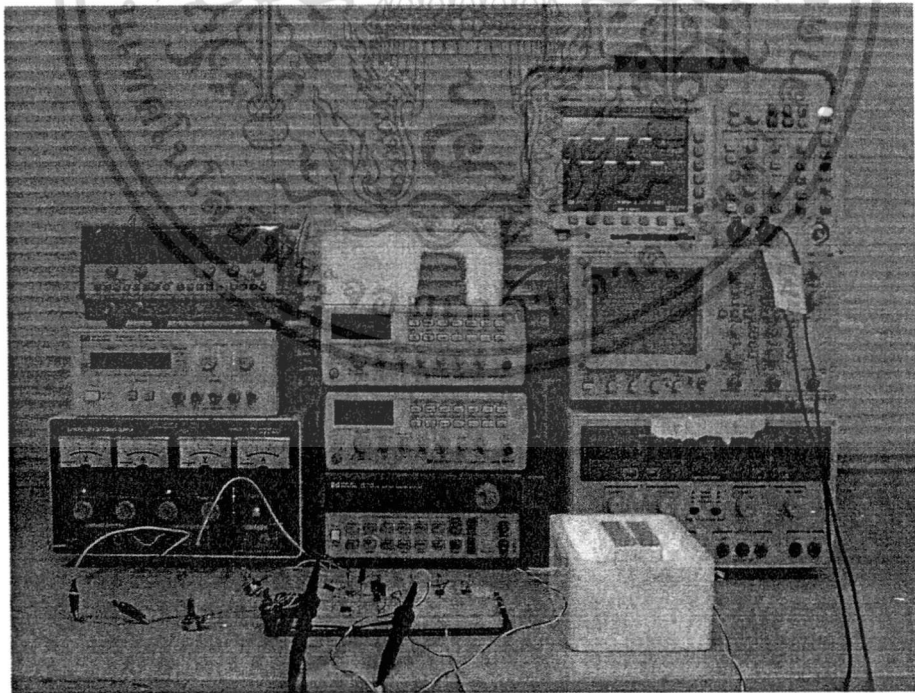
จากบล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด เราได้ทำการต่อวงจรสำหรับใช้ในการทดสอบวงจรดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 กล้องบรรจุแซมเปิล(sample) สำหรับการทดสอบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



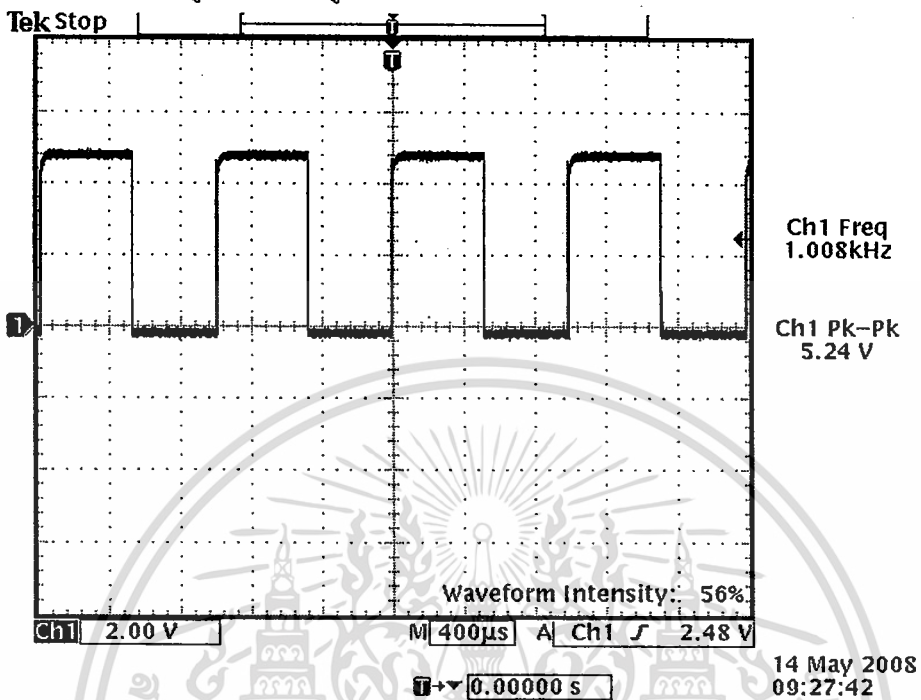
รูปที่ 4.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในระบบตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา



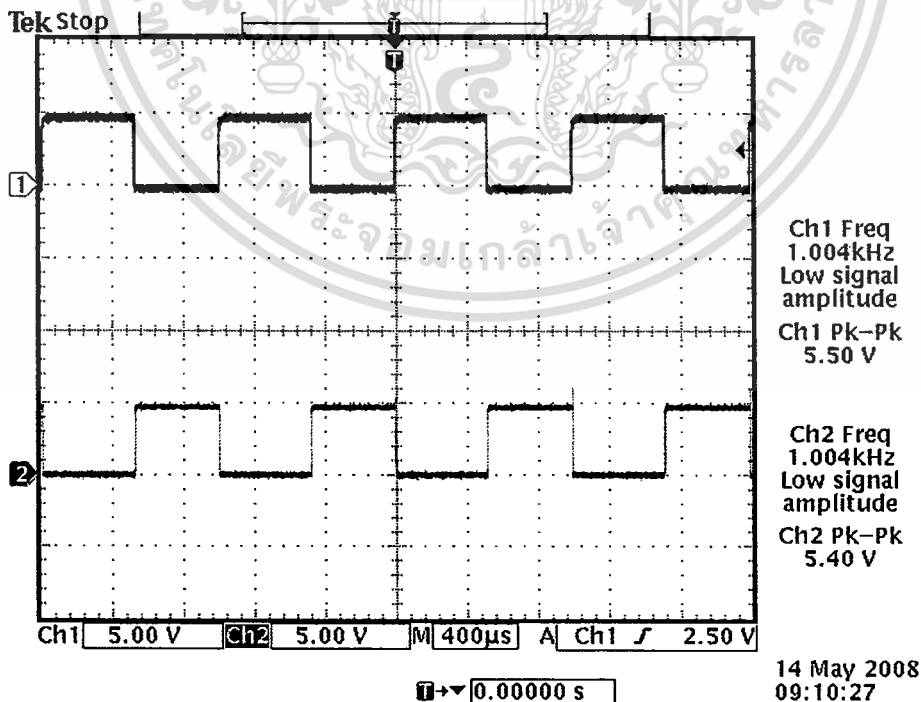
รูปที่ 4.4 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในระบบตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการได้ทดสอบส่วนต่างๆในวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบตรวจสอบคุณภาพสั้แบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาขึ้นมานั้น ลักษณะของสัญญาณในวงจรส่วนต่างๆสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.12

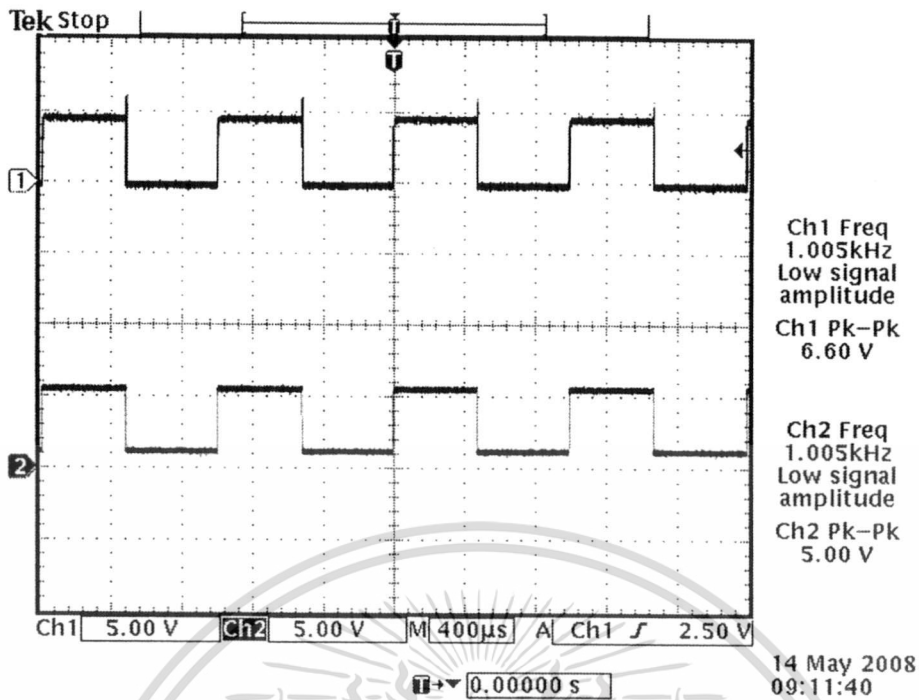


รูปที่ 4.5 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ

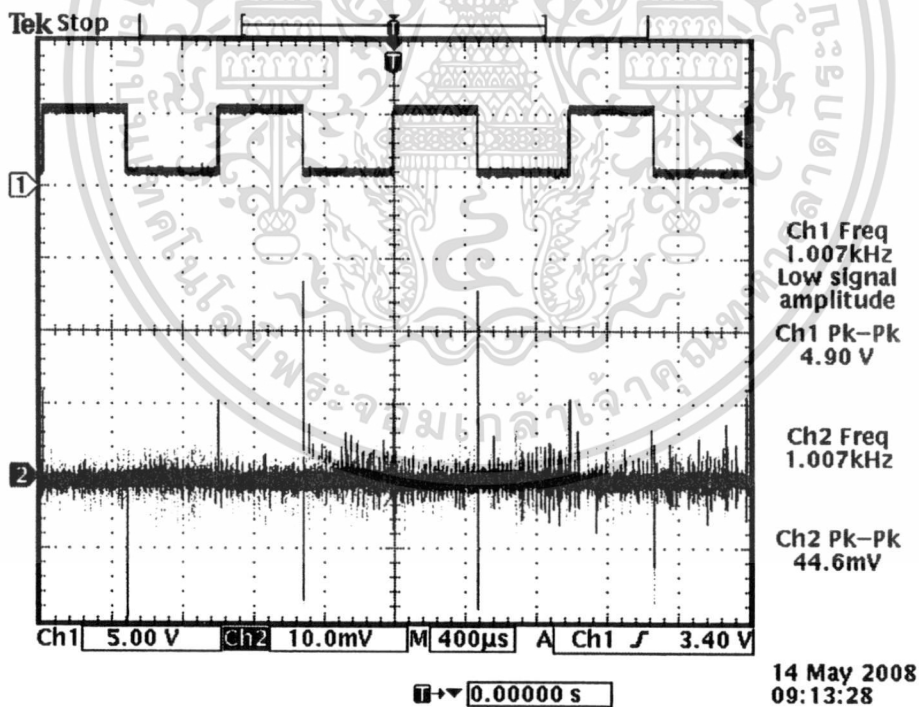


รูปที่ 4.6 ลักษณะสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

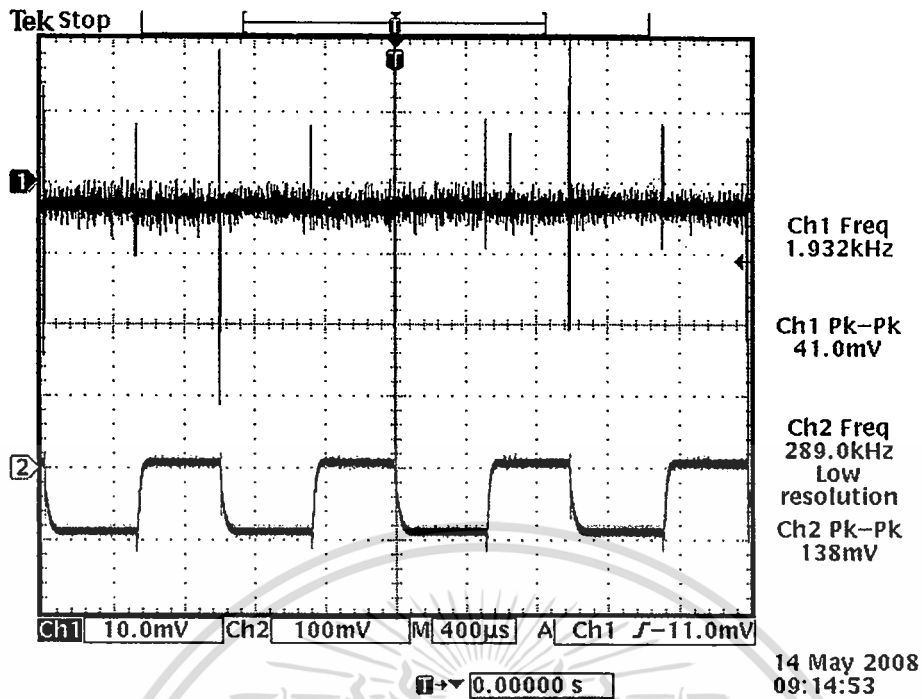


รูปที่ 4.7 ลักษณะสัญญาณจากวงจรขับแอลอีดีอินฟราเรดและแรงดันที่ใช้ขับแอลอีดีอินฟราเรด

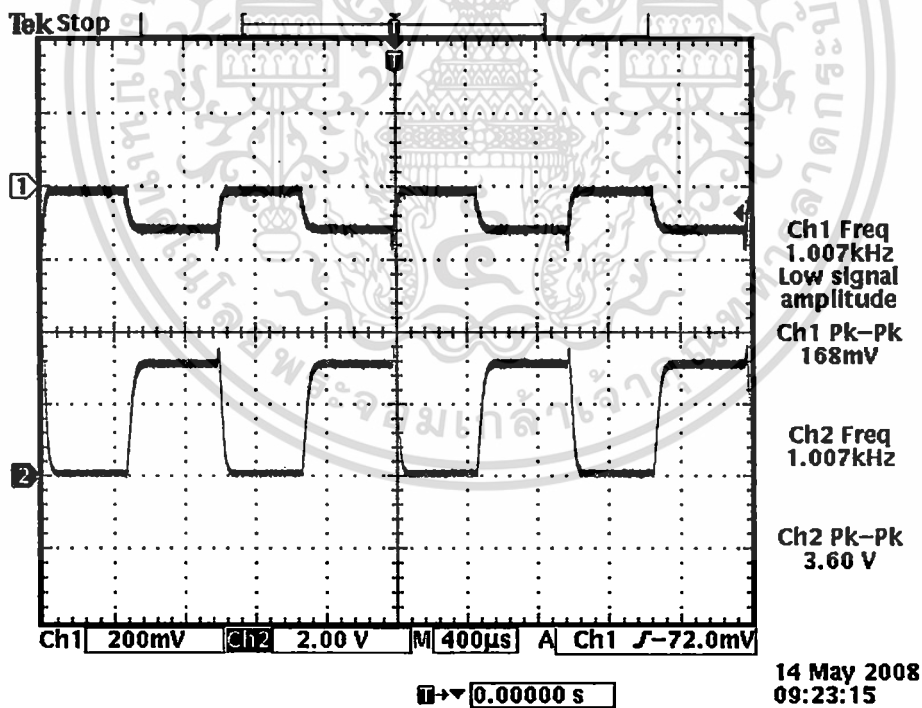


รูปที่ 4.8 ลักษณะของแรงดันที่ใช้ขับแอลอีดีอินฟราเรดกับสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

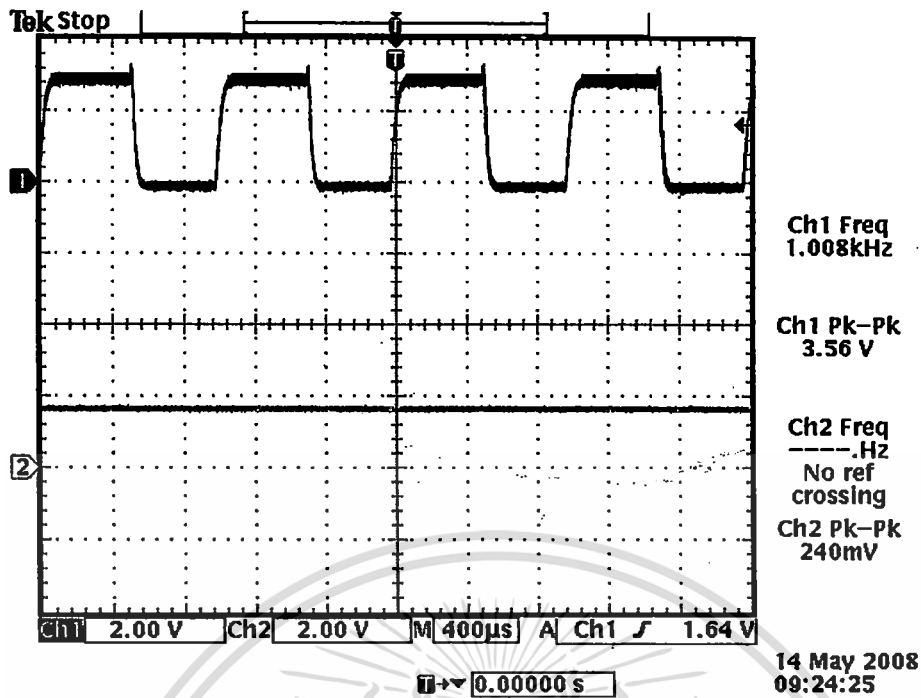


รูปที่ 4.9 ลักษณะของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรด

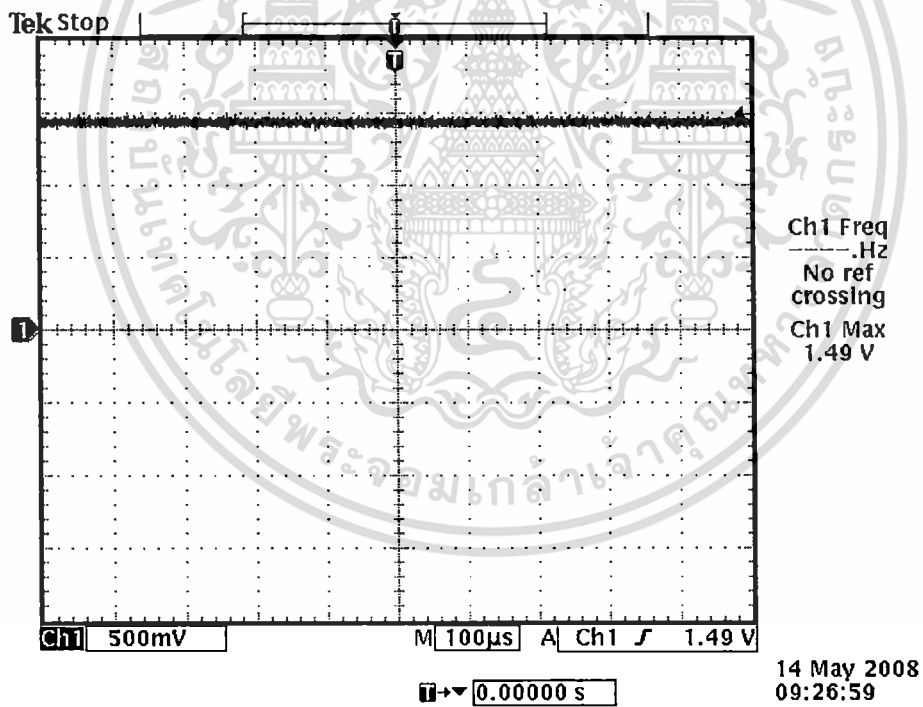


รูปที่ 4.10 ลักษณะของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรองสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

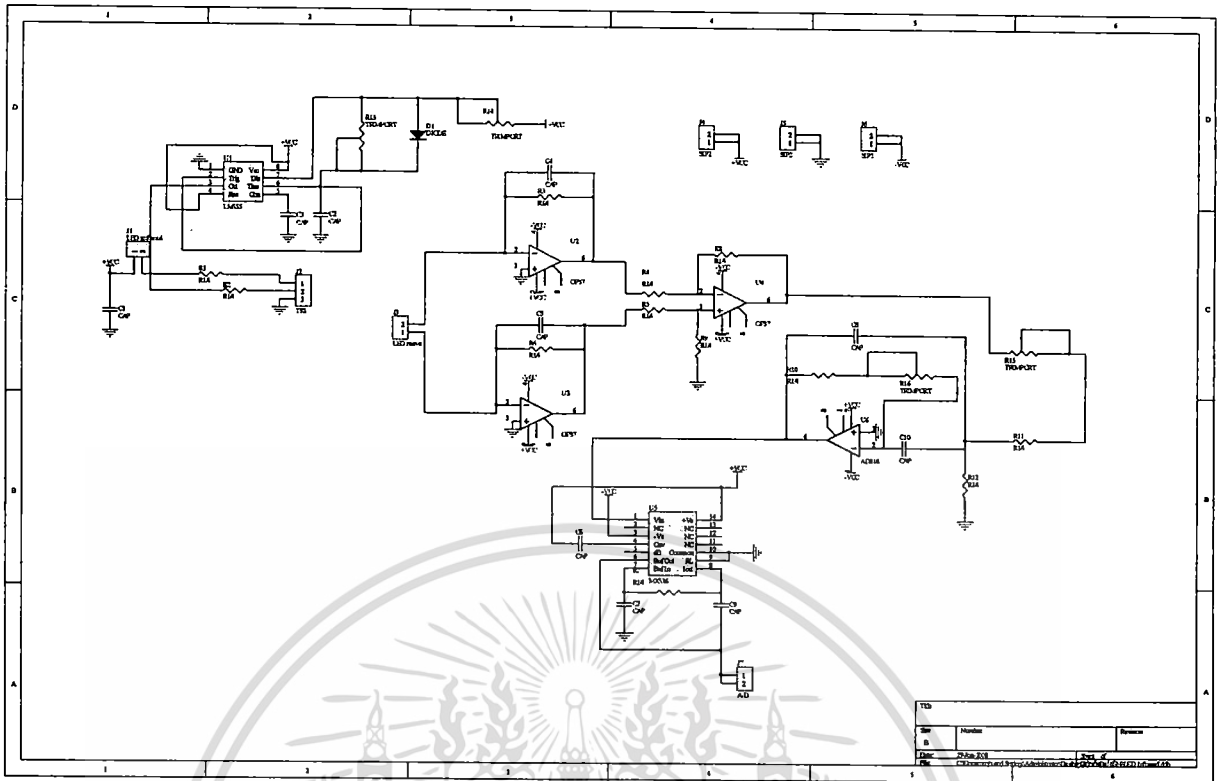


รูปที่ 4.11 ลักษณะของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี



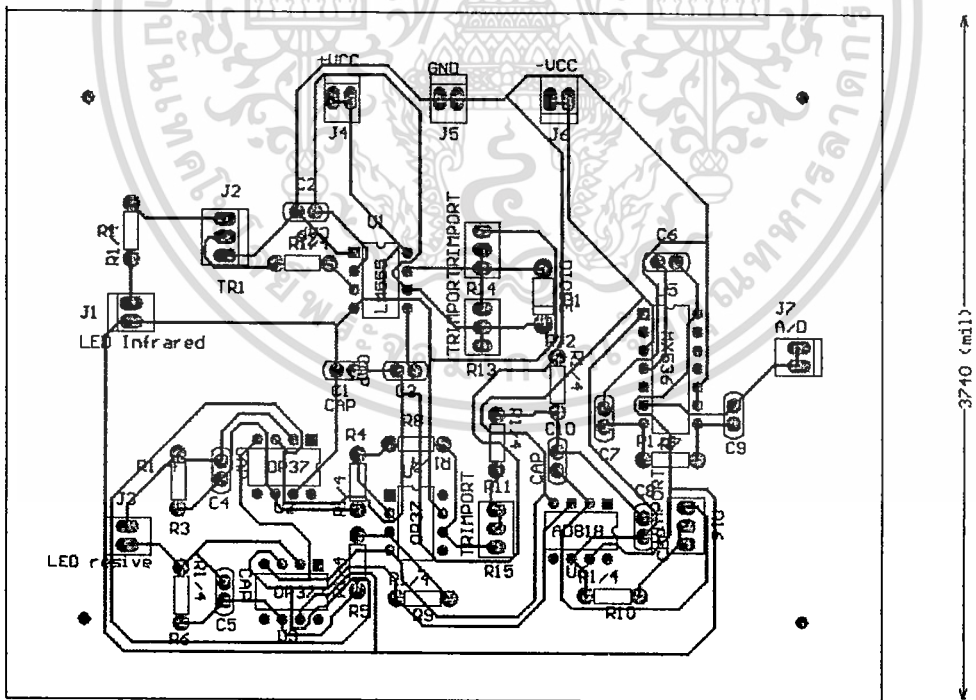
รูปที่ 4.12 ลักษณะของเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณอาร์เอ็มเอสเป็นดีซี

จากการทดสอบวงจรในส่วนต่างๆ ผลปรากฏว่าวงจรในแต่ละส่วนสามารถทำงานได้ตามที่ ออกแบบไว้ ซึ่งต่อไปทางผู้วิจัยได้สร้างต้นแบบของระบบตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วย แสงอินฟราเรด โดยเราสามารถแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างแผงวงจรพิมพ์ครั้งนี้ ำการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



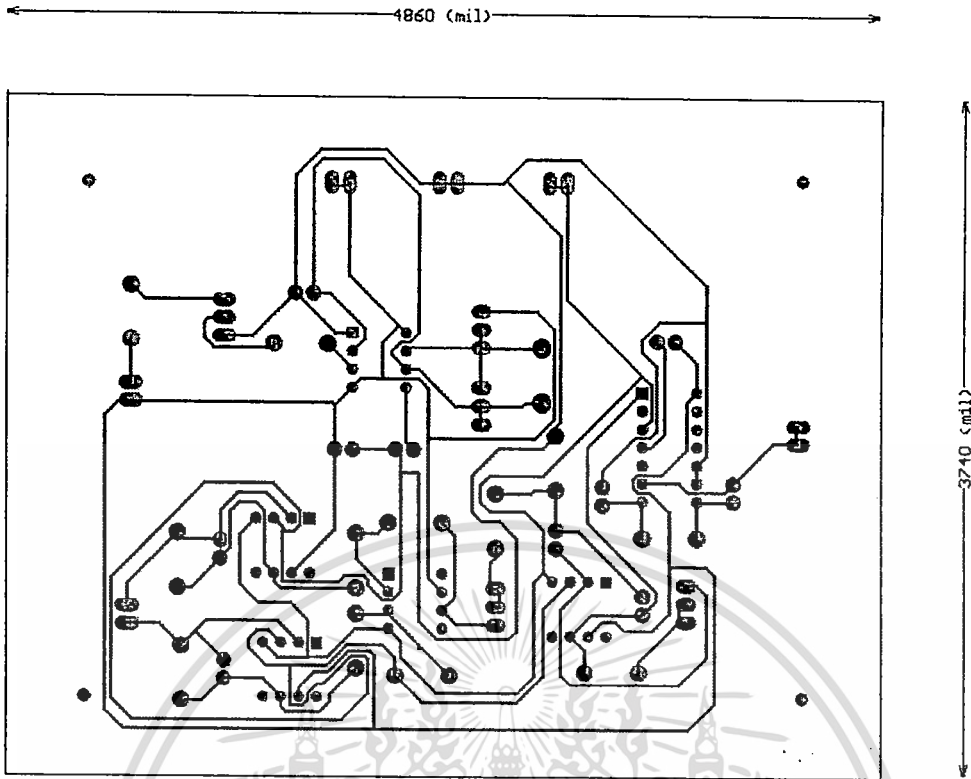
รูปที่ 4.13 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้แบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

← 4860 (mil) →

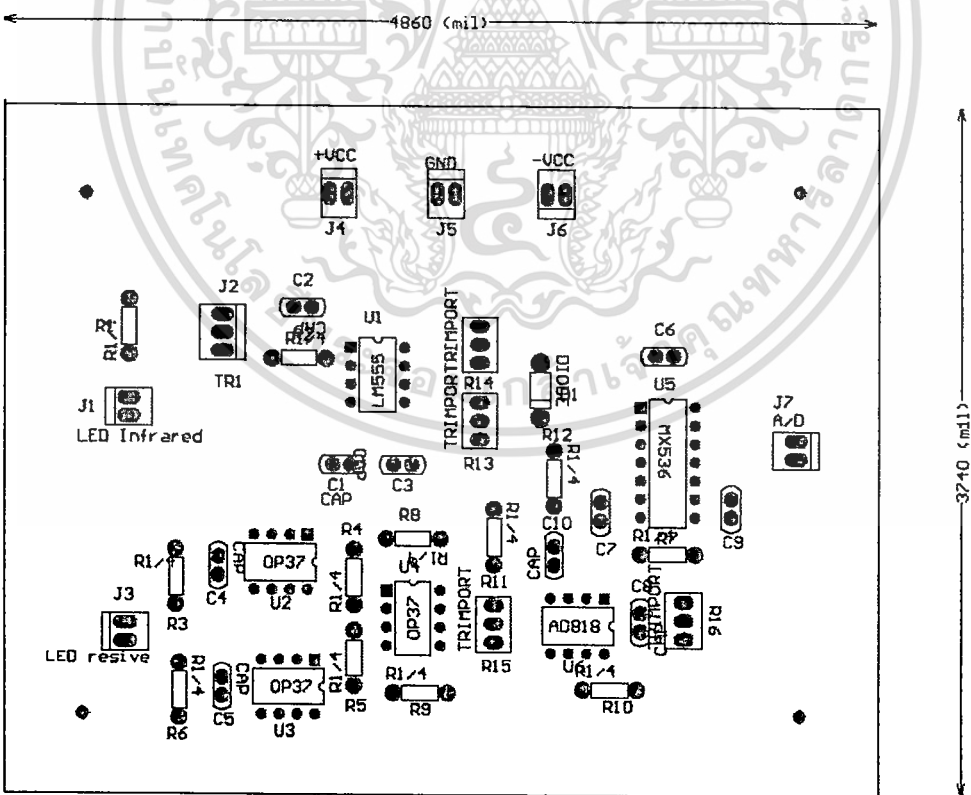


รูปที่ 4.14 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพ สั้แบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

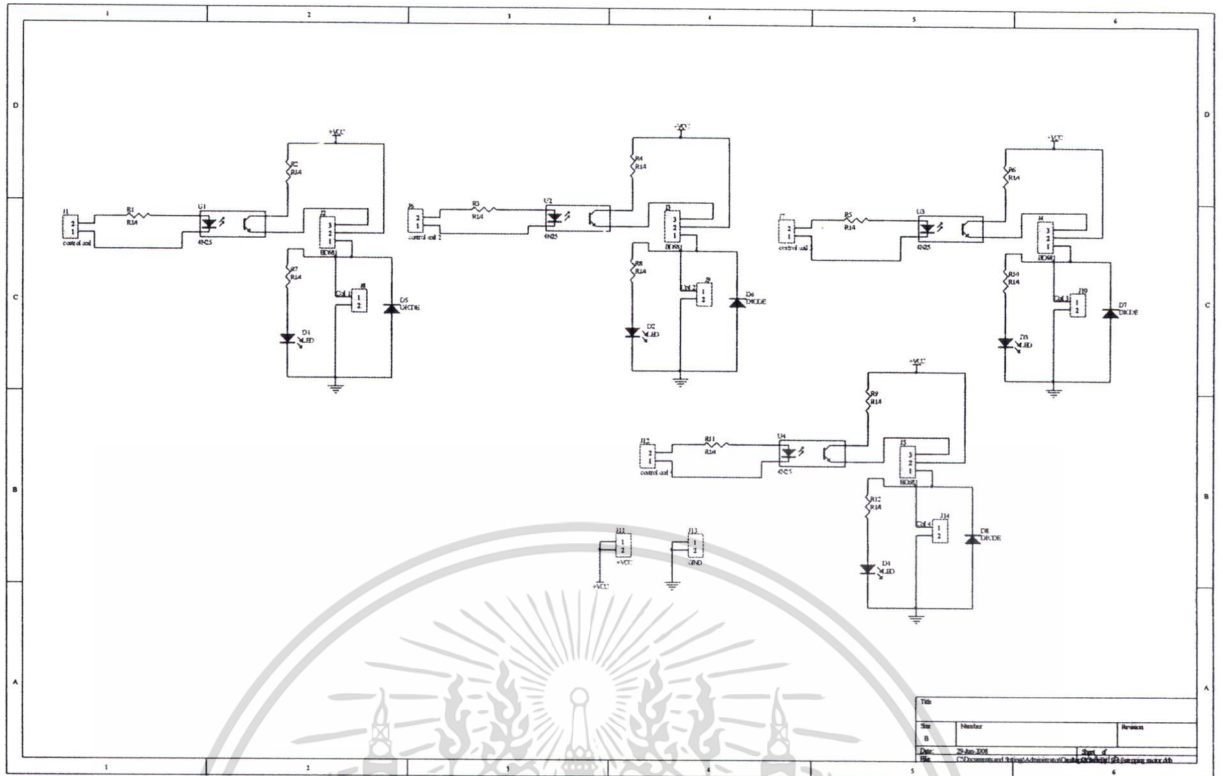


รูปที่ 4.15 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลาย
ด้วยแสงอินฟราเรด

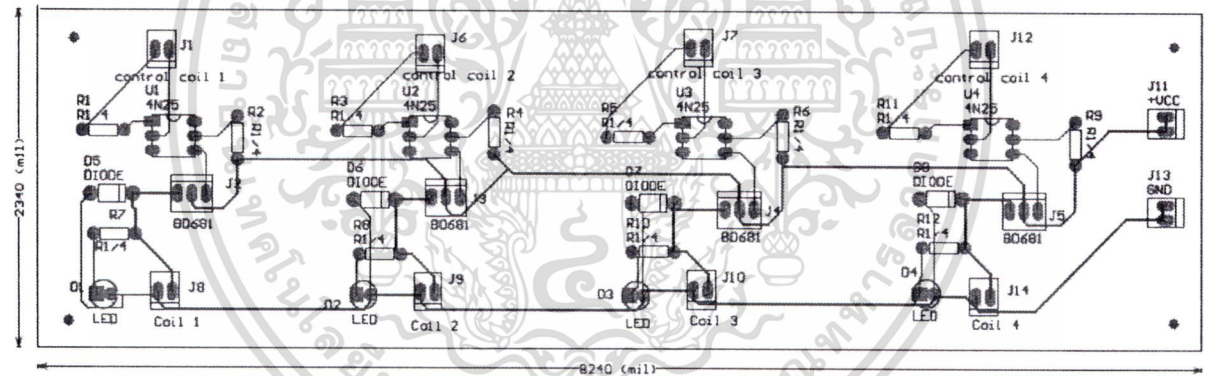


รูปที่ 4.16 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลาย
ด้วยแสงอินฟราเรด

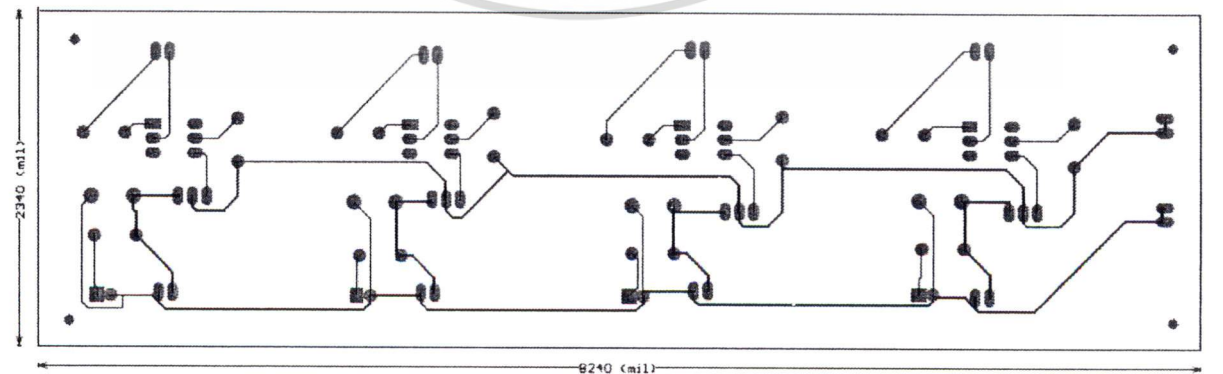
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 วงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

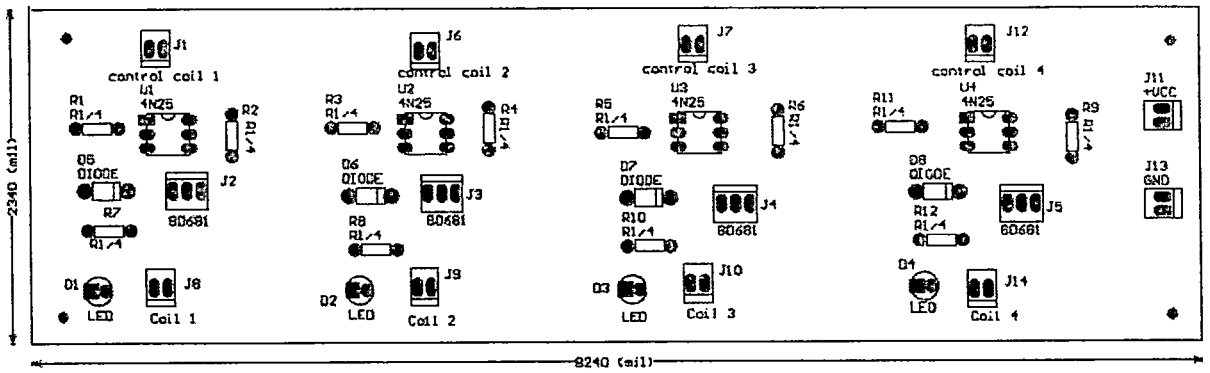


รูปที่ 4.18 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

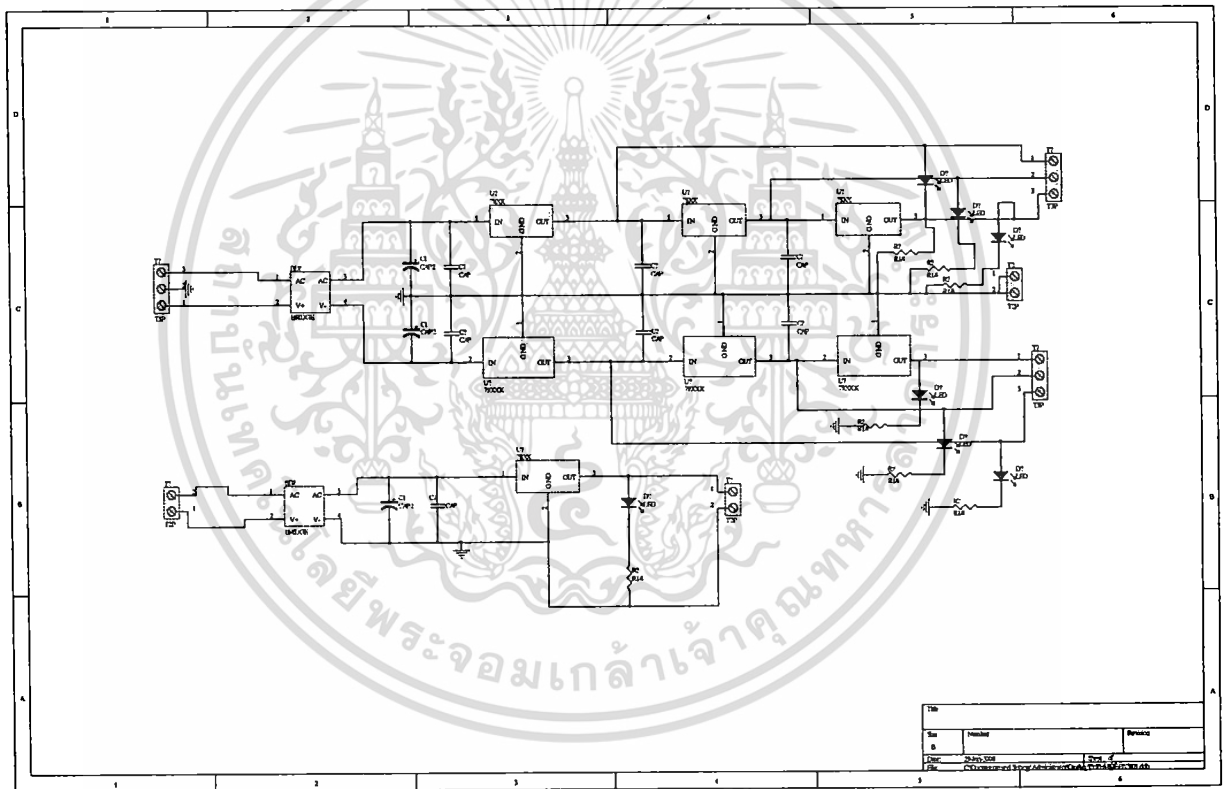


รูปที่ 4.19 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

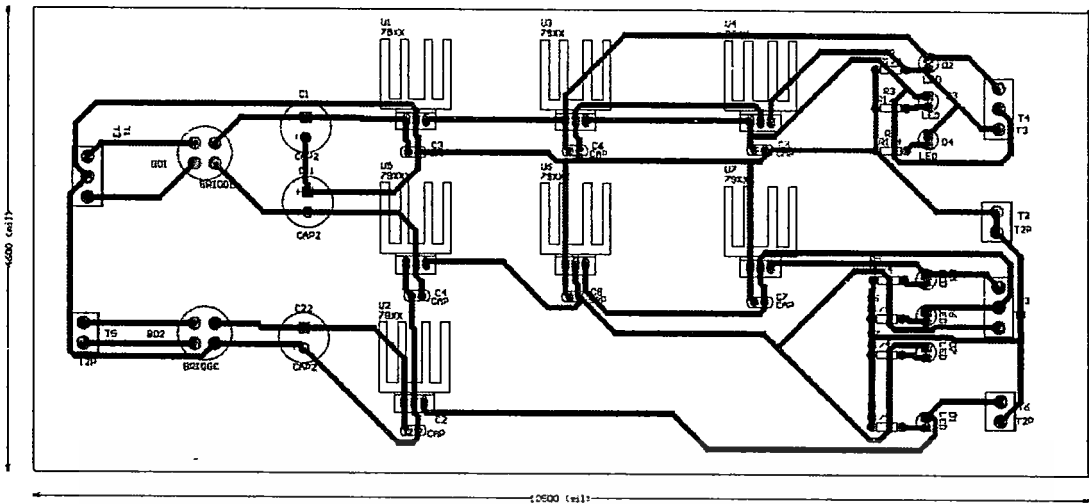


รูปที่ 4.20 การลงอุปกรณ์ของวงจรขับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

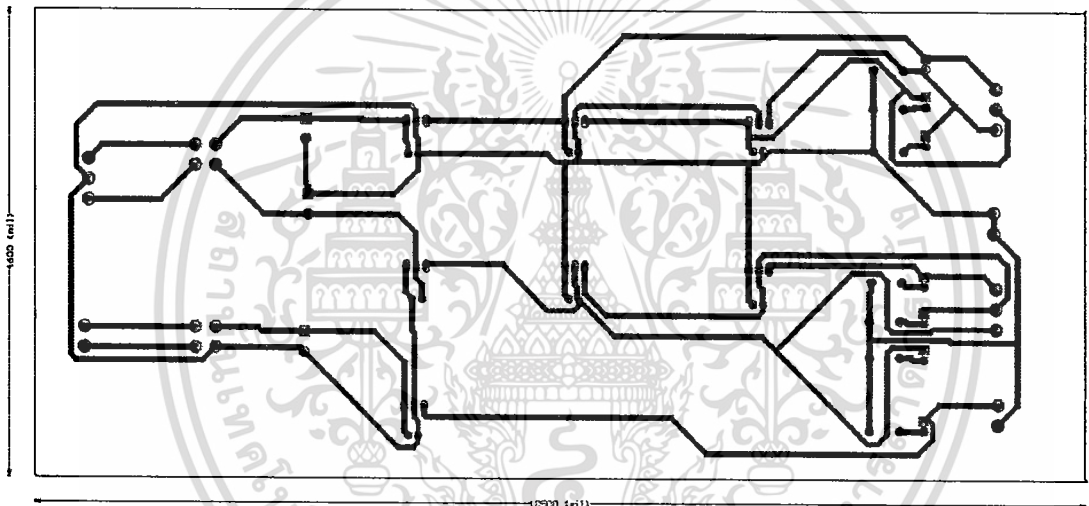


รูปที่ 4.21 วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

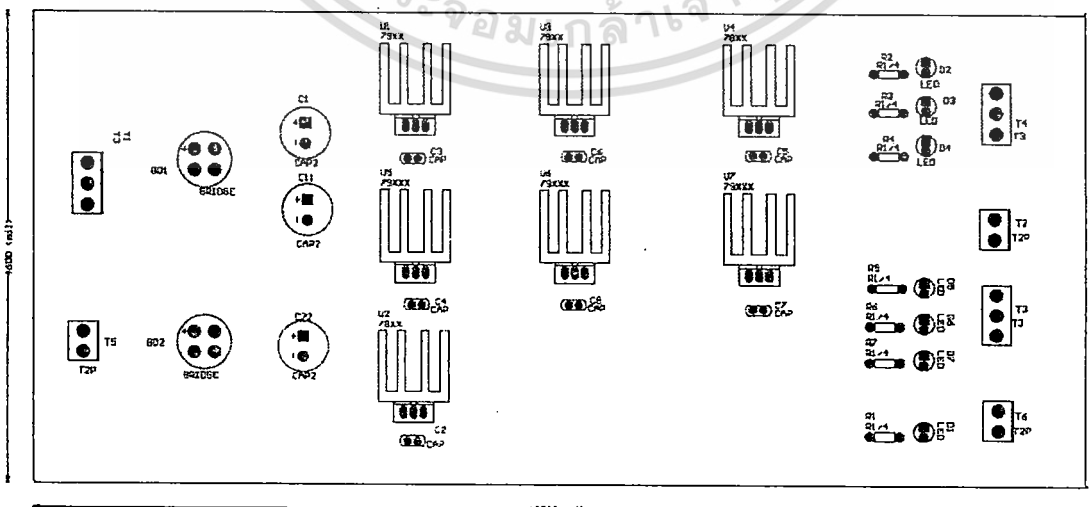
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ลายวงจรพิมพ์และการลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพ สัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

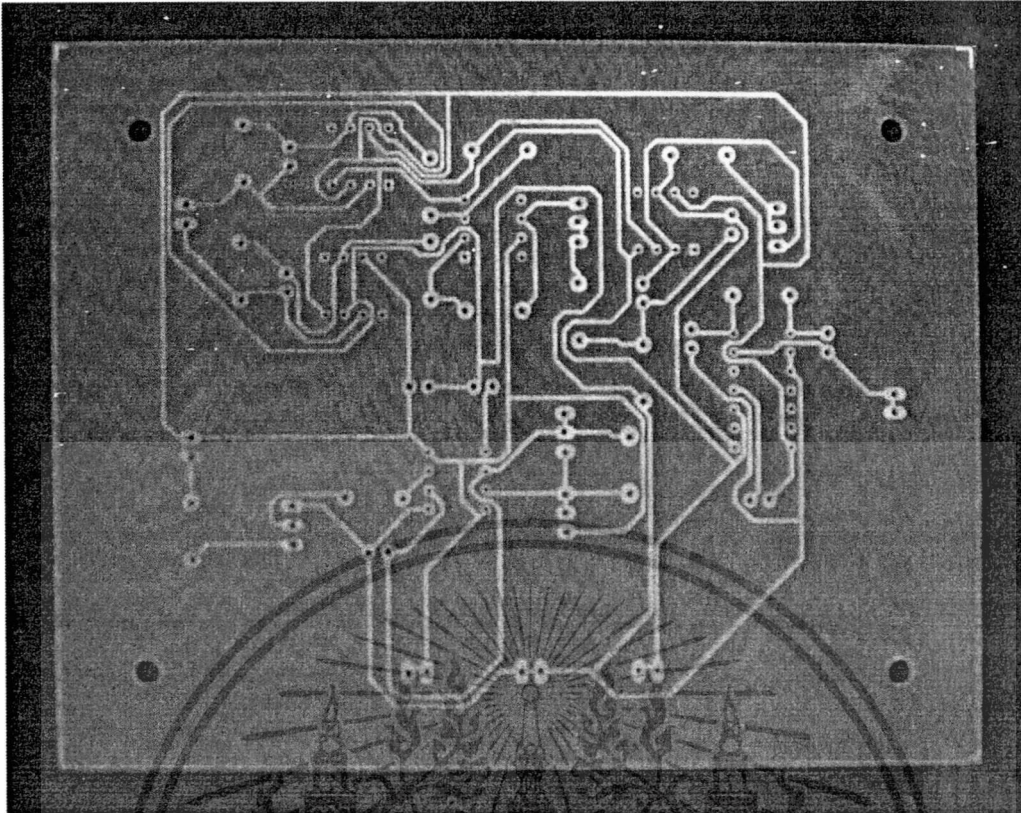


รูปที่ 4.23 ลายวงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

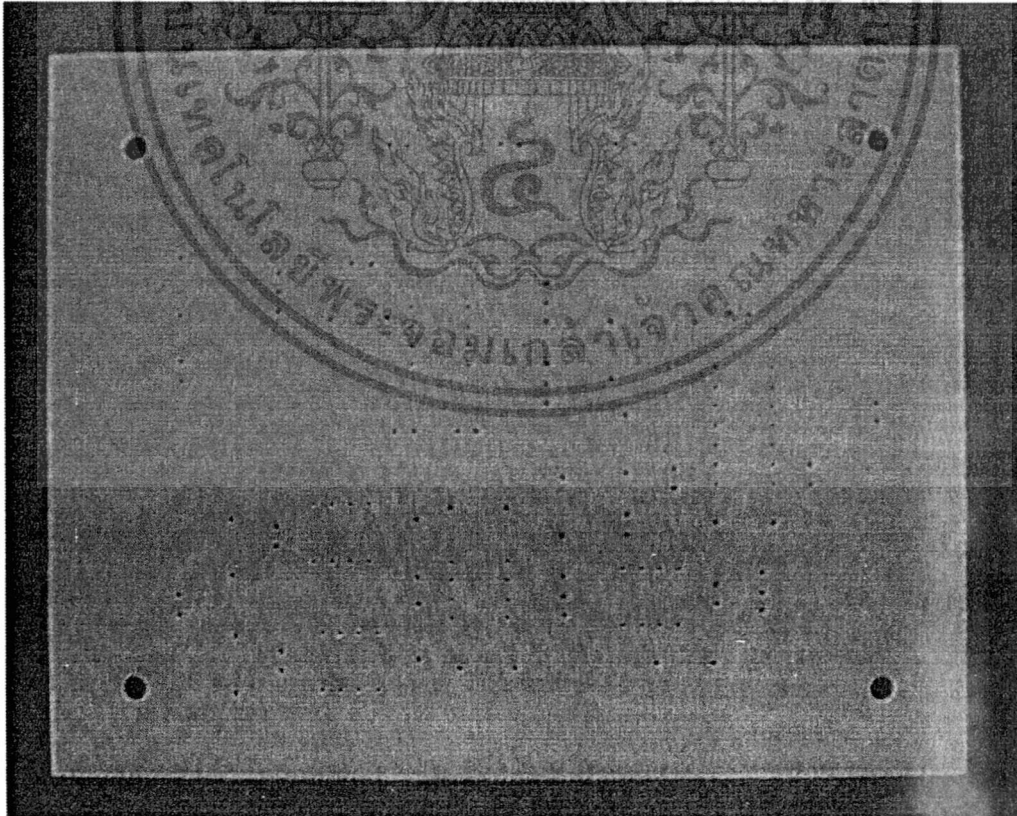


รูปที่ 4.24 การลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ด้วยแสงอินฟราเรดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

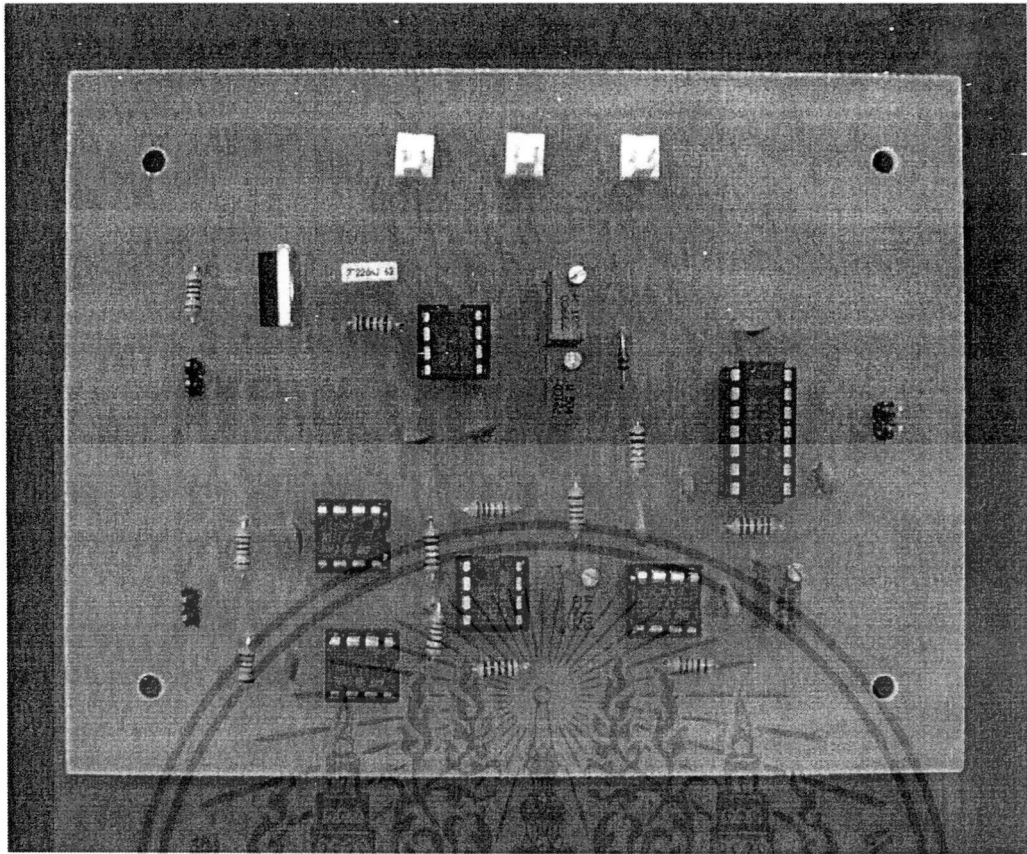


รูปที่ 4.25 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)

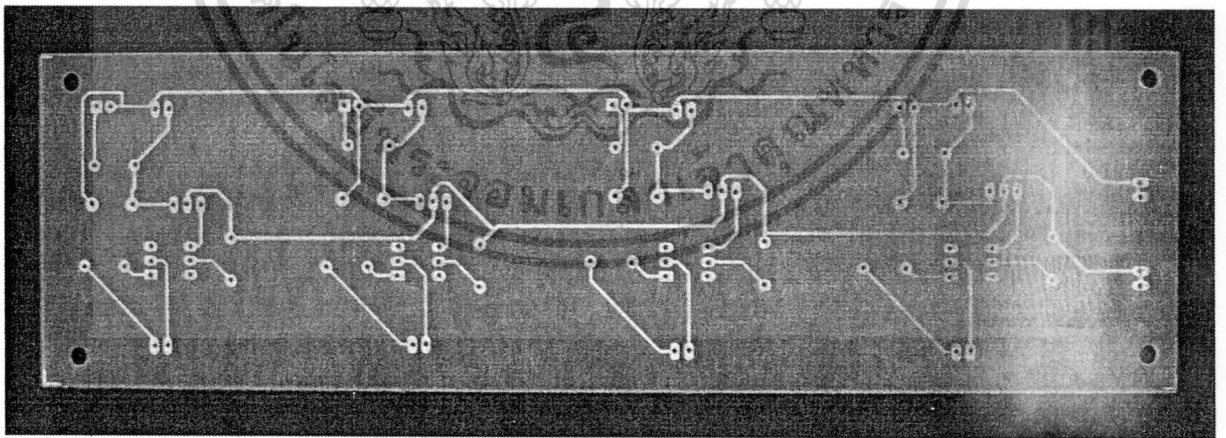


รูปที่ 4.26 วงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วย

แสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์) ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

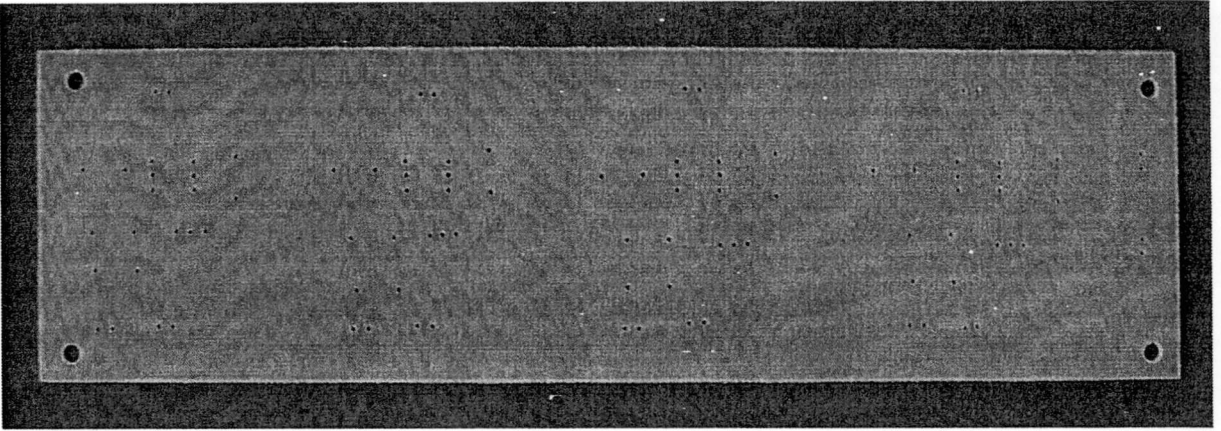


รูปที่ 4.27 การลงอุปกรณ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

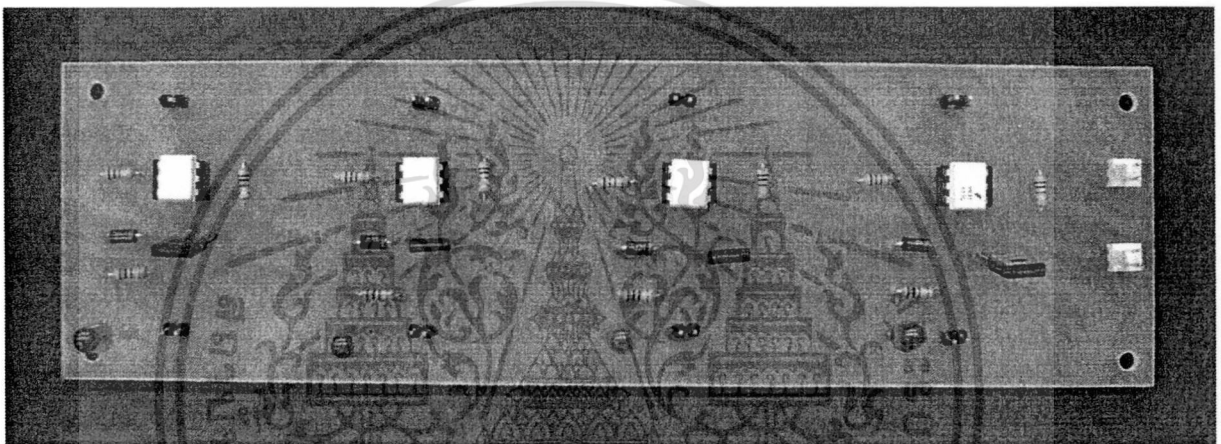


รูปที่ 4.28 วงจรพิมพ์ของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)

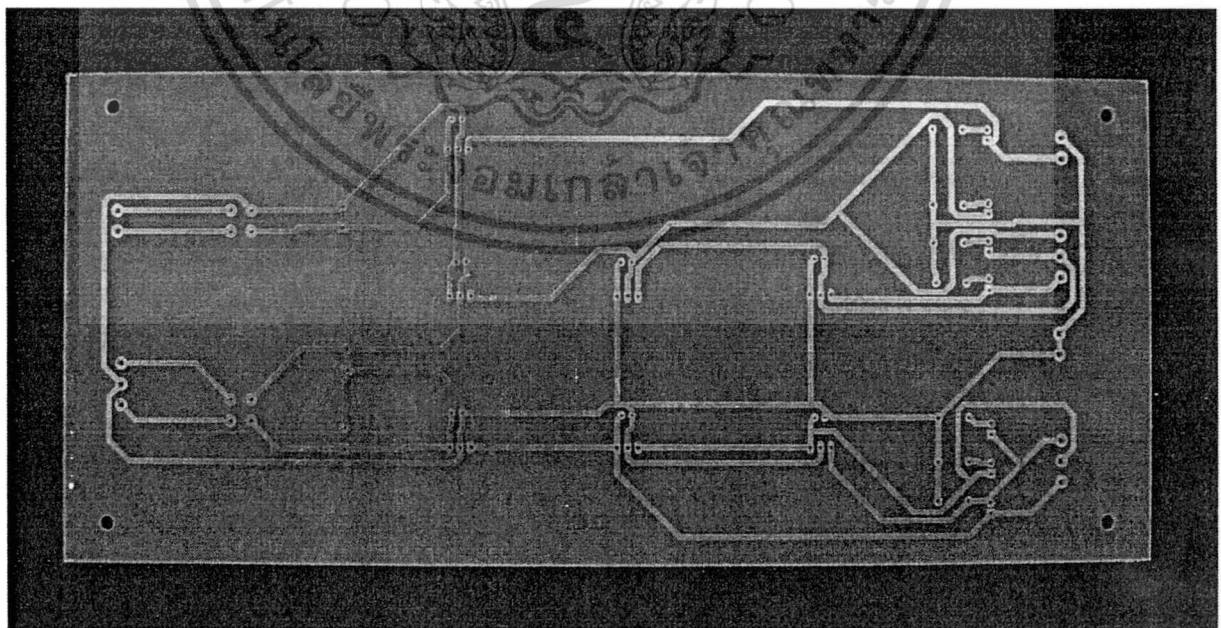
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 วงจรพิมพ์ของวงจรจับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์)

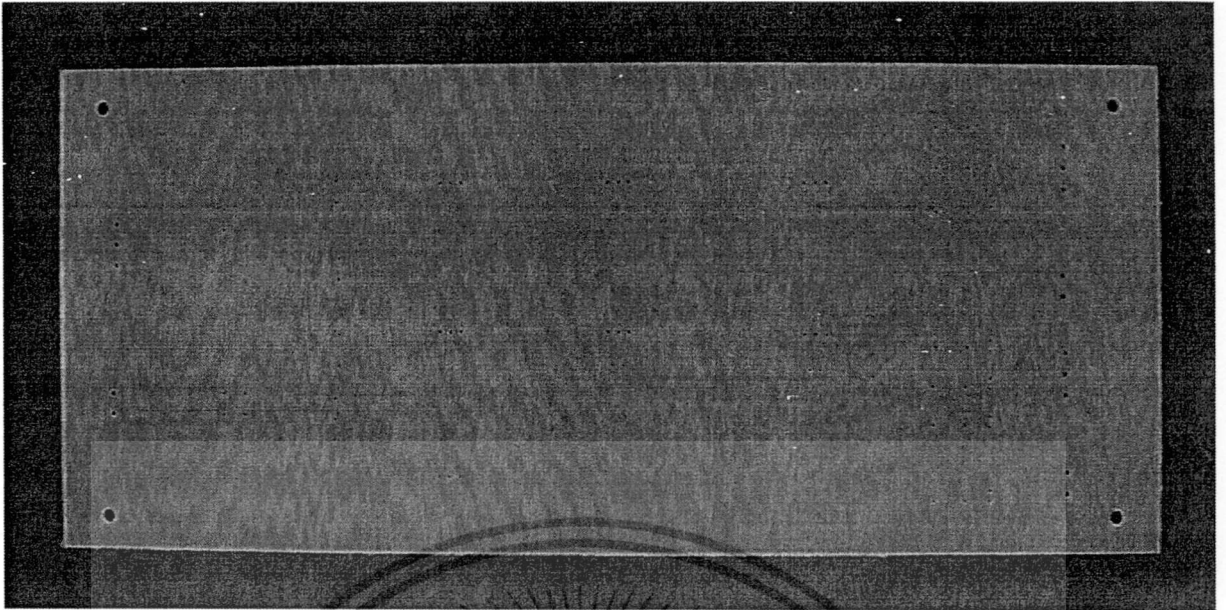


รูปที่ 4.30 การลงอุปกรณ์ของวงจรจับมอเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

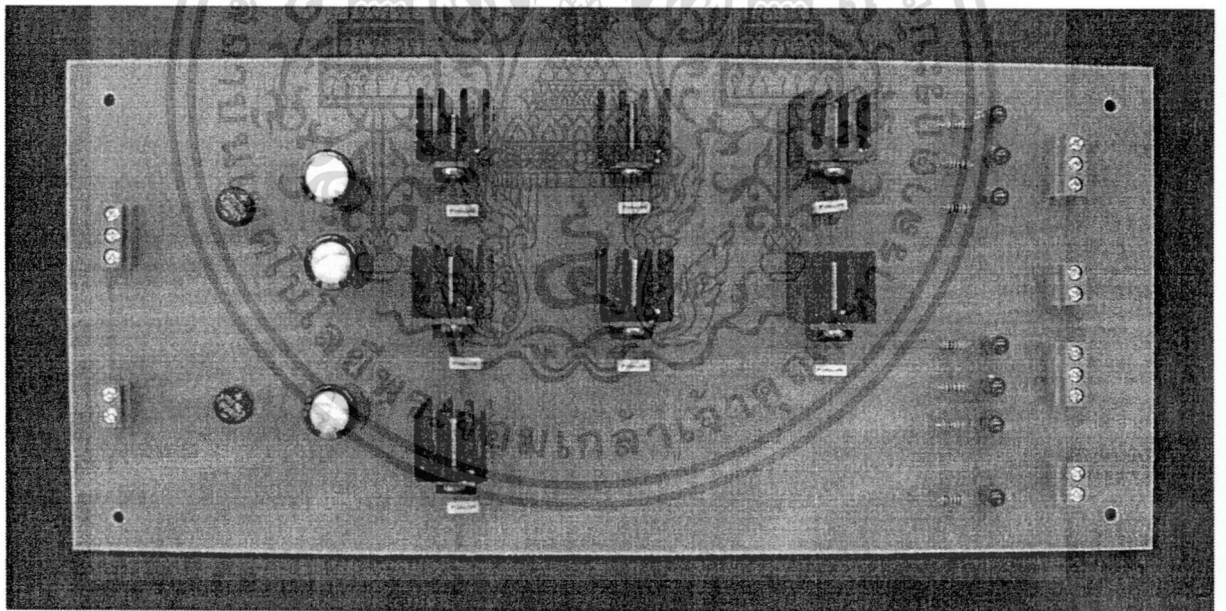


รูปที่ 4.31 วงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านลายทองแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 วงจรพิมพ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด(ด้านอุปกรณ์)



รูปที่ 4.33 การลงอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับการตรวจสอบคุณภาพสั้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

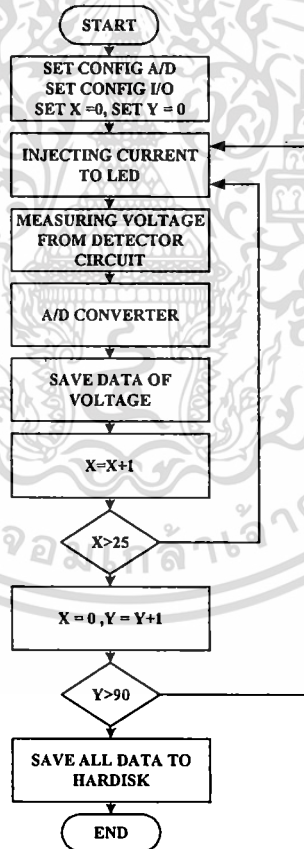
4.1 การทดสอบระบบเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นกับผลสัมที่นำมาทดสอบ

สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบระบบเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นกับผลสัมที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้

1. ทำการเปิดไฟเข้าระบบตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา
2. ทำการเปิดคอมพิวเตอร์เพื่อเรียก โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลขึ้นมา
3. นำผลสัมที่ต้องการนำมาทดสอบวางบนแท่นรองรับผลสัม
4. ทำการรัน โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล เครื่องจะทำการหมุนผลสัมที่นำมาทดสอบ และทำการเก็บข้อมูลลงในฮาร์ดดิสค์
5. หลังจากทำการเก็บข้อมูลเสร็จแล้ว ข้อมูลของผลการวัดจะถูกเก็บไว้ในฮาร์ดดิสค์

จากขั้นตอนในการเก็บข้อมูลต่างๆดังที่กล่าวมาสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดัง

รูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล

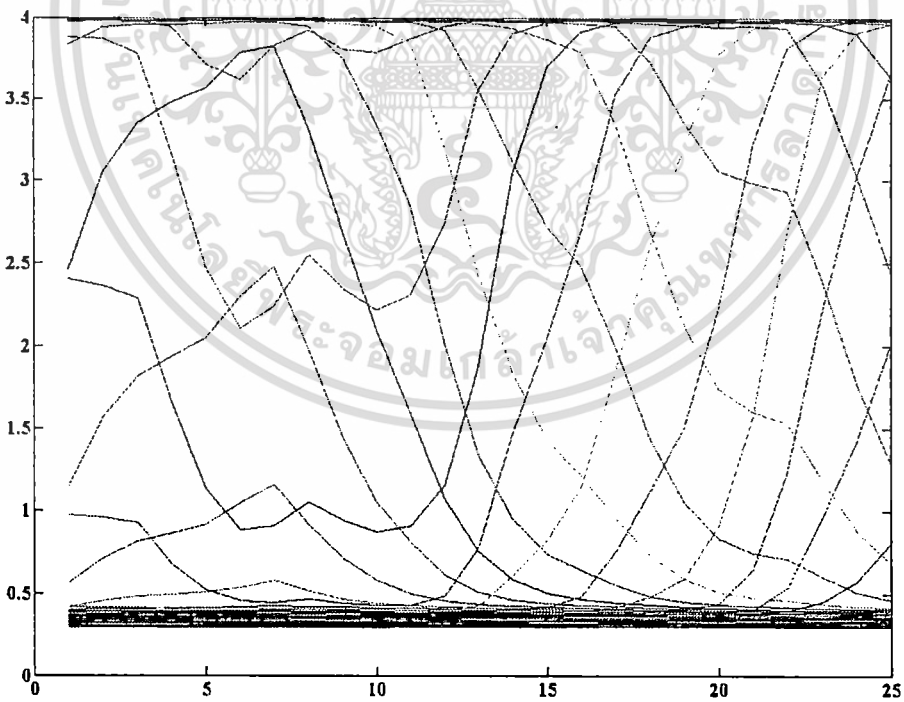
สำหรับลักษณะของข้อมูลที่วัดได้จากระบบเก็บข้อมูลจากผลสัมที่นำมาทดสอบจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบ M ไฟล์ โดยมีลักษณะเป็นเมตริกซ์ขนาด 90X25 ซึ่งพร้อมจะนำไปคำนวณโดยอัลกอ

วิธีในการสร้างภาพตัดขวางต่อไป สำหรับลักษณะของข้อมูลที่เก็บไว้ใน M ไฟล์ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.35

$$\begin{bmatrix}
 V_{1,1} & V_{1,2} & \dots & \dots & \dots & V_{1,24} & V_{1,25} \\
 V_{2,1} & V_{2,2} & \dots & \dots & \dots & V_{2,24} & V_{2,25} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 V_{89,1} & V_{89,2} & \dots & \dots & \dots & V_{89,24} & V_{89,25} \\
 V_{90,1} & V_{90,2} & \dots & \dots & \dots & V_{90,24} & V_{90,25}
 \end{bmatrix}_{90 \times 25}$$

รูปที่ 4.35 ลักษณะของข้อมูลที่ ได้จากการเก็บข้อมูลจากผลส้มที่นำมาทดสอบ ที่เก็บไว้ในรูปแบบ M ไฟล์ซึ่งเป็นเมตริกซ์ของแรงดัน (V) ขนาด 90 x 25

จากข้อมูลในรูปที่ 4.35 เราสามารถแสดงลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ดังรูปที่ 4.36



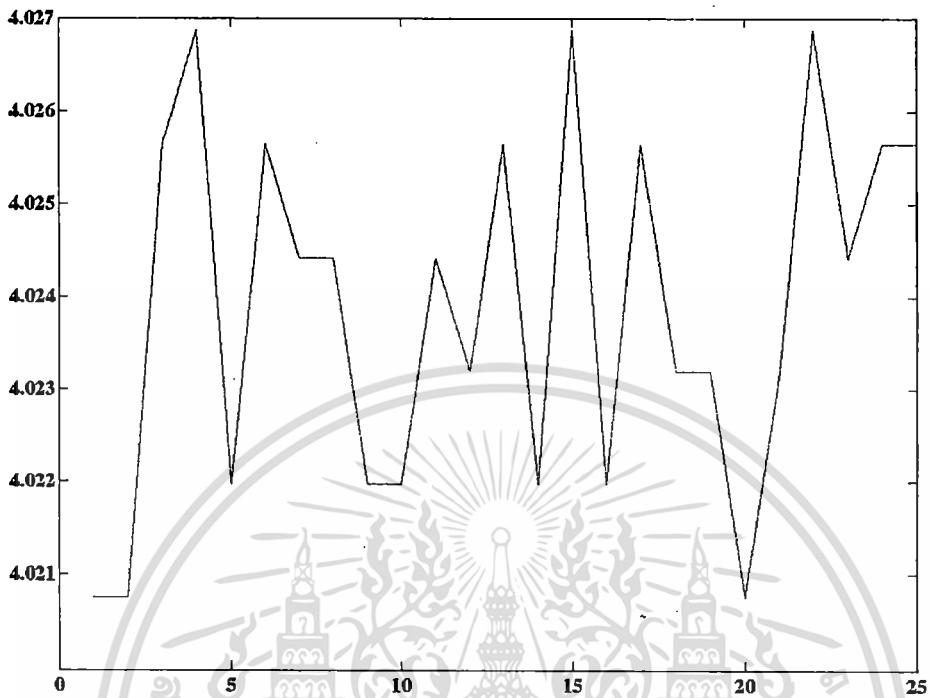
รูปที่ 4.36 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลส้มที่นำมาทดสอบ

จากรูปที่ 4.36 เป็นลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ทั้งหมดในการเก็บข้อมูลจากการเก็บข้อมูล

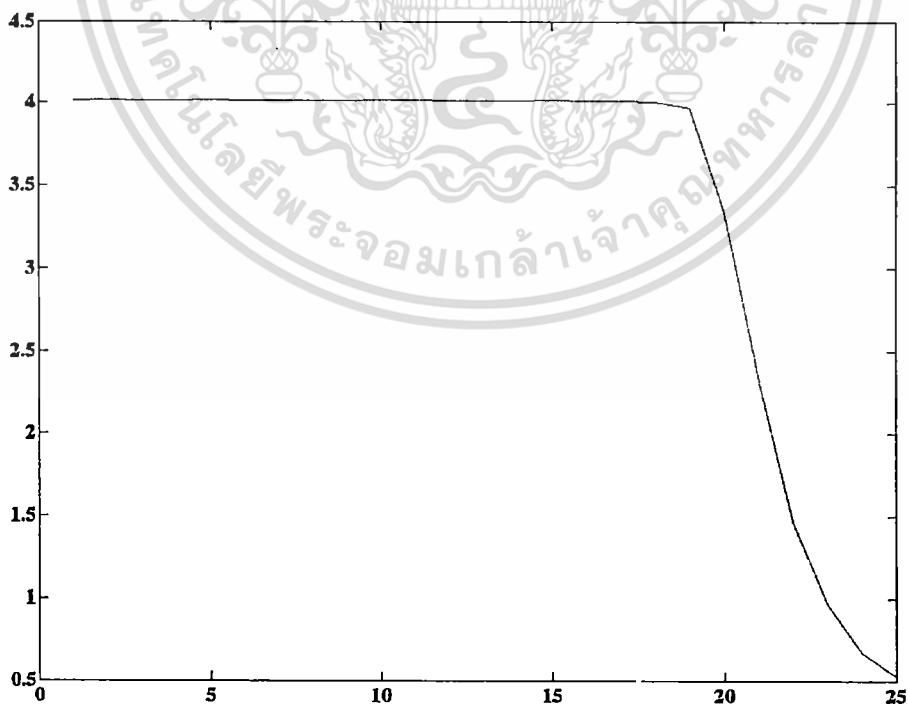
จากผลส้มที่นำมาทดสอบ สำหรับลักษณะของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละ โปรเจกชัน(สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการวิจัยเท่านั้น มิใช่ให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์แก่บุคคลอื่น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการยินยอมจากเจ้าของลิขสิทธิ์ อาจก่อให้เกิดความเสียหายทางกฎหมายได้

โปรแกรมเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบนี้จะวัดทั้งหมด 90 โปรเจกชัน) โดยตัวอย่างของลักษณะสัญญาณในแต่ละโปรเจกชันที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังนี้

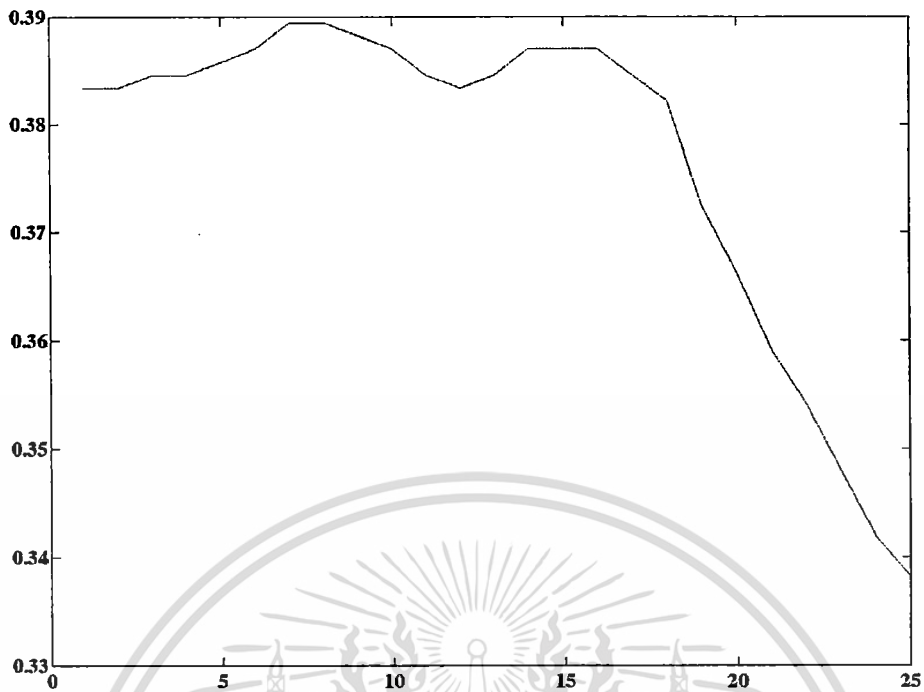


รูปที่ 4.37 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 1)

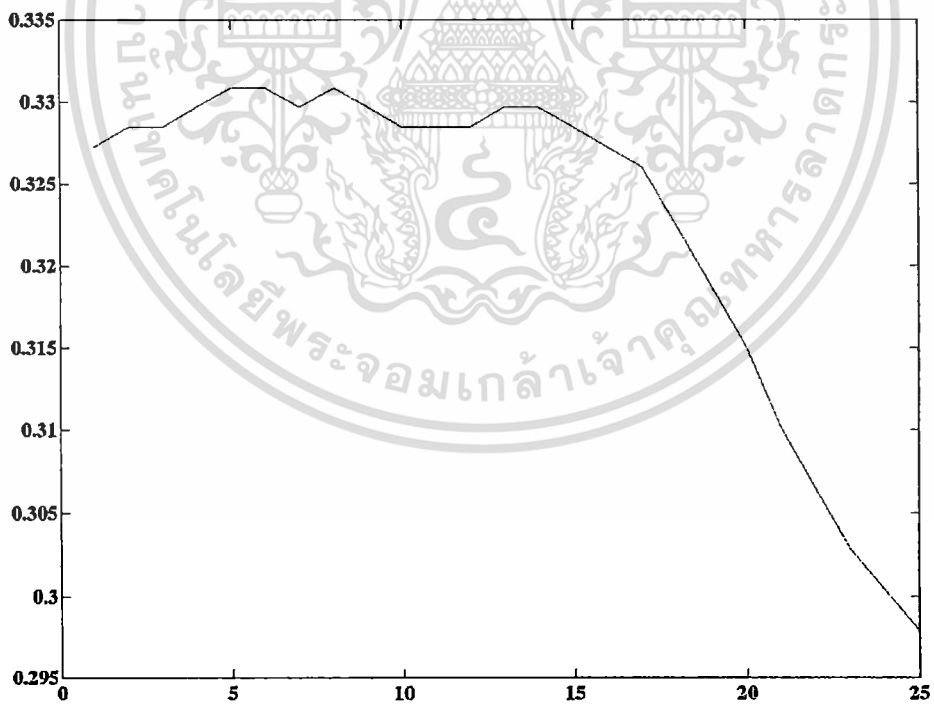


รูปที่ 4.38 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมที่นำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

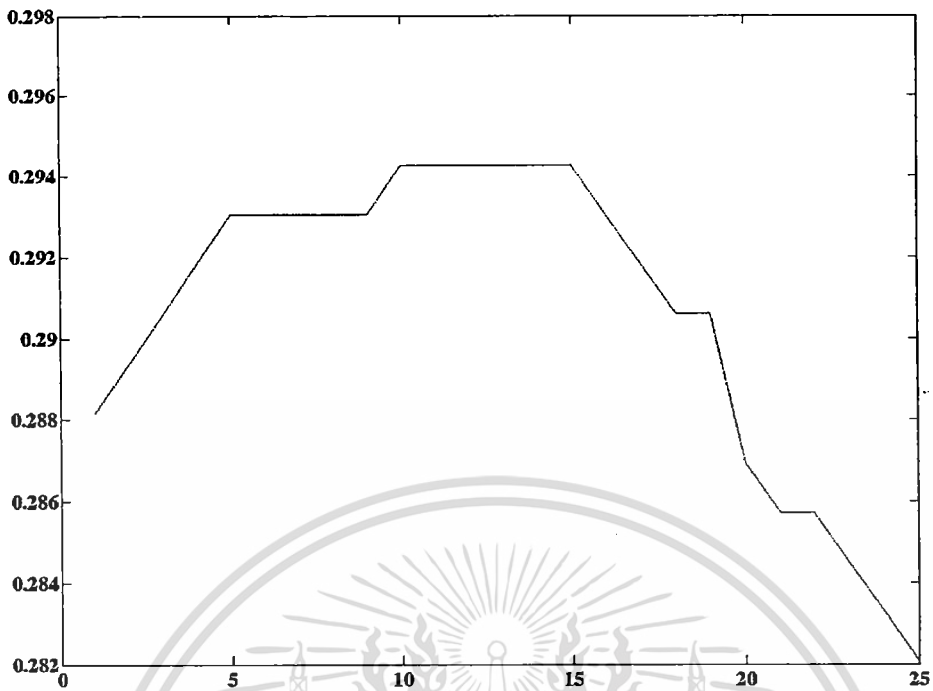


รูปที่ 4.39 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสั้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจคชั่นที่ 20)

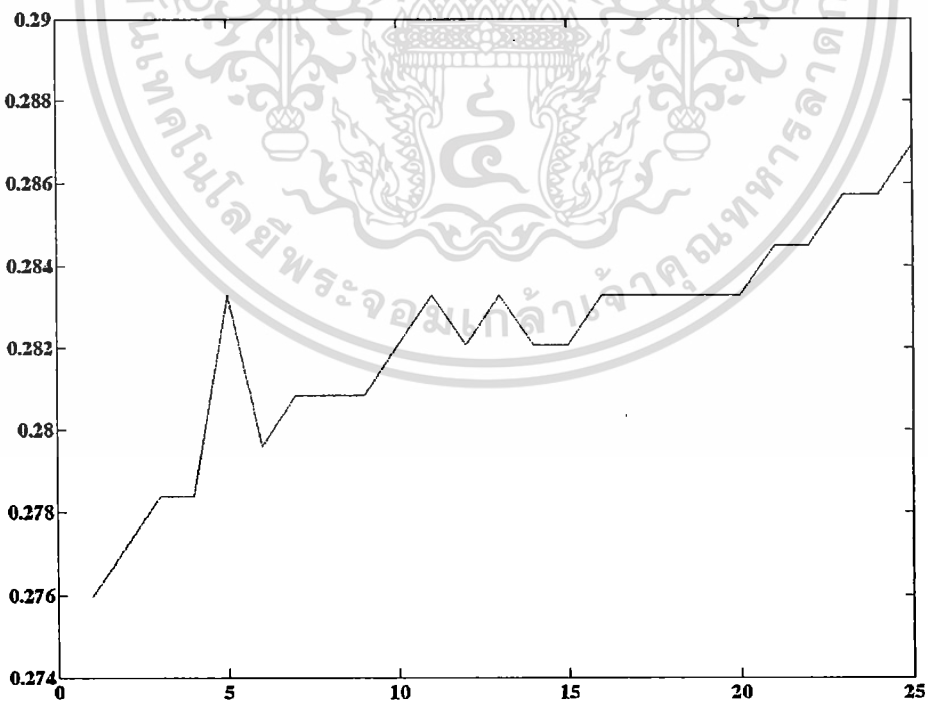


รูปที่ 4.40 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสั้มที่นำมาทดสอบ(โปรเจคชั่นที่ 30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

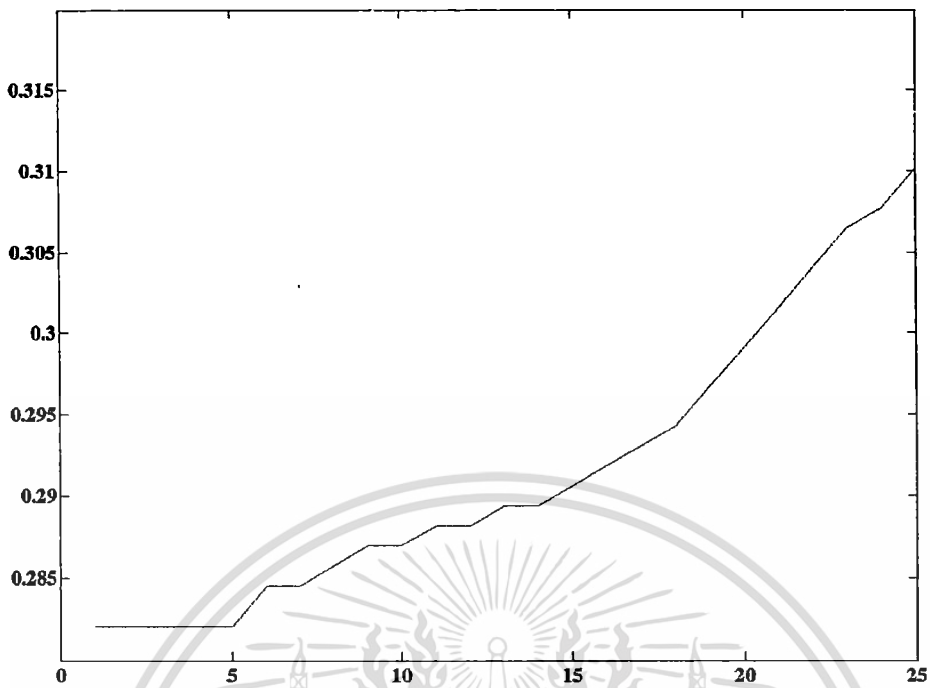


รูปที่ 4.41 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมนำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 40)

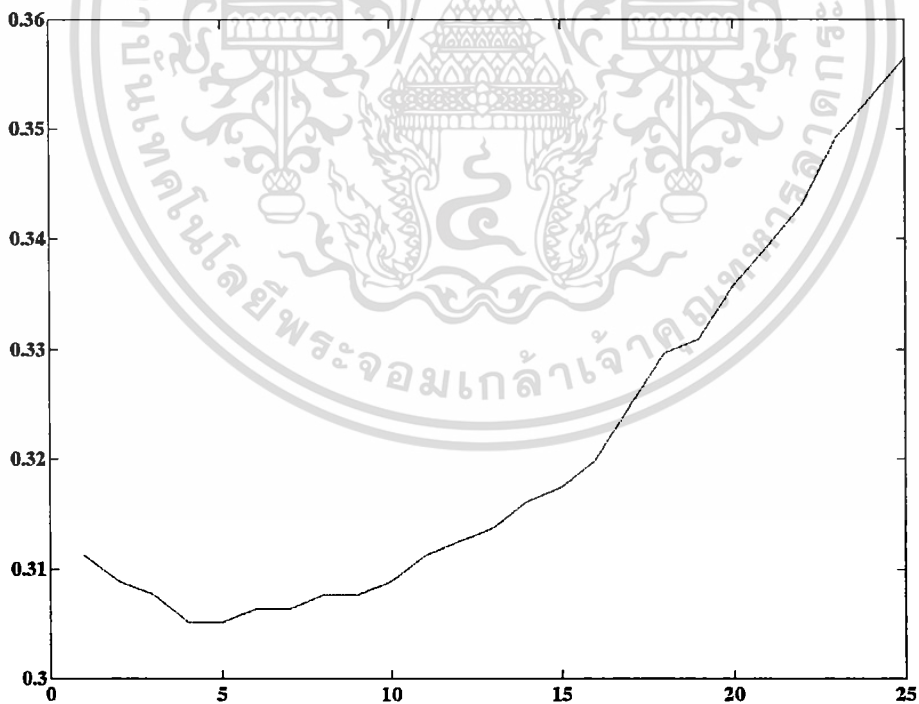


รูปที่ 4.42 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมนำมาทดสอบ(โปรเจกชันที่ 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

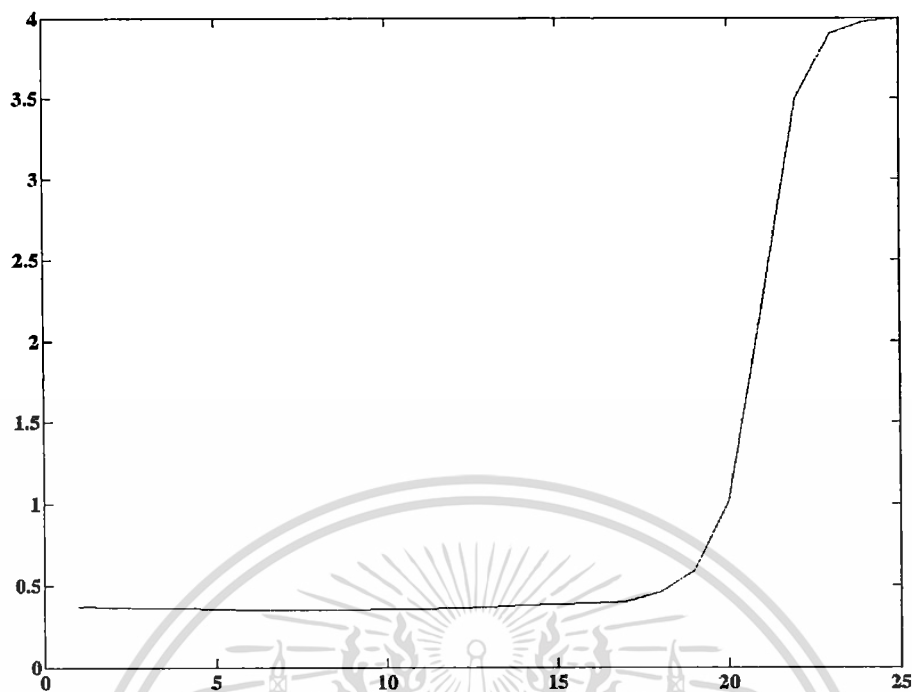


รูปที่ 4.43 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมนำมาทดสอบ (โปรเจกชันที่ 60)

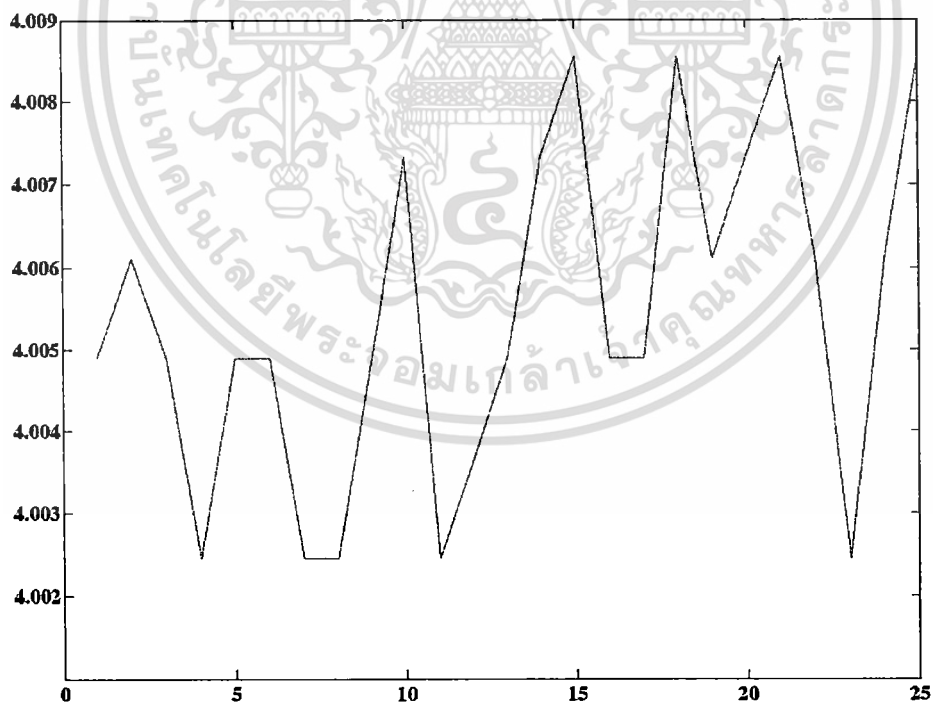


รูปที่ 4.44 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมนำมาทดสอบ (โปรเจกชันที่ 70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



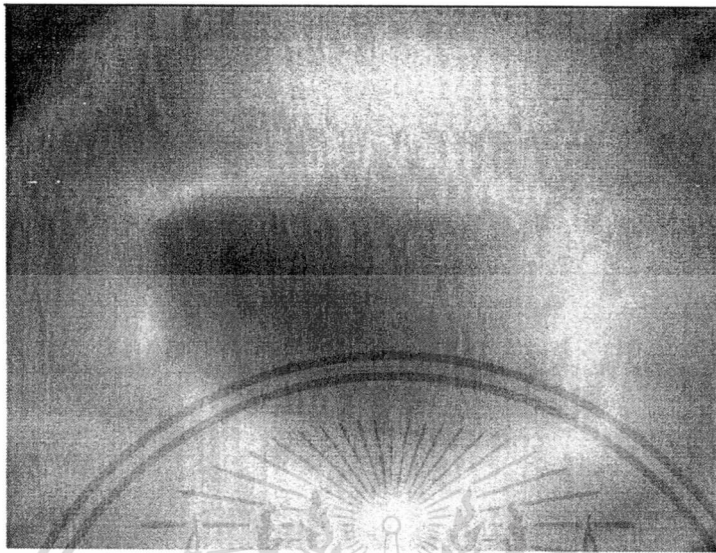
รูปที่ 4.45 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมที่นำมาทดสอบ(โปรเจกซ์ที่ 80)



รูปที่ 4.46 ลักษณะของสัญญาณที่วัดได้จากผลสัมที่นำมาทดสอบ(โปรเจกซ์ที่ 90)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ เราสามารถนำมาสร้างภาพตัดขวางแสดงลักษณะองค์ประกอบภายในของส้มที่นำมาทดสอบได้ดังนี้

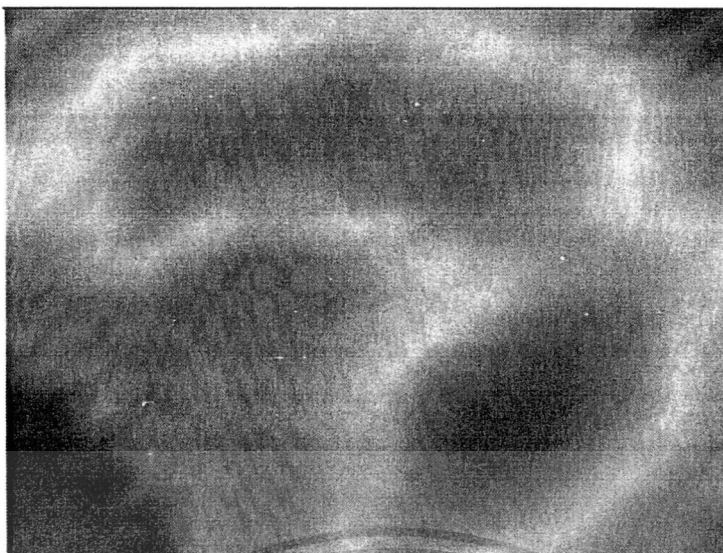


รูปที่ 4.47 ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่ดี



รูปที่ 4.48 ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียหายภายในผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียบภายในผล



รูปที่ 4.50 ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียบภายในผล

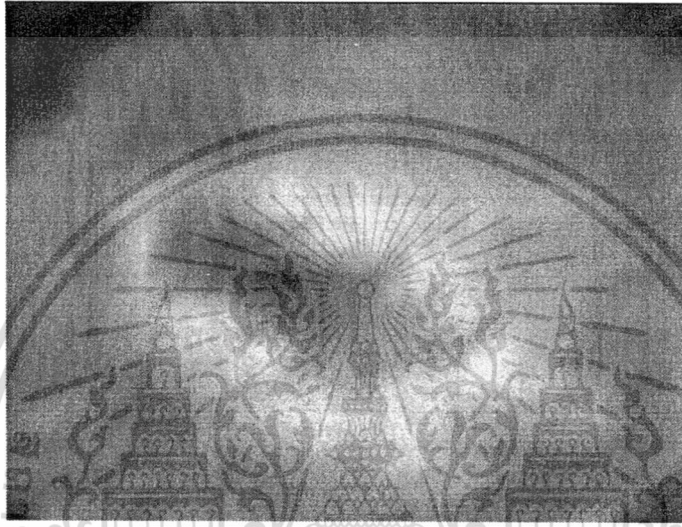


รูปที่ 4.51 ลักษณะของภาพตัดขวางของผลส้มที่มีการเสียบภายในผล

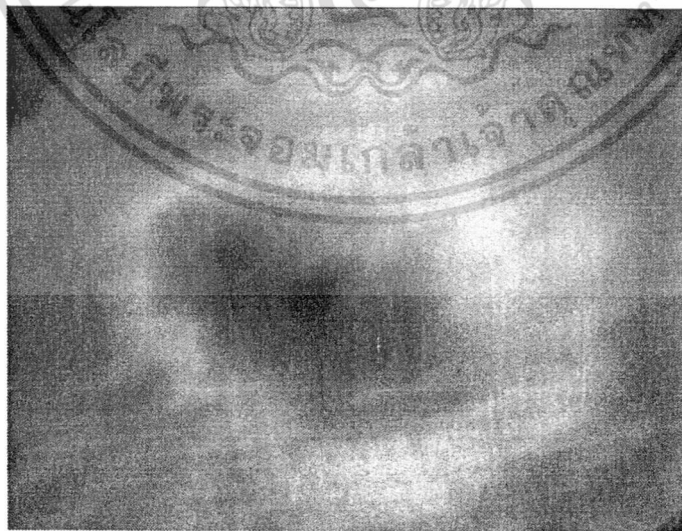
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการเปลี่ยนฟิลเตอร์ในการแก้ไขความคมชัดของภาพตัดขวางที่ทำการสร้างขึ้นมา

สำหรับในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของฟิลเตอร์เพื่อปรับปรุงความคมชัดของภาพตัดขวางที่ทำการสร้างขึ้นมา โดยจะทำการแก้ไขข้อมูลที่ได้จากการวัดผลสัมด้วยฟังก์ชันฟิลเตอร์ที่มีอยู่ในโปรแกรม MATLAB 7.1 แล้วจึงนำข้อมูลที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้วมาทำการสร้างภาพตัดขวางต่อไป โดยลักษณะของภาพตัดขวางของผลสัมที่ผ่านการฟิลเตอร์ข้อมูลแบบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.52 ถึง 4.57

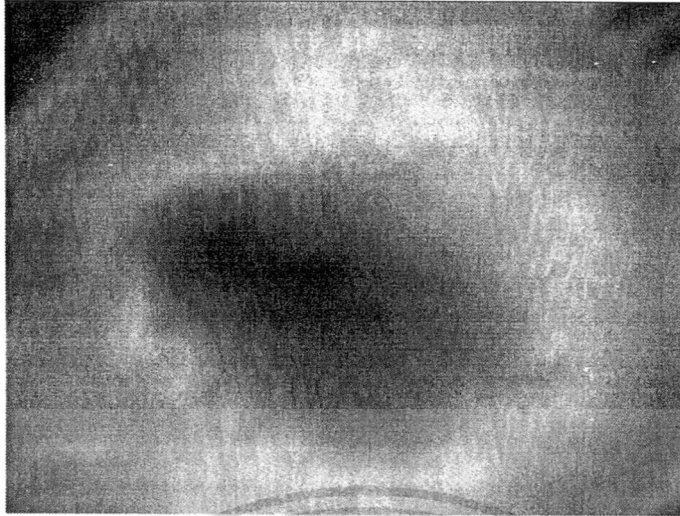


รูปที่ 4.52 ภาพตัดขวางของผลสัมที่ยังไม่ผ่านการฟิลเตอร์

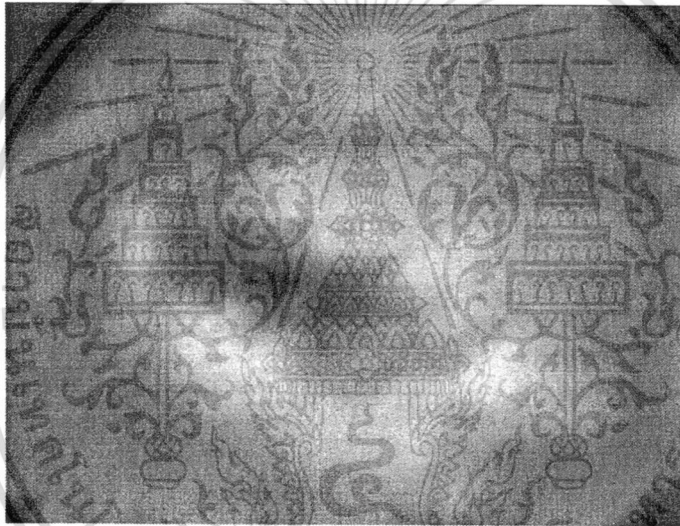


รูปที่ 4.53 ภาพตัดขวางของผลสัมที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Cosine function

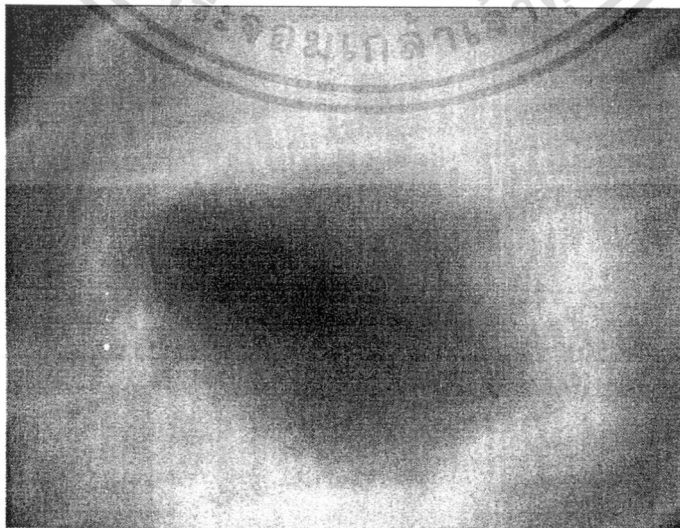
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 ภาพตัดขวางของผลสั้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Hamming function

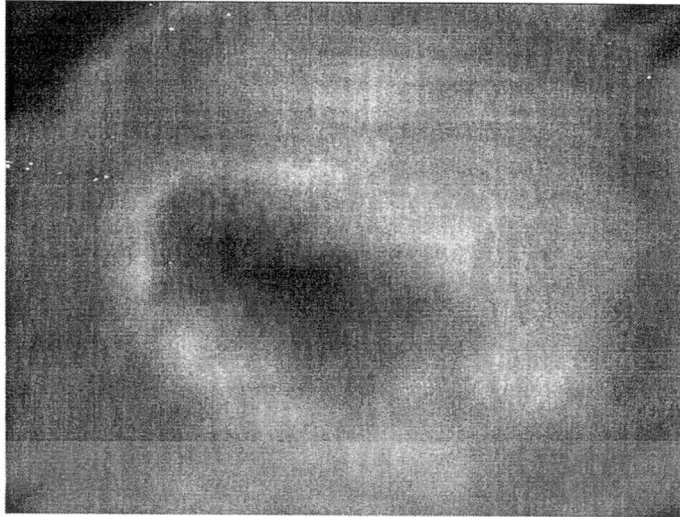


รูปที่ 4.55 ภาพตัดขวางของผลสั้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Ram-Lak function



รูปที่ 4.56 ภาพตัดขวางของผลสั้มที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Hann function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 ภาพตัดขวางของผลสัมที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Shepp-Logan function

จากรูปที่ 4.52 ถึง 4.57 จะเห็นว่าภาพตัดขวางของผลสัมที่ได้จากการปรับปรุงข้อมูลโดยใช้ฟิลเตอร์แบบต่างๆ จะทำให้ภาพตัดขวางที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพดีขึ้น โดยภาพตัดขวางที่ได้จากข้อมูลที่ผ่านการฟิลเตอร์ด้วย Hamming function และ Hann function จะให้ภาพตัดขวางของผลสัมดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

จากการทดสอบระบบตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด พบว่าระบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาสามารถที่จะตรวจสอบคุณภาพของสัมที่นำมาทดสอบได้แต่ยังคงมีความผิดพลาดของผลการตรวจสอบอยู่บ้างโดยทางผู้วิจัยสามารถสรุปข้อแนะนำแก่ผู้สนใจที่จะนำระบบที่ทำการสร้างขึ้น ไปพัฒนาต่อดังนี้

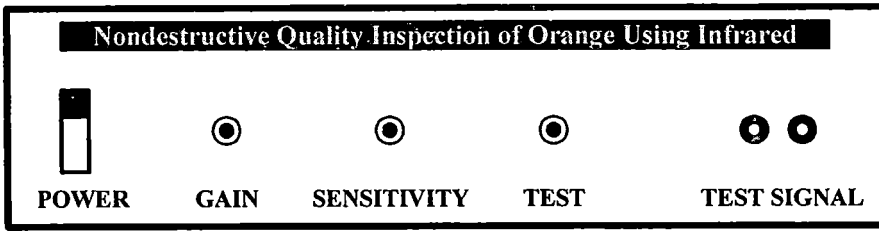
1. วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการสร้างแสงอินฟราเรดและใช้ในการตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรดที่ใช้ ยังมีสัญญาณรบกวนสูงทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีค่าความผิดพลาดจึงส่งผลให้ผลการตรวจสอบมีความผิดพลาด ดังนั้นหากเรามีการพัฒนาให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างแสงอินฟราเรดและวงจรที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณแสงอินฟราเรดมีสัญญาณรบกวนต่ำ จะทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีค่าความผิดพลาดต่ำส่งผลให้การตรวจสอบมีความถูกต้องมากขึ้น
2. ระบบที่ใช้ในการหมุนผลสัมยังคงมีปัญหาด้านความมั่นคงในการยึดติดกับผลสัมที่นำมาทดสอบ ทำให้ในบางครั้งเกิดการเคลื่อนตัวของผลสัมขณะที่กำลังเก็บข้อมูล ทำให้ข้อมูลที่วัดได้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นหากมีการพัฒนาให้ระบบที่ใช้ยึดจับผลสัมมีความมั่นคงขึ้นก็จะทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
3. ในระบบตรวจสอบคุณภาพสัมแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นมาใช้ความยาวคลื่นของแสงอินฟราเรดเพียงความยาวคลื่นเดียว ดังนั้นหากมีการพัฒนาระบบให้ใช้หลายความยาวคลื่นแสงในการตรวจสอบจะทำให้การตรวจสอบมีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

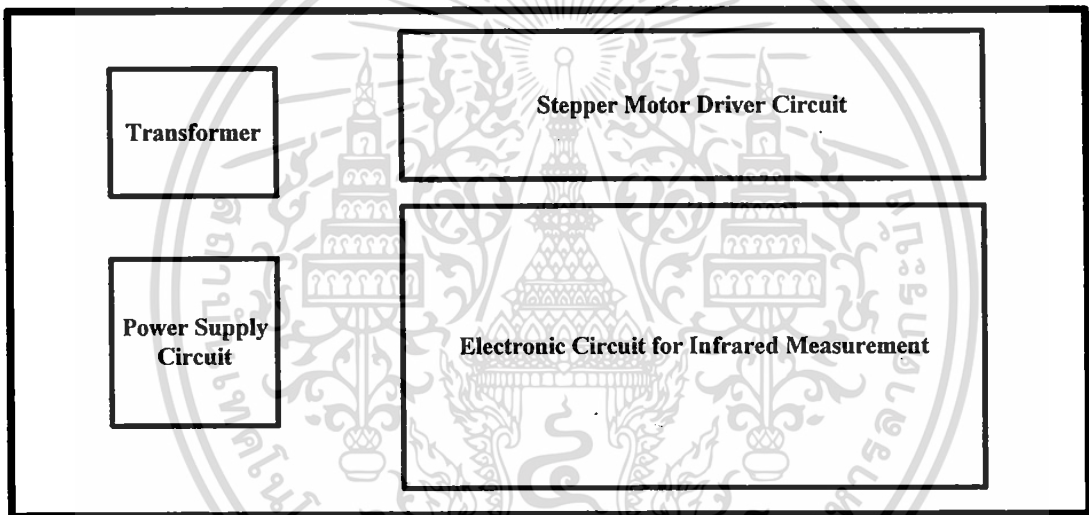
- [1] S. S. Deshpande, Munir Cheryan, Marvin R. Paulsen, D. K. Salunkhe. “ Nondestructive Optical Methods of Food Quality Evaluation. Critical reviews in food science and nutrition. 1984;21(4):323-79.
- [2] http://son.nasa.gov/tass/images/cont_emspec2.jpg
- [3] NE/SA/SE555/SE555C Timer. Philips Semiconductors, 14 Feb 2003.
- [4] IRF840, 8A, 500V, 0.850 Ohm, N-Channel Power MOSFET. Fairchild Semiconductor Corporation. January 2002.
- [6] OP37, Low Noise, Precision, High Speed Operational Amplifier, Analog Devices, Inc., 2002.
- [7] AD818, Low Cost, Low Power Video Op Amp, Analog Devices, Inc, 2003.
- [8] MX536A/MX636, True RMS-to-DC Converters, Maxim Integrated Products, 1998.
- [9] Avinash C. Kak and Malcolm Slaney. “Principles of computerized tomographic imaging” The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York. 1999.
- [10] พิทยา อึ้งพินิจพงศ์, “การปรับปรุงคุณภาพของภาพตัดขวางจากภาพเอ็กซเรย์โดยใช้อัลกอริทึมทางพีชคณิต” วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [11] อติศักดิ์ ร่มพุดตาล “การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกด้วยเทคนิคทางพีชคณิต” วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- [12] ชีรศักดิ์ จันทร์วิมลือง, “การปรับปรุงการสร้างภาพตัดขวางจากเครื่องเอ็กซเรย์ชนิดลำแสงกรวยกรณีหลอดเอ็กซเรย์อยู่ที่ตำแหน่งใดๆ” วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.

ภาคผนวก ก

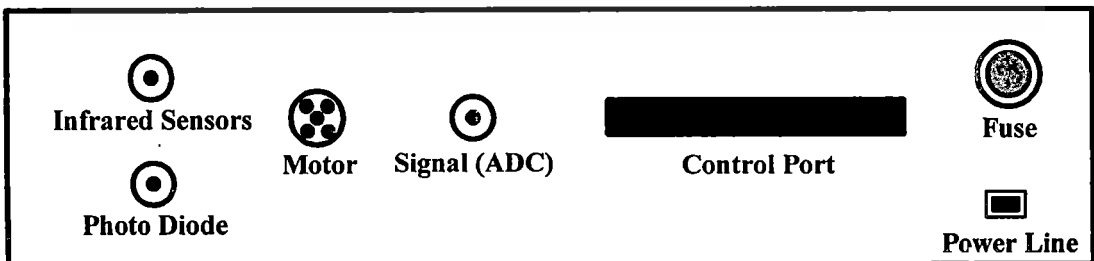
ลักษณะการวางเลย์เอาต์ของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด



รูปที่ ก1 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด



รูปที่ ก2 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

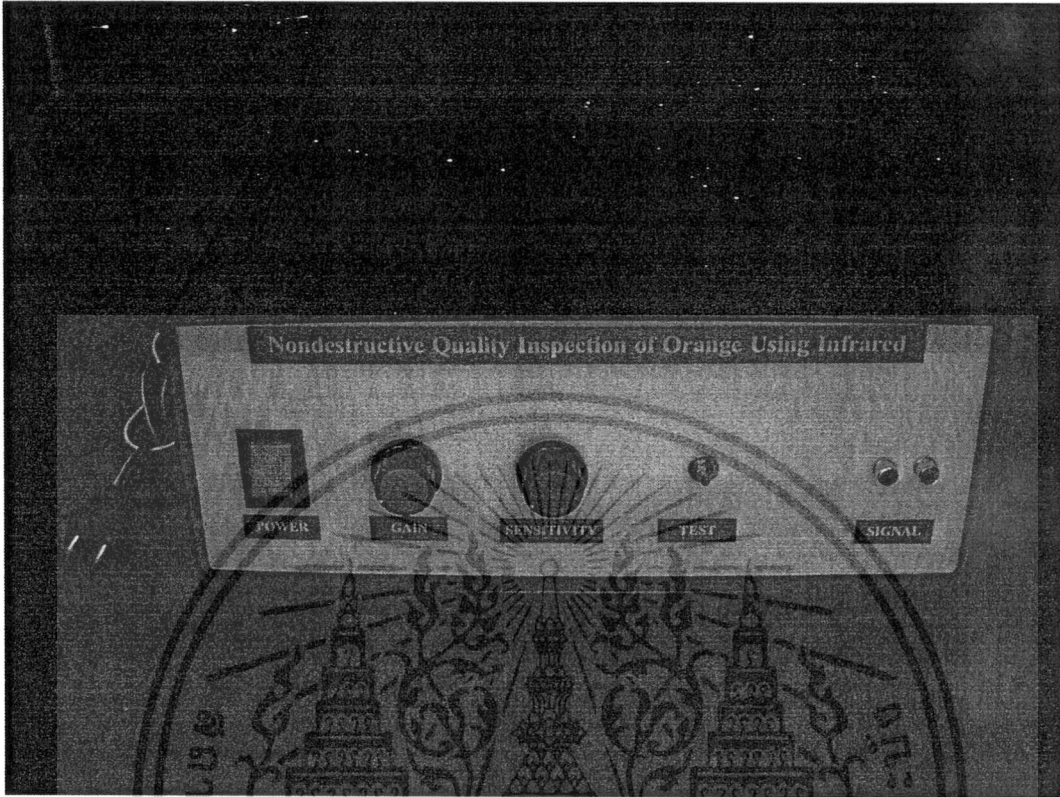


รูปที่ ก3 แสดงการวางเลย์เอาต์ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

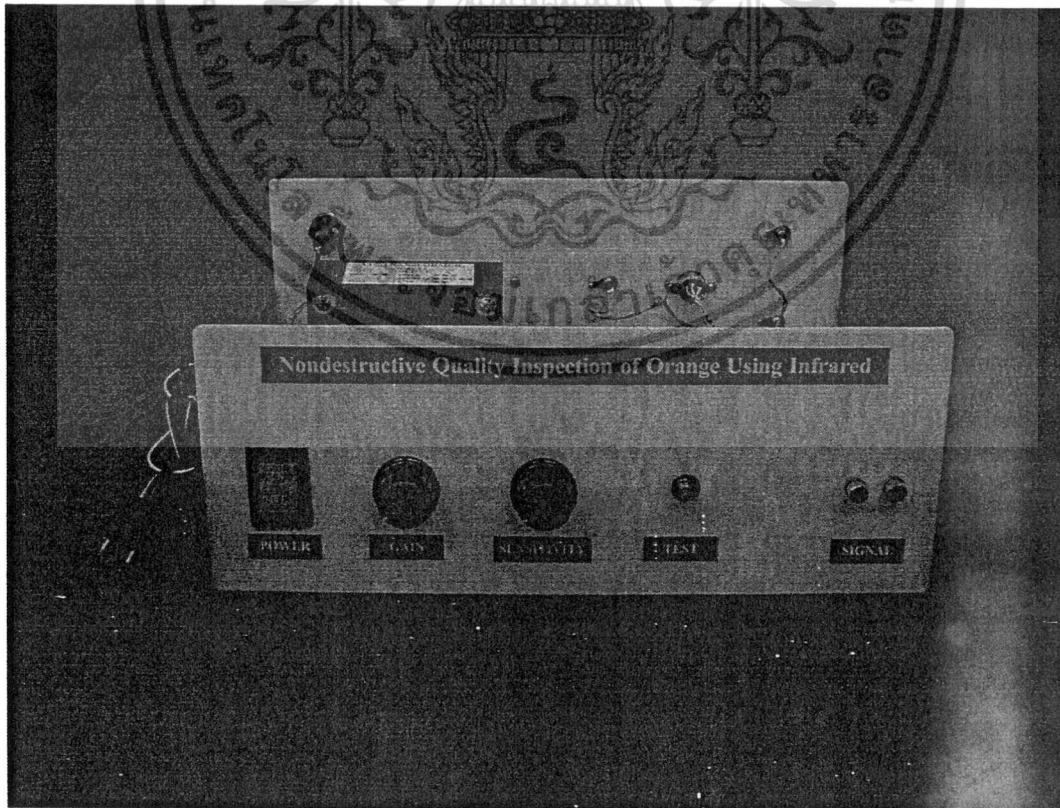
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

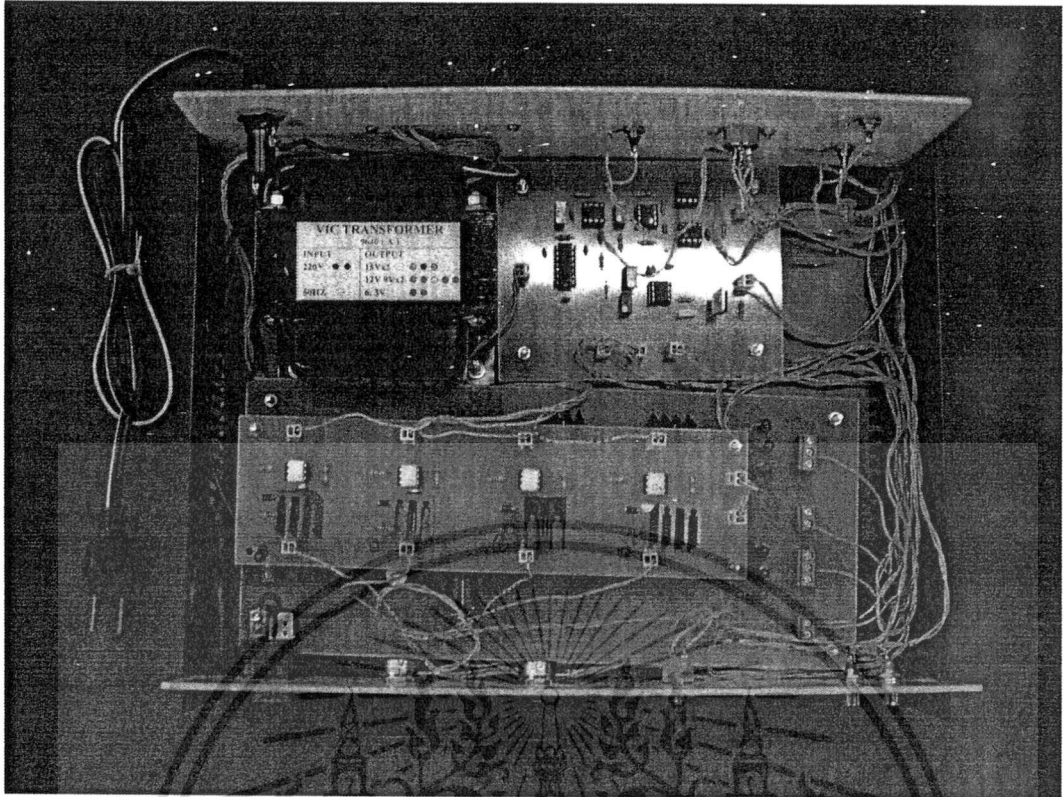
ต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด



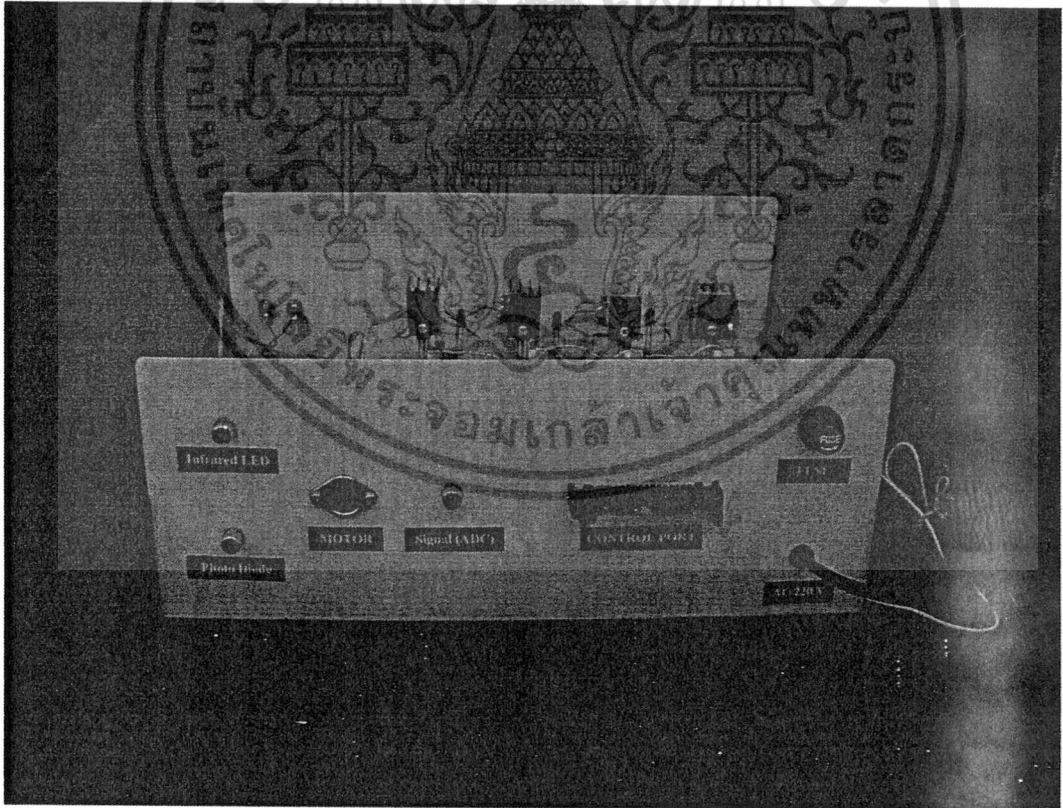
รูปที่ ข1 ต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด



รูปที่ ข2 ด้านหน้าของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข3 ด้านบนของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด



รูปที่ ข4 ด้านหลังของต้นแบบระบบตรวจสอบคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายด้วยแสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้