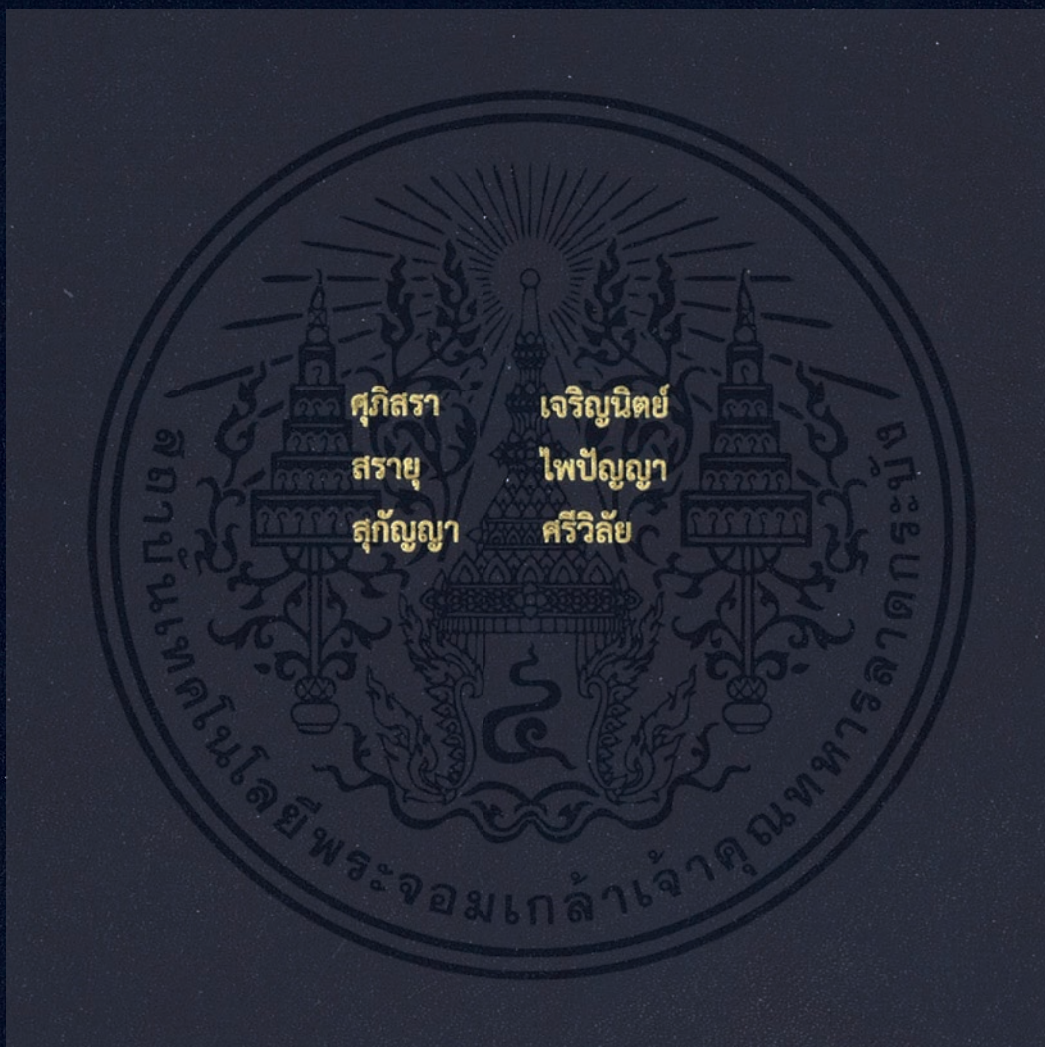


การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนบนพื้นฐานของ IR  
ในกรณีศึกษาดอกไม้สด

ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR :  
A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนบนพื้นฐานของ IR  
ในกรณีศึกษาดอกไม้สด

ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR :  
A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR :  
A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์บนพื้นฐานของ IR  
ในกรณีศึกษาของดอกไม้สด

ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR :  
A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวศุภิสรา เจริญนิตย์ รหัสประจำตัว 58011261  
นายสรายุ ไพปัญญา รหัสประจำตัว 58011275  
นางสาวสุกัญญา ศรีวิสัย รหัสประจำตัว 58011324

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนบนพื้นฐานของ IR ในกรณีศึกษาของดอกไม้สด		
	ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR : A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวศุภิสรา เจริญนิตย์	รหัสประจำตัว	58011261
	นายสรายุ ไพปัญญา	รหัสประจำตัว	58011275
	นางสาวสุกัญญา ศรีวิสัย	รหัสประจำตัว	58011324
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ		
ปีการศึกษา	2561		

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบระบบวัดปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีน เพื่อนำไปศึกษา ต่อยอดและประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมหรือในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีการเจือปนของฟอร์มาลีนอยู่ในอาหารหรือสิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อาจส่งผลเสียและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่อุปโภคและบริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาการดูดกลืนของสารฟอร์มาลีนที่ตอบสนองต่ออินฟราเรดและนำผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์มาเทียบกับสารฟอร์มาลีนแต่ละความเข้มข้น เอาต์พุตที่ได้ออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากการวัดอาจมีค่าน้อย จึงต้องใช้ตัวขยายสัญญาณเอาต์พุตให้เป็นแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 ถึง 4.5 โวลต์ แล้วส่งค่าไปที่คอนโทรลเลอร์บันทึกค่าและแสดงผลออกมา นำมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีน โดยการสอบเทียบมาตรฐานที่กำหนดขึ้นในการทดลอง พร้อมทั้งแสดงผลออกมาทางหน้าจอแบบอัตโนมัติ

Thesis Title	ANALYSIS OF FORMALIN CONCENTRATION BASED ON IR : A CASE STUDY OF FRESH FLOWERS	
Authors	Ms. Supitsara	Jarernnit
	Mr. Sarayu	Paipanya
	Ms. Sukanya	Srivilai
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Witsarut Sriratana	
Year	2018	

### ABSTRACT

This research project was developed to design a system for measuring the concentration of formalin to be educated and applied to industry or daily life. There is formalin contaminated in food or utensils that caused harmful to health directly or indirectly. The study of a wavelength of formalin, which reacts to infrared sensor and compared with the sensor response in each concentration of formalin. The output of the measurement may be minor value. Instead, use the amplifier outputs a voltage of 0.5 to 4.5V, then returns to the controller records and displays in a graph and analyzed the percentage concentration of formalin. The calibration standards set up in the trial and displays on the screen automatically.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นมาจาก ความเมตตากรุณาที่ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ จาก รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลการทำปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์และดูแลควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิด ผู้จัดทำมีความรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ และ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและคำสั่งสอนเพื่อนำมาจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณห้องปฏิบัติการเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการศึกษาวิจัย และสนับสนุนอุปกรณ์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ พร้อมกำลังใจที่มิให้กันตลอดการเรียนและการจัดทำปริญญานิพนธ์ที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาค้นคว้าซึ่งการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณความดีที่พึงมีจากการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแต่ บิดา มารดา รวมทั้งคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 หลักการและเหตุผลของโครงการ.....	1
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ฟอรัมาลีน (Formalin).....	3
2.1.1. การนำฟอรัมาลีนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้.....	4
2.1.1.1. ด้านอุตสาหกรรม.....	4
2.1.1.2. ด้านการเกษตร.....	4
2.1.1.3. ด้านการแพทย์.....	4
2.1.1.4. ด้านเครื่องสำอาง.....	4
2.1.2. ระดับความเป็นพิษของฟอรัมาลีนที่ได้รับทางระบบทางเดินหายใจ.....	5
2.2 แสงและสมบัติการดูดกลืนแสง.....	5
2.2.1. แสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.2.2. รังสีอินฟราเรด.....	6
2.2.2.1. ช่วงรังสีอินฟราเรดตามความยาวคลื่น.....	6
2.2.2.2. คุณสมบัติของคลื่นอินฟราเรด.....	7
2.2.2.3. สมบัติการดูดกลืนแสง.....	7

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.4. สมบัติการดูดกลืนแสงของฟอร์มาลีน.....	10
2.2.2.5. สมบัติการดูดกลืนแสงของน้ำ.....	11
2.3 เซนเซอร์ชนิดลำแสงสะท้อนกลับวัตถุโดยตรง.....	11
<b>บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>13</b>
3.1 โครงสร้างระบบ.....	13
3.2 อุปกรณ์ระบบตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีน.....	13
3.2.1 TCRT 5000 Module.....	13
3.2.2 Switching Power Supply.....	14
3.2.3 หลอดทดลอง.....	14
3.2.4 วงจรขยายสัญญาณ AD524.....	15
3.2.5 ส่วนประมวลผล.....	16
3.3 การออกแบบระบบตรวจวัด.....	17
3.3.1 ออกแบบการติดตั้งเซนเซอร์และอุปกรณ์.....	17
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	19
3.4 การออกแบบการทดลอง.....	21
3.4.1 การทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	21
3.4.2 การทดลองภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก.....	21
3.4.2.1 ทดลองการตอบสนองของน้ำปะปากับฟอร์มาลีนในอัตราต่าง ๆ.....	21
3.4.2.2 ทดลองการตอบสนองของน้ำสีกับฟอร์มาลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	21
3.4.3 การทดลองการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลีน.....	22
<b>บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผล.....</b>	<b>25</b>
4.1 การทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน.....	25
4.1.1 การทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแสงรบกวน.....	25
4.1.2 การทดลองภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก.....	26
4.2 การทดลองภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก.....	28
4.2.1 การทดลองการตอบสนองของน้ำปะปากับฟอร์มาลีน.....	28
4.2.2 การทดสอบการตอบสนองของน้ำสีกับฟอร์มาลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2.1 น้ำสีผสมอาหารสีเขียว.....	29
4.2.2.2 น้ำสีผสมอาหารสีเหลือง.....	31
4.2.2.3 น้ำสีผสมอาหารสีแดง.....	32
4.2.3 การทดสอบการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลิน ฯ.....	33
4.2.3.1 การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 3 นาที.....	33
4.2.3.2 การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 5 นาที.....	35
4.2.3.3 การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 15 นาที.....	36
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>38</b>
5.1 สรุป.....	38
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข.....	38
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	39
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>40</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>42</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารฟอร์มาลีน.....	3
2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุผ่านกับค่าการดูดกลืน.....	9
4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปในสภาวะที่มีแสงรบกวน.....	25
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปภายใต้เงื่อนไขการกำจัด.....	26
แสงภายนอก	
4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำประปากับฟอร์มาลีนภายใต้เงื่อนไข.....	28
การกำจัดแสงภายนอก	
4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหารสีเขียวกับฟอร์มาลีน.....	30
ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	
4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหารสีเหลืองกับฟอร์มาลีน.....	31
ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	
4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหารสีแดงกับฟอร์มาลีน.....	32
ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	
4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลีน.....	34
ระยะเวลา 3 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	
4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลีน.....	35
ระยะเวลา 5 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	
4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลีน.....	36
ระยะเวลา 15 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก	

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความยาวคลื่นของสีช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า .....	6
2.2 ความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่าง ๆ .....	6
2.3 ปฏิกิริยาการส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ.....	7
2.4 โครงสร้างกราฟการดูดกลืนคลอโรฟิล.....	8
2.5 แสงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบสารตัวอย่าง .....	8
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน.....	10
2.7 กราฟค่าการดูดกลืนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่น NIR ในสารละลายฟอร์มาลิน .....	10
2.8 กราฟค่าการทะลุผ่านของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่น NIR ในน้ำ .....	11
2.9 เซ็นเซอร์แสง.....	11
2.10 ส่วนประกอบของเซนเซอร์แสง.....	12
2.11 การทำงานของโฟโตเซ็นเซอร์แบบสะท้อนกับวัตถุโดยตรง .....	12
3.1 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลิน .....	13
3.2 โครงสร้าง TCRT 5000 Module .....	14
3.3 ลักษณะ Switching Power Supply .....	14
3.4 ลักษณะหลอดทดลองฝาเกลียว .....	15
3.5 ลักษณะและโครงสร้างของ IC AD524 .....	15
3.6 โครงสร้างวงจรขยายสัญญาณ AD524 .....	16
3.7 โครงสร้างระบบการประมวลผลความเข้มข้นฟอร์มาลิน .....	16
3.8 ออกแบบการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับการวัด.....	17
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซนเซอร์ ในระยะการติดตั้งต่าง ๆ.....	17
3.10 รายละเอียดระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (ภาพออกแบบ) .....	18
3.11 รายละเอียดระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (จริง) .....	18
3.12 แผนภูมิวิเคราะห์การทำงานของระบบ .....	19
3.13 รายละเอียดคำสั่งสำหรับอ่านค่าความเข้มข้นฟอร์มาลิน.....	20
3.14 แผนภูมิการทดลองการตอบสนองของนี้ต่าง ๆ ที่ผสมสารฟอร์มาลิน.....	23
3.15 แผนภูมิการทดลองการตอบสนองของตัวอย่างดอกลีที่แช่ฟอร์มาลิน.....	24
4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกของการทดลองที่มีการกำจัดแสงกับการ.....	27
ทดลองที่ไม่มีการกำจัดแสงในการทดลอง 1 ครั้ง เป็นเวลา 60 วินาที	

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกกับความเข้มข้นของฟอร์มาลีนด้วยการทดลอง.....29 ทั้งหมด 10 ครั้ง	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำส้มอาหาร สีเขียว.....33 สีแดง สีเหลือง และน้ำประปาที่ผสมกับฟอร์มาลีนที่อัตราส่วน คือ 100% 80% 50% 20% และ 6%ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสง	
4.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากหลอดทดสอบที่แช่ตัวอย่างไว้เป็น.....37 ระยะเวลา 3 นาที 5 นาที และ 15 นาที	



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีนําสารเคมีหลากชนิดมาใช้ในด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านการค้า ด้านความงามและด้านต่าง ๆ ทำให้เกิดการเจ็บปนของสารเคมีเหล่านั้นอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา ซึ่งหากเป็นสารเคมีที่ระเหยออกสู่อากาศได้ เมื่อไม่ได้ป้องกันและสูดดมเข้าไปก็จะเกิดอันตรายต่อร่างกายของเรา โดยโครงการของเราจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการปนเปื้อนของสารเคมีในเชิงการค้าจำพวกของสด ดอกไม้สด หรือของซึ่งเน่าเสียง่าย โดยจากงานวิจัย [1] ได้มีการกล่าวถึงการรักษาความสดของดอกไม้ และพวงมาลัยโดยการใช้สารฟอร์มัลดีไฮด์ ที่อยู่ในรูปสารละลายฟอร์มัลลินมาเจือจางความเข้มข้นฉีดใส่ดอกไม้เพื่อรักษาความสดให้ยาวนาน

ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายได้ทำการวิเคราะห์ฟอร์มัลลินด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น การใช้แก๊สเซนเซอร์สำหรับวัดสารระเหยจากฟอร์มัลลินในรูปของฟอร์มัลดีไฮด์ [2] การตรวจวัดความเข้มข้นของฟอร์มัลลินด้วยเทคนิคการนำไฟฟ้า [3] และการออกแบบฟิล์มบางสำหรับตรวจจับฟอร์มัลลิน [4 และ 5] เป็นต้น โดยโครงการวิจัยนี้ได้ทำการตรวจจับความเข้มข้นฟอร์มัลลินในกรณีศึกษาการเจ็บปนของฟอร์มัลลินบนดอกไม้ตามท้องตลาดด้วยเทคนิคการดูดกลืนความเข้มแสงจากสารฟอร์มัลลินโดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์แสง TCRT5000 เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถติดตั้งได้ง่าย

### 1.2 หลักการและเหตุผลของโครงการ

จากการศึกษาหลักการดูดกลืนของคลื่นแสงของฟอร์มัลลิน ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ พบว่าฟอร์มัลลินมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR มากเป็นพิเศษ จึงได้นำหลักการนี้มาประยุกต์จากเซ็นเซอร์วัดระยะทางโดยอินฟราเรด โดยทำการฉายแสงอินฟราเรดผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลาย ให้ไปสะท้อนกับฉากแล้วกลับมาที่ตัวรับ จากนั้นทำการวัดความเข้มของแสงอินฟราเรดที่สะท้อนกลับมา เปรียบเทียบกับความเข้มแสงอินฟราเรดที่ฉายออกไป โดยเอาต์พุตที่ได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะน้อยลงเพราะความเข้มของแสงอินฟราเรดบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ภายในสารละลายฟอร์มัลลิน ทำให้สามารถวัดปริมาณของสารละลายฟอร์มัลลินที่เจือปนอยู่ในน้ำได้

### 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของสารฟอร์มัลลิน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเซนเซอร์แสง TCRT5000 สำหรับตรวจจับความเข้มข้นของสารฟอร์มัลลิน
3. เพื่อศึกษาการออกแบบและติดตั้งระบบตรวจจับที่เหมาะสม ในกรณีศึกษาสารฟอร์มัลลินที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เจ็บบนดอกไม้ด้วยเทคนิคการดูกลิ่นแสง

### 1.4 ขอบเขตของโครงการ

ในโครงการนี้ต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้เซนเซอร์แสง TCRT5000 ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อตรวจจับสารฟอร์มาลีน โดยนำมาประยุกต์ใช้วัดความเข้มข้นของฟอร์มาลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ และตรวจวัดความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนที่เจ็บบนดอกไม้เป็นกรณีศึกษา

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาคุณสมบัติการดูกลิ่นแสงของสารฟอร์มาลีน
2. ศึกษาคุณสมบัติของเซนเซอร์แสง TCRT5000 สำหรับตรวจจับความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีน
3. ศึกษาการออกแบบและติดตั้งระบบตรวจจับที่เหมาะสม ในกรณีศึกษาสารฟอร์มาลีนที่เจ็บบนดอกไม้ด้วยเทคนิคการดูกลิ่นแสง

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้งานได้จริงกับการเจ็บบนของสารฟอร์มาลีนที่อยู่ในอาหารหรือสิ่งของเครื่องใช้อื่น ๆ นอกจากดอกไม้สด เช่น อุตสาหกรรมประมง
2. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนในดอกไม้สดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

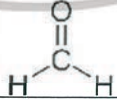
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ ทำการตรวจจับความเข้มข้นฟอร์มาลีนในกรณีศึกษาการเจือปนของฟอร์มาลีนบนดอกไม้สดตามท้องตลาดด้วยเทคนิคการดูดกลืนความเข้มแสงจากสารฟอร์มาลีนโดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์แสง TCRT5000 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การดูดกลืนแสงของสารฟอร์มาลีน ซึ่งรวมไปถึงทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการออกแบบและติดตั้งการวัดให้เหมาะสม

#### 2.1 ฟอร์มาลีน (Formalin)

สารฟอร์มาลีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ การรักษาทางการแพทย์ และนำไปผสมเพื่อรักษาสภาพของสัตว์หรือชิ้นเนื้อที่ตายแล้ว ฟอร์มาลีนที่ใช้กันทั่วไป เป็นสารที่เตรียมได้จากการนำฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) กับน้ำ ซึ่งฟอร์มาลดีไฮด์มีความสามารถละลายน้ำได้ดีมาก และสามารถรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์เมื่อความเข้มข้นมากขึ้น แต่การรวมตัวกันของฟอร์มาลดีไฮด์จะลดลงเมื่อเติมเมทานอลผสมด้วย โดยทั่วไปในท้องตลาดจะมีจำหน่ายฟอร์มาลีนที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ประมาณ 37 ถึง 50% โดยมวลต่อปริมาตร และมีส่วนผสมของเมทานอลอยู่ประมาณ 10 ถึง 15% เพื่อป้องกันการเกิดโพลิเมอร์พาราฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่า

#### ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสารฟอร์มาลีน

ชื่อทั่วไป	ฟอร์มาลีน (Formalin)
ชื่อทางเคมี	ฟอร์มาลดีไฮด์
สูตรโมเลกุล	$CH_2O$
สูตรโครงสร้าง	
น้ำหนักโมเลกุล	30.03 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	-19.3 °C
จุดหลอมเหลว	-117 °C
ลักษณะทั่วไป	ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.1 การนำฟอร์มาลินมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

สารฟอร์มาลินนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในด้านอุตสาหกรรม ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ ด้านเครื่องสำอาง ซึ่งในแต่ละด้านจะไปประยุกต์ใช้เกิดประโยชน์ได้อย่างมาก

### 2.1.1.1 ด้านอุตสาหกรรม

1. ใช้ในกระบวนการผลิตเรซิน และพลาสติกใช้ในการผลิต Urotropin, แอลกอฮอล์ ยา สี และวัตถุระเบิดในเป็นสารเร่งการเกาะติดสี
2. เป็นสารช่วยย้อมใช้ในการบวนการฟอกสีใช้ในการบวนการผลิตสี และหมึกพิมพ์ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำให้กระดาษลื่น
3. ช่วยกันน้ำใช้เป็นส่วนผสมโลหะ ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันใช้ผลิตผงสำหรับการใช้ในไหมสังเคราะห์เพื่อช่วยปรับปรุงน้ำหนัก และความแข็งแรง
4. ช่วยรักษาสภาพถ่ายให้เก็บรักษาได้นานใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาฆ่าเชื้อ
5. ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ

### 2.1.1.2 ด้านการเกษตร

1. ใช้ในการเก็บรักษาผลผลิตให้สามารถเก็บไว้ได้นานทั้งผัก ผลไม้ ดอกไม้ และเนื้อสัตว์จึงมักมีข่าวการตรวจพบแม็ดำผสมฟอร์มาลินในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ อาทิ เนื้อหมู ไก่ ปลา กุ้ง ปลาหมึก เป็นต้น
2. ศึกษาการออกแบบและติดตั้งระบบตรวจจับที่เหมาะสม ในกรณีศึกษาสารฟอร์มาลินที่เจือปนบนดอกไม้ด้วยเทคนิคการดูกลิ่นแสง
3. ใช้ในการป้องกันความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรในระหว่างการขนส่ง
4. ใช้ทำความสะอาด และฆ่าเชื้ออุปกรณ์ และอาคารโรงเรือน
5. ใช้เป็นปุ๋ย

### 2.1.1.3 ด้านการแพทย์

1. ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ และทำความสะอาดอุปกรณ์ และเครื่องมือทางการแพทย์
2. ใช้สำหรับเก็บรักษาสภาพศพ เก็บรักษาร่างกายสัตว์

### 2.1.1.4 ด้านเครื่องสำอาง

1. ใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอางป้องกันเหงื่อออกมาก
2. ใช้เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก สบู่ และครีมโกนหนวด สำหรับเป็นสารฆ่าเชื้อ
3. ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาดับกลิ่นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2. ระดับความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ได้รับทางระบบทางเดินหายใจ

1. ที่ความเข้มข้นประมาณ 1 ส่วนในล้านส่วน สามารถรับรู้กลิ่นถึงกลิ่นได้เล็กน้อย
2. ที่ความเข้มข้นประมาณ 2 ถึง 3 ส่วนในล้านส่วน เริ่มระคายเคืองในระบบหายใจ
3. ที่ความเข้มข้นประมาณ 4 ถึง 5 ส่วนในล้านส่วน มีอาการน้ำตาไหล และระคายเคืองในระบบหายใจ
4. ที่ความเข้มข้นประมาณ 10 ส่วนในล้านส่วน มีอาการน้ำตาไหล ไหลไม่หยุด และระคายเคืองในระบบหายใจ
5. ที่ความเข้มข้นประมาณ 10 ถึง 20 ส่วนในล้านส่วน มีอาการน้ำตาไหล และระคายเคืองในระบบหายใจรุนแรง มีอาการแสบร้อนที่คอ หายใจลำบาก และไอ
6. ที่ความเข้มข้นประมาณ 50 ถึง 100 ส่วนในล้านส่วน ขึ้นไป จะมีอาการแสบร้อน น้ำตาไหลไม่หยุด และระคายเคืองในระบบหายใจรุนแรงหากมีอาการแพ้จะทำให้ช็อกหมดสติและเสียชีวิตในที่สุด

เนื่องด้วยคุณสมบัติเด่นในเรื่องการฆ่าเชื้อและรักษาสภาพของสัตว์ ด้วยคุณสมบัติเด่นเหล่านี้ ถึงแม้จะมีอันตรายแต่ก็ยังมีการนำมาใช้ในทางที่ผิดกับอาหาร เพื่อให้อาหารคงความสดและน่ารับประทาน โดยตามธรรมชาติฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเกิดขึ้นเองในอาหารชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีปริมาณน้อยและสลายตัวได้โดยแสงอาทิตย์ ออกซิเจนและความชื้น และร่างกายของคนเราสามารถกำจัดได้ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย การบริโภคอาหารปนเปื้อนฟอร์มาลีนในปริมาณสูงจะเกิดความผิดปกติของระบบทางเดินอาหารเฉียบพลัน คือทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องเสีย อาหารที่มีโอกาสพบว่ามีสารปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ได้แก่ ปลาหมึก กุ้ง หอย และจำพวกดอกไม้พวงมาลัยที่จะนำมาทำเป็นเป็นกรณีศึกษาในโครงการนี้

## 2.2 แสงและสมบัติการดูดกลืนแสง

แสงเป็นทั้งคลื่นและอนุภาคโดยไม่อาศัยตัวกลาง ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญที่นำไปประยุกต์ใช้ในเซนเซอร์แสง TCRT 5000 คือ การดูดกลืนแสงของช่วงรังสีอินฟราเรด

### 2.2.1 แสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ธรรมชาติของแสงนั้นแสงประพฤติตัวเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค เมื่อแสงมีคุณสมบัติความเป็นคลื่นแล้ว จึงสามารถจัดแสงให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมตั้งฉากและเคลื่อนที่ไปในอากาศด้วยความเร็ว 300,000,000 เมตรต่อวินาที โดยปกติแล้วแสงที่ตามองเห็น (Visible light) จะเป็นช่วงความยาวคลื่นหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถสัมผัสได้ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความยาวคลื่นของสีช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า [7]

นอกจากช่วงความยาวคลื่นของแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแล้วยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้อีกหลายชนิด เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นถัดจากสีแดงมา เราเรียกว่า รังสีอินฟราเรด หรือรังสีความร้อน ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่าง ๆ [8]

### 2.2.2. รังสีอินฟราเรด

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.76-100 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่สายตามองไม่เห็นโดยรังสีอินฟราเรดมีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห การสะท้อน การดูดซับ หรือการส่องผ่านตัวกลาง แสดงดังรูปที่ 2.3

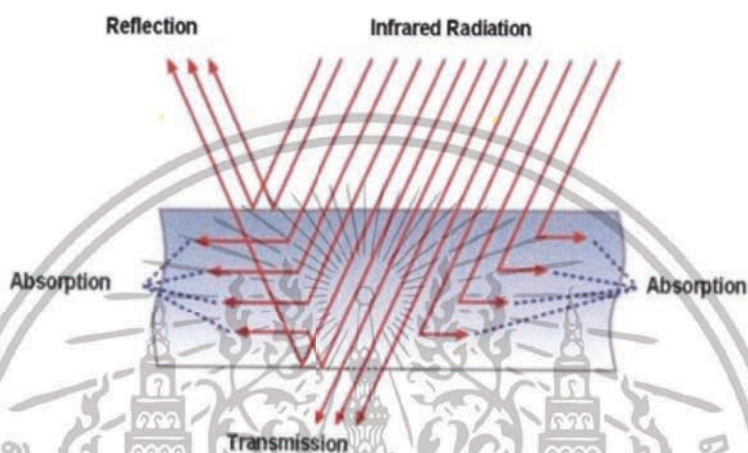
#### 2.2.2.1. ช่วงรังสีอินฟราเรดตามความยาวคลื่น

ออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infra-red หรือ NIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 0.76 ถึง 2 ไมโครเมตร (760 ถึง 2,000 นาโนเมตร)
2. รังสีอินฟราเรดย่านปานกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR) มีความยาวคลื่นในช่วง 2 ถึง 4 ไมโครเมตร (2,000 ถึง 4000 นาโนเมตร)

3. รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infra-red หรือ FIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 4 ไมโครเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร (4,000 นาโนเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร)

การดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะของผิววัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ สำหรับปรากฏการณ์ในขณะที่ยังรังสีอินฟราเรดตกกระทบวัตถุมี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน (Transmission) ดูดซับ (Absorption) และสะท้อน (Reflection)



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ [9]

#### 2.2.2.2 คุณสมบัติของคลื่นอินฟราเรด

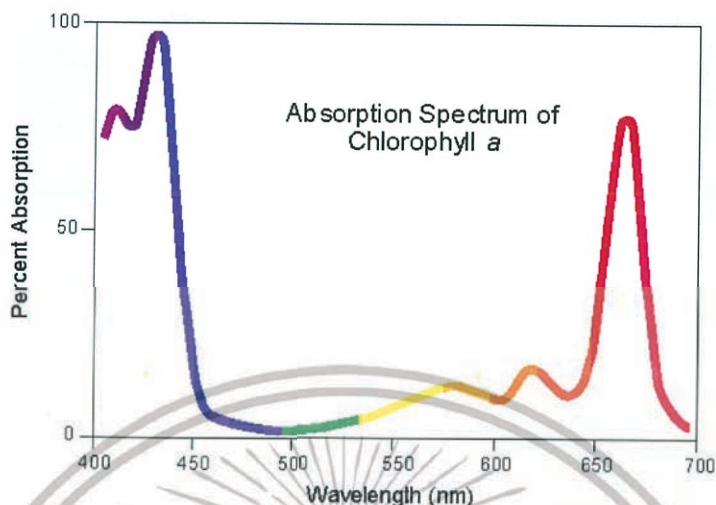
1. ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ยิ่งความถี่สูงขึ้น พลังงานก็จะยิ่งสูงขึ้นไปด้วย
3. อัตราเร็วของคลื่นในสุญญากาศมีค่า  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสง
4. เป็นคลื่นตามขวาง
5. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

#### 2.2.2.3 สมบัติการดูดกลืนแสง

การดูดกลืนแสงยกตัวอย่างง่าย ๆ คือการมองเห็นสีต่าง ๆ ของแสงสีขาว โดยเมื่อแสงขาวผ่านทะลุวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นอาจดูดกลืนแสงบางส่วนหรือดูดกลืนทั้งหมดหรือไม่ดูดกลืนเลย ถ้าสารดูดกลืนแสงทั้งหมดเราจะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่ดูดกลืนแสงเลยเราจะมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีขาว แต่ถ้าดูดกลืนแสงบางส่วนจะเห็นสีที่ถูกดูดกลืนไปน้อยที่สุด ซึ่งคุณสมบัติการดูดกลืนดังกล่าวนี้ ในสสารแต่ละชนิดจะมีค่าเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป โดยจะยกตัวอย่างจากสารสีที่เรียกว่าคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในต้นไม้ทำให้ใบมีสีเขียว เมื่อนำคลอโรฟิลล์มาพิจารณาสเปกตรัมการดูดกลืนด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) จะพบว่า

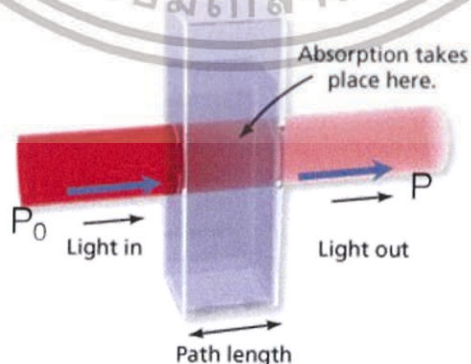
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรฟิลล์จะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงแสงสีม่วง-น้ำเงิน และช่วงแสงสีแดง แต่ดูดกลืนในช่วงของแสงสีเขียวได้น้อยดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างกราฟการดูดกลืนคลอโรฟิล [2]

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เมื่อแสงตกกระทบบน Chlorophyll จึงทำให้แสงสีอื่น ๆ นอกจากสีเขียวถูกดูดกลืนเข้าไปมากกว่าปกติ และเขียวที่ถูกดูดกลืนน้อยจะสะท้อนออกมาเข้าที่ประสาทตาของเราทำให้เห็นเป็นสีเขียวเป็นต้น เนื่องจากแสงประพุดิตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในเชิงการดูดกลืนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็เช่นเดียวกันกับแสง เมื่อตกกระทบบนวัตถุที่สามารถดูดกลืนโฟตอนได้ การวัดการดูดกลืนแสงจะพิจารณาเฉพาะแสงที่ตกกระทบบน (Incident light) แสงที่ถูกดูดกลืน (Absorbed light) และแสงที่สะท้อนกลับออกมา หรือทะลุผ่านไป (Transmitted light) โดยไม่ได้คำนึงผลของแสงรบกวน (Stray light) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนสารตัวอย่าง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีจะกำหนด การทะลุผ่าน ( Transmittance,  $T$  ) เป็นสัดส่วน ปริมาณแสงที่ผ่านออกมา ( $P$ ) ต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง ( $P_0$ ) ดังสมการที่ (2.1)

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

การทะลุผ่านนิยมรายงานเป็นร้อยละการทะลุผ่าน (Transmittance Percentage,  $\%T$ ) ดังสมการที่ (2.2)

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

ค่าการดูดกลืนแสง หรือเรียกว่า แอบซอร์บแนนซ์ (Absorbance,  $A$ ) ของ สารละลายสัมพันธ์กับ ค่าการทะลุผ่าน ดังสมการที่ (2.3)

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0} = \log \frac{P_0}{P} \quad (2.3)$$

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเพิ่มขึ้นค่าการทะลุผ่านลดลง ค่าการดูดกลืนแสงสามารถ คำนวณจาก  $\%T$  ดังสมการ (2.4) ถึง (2.7)

$$\%T = 100 \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad (2.4)$$

$$A = -\log T \quad (2.5)$$

$$= -\log \%T + \log 100 \quad (2.6)$$

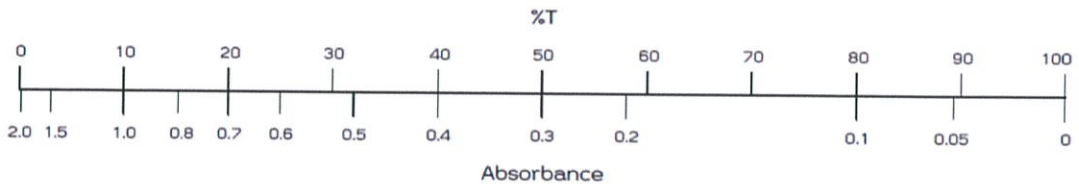
$$= 2 - \log \%T \quad (2.7)$$

ดังนั้น ค่า  $T$  มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และ  $\%T$  มีค่าตั้งแต่ 0-100 ดังตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุผ่านกับค่าการดูดกลืน [2]

Transmittance ( $P/P_0$ )	$\%T$ ( $\log P/P_0$ )	$\log \%T$	Absorbance ( $-\log T$ )
1	100	2	0
0.1	10	1	1
0.01	1	0	2
0.001	0.1	-1	3

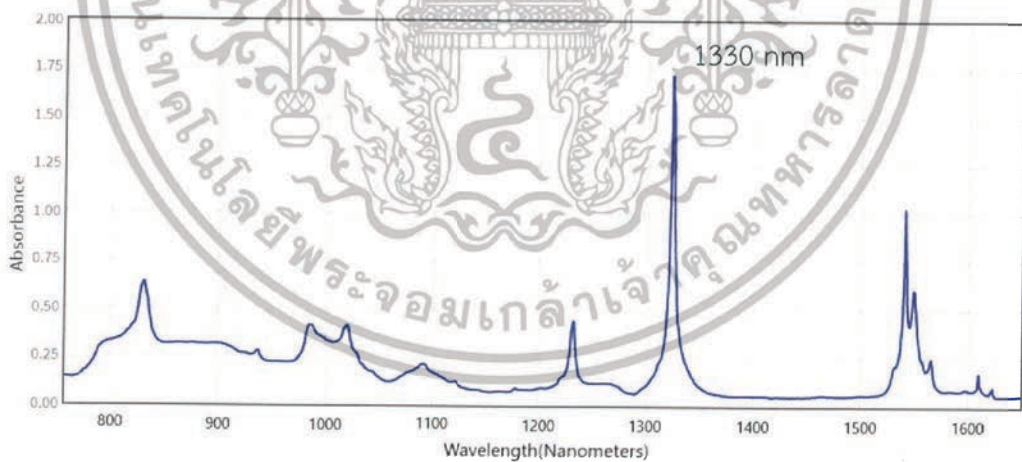
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน [2]

#### 2.2.2.4. สมบัติการดูดกลืนแสงของฟอร์มัลิน

จากที่กล่าวมาว่าความสามารถในการดูดกลืนแสง หรือ รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของสารในแต่ละความยาวคลื่นจะดูดกลืนได้ไม่เท่ากัน โดยมีค่าการดูดกลืนสูงสุด (Maximum Absorbance) จะปรากฏที่ความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นหนึ่ง เรียกว่า ความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุด (Maximum Absorptivity Wavelength,  $\lambda_{max}$ ) ซึ่งในสารบางชนิดอาจปรากฏ  $\lambda_{max}$  เพียงค่าเดียว แต่สารบางชนิดอาจปรากฏ  $\lambda_{max}$  ได้สองหรือ มากกว่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน จากโครงการวิจัย [3] ได้ทำการวัดคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของฟอร์มัลิน ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) ในช่วงความยาวคลื่นของ NIR ได้ผลดังรูปที่ 2.7 จะเห็นว่ามีจุดที่ค่าการดูดกลืนสูงที่สุดคือช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1330 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนประมาณ 1.75 ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์ในช่วงความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร

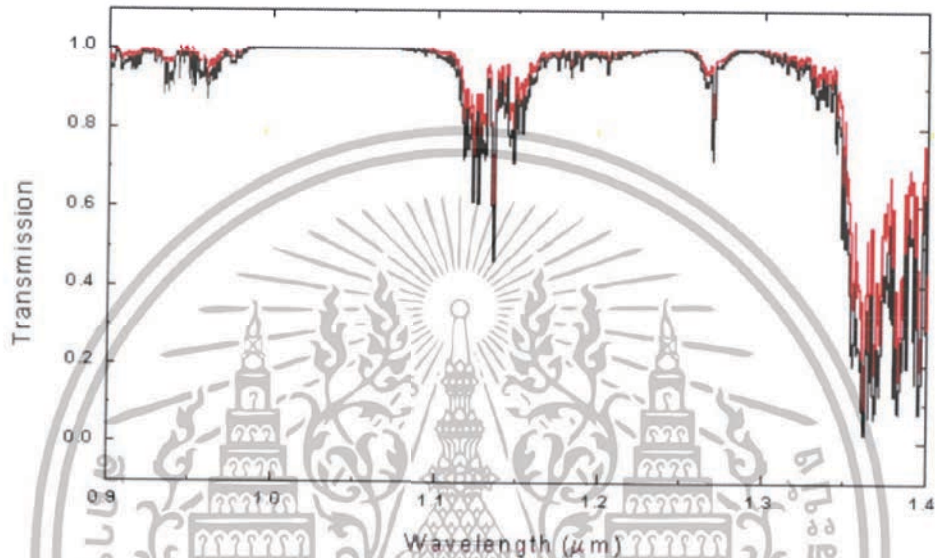


รูปที่ 2.7 กราฟค่าการดูดกลืนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่น NIR ในสารละลายฟอร์มัลิน [3]

หากลองคำนวณจากสมการที่ (2.7) แทนค่าการดูดกลืนเท่ากับ 1.75 จะได้ว่าร้อยละการทะลุผ่านเท่ากับ 1.778% หมายความว่ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 1330 นาโนเมตร จะสามารถทะลุผ่านสารละลายฟอร์มัลินได้เพียง 1.778%

### 2.2.2.5. สมบัติการดูดกลืนแสงของน้ำ

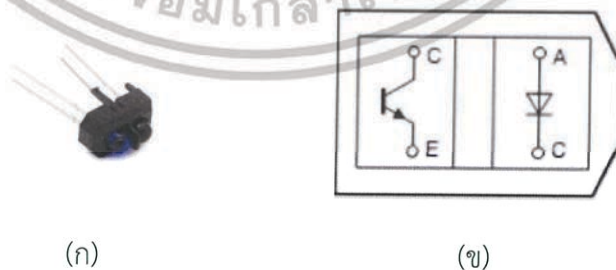
จากโครงการวิจัย [1] ได้ทำการวัดคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของน้ำด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) แล้วแสดงออกมาเป็นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับค่าการทะลุผ่านดังรูปที่ 2.8 จะสังเกตเห็นว่าในช่วงความยาวคลื่น 0.9 ถึง 1.4 ไมโครเมตร นั้นจะมีค่าการทะลุผ่านที่แตกต่างกันออกไป โดยทะลุผ่านได้มากช่วง 0.9 ถึง 1.1 ไมโครเมตร และทะลุผ่านได้น้อยมากในช่วง 1.35 ถึง 1.4 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.8 กราฟค่าการทะลุผ่านของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่น NIR ในน้ำ [1]

### 2.3 เซนเซอร์ชนิดลำแสงสะท้อนกลับวัตถุโดยตรง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน หรือการนำไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ เมื่อมีแสงมาตกกระทบ เซนเซอร์ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง



(ก)

(ข)

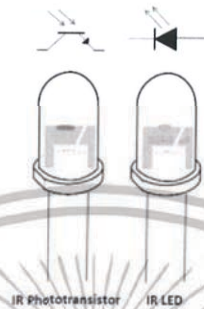
### รูปที่ 2.9 เซนเซอร์แสง

(ก) เซนเซอร์แสงรุ่น TCRT5000 [10]

(ข) วงจรภายในของเซนเซอร์แสง [10]

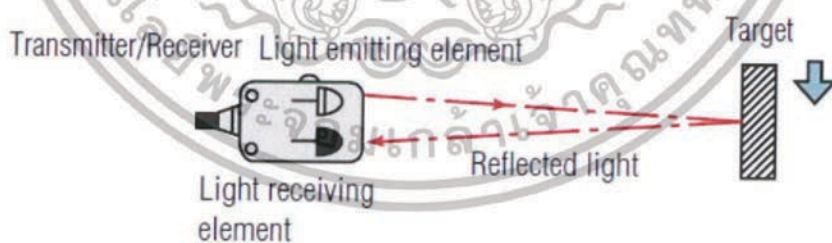
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) เมื่อมีแสงไปตกกระทบกับวัตถุใด ๆ วัตถุนั้นจะสะท้อนแสงกลับมาที่โฟโต้ไดโอด หรือโฟโตทรานซิสเตอร์ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสภาวะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์แสง [11]

ภายในตัวเซ็นเซอร์แบบนี้จะมีตัวส่งและตัวรับ ติดตั้งภายในตัวเดียวกันโฟโต้เซ็นเซอร์แบบสะท้อนกับวัตถุ จะใช้ตรวจจับชิ้นงานได้ทั้งลักษณะทึบ และโปร่งแสง ในสภาวะการทำงานปกติ ตัวรับจะไม่สามารถรับสัญญาณจากตัวส่ง ได้ เนื่องจากไม่มีวัตถุที่จะมาทำการสะท้อนสัญญาณ โดยเซ็นเซอร์นี้ จะทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าของเซ็นเซอร์ วัตถุที่ผ่านหน้าเซ็นเซอร์จะทำให้ สะท้อนลำแสงที่ส่งมาจากตัวส่ง กลับไปยังตัวรับ ซึ่งจะช่วยให้วงจรภายในรับรู้ได้ว่า มีวัตถุหรือชิ้นงานขวางอยู่ ทำให้สถานะของเอาต์พุตของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.11 การทำงานของโฟโต้เซ็นเซอร์แบบสะท้อนกับวัตถุโดยตรง [12]

## บทที่ 3

### การออกแบบและดำเนินงานวิจัย

ในส่วนนี้กล่าวถึงการออกแบบและดำเนินงานวิจัยของอุปกรณ์การตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีนโดยพื้นฐานการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน โดยเลือกใช้อินฟราเรดตามย่านความถี่หรือความยาวคลื่นที่สามารถตอบสนองกับสารเคมีที่ต้องการทำการทดสอบ สามารถนำความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนไปนั้นมาวิเคราะห์แล้วประมาณปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีนั้นได้ โดยทำการออกแบบเซ็นเซอร์เพื่อลดปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน และนำเอาข้อมูลที่ได้ออกมาแปลงให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเคมีชนิดนั้นต่อไป

#### 3.1 โครงสร้างระบบ

อุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีนมีองค์ประกอบหลัก คือ TCRT5000 Module ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวขยายสัญญาณและจอแสดงผล โดยค่าเอาต์พุตของเซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารฟอร์มาลีนตามแต่ละอัตราส่วนและผ่าน Differential Amplifier Circuit ซึ่งมีหน้าที่สำหรับขยายแรงดันไฟฟ้า ค่าที่ได้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีนแสดงดังรูปที่ 3.1

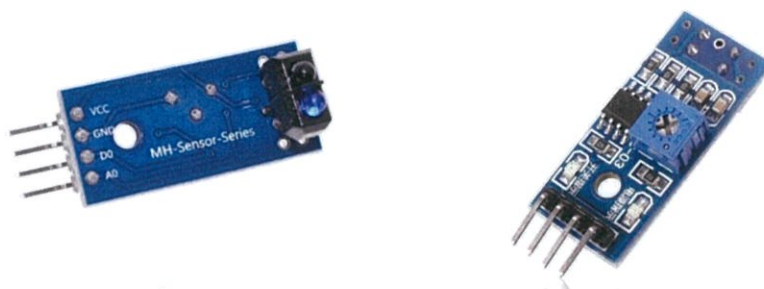


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีน

#### 3.2 อุปกรณ์ระบบตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีน

##### 3.2.1 TCRT 5000 Module

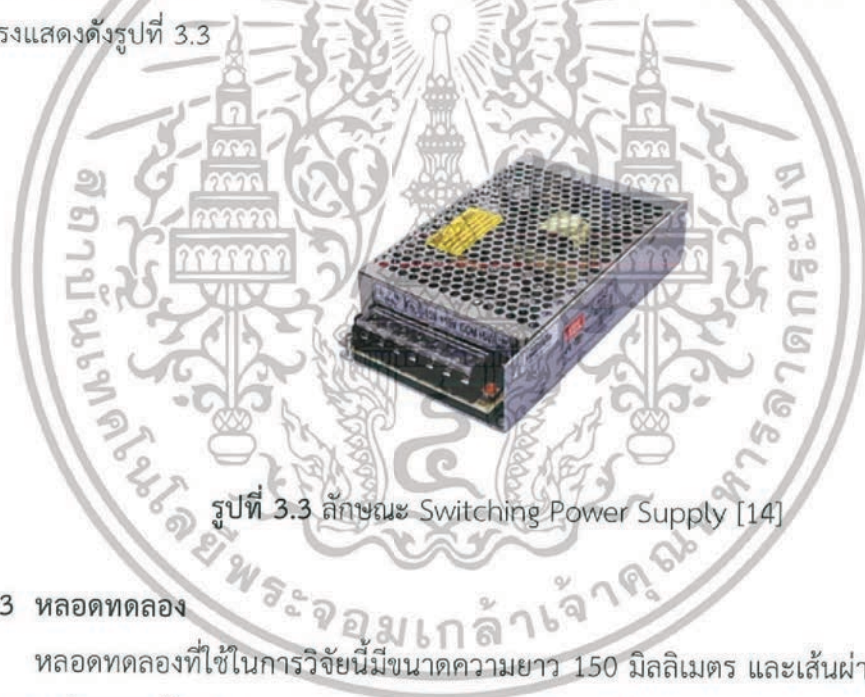
เป็นอินฟราเรดเซ็นเซอร์โมดูลสำหรับอ่านค่าสะท้อนกลับของแสง ซึ่งใช้ไฟเลี้ยงระบบเท่ากับ 3.3 ถึง 5 โวลต์ สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ซึ่งให้เอาต์พุตแบบอนาล็อก โดยจะแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขในสัญญาณทางไฟฟ้าช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ มีระยะการตรวจจับ 1 ถึง 25 มิลลิเมตร และส่งอินฟราเรดในช่วง 950 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้าง TCRT 5000 Module [13]

### 3.2.2 Switching Power Supply

มีหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ตรวจสอบความเข้มข้นฟอร์มาลีนและสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์สูงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ ได้แก่ 5 โวลต์ และ  $\pm 15$  โวลต์ โดยมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1 ถึง 50 วัตต์ มีเอาต์พุตช่วงความถี่ 47 ถึง 63 เฮิรต โดยใช้แรงจ่ายไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ต่อ115 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และ 0.8 แอมแปร์ต่อ230 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะ Switching Power Supply [14]

### 3.2.3 หลอดทดลอง

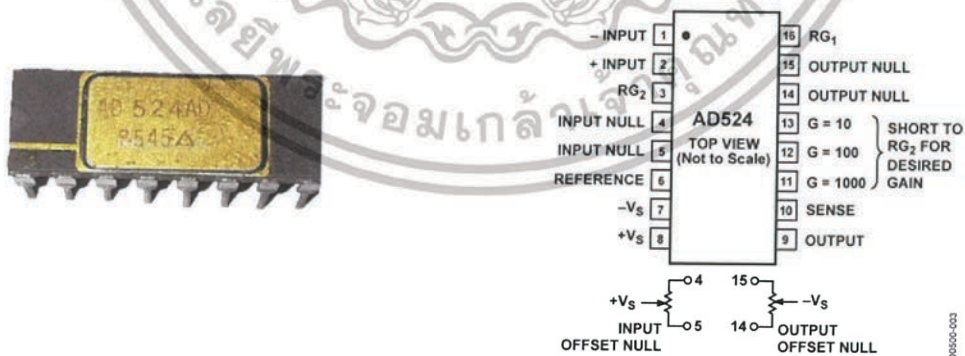
หลอดทดลองที่ใช้ในการวิจัยนี้มีขนาดความยาว 150 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ผลิตจากแก้ว 51 Expansion Borosilicate Glass มีคุณภาพตามมาตรฐาน USP Type และ ASTM E438 ทนทานต่อสารเคมี สำหรับฝาเกลียวปิดหลอดทดลอง ทำจากวัสดุพิเศษพีโนลิก (Phenolic) ซึ่งทนความร้อนสูงและไอน้ำเป็นวัสดุไม่ติดไฟ ไม่มีควัน ปิดหลอดได้แน่นสนิทของเหลวภายในไม่สามารถรั่วไหลได้ หลอดทดลองที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะหลอดทดลองฝาเกลียว [15]

### 3.2.4 วงจรขยายสัญญาณ AD524

สัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์มีค่าแรงดันที่ต่ำดังนั้นในการออกแบบจึงต้องใช้วงจรขยายร่วมด้วย เพื่อขยายสัญญาณเอาต์พุตให้มีค่าสูงขึ้น โดยวงจรขยายสัญญาณจะขยายผลต่างระหว่างอินพุตขาที่ 1 กับ ขาที่ 2 ซึ่งกำลังขยายที่ใช้ คือ 100 เท่า ( $G = 100$ ) ต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟแรงดัน  $-15$  โวลต์ ที่ขา 7 และแรงดัน  $+15$  โวลต์ ที่ขา 8 หลักการทำงานของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) คือ ขยายผลต่างระหว่างอินพุตทั้ง 2 ขา โดยขาที่ 1 จะรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ใช้ในการตั้งค่าเริ่มต้นของการวัดตามที่ต้องการ ส่วนขาที่ 2 จะรับสัญญาณจากขานาล็อกของเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นฟอร์มาลีนมาเปรียบเทียบผลต่างสัญญาณกับขาที่ 1 จากนั้นขยายผลต่างสัญญาณที่ได้ด้วยอัตราขยาย 100 เท่า เอาต์พุตที่ได้จะออกจากขาที่ 9 ของวงจรขยายสัญญาณ (AD524) ไปเข้าในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6



(ก)

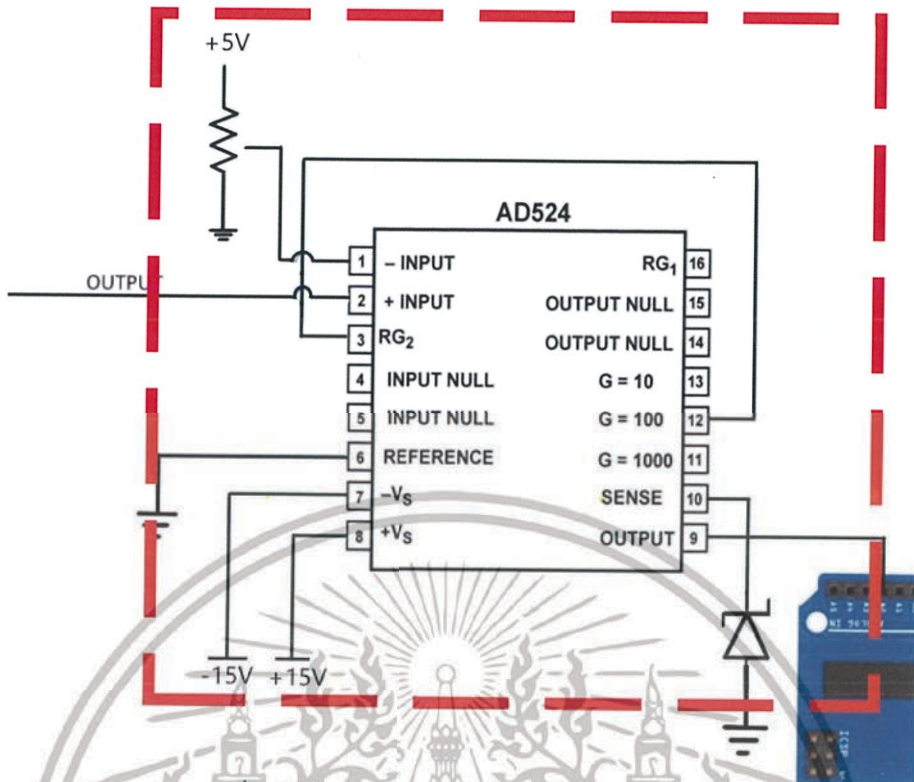
(ข)

### รูปที่ 3.5 IC AD524

(ก) ลักษณะ IC AD524 [16]

(ข) วงจรภายใน IC AD524 [16]

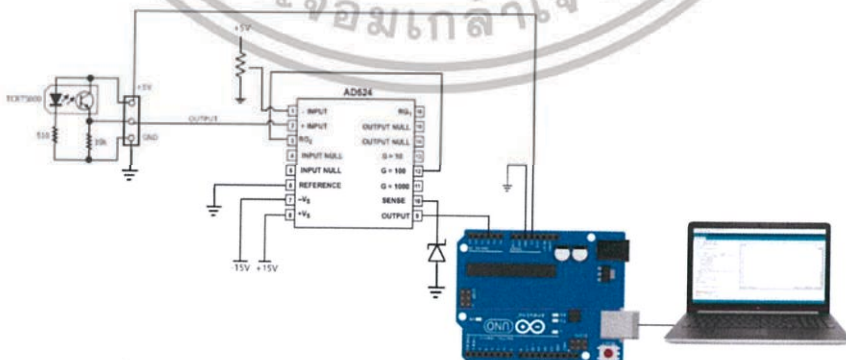
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 โครงสร้างวงจรขยายสัญญาณ AD524

### 3.2.5 ส่วนประมวลผล

การต่อวงจรจะต้องทำการต่อกราวด์ร่วมกันทั้งหมด โดยเอาที่หลุดจากเซ็นเซอร์ที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกนำมาต่อเข้ากับขา Analog Input (A2) ของ Arduino Uno พร้อมทั้งมีการต่อไดโอดไว้เพื่อป้องกันแรงดันที่มากเกินไป 5 โวลต์ ซึ่งอาจทำให้ Arduino ได้รับความเสียหาย Arduino จะรับสัญญาณไฟฟ้า Analog 0 ถึง 5 โวลต์ จากขา pin นี้ก่อนจะแปลงเป็นค่า Digital 0 ถึง 1023 ก่อนจะส่งเข้าส่วนประมวลผลเพื่ออ่านค่าและทำการคำนวณต่อไป แสดงระบบการประมวลผลดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างระบบการประมวลผลความเข้มข้นฟอร์มาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบระบบตรวจวัด

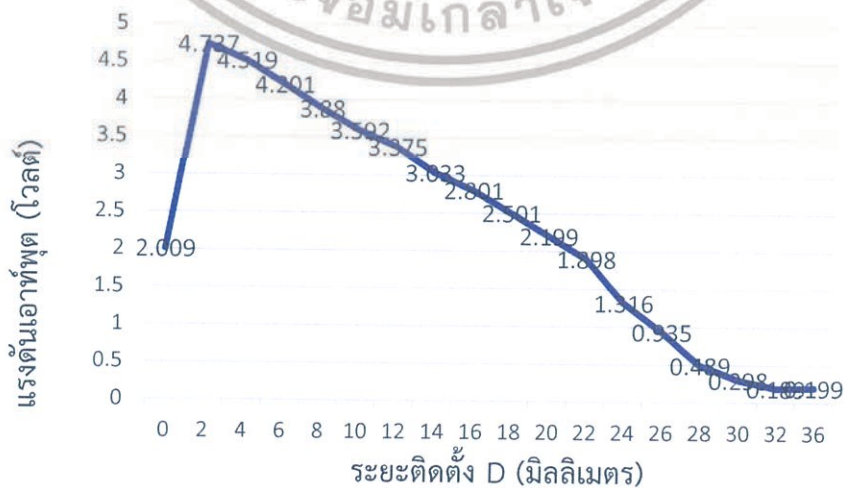
ในส่วนนี้กล่าวถึงการออกแบบระบบตรวจวัดซึ่งแบ่งออกทั้งหมด 3 ส่วน คือ การออกแบบติดตั้งเซ็นเซอร์ การออกแบบตัวอย่างและการออกแบบซอฟต์แวร์ ดังนี้

#### 3.3.1 ออกแบบการติดตั้งเซ็นเซอร์และอุปกรณ์

เพื่อสังเกตผลการตอบสนองของเอาต์พุตจากเซ็นเซอร์ในระยะเวลาการติดตั้งต่างๆ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับการวัดค่าจากตัวอย่างต่อไป โดยทำการติดตั้งเซ็นเซอร์และวัดทดสอบดังรูปที่ 3.8



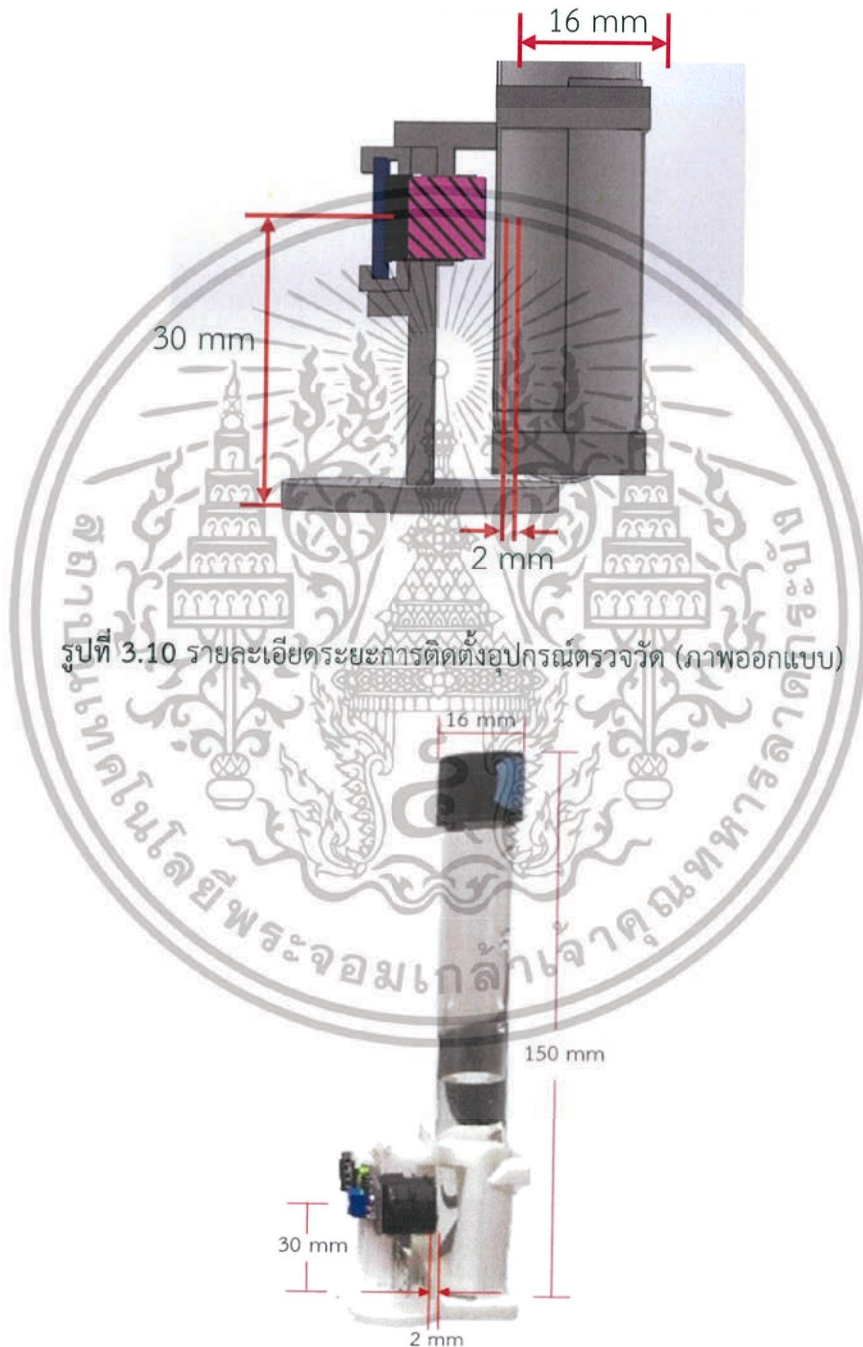
ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ระยะห่างจากพื้น 30 มิลลิเมตร และให้ระยะห่างจากฉากสะท้อนเป็นระยะ  $D$  โดยเริ่มที่  $D = 0$  มิลลิเมตร แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 2 มิลลิเมตร จากนั้นบันทึกผลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์และบันทึกค่า นำมาพลอตเป็นกราฟ ได้ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ ในระยะเวลาการติดตั้งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ากราฟในช่วงระยะ D เท่ากับ 2 ถึง 22 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตที่ได้และระยะติดตั้ง D มีความเป็นเชิงเส้น จึงเลือกระยะนี้มาใช้ในการติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อทำการวัดตัวอย่าง ดังนั้น การติดตั้งเซ็นเซอร์จะมีระยะห่างจากหลอดทดลอง 2 มิลลิเมตร และสูงจากพื้น 30 มิลลิเมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดทดลอง 16 มิลลิเมตร ความสูง 150 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



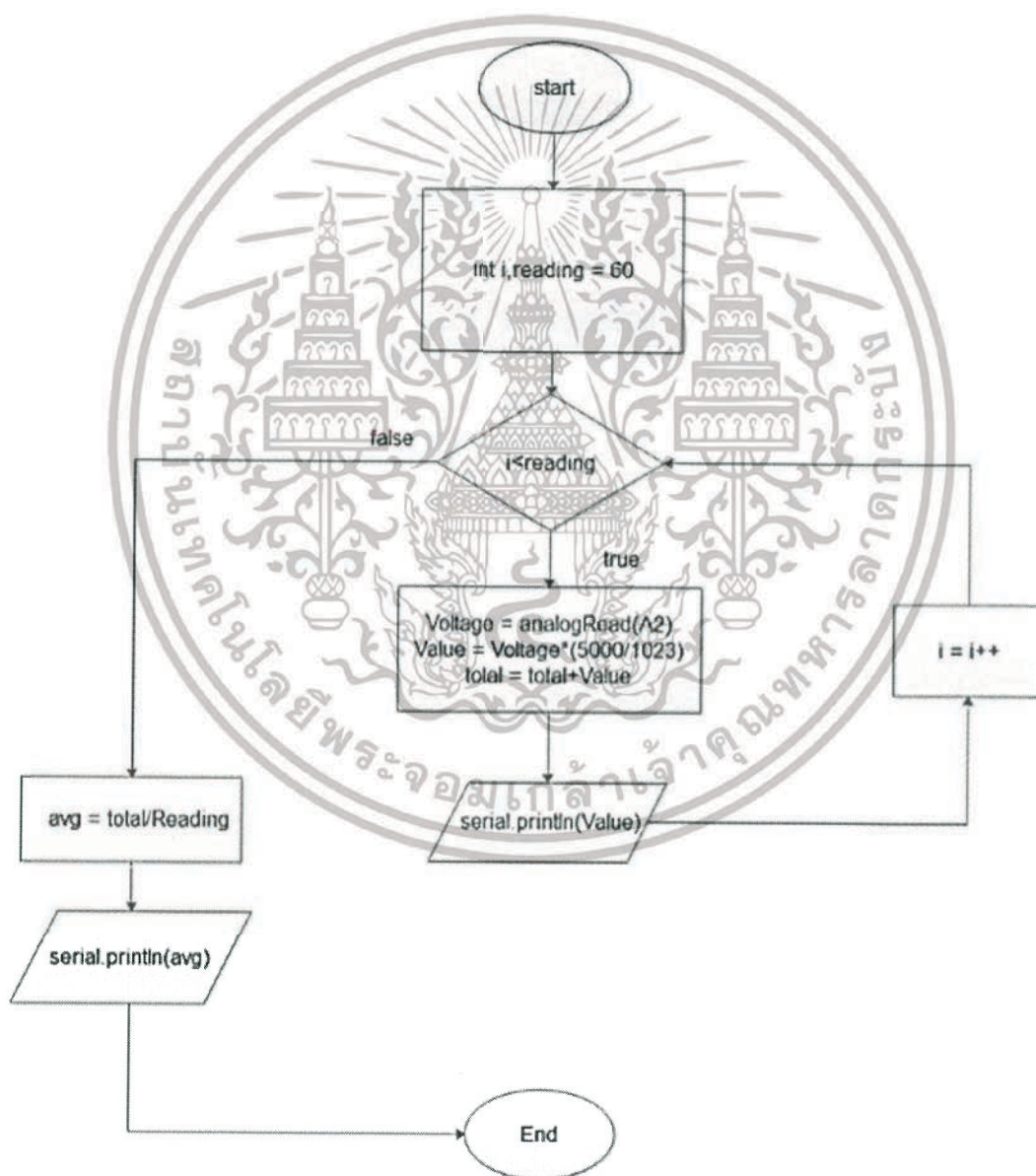
รูปที่ 3.10 รายละเอียดระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (ภาพออกแบบ)

รูปที่ 3.11 รายละเอียดระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (จริง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

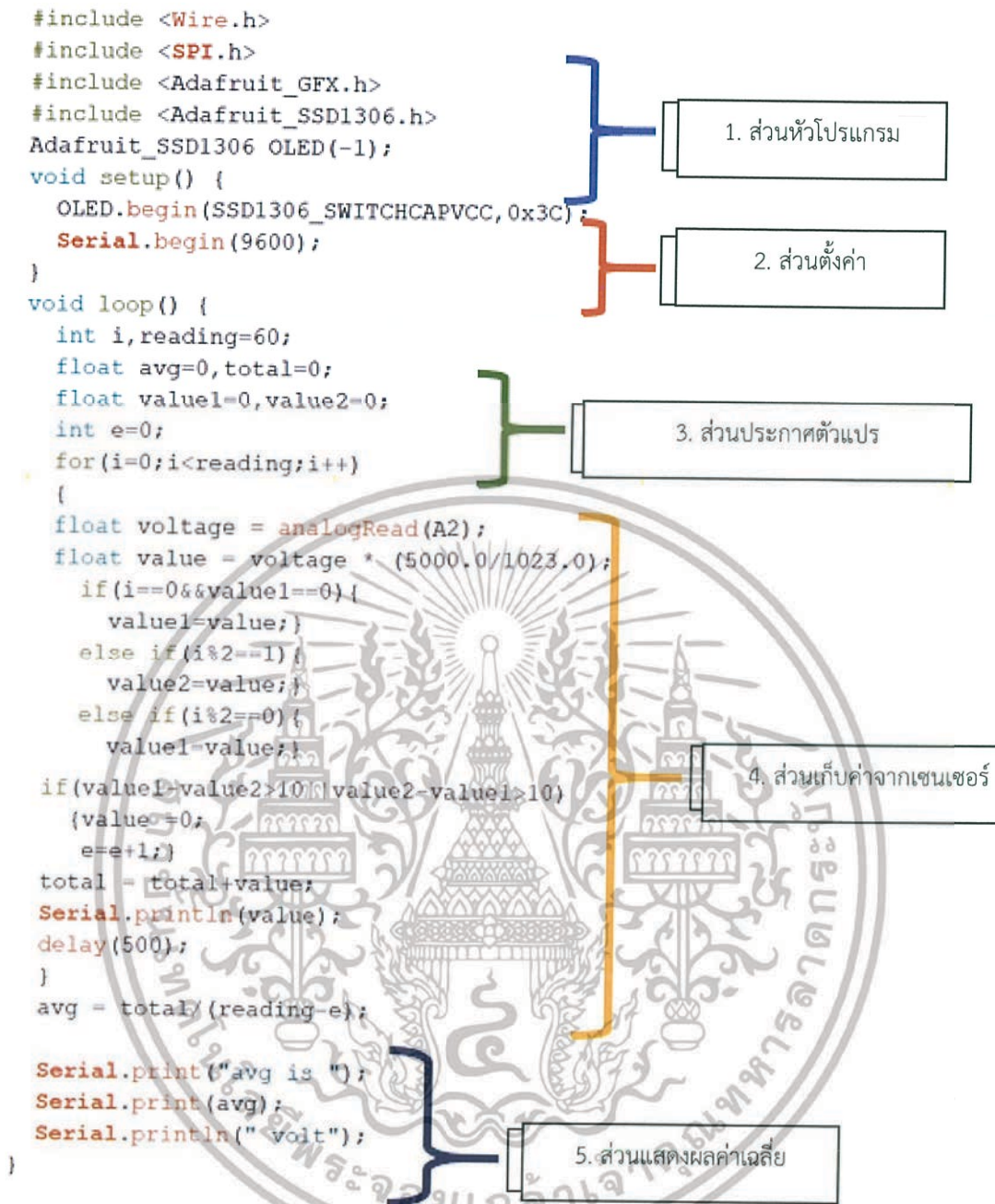
### 3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

เมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเข้มข้นฟอร์มาลีนจะส่งค่าสัญญาณที่ได้ไปยังวงจรรขยายสัญญาณด้วยกำลังขยาย 100 เท่า แล้วจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นส่วนประมวลผลแผนภาพแสดงกระบวนการทำงานของโค้ดคำสั่งที่อัปโหลดลง Arduino แสดงถึง For Loop ที่ใช้ในการวนอ่านค่าจากเซนเซอร์พร้อมทั้งแสดงผลผ่านทาง Serial Monitor รอบละครึ่งวินาทีและสะสมผลรวมของค่าที่อ่านได้ในตัวแปร Total จนครบ 60 ครั้ง เป็นเวลารวม 30 วินาที จากนั้นจะทำการหาค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 60 ครั้งนั้นออกมา แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.9 และ โค้ดที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.12 แผนภูมิวิเคราะห์การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 รายละเอียดคำสั่งสำหรับอ่านค่าความเข้มข้นฟอร์มาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ออกแบบการทดลอง

ในกรณีศึกษาการทดลองนี้ใช้ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำทั่วไป น้ำสี และดอกไม้ จึงได้ศึกษาสภาพแวดล้อมซึ่งแบ่งออกเป็นสองกรณีคือมีแสงและไม่มีแสง ดังนี้

#### 3.4.1 การทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

เพื่อสังเกตผลการตอบสนองระหว่างสภาวะแวดล้อมที่มีแสงจากธรรมชาติ ครอบคลุม ณ เวลา 11.00 ถึง 12.00 น. กับสภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจากการทำกราดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดในลักษณะที่กล่าวไปในบท 3 โดยปรับตัวต้านทานที่ต่อกับขา 1 ของ AD524 ให้แรงดันไฟฟ้าที่เข้าขา 1 นั้นมีค่าเท่ากับ 0.205 โวลต์ และทำการอ่านค่าจาก Serial Port ที่จะแสดงในโปรแกรม Arduino IDE ผลการทดลองจะแสดงค่าแรงดันขาออกของเซ็นเซอร์ โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ ฟอ์มาลีน น้ำปะปา น้ำกลั่นและน้ำดื่ม ระยะเวลาการเก็บผลการทดลองทั้งหมด 60 วินาที ด้วยอัตราเฉลี่ยในการเก็บค่าเท่ากับ 5 ครั้งต่อวินาที และทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ ทดลองวัดชนิดทั่วไปภายใต้ทดลองวัดชนิดน้ำทั่วไปภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีแสงรวบรวมตามผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และการทดลองวัดชนิดน้ำทั่วไปภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกตามผลการทดลองในตารางที่ 4.2 โดยสมมุติฐานการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีความเที่ยงตรงและเสถียรกว่าในการวัดบนสภาพแวดล้อมปกติที่มีแสงรวบรวม

#### 3.4.2 การทดลองภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกเงื่อนไขในการทดลองภายใต้การกำจัดแสงภายนอกมาดำเนินการทดลอง โดยการครอบอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยกล่องสีดำเพื่อป้องกันไม่ให้มีแสงจากภายนอกเข้าไปรบกวน ระยะเวลาการเก็บผลการทดลองทั้งหมด 60 วินาที ด้วยอัตราเฉลี่ยในการเก็บค่าเท่ากับ 10 ครั้งต่อวินาที และทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง

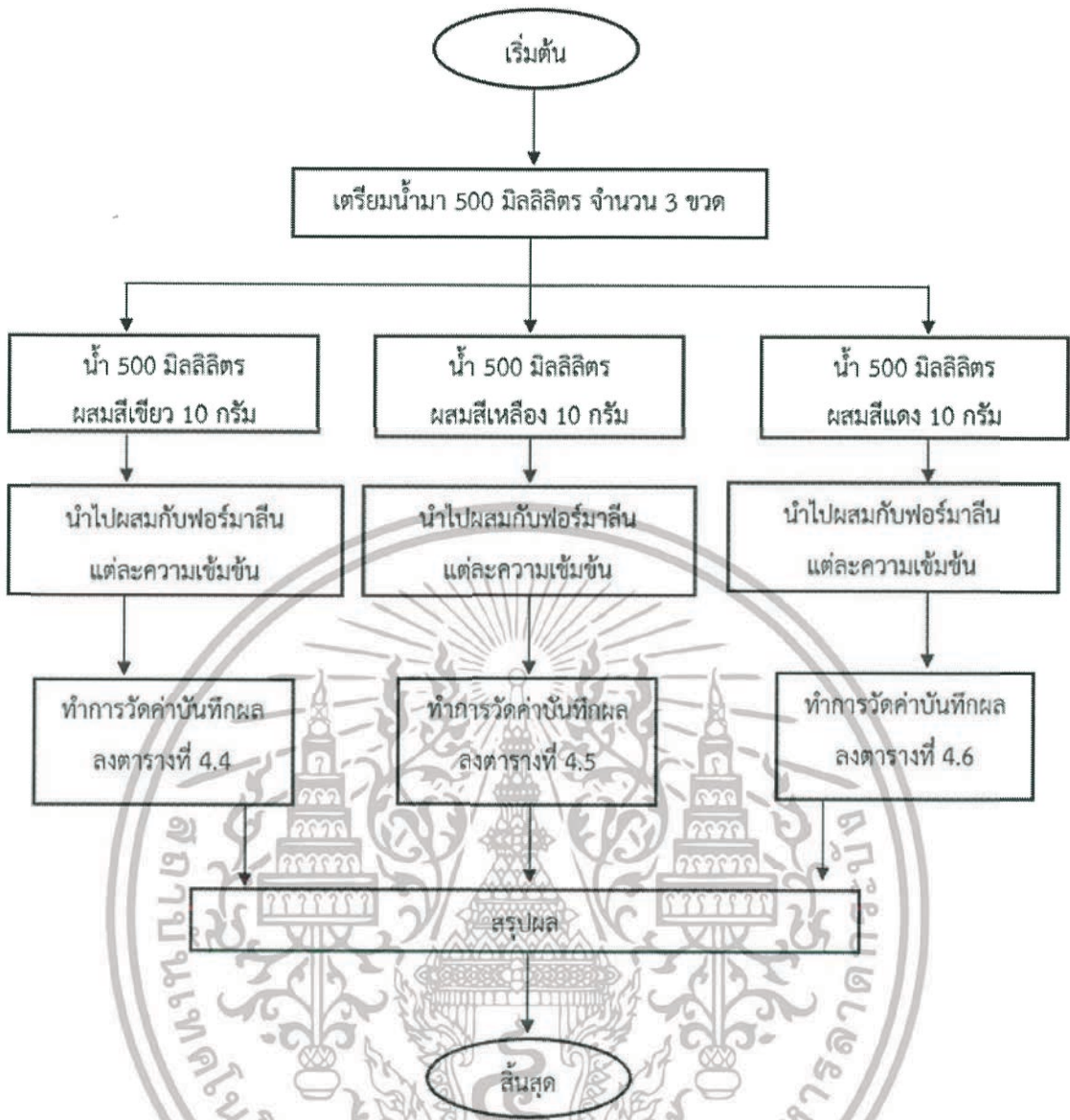
##### 3.4.2.1. ทดลองการตอบสนองของน้ำประปาที่ผสมกับฟอ์มาลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ

ผลการทดลองการตอบสนองของน้ำประปาที่ผสมกับฟอ์มาลีนในอัตราส่วน 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 โดยสมมุติฐานการทดลอง ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับความเข้มข้นของฟอ์มาลีนจะเป็นเชิงเส้นกัน ในลักษณะที่ความเข้มข้นของฟอ์มาลีนที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลง

3.4.2.2. ทดลองการตอบสนองของน้ำสีกับฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่าง ๆ เนื่องจากในการทดลองกับดอกไม้ที่ผ่านการแช่สารฟอร์มาลินมานั้น จะต้องนำดอกไม้ตัวอย่างมาแช่ไว้ในหลอดทดสอบเพื่อให้ฟอร์มาลินละลายออกมากับน้ำใน การทดลองการตอบสนองของน้ำสีได้แก่ สีเขียว สีเหลือง และสีแดง ผสมกับฟอร์มาลินที่อัตราส่วน คือ 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% โดยมีขั้นตอนการผสมสีกับน้ำ ก่อนจะนำไปผสมกับฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่างๆตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.11 แล้วควบคุมให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ด้วยจำนวนครั้งในการทดลอง 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยสมมุติฐานการทดลอง น้ำสีเขียว สีแดง สีเหลืองไม่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เพราะสีต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบช่วงของการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ได้อยู่ในช่วงของ NIR ของเซ็นเซอร์ที่ใช้ทำการวัด

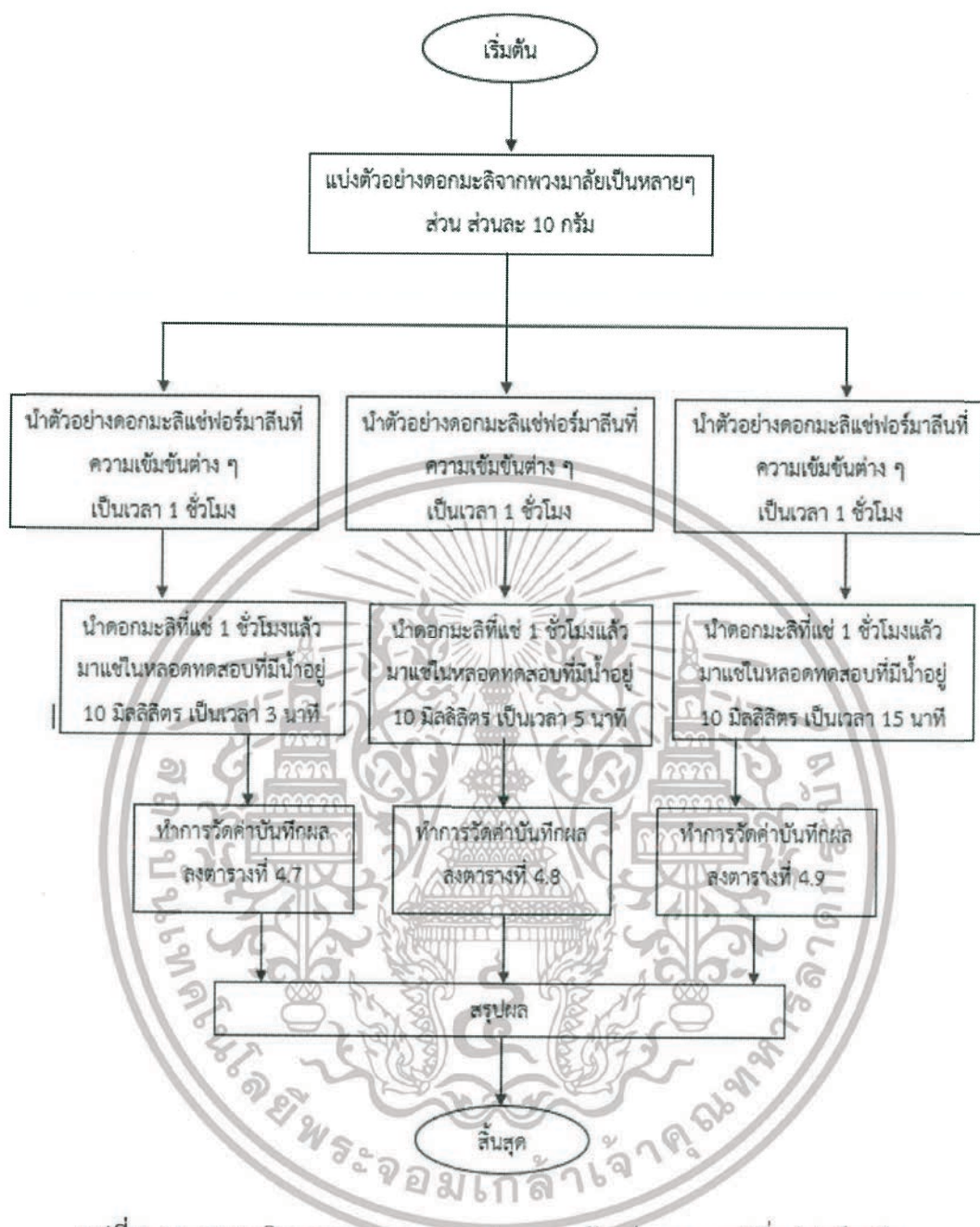
### 3.4.3 การทดลองการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลิน

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ คือ ดอกมะลิ ในการทดลองนี้นำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายฟอร์มาลินที่ความเข้มข้น 100% 80% 50% 20% และ 6% โดยมีระยะเวลาในการนำตัวอย่างไปแช่ในฟอร์มาลิน 1 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงนำมาแช่ไว้ในหลอดทดสอบแล้วจึงทำการวัด แต่เนื่องจากตัวอย่างดอกไม้ที่นำมาทดลองที่แช่ไว้ 1 ชั่วโมง จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการที่ฟอร์มาลินจะละลายออกมาผสมกับน้ำในหลอดทดสอบ จึงออกแบบการทดลองให้แช่ตัวอย่างไว้ในหลอดทดสอบก่อนเวลาเป็นเวลา 3, 5, 15 นาที แล้วจึงทำการวัดวัดผล อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก เพื่อสังเกตผลตอบสนองของระยะเวลาที่ทำการแช่ตัวอย่างไว้ในหลอดทดสอบ ก่อนจะอ่านไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์ โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 3 นาที ตามผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 5 นาที ตามผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 และการทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 15 นาที ตามผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยสมมุติฐานการทดลอง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองแช่ดอกมะลิทิ้งไว้ 15 นาทีแล้วจึงทำการวัด จะมีความเที่ยงตรงมากกว่า และมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่น้อยกว่า 3 นาทีและ 5 นาที เพราะฟอร์มาลินที่อยู่ในดอกไม้จะละลายออกมาผสมกับน้ำปะปาในหลอดทดสอบได้มากกว่า จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลง



รูปที่ 3.14 แผนภูมิการทดลองการตอบสนองของน้ำต่าง ๆ ที่ผสมสารฟอร์มาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนภูมิการทดลองการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในส่วนนี้กล่าวถึงการผลการตอบสนองของฟอร์มอลีนในแต่ละปริมาณความเข้มข้น โดยใช้เซนเซอร์แสง (TCRT5000) จะส่งสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารฟอร์มอลีนตามแต่ละอัตราส่วน โดยทำการพิจารณาผลการตอบสนองในแต่ละตัวอย่างการทดลอง ได้แก่ น้ำประปา น้ำสีต่าง ๆ และดอกไม้ ในสภาวะที่ปกติกับสภาวะภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงรบกวน ผลที่แสดงออกมาจะอยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้า และจึงนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ส่วนนี้อธิบายผลการทดลองการดูดกลืนแสงของเซนเซอร์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้แก่ สภาวะที่มีแสงรบกวนและไม่มีแสงรบกวน ผลการทดลองแสดงดังนี้

##### 4.1.1 การทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแสงรบกวน

แสดงผลแรงดันขาออกของเซนเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปในสภาพแวดล้อมที่มีแสงรบกวนเซ็นเซอร์ด้วยจำนวนครั้งในการทดลอง 10 ครั้ง ที่อัตราเฉลี่ยในการเก็บค่า 5 ครั้งต่อวินาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปในสภาวะที่มีแสงรบกวน

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)			
	น้ำประปา	น้ำกลั่น	น้ำดื่มตราเนสส์	ฟอร์มอลีน
1	1.709	1.735	1.835	1.1
2	1.895	1.66	2.019	0.955
3	1.702	1.87	1.988	1.062
4	1.712	1.903	1.874	1.284
5	1.935	1.871	2.135	1.043
6	1.707	1.729	1.865	1.106
7	1.845	1.919	1.964	1.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)			
	น้ำปะปา	น้ำกลั่น	น้ำดื่มตราเนสเล่	ฟอร์มาลีน
8	1.701	1.723	1.817	0.924
9	1.908	1.702	1.742	1.023
10	1.863	1.907	1.991	0.893
ค่าเฉลี่ย	1.7977	1.8019	1.923	1.01049

#### 4.1.2 ผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

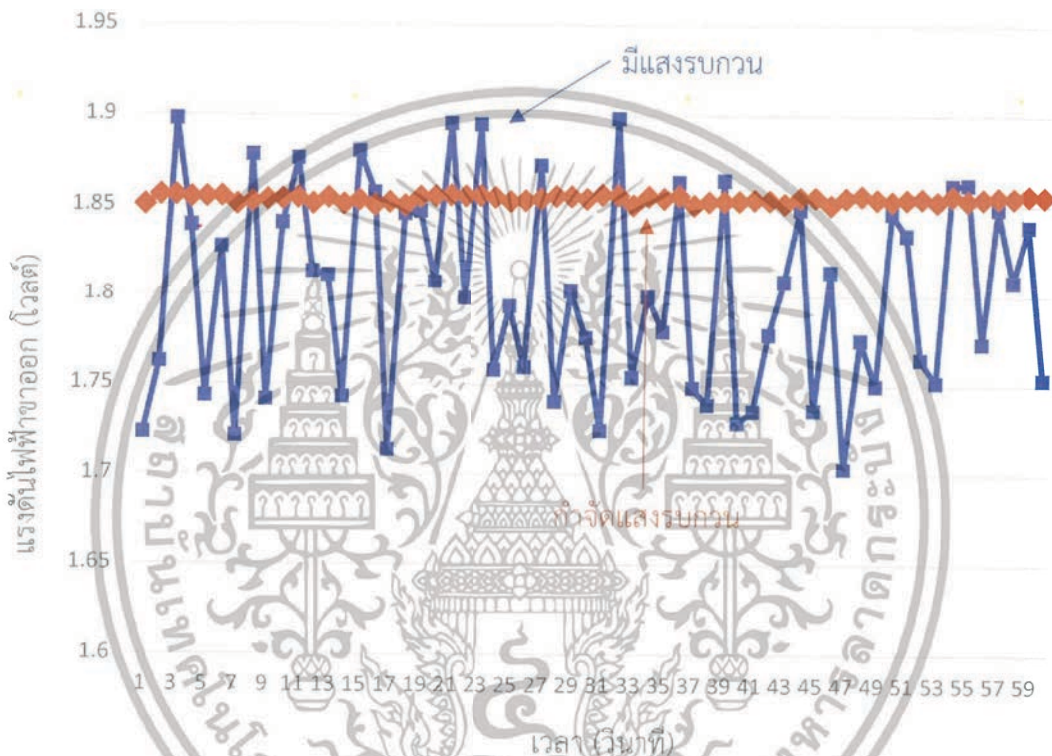
ส่วนนี้จะแสดงผลแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกด้วยการนำอุปกรณ์ตรวจวัดไปครอบป้องกันด้วยกล่องสีดำ เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามารบกวนระบบการวัด โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ที่อัตราเฉลี่ยในการเก็บค่า 5 ครั้งต่อวินาที โดยเก็บผลเป็นเวลา 60 วินาที ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดชนิดน้ำทั่วไปภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)			
	น้ำปะปา	น้ำกลั่น	น้ำดื่มตราเนสเล่	ฟอร์มาลีน
1	1.853	1.853	1.856	0.999
2	1.855	1.852	1.851	1.001
3	1.852	1.851	1.853	0.997
4	1.849	1.852	1.849	1.001
5	1.855	1.849	1.852	1.034
6	1.85	1.855	1.855	0.998
7	1.856	1.854	1.854	1.004
8	1.856	1.856	1.851	1.005
9	1.854	1.855	1.852	0.997
10	1.851	1.856	1.853	0.997
ค่าเฉลี่ย	1.8531	1.8533	1.8526	1.0033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกันทั้งหมด จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตหรือแรงดันไฟฟ้าขาออกของการวัดในสถานะที่มีแสงรบกวนระบบ เมื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนออกมา พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงถึง 5% เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่มีแสงรบกวนระบบโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดไม่เกิน 1% เมื่อลองนำค่าจากการวัดทั้ง 60 วินาที มาพลอตเป็นกราฟ จะได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกของการทดลองที่มีการกำจัดแสงกับการทดลองที่ไม่มีการกำจัดแสงในการทดลอง 1 ครั้ง เป็นเวลา 60 วินาที

รูปที่ 4.1 เป็นการนำตัวอย่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการวัดตัวอย่างที่เป็นน้ำกลั่นในเวลา 60 วินาที สังเกตเห็นว่าค่าที่ได้จากการวัดน้ำกลั่นในสภาพแวดล้อมที่มีการกำจัดแสง มีความเที่ยงตรงและเสถียรกว่าในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการกำจัดแสงมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการควบคุมการทดลองให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดจากแสงรบกวนภายนอกเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป เพื่อความเที่ยงตรงและเสถียรภาพมากที่สุด

จากค่าเฉลี่ยของน้ำทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำประปา น้ำกลั่น และน้ำเนสเล่ มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยความแตกต่างเล็กน้อยเหล่านี้ อาจเกิดมาจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำแต่ละชนิด

ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าดูกลืนที่ต่างกัน โดยสังเกตได้จากน้ำกลั่นที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ที่ไม่มีแร่ธาตุอื่นเจือปนอยู่ ทำให้มีแนวโน้มของแรงดันเอาต์พุตที่สูงกว่าน้ำชนิดอื่นเล็กน้อย

## 4.2 การทดลองสภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ส่วนนี้อธิบายผลการทดลองการดูกลืนแสงของเซนเซอร์ได้เลือกใช้ภายใต้สภาพแวดล้อม เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก เนื่องจากเกิดค่าความผิดพลาดจากการวัดเซนเซอร์น้อยที่สุด โดยได้ทำการทดลองกับตัวอย่าง เช่น น้ำประปา พอร์มาลีน น้ำสี และดอกไม้ ผลการทดลองแสดงดังนี้

### 4.2.1 การทดลองการตอบสนองของน้ำปะปากับพอร์มาลีน

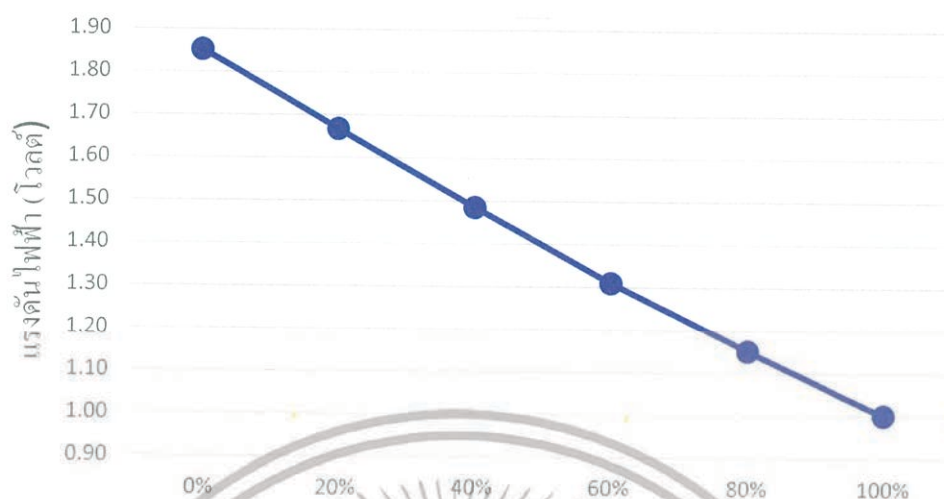
ในส่วนนี้อธิบายถึงผลการทดลองการตอบสนองของน้ำปะปากับพอร์มาลีนในอัตราส่วน 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดน้ำประปาที่ผสมกับพอร์มาลีนความเข้มข้นต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	1.001	1.151	1.310	1.486	1.668	1.853
2	0.998	1.150	1.309	1.486	1.667	1.853
3	0.997	1.151	1.309	1.486	1.668	1.853
4	0.998	1.152	1.308	1.481	1.667	1.856
5	1.003	1.153	1.310	1.485	1.668	1.852
6	1.002	1.151	1.310	1.487	1.668	1.856
7	1.001	1.149	1.311	1.485	1.667	1.853
8	1.001	1.151	1.307	1.485	1.667	1.853
9	1.005	1.148	1.308	1.487	1.667	1.852
10	1.003	1.148	1.307	1.485	1.667	1.854
ค่าเฉลี่ย	1.001	1.150	1.309	1.485	1.667	1.853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกกับความเข้มข้นของฟอร์มาลินด้วยการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง

จากรูปที่ 4.2 จากผลการทดลองความเข้มข้นของฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงให้เห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกกับความเข้มข้นของฟอร์มาลิน มีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นโดยที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 100% แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุดและที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 0% มีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับน้ำประปาซึ่งมีค่ามากที่สุด

#### 4.2.2 การทดสอบการตอบสนองของน้ำสีกับฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่าง ๆ

ส่วนนี้เป็นส่วนอธิบายผลการทดลองการดูดกลืนแสงของเซนเซอร์ได้เลือกใช้ภายใต้สภาพแวดล้อมเงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกวัดผลการตอบสนองของน้ำสีกับฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงดังนี้

##### 4.2.2.1 น้ำสีผสมอาหารสีเขียว

ในการทดลองการตอบสนองของน้ำสีเขียวผสมกับฟอร์มาลินที่อัตราส่วน คือ 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ด้วยจำนวนครั้งในการทดลอง 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำส้มผสมอาหารสีเขียวกับฟอร์มาลีน ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	1.009	1.170	1.348	1.524	1.693	1.863
2	1.004	1.172	1.346	1.514	1.696	1.867
3	1.004	1.169	1.349	1.522	1.687	1.864
4	1.006	1.181	1.348	1.519	1.684	1.854
5	1.001	1.170	1.346	1.523	1.688	1.861
6	1.012	1.167	1.350	1.523	1.688	1.849
7	1.006	1.175	1.347	1.524	1.696	1.846
8	1.009	1.170	1.346	1.517	1.682	1.845
9	1.016	1.170	1.349	1.515	1.680	1.849
10	1.003	1.165	1.347	1.519	1.684	1.847
ค่าเฉลี่ย	1.007	1.171	1.347	1.520	1.688	1.855

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง สภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2 น้ำสีผสมอาหารสีเหลือง

ในการทดลองการตอบสนองของน้ำสีเหลืองผสมกับฟอร์มาลีนที่อัตราส่วน คือ 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ด้วยจำนวนครั้งในการทดลอง 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหารสีเหลืองกับฟอร์มาลีนภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	1.012	1.169	1.347	1.517	1.677	1.854
2	1.018	1.165	1.347	1.522	1.683	1.858
3	1.010	1.165	1.349	1.517	1.693	1.868
4	1.012	1.165	1.346	1.519	1.685	1.864
5	1.013	1.172	1.346	1.521	1.685	1.854
6	1.017	1.172	1.350	1.517	1.675	1.859
7	1.017	1.169	1.347	1.521	1.680	1.850
8	1.012	1.165	1.346	1.520	1.679	1.881
9	1.013	1.170	1.347	1.521	1.677	1.846
10	1.004	1.169	1.347	1.512	1.679	1.846
ค่าเฉลี่ย	1.013	1.168	1.347	1.519	1.681	1.855

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$

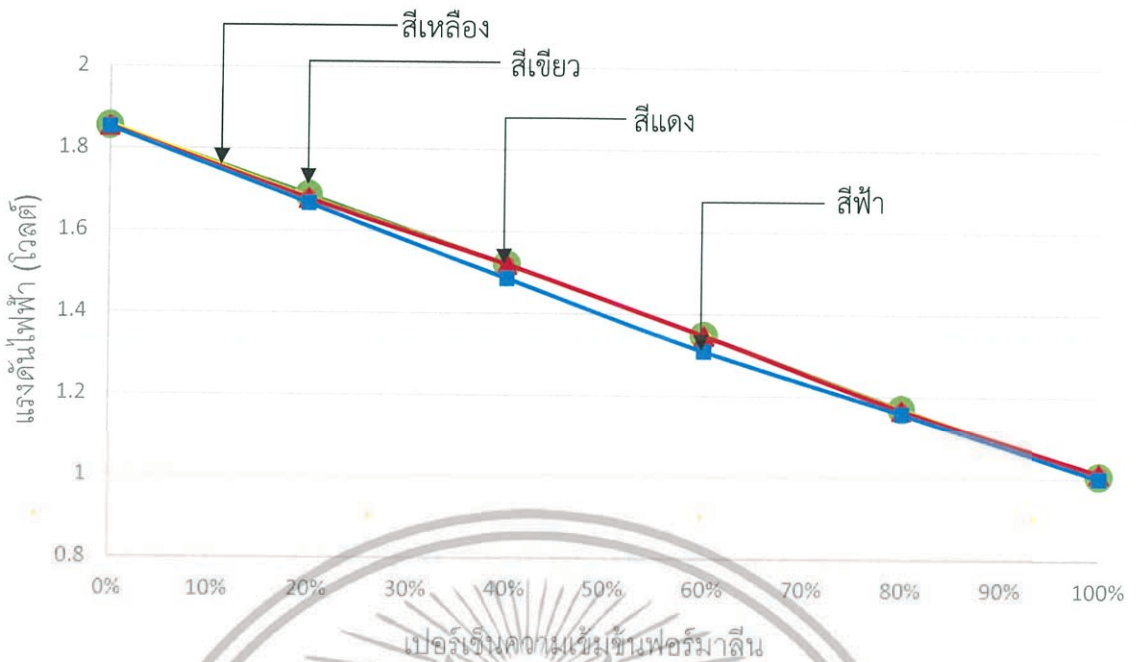
#### 4.2.2.3 น้ำสีผสมอาหารสีแดง

ในการทดลองการตอบสนองของน้ำสีแดงผสมกับฟอร์มาลินที่อัตราส่วน คือ 100%, 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก ด้วยจำนวนครั้งในการทดลอง 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหารสีแดงกับฟอร์มาลินภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	1.013	1.170	1.347	1.518	1.677	1.849
2	1.022	1.169	1.346	1.522	1.679	1.849
3	1.006	1.167	1.346	1.521	1.678	1.862
4	1.012	1.169	1.347	1.520	1.675	1.860
5	1.018	1.167	1.347	1.524	1.681	1.849
6	1.010	1.169	1.347	1.523	1.675	1.850
7	1.012	1.167	1.347	1.515	1.675	1.857
8	1.018	1.170	1.346	1.517	1.682	1.849
9	1.010	1.169	1.346	1.515	1.675	1.854
10	1.011	1.170	1.346	1.515	1.681	1.849
ค่าเฉลี่ย	1.013	1.169	1.347	1.519	1.678	1.853

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสีผสมอาหาร สีเขียว สีแดง สีเหลือง และน้ำประปาที่ผสมกับฟอร์มาลินที่อัตราส่วน คือ 100% 80% 50% 20% และ 6% ภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

จากรูปที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จากการวัดน้ำสี ได้แก่ สีเขียว สีแดง และสีเหลือง และน้ำประปาที่ผสมกับฟอร์มาลินที่อัตราส่วน คือ 100% 80% 50% 20% และ 6% มีความใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับการทดลอง 4.2.1 มาก จึงได้ข้อสรุปว่าปัจจัยเกี่ยวกับสีของน้ำไม่มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้แตกต่างจากแรงดันน้ำประปา

#### 4.2.3 การทดลองการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลิน

ส่วนนี้อธิบายผลการทดลองการดูดกลืนแสงของเซ็นเซอร์ได้เลือกใช้ภายใต้สภาพแวดล้อมเงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกวัดผลการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ฟอร์มาลิน ผลการทดลองแสดงดังนี้

##### 4.2.3.1 การทดลองแช่ตัวอย่างไว้ 3 นาที

ในการทดลองนี้นำตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในฟอร์มาลินความเข้มข้น 100% 80% 50% 20% และ 6% มาแช่ในหลอดทดสอบเป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากนั้นบันทึกผลการทดลอง โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลิน  
ระยะเวลา 3 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)				
	100%	80%	50%	20%	6%
1	1.832	1.851	1.854	1.837	1.850
2	1.848	1.853	1.834	1.847	1.855
3	1.845	1.830	1.849	1.836	1.852
4	1.837	1.852	1.840	1.852	1.854
5	1.832	1.847	1.844	1.854	1.852
6	1.841	1.853	1.845	1.854	1.850
7	1.847	1.829	1.853	1.839	1.851
8	1.845	1.851	1.835	1.851	1.844
9	1.842	1.846	1.838	1.843	1.853
10	1.844	1.853	1.852	1.847	1.851
ค่าเฉลี่ย	1.842	1.846	1.843	1.847	1.851

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง สภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสง  
ภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 การทดสอบแช่ตัวอย่างไว้ 5 นาที

ในการทดลองนี้นำตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในฟอร์มาลินความเข้มข้น 100% 80% 50% 20% และ 6% มาแช่ในหลอดทดสอบเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากนั้นบันทึกผลการทดลอง โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลินระยะเวลา 5 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)				
	100%	80%	50%	20%	6%
1	1.845	1.843	1.832	1.843	1.850
2	1.846	1.845	1.853	1.845	1.858
3	1.836	1.838	1.835	1.852	1.853
4	1.843	1.846	1.851	1.838	1.852
5	1.831	1.847	1.838	1.840	1.857
6	1.837	1.842	1.845	1.854	1.850
7	1.853	1.842	1.842	1.838	1.858
8	1.839	1.837	1.853	1.849	1.850
9	1.827	1.852	1.846	1.853	1.853
10	1.847	1.850	1.853	1.846	1.852
ค่าเฉลี่ย	1.840	1.844	1.845	1.846	1.853

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$

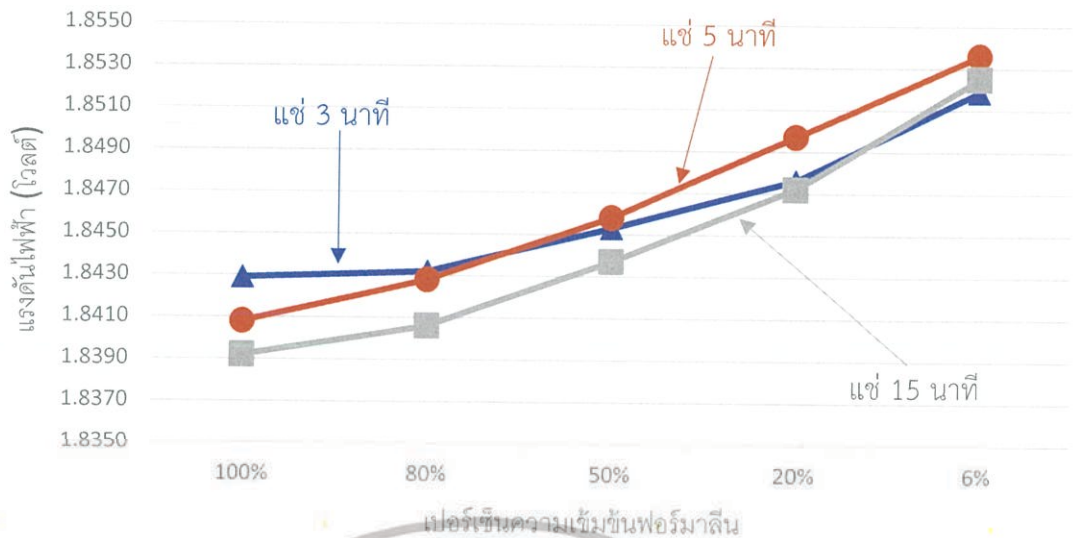
#### 4.2.3.3 การทดสอบแช่ตัวอย่างไว้ 15 นาที

ในการทดลองนี้นำตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในฟอร์มาลินความเข้มข้น 100%, 80%, 50%, 20% และ 6% แล้วนำมาแช่ในหลอดทดสอบเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากนั้นบันทึกผลการทดลอง โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซนเซอร์จากการวัดตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลินระยะเวลา 15 นาทีภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอก

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าขาออก (โวลต์)				
	100%	80%	50%	20%	6%
1	1.840	1.836	1.836	1.846	1.85
2	1.839	1.844	1.840	1.852	1.852
3	1.839	1.839	1.839	1.850	1.853
4	1.837	1.841	1.845	1.837	1.851
5	1.837	1.842	1.846	1.846	1.85
6	1.840	1.840	1.840	1.853	1.852
7	1.839	1.842	1.844	1.851	1.850
8	1.839	1.839	1.844	1.848	1.854
9	1.840	1.839	1.844	1.848	1.851
10	1.842	1.839	1.842	1.845	1.854
ค่าเฉลี่ย	1.839	1.840	1.843	1.847	1.852

ผลการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขการกำจัดแสงภายนอกจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตของการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ  $0.2\% \pm 0.1$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากหลอดทดสอบที่แช่ตัวอย่างไว้เป็นระยะเวลา 3 นาที 5 นาที และ 15 นาที

จากรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากตัวอย่างที่แช่ในหลอดทดสอบระยะเวลา 15 นาที ทำให้ผลตอบสนองแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากตัวอย่างที่แช่ในฟอรัมาลีนแต่ละความเข้มข้นมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าการแช่ไว้เพียง 3 นาที และ 5 นาที แต่แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการแช่ไว้ในหลอดทดสอบ 3 นาที และ 5 นาที มีค่าไม่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟอรัมาลีนที่นำตัวอย่างดอกมะลิไปแช่ โดยค่าที่วัดได้จากตัวอย่างที่แช่ฟอรัมาลีนความเข้มข้น 6% เป็นเวลา 3 นาที กลับอ่านค่าได้ต่ำกว่าค่าจากการแช่ไว้ 15 นาที ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามสมมติฐาน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากผู้ทำการทดลองทำการอ่านค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยมาก หรืออาจเกิดจากดอกมะลิตัวอย่างแต่ละดอกมีความสามารถในการดูดและคายสารละลายฟอรัมาลีนได้ไม่เท่ากัน ด้วยตัวแปรด้านเวลาที่แช่ไว้ไม่นานเพียงพอผลของแรงดันที่อ่านได้จึงผิดไปจากสมมติฐาน หรืออาจเกิดจากตัวผู้วัดเองควบคุมสภาพแวดล้อมได้ไม่ดีพอ เพราะการทดลองในแต่ละส่วนนี้มีเวลาต่างกันมากพอสมควร จึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดออกมาเปลี่ยนแปลงไป

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เจอบนในดอกไม้ โดยพื้นฐานการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน เลือกใช้อินฟราเรดตามย่านความถี่หรือความยาวคลื่นที่สามารถตอบสนองกับสารฟอร์มาลิน ความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนไปนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ในรูปของแรงดันไฟฟ้า สามารถพิจารณาผลการตอบสนองในแต่ละตัวอย่างการทดลอง ดังนี้

การทดสอบภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน คือ การทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแสงรบกวน และเงื่อนไขการจัดแสงภายนอก โดยมี น้ำประปา น้ำกลั่น น้ำเนสเล่ เป็นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ผลที่ได้คือ สภาพแวดล้อมที่มีแสงรบกวนมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงถึง 5% เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการจัดแสงภายนอกมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดไม่เกิน 1% จึงเลือกสภาพแวดล้อมที่มีเงื่อนไขการจัดแสงภายนอกและน้ำประปา (เป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปสำหรับส่วนผสมฟอร์มาลิน) มาเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จากนั้นจึงทดสอบการตอบสนองของน้ำประปากับฟอร์มาลินในอัตราส่วนต่าง ๆ ผลที่ได้คือ แรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มข้นฟอร์มาลิน 100% จะมีค่าน้อยที่สุด ดังรูป 4.1 เนื่องจากมีการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดมากที่สุดตามอัตราส่วนฟอร์มาลิน ในการทดสอบผลตอบสนองของน้ำกับฟอร์มาลินอัตราส่วนต่าง ๆ ตัวอย่างที่ใช้คือ น้ำสีผสมอาหารสีแดง เหลือง และเขียว จากรูปที่ 4.2 ปัจจัยเกี่ยวกับสีของน้ำไม่มีผลทำให้แรงดันแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้แตกต่างจากแรงดันไฟฟ้าของน้ำปะปา จากนั้นจึงทำการทดสอบการตอบสนองของตัวอย่างดอกมะลิที่แช่ในฟอร์มาลินในระยะเวลา 3 นาที 5 นาที และ 15 นาที ดอกไม้มีการดูดฟอร์มาลินในปริมาณที่มากขึ้นตามระยะเวลา ทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตในการแช่ดอกมะลิในฟอร์มาลินที่ระยะเวลา 15 นาที มีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด

### 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงาน ปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมายหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวยึดเซ็นเซอร์ในการทดลองไม่แข็งแรง ทำให้ระยะการวัดไม่เสถียร

วิธีการแก้ปัญหา: ออกแบบและจัดทำตัวยึดเซ็นเซอร์และหลอดทดลองด้วย 3D Print

2. มีแสงจากสภาพแวดล้อมภายนอกรบกวน

วิธีการแก้ปัญหา: ทำภาชนะครอบเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

3. ขนาดของหลอดทดลองที่แตกต่างกัน มีผลต่อการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ปัญหา: เลือกหลอดทดลองที่มีมาตรฐานและผลิตจากแหล่งเดียวกัน

4. ฟอรัมารีนหากเปิดใช้งานแล้วทิ้งไว้นานเกินไป จะเกิดการละลายสู่ภายนอกและมีความเข้มข้นเปลี่ยนไป

วิธีการแก้ปัญหา: จะไม่ใช่ขวดสารละลายที่เปิดใช้งานเกิน 1 สัปดาห์

5. เมื่อทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง จะทำให้หลอดทดลองถูกเสียดสีจนมีรอยทำให้รังสีอินฟราเรดหักเหไปจากเดิมค่าที่ได้เปลี่ยนไป

วิธีการแก้ปัญหา: เปลี่ยนหลอดทดลองและติดฟองน้ำป้องกันบริเวณที่เสียดสีกับหลอดทดลอง เพื่อลดรอยที่เกิดขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. เลือกเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ให้ความยาวคลื่นในช่วงที่ใกล้เคียงกับช่วงที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุด จะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ชัดเจนมากกว่าเดิม
2. ศึกษาการติดตั้งวิธีเซ็นเซอร์วิธีอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญหายของสัญญาณน้อยกว่าวิธีนี้ เช่น การติดตั้งเซ็นเซอร์ในลักษณะส่องผ่าน
3. หลีกเลี่ยงการเสียดสีของหลอดทดลอง เพราะจะทำให้เกิดรอย



## บรรณานุกรม

- [1] “IR Transmission”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.gemini.edu/sciops/telescopes-and-sites/observing-condition-constraints/ir-transmission-spectra> (สืบค้น 15 ตุลาคม 2561).
- [2] “วิธีสเปกโทรสโกปีเบื้องต้น”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/spectroscopy.pdf> (สืบค้น 8 ตุลาคม 2561).
- [3] “Formaldehyde”. [Online]. Available : <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C50000&Mask=80#IR-Spec> (สืบค้น Oct 12, 2019).
- [4] “The investigation of the formaldehyde gas sensor based on organic thin-film-transistors”. [Online]. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/document/5709885> (สืบค้น Oct 12, 2019).
- [5] “Thin-Film Sensors for Detection of Formaldehyde”. [Online]. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7161274> (สืบค้น Oct 20, 2019).
- [6] “ฟอร์มาลีน-ฟอร์มัลดีไฮด์”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/> (สืบค้น 14 ตุลาคม 2561).
- [7] “แสง”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%87> (สืบค้น 14 ตุลาคม 2561).
- [8] “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://sites.google.com/site/khlunphysics/khlunmaehelkfifa> (สืบค้น 15 ตุลาคม 2561).
- [9] “เทคโนโลยีการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/pdf> (สืบค้น 16 ตุลาคม 2561).
- [10] “Reflective Optical Sensor”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.thaielects.com/product/401/> (สืบค้น 15 ตุลาคม 2561).
- [11] “IR Light Beam”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.me.umn.edu/courses/me2011/arduino/technotes/irbeam/irbeam.htm> (สืบค้น 24 ตุลาคม 2561).
- [12] “Reflective model”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.keyence.com/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/> (สืบค้น 27 ตุลาคม 2561).
- [13] “TCRT5000”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://sea.banggood.com/th/TCRT5000-Infrared-Reflective-Switch-IR-Barrier> (สืบค้น 15 ตุลาคม 2561).
- [14] “Switching Power Supply”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : [https://www.google.com/search?q=Switching+Power+Supply&rlz=1C1GCEA\\_](https://www.google.com/search?q=Switching+Power+Supply&rlz=1C1GCEA_) (สืบค้น 15 ตุลาคม 2561).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [15] “อุปกรณ์วิทยาศาสตร์”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :<https://www.facebook.com/bssuksapan/> (สืบค้น 19 ตุลาคม 2561).
- [16] “AD524AD”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :<https://www.dhgate.com/product/ad524ad-ad524bd-ad524cd-ad524-> (สืบค้น 25 ตุลาคม 2561).
- [17] “The near dangers” : formaldehyde / formalin. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://scijournal.hcu.ac.th/data/The%20near%20dangers.pdf> (สืบค้น 25 ตุลาคม 2561).
- [18] “การวิเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโคป”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656Chapter%20%20Polymer%20Spectroscopy.pdf> (สืบค้น 24 ตุลาคม 2561).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

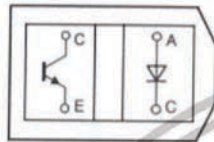
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## Reflective Optical Sensor with Transistor Output



19156\_2



Top view

19156\_1

## FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test:  $I_C = 1$  mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS  
COMPLIANT

## DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

## APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

## PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR <sub>rel</sub> (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE $I_{out} > 20\%$ (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

## Notes

(1) CTR: current transfer ratio,  $I_{out}/I_{in}$

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

## ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

## Note

(1) MOQ: minimum order quantity

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>				
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$	$I_{FSM}$	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_J$	100	$^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>				
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	5	V
Collector current		$I_C$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_J$	100	$^\circ\text{C}$
<b>SENSOR</b>				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	200	mW
Ambient temperature range		$T_{amb}$	- 25 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 25 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10$ s	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

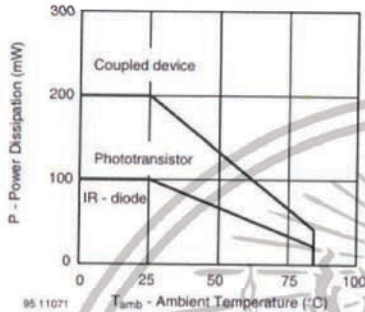
**Note**(1)  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS (1)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>						
Forward voltage	$I_F = 60$ mA	$V_F$		1.25	1.5	V
Junction capacitance	$V_R = 0$ V, $f = 1$ MHz	$C_j$		17		pF
Radiant intensity	$I_F = 60$ mA, $t_p = 20$ ms	$I_e$			21	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100$ mA	$\lambda_p$	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	$d$		2.1		mm
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>						
Collector emitter voltage	$I_C = 1$ mA	$V_{CEO}$	70			V
Emitter collector voltage	$I_e = 100$ $\mu\text{A}$	$V_{ECO}$	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20$ V, $I_F = 0$ A, $E = 0$ lx	$I_{CEO}$		10	200	nA
<b>SENSOR</b>						
Collector current	$V_{CE} = 5$ V, $I_F = 10$ mA, $D = 12$ mm	$I_C$ (2)(3)	0.5	1	2.1	mA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10$ mA, $I_C = 0.1$ mA, $D = 12$ mm	$V_{CEsat}$ (2)(3)			0.4	V

**Note**(1)  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

(2) See figure 3

(3) Test surface: mirror (Mr. Spindler a. Hoyer, Part No. 340005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

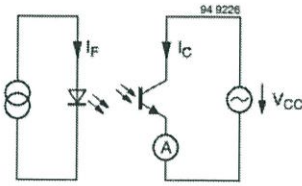


Fig. 2 - Test Circuit

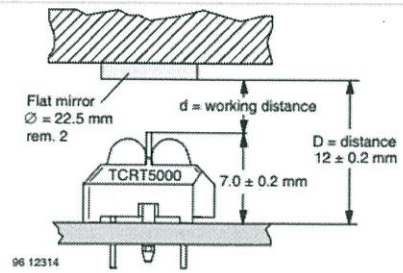


Fig. 3 - Test Circuit

**BASIC CHARACTERISTICS**  
 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified

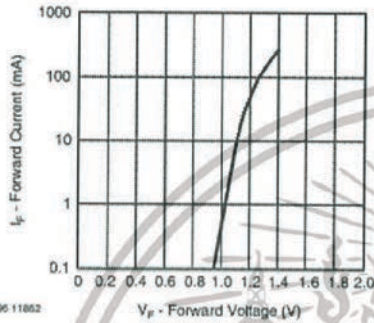


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

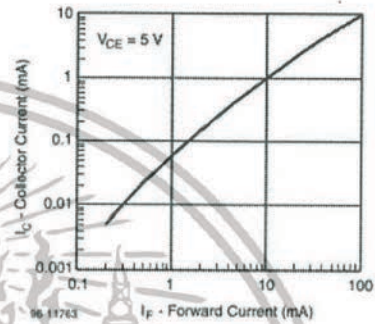


Fig. 6 - Collector Current vs. Forward Current

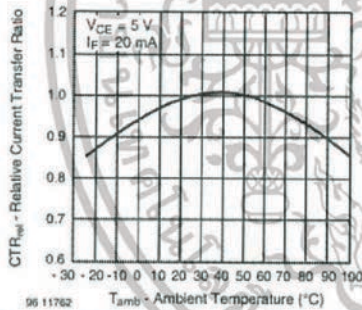


Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

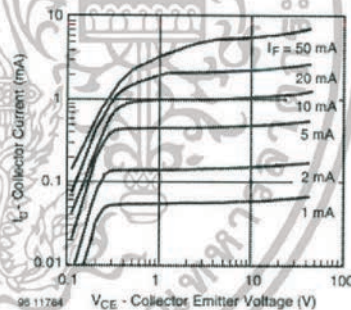


Fig. 7 - Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

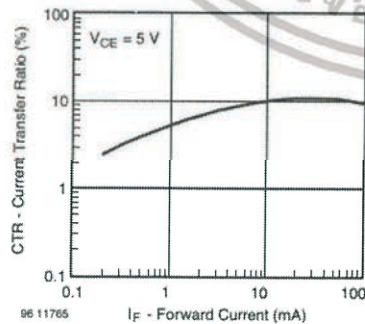


Fig. 8 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

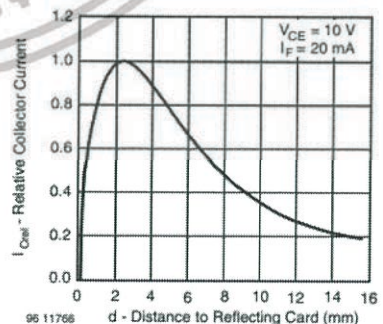
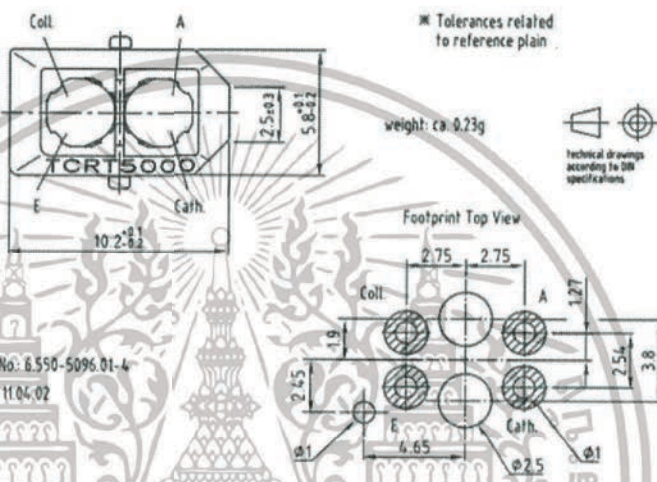
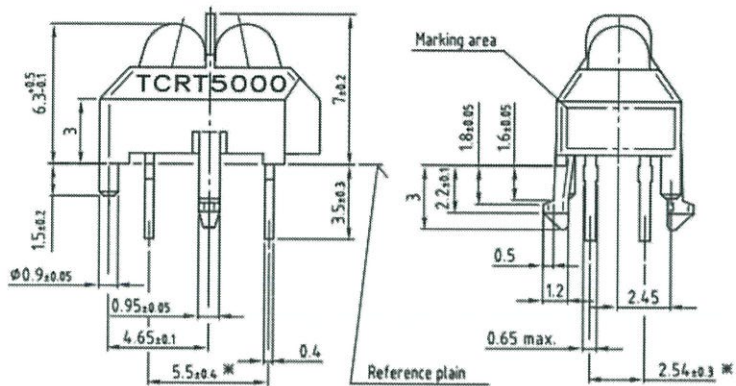


Fig. 9 - Relative Collector Current vs. Distance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

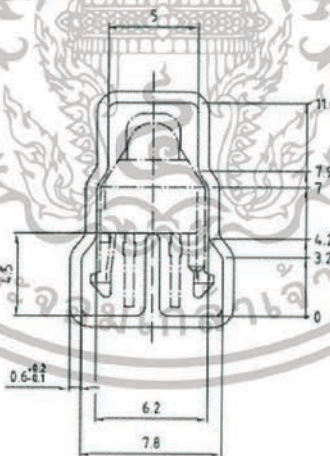
**PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters, **TCRT5000**



Drawing-No: 6.550-5096.01-4

Issue: 4, 11.04.02

**TUBE DIMENSIONS** in millimeters, **TCRT5000**



With rubber stopper  
Tolerance: ±0.5mm  
Length: 575±1mm

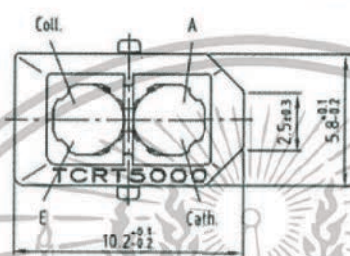
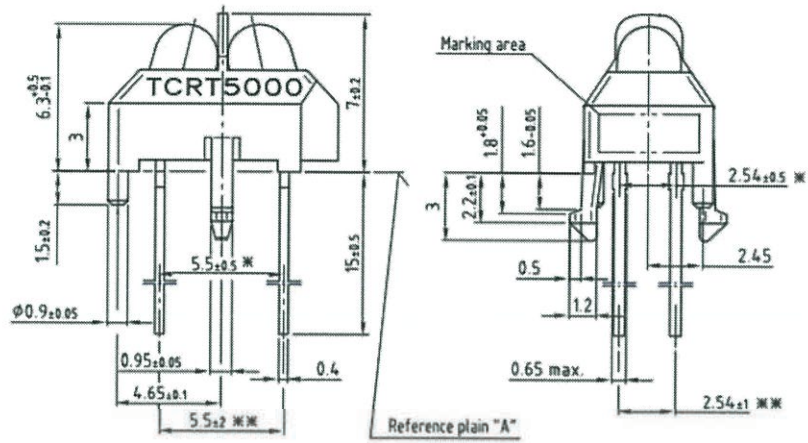
Drawing-No: 9.700-5139.01-4

Issue: 1, 10.05.00

00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters, **TCRT500L**



$\text{M}$  Tolerances related to reference plain "A"

$\text{M}$  Tolerances related on lead end



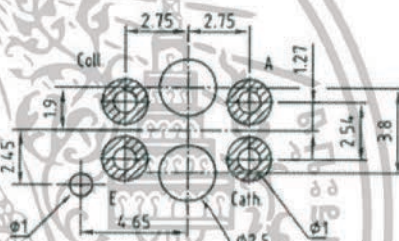
weight: ca. 0.23g

Drawing-No.: 6.550-5146.01-4

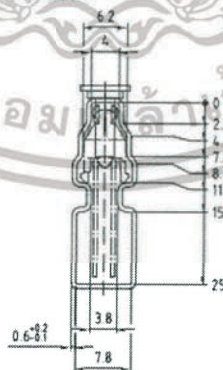
Issue: 4, 11.04.02

99.3.1002

Footprint Top View



**TUBE DIMENSIONS** in millimeters, **TCRT5000L**



With stopper pins  
Tolerance:  $\pm 0.5$ mm  
Length: 575 $\pm 1$ mm

Drawing-No.: 9.700-5178.01-4

Issue: 1, 25.02.00

200006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Packaging and Ordering Information

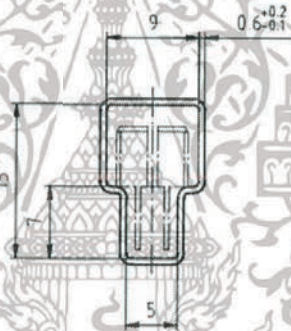
PART NUMBER	MOQ <sup>(1)</sup>	PCS PER TUBE	TUBE SPEC. (FIGURE)	CONSTITUENTS (FORMS)
CNY70	4000	80	1	28
TCPT1300X01	2000	Reel	(2)	29
TCRT1000	1000	Bulk	-	26
TCRT1010	1000	Bulk	-	26
TCRT5000	4500	50	2	27
TCRT5000L	2400	48	3	27
TCST1030	5200	65	5	24
TCST1030L	2600	65	6	24
TCST1103	1020	85	4	24
TCST1202	1020	85	4	24
TCST1230	4800	60	7	24
TCST1300	1020	85	4	24
TCST2103	1020	85	4	24
TCST2202	1020	85	4	24
TCST2300	1020	85	4	24
TCST5250	4860	30	8	24
TCUT1300X01	2000	Reel	(2)	29
TCZT8020-PAER	2500	Bulk	-	22

### Notes

(1) MOQ: minimum order quantity

(2) Please refer to datasheets

### TUBE SPECIFICATION FIGURES

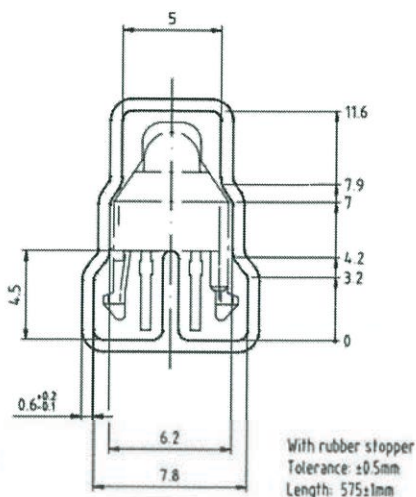


With rubber stopper  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length: 575 $\pm$ 1mm

Drawing No: 9.700-5097.01-4  
Issue: 1, 25.02.00

15198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



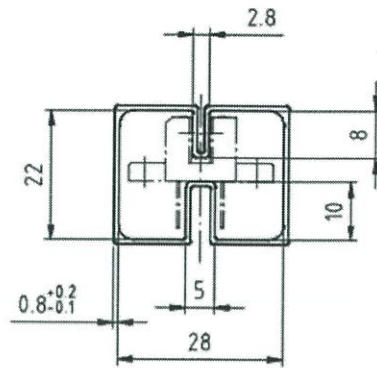
Drawing refers to following types: TCRT 5000

15210

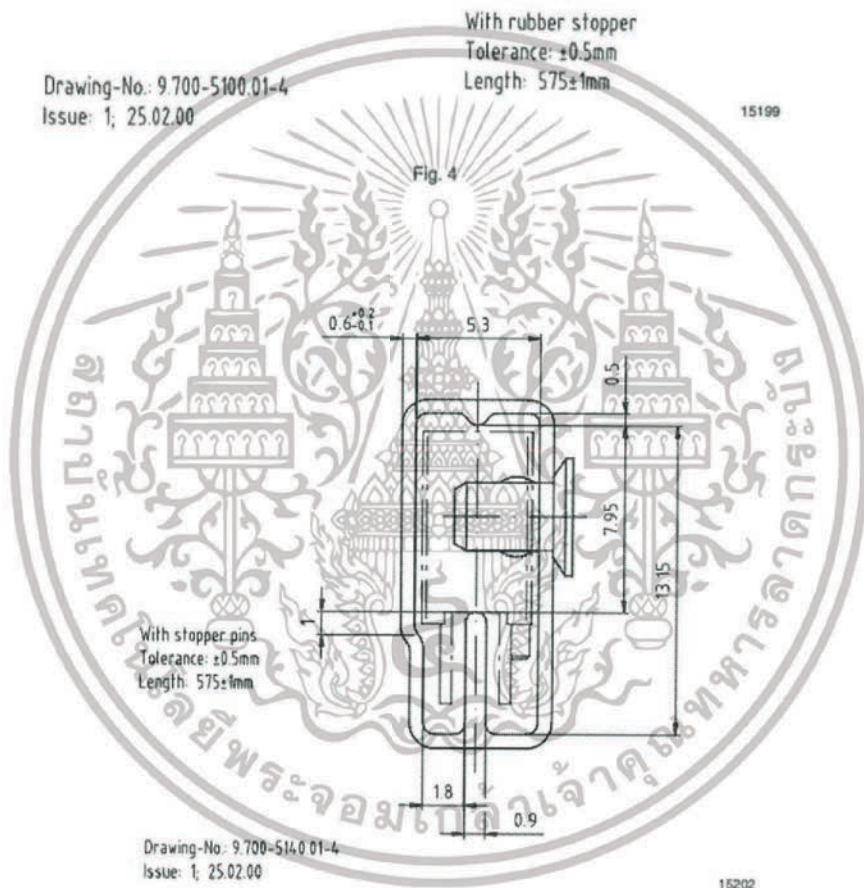


15201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



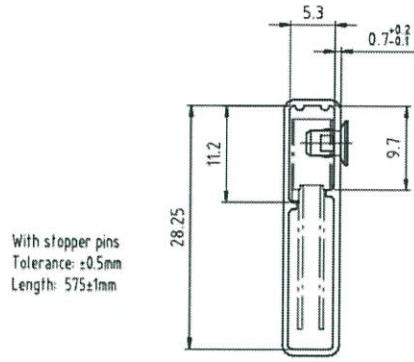
With rubber stopper  
 Tolerance: ±0.5mm  
 Length: 575±1mm  
 Drawing-No.: 9.700-5100.01-4  
 Issue: 1; 25.02.00  
 15199



With stopper pins  
 Tolerance: ±0.5mm  
 Length: 575±1mm  
 Drawing-No.: 9.700-5140.01-4  
 Issue: 1; 25.02.00  
 15202

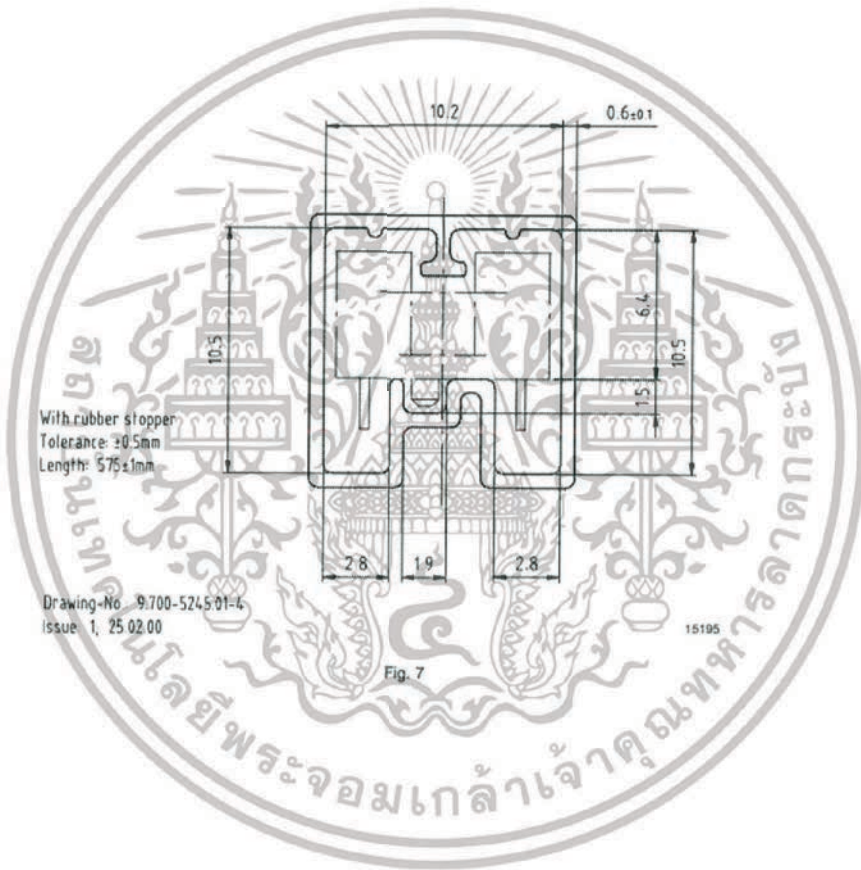
Fig. 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Drawing-No: 9.700-5205.01-4  
Issue: 1, 25.02.00

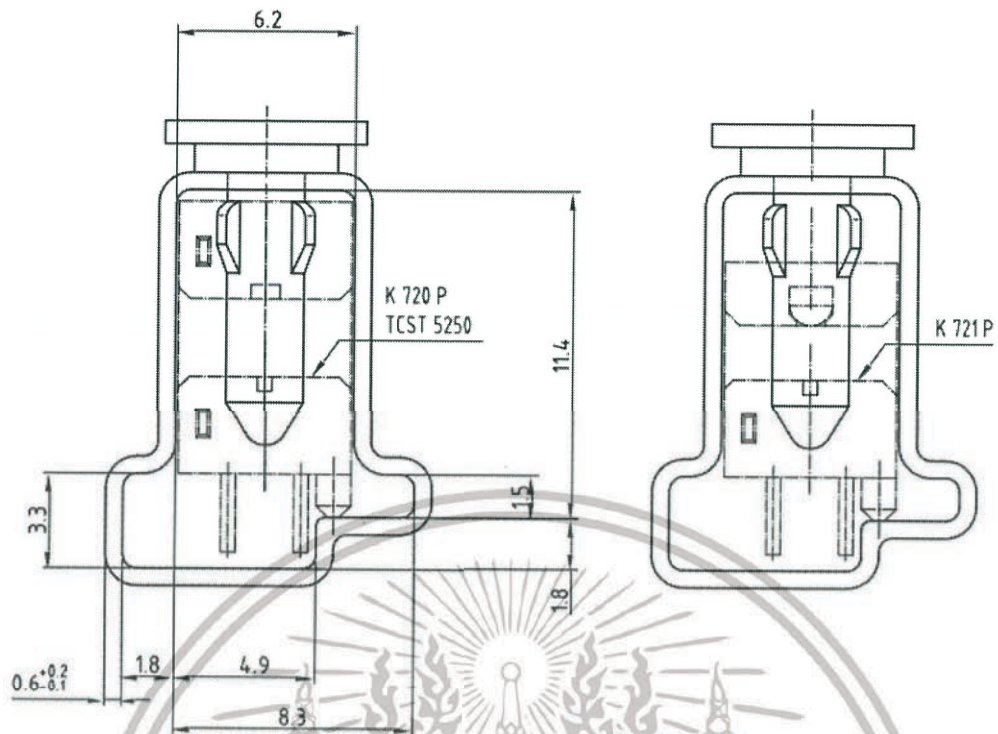
15196



Drawing-No: 9.700-524.5.01-4  
Issue: 1, 25.02.00

15195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Drawing-No: 9.700-5222 01-4

Issue: 2; 19.11.04  
20257

With stopper pins  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length: 450 $\pm$ 1mm  
All dimensions in mm

Fig. 8

AD524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FEATURES

**Low noise: 0.3  $\mu\text{V}$  p-p at 0.1 Hz to 10 Hz**  
**Low nonlinearity: 0.003% (G = 1)**  
**High CMRR: 120 dB (G = 1000)**  
**Low offset voltage: 50  $\mu\text{V}$**   
**Low offset voltage drift: 0.5  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$**   
**Gain bandwidth product: 25 MHz**  
**Pin programmable gains of 1, 10, 100, 1000**  
**Input protection, power-on/power-off**  
**No external components required**  
**Internally compensated**  
**MIL-STD-883B and chips available**  
**16-lead ceramic DIP and SOIC packages and 20-terminal leadless chip carrier available**  
**Available in tape and reel in accordance with EIA-481A standard**  
**Standard military drawing also available**

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

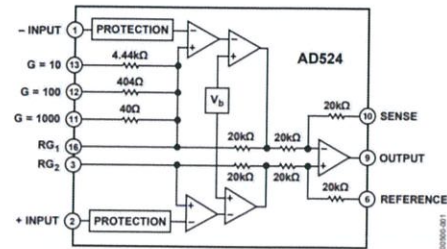


Figure 1.

## SPECIFICATIONS

At  $V_s = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$  and  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at the final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels.

Table 1.

Parameter	AD524A			AD524B			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>							
Gain Equation (External Resistor Gain Programming)	$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			
Gain Range (Pin Programmable)	1 to 1000			1 to 1000			
Gain Error							
G = 1			$\pm 0.05$			$\pm 0.03$	%
G = 10			$\pm 0.25$			$\pm 0.15$	%
G = 100			$\pm 0.5$			$\pm 0.35$	%
G = 1000			$\pm 2.0$			$\pm 1.0$	%
Nonlinearity							
G = 1			$\pm 0.01$			$\pm 0.005$	%
G = 10, G = 100			$\pm 0.01$			$\pm 0.005$	%
G = 1000			$\pm 0.01$			$\pm 0.01$	%
Gain vs. Temperature							
G = 1			5			5	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 10			15			10	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 100			35			25	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 1000			100			50	ppm/ $^\circ\text{C}$
<b>VOLTAGE OFFSET (May be Nulled)</b>							
Input Offset Voltage			250			100	$\mu\text{V}$
vs. Temperature			2			0.75	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset Voltage			5			3	mV
vs. Temperature			100			50	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply							
G = 1	<b>70</b>			<b>75</b>			dB
G = 10	<b>85</b>			<b>95</b>			dB
G = 100	<b>95</b>			<b>105</b>			dB
G = 1000	<b>100</b>			<b>110</b>			dB
<b>INPUT CURRENT</b>							
Input Bias Current			$\pm 50$			$\pm 25$	nA
vs. Temperature			$\pm 100$			$\pm 100$	pA/ $^\circ\text{C}$
Input Offset Current			$\pm 35$			$\pm 15$	nA
vs. Temperature			$\pm 100$			$\pm 100$	pA/ $^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INPUT																																																																				
Input Impedance																																																																				
Differential Resistance		10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>			Ω																																																														
Differential Capacitance		10	10			pF																																																														
Common-Mode Resistance		10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>			Ω																																																														
Common-Mode Capacitance		10	10			pF																																																														
Input Voltage Range																																																																				
Maximum Differential Input Linear (V <sub>OL</sub> ) <sup>2</sup>	±10		±10			V																																																														
Maximum Common-Mode Linear (V <sub>CM</sub> ) <sup>2</sup>		$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$		$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$		V																																																														
Common-Mode Rejection DC to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance						V																																																														
G = 1	70		75			dB																																																														
G = 10	90		95			dB																																																														
G = 100	100		105			dB																																																														
G = 1000	110		115			dB																																																														
OUTPUT RATING																																																																				
V <sub>out</sub> , R <sub>L</sub> = 2 kΩ		±10		±10		V																																																														
DYNAMIC RESPONSE																																																																				
Small Signal – 3 dB																																																																				
G = 1		1		1		MHz																																																														
G = 10		400		400		kHz																																																														
G = 100		150		150		kHz																																																														
G = 1000		25		25		kHz																																																														
Slew Rate		5.0		5.0		V/μs																																																														
Settling Time to 0.01%, 20 V Step																																																																				
G = 1 to 100		15		15		μs																																																														
G = 1000		75		75		μs																																																														
NOISE																																																																				
Voltage Noise, 1 kHz																																																																				
RTI		7		7		nV/√Hz																																																														
RTO		90		90		nV/√Hz																																																														
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz																																																																				
G = 1		15		15		μV p-p																																																														
G = 10		2		2		μV p-p																																																														
G = 100, 1000		0.3		0.3		μV p-p																																																														
Current Noise																																																																				
0.1 Hz to 10 Hz		60		60		pA p-p																																																														
SENSE INPUT																																																																				
R <sub>IN</sub>		20		20		kΩ ± 20%																																																														
I <sub>IN</sub>		15		15		μA																																																														
Voltage Range		±10		±10		V																																																														
Gain to Output		1		1		%																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Parameter</th> <th colspan="3">AD524A</th> <th colspan="3">AD524B</th> <th rowspan="2">Unit</th> </tr> <tr> <th>Min</th> <th>Typ</th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Typ</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="8">TEMPERATURE RANGE</td> </tr> <tr> <td>Specified Performance</td> <td>-25</td> <td></td> <td>+85</td> <td>-25</td> <td></td> <td>+85</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Storage</td> <td>-65</td> <td></td> <td>+150</td> <td>-65</td> <td></td> <td>+150</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td colspan="8">POWER SUPPLY</td> </tr> <tr> <td>Power Supply Range</td> <td>±6</td> <td>±15</td> <td>±18</td> <td>±6</td> <td>±15</td> <td>±18</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>Quiescent Current</td> <td></td> <td>3.5</td> <td>5.0</td> <td></td> <td>3.5</td> <td>5.0</td> <td>mA</td> </tr> </tbody> </table>							Parameter	AD524A			AD524B			Unit	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	TEMPERATURE RANGE								Specified Performance	-25		+85	-25		+85	°C	Storage	-65		+150	-65		+150	°C	POWER SUPPLY								Power Supply Range	±6	±15	±18	±6	±15	±18	V	Quiescent Current		3.5	5.0		3.5	5.0	mA
Parameter	AD524A			AD524B				Unit																																																												
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max																																																														
TEMPERATURE RANGE																																																																				
Specified Performance	-25		+85	-25		+85	°C																																																													
Storage	-65		+150	-65		+150	°C																																																													
POWER SUPPLY																																																																				
Power Supply Range	±6	±15	±18	±6	±15	±18	V																																																													
Quiescent Current		3.5	5.0		3.5	5.0	mA																																																													

<sup>1</sup> Does not include effects of external resistor, R<sub>e</sub>.

<sup>2</sup> V<sub>OL</sub> is the maximum differential input voltage at G = 1 for specified nonlinearity.

V<sub>OL</sub> at the maximum = 10 V/G.

V<sub>D</sub> = actual differential input voltage.

Example: G = 10, V<sub>D</sub> = 0.50.

V<sub>CM</sub> = 12 V - (10/2 × 0.50 V) = 9.5 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

At  $V_s = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$  and  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in **boldface** are tested on all production units at the final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels.

Table 2.

Parameter	AD524C			AD524S			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>							
Gain Equation (External Resistor Gain Programming)	$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			
Gain Range (Pin Programmable)	1 to 1000			1 to 1000			
<b>Gain Error<sup>1</sup></b>							
G = 1			<b><math>\pm 0.02</math></b>			<b><math>\pm 0.05</math></b>	%
G = 10			<b><math>\pm 0.1</math></b>			<b><math>\pm 0.25</math></b>	%
G = 100			<b><math>\pm 0.25</math></b>			<b><math>\pm 0.5</math></b>	%
G = 1000			<b><math>\pm 0.5</math></b>			<b><math>\pm 2.0</math></b>	%
<b>Nonlinearity</b>							
G = 1			<b><math>\pm 0.003</math></b>			<b><math>\pm 0.01</math></b>	%
G = 10, G = 100			<b><math>\pm 0.003</math></b>			<b><math>\pm 0.01</math></b>	%
G = 1000			<b><math>\pm 0.01</math></b>			<b><math>\pm 0.01</math></b>	%
<b>Gain vs. Temperature</b>							
G = 1			5			5	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 10			10			10	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 100			25			25	ppm/ $^\circ\text{C}$
G = 1000			50			50	ppm/ $^\circ\text{C}$
<b>VOLTAGE OFFSET (May be Nulled)</b>							
Input Offset Voltage			50			100	$\mu\text{V}$
vs. Temperature			0.5			2.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset Voltage			2.0			3.0	mV
vs. Temperature			25			50	$\mu\text{V}$
<b>Offset Referred to the Input vs. Supply</b>							
G = 1		<b>80</b>			<b>75</b>		dB
G = 10		<b>100</b>			<b>95</b>		dB
G = 100		<b>110</b>			<b>105</b>		dB
G = 1000		<b>115</b>			<b>110</b>		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	AD524C			AD524S			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>INPUT CURRENT</b>							
Input Bias Current			±15			±50	nA
vs. Temperature		±100			±100		pA/°C
Input Offset Current			±10			±35	nA
vs. Temperature		±100			±100		pA/°C
<b>INPUT</b>							
Input Impedance							
Differential Resistance		10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>		Ω
Differential Capacitance		10			10		pF
Common-Mode Resistance		10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>		Ω
Common-Mode Capacitance		10			10		pF
Input Voltage Range							
Maximum Differential Input Linear (V <sub>DL</sub> ) <sup>2</sup>		±10			±10		V
Maximum Common-Mode Linear (V <sub>CM</sub> ) <sup>2</sup>		$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$			$12\text{ V} - \left(\frac{G}{2} \times V_D\right)$		V
Common-Mode Rejection DC to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance							V
G = 1	80			70			dB
G = 10	100			90			dB
G = 100	110			100			dB
G = 1000	120			110			dB
<b>OUTPUT RATING</b>							
V <sub>OUT</sub> , R <sub>L</sub> = 2 kΩ		±10			±10		V
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>							
Small Signal – 3 dB							
G = 1		1			1		MHz
G = 10		400			400		kHz
G = 100		150			150		kHz
G = 1000		25			25		kHz
Slew Rate		5.0			5.0		V/μs
Settling Time to 0.01%, 20 V Step							
G = 1 to 100		15			15		μs
G = 1000		75			75		μs
<b>NOISE</b>							
Voltage Noise, 1 kHz							
RTI		7			7		nV/√Hz
RTO		90			90		nV/√Hz
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz							
G = 1		15			15		μV p-p
G = 10		2			2		μV p-p
G = 100, 1000		0.3			0.3		μV p-p
Current Noise							
0.1 Hz to 10 Hz		60			60		pA p-p
<b>SENSE INPUT</b>							
R <sub>IN</sub>		20			20		kΩ ± 20%
I <sub>IN</sub>		15			15		μA
Voltage Range		±10			±10		V
Gain to Output		1			1		%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	AD524C			AD524S			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
REFERENCE INPUT							
$R_{IN}$		40			40		$k\Omega \pm 20\%$
$I_{IN}$		15			15		$\mu A$
Voltage Range	10			10			V
Gain to Output		1			1		%
TEMPERATURE RANGE							
Specified Performance	-25		+85	-55		+85	$^{\circ}C$
Storage	-65		+150	-65		+150	$^{\circ}C$
POWER SUPPLY							
Power Supply Range	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	V
Quiescent Current		3.5	5.0		3.5	5.0	mA

<sup>1</sup> Does not include effects of external resistor  $R_S$ .

<sup>2</sup>  $V_{OL}$  is the maximum differential input voltage at  $G = 1$  for specified nonlinearity.

$V_{OL}$  at the maximum =  $10 V/G$ .

$V_D$  = actual differential input voltage.

Example:  $G = 10$ ,  $V_D = 0.50$ .

$V_{CM} = 12 V - (10/2 \times 0.50 V) = 9.5 V$ .

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Supply Voltage	$\pm 18 V$
Internal Power Dissipation	450 mW
Input Voltage <sup>1</sup> (Either Input Simultaneously) $ V_{IN}  +  V_S $	$< 36 V$
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
(R)	$-65^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
(D, E)	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Operating Temperature Range	
AD524A/AD524B/AD524C	$-25^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
AD524S	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	$+300^{\circ}C$

## CONNECTION DIAGRAMS

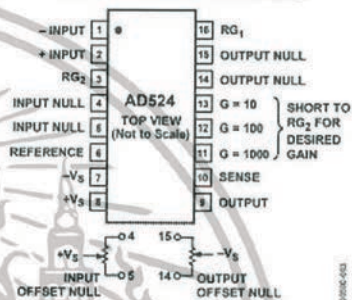
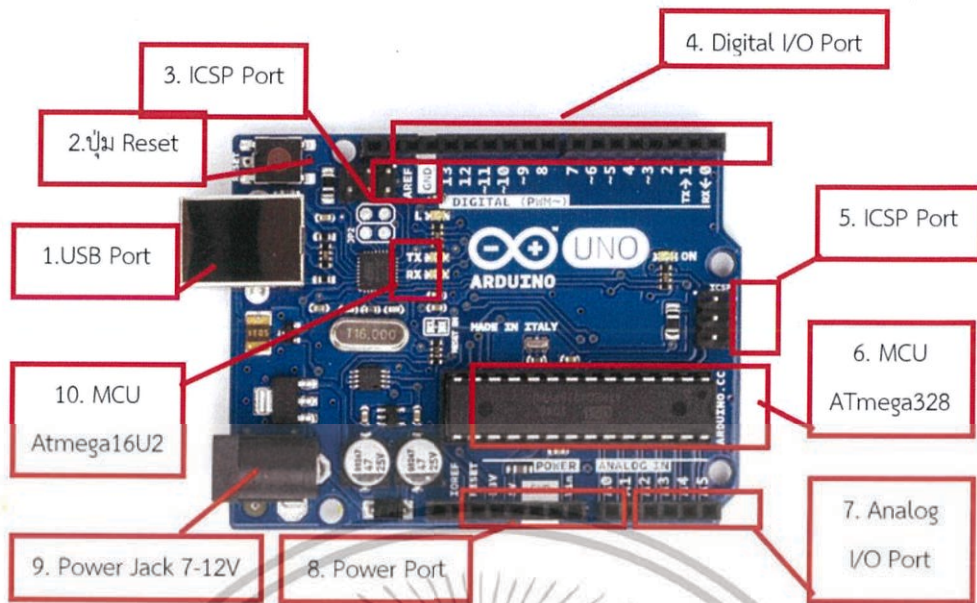


Figure 3. Ceramic (D) and SOIC (RW-16 and D-16) Packages

Arduino UNO R3

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อี-โน้ หรือ อาดูยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา และใช้กันอย่างแพร่หลาย มีราคาที่ถูก ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือ โปรแกรมต่อได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0 และ 1 เป็นขา Tx และ Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0 ถึง A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์, +5 โวลต์, GND, Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7 ถึง 12 โวลต์
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อ  
กับ Computer ผ่าน Atmega16U2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้