



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัดเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติโดยใช้การเรียนรู้ในส่วนของเครื่อง

Autonomous driving ultraviolet robot based on  
machine learning for operating room sterilization

ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2562

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัดเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติโดยการเรียนรู้ในส่วนของเครื่อง  
แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้  
ประจำปีงบประมาณ.....2562..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 430,000 บาท  
ระยะเวลาทำการวิจัย.....1..... ปี ตั้งแต่.....1 ตุลาคม 2561..... ถึง.....30 กันยายน 2562  
หัวหน้าโครงการ ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา  
ภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการติดเชื้อในห้องผ่าตัด เนื่องจากการติดเชื้อในห้องผ่าตัดมีมากถึง 14% ถึง 17% ของการติดเชื้อในโรงพยาบาลทั้งหมด ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Germicidal Irradiation : UVGI) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไวรัสและเชื้อราต่างๆ ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสีสำหรับห้องผ่าตัดที่มีระบบควบคุมแบบไร้สาย แสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย Wi-Fi เดียวกัน ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่รวมถึงการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ มีหลอดยูวีที่มีพลังงาน 19.3 วัตต์ จำนวน 3 หลอด ทำให้การฆ่าเชื้อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถลดอัตราการติดเชื้อในห้องผ่าตัดได้

**Research Title** Autonomous driving ultraviolet robot based on machine learning for operating room sterilization

**Researcher** Dr.Wibool.Piyawattanametha

**Faculty** Engineering

**Department** Biomedical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project was designed to help enhance cleanliness in operating or patients' rooms. Surgical site infections (SSI) account for 14% to 17% of all hospital-acquired infections because a standard cleaning via chemical disinfection is insufficient. An additional method by utilizing ultraviolet germicidal irradiation is proven to be an effective method to reduce germs and bacteria. Our research team has developed a robotic UV sterilizer or a UV bot to disinfect rooms. Our UV bot can be controlled via a Wi-Fi network with a live streaming aiding the UV bot navigation to avoid obstacles around the room. Our UV Bot has three 19.3-watt of UV lamps. Our UV bot can effectively use to sterilize and potentially aid in reducing the infection rate in patients' room.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ปิยวัฒน์เมธา, ดร.ตรีสุคนธ์ ตรีบุพชาติสกุล และ ดร.พิมพ์ขวัญ หาญนันทอนันต์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำดำเนินงาน และขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ให้คำแนะนำให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาในภาควิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์แห่งนี้ ตลอดจนจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้เรียนเสมอมาและ ขอพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ที่ได้ให้โอกาสศึกษาหาความรู้ในการจัดทำวิจัยเล่มนี้ได้อย่างประสบความสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย .....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 คำสำคัญของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม .....	3
2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Radiation : UV).....	3
2.1.1 การฆ่าเชื้อโรคด้วยการฉายรังสี UV-C ขึ้นกับสององค์ประกอบหลัก .....	4
2.1.2 ลักษณะใช้งานฆ่าเชื้อโรคด้วยหลอดรังสี UV.....	5
2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน (Applications).....	5
2.2 การฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C .....	6
2.3 UV Dose Required for inactivation of bacteria .....	8
2.4 ความปลอดภัยของรังสียูวี.....	9
2.5 การคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับในบริเวณต่างๆ .....	10
2.6 มาตรฐานห้องฆ่าตัด.....	10
2.7 Machine Learning.....	13

2.7.1	AI และ Machine learning.....	13
2.7.2	Machine Learning คืออะไร.....	14
2.7.3	รูปแบบการเรียนรู้ของ Machine Learning.....	15
2.8	Python.....	18
2.9	Raspberry Pi .....	19
2.10	การติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial Infections : NI or Hospital-Acquired Infection : HAI) 21	
2.11.1	การติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด ( Surgical Site Infection ).....	23
2.11.2	เชื้อ Staphylococcus aureus .....	24
2.11.3	Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus (MRSA) .....	25
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย .....	28
3.1	การสร้างหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี.....	28
3.1.1	การออกแบบหุ่นยนต์ .....	28
3.1.2	การสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ.....	32
3.1.3	การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์.....	36
3.2	การทดสอบการฆ่าเชื้อของรังสียูวี.....	49
3.2.1	อาหารเลี้ยงเชื้อ NA (Nutrient Agar) .....	50
3.2.2	การเจือจางแบบทศนิยม (Ten-fold serial dilution).....	54
3.2.3	Spread plate.....	56
3.2.4	ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีในตัว laminar flow.....	58
3.2.5	ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ.....	59
บทที่ 4	ผลการวิจัย .....	62
4.1	การทำงานของหุ่นยนต์.....	62
4.1.1	การออกแบบหุ่นยนต์ .....	62
4.1.2	การสร้างหุ่นยนต์.....	63

4.1.3	การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์.....	63
4.1	การทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี.....	65
4.2.1	การเจือจางแบบทีเรีย (Ten-fold serial dilution).....	65
4.2.2	ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวี.....	68
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย .....	74
5.1	สรุปผลการทดลอง .....	74
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข.....	74
5.3	แนวทางการพัฒนา.....	75
บทที่ 6	สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	76
	สรุปงบประมาณค่าใช้จ่าย .....	77
	บรรณานุกรม.....	IX
	ภาคผนวก .....	XI



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดง spectrum ของแสง.....	3
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นและรังสี UV-C.....	4
รูปที่ 3 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ thymine dimer.....	6
รูปที่ 4 แสดงการถูกทำลายของ DNA.....	7
รูปที่ 5 แสดงกรถูกทำลายของ DNA.....	7
รูปที่ 6 แสดงสมการการหา UV dose.....	8
รูปที่ 7 แสดงปริมาณ UV dose ที่ใช้กำจัดเชื้อโรค 99.99%(1).....	8
รูปที่ 8 แสดงปริมาณ UV dose ที่ใช้กำจัดเชื้อโรค 99.99%(2).....	9
รูปที่ 9 การสังเคราะห์ระบบ UV-C ผ่านหน้าต่างหรือกระจก.....	9
รูปที่ 10 ห้องฆ่าตัด.....	11
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบร่างกายมนุษย์กับ AI.....	14
รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบการเขียนโปรแกรมแบบเดิมและ Machine learning.....	15
รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างคะแนนและผลการสอบของนักเรียน.....	15
รูปที่ 14 แสดงรูป input.....	16
รูปที่ 15 แสดงผลการจัดกลุ่มของโปรแกรม.....	16
รูปที่ 16 แสดงตัวแปรที่ใช้แก้ปัญหาด้วยวิธี Reinforcement Learning.....	17
รูปที่ 17 แสดงสัญลักษณ์ภาษา Python.....	18
รูปที่ 18 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบ Raspberry Pi.....	19
รูปที่ 19 ภาพแสดงสัญลักษณ์ Raspberry Pi.....	20
รูปที่ 20 แสดงสวิตช์ GPIO ของ Raspberry Pi.....	21
รูปที่ 21 ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล.....	22
รูปที่ 22 เชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในโรงพยาบาล.....	23
รูปที่ 23 Staphylococcus aureus.....	24
รูปที่ 24 Staphylococcus aureus ในอาหารเลี้ยงเชื้อ.....	25

รูปที่ 25	ผลติดเชื้อ MRSA .....	26
รูปที่ 26	แสดงการออกแบบส่วนฐานของหุ่นยนต์เมื่อมองจากมุมบนและจากมุมล่าง .....	28
รูปที่ 27	แสดงการออกแบบหุ่นยนต์เมื่อมองจากด้านข้าง .....	29
รูปที่ 28	แสดงการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ .....	29
รูปที่ 29	แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆของหุ่นยนต์ .....	30
รูปที่ 30	แบบจำลอง Ultrasonic sensor และ Webcam camera .....	31
รูปที่ 31	แบบจำลองหลอดไฟยูวี .....	31
รูปที่ 32	UV dose ( $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ ) required to inactivate 99.9% of various micro-organisms .....	32
รูปที่ 33	แสดงโครงสร้างส่วนฐานของหุ่นยนต์ .....	33
รูปที่ 34	แสดงล้อของหุ่นยนต์ .....	33
รูปที่ 35	แสดงเสากลาง และหลอดไฟของหุ่นยนต์ .....	34
รูปที่ 36	แสดงการประกอบส่วนฐานกับส่วนเสากลางเข้าด้วยกัน .....	34
รูปที่ 37	แสดงการต่อวงจรของหุ่นยนต์ .....	35
รูปที่ 38	หุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ .....	35
รูปที่ 39	แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์ .....	36
รูปที่ 40	แสดงหน้าต่าง <a href="https://www.raspberrypi.org/downloads/">https://www.raspberrypi.org/downloads/</a> .....	37
รูปที่ 41	แสดงตำแหน่งของ RASPBAN STRETCH WITH DESKTOP .....	37
รูปที่ 42	แสดงหน้าเว็บของ <a href="https://www.7-zip.org/download.html">https://www.7-zip.org/download.html</a> .....	38
รูปที่ 43	แสดงหน้าเว็บ <a href="https://etcher.io/">https://etcher.io/</a> .....	38
รูปที่ 44	แสดงหน้าต่างโปรแกรม Etcher .....	39
รูปที่ 45	แสดงการเลือกระบบปฏิบัติการที่จะลงใน SD Card .....	39
รูปที่ 46	แสดงการกดเลือก drive .....	40
รูปที่ 47	แสดงปุ่ม flash .....	40
รูปที่ 48	แสดงการเชื่อมต่อของ raspberry pi และ motor drive ฝั่งล้อขวา .....	41
รูปที่ 49	แสดงการเชื่อมต่อของ raspberry pi และ motor drive ฝั่งล้อซ้าย .....	41
รูปที่ 50	แสดงตัวอย่างของ code ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ .....	42

รูปที่ 51 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง raspberry pi และ ultrasonic sensors.....	42
รูปที่ 52 ภาพแสดงตัวอย่าง code ที่ใช้ควบคุม ultrasonic sensors.....	43
รูปที่ 53 แสดงตัวอย่าง code ที่ใช้ควบคุม solid state relay .....	44
รูปที่ 54 แสดงหน้าต่างโปรแกรม adobe dreamweaver .....	44
รูปที่ 55 ภาพแสดงการเขียนหน้าเว็บไซต์.....	45
รูปที่ 56 แสดงสัญลักษณ์ของ Flask.....	45
รูปที่ 57 แสดงการรับส่งข้อมูลโดยใช้ flask ผ่าน python และ HTML.....	46
รูปที่ 58 แสดงตำแหน่ง IP .....	46
รูปที่ 59 แสดงการส่งข้อมูลแบบตัวแปรจาก python .....	47
รูปที่ 60 แสดงการรับข้อมูลตัวแปรบน HTML .....	47
รูปที่ 61 แสดงคำสั่งสำหรับตั้งค่า Wi-Fi .....	48
รูปที่ 62 แสดงการตั้งค่า Wi-Fi เป็น “Project2019” .....	48
รูปที่ 63 แสดงคำสั่งสำหรับเข้าไปแก้ไขเมื่อเปิด raspberry pi.....	49
รูปที่ 64 แสดงคำสั่งที่พิมพ์เพิ่มเติมเมื่อตอน raspberry pi เปิด.....	49
รูปที่ 65 ชั่ง peptone 1.25 กรัม .....	51
รูปที่ 66 ชั่ง Yeast Extract 0.75 กรัม .....	52
รูปที่ 67 ชั่ง NaCl 1.25 กรัม .....	52
รูปที่ 68 ชั่ง Agar 3.7 กรัม .....	52
รูปที่ 69 เติมน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วนำไปวางบนเครื่องกวนสาร เพื่อผสมให้เข้ากัน.....	53
รูปที่ 70 เทอาหารเลี้ยงเชื้อใส่กระบอกตวง .....	53
รูปที่ 71 เติมน้ำกลั่นให้ได้ 250 มิลลิลิตร.....	53
รูปที่ 72 ผสมให้เข้ากันโดยการเทกลับไปมาระหว่างปิ๊กเกอร์และกระบอกตวง .....	54
รูปที่ 73 เทใส่ขวดรูปชมพู่ จากนั้นคนให้เข้ากัน.....	54
รูปที่ 74 เขียนกำกับที่หลอดบรรจุอาหารเหลวทั้ง 10 หลอด.....	55
รูปที่ 75 เชี่ยเชื้อจากจานเลี้ยงเชื้อตัวอย่าง .....	56
รูปที่ 76 ใส่ลงในหลอดบรรจุอาหารเหลว $10^1$ .....	56

รูปที่ 77 ทำให้เข้ากันแล้วปิดฝาให้สนิท.....	56
รูปที่ 78 ใช้ปิเปตดูดแบคทีเรีย ปริมาตร 0.1 ml ใส่ลงในผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อขุน.....	57
รูปที่ 79 นำ glass spreader ไปลงไฟ.....	58
รูปที่ 80 Spread plate.....	58
รูปที่ 81 ปิดด้วยพาราฟิล์ม.....	58
รูปที่ 82 การฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีในตัว laminar flow.....	59
รูปที่ 83 การฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ.....	60
รูปที่ 84 แสดง Thorlabs PM100D Power meter S120C.....	61
รูปที่ 85 3.2.6 วิธีการทดสอบ watt output ของหลอดยูวี.....	61
รูปที่ 86 แสดงแบบจำลองหุ่นยนต์จากโปรแกรม Autodesk.....	62
รูปที่ 87 หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี.....	63
รูปที่ 88 ระบบควบคุมหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ.....	64
รูปที่ 89 User Interphase.....	65

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยมาตรฐานในห้องผ่าตัด จะต้องเป็นห้องที่มีพื้นผิวสะอาด มีอากาศที่บริสุทธิ์ปราศจากเชื้อโรค เพื่อลดอัตราการติดเชื้อของผู้ป่วยที่อาจเกิดขึ้นขณะผ่าตัด ในปัจจุบันพบว่าปัญหาการติดเชื้อในห้องผ่าตัดมีมากถึง 14% ถึง 17% ของการติดเชื้อในโรงพยาบาลทั้งหมด และ 38% ของการติดเชื้อในโรงพยาบาลเกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด จึงต้องมีการเตรียมห้องผ่าตัดให้สะอาดตั้งแต่ก่อนทำการผ่าตัดและหลังทำการผ่าตัด ซึ่งการทำความสะอาดแบบทั่วไปนั้นไม่สามารถกำจัดเชื้อโรคได้เพียงพอ ปัญหาที่พบในห้องผ่าตัดส่วนใหญ่คือค่าความสะอาดมีปัญหา เกิดเชื้อราและเชื้อโรคที่ผนังและฝ้าเพดาน เกิดเชื้อราขึ้นตามอุปกรณ์ต่างๆ ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV : Ultra Violet) เพื่อฆ่าเชื้อโรคและเชื้อโรคที่อาจยังคงอยู่บนพื้นผิวหลังจากการทำความสะอาดด้วยมือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นด้วยกันแต่ความยาวคลื่นที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้นั้นคือความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร หรือที่เรียกว่า UV-C ซึ่งรังสี UV-C มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไวรัสและเชื้อราในระดับสูง สามารถฆ่าเชื้อได้ทั้งในอากาศ ในน้ำ และบนพื้นผิววัตถุ และประสิทธิภาพมากเมื่อใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัด

เครื่องฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ที่มีในปัจจุบันมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายอย่าง เช่น รังสี UV นั้นเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้รับรังสีเป็นเวลานานหรือในปริมาณรังสีที่มาก ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง และการติดเชื้อที่ตา (โรคตาแดง) หรือชนิดหลอดไฟติดเพดาน มีข้อจำกัดคือไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ในทุกบริเวณที่ต้องการเนื่องจากรังสีจะต้องถูกเชื้อโรคโดยตรงเท่านั้น ถ้าซ่อนอยู่ในเงาของวัตถุ เชื้อโรคนั้นจะไม่ตาย

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ที่ควบคุมการเคลื่อนที่รวมถึงการหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) โดยใช้ในส่วนของ การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองทำให้สามารถฆ่าเชื้อได้ทั่วถึง และมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อมากกว่า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1 เพื่อสร้างหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อที่เคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง
- 2 เพื่อศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV
- 3 เพื่อให้การฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง
- 4 เพื่อพัฒนาวิธีการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ในห้องผ่าตัด

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้ได้มุ่งเน้นการออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV แบบอัตโนมัติควบคุมโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับห้องผ่าตัด โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วย 1.) หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ซึ่งควบคุมด้วยปัญญาประดิษฐ์ประเภท Machine Learning ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่รวมไปถึงการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตัวเองเพื่อให้การฆ่าเชื้อเป็นไปอย่างทั่วถึง 2.) หลอดรังสี UV ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 200 - 280 นาโนเมตร หรือเรียกว่า UV-C ซึ่งใช้หลอด UV 48 วัตต์ จำนวน 3 หลอด ซึ่งมี output 210 watt หลอดไฟมีความยาว 1149 มิลลิเมตร 3.) ความสามารถของหุ่นยนต์ที่ได้คือ เป็นหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่และหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตนเอง ในการทำงานเครื่องหลังจากทำงานเสร็จก็จะปิดการทำงานด้วยตนเอง โดยในการใช้งานจำเป็นต้องมีการเสียบปลั๊กในระหว่างที่ใช้ ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสามารถฆ่าเชื้อได้มากถึง 99.99 % ในระยะ 25 ตร.ม. ภายในเวลา 10 นาที

### 1.4 คำสำคัญของการวิจัย

หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, การเรียนรู้ในส่วนของเครื่อง, การเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

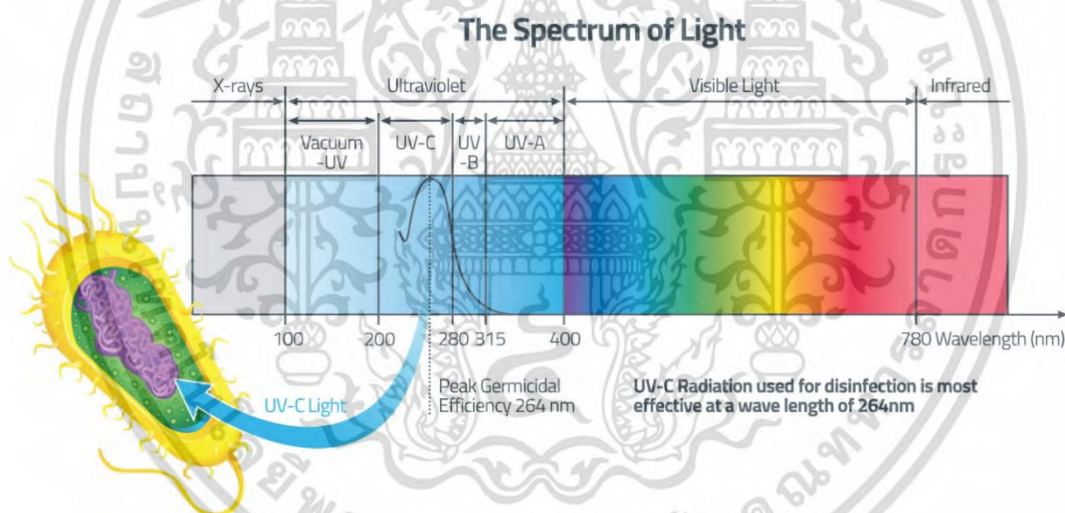
1. หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV แบบอัตโนมัติควบคุมโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับห้องผ่าตัดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัด
2. เนื่องจากหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV แบบอัตโนมัติควบคุมโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องสำหรับห้องผ่าตัดสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองจึงช่วยลดภาระงานแก่บุคลากรทางการแพทย์
3. เพื่อเป็นแนวความคิดในการพัฒนาวิธีการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ต่อไป

## บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

กระบวนการฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัดนอกจากจะต้องทำความสะอาดแบบทั่วไปแล้วนั้น เพื่อให้แน่ใจว่าห้องจะสะอาด ปราศจากเชื้อโรคตามที่ต้องการ ลดการเกิดการติดเชื้อขณะผ่าตัด จึงมีความจำเป็นในการใช้รังสี UV ในการฆ่าเชื้อโรคหลังจากทำความสะอาดแบบทั่วไป ซึ่งรูปแบบการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ในปัจจุบันมีข้อจำกัดในการทำงาน การทำเป็นหุ่นยนต์จะสามารถทำให้การทำความสะอาดเชื้อโรคเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น บุคลากรทางการแพทย์ไม่ต้องทำงานหนักมากอย่างไม่จำเป็น ดังนั้นการประดิษฐ์หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ในห้องผ่าตัดควบคุมโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัดได้

### 2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Radiation : UV)

แสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-rays) และแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) รังสี UV อยู่ในช่วงความยาวคลื่นของ 200 นาโนเมตร ถึง 390 นาโนเมตร การฆ่าเชื้อโรค UV ที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นที่ 254 นาโนเมตร รังสี UV แบ่งเป็นสามประเภทย่อย ๆ ดังนี้



รูปที่ 1 แสดง spectrum ของแสง

1. UV-A ช่วงความยาวคลื่น 315 - 380 nm

เป็นรังสีUVที่ไม่ค่อยมีอันตรายมากนัก สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้หลายด้าน โดยเฉพาะทางด้านเคมี, ฟิสิกส์

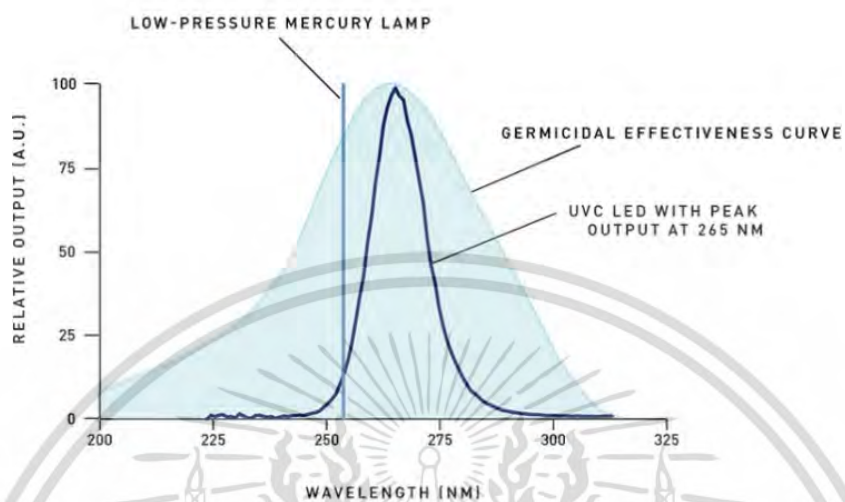
2. UV-B ช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 nm

มีผลต่อร่างกาย และสิ่งของได้ ก่อให้เกิดการไหม้ของผิวหนัง(Sunburn or Erythematic) และการอักเสบของตาได้ แต่มีคุณสมบัติประโยชน์ในการรักษาโรคผิวหนังบางชนิดได้ รวมถึงการประยุกต์ ในงานอุตสาหกรรมเคมี

3. UV-C ช่วงความยาวคลื่น 200 - 280 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรังสีที่มีอันตรายต่อร่างกายได้อย่างรุนแรง เช่น ผื่นแดงไหม้เกรียม (Erythema) หรือ เยื่อบุตาอักเสบ (Conjunctivitis) ซึ่งเราประยุกต์มาทำ ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อโรคได้



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นและรังสี UV-C รังสียูวีแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ดังนี้

#### 1. UV Mercury

เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบดั้งเดิม โดยการสร้างรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบดั้งเดิมใช้การอาบของกระแสไฟฟ้าสภาวะในหลอดก๊าซไอออไนซ์ซึ่งจะปล่อยโฟตอนออก หลังจากทีอะตอมลดลงทำให้เกิดแสงที่สม่ำเสมอ

#### 2. UV Xenon

ในทางกลับกันการปล่อยพลังงานเป็นพัลส์ (เมื่อเทียบกับกระแสของแสง) หลังจากเก็บประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุแล้วพลังงานจะส่งเป็นหน่วยมิลลิวินาที ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถสร้างใหม่หรือซ่อมแซม เป็นโฟตอนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 2.1.1 การฆ่าเชื้อโรคด้วยการฉายรังสี UV-C ขึ้นกับสององค์ประกอบหลัก

1. ความลึกในการแทรกซึม (Depth of Penetration) ของรังสีUV-C ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก เนื่องจากรังสี UV มีขีดจำกัดในการแทรกซึมผ่านวัตถุ (ยกเว้นน้ำและของเหลวบางชนิด) เพราะผิวชั้นนอกของวัตถุจะดูดซับรังสีเอาไว้
2. อันตรายจากรังสีต่างๆ (Possible Hazardous Effects of Such Radiation) ผู้ที่รับการฉายรังสีไม่ควรได้รับรังสีมากไป แต่อย่างไรก็ดี การใช้รังสี UV-C ซึ่งได้จากหลอดฆ่าเชื้อโรคนั้นก็มีข้อควรสังเกต ดังนี้ :
  - UV-C ต้องถูกเชื้อโรคโดยตรงเท่านั้น ถ้าเชื้อโรคซ่อนอยู่ในเงาของวัตถุ เชื้อโรคนั้นจะไม่ตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- UV-C จะต้องถูกเชื้อโรคเป็นระยะเวลา นานพอ (นานแค่ไหนขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อโรค) จึงจะสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ ซึ่งเชื้อโรคบางชนิดทนต่อรังสี UV-C ได้นานมาก

- UV-C ถูกดูดซึมได้ง่าย จึงควรใช้ในที่อากาศแห้ง เพราะจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และใช้ขนาด Dose น้อยที่สุด ถ้าใช้ในอากาศชื้นมากๆ ต้องใช้ขนาด Dose เป็นสองเท่า ถ้าใช้น้ำดื่มธรรมดาจากน้ำก๊อก อาจต้องใช้ขนาดมากถึงสิบเท่า

- การใช้หลอด UV-C ควรระวังไม่ให้ถูกตาและผิวหนังของคนโดยตรง (ถ้าสะท้อนจากผนัง ก็ต้องคอยระวังไม่ให้นานเกินไป)

### 2.1.2 ลักษณะใช้งานฆ่าเชื้อโรคด้วยหลอดรังสี UV

1. การฆ่าเชื้อโรคในอากาศ (Air Disinfection) ทำได้ 4 วิธีคือ
  1. ติดหลอด UV ไว้บนเพดาน (Ceiling-mounted UV Lamp) รังสีกระจายทั่วไป ใช้ในเวลาปลอดคน
  2. ฉายรังสีสู่อากาศด้านบนของห้อง (Upper-Air Irradiation) โดยใช้โคมหันขึ้น ไม่ส่องลงมาสู่ตาคน
  3. ฉายรังสีใส่อากาศที่พื้นห้อง (Floor-Zone Irradiation) ด้วยโคมชนิดหันลง เพื่อฉายรังสีใส่อากาศที่พื้น
  4. ในท่ออากาศหรือท่อลม (Air-Ducts) เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System)
2. ฆ่าเชื้อโรคที่พื้นผิวของวัตถุ (Surface Disinfection) ใช้กับการผลิตอาหารและยา ทั้งโดยตรงหรือภาชนะบรรจุ
3. ฆ่าเชื้อโรคในของเหลว (Liquid Disinfection) ใช้ในการผลิตน้ำดื่ม, น้ำผลไม้, น้ำเลี้ยงปลา, น้ำในสระว่ายน้ำ

### 2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน (Applications)

1. สถานที่สาธารณะ ที่มีคนอยู่เป็นจำนวนมากหรืออยู่เป็นเวลานาน เช่นห้องเรียน, ค่ายทหาร, โรงภาพยนตร์, หอประชุม, ห้องรับรอง, สำนักงาน ฯลฯ ให้ติดตั้งหลอดUVGI ในท่อฆ่าเชื้อโรคในอากาศ (Air-disinfecting Duct), ท่อปรับสภาพอากาศ (Air-conditioning Duct)

2. โรงพยาบาล (Hospital) ตึกคนไข้, ห้องตรวจ, ที่พักคอย, ครัว, ที่เก็บเครื่องมือผ่าตัดและอุปกรณ์ของใช้ต่างๆ อาหารและเครื่องดื่ม (Food and Beverage) ทั้งขั้นตอน ผลิต, บรรจุหีบห่อ, จัดเก็บ หรือส่งสินค้าจำหน่าย

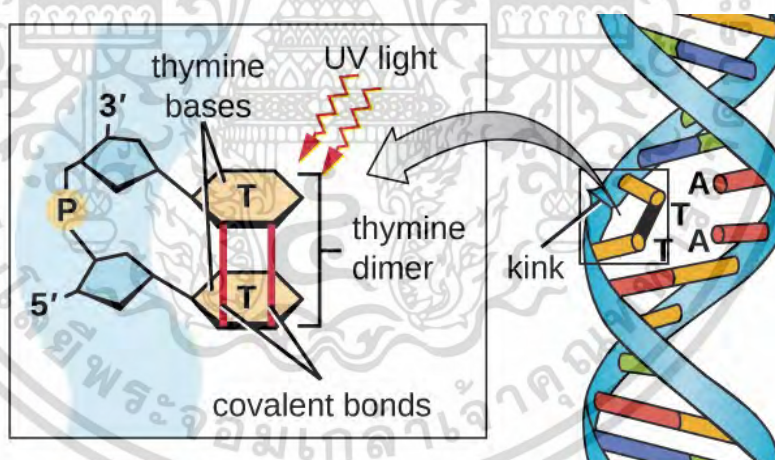
3. อุตสาหกรรมการผลิตเวชภัณฑ์ (Pharmaceutical Industry) รวมถึง สารปฏิชีวนะ ยา และเครื่องสำอาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.ห้องครัว (Kitchen) ในตู้เย็น
- 5.การป้องกันสัตว์ป่วย (Animal Protection) ใช้กับเรือนปศุสัตว์, คอก, ฟาร์ม, เล้า, กรงขัง รวมไปถึงสวนสัตว์ได้
- 6.อุปกรณ์สำหรับการบรรจุหีบห่อ (Packaging Material) และการปิดผนึก(Sealing)
- 7.ห้องทดลอง (Laboratory) และเครื่องมือทดลองต่างๆ
8. Water Purification เช่น Drinking Water, Aquarium, Swimming Pools, Supplementing Chlorination

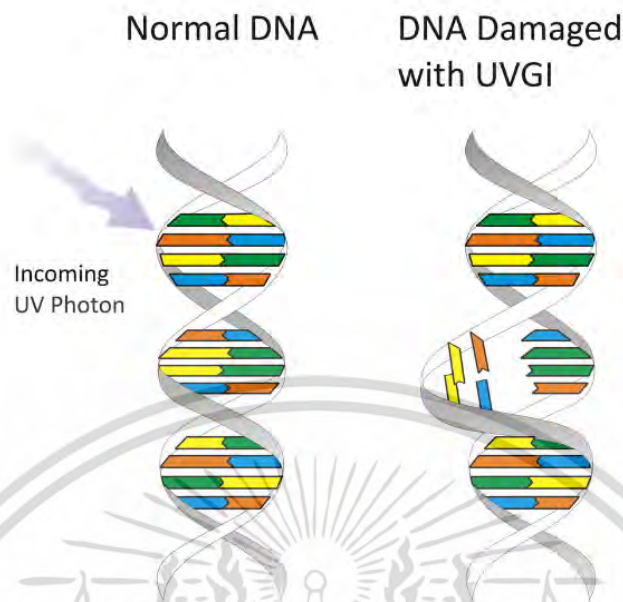
## 2.2 การฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C

เนื่องจากรังสี UV-C ถูกกรองด้วยบรรยากาศของโลก สิ่งมีชีวิตจึงไม่ได้มีการป้องกันรังสี UV-C จากธรรมชาติ เมื่อตีเอ็นเอของจุลินทรีย์ดูดซับพลังงาน UV-C พลังงาน UV-C จะผ่านผนังเซลล์แบคทีเรีย ไวรัสและสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียจากนั้นจะถูกดูดซึมโดย DNA, RNA และโปรตีน กลไกหลักของความเสียหายที่สร้างขึ้นโดย UV-C คือการหลอมละลายของเส้นใย DNA สร้างสิ่งที่เรียกว่า dimers thymine เมื่อตีเอ็นเอถูกหลอมละลาย ทำให้เซลล์ไม่สามารถเติบโตหรือทำซ้ำได้ หากไม่มีความสามารถในการทำซ้ำจึงถือว่าตายแล้ว เรียกว่า "deactivation."



รูปที่ 3 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ thymine dimer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงการถูกทำลายของ DNA

การใช้พลังงาน UV-C เพื่อฆ่าเชื้อโรคเป็นที่รู้จักกันในชื่อ “Germicidal Irradiation or UVGI” พลังงาน UV-C ประดิษฐ์ผลิตขึ้นในหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ฆ่าเชื้อโรคซึ่งสร้างรังสียูวีด้วยไอออนไนซ์ความดันไอปรอทต่ำ โคมไฟเหล่านี้มีลักษณะคล้ายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบทั่วไป แต่ไม่มีการเคลือบฟลูออเรสเซนต์ซึ่งช่วยให้แสงสีขาวนุ่มนวล ความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการทำลายดีเอ็นเอของจุลินทรีย์มีความยาวคลื่นมากถึง 254 นาโนเมตร



รูปที่ 5 แสดงกรถูกทำลายของ DNA

การฆ่าเชื้อโรคในห้องเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยี UVGI ระบบ UV ได้รับการพัฒนาเพื่อทำลายจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเชื้อราไวรัสและเชื้อแบคทีเรียและสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่นห้องผ่าตัดในโรงพยาบาลทั่วไปต้องทำความสะอาดแบบทั่วไปโดยละเอียดก่อนที่จะเข้ารับการรักษาต่อไป การหมุนรอบเวลาต้องน้อยที่สุด แต่การทำความสะอาดต้องมีประสิทธิภาพ ซึ่งรังสี UV สามารถฆ่าเชื้อได้โดยทั่วไปภายในห้องผู้ป่วยโดยใช้เวลาน้อยมาก

## 2.3 UV Dose Required for inactivation of bacteria

ระดับการใช้งานโดยการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับปริมาณรังสียูวีที่ใช้ ปริมาณรังสียูวีเป็นผลมาจากความเข้มของรังสียูวี (I) (แสดงเป็นพลังงานต่อพื้นที่ผิวของหน่วย) และเวลาการสัมผัส (T)

### HOW IS ULTRAVIOLET DOSAGE ESTABLISHED?



รูปที่ 6 แสดงสมการการหา UV dose

การลดลงของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจัดอยู่ในระดับลอการิทึม การลดลงของ log1 คือการลดลง 90% ของสิ่งมีชีวิต การลดลงของ log2 คือการลดลง 99% ของสิ่งมีชีวิต ตามด้วยการลดลงของ log3 คือการลดลง 99.9% ของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น ปริมาณรังสี UV-C ที่จำเป็นสำหรับแต่ละระดับของการลดลงจะแสดงในตาราง

### Ultraviolet Dose Required for 99.9% Inactivation of Various Microbes ( $\mu\text{W-sec/cm}^2$ )



Bacteria	UV Dose	Bacteria	UV Dose
Agrobacterium tumefaciens 5	8,500	Pseudomonas aeruginosa (Environ. Strain) 1, 2, 3, 4, 5, 9	10,500
Bacillus anthracis 1, 4, 5, 7, 9 (anthrax veg.)	8,700	Pseudomonas aeruginosa (Lab. Strain) 5, 7	3,900
Bacillus megatherium Sp. (veg) 4, 5, 9	2,500	Rhodospirillum rubrum 5	6,200
Bacillus megatherium Sp. (spores) 4, 9	5,200	Salmonella enteritidis 3, 4, 5, 9	7,600
Bacillus paratyphosus 4, 9	8,100	Salmonella paratyphi (Enteric Fever) 5, 7	6,100
Bacillus subtilis 3, 4, 5, 6, 9	11,000	Salmonella Species 4, 7, 9	15,200
Bacillus subtilis Spores 2, 3, 4, 6, 9	22,000	Salmonella typhimurium 4, 5, 9	15,200
Clostridium tetani	23,100	Salmonella typhi (Typhoid Fever) 7	7,000
Clostridium botulinum	11,200	Salmonella	10,500
Corynebacterium diphtheriae 1, 4, 5, 7, 8, 9	6,500	Sarcina lutea 1, 4, 5, 6, 9	26,400
Dysentery bacilli 3, 4, 7, 9	4,200	Serratia marcescens 1, 4, 6, 9	6,160
Eberthella typhosa 1, 4, 9	4,100	Shigella dysenteriae - Dysentery 1, 5, 7, 9	4,200
Escherichia coli 1, 2, 3, 4, 9	6,600	Shigella flexneri - Dysentery 5, 7	3,400
Legionella bozemanii 5	3,500	Shigella paradyenteriae 4, 9	3,400
Legionella dumoffii 5	5,500	Shigella sonnei 5	7,000
Legionella gormanii 5	4,900	Spirillum rubrum 1, 4, 6, 9	6,160
Legionella micdadei 5	3,100	Staphylococcus albus 1, 6, 9	5,720
Legionella longbeachae 5	2,900	Staphylococcus aureus 3, 4, 6, 9	6,600
Legionella pneumophila (Legionnaire's Disease)	12,300	Staphylococcus epidermidis 5, 7	5,800
Leptospira canicola-Infectious Jaundice 1, 9	6,000	Streptococcus faecalis 5, 7, 8	10,000
Leptospira interrogans 1, 5, 9	6,000	Streptococcus hemolyticus 1, 3, 4, 5, 6, 9	5,500
Micrococcus candidus 4, 9	12,300	Streptococcus lactis 1, 3, 4, 5, 6	8,800
Micrococcus sphaeroides 1, 4, 6, 9	15,400	Streptococcus pyrogenes	4,200
Mycobacterium tuberculosis 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9	10,000	Streptococcus salivarius	4,200
Neisseria catarrhalis 1, 4, 5, 9	8,500	Streptococcus viridans 3, 4, 5, 9	3,800
Phytomonas tumefaciens 1, 4, 9	8,500	Vibrio comma (Cholera) 3, 7	6,500
Proteus vulgaris 1, 4, 5, 9	6,800	Vibrio cholerae 1, 5, 8, 9	6,500

รูปที่ 7 แสดงปริมาณ UV dose ที่ใช้กำจัดเชื้อโรค 99.99%(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Molds	UV Dose	Molds	UV Dose
Aspergillus amstelodami	77,000	Oospora lactis 1,3,4,6,9	11,000
Aspergillus flavus 1,4,5,6,9	99,000	Penicillium chrysogenum	56,000
Aspergillus glaucus 4,5,6,9	88,000	Penicillium digitatum 4,5,6,9	88,000
Aspergillus niger (bread mold) 2,3,4,5,6,9	330,000	Penicillium expansum 1,4,5,6,9	22,000
Mucor mucedo	77,000	Penicillium roqueforti 1,2,3,4,5,6	26,400
Mucor racemosus (A & B) 1,3,4,6,9	35,200	Rhizopus nigricans (cheese mold) 3,4,5,6,9	220,000
Protozoa	UV Dose	Protozoa	UV Dose
Chlorella vulgaris (algae) 1,2,3,4,5,9	22,000	Giardia lamblia (cysts) 9,10	<20,000
Blue-green Algae	420,000	Nematode Eggs 6	40,000
E. histolytica	84,000	Cryptosporidium oocysts 9,10	<20,000
Virus	UV Dose	Virus	UV Dose
Adeno Virus Type III 3	4,500	Influenza 1,2,3,4,5,7,9	6,600
Bacteriophage 1,3,4,5,6,9	6,600	Rotavirus 5	24,000
Coxsackie	6,300	Tobacco Mosaic 2,4,5,6,9	440,000
Infectious Hepatitis 1,5,7,9	8,000		
Yeasts	UV Dose	Yeasts	UV Dose
Baker's Yeast 1,3,4,5,6,7,9	8,800	Saccharomyces cerevisiae 4,6,9	13,200
Brewer's Yeast 1,2,3,4,5,6,9	6,600	Saccharomyces ellipsoideus 4,5,6,9	13,200
Common Yeast Cake 1,4,5,6,9	13,200	Saccharomyces sp. 2,3,4,5,6,9	17,600

รูปที่ 8 แสดงปริมาณ UV dose ที่ใช้กำจัดเชื้อโรค 99.99%(2)

## 2.4 ความปลอดภัยของรังสียูวี

รังสี UV-C ให้รังสีซึ่งเป็นอันตรายต่อผิวหนัง และดวงตา โดยถูกจัดว่าเป็น "สารที่คาดว่าจะก่อมะเร็งในมนุษย์" โดย National Toxicology Program ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสรังสี UV-C โดยตรง จึงไม่ปลอดภัยที่จะอยู่ในห้องผ่าตัดในขณะที่มีการฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV-C



รูปที่ 9 การสังเคราะห์ระบบ UV-C ผ่านหน้าต่างหรือกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่รังสี UV-C ถูกป้องกันได้ด้วยวัสดุจำนวนมาก รวมทั้งแก้ว (แต่ไม่ใช่แก้วควอตซ์) และพลาสติกที่ใส ดังนั้นจึงสามารถส่งผลกระทบต่อระบบ UV-C ได้อย่างปลอดภัยหากมองผ่านหน้าต่างหรือกระจก รังสี UV-C มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรคที่ปราศจากสารตกค้างดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลกับสารตกค้างที่เป็นอันตรายซึ่งจำเป็นต้องเช็ดทำความสะอาดหลังจากการฆ่าเชื้อเกิดขึ้น กระบวนการนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีสารเคมีอันตรายหรือเป็นพิษที่ต้องการการกำจัดเก็บหรือการจัดการพิเศษ เนื่องจากไม่มีสารเคมีใดๆ ถูกเพิ่มเข้าไปในอากาศ / น้ำจึงไม่มีผลพลอยได้จากกระบวนการที่เกี่ยวข้อง หลอดไฟยูวีไม่จำเป็นต้องมีการจัดการหรือกำจัดทิ้งเป็นพิเศษทำให้ระบบเป็นทางเลือกใหม่สำหรับสารฆ่าเชื้อทางเคมี

### 2.5 การคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับในบริเวณต่างๆ

ปริมาณรังสีที่ได้รับหรือ Brightness สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Brightness} = \frac{\text{Luminosity (w)}}{4\pi \times \text{Distance}^2 (\text{cm}^2)} \text{-----สมการที่ 1}$$

โดย luminosity or power in units of Watts

distance in units of centimeters

brightness in units of W/cm<sup>2</sup>

เมื่อได้ปริมาณรังสีที่ได้รับในระยะต่างๆแล้ว จะสามารถนำมาใช้คำนวณเวลาที่ฆ่าเชื้อโรคในระยะต่างๆได้ ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{Time} = \frac{\text{UV Dose } (\mu\text{W} \cdot \frac{\text{sec}}{\text{cm}^2})}{\text{Brightness (w/cm}^2\text{)}} \text{-----สมการที่ 2}$$

### 2.6 มาตรฐานห้องผ่าตัด

การเปรียบเทียบหน่วยบริการของโรงพยาบาลในแต่ละขนาดตามระบบมาตรฐานกับข้อกำหนดมาตรฐานในส่วนของการวินิจฉัยรักษาด้วยการผ่าตัด มีดังนี้

1. ผ่าตัด (ศัลยกรรม)
2. วิสัญญี

ในส่วนนี้กำหนดให้จำนวนห้องผ่าตัดใหญ่ไม่น้อยกว่าสัดส่วน 1 ห้อง : 30 เตียงขนาดห้องผ่าตัด ไม่น้อยกว่า 25 ตารางเมตร และสูงไม่น้อยกว่า 3 เมตร รวมทั้งควรมีการแบ่งพื้นที่เป็น 4 เขต คือ เขตสะอาด เขตกึ่งปลอดเชื้อ เขตปลอดเชื้อ และเขตปนเปื้อนให้ชัดเจน มีห้องน้ำ-ส้วม 1 ห้อง/เจ้าหน้าที่ 10 คน สำหรับห้องผ่าตัด 4 ห้องแรกให้มีสัดส่วน 1 เตียงพักฟื้น / 1 ห้องผ่าตัด สำหรับห้องผ่าตัดตั้งแต่ห้องที่ 5 ขึ้นไปให้มีสัดส่วน 1 เตียงพักฟื้น / 2 ห้องผ่าตัด ส่วนงานวิสัญญีนั้น กำหนดให้มีห้องเตรียมผ่าตัด 1 ห้อง (36 ตร.ม.) ห้องพักฟื้น หลังผ่าตัด 1 ห้อง ห้องวิสัญญีแพทย์ 1 ห้อง



รูปที่ 10 ห้องผ่าตัด

ตารางเปรียบเทียบหน่วยบริการโรงพยาบาล 300 เตียง กับข้อกำหนดมาตรฐาน

รายการการใช้สอยที่สำคัญ	มาตรฐานระบบบริการ ทุติยภูมิ ระดับ 2.3	มาตรฐานพื้นที่ใช้สอยโรงพยาบาล ขนาด 300 เตียง	
		ข้อกำหนด การใช้งาน	พื้นที่การใช้ งาน (ตร.ม)
ส่วนวินิจฉัยรักษาด้วยการผ่าตัด 1. ผ่าตัด(ศัลยกรรม)	จำนวนห้องผ่าตัดใหญ่ไม่น้อยกว่าสัดส่วน 1ห้อง : 30 เตียง - ขนาดห้องผ่าตัดไม่น้อยกว่า 25ตาราง เมตร และสูงไม่น้อยกว่า 3 เมตร - มีการแบ่งพื้นที่เป็น 4 เขต คือ 1. เขตสะอาด 2. เขตกึ่งปลอดภัย 3. เขตปลอดภัย 4. เขตปนเปื้อน	ห้องผ่าตัด 8 ห้อง	1,350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิสัญญี	- มีห้องน้ำ-ส้วม 1 ห้อง/เจ้าหน้าที่ 10 คน - สำหรับห้องผ่าตัด 4 ห้องแรกให้มีสัดส่วน 1 เตียงพักฟื้น / 1 ห้องผ่าตัด - สำหรับห้องผ่าตัดตั้งแต่ห้องที่ 5 ขึ้นไปให้มีสัดส่วน 1 เตียงพักฟื้น / 2 ห้องผ่าตัด	- ห้องเตรียมผ่าตัด 1 ห้อง ( 36 ตร.ม.) - ห้องพักฟื้นหลังผ่าตัด 1 ห้อง - วิสัญญีแพทย์ 1 ห้อง	149
------------	--	--	-----

ตาราง 1 ตารางเปรียบเทียบหน่วยบริการโรงพยาบาล 300 เตียง กับข้อกำหนดมาตรฐาน

### ตารางเปรียบเทียบหน่วยบริการโรงพยาบาล 500 เตียง กับข้อกำหนดมาตรฐาน

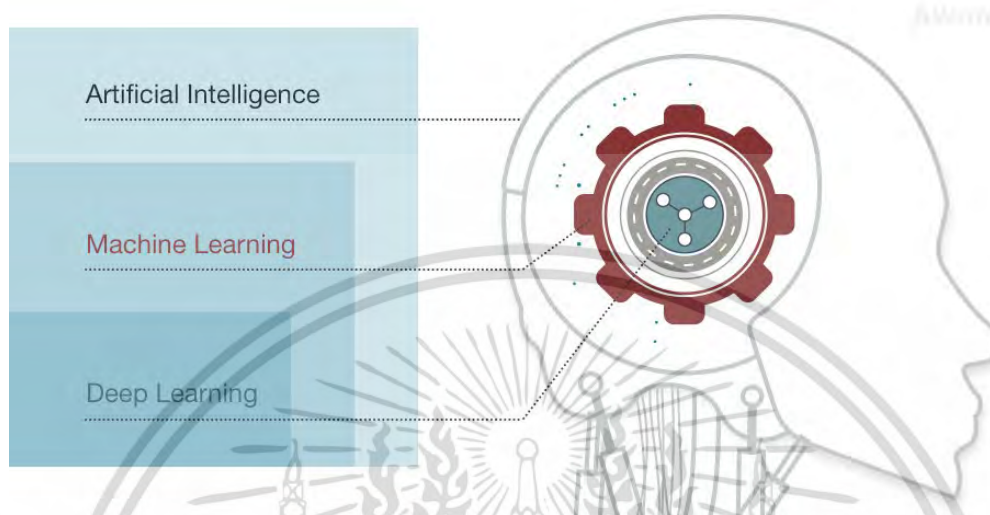
(ปรับปรุงจากเกณฑ์พบส. และ มาตรฐานพื้นที่ใช้สอยโรงพยาบาลของกองแบบแผน )

รายการการใช้สอยที่สำคัญ	มาตรฐานระบบบริการ ทุติยภูมิ ระดับ 3.1	มาตรฐานพื้นที่ใช้สอยโรงพยาบาล ขนาด 500 เตียง	
		ข้อกำหนด การใช้งาน	พื้นที่การใช้ งาน (ตร.ม)
ส่วนวินิจฉัยรักษาด้วยการผ่าตัด	จำนวนห้องผ่าตัดใหญ่ไม่น้อยกว่าสัดส่วน	- ห้องผ่าตัด 6 ห้อง (408 ตร.ม)	2,093
1. ผ่าตัด(ศัลยกรรม)	1 ห้อง : 30 เตียง - ขนาดห้องผ่าตัดไม่น้อยกว่า 25 ตารางเมตร และสูงไม่น้อยกว่า 3 เมตร - มีการแบ่งพื้นที่เป็น 4 เขต คือ 5. เขตสะอาด 6. เขตกึ่งปลอดเชื้อ 7. เขตปลอดเชื้อ 8. เขตปนเปื้อน - มีอ่างล้างฟอกมืออยู่ติดกับห้องผ่าตัด อย่างน้อย 2 อ่าง/ห้อง	- แผนกผ่าตัดเล็ก ขนาด 8 เตียง - ห้องผ่าตัด 12 ห้อง - ห้อง Endoscopy 4 ห้อง	1,900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



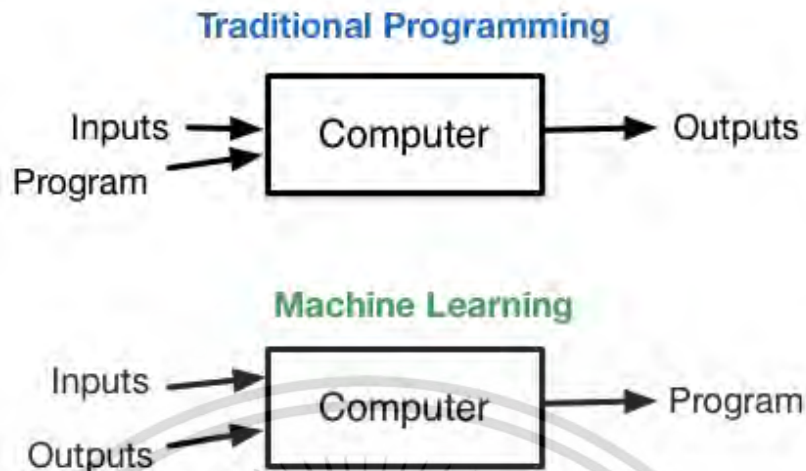
จำเป็นต้องออกแบบตัวแปรต่างๆ ทั้งในตัวของ Deep Learning เอง และต้องหา Algorithm อื่นๆ มาเป็นคู่เปรียบเพื่อมองหา Algorithm ที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบร่างกายมนุษย์กับ AI

### 2.7.2 Machine Learning คืออะไร

เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง เมื่อมีข้อมูลเข้าสามารถทำนายหรือตัดสินใจได้โดยปราศจากการทำงานตามลำดับคำสั่งโปรแกรม ซึ่ง Machine Learning นั้นเปรียบได้กับการรวบรวมศาสตร์หลายแขนงเข้าไว้ด้วยกัน อาทิเช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์, วิศวกรรม และที่สำคัญนั้นคือ สถิติ นอกจากนี้มันยังเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ปลายทางที่เราต้องการนำไปประยุกต์ใช้ เช่น ชีววิทยา เคมี หลักการตลาด เป็นต้น ซึ่งมุ่งเน้นที่จะสร้างองค์ความรู้จากข้อมูล โดยเริ่มจากการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่มีความยืดหยุ่น และสามารถปรับตัวเองเข้ากับข้อมูลที่ได้รับ เพื่อที่จะสามารถทำนายอนาคตได้ โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่นับเป็น Machine Learning Model ในปัจจุบันมีจำนวนมาก และโมเดลจะมีความซับซ้อน มีความหลากหลาย และสามารถนำไปใช้งานได้กว้าง ตัวอย่างเช่น เทคโนโลยีที่อยู่เบื้องหลังหุ่นยนต์อัจฉริยะต่างๆ หรือ เทคโนโลยีการ bin แบบไร้คนขับ หรือ ระบบวิเคราะห์ภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหวและภาษามนุษย์ทั้งหลาย ล้วนแล้วแต่อยู่ภายใต้ศาสตร์ของ Machine Learning ทั้งสิ้น ถ้าให้พูดง่าย ๆ มันคือ การเปลี่ยนแนวคิดของการเขียนโปรแกรม นั่นเอง



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบการเขียนโปรแกรมแบบเดิมและ Machine learning

### 2.7.3 รูปแบบการเรียนรู้ของ Machine Learning

มีรูปแบบการเรียนรู้ 3 รูปแบบดังนี้

#### 1. การเรียนรู้แบบได้รับคำแนะนำ (Supervised learning)

การเรียนรู้แบบได้รับคำแนะนำ หรือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน ในการเรียนรู้แบบนี้คือ เราจะคอยสอน Machine ให้ว่า Inputs แบบนี้ แล้วจะได้ Output แบบไหน เวลาเราป้อนข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ (Input) เช่น รูปเสื้อ แต่คอมพิวเตอร์มันยังไม่รู้หรือกว่านี่คือรูปเสื้อ เราก็ต้องบอกมันก่อน แล้วคอมพิวเตอร์มันก็จะไปวิเคราะห์ (Feature Extraction) ว่า เสื้อเป็นสัตว์ 4 ขา มี 2 หู 1 หาง เป็นต้น จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็นำข้อมูลดังกล่าวไปประมวล/จัดหมวดหมู่ (Classification) เพื่อให้หลังจากนี้มันสามารถแยกออกได้ว่าอะไรคือเสื้อ อะไรไม่ใช่เสื้อ หรือ เราต้องการให้ Machine เรียนรู้เรื่อง เด็กนักเรียนว่าคนไหนสอบตก หรือ สอบผ่าน โดยหน้าตา Data Set จะเป็นแบบนี้

ชื่อ	คะแนน	Label
A	90	Pass
B	25	Fail
C	73	Pass
D	51	Pass
E	40	Fail
F	85	?

รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างคะแนนและผลการสอบของนักเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในตารางนี้ Label คือการบอก Machine ว่า Output จะเป็นอะไร พอเราเอาตารางนี้ใส่เข้าไปใน Machine มันก็จะสามารถเรียนรู้ได้ว่าคะแนนประมาณไหนคือผ่าน หรือ คะแนนประมาณไหนคือตก เพราะฉะนั้น Machine ควรจะเดาว่า นักเรียนF น่าจะได้ Pass

2.การเรียนรู้แบบไม่ได้รับคำแนะนำ (Unsupervised learning)

หรือ การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน ในการเรียนรู้แบบนี้ เราจะมีแต่ Inputs ให้ แล้วบอก Machine ว่า ต้องการอะไร รูปแบบนี้เรียกได้ว่าตรงกันข้ามกับรูปแบบแรกเลย มันคือการที่เราป้อนข้อมูล (Input) รูปสี่เหลี่ยมเข้าไป แต่ไม่ได้บอกมันว่ารูปที่ป้อนเข้าไปเป็นรูปสี่เหลี่ยม นี่ก็พอคอมพิวเตอร์มันเอาไปวิเคราะห์ (Feature Extraction) มันก็วิเคราะห์ได้ว่ารูปที่ใส่เข้าไปมีลักษณะยังไง แต่คราวนี้มันไม่สามารถเอาไปประมวล/จัดหมวดหมู่ (Classification) ได้แล้ว มันจะใช้วิธีการแบ่งกลุ่มแทน (Clustering) ซึ่งคอมพิวเตอร์มันก็จะเอารูปสี่เหลี่ยมไปอยู่กับแมว สุนัข หรือสัตว์อื่น ๆ ที่มี 4 ขา มี 2 หู 1 หาง เหมือนกัน หรือ จากตัวอย่างเดิม เราจะมี input แค่นี้

ชื่อ	คะแนน
A	90
B	25
C	73
D	51
E	40
F	85

รูปที่ 14 แสดงรูป input

โดยเราเพียงแค่ออกว่ามันว่า ให้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม (ผลลัพธ์ที่ออกมาจะไม่สามารถรู้ได้ว่า 2 กลุ่มนั้นคืออะไร ผู้เขียนโปรแกรมต้องเป็นคนรู้เอง คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่แค่แบ่งกลุ่ม) ผลลัพธ์ที่ได้ควรจะเป็น

ชื่อ	คะแนน	Output
A	90	1
B	25	2
C	73	1
D	51	1
E	40	2
F	85	1

รูปที่ 15 แสดงผลการจัดกลุ่มของโปรแกรม

3.การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement learning)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบนี้ถ้าจะให้พูดจริง ๆ ทั้งวันก็คงไม่จบ แต่ก็สามารถอธิบายคร่าว ๆ ได้ว่า มันคือการทำกำหนดเงื่อนไขบางอย่างให้กับคอมพิวเตอร์ เป็นการเรียนรู้ที่คอมพิวเตอร์จะสนใจต่อสิ่งแวดล้อมเป็นพิเศษ แล้วทำให้คอมพิวเตอร์เอาชนะหรือทำตามเงื่อนไขนั้นให้ได้ ยกตัวอย่างเช่น Alpha Go เงื่อนไขของการหมากล้อมคือ ใช้หมากของตนล้อมพื้นที่บนกระดาน เพื่อให้ได้ดินแดนมากกว่าคู่ต่อสู้ ที่นี่ Alpha Go ก็จะเรียนรู้ด้วยตัวมันเองผ่านการจำลองการแข่งขันเป็นแสน ๆ ล้าน ๆ รอบ เพื่อให้รู้ว่า ถ้าหากคู่ต่อสู้เดินหมากนี้ ตัวมันเองจะเดินหมากไหนเพื่อให้บรรลุเงื่อนไขที่กำหนดไว้ให้ นั่นคือการยึดพื้นที่บนกระดานให้ได้มากที่สุด ซึ่งในการบังคับการเดินของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยแสง UV ที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำขึ้นนั้น ใช้การเรียนรู้แบบนี้

Reinforcement Learning ในมุมมองหนึ่งก็เหมือนการสอนสุนัขให้ทำตามสิ่งที่เราต้องการ ในมุมมองหนึ่งก็เหมือนการ trial-and-error คือ ลองผิดลองถูก และหากจะจำกัดความ Reinforcement Learning ไว้ดังนั้นก็คงไม่ผิดจากความจริงมากนัก เพราะวิธีการฝึกฝน Machine ด้วยการนี้คือการ ให้รางวัล และการลงโทษ

## แต่ละสถานะ (S) มีการกระทำให้เลือก (A) และมีรางวัลให้ถ้าทำดี (R)

รางวัลไม่จำเป็นต้องได้รับทันที อาจจะได้ตอนสุดท้ายเช่น ชนะ หรือแพ้  
รูปที่ 16 แสดงตัวแปรที่ใช้แก้ปัญหาด้วยวิธี Reinforcement Learning

การนิยามการแก้ปัญหาด้วยวิธี Reinforcement Learning ก็มีสิ่งที่ต้องกำหนด ดังต่อไปนี้

1. สถานะ (S) เช่น หากเป็นบอทสำหรับเล่นเกม เอ็กซ์โอ ก็คือภาพกระดานที่กำลังเล่นอยู่ในปัจจุบัน
2. การกระทำ (A) ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกันสำหรับแต่ละสถานะ เช่น ตอนต้นเกมของเอ็กซ์โอผู้เล่นย่อมมีทางเลือกในการเล่นมากกว่าตอนท้ายเกม
3. รางวัล (R) ขึ้นอยู่กับแต่ละสถานะ หรือขึ้นอยู่กับการกระทำ หรือทั้งคู่ก็ได้ โดยทั่วไปสำหรับการเล่นเกมแล้วก็คือผลลัพธ์ของการเล่น เช่น ชนะอาจจะเป็นเลขบวก (+) แพ้อาจจะเป็นเลขลบ (-) หากเสมอก็อาจจะเป็นศูนย์ (0) รางวัลประเภทนี้เรียกว่า รางวัลที่ไม่ได้รับทันที เนื่องจากต้องเล่นให้จบเกมเสียก่อน รางวัลยังมีอีกประเภทคือ รางวัลที่ได้รับในทันที เช่น สำหรับโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินได้เร็ว ๆ รางวัลอาจจะเป็นความเร็วของหุ่นยนต์ถ้าเดินได้เร็วก็จะได้รับรางวัลเยอะ ๆ ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วเป้าหมายของการกระทำคือ นโยบาย (Policy) ที่ดีที่สุดที่ นั่นคือได้รางวัลรวมที่คาดหวัง (Maximum Sum of Expected Rewards) เยอะที่สุด

## 2.8 Python

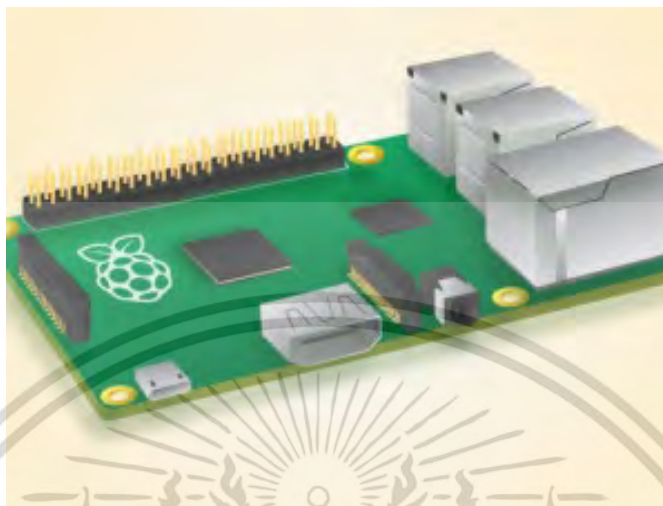
ในการสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ ทางกลุ่มเลือกใช้ภาษา python เนื่องจาก Python เป็นภาษาเขียนโปรแกรมระดับสูงที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเขียนโปรแกรมสำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ภาษา Python ถูกออกแบบโดยมีปรัชญาที่จะทำให้โค้ดอ่านได้ง่ายขึ้น และโครงสร้างของภาษานั้นจะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าใจแนวคิดการเขียนโค้ดโดยใช้บรรทัดที่น้อยลงกว่าภาษาอย่าง C++ และ Java ซึ่งภาษานั้นถูกกำหนดให้มีโครงสร้างที่ตั้งใจให้การเขียนโค้ดเข้าใจง่ายทั้งในโปรแกรมเล็กไปจนถึงโปรแกรมขนาดใหญ่

Python นั้นมีคุณสมบัติเป็นภาษาเขียนโปรแกรมแบบไดนามิกส์และมีระบบการจัดการหน่วยความจำอัตโนมัติและสนับสนุนการเขียนโปรแกรมหลายรูปแบบ ที่ประกอบไปด้วย การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ imperative การเขียนโปรแกรมแบบฟังก์ชัน และการเขียนโปรแกรมแบบขั้นตอน มันมีไลบรารีที่ครอบคลุมการทำงานอย่างหลากหลาย



รูปที่ 17 แสดงสัญลักษณ์ภาษา Python

## 2.9 Raspberry Pi

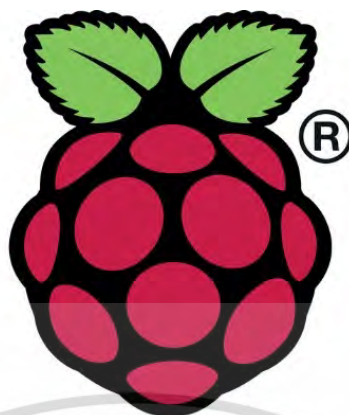


รูปที่ 18 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบ Raspberry Pi

Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Raspberry Pi Foundation มีคุณสมบัติเด่น คือ ติดต่อ และ ความคมอุปรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ มีขนาดเพียงเท่ากับบัตรเครดิต ที่สำคัญคือ ราคาสเบอรรี่พายนี้มีราคาที่ถูกมาก เมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์เดสก์ท๊อปปกติ แต่ทำงานได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกอย่าง เราสามารถต่อราคาสเบอรรี่พายนี้เข้ากับจอคอมพิวเตอร์หรือจอทีวีที่รองรับ HDMI หรือถ้าไม่มีพอร์ต HDMI ก็สามารถต่อผ่านสายสัญญาณวิดีโอปกติ ได้เช่นกัน แต่ความละเอียดอาจจะต่ำกว่า

นอกจากต่อจอแสดงผลแล้ว ก็ต้องต่ออุปกรณ์รับข้อมูล ราคาสเบอรรี่พายรองรับเมาส์และคีย์บอร์ดผ่าน USB port ปกติ เพราะฉะนั้นสามารถนำเมาส์และคีย์บอร์ดที่มีอยู่แล้วมาต่อได้เลย ระบบจ่ายไฟของราคาสเบอรรี่พายเพียงเสียบสาย Mini USB ที่เราใช้ชาร์จมือถือและอุปกรณ์อื่นๆ เข้ากับคอมพิวเตอร์ หรือเข้ากับหัวชาร์จไฟมือถือก็ได้เช่นกัน

ง่ายที่สุดทุกคนสามารถใช้ราคาสเบอรรี่พายเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เดสก์ท๊อปประจำบ้านอีกเครื่องหนึ่งได้ แม้ว่าอาจจะไม่มีพลังสูงเหมือนเครื่องรุ่นใหญ่ แต่ก็เพียงพอ ระบบปฏิบัติการพื้นฐานของราคาสเบอรรี่พาย (NOOBS หรือ Raspian) นั้นมีโปรแกรมและเกมส์จำนวนหนึ่งให้ลองใช้อีกด้วย แต่ที่สำคัญคือ สามารถเริ่มฝึกเขียนโปรแกรมได้ทันที เช่น เขียนโปรแกรมง่ายๆ ด้วยภาษาไพทอน (Python) ที่มีโปรแกรมรองรับทันทีที่เปิดเครื่องขึ้นมา



## Raspberry Pi

รูปที่ 19 ภาพแสดงสัญลักษณ์ Raspberry Pi

### 2.9.1 ลักษณะทั่วไปของ Raspberry Pi

- เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการใช้งานทั่วไป เช่น ใช้เพื่อทำงานเอกสาร, ดูหนัง ฟังเพลง, ใช้เพื่อการคำนวณต่างๆ หรือจะทำเป็น Web Server ก็ย่อมได้
- เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก
  - Raspberry Pi 3 Model B มีขนาด 85 mm x 49 mm
  - Raspberry Pi Zero มีขนาด 65 mm x 30 mm
  - Raspberry Pi Compute Module 3 มีขนาด 68 mm x 30 mm
- เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูก เพราะผู้พัฒนามีเจตนาสร้างขึ้นมาเพื่อให้เป็นสื่อการเรียนการสอนทางด้านคอมพิวเตอร์ และเพื่อให้กลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาสามารถมีคอมพิวเตอร์ใช้ได้ทั่วถึงขึ้น
  - เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการสื่อสาร และควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น สามารถรับรู้สถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ว่ากำลังทำงานอยู่หรือไม่ และยังสามารถสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานหรือหยุดทำงานก็ได้

### 2.9.2 Raspberry Pi ต้องมีระบบปฏิบัติการ

ก่อนที่จะใช้ Raspberry Pi ได้นั้น จำเป็นต้องติดตั้งระบบปฏิบัติการให้กับ Raspberry Pi ก่อน โดยระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้กัน คือ ระบบปฏิบัติการ Raspbian เพราะเป็นระบบปฏิบัติการที่ถูกสนับสนุนโดยตรงจากทาง Raspberry Pi Foundation นั่นเอง

\*\*\* Raspbian เป็นระบบปฏิบัติการตระกูลลินุกซ์ \*\*\*

### 2.9.3 การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนบอร์ด Raspberry Pi จะมีสิ่งที่เรียกว่า GPIO (General Purpose Input-Output) ซึ่งมันคือส่วนที่เอาไว้ต่อสัญญาณ Input / Output เข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกได้



รูปที่ 20 แสดงส่วน GPIO ของ Raspberry Pi

การรับ/ส่งสัญญาณ Input /Output ผ่าน GPIO จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมสั่งงาน โดยภาษาที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ ภาษา Python แต่นอกจากภาษา Python แล้ว ก็ยังมีภาษาอื่นๆ ให้เลือกใช้กันอีก เช่น C/C++, Shell Script และภาษาอื่นๆ

โดยรูปแบบหนึ่งของสัญญาณที่รับ/ส่งจะอยู่รูปแบบของแรงดันไฟฟ้า 0V กับ 3.3V เช่น เมื่อ GPIO ขา X ได้รับไฟ 0V (หรือไม่ถูกจ่ายไฟ) >> โปรแกรมจะได้รับสัญญาณเป็น 0 หรือ False เมื่อ GPIO ขา X ได้รับไฟ 3.3V >> โปรแกรมจะได้รับสัญญาณเป็น 1 หรือ True เมื่อโปรแกรมส่งสัญญาณออกไปเป็น 0 หรือ False >> GPIO ขา X จะจ่ายไฟ 0V (หรือไม่จ่ายไฟ) เมื่อโปรแกรมส่งสัญญาณออกไปเป็น 1 หรือ True >> GPIO ขา X จะจ่ายไฟ 3.3V

เนื่องจาก Raspberry Pi มีความเหมาะสมกับการใช้ภาษา Python ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้

## 2.10 การติดเชื้อในโรงพยาบาล (Nosocomial Infections : NI or Hospital-Acquired Infection : HAI)

คือ การติดเชื้อซึ่งเกิดจากการที่ผู้ป่วยได้รับเชื้อจุลชีพขณะได้รับการรักษาในโรงพยาบาล ที่มาของเชื้ออาจมาจากสิ่งแวดล้อม จากผู้ป่วย จากบุคลากรที่ติดเชื้อ หรืออาจหาแหล่งที่มาของเชื้อไม่พบก็ได้ ซึ่งเชื้อจุลชีพอาจจะมาจากร่างกายของผู้ป่วยเอง เป็นเชื้อที่มีอยู่ในตัวผู้ป่วยซึ่งเดิมเป็นเชื้อที่ยังไม่สามารถก่อให้เกิดโรคได้ แต่เมื่อผู้ป่วยรับการรักษาบางอย่าง เช่น การผ่าตัด หรือหัตถการบางประเภท ก็ทำให้เชื้อที่มีอยู่เดิมมีโอกาสทำให้เกิดการติดเชื้อได้ เช่น การติดเชื้อที่แผลผ่าตัด หรือเป็นเชื้อจากภายนอกในร่างกายผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการติดเชื้อในโรงพยาบาลจะต้องเกิดขึ้น

- ภายใน 48 ชั่วโมงหลังเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล
- นานถึง 3 วันหลังจากออก
- ได้ถึง 30 วันหลังจากการผ่าตัด
- ในสถานพยาบาลเมื่อมีคนเข้ารับการรักษาด้วยเหตุผลอื่นนอกเหนือจากการติดเชื้อ

อาการของ HAI จะแตกต่างกันไปตามประเภท ชนิดที่พบมากที่สุดของ HAI คือ

- การติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTIs)
- การติดเชื้อในสถานที่ผ่าตัด (Surgical Site infection)
- ภาวะกระเพาะและลำไส้อักเสบ (Gastroenteritis)
- อาการไขสันหลังอักเสบ (Meningitis)
- โรคปอดบวม (Pneumonia)

ประมาณ 90% ของการเกิด HAI เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส โดยแบคทีเรียชนิดที่ทำให้เกิดการติดเชื้อบางส่วน มีดังนี้

Bacteria	Infection type
<i>Staphylococcus aureus</i> ( <i>S. aureus</i> )	blood
<i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> )	UTI
Enterococci	blood, UTI, wound
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ( <i>P. aeruginosa</i> )	kidney, UTI, respiratory

รูปที่ 21 ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล

สถานการณ์โรคติดเชื้อในโรงพยาบาล

มีรายงานสถานการณ์โรคติดเชื้อในโรงพยาบาลในปีพ.ศ.2548 (อ้างอิงจาก : โรคติดเชื้อในโรงพยาบาลและสถานการณ์การดื้อยา เว็บไซต์ [http://www.boe.moph.go.th/files/meeting/slide\\_IHR\\_2DEC\\_pdf/11.pdf](http://www.boe.moph.go.th/files/meeting/slide_IHR_2DEC_pdf/11.pdf)) โดยได้ทำการศึกษาจากโรงพยาบาลทั่วประเทศจำนวน 20 แห่ง พบว่าการติดเชื้อในโรงพยาบาลที่พบมากที่สุดคือการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างซึ่งคิดเป็นร้อยละ 36.1 ร้อยละ 25.5 คือการติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะ และร้อยละ 11.0 เป็นการติดเชื้อแผลผ่าตัด โดยในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลที่พบมากมีดังนี้

#### 1 Pseudomonas aeruginosa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 Klebsiella spp.
- 3 Acinetobacter baumannii
- 4 Methicillin resistant
- 5 Staphylococcus aureus (MRSA)
- 6 Enterococci

เชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลในประเทศไทย ปี พ.ศ.2544<sup>7</sup>

เชื้อแบคทีเรียก่อโรค	อุบัติการณ์ (ร้อยละ)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	22-31
<i>Escherichia coli</i>	11-18
<i>Proteus spp.</i>	6-13
<i>Enterobacter spp.</i>	6-9
<i>Staphylococcus aureus</i>	5-17
<i>Klebsiella spp.</i>	5-14
<i>Enterococci</i>	2-8

รูปที่ 22 เชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในโรงพยาบาล

### 2.11.1 การติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด ( Surgical Site Infection )

ในปัจจุบันการป้องกันการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าและการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ ทำให้จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยการผ่าตัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และผู้ป่วยเหล่านี้มักจะมีการเจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังอื่นๆ อยู่แล้ว ประกอบกับการระบาดของเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิดในสถานบริการทางการแพทย์ ทำให้ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยการผ่าตัดมีโอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดมากขึ้น โดยพบการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดคิดเป็นร้อยละ 20 ของการติดเชื้อในโรงพยาบาลทั้งหมด และมีอัตราการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดเฉลี่ยร้อยละ 3.7

ปัจจัยด้านเชื้อโรคที่มีผลต่อการเกิดการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดประกอบด้วยปริมาณเชื้อก่อโรคและความรุนแรงของเชื้อก่อโรค โดยพบว่าเชื้อโรคแต่ละชนิดมีความรุนแรงในการทำให้เกิดการติดเชื้อได้ไม่เท่ากัน ถ้าเชื้อโรคใดมีความรุนแรงสูงถึงแม้จะมีจำนวนเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดการติดเชื้อได้ เชื้อก่อโรคที่เป็นสาเหตุของการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด อาจจะเป็นเชื้อจุลชีพที่อยู่ภายในตัวผู้ป่วย หรือเชื้อจุลชีพที่มาจากภายนอกร่างกายผู้ป่วย

โดยเชื้อจุลชีพที่อยู่ภายในตัวผู้ป่วยประกอบด้วยเชื้อ ประจำถิ่นบนผิวหนัง ในเยื่อเมือก และในระบบต่างๆ ของร่างกาย ส่วนเชื้อจุลชีพที่มาจากภายนอกร่างกายผู้ป่วยและก่อให้เกิดการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก แกรมลบ และเชื้อรา แต่การติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัดส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อ แบคทีเรียประจำถิ่น เช่น *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* เป็นต้น

### 2.11.2 เชื้อ *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* เป็นจุลินทรีย์ใน Family Micrococcaceae ซึ่งมีคุณสมบัติย้อมติดสีแกรมบวก เป็นแบคทีเรีย ที่มีลักษณะกลม (0.5 - 1.0 ไมครอน) เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น แต่อาจจะพบเป็นเชลล์เดี่ยว เป็นคู่ หรือเป็นสายสั้นๆ (โดยมากไม่เกิน 4 เชลล์) อยู่ปะปนด้วยกันเสมอเวลาย้อมแกรม



รูปที่ 23 *Staphylococcus aureus*

มีเชื้อแบคทีเรียมากกว่า 30 ชนิดที่จัดอยู่ในกลุ่ม *Staphylococcus* เชื้อที่พบได้บ่อยที่สุดคือ *Staphylococcus Aureus* คุณไม่ได้จำเป็นต้องป่วยถึงจะมีเป็นพาหะของเชื้อ เพราะแหล่งที่พบเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ที่ผิวหนัง โพรงจมูก เยื่อหูทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร ของคนที่มีสุขภาพดีหลายคน และส่วนมากไม่เคยได้รับผลกระทบจากการติดเชื้อ แต่ในบางคนโดยเฉพาะผู้ที่มีแผลเปิด, บาดแผลที่เป็นฝี, เป็นหนอง, ร่างกายมีภูมิคุ้มกันบกพร่องหรือผู้ที่เพิ่งเข้ารับการผ่าตัด สามารถเกิดการติดเชื้อตั้งแต่ระดับผิวหนังไม่รุนแรงจนถึงขั้นติดเชื้อในกระแสเลือดที่รุนแรงถึงชีวิตได้

*Staphylococcus aureus* ไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างสปอร์ ลักษณะโคโลนีกลม ขอบเรียบ นูน มีสีครีม เหลือง ส้ม (ขึ้นอยู่กับชนิดของคาร์บอนยดตีในเชลล์เมมเบรน รวมถึงอุณหภูมิ อาหารเลี้ยงเชื้อ และสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เชื้อเจริญ) *S. aureus* สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 6 - 46 °C โดยมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 - 37 °C ทนความร้อนที่ 60 °C นาน 30 นาที สามารถสร้างสารพิษที่อุณหภูมิมากกว่า 10 °C ค่า pH ที่สามารถเจริญได้อยู่ในช่วง 4.0 - 10.0 pH โดยมีช่วงที่เหมาะสมคือ 7.0 - 7.5 ส่วนค่า A, อยู่ในช่วง 0.85 - 0.999 ถ้าค่า A, น้อยกว่า 0.94 จะเจริญได้อย่างช้าๆ สามารถทนเกลือที่ 18 - 20 % *S. aureus* ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Facultative anaerobe คือสามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มี ออกซิเจนมากกว่าในสภาพไม่มีออกซิเจน และสามารถสร้างสารพิษ enterotoxin แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ A, B, C1, C2, C3, D, E และ H ชนิดที่พบบ่อยซึ่งเป็นสาเหตุของอาหารเป็นพิษคือ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ D สารพิษนี้มีคุณสมบัติพิเศษ ทน ความร้อน ไม่ถูกทำลายแม้ต้มเดือดครึ่งชั่วโมง และทนความร้อนที่ 121 °C นาน 15 นาที สารพิษนี้จะละลายได้ในน้ำและ สารละลายเกลือ เชื้อ S. aureus จะสร้างสารพิษดังกล่าวที่อุณหภูมิ 37 c ได้ดีกว่าที่ 25 และ 10 °C ตามลำดับ ทั้ง สามารถทนต่อรังสีแกมมาในปริมาณที่อนุญาตให้ใช้กับอาหารอีกด้วย



รูปที่ 24 Staphylococcus aureus ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

### 2.11.3 Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus (MRSA)

"เอ็มอาร์เอสเอ" หรือ Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus (MRSA) คือ เชื้อแบคทีเรียที่พัฒนาจนเกิดอาการต่อต้าน หรือที่เราเรียกว่าการดื้อยา โดยเฉพาะประเภทยาปฏิชีวนะ ดังนั้นเมื่อเกิดการติดเชื้อจากเชื้อประเภทนี้ จึงทำให้รักษาได้ยากกว่าการติดเชื้อจากแบคทีเรียประเภทอื่นๆ ในบางครั้ง เราจึงเรียกเชื้อโรคประเภทนี้ว่า Super-bug MRSA

แม้ว่า MRSA อาจสามารถทำให้เกิดอาการติดเชื้อทางผิวหนัง ในระดับความรุนแรงเพียงปานกลาง แต่มันก็ยังสามารถก่อให้เกิดระดับความรุนแรงที่สาหัสขึ้นในกลุ่มคนไขบางกลุ่ม เช่น ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง และในเด็กทารกแรกเกิด

ภาวะการติดเชื้อจาก MRSA จะพบได้มากในโรงพยาบาลและสถานพักฟื้นของผู้ป่วย เนื่องด้วยสถานที่เหล่านี้มักจะเป็นจุดที่เสี่ยงต่อการที่ร่างกายเปิดรับเชื้อ เช่น แผลผ่าตัด โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่กำลังพักรักษาตัว ซึ่งร่างกายมักจะมีภูมิคุ้มกันต่ำ จึงสามารถเกิดการติดเชื้อโรคได้ง่าย ทั้งจากการพบปะติดต่อกับผู้คน ด้วยเหตุนี้ การแพร่กระจายของเชื้อโรค MRSA จึงเป็นไปได้มากในสถานที่ดังกล่าว โดยเฉพาะเมื่อไม่มีการรักษาความสะอาดและสุขอนามัยที่ดี

อาการของการติดเชื้อจากโรค MRSA แตกต่างกันไปตามจุดที่พบการติดเชื้อบนร่างกาย ซึ่งในบางกรณีอาจรุนแรงถึงขั้นเกิดภาวะเสียชีวิตได้ ซึ่งเชื้อ MRSA สามารถแพร่กระจายโดยผ่านทางสัมผัสทางผิวหนังกับผู้ป่วยซึ่งติดเชื้อ MRSA หรือแม้กระทั่งการสัมผัสกับผู้ที่มีเชื้อแบคทีเรียแฝงอยู่โดยไม่แสดงอาการ

เชื้อ MRSA ยังสามารถอยู่รอดได้เป็นระยะเวลานาน จุดที่สามารถพบเชื้อ MRSA ได้ ตัวอย่างเช่น วัสดุ ตกแต่งแผล ผ้าเช็ดตัว ผ้าปูเตียง หรือเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม ดังนั้นมันจึงยิ่งเพิ่มสรรสภาพการแพร่กระจายให้กับเชื้อ MRSA



รูปที่ 25 แผลติดเชื้อ MRSA

ลักษณะอาการติดเชื้อ MRSA ทางผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหนอง
- ฝี
- ฟื่นคัน
- มีไข้สูง
- รู้สึกครั่นเนื้อครั่นตัว
- ผิวหนังอักเสบจากเชื้อ MRSA
- บวมแดง
- มีอาการแสบร้อนที่ผิวหนัง
- การติดเชื้อ MRSA แบบรุนแรงและแพร่กระจาย
- มีการติดเชื้อในกระแสเลือด Sepsis
- มีการติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ
- มีไข้ขึ้นสูงกว่า 38°C
- ปวดบวม
- เยื่อหูหัวใจอักเสบติดเชื้อ
- มีการอักเสบของกระดูก และไขกระดูก
- ข้ออักเสบติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการสร้างหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี และส่วนที่สองคือการทดสอบการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของหลอดยูวีด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ

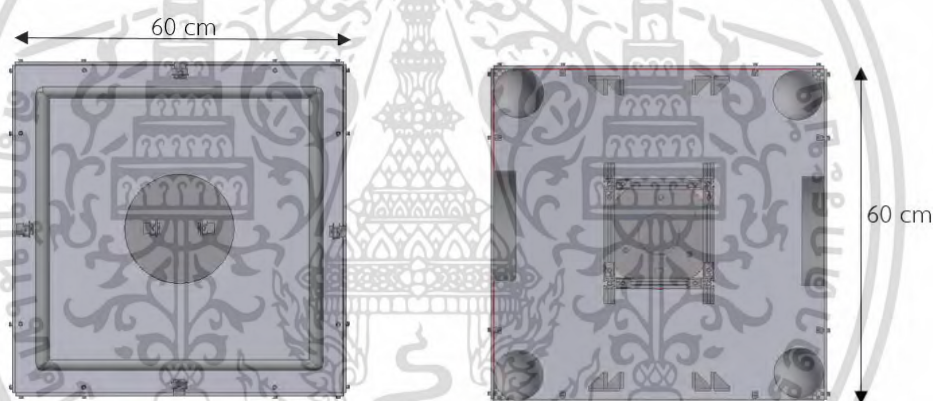
### 3.1 การสร้างหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

#### 3.1.1 การออกแบบหุ่นยนต์

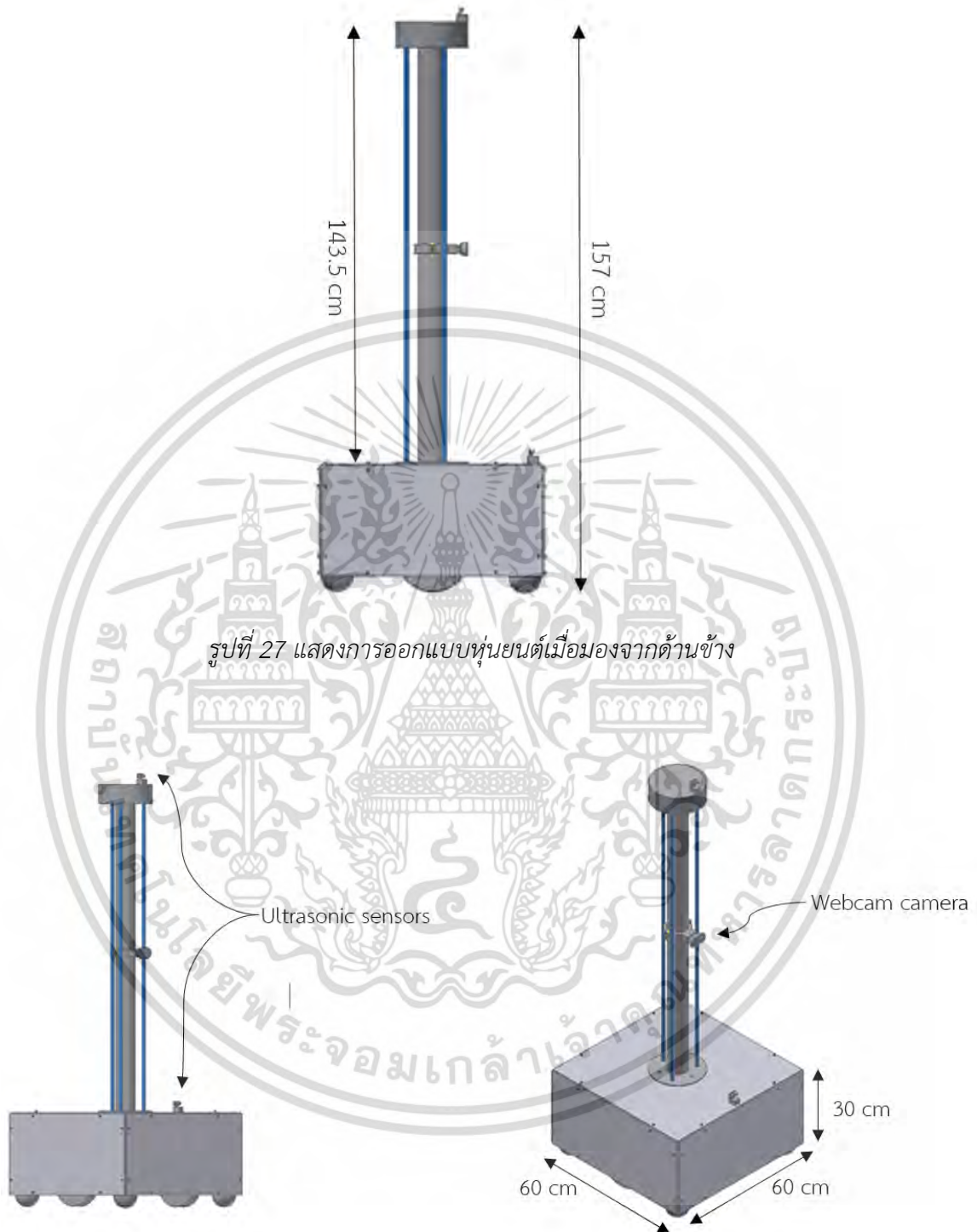
ในส่วนของการออกแบบหุ่นยนต์ ได้ใช้โปรแกรม Autodesk Inventor ในการออกแบบ โดยที่หุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

##### 1. ส่วนฐาน (Robot platform)

ในส่วนฐานจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 26 แสดงการออกแบบส่วนฐานของหุ่นยนต์เมื่อมองจากมุมบนและจากมุมล่าง



รูปที่ 27 แสดงการออกแบบหุ่นยนต์เมื่อมองจากด้านข้าง

รูปที่ 28 แสดงการออกแบบแบบจำลอง 3 มิติของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

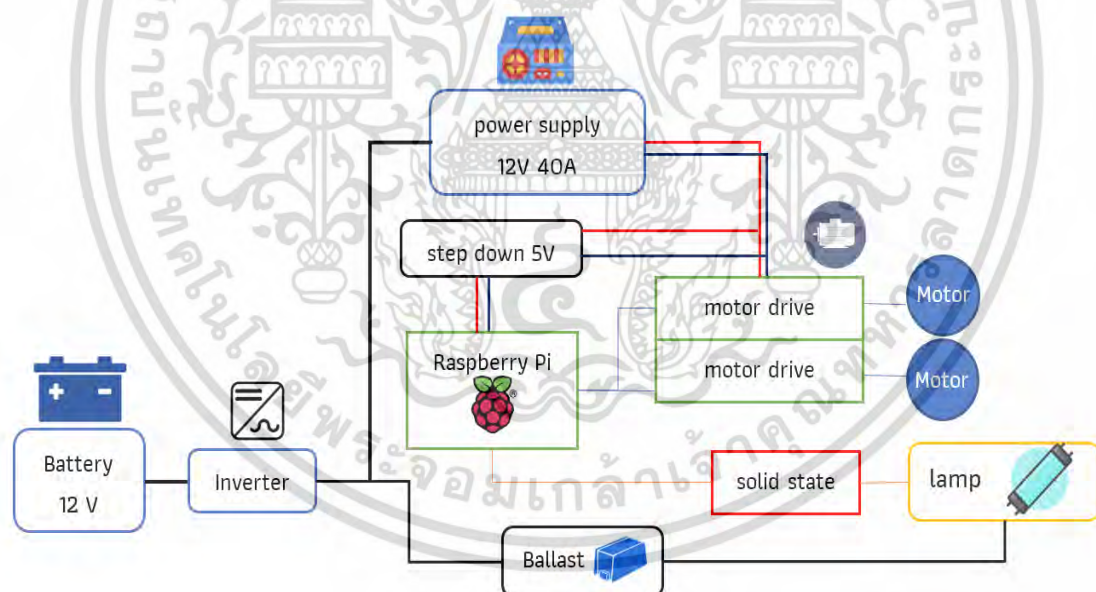
## 2. ส่วนขับเคลื่อน (Driving Terrain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยล้อ จำนวน 6 ล้อ แบ่งเป็นล้อที่ควบคุมด้วยมอเตอร์จำนวน 2 ล้อเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ และมีล้ออิสระ 4 ล้อ

### 3. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controller Box) และ แบตเตอรี่ (Battery) ประกอบไปด้วย

- Raspberry Pi เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยใช้ภาษาไพทอน
- Solid State Relay สำหรับช่วงเวลาในการเปิดใช้งานหลอดไฟยูวี
- Motor Drive ขนาด 12 Vdc 250 RPM
- แบตเตอรี่แห้ง ขนาด 12 โวลต์ 18 แอมป์ แหล่งจ่ายไฟหลักของหุ่นยนต์
- Inverter ขนาด 300 วัตต์ สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จ่ายไฟให้กับ Ballast และ Switching Power Supply
- Switching Power Supply ขนาด 12 โวลต์ 40 แอมป์ สำหรับจ่ายกระแสไฟให้กับ Motor Drive, Step down
- Step Down สำหรับแปลงไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ เป็นไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ก่อนจ่ายไฟให้แก่ Raspberry Pi

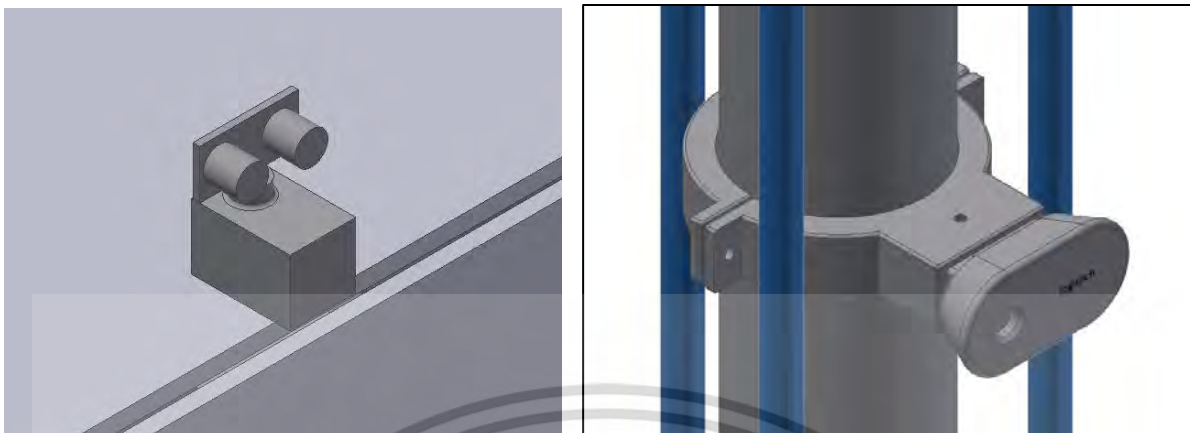


รูปที่ 29 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆของหุ่นยนต์

### 4. เซนเซอร์และกล้อง (Sensor & Webcam Camera)

ประกอบไปด้วย เซนเซอร์เพื่อตรวจวัดระยะจำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนบนสุดและด้านบนของฐานของหุ่นยนต์ และกล้องเว็บแคมสำหรับการสังเกตการณ์ ติดตั้งอยู่บริเวณกลางลำตัวของหุ่นยนต์

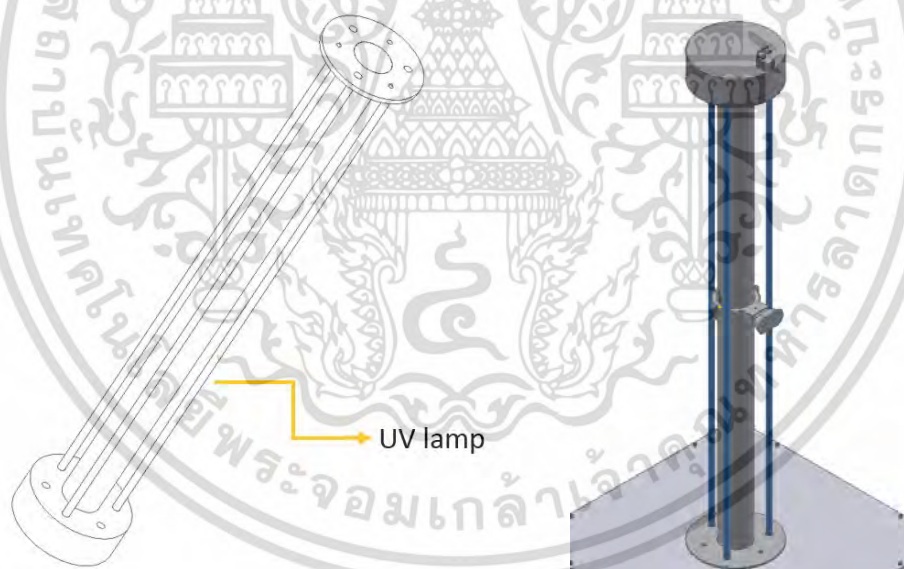
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 30 แบบจำลอง Ultrasonic sensor และ Webcam camera

## 5. หลอดไฟ

ในส่วนของการเลือกหลอดยูวี ทางผู้วิจัยเลือกใช้หลอดไฟจำนวน 3 หลอด เป็นหลอดไฟ TW48D15L1149 มีความยาว 1,149 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร 48 วัตต์ มีค่าพลังงานของหลอดไฟ 19.3 วัตต์ ค่าครึ่งชีวิต 8,000 ชั่วโมง ของบริษัท TOKIVA



รูปที่ 31 แบบจำลองหลอดไฟยูวี

จากขนาดพลังงานของหลอดไฟของหลอดไฟที่ทางผู้วิจัยเลือกใช้ สามารถคำนวณหาความเข้มของรังสียูวี หรือ UV Intensity สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ Brightness ในหน่วยพื้นที่ที่ต้องการ ซึ่งกำหนดให้พื้นที่เท่ากับ 100 ตารางเซนติเมตร สามารถคำนวณได้ ดังนี้

จากสมการที่ 2.2

$$\text{Brightness} = \frac{\text{Luminosity (w)}}{4\pi \times \text{Distance}^2 (\text{cm}^2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Brightness} &= \frac{19.3 \times 3 (w)}{4\pi \times 100^2 (cm^2)} & (3.1) \\ &= 0.00046 w/cm^2 \\ &= 460 \mu w/cm^2 \end{aligned}$$

และเมื่อสามารถคำนวณหา Brightness ได้แล้วจะสามารถคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการกำจัดเชื้อโรคได้ ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นตัวอย่างในการทดสอบการฆ่าเชื้อ เนื่องจากมีการรายงานว่าเป็นเชื้อโรคที่ทำให้เกิดการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด (SSI) (อ้างอิงจาก : Journal of Nursing Science Chulalongkorn University, “การป้องกันการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด”, Vol. 29 No. 2, May-August 2017) ซึ่ง UV dose ที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อโรค *Staphylococcus aureus* ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $6,600 \mu W \cdot sec/cm^2$  ดังแสดงในรูปที่ 21

<i>Spirillum rubrum</i>	6 160	<i>Baker's yeast</i>	8 800
<i>Staphylococcus aureus</i>	6 600	<i>Brewer's yeast</i>	6 600
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5 800	<i>Common yeast cake</i>	13 200

รูปที่ 32 UV dose ( $\mu W \cdot sec/cm^2$ ) required to inactivate 99.9% of various micro-organisms

จากสมการที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{Time} &= \frac{UV \text{ Dose } (\mu W \cdot \frac{sec}{cm^2})}{\text{Brightness } (w/cm^2)} \\ \text{Time} &= \frac{440,000 (\mu W \cdot \frac{sec}{cm^2})}{460 (\mu w/cm^2)} & (3.2) \\ &= 14.3478 \text{ sec} \\ &\approx 15 \text{ sec} \end{aligned}$$

จากการคำนวณ พบว่าในพื้นที่ 1 ตารางเมตรใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ประมาณ 15 วินาที ทำให้ห้องผ่าตัดที่มีขนาดเท่ากับ 25 ตารางเมตร ตามมาตรฐานของห้องผ่าตัด จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ประมาณ 375 วินาที หรือ 6 นาที 15 วินาที

### 3.1.2 การสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ

ในส่วนของการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ มีกระบวนการดังนี้

1. ทำโครงของส่วนฐาน โดยเลือกใช้วัสดุเป็น Aluminum profile



รูปที่ 33 แสดงโครงสร้างส่วนฐานของหุ่นยนต์

2. ติดล้อทั้ง 6 ล้อ โดย 2 ล้อกลางคือล้อเบลด ขนาด 4.5 นิ้ว และ 4 ล้อที่เหลือเป็นล้ออิสระ (ล้อบอล)



รูปที่ 34 แสดงล้อของหุ่นยนต์

3. ทำเสากลางของหุ่นยนต์สำหรับใส่หลอดไฟ และเป็นศูนย์กลางน้ำหนักของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35 แสดงเสากลาง และหลอดไฟของหุ่นยนต์

4. ประกอบส่วนฐานกับส่วนเสากลางเข้าด้วยกัน



รูปที่ 36 แสดงการประกอบส่วนฐานกับส่วนเสากลางเข้าด้วยกัน

5. ประกอบวงจร ซึ่งประกอบไปด้วย Raspberry pi, Motor drive, Step down, Power supply, Solid state relay, Ballast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 37 แสดงการต่อวงจรของหุ่นยนต์

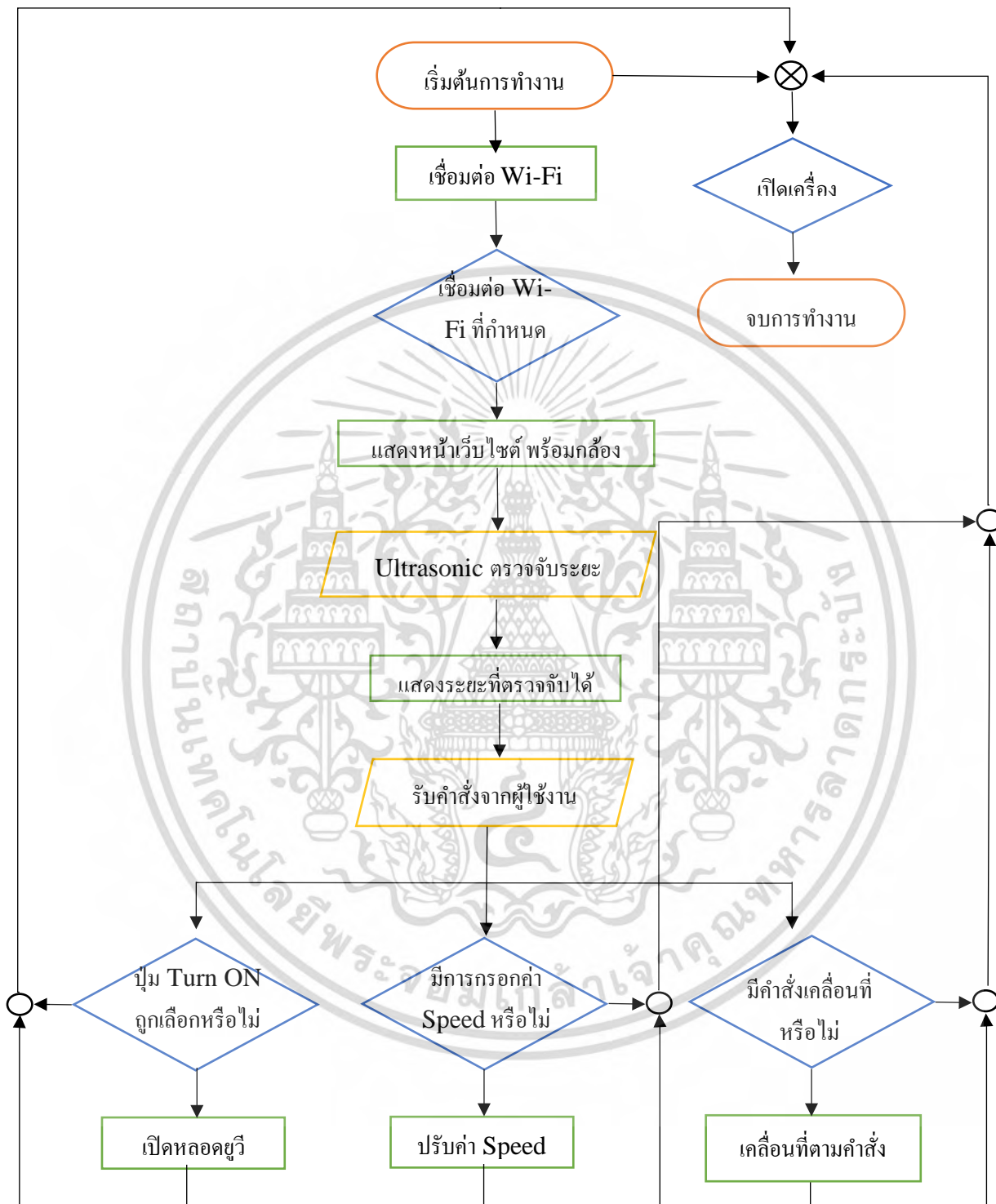
6. ประกอบทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วปิดด้วยแผ่นอะคลิลิกสีขาว



รูปที่ 38 หุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

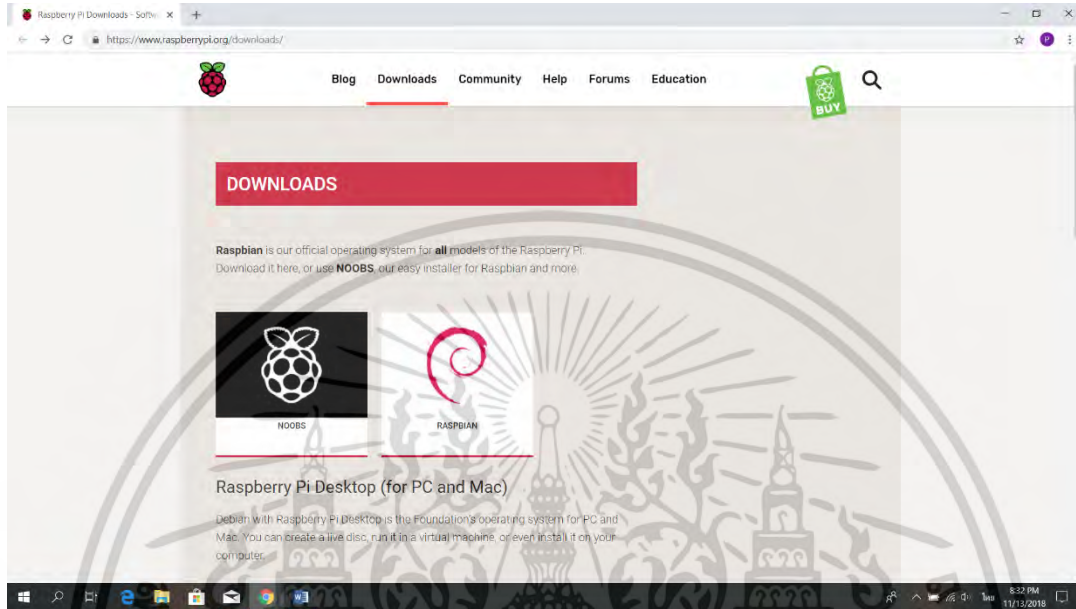


รูปที่ 39 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

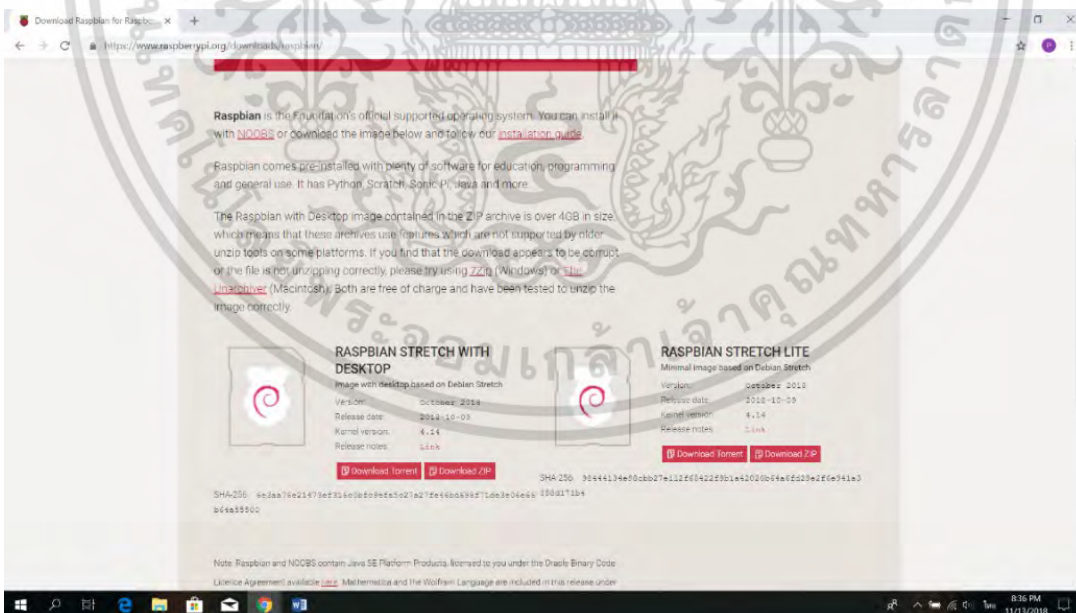
### 3.1.3.1 การติดตั้งระบบปฏิบัติการให้ Raspberry pi

ระบบปฏิบัติการของ Raspberry pi เรียกว่า Raspbian ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์หลักของ raspberry pi ได้ (<https://www.raspberrypi.org/downloads/>)



รูปที่ 40 แสดงหน้าต่าง <https://www.raspberrypi.org/downloads/>

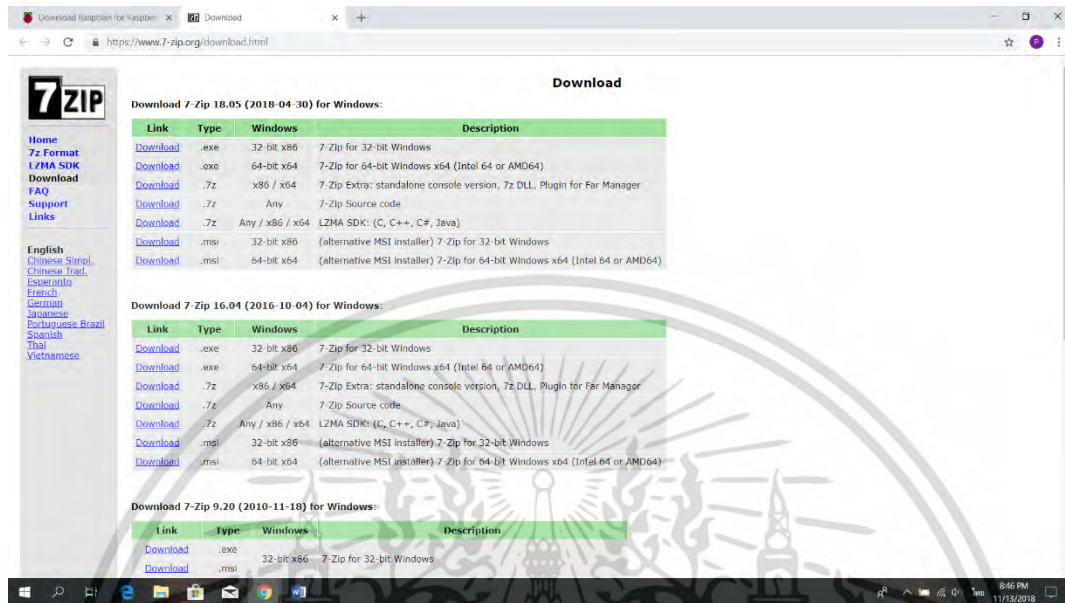
ทำการดาวน์โหลดไฟล์ RASPBIAN STRETCH WITH DESKTOP



รูปที่ 41 แสดงตำแหน่งของ RASPBIAN STRETCH WITH DESKTOP

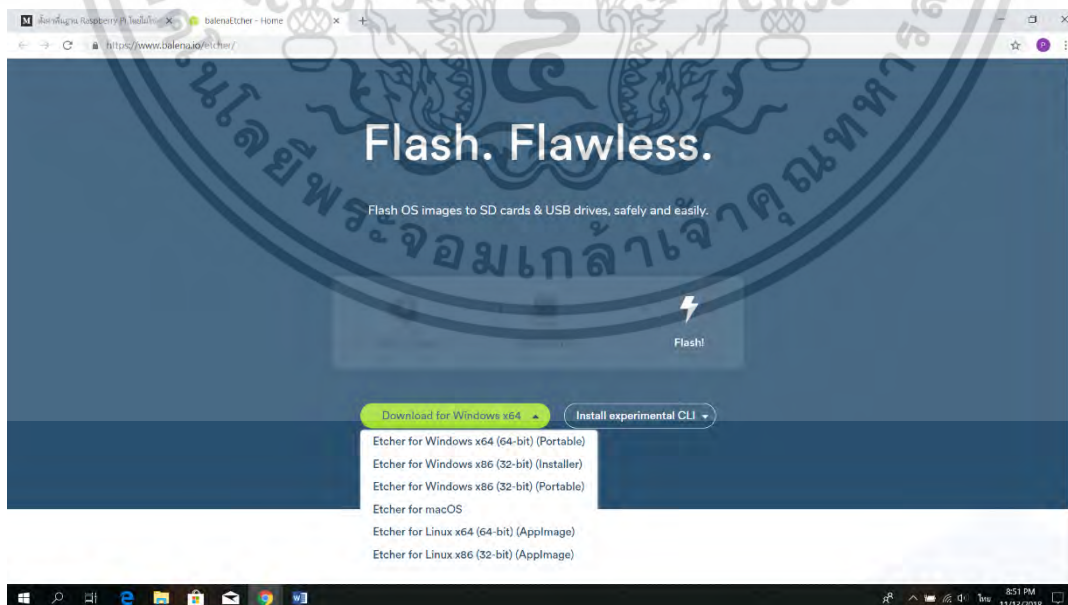
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากไฟล์ที่ดาวน์โหลดมามีขนาดใหญ่เกิน 4GB จึงมีความจำเป็นจะต้องใช้โปรแกรม 7Zip (Windows) สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.7-zip.org/download.html>



รูปที่ 42 แสดงหน้าเว็บของ <https://www.7-zip.org/download.html>

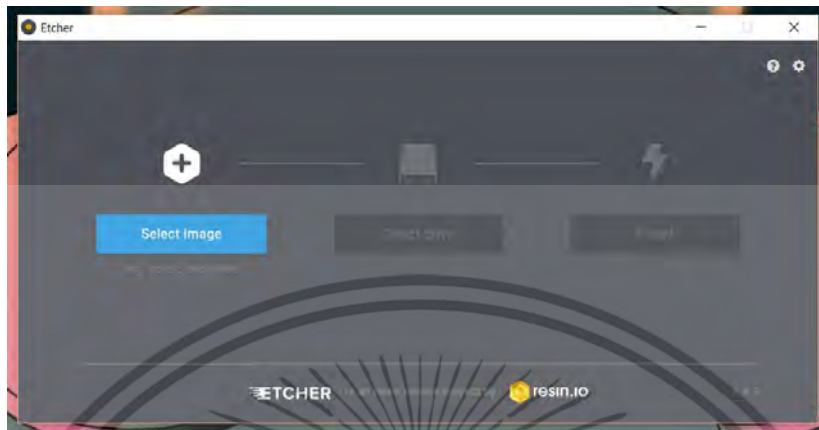
เลือกรุ่นและชนิดที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการดาวน์โหลดและใช้โปรแกรม 7zip ในการ unzip ไฟล์ RASPBIAN STRETCH WITH DESKTOP ต่อมาเป็นการติดตั้งระบบปฏิบัติการลงใน SD Card โดยจะต้องทำการดาวน์โหลดโปรแกรม Etcher สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <https://etcher.io/>



รูปที่ 43 แสดงหน้าเว็บ <https://etcher.io/>

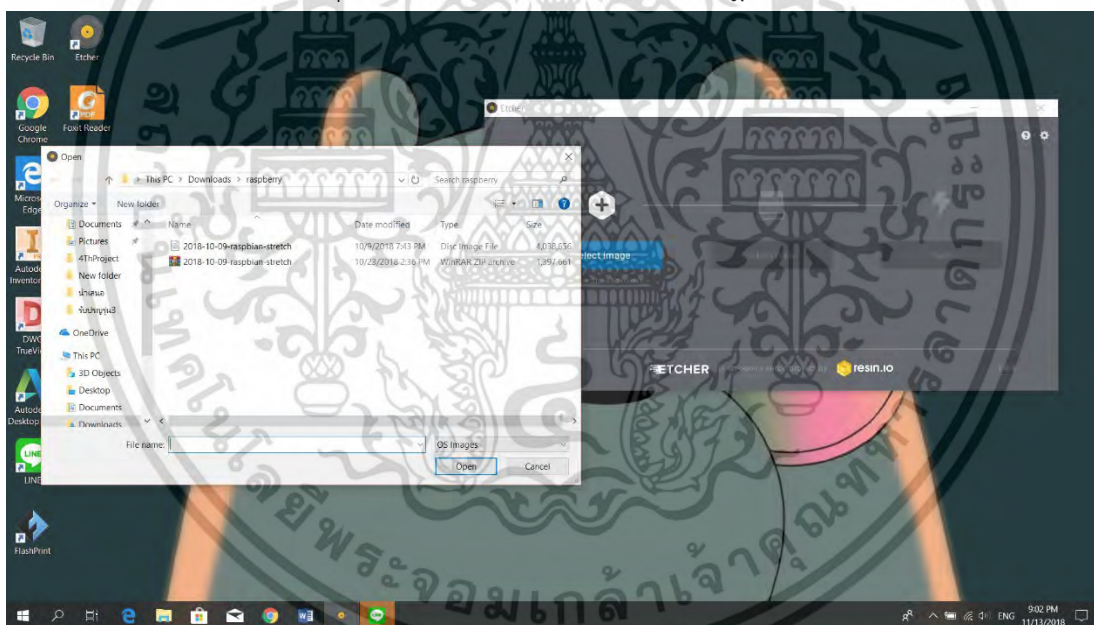
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการดาวน์โหลดโปรแกรม Etcher ที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่ สามารถเลือกได้จากแถบสีเขียวของภาพด้านบน จากนั้นดาวน์โหลดพร้อมติดตั้ง หลังจากนั้นใส่ SD Card ที่จะใช้ที่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 44 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Etcher

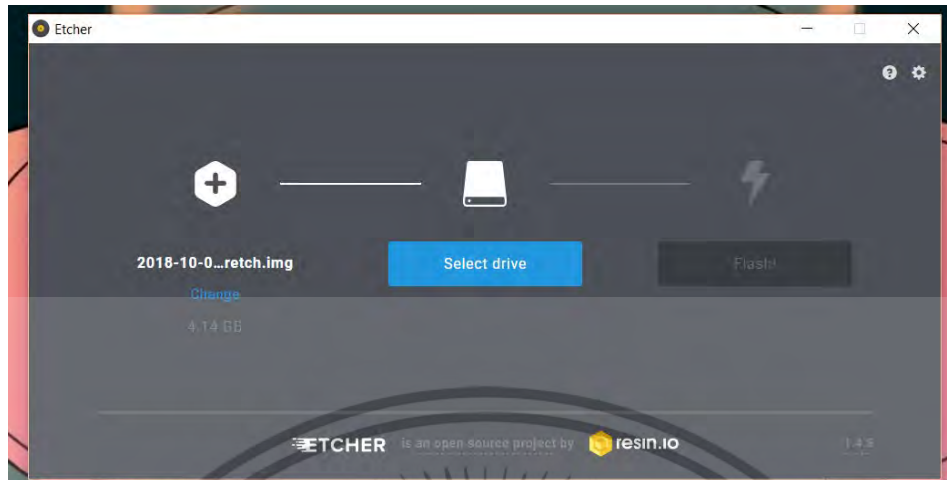
ทำการเปิดโปรแกรม Etcher คลิกที่ปุ่ม Select image เพื่อเลือกระบบปฏิบัติการที่ดาวน์โหลดมาก่อนหน้านี้



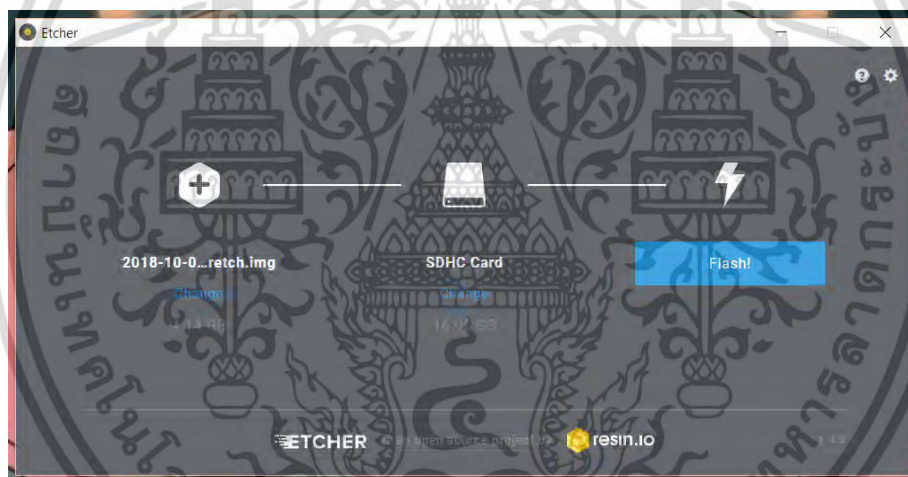
รูปที่ 45 แสดงการเลือกระบบปฏิบัติการที่จะลงใน SD Card

กดเลือก drive ที่จะลงระบบปฏิบัติการ (drive ของ SD Card) ตรวจสอบความถูกต้องให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 46 แสดงการกดเลือก drive



รูปที่ 47 แสดงปุ่ม flash

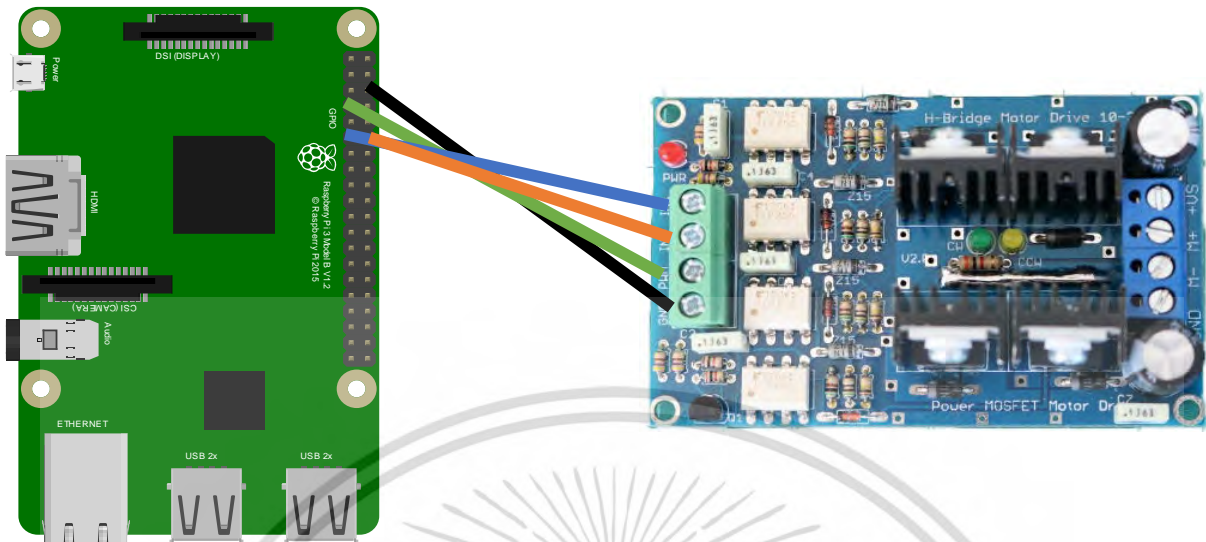
เมื่อตรวจสอบความเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม flash รอจนกระทั่งครบ 100 % จะแสดงคำว่า Flash Complete!

### 3.1.3.2 การเขียนโปรแกรมควบคุม Motor

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ คณะผู้จัดทำเลือกที่จะใช้ควบคุม 2 ล้อกลาง สามารถควบคุมให้เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และยังสามารถปรับความเร็วมอเตอร์ได้โดยการปรับ Duty Cycle ซึ่งก็

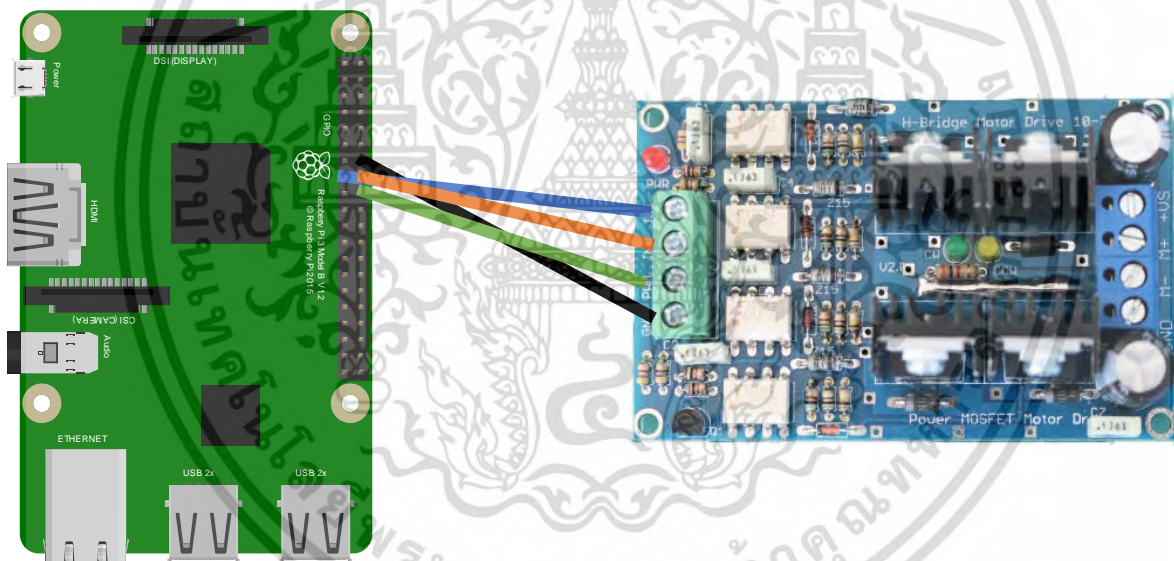
ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่าง raspberry pi และ motor drive สำหรับล้อขวา ทำดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 48 แสดงการเชื่อมต่อของ raspberry pi และ motor drive ฝั่งล้อขวา

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่าง raspberry pi และ motor drive สำหรับล้อซ้าย ทำดังนี้



รูปที่ 49 แสดงการเชื่อมต่อของ raspberry pi และ motor drive ฝั่งล้อซ้าย

ทำการเขียนโปรแกรมโดยในการ set up pin ต้องให้ตรงกับส่วน mechanic ที่ทำการเชื่อมต่อไป ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม แต่ต้องระวังว่า pulse width modulation (PWM) ต้องเลือกให้ตรงกันระหว่าง Raspberry pi และ motor drive และในส่วนของ การปรับความเร็วของ motor ก็สามารทำได้ที่ขา PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

"motor.py - C:\Users\MIM\Desktop\MILKME\motor.py (3.7.1)"
File Edit Format Run Options Window Help

import time
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

GPIO.setup(7, GPIO.OUT)
GPIO.setup(11, GPIO.OUT)
GPIO.setup(12, GPIO.OUT)

GPIO.setup(15, GPIO.OUT)
GPIO.setup(16, GPIO.OUT)
GPIO.setup(18, GPIO.OUT)
p1 = GPIO.PWM(7, 50)
p2 = GPIO.PWM(15, 50)
p1.start(10)
p2.start(10)

GPIO.output(7, GPIO.HIGH)
GPIO.output(18, GPIO.HIGH)

# Drive the motor forward
GPIO.output(12, GPIO.LOW)
GPIO.output(11, GPIO.HIGH)
GPIO.output(15, GPIO.HIGH)
GPIO.output(16, GPIO.LOW)
time.sleep(3)

# Drive the motor backward
GPIO.output(12, GPIO.HIGH)
GPIO.output(11, GPIO.LOW)
GPIO.output(15, GPIO.LOW)
GPIO.output(16, GPIO.HIGH)
time.sleep(3)

# Drive the motor clockwise
GPIO.output(12, GPIO.HIGH)
GPIO.output(11, GPIO.LOW)
GPIO.output(15, GPIO.HIGH)
GPIO.output(16, GPIO.LOW)
time.sleep(3)

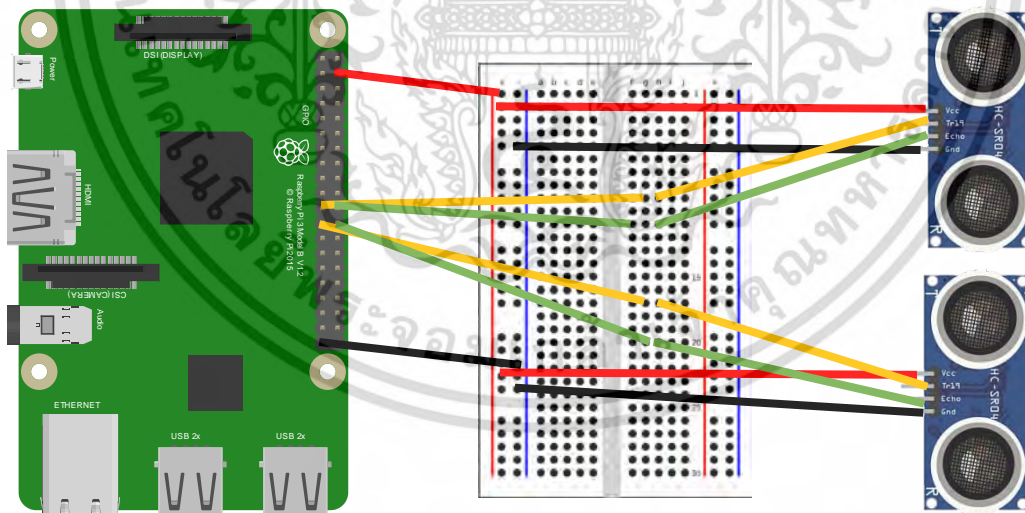
# Drive the motor counterclockwise
GPIO.output(12, GPIO.LOW)
GPIO.output(11, GPIO.HIGH)
GPIO.output(15, GPIO.LOW)
GPIO.output(16, GPIO.HIGH)
time.sleep(3)

```

รูปที่ 50 แสดงตัวอย่างของ code ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่

### 3.1.3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุม Sensor

ในการควบคุม Sensor ทางคณะผู้วิจัยเลือกใช้ Ultrasonic sensor ทั้งหมด 2 ตัว โดยใช้ Raspberry Pi เขียนโปรแกรมให้ Ultrasonic เชื่อมอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 51 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง raspberry pi และ ultrasonic sensors

เขียนโปรแกรมด้วยภาษา python เพื่อควบคุม ultrasonic โดย โปรแกรมให้ขา trig ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด ขา echo จะเป็นตัวรับสัญญาณ จากนั้นนำมาคำนวณตามสูตร จากสูตร

$$speed = \frac{distance}{time} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความเร็วของเสียงขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เดินทางผ่านและในกรณีนี้เสียงเดินทางผ่านอากาศ ดังนั้นความเร็วของเสียงเมื่อผ่านอากาศมีค่าเท่ากับ 343 m/s และต้องคิดเวลาครึ่งหนึ่งเพราะว่าเวลาที่ได้มาเป็นเวลาที่แสงเดินทางไปและกลับ จึงได้สมการเป็น

$$34,300 = \frac{\text{distance}}{\text{time}/2} \quad (3.4)$$

$$17,150 \times \text{time} = \text{distance}$$

นำสูตรที่ได้ไปโปรแกรมเพื่อให้ ultrasonic ได้ค่าที่ถูกต้อง

```

ultrasonic.py - C:\Users\MilkMe\Desktop\MilkMe\ultrasonic.py (3.7.1)
File Edit Format Run Options Window Help
import RPi.GPIO as GPIO
import time

try:
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

    FPIN_TRIGGER = 21
    FPIN_ECHO = 22
    FPIN_TRIGGER2 = 23
    FPIN_ECHO2 = 24

    GPIO.setup(FPIN_TRIGGER, GPIO.OUT)
    GPIO.setup(FPIN_ECHO, GPIO.IN)
    GPIO.setup(FPIN_TRIGGER2, GPIO.OUT)
    GPIO.setup(FPIN_ECHO2, GPIO.IN)

    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.LOW)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.LOW)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.00001) # sending 10 us
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.LOW)

    while GPIO.input(FPIN_ECHO)==0:
        Fpulse_start_time = time.time()
    while GPIO.input(FPIN_ECHO)==1:
        Fpulse_end_time = time.time()
    ##### number 2 start
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.LOW)

    while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==0:
        Fpulse_start_time2 = time.time()
    while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==1:
        Fpulse_end_time2 = time.time()

    Fpulse_duration1 = Fpulse_end_time - Fpulse_start_time
    Fdistance1 = round(Fpulse_duration1 * 17150, 2)

    print ("Distance front from sensor 1:", Fdistance1, "cm")
    Fpulse_duration2 = Fpulse_end_time2 - Fpulse_start_time2
    Fdistance2 = round(Fpulse_duration2 * 17150, 2)

    print ("Distance front from sensor 2:", Fdistance2, "cm")

```

รูปที่ 52 ภาพแสดงตัวอย่าง code ที่ใช้ควบคุม ultrasonic sensors

### 3.1.3.4 การเขียนโปรแกรมควบคุม Solid State Relay

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลาการเปิดและปิดหลอดไฟ ในการควบคุม solid state relay ใช้ภาษา python ในการควบคุม solid state relay ตัวนี้เป็น normal close ซึ่งหมายความว่าเมื่อให้สถานะ HIGH แก่ตัว solid state relay จะทำให้วงจรไม่ต่อกัน แต่เมื่อให้สถานะ LOW จะทำให้วงจรต่อกัน ดังตัวอย่างของหลอดไฟ หากให้สถานะ HIGH จะเป็นการปิดหลอดไฟ แต่เมื่อให้สถานะ LOW จะเป็นการเปิดหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

relay.py - C:\Users\MilkMe\Desktop\MILKME\relay.py (3.7.1)
File Edit Format Run Options Window Help
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(32, GPIO.OUT)
GPIO.output(32, GPIO.HIGH) #close
time.sleep(1)
GPIO.output(32, GPIO.LOW) # open
time.sleep(3)

GPIO.output(32, GPIO.HIGH)
time.sleep(1)
GPIO.output(32, GPIO.LOW)
time.sleep(3)

GPIO.output(32, GPIO.HIGH)
time.sleep(1)
GPIO.output(32, GPIO.LOW)
time.sleep(3)
GPIO.output(32, GPIO.HIGH)
time.sleep(1)

# GPIO.cleanup()

```

รูปที่ 53 แสดงตัวอย่าง code ที่ใช้ควบคุม solid state relay

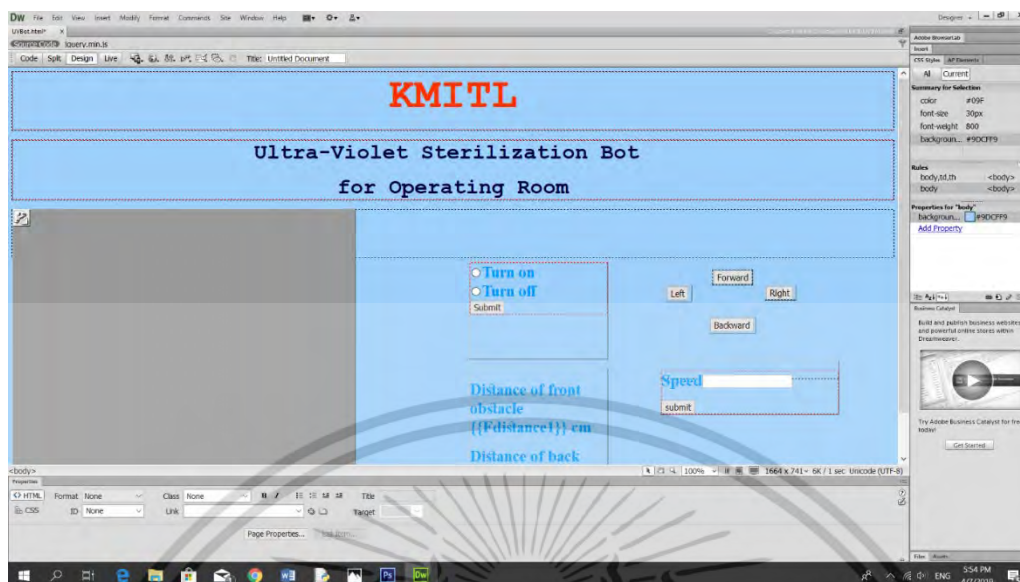
### 3.1.3.5 การเขียนหน้าเว็บไซต์

ในการเขียนหน้าเว็บไซต์ทางคณะผู้จัดทำใช้โปรแกรม Adobe dreamweaver เพื่อช่วยในการเขียน HTML



รูปที่ 54 แสดงหน้าต่างโปรแกรม adobe dreamweaver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 55 ภาพแสดงการเขียนหน้าเว็บไซต์

และในการส่งข้อมูลกันระหว่าง HTML และ python ใช้ Flask หรือก็คือ web framework ที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้งานในภาษา python เพื่อใช้ในการสร้างเว็บไซต์



รูปที่ 56 แสดงสัญลักษณ์ของ Flask

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

# Motor A:
GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
# Motor B:
GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
return "true"

@app.route('/up_side')
def up_side():
    data="FORWARD"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.LOW) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.HIGH) # Set AIN2
    # Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
    return "true"

@app.route('/down_side')
def down_side():
    data="BACK"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
    # Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.LOW) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.HIGH) # Set BIN2
    return "true"

@app.route('/stop')
def stop():
    data="STOP"
    GPIO.output(11, 0)
    GPIO.output(12, 0)
    GPIO.output(15, 0)
    GPIO.output(16, 0)
    return "true"

if __name__ == "__main__":
    app.run(host='192.168.43.5',port=5010)

```

```

</form>
</div>
<div id="apDiv9"></div>
<script>
$( document ).ready(function(){
  $("#down").on("mousedown", function() {
    $.get('/down_side');
  }).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
  });
  $("#up").on("mousedown", function() {
    $.get('/up_side');
  }).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
  });
  $("#left").on("mousedown", function() {
    $.get('/left_side');
  }).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
  });
  $("#right").on("mousedown", function() {
    $.get('/right_side');
  }).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
  });
});
</script>
document.addEventListener("keydown", function(event) {

```

รูปที่ 57 แสดงการรับส่งข้อมูลโดยใช้ flask ผ่าน python และ HTML

การที่จะสามารถรับส่งข้อมูลถึงกันได้จำเป็นต้องต่อ network หรือ Wi-Fi ตัวเดียวกัน และใส่เลข IP ของ raspberry pi ในไฟล์ python พร้อมทั้งใส่ IP กล้อง ที่ไฟล์ HTML

```

# Motor A:
GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
# Motor B:
GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
return "true"

@app.route('/up_side')
def up_side():
    data="FORWARD"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.LOW) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.HIGH) # Set AIN2
    # Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
    return "true"

@app.route('/down_side')
def down_side():
    data="BACK"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
    # Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.LOW) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.HIGH) # Set BIN2
    return "true"

@app.route('/stop')
def stop():
    data="STOP"
    GPIO.output(11, 0)
    GPIO.output(12, 0)
    GPIO.output(15, 0)
    GPIO.output(16, 0)
    return "true"

if __name__ == "__main__":
    app.run(host='192.168.43.5',port=5010)

```

```

</div>
<div id="apDiv8">
<!-- <form id="form3" name="form3" method="post" action="">
<h6>
<label>
<input type="radio" name="RadioGroup1" value="radio" id="RadioG
Close Lamp</label>
<br />
<label>
<input type="radio" name="RadioGroup1" value="radio" id="RadioG
Open Lamp</label>
<br />
</h6 -->
</form -->
<form action="/cgi-bin/examples/radiobuttons.py" method="POST">
<input type="radio" name="light" value="on">Turn on<br>
<input type="radio" name="light" value="off">Turn off
<br>
<input type="submit" value="Submit">
</form>
</div>
<div id="apDiv9"></div>
<script>
$( document ).ready(function(){
  $("#down").on("mousedown", function() {
    $.get('/down_side');
  }).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');

```

รูปที่ 58 แสดงตำแหน่ง IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

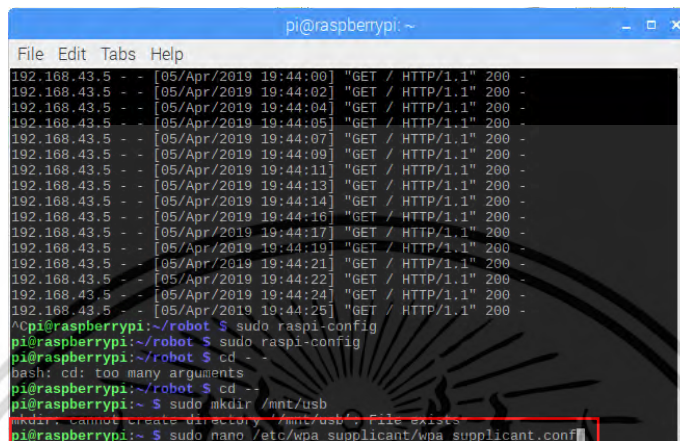
```

robotonweb.py motor3.py relay.py ultrasonic.py
13 GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.HIGH)
14 time.sleep(0.00001) # sending 10 us
15 GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.LOW)
16
17 while GPIO.input(FPIN_ECHO)==0:
18     Fpulse_start_time = time.time()
19     while GPIO.input(FPIN_ECHO)==1:
20         Fpulse_end_time = time.time()
21         ##### number 2 start
22         GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.HIGH)
23         time.sleep(0.00001)
24         GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.LOW)
25
26 while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==0:
27     Fpulse_start_time2 = time.time()
28     while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==1:
29         Fpulse_end_time2 = time.time()
30
31 Fpulse_duration1 = Fpulse_end_time - Fpulse_start_time
32 Fdistance1 = round(Fpulse_duration1 * 17150, 2)
33
34 # print ("Distance Front from sensor 1:",Fdistance1,"cm")
35
36 Fpulse_duration2 = Fpulse_end_time2 - Fpulse_start_time2
37 Fdistance2 = round(Fpulse_duration2 * 17150, 2)
38
39 # print ("Distance Front from sensor 2:",Fdistance2,"cm")
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622

```

### 3.1.3.6 การเขียนโปรแกรม Autorun

เมื่อเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วต้องทำการตั้งค่า Wi-Fi ให้เป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อให้สามารถทำ autorun ได้ เมื่อใช้งานจริงตัวหุ่นยนต์และผู้ใช้งานต้องต่อ Wi-Fi ตัวเดียวกัน

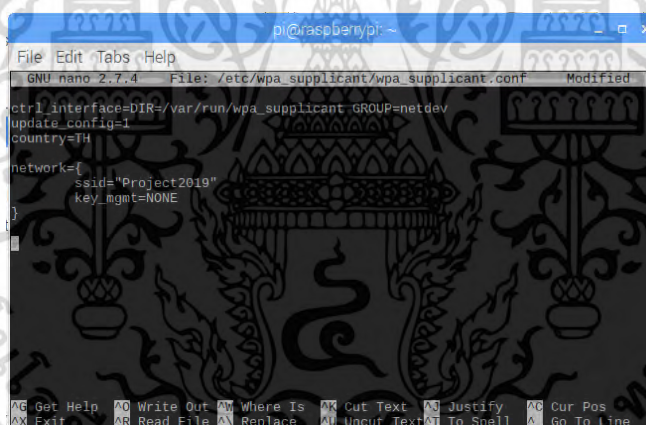


```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:00] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:02] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:04] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:05] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:07] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:09] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:11] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:13] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:14] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:16] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:17] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:19] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:21] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:22] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:24] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:25] "GET / HTTP/1.1" 200 -
pi@raspberrypi:~/robot $ sudo raspi-config
pi@raspberrypi:~/robot $ sudo raspi-config
pi@raspberrypi:~/robot $ cd -
bash: cd: too many arguments
pi@raspberrypi:~/robot $ cd -
pi@raspberrypi:~ $ sudo mkdir /mnt/usb
mkdir: cannot create directory '/mnt/usb': file exists
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
  
```

รูปที่ 61 แสดงคำสั่งสำหรับตั้งค่า Wi-Fi

จากนั้นทำการตั้งค่า Wi-Fi ให้เป็น Project2019



```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 2.7.4 File: /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf Modified
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant:GROUP=netdev
update_config=1
country=TH

network={
    ssid="Project2019"
    key_mgmt=NONE
}
  
```

รูปที่ 62 แสดงการตั้งค่า Wi-Fi เป็น "Project2019"

ทำการตั้งค่า Autorun โดยสั่งให้ program ที่สมบูรณ์แล้วเปิดใช้งานพร้อมกับตอนเปิด raspberry pi

```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:04] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:05] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:07] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:09] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:11] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:13] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:14] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:16] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:17] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:19] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:21] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:22] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:24] "GET / HTTP/1.1" 200 -
192.168.43.5 - - [05/Apr/2019 19:44:25] "GET / HTTP/1.1" 200 -
^Cpi@raspberrypi:~/robot $ sudo raspi-config
pi@raspberrypi:~/robot $ sudo raspi-config
pi@raspberrypi:~/robot $ cd -
bash: cd: too many arguments
pi@raspberrypi:~/robot $ cd --
pi@raspberrypi:~ $ sudo mkdir /mnt/usb
mkdir: cannot create directory '/mnt/usb': File exists
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
pi@raspberrypi:~ $ sudo nano /home/pi/.bashrc

```

รูปที่ 63 แสดงคำสั่งสำหรับเข้าไปแก้ไขเมื่อเปิด raspberry pi

จากนั้นพิมพ์ตามรูปด้านล่างเพื่อทำ autorun สามารถเปลี่ยนตำแหน่งและชื่อไฟล์ตามต้องการได้ พร้อมทั้งยังใช้คำสั่ง sudo service motion start เพื่อให้กล่องเปิดใช้พร้อมกัน

```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 2.7.4 File: /home/pi/.bashrc
# added by Berryconda3 installer
export PATH="/home/pi/berryconda3/bin:$PATH"
echo Running at boot
sudo service motion restart
sudo python3 /home/pi/robot/robotonweb.py

```

รูปที่ 64 แสดงคำสั่งที่พิมพ์เพิ่มเติมเมื่อตอน raspberry pi เปิด

### 3.2 การทดสอบการฆ่าเชื้อของรังสียูวี

วิธีการทดสอบการฆ่าเชื้อของรังสียูวี ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกแบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Staphylococcus aureus* มาใช้ในการทดสอบเพราะมีงานวิจัยที่ค้นพบสาเหตุ 20% - 30% ของการติดเชื้อในท้องผ่าตัดเกิดจากเชื้อ *Staphylococcus aureus* (อ้างอิงจาก : Journal of Preventive Medicine and Hygiene, "Operating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

theatre quality and prevention of surgical site infections”, 54(3): 131–137, Sep 2013) โดยเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นเชื้อที่พบได้ที่ผิวหนัง โพรงจมูก เยื่อหูทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และบาดแผล ซึ่งเมื่อบาดแผลถูกผ่าตัดและเย็บแผลบริเวณที่ถูกสัมผัสจะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อนี้ ซึ่งการทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีทำโดยการนำเชื้อ *Staphylococcus aureus* มาเจือจางแล้วนำไปชิตบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยแบ่งเป็นจานควบคุม กับจานที่นำไปยิงยูวีด้วยระยะเวลาต่างๆ นำผลมานับจำนวนโคโลนีของเชื้อเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนจานควบคุมกับจานที่นำไปยิงยูวีฆ่าเชื้อ

### 3.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ NA (Nutrient Agar)

#### อุปกรณ์และสารเคมี

- |                                      |      |           |              |
|--------------------------------------|------|-----------|--------------|
| 1. 0.3% (w/v) Yeast extract          | 1.5  | กรัม      |              |
| 2. 0.5% (w/v) Peptone                | 2.5  | กรัม      |              |
| 3. 1.5% (w/v) Agar                   | 7.4  | กรัม      |              |
| 4. 0.5% (w/v) NaCl                   | 2.5  | กรัม      |              |
| 5. น้ำกลั่น                          | 500  | มิลลิลิตร |              |
| 6. จานเลี้ยงเชื้อ (Culture Plate)    | 20   | มิลลิลิตร | จำนวน 20 อัน |
| 7. บีกเกอร์ (Beaker)                 | 500  | มิลลิลิตร |              |
| 8. กระบอกตวง                         | 1000 | มิลลิลิตร |              |
| 9. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)    | 250  | มิลลิลิตร | จำนวน 3 ขวด  |
| 10. ซ้อนตักสาร                       |      |           |              |
| 11. กระจกตวงสาร                      |      |           |              |
| 12. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)    |      |           |              |
| 13. เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) |      |           |              |
| 14. ตู้ปลอดเชื้อ (Lamina flow)       |      |           |              |
| 15. ตู้เย็น                          |      |           |              |
| 16. ถุงมือ                           |      |           |              |
| 17. แอลกอฮอล์                        |      |           |              |
| 18. ตาชั่ง                           |      |           |              |
| 19. กระจกฟอยด์                       |      |           |              |

#### วิธีทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั่ง Yeast exact 0.75 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ผสม peptone 1.25 กรัม, Agar 3.7 กรัม, NaCl 1.25 กรัม และน้ำกลั่นส่วนหนึ่งในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องคนสาร
3. นำส่วนผสมในบีกเกอร์เทใส่กระบอกตวง แล้วเติมน้ำให้ครบ 250 มิลลิลิตร และคนส่วนผสมให้เข้ากันโดยการเทกลับไปมาระหว่างบีกเกอร์กับกระบอกตวง
4. เทใส่ขวดรูปชมพู่แล้วคนเบาๆให้ส่วนผสมเข้ากัน จากนั้นปิดฝาขวดด้วยกระดาษพอยล์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่ง ความดันไอ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
5. นำออกจากหม้อนึ่งความดันไอ ทิ้งไว้สักพักให้หายร้อน
6. นำไปเทใส่จานเลี้ยงเชื้อ 25 มิลลิลิตร จะได้อาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 10 อัน ปิดฝาจานเลี้ยงเชื้อให้สนิท จากนั้นทิ้งไว้ให้อาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ตัว (โดยขั้นตอนนี้ต้องทำภายในตู้ laminar flow และจะต้องใส่ถุงมือยางชนิดแอลกอฮอล์เพื่อฆ่าเชื้อให้เรียบร้อย)
7. เปิดฝาจานเลี้ยงเชื้อแล้วคว่ำตากไว้ ให้อาหารเลี้ยงเชื้อแห้งสนิท (โดยขั้นตอนนี้ต้องทำภายในตู้ laminar flow)
8. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-7 เพื่อให้ได้อาหารเลี้ยงเชื้ออีก 10 อัน
9. จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 20 อัน แปะเก็บไว้ในตู้เย็น



รูปที่ 65 ชั่ง peptone 1.25 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 66 ชั่ง Yeast Extract 0.75 กรัม

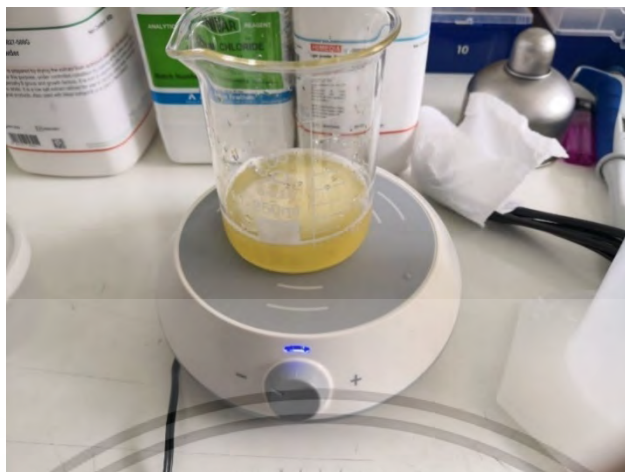


รูปที่ 67 ชั่ง NaCl 1.25 กรัม



รูปที่ 68 ชั่ง Agar 3.7 กรัม

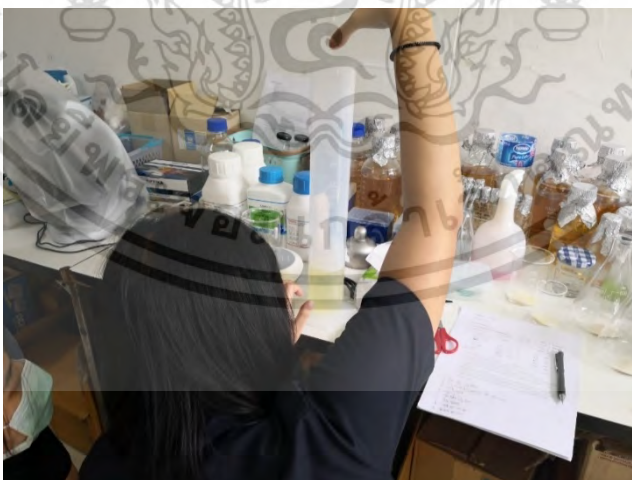
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 69 เติมน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วนำไปวางบนเครื่องกวนสาร เพื่อผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 70 เทอาหารเลี้ยงเชื้อใส่กระบอกตวง

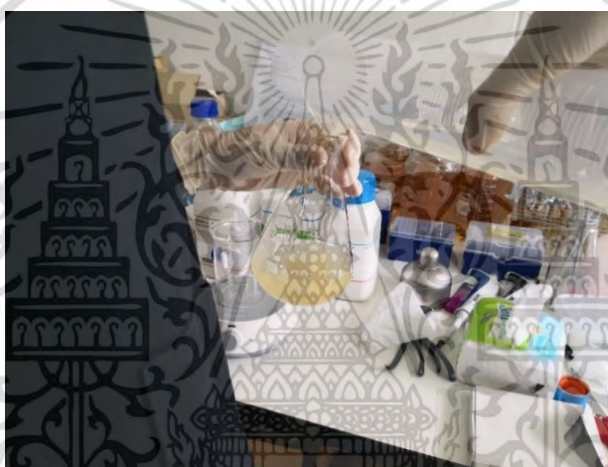


รูปที่ 71 เติมน้ำกลั่นให้ได้ 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 72 ผสมให้เข้ากันโดยการเทกลับไปมาระหว่างบีกเกอร์และกระบอกตวง



รูปที่ 73 เทใส่ขวดรูปชมพู่ จากนั้นคนให้เข้ากัน

### 3.2.2 การเจือจางแบบทีเรี่ย (Ten-fold serial dilution)

#### อุปกรณ์

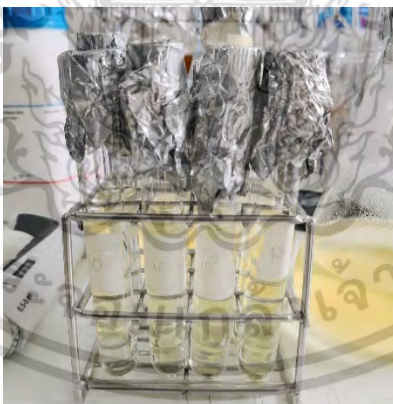
1. ปิเปตอัตโนมัติขนาด 1 มิลลิลิตร
2. Pipette tips ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์
4. ห่วงเชี้ยเชื้อ
5. แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ในจานเลี้ยงเชื้อ
6. อาหารเหลว NA ปริมาตร 10 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้วทั้งหมด 1 หลอด
7. อาหารเหลว NA ปริมาตร 9 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้วทั้งหมด 9 หลอด

#### วิธีการ

1. เขียนกำกับที่อาหารเหลว NA ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็น  $10^1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เขียนกำกับที่หลอดบรรจุ อาหารเหลว NA ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ทั้ง 10 หลอด เป็น  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$  ตามลำดับ
3. ใช้หวงเขี่ยเชื้อ สะกิดเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากในจานเลี้ยงเชื้อตัวอย่างแล้วนำไปผสมกับอาหารเหลว NA หลอดเขียนกำกับว่า  $10^1$  ปิดฝาให้สนิทแล้วทำให้เข้ากันโดยการพลิกหลอดทดลองกลับไปกลับมา
4. ใส่ Tips ลงในปิเปต จากนั้นเปิดฝาจุกหลอดที่เขียนกำกับว่า  $10^1$  นำปลายหลอดไปลงหลอด แล้วใช้ปิเปตดูดแบคทีเรียจากหลอดเป็นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงหลอดที่ปลายหลอดทดลองอีกครั้งแล้วปิดจุกหลอดทดลองไว้เหมือนเดิม
5. เปิดฝาจุกหลอดที่เขียนกำกับว่า  $10^{-1}$  นำปลายหลอดไปลงหลอด แล้วปล่อยแบคทีเรียจากปิเปตลงในหลอด หลอดที่ปลายหลอดทดลองอีกครั้งแล้วปิดจุกหลอด แล้วทำให้เข้ากันโดยการพลิกหลอดทดลองกลับไปกลับมา จะได้แบคทีเรียที่เจือจางอัตราส่วน 1:10 (dilution  $10^{-1}$ )
6. เปลี่ยน Tips อันใหม่ จากนั้นใช้ปิเปตดูดแบคทีเรียที่อยู่ในหลอด  $10^{-1}$  ขึ้นมาเป็นปริมาตร 1 มิลลิลิตรไปเติมลงในหลอดที่เขียนกำกับว่า  $10^{-2}$  ผสมให้เข้ากันจะได้แบคทีเรียที่เจือจางอัตราส่วน 1:100 (dilution  $10^{-2}$ )
7. ทำเช่นเดียวกันกับข้อที่ 5 และ 6 ในหลอดที่บรรจุอาหารเหลว NA หลอดที่เขียนกำกับ  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$  ตามลำดับจนได้แบคทีเรียที่เจือจางในอาหารเหลวจนครบทั้งหมด



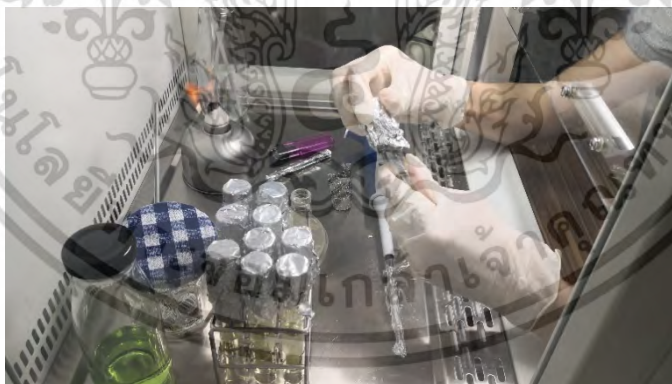
รูปที่ 74 เขียนกำกับที่หลอดบรรจุอาหารเหลวทั้ง 10 หลอด



รูปที่ 75 เชื้อเชื้อจากจานเลี้ยงเชื้อตัวอย่าง



รูปที่ 76 ใส่ลงในหลอดบรรจุอาหารเหลว  $10^1$



รูปที่ 77 ทำให้เข้ากันแล้วปิดฝาให้สนิท

### 3.2.3 Spread plate

#### อุปกรณ์

1. Glass spreader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตะเกียงแอลกอฮอล์
3. ปิเปตต์อัตโนมัติขนาด 1 มิลลิลิตร
4. Pipette tips ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
5. 95% Ethanol
6. Nutrient agar จำนวน 5 plate

#### วิธีการ

1. ใส่ถุงมือและฉีดแอลกอฮอล์ให้ทั่วฝ่ามือทั้ง 2 ข้าง รวมถึงบนโต๊ะทดลองเพื่อฆ่าเชื้อโรค
2. ใช้ปิเปตต์ดูดแบคทีเรียที่เจือจางแบบ 10-fold dilutions ในหลอดที่เขียนกำกับ  $10^{-3}$  ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้น
3. ฆ่าเชื้อบน glass spreader ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% ethanol แล้วนำไปลงไฟจากตะเกียง ปล่อยให้เย็นลงสักครู่ (ประมาณ 20-30 วินาที)
4. เกี่ยแบคทีเรียให้กระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อด้วยการหมุน glass spreader เป็นวงกลมพร้อมกับหมุน plate ไปด้วย เมื่อหมุน plate จนแบคทีเรียกระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อ (ประมาณ 3-4 รอบ) แล้วปิดฝา plate ใช้เทปพาราฟิล์มพันรอบจานเลี้ยงเชื้อให้สนิท และฆ่าเชื้อ glass spreader ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% ethanol
5. นำแบคทีเรียที่เจือจางแบบ 10-fold dilutions ในหลอดที่เขียนกำกับ  $10^{-6}$  ไป spread plate เช่นเดียวกับข้อ 2-4
6. นำ nutrient agar ทั้ง 5 plate ไปบ่มที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยคว่ำผิวหน้าอาหารลง
7. เมื่อครบเวลาให้นำออกจากตู้บ่ม ทำการบันทึกผลการนับจำนวนโคโลนีในจานเลี้ยงเชื้อ



รูปที่ 78 ใช้ปิเปตต์ดูดแบคทีเรีย ปริมาตร 0.1 ml ใส่ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 79 นำ glass spreader ไปคลนไฟ



รูปที่ 80 Spread plate



รูปที่ 81 ปิดด้วยพาราฟิล์ม

### 3.2.4 ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีในตู้ laminar flow

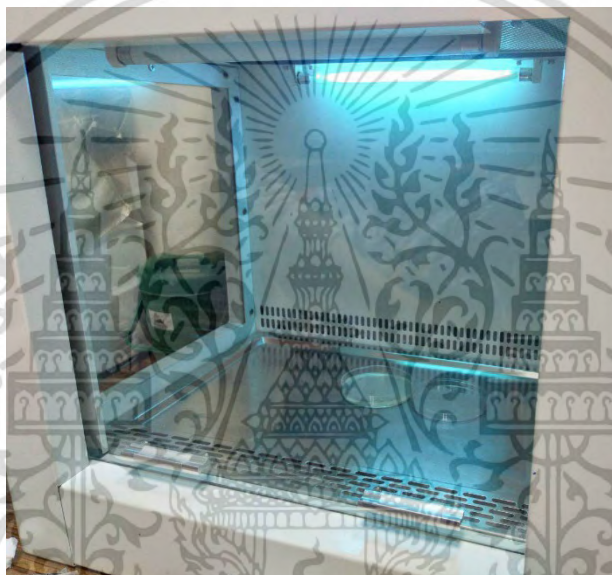
คำนวณเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อของหลอดยูวีในตู้ laminar flow ที่มีขนาด output ของหลอดไฟเท่ากับ 8 Watt ระยะห่าง 35 เซนติเมตร ดังแสดงในสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Brightness} &= \frac{8(w)}{4\pi \times 35^2 (cm^2)} \\ &= 519.68 \mu W/cm^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Time} &= \frac{6,600 (\mu W \cdot \frac{sec}{cm^2})}{519.68 (\mu W/cm^2)} \\ &= 12.7 \text{ sec} \approx 13 \text{ sec} \end{aligned} \quad (3.5)$$

ในการทดสอบได้นำเชื้อที่เจือจาง  $2 \times 10^{-3}$  มาฉีดเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี spread plate มีจานเพาะเชื้อทั้งหมด 5 จาน โดยมี 1 จานเพาะเชื้อที่ไม่ได้อบยูวีเป็นชุดควบคุมเพื่อใช้เปรียบเทียบกับจานเพาะเชื้อที่เหลือที่นำไปอบยูวีเป็นเวลา 13 วินาที, 26 วินาที, 39 วินาที และ 53 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 82 การฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีในตัว laminar flow

### 3.2.5 ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

จากการคำนวณเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ ที่มีขนาด output ของหลอดไฟเท่ากับ 19.3 Watt จำนวน 3 หลอด ระยะห่าง 35 เซนติเมตร ดังแสดงในสมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.7

$$\begin{aligned} \text{Brightness} &= \frac{19.3(w)}{4\pi \times 35^2 (cm^2)} \\ &= 3761.25 \mu W/cm^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Time} &= \frac{6,600 (\mu W \cdot \frac{sec}{cm^2})}{3761.25 (\mu W/cm^2)} \\ &= 1.754 \text{ sec} \approx 2 \text{ sec} \end{aligned} \quad (3.7)$$

ในการทดสอบได้นำเชื้อที่เจือจาง  $2 \times 10^{-3}$  มาฉีดเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี spread plate มีจานเพาะเชื้อทั้งหมด 5 จาน โดยมี 1 จานเพาะเชื้อที่ไม่ได้อบยูวีเป็นชุดควบคุมเพื่อใช้เปรียบเทียบกับจานเพาะเชื้อที่เหลือที่

นำไปวางไว้ที่บริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์แล้วเปิดยูวีเป็นเวลา 2 วินาที, 4 วินาที, 6 วินาที และ 8 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 83 การฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

### 3.2.6 ทดสอบ watt output ของหลอดสียูวี

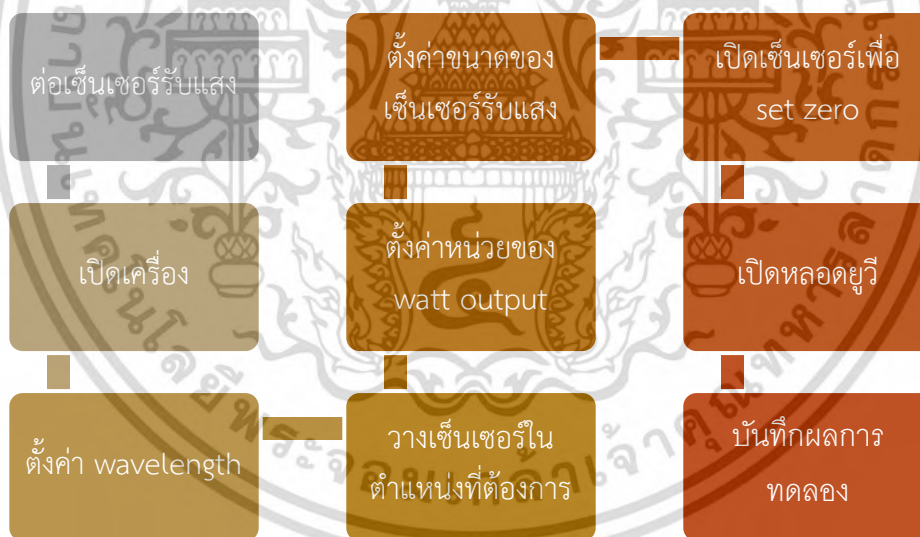
ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบ watt output ของหลอดรังสียูวีเพื่อให้แน่ใจว่าหลอดรังสียูวีที่ใช้มีประสิทธิภาพมากพอที่จะสามารถฆ่าเชื้อที่ต้องการได้ ในการทดสอบ watt output ของหลอดยูวีทางคณะผู้จัดทำเลือกใช้ power meter รุ่น Thorlabs PM100D Power meter S120C และแบ่งการทดสอบเป็น 2 ตอน โดยตอนที่ 1 ทำการทดสอบที่ระยะ 35 เซนติเมตร เมื่อเปิดหลอดยูวี 1 หลอด วัดจากระยะหลอดที่ใกล้ที่สุดและที่ไกลที่สุด และเมื่อเปิดหลอดยูวี 3 หลอด ตอนที่ 2 ทำการทดสอบ ที่ระยะ 10,20,30,40,50,60,70,80,90 และ 100 เซนติเมตร (เริ่มวัดระยะจากกึ่งกลางของ UV Bot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 84 แสดง Thorlabs PM100D Power meter S120C

ทั้ง 2 การทดลองมีวิธีการทดลองเริ่มจากการต่อเซ็นเซอร์ เมื่อต่อเซ็นเซอร์เสร็จแล้วให้เปิดเครื่อง และเข้าไปตั้งค่า wavelength, ขนาดของเซ็นเซอร์รับแสง และหน่วยของ watt output เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้วเริ่มการวัดโดยการนำเซ็นเซอร์วางยังตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อเปิดเซ็นเซอร์แล้วเซ็นเซอร์จะตรวจวัดแสงทันที จึงต้องกด set zero เพื่อปรับค่าแสงให้เป็นศูนย์ก่อนจะวัดแสงยูวี จากนั้นจึงเปิดหลอดยูวีเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ค่าที่วัดได้คงที่และบันทึกผลการทดลองที่ได้



รูปที่ 85 3.2.6 วิธีการทดสอบ watt output ของหลอดยูวี

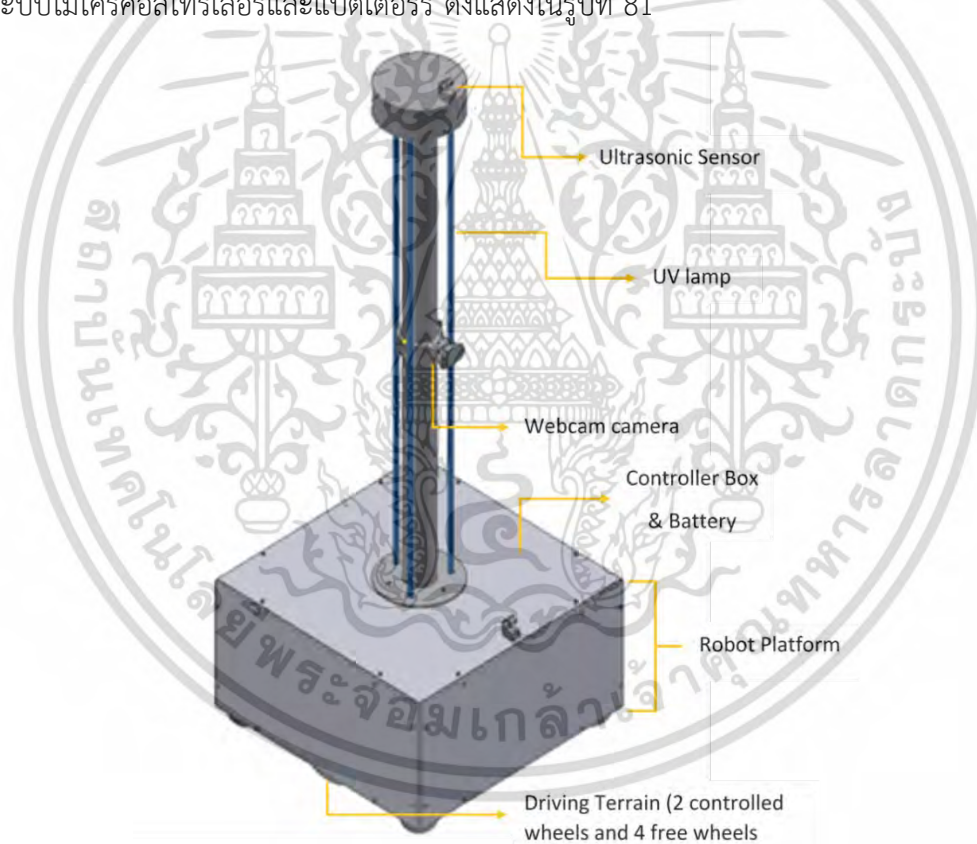
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 การทำงานของหุ่นยนต์

#### 4.1.1 การออกแบบหุ่นยนต์

จากการออกแบบหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม Autodesk ทำให้ได้หุ่นยนต์ต้นแบบที่มีความสูงทั้งหมด 157 เซนติเมตร ที่ส่วนฐานจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ส่วนบนของหุ่นยนต์ติดตั้งหลอดยูวีทั้งหมด 3 หลอด, ส่วนของเซ็นเซอร์มีอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ 2 ตัว ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนสุดและด้านบนฝั่งด้านหน้าของฐานของหุ่นยนต์ และกล้องเว็บแคมติดตั้งอยู่บริเวณกลางลำตัวของหุ่นยนต์, ส่วนการขับเคลื่อนประกอบไปด้วย ล้อควบคุมด้วยมอเตอร์ 2 ล้อและล้ออิสระ 4 ล้อ และส่วนสุดท้ายคือระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 81



รูปที่ 86 แสดงแบบจำลองหุ่นยนต์จากโปรแกรม Autodesk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การสร้างหุ่นยนต์

จากกระบวนการสร้างหุ่นยนต์ทำให้ได้หุ่นยนต์ที่มีความสูงทั้งหมดของหุ่นยนต์ 157 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ในการทำฐานคืออลูมิเนียมโปรไฟล์ ปิดส่วนฐานด้วยแผ่นอะคริลิกสีขาวรอบด้าน ส่วนวัสดุที่ใช้ในการทำเสากลางคือท่ออะลูมิเนียม

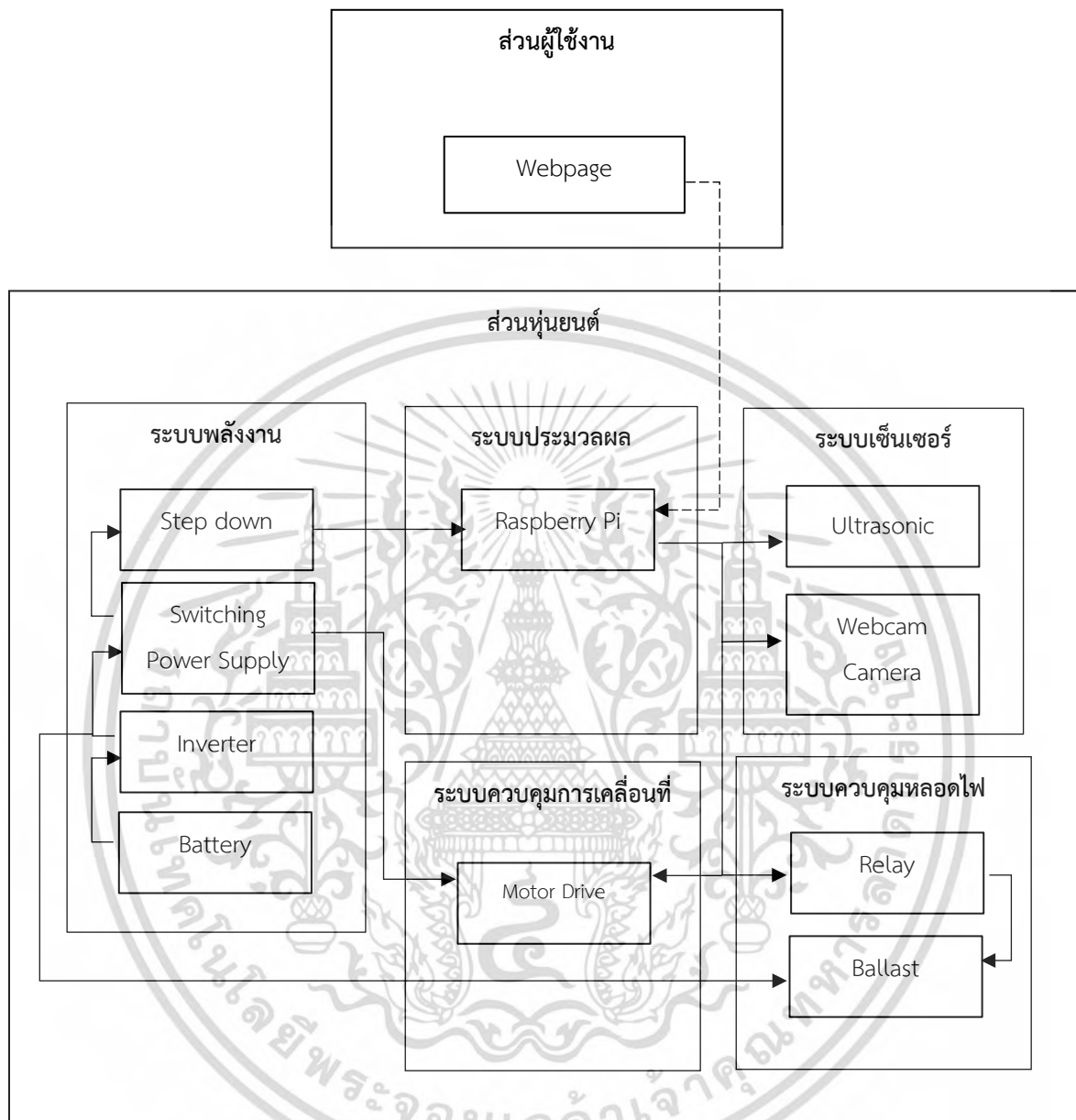


รูปที่ 87 หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

#### 4.1.3 การสร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

หลังจากการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์แล้ว หุ่นยนต์สามารถทำงานได้โดยควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านทางเว็บไซต์ โดยการเชื่อมต่อผ่านระบบ Wi-Fi เดียวกัน ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ รวมไปถึงการเปิดปิดหลอดไฟได้โดยการกดปุ่มบนหน้าเว็บไซต์ สามารถสังเกตการณ์โดยการดูผ่านกล้องเว็บแคม และ Ultrasonic sensor ที่ติดตั้งไว้ เพื่อควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปทั่วห้อง รวมไปถึงหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยในการใช้งานหุ่นยนต์ จะมีระบบ Autorun เพื่อเปิดระบบการทำงานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 88 ระบบควบคุมหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 89 User Interphase

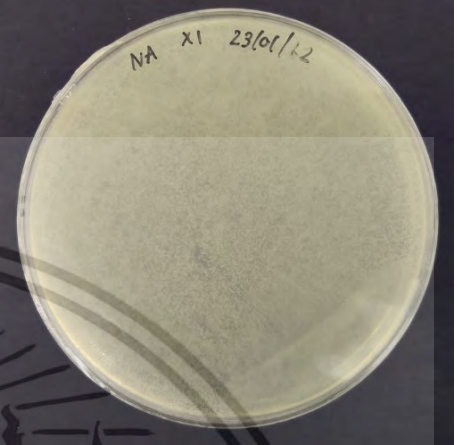
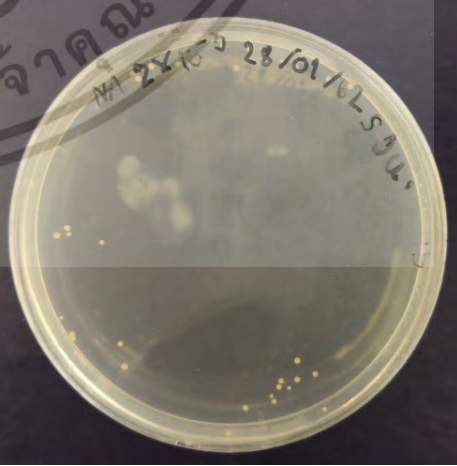
#### 4.1 การทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวี

##### 4.2.1 การเจือจางแบคทีเรีย (Ten-fold serial dilution)

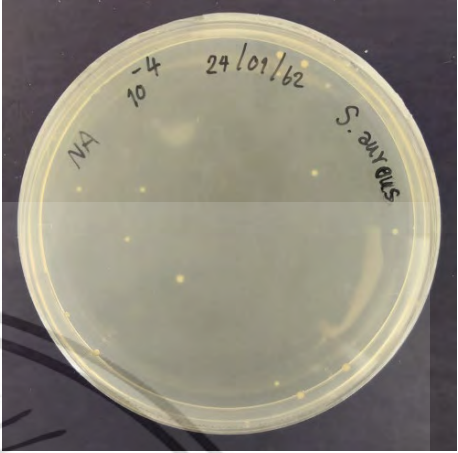

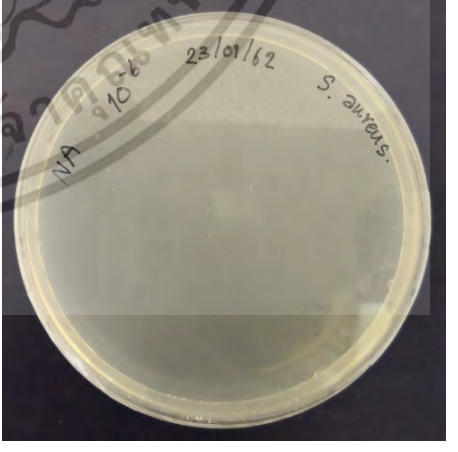
จากการทดลองได้ทำการเจือจางแบคทีเรียตั้งแต่  $10^{-1}$  ถึง  $10^{-9}$  พบว่า เชื้อแบคทีเรียที่เจือจางแล้วนำมา spread plate แล้วได้ผลที่ต้องการคือเห็นเชื้อเป็นโคโลนีชัดเจน มีจำนวนโคโลนีที่ไม่มากและไม่น้อยเกินไป คือ  $2 \times 10^3$  หรือ 1:1500 ดังแสดงในตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5 ผลการทำ Ten-fold serial dilution

ผลการทดลอง	รูปแสดงการทำ serial dilution
<p><b>ความเข้มข้น <math>10^1</math> (1:10)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียในปริมาณมาก เนื่องจากเป็นการนำเชื้อตัวอย่างมาเจือจางในอาหารเหลวจึงทำให้มีแบคทีเรียมีจำนวนมากจนนับไม่ถ้วน มองไม่เห็นแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้</p>	 <p>A petri dish containing a confluent bacterial lawn on NA medium. The surface is completely covered with a dense, uniform layer of bacteria, making individual colonies impossible to distinguish. Handwritten text on the lid includes 'NA XI 23/01/62'.</p>
<p><b>ความเข้มข้น <math>10^{-3}</math> (1:1,000)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางกว่าความเข้มข้น <math>10^1</math> อยู่มากจนสามารถมองเห็นแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวที่กระจายตัวกัน แต่ยังมีจำนวนโคโลนีที่มากอยู่</p>	 <p>A petri dish showing numerous small, distinct bacterial colonies on NA medium. The colonies are well-separated and appear as small, yellowish dots. Handwritten text on the lid includes 'NA 10^-3 23/01/62' and 'S. aureus'.</p>
<p><b>ความเข้มข้น <math>2 \times 10^{-3}</math> (1:1500)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางกว่าความเข้มข้น <math>10^{-3}</math> โคโลนีลดน้อยลงและกระจายตัวจนสามารถมองเห็นแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ชัดเจน โดยมีจำนวนโคโลนีทั้งหมดมี 32 ตัว</p>	 <p>A petri dish showing a few distinct bacterial colonies on NA medium. The colonies are well-separated and clearly visible. Handwritten text on the lid includes 'NA 2 x 10^-3 23/01/62' and 'S. aureus'.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง	รูปภาพ
<p><b>ความเข้มข้น <math>10^{-4}</math> (1:10,000)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางกว่าความเข้มข้น <math>10^{-3}</math> โคโลนีลดน้อยลงและกระจายตัว สามารถมองเห็นแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ชัดเจน โดยจำนวนโคโลนีทั้งหมดมี 18 ตัว</p>	
<p><b>ความเข้มข้น <math>10^{-5}</math> (1:100,000)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางกว่าความเข้มข้น <math>10^{-3}</math> สามารถมองเห็นแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ชัดเจน โดยจำนวนโคโลนีที่มองเห็นมีเพียง 4 ตัวเท่านั้น เนื่องจากความเข้มข้นของแบคทีเรียมีปริมาณที่น้อยมาก</p>	
<p><b>ความเข้มข้น <math>10^{-6}</math> (1:1,000,000)</b></p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางมากเกินไป จนทำให้ไม่พบแบคทีเรียเลย</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

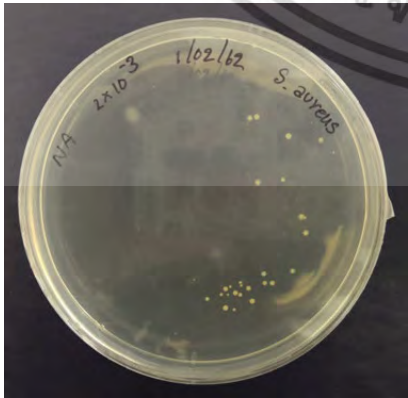
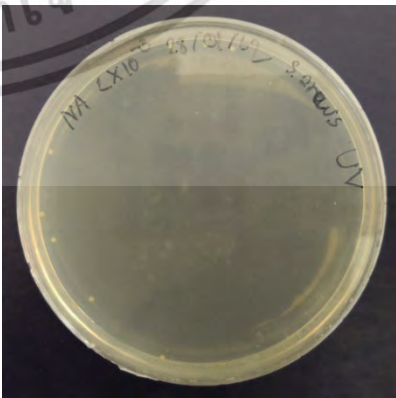
ผลการทดลอง	รูปภาพ
<p>ความเข้มข้น <math>10^{-9}</math> (1: 1,000,000,000)</p> <p>มีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียเจือจางมากเกินไปจนทำให้ไม่พบแบคทีเรียเลย</p>	

#### 4.2.2 ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวี

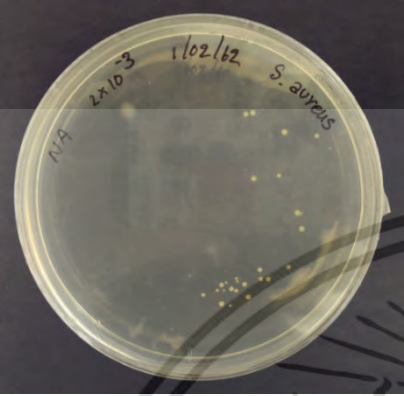
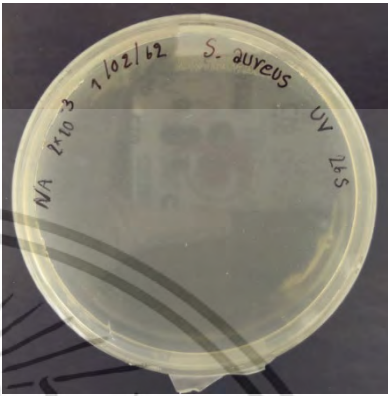


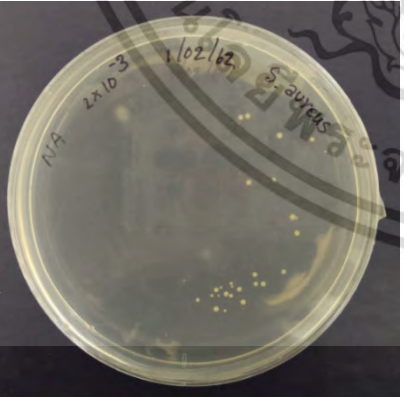
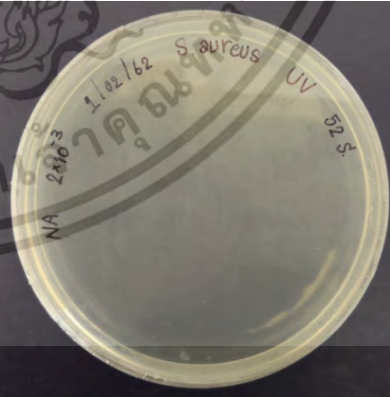
##### 4.2.2.1 ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีในตู้ laminar flow

ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีที่อยู่ในตู้ laminar flow โดยนำเชื้อที่เจือจาง  $2 \times 10^{-3}$  มาเพาะเลี้ยงด้วยวิธี spread plate มีจานเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้อบยูวีเป็นชุดควบคุมเพื่อใช้เปรียบเทียบกับจานเลี้ยงเชื้อที่เหลือที่นำไปอบยูวีเป็นเวลา 13 วินาที, 26 วินาที, 39 วินาที และ 53 วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแบคทีเรียบนจานที่ชุดควบคุม มีจำนวนโคโลนีทั้งหมด 28 ตัว จานเลี้ยงเชื้อที่นำไปอบยูวี 13 วินาทีมีแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* จำนวน 9 โคโลนี ส่วนจานเลี้ยงเชื้อที่นำไปอบยูวีตั้งแต่เวลา 26 วินาทีเป็นต้นไปสามารถฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้หมด

#### UV Disinfection test in Laminar Flow

Time (s)	Reference	Colony	UV Sterilization	Colony
13		28		9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Time (s)	Reference	Colony	UV Sterilization	Colony
26		28		0
39		28		0
52		28		0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


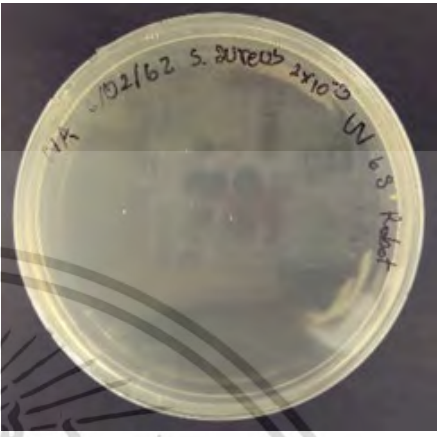


#### 4.2.2.2 ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยิวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยิวีหุ่นยนต์โดยนำเชื้อที่เจือจาง  $2 \times 10^{-3}$  มาขีดเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อด้วยวิธี spread plate มีจานเพาะเชื้อที่ไม่ได้อบยิวีเป็นชุดควบคุมเพื่อใช้เปรียบเทียบกับจานเพาะเชื้อที่เหลือที่นำไปอบยิวีเป็นเวลา 2 วินาที, 4 วินาที, 6 วินาที และ 8 วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแบคทีเรียบนจานที่ชุดควบคุม มีจำนวนโคโลนีทั้งหมด 23 ตัว จานเลี้ยงเชื้อที่นำไปอบยิวีมีแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* จำนวน 7, 8, 1, 0 โคโลนีตามลำดับ

#### UV Disinfection test with UV Robot

Time (s)	Reference	Colony	UV Sterilization	Colony
2		23		7
4		23		8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (s)	Reference	Colony	UV Sterilization	Colony
6		23		1
8		23		0

#### 4.2.3 ผลการทดสอบ watt output ของหลอดยูวี

จากการทดลองวัด watt output ที่ระยะ 35 เซนติเมตรเพื่อวัดประสิทธิภาพของหลอดรังสียูวี พบว่าค่า watt output ที่ได้เป็นดังตารางที่ 5 ซึ่งไม่ตรงกับค่าตาม datasheet

ตาราง 3 ผลการทดลองตอนที่ 1 ทำการทดสอบ watt output ของหลอดยูวี ที่ระยะ 35 เซนติเมตร

จำนวนหลอด	ระยะห่างของ sensor กับหลอด (cm.)	Watt output ที่วัดได้ (mW)
1	35 (วัดจากหลอดที่ใกล้สุด)	0.166
1	35 (วัดจากหลอดที่ใกล้สุด)	0.349
3	35 (วัดจากหลอดที่ใกล้สุด)	0.645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทางคณะผู้จัดทำเลือกนำ watt output ของหลอดยูวีจำนวน 1 หลอดที่วัดระยะห่าง 35 เซนติเมตร จากหลอดที่ใกล้ที่สุดไปคำนวณ watt output จริงที่ได้

$$0.000349 \text{ (w/cm}^2\text{)} = \frac{A \text{ (w)}}{4\pi \times 35^2 \text{ (cm}^2\text{)}} \quad (4.1)$$

จะได้ **watt output** ของ 1 หลอด = 5.37 w

และนำ watt output ของหลอดยูวีจำนวน 3 หลอดมาเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

$$\begin{aligned} \text{Time} &= \frac{6,600 \text{ (}\mu\text{W}\cdot\frac{\text{sec}}{\text{cm}^2\text{)}}}{645 \text{ (}\mu\text{W/cm}^2\text{)}} \\ &= 10.23 \text{ sec} \end{aligned} \quad (4.2)$$

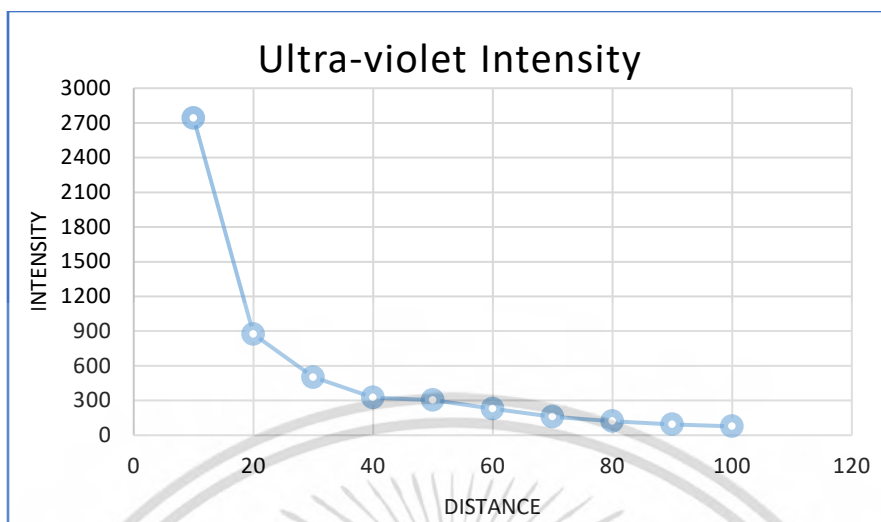
จะได้ว่าใช้เวลา 10.23 วินาทีในการฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่ระยะ 35 เซนติเมตรจากหลอด ซึ่งจากการทดลองการฆ่าเชื้อด้วยหลอดยูวีของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อใช้เวลาเพียง 8 วินาทีก็สามารถฆ่าเชื้อได้หมดทั้งงานเลี้ยงเชื้อ

ผลการทดลองตอนที่ 2 ทำการทดสอบที่ระยะ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่าง UV Intensity และระยะทางจากหลอด

ตาราง 4 ผลการทดลองตอนที่ 1 ทำการทดสอบ watt output ของหลอดยูวีที่ระยะต่างๆ

จำนวนหลอด	ระยะห่างของ sensor กับหลอด (cm.)	UV Intensity ( $\mu\text{W/cm}^2$ )
3	10	2742
3	20	874
3	30	502
3	40	326
3	50	304.4
3	60	230
3	70	160.2
3	80	121.3
3	90	94.7
3	100	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีสำหรับห้องผ่าตัด ความสามารถของหุ่นยนต์ที่ได้ คือผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้แบบไร้สายผ่านทางเว็บไซต์ โดยเป็นการเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย Wi-Fi เดียวกัน สามารถควบคุมการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ได้ด้วยการกดที่ปุ่มที่หน้าเว็บไซต์หรือกดที่คีย์บอร์ดควบคุมไปกับการสังเกตการณ์ผ่านกล้องเว็บแคม และมีการบอกระยะของสิ่งกีดขวางด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ รวมไปถึงการเปิด-ปิดหลอดไฟได้จากหน้าเว็บไซต์ แหล่งพลังงานของหุ่นยนต์มาจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ สามารถใช้งานได้เป็นเวลาประมาณ 30 นาที เมื่อเปิดการใช้งานหุ่นยนต์อย่างเต็มประสิทธิภาพ คือเปิดหลอดไฟยูวีพร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปด้วย จากการทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหุ่นยนต์ พบว่าต้องใช้เวลาอย่างน้อย 8 วินาทีเพื่อกำจัดแบคทีเรีย Staphylococcus aureus ที่อยู่ในจานเลี้ยงเชื้อซึ่งตั้งอยู่ห่างจากหุ่นยนต์ยูวีเป็นระยะ 35 เซนติเมตรได้อย่างสมบูรณ์ เวลานี้มากกว่าค่าที่คำนวณทางทฤษฎีถึง 4 เท่า เนื่องจากค่าพลังงานของหลอดไฟจากข้อมูลที่ได้รับโดยผู้ผลิตหลอดยูวี (19.3 วัตต์) มีค่าน้อยกว่าพลังงานของหลอดไฟที่วัดได้จริง (5.37 วัตต์) จากการวัดโดยเครื่อง power meter

### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

การรับส่งข้อมูลระหว่างส่วนประมวลผล (Raspberry Pi) กับหน้าแสดงผล (Website) ไม่ค่อยเสถียร ซึ่งอาจเกิดจากเครือข่าย Wi-Fi ที่เชื่อมต่อ สามารถแก้ไขได้โดยการเชื่อมต่อเครือข่าย Wi-Fi ที่ดีกว่าเดิม หรือส่งข้อมูลจากหน่วยประมวลผลผ่านเซิร์ฟเวอร์ก่อนจะส่งคำสั่งไปยังหุ่นยนต์

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ กล้องเว็บแคมสำหรับสังเกตการณ์มีมุมมองการมองเห็นไม่กว้างพอ รวมไปถึงเซนเซอร์ที่ติดตั้งก็มีจำนวนน้อยไปหรือตำแหน่งที่ติดตั้งไม่สัมพันธ์กับกล้องเว็บแคมทำให้เกิดจุดบอดซึ่งส่งผลให้เกิดการขัดข้องในการควบคุมหุ่นยนต์ สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มจำนวนกล้องเพื่อเพิ่มมุมมองการมองเห็น และติดตั้งเซนเซอร์ในบริเวณที่กล้องไม่สามารถจับภาพได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์

จากผลการทดลองการทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ พบว่าต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อมากกว่าที่คำนวณทางทฤษฎีถึง 4 เท่า เหตุผลหลักสามารถอธิบายได้ดังนี้ ประการแรกคือค่าพลังงานของหลอดไฟจากข้อมูลที่ได้รับโดยผู้ผลิตหลอดยูวี มีค่าน้อยกว่าพลังงานของหลอดไฟที่วัดได้จริง สามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนหลอดยูวีที่มีพลังงานของหลอดไฟมากกว่านี้ ประการที่สองคืออำนาจทะลุทะลวงของรังสียูวีมีน้อยมากไม่สามารถทะลุผ่านกระจกของจานเลี้ยงเชื้อส่งผลกระทบต่อเชื้อฆ่าเชื้อ สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) การเพิ่มแผ่นสะท้อนแสงจะช่วยเพิ่มพลังงานแสงยูวีที่ส่องลงบนวัตถุได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

สามารถนำปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) โดยใช้ในส่วนของ การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) มาพัฒนาหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง เป็นหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อที่ทำงานแบบอัตโนมัติ (Autonomous) และไม่ต้องการผู้ใช้งาน (User)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

- 6.1 หุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่โดยผู้ใช้งานได้แบบไร้สายผ่านทางหน้าเว็บไซต์ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปงบประมาณค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	430,000	454,300	-24,300
ค่าวัสดุ			
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
<b>รวม</b>	<b>430,000</b>	<b>454,300</b>	<b>-24,300</b>
หมายเหตุ รายละเอียดค่าใช้จ่ายตามเอกสารแนบ			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] นิตยา อินทราวัดนา, มุทิตา วนาภรณ์, “โรคติดเชื้อในโรงพยาบาลและสถานการณการต้อยา”, Journal of Medicine and Health Sciences, คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล, Vol.22 No.1 April 2015 [Online] Available : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/jmhs/article/download/58642/48352/+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=th>
- [2] Spagnolo AM, Ottria G, Amicizia D, Perdelli F, Cristina ML, “**Operating theatre quality and prevention of surgical site infections**”, Journal of Preventive Medicine and Hygiene, 54(3): 131–137, Sep 2013 [Online] Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24783890>
- [3] วงเดือน สุวรรณศิริ, ยุพเรศ พญาพรหม, “การป้องกันการติดเชื้อที่ตำแหน่งผ่าตัด”, Journal of Nursing Science Chulalongkorn University, Vol. 29 No. 2, May-August 2017 [Online] Available: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:a-15lkjwgtgJ:https://www.tcithaijo.org/index.php/CUNS/article/download/103366/82700/+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=th>
- [4] ปรีชา โอภาสานนท์, “การทำลายเชื้อในห้องผ่าตัด” [Online], Available: [www.healthcarethai.com/ทำลายเชื้อในห้องผ่าตัด/ยิวกับการนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรค](http://www.healthcarethai.com/ทำลายเชื้อในห้องผ่าตัด/ยิวกับการนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรค) [www.princeandprincessbaby.com/uvกับการนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรค/](http://www.princeandprincessbaby.com/uvกับการนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรค/)
- Joseph Moore, P.E, “**Basics of UV Disinfection**” [Online], Available: <https://www.midea.org/docs/Joe%20Moore-Basics%20of%20UV%20Disinfection%20for%20website.pdf>, 2014
- [5] Meditec, “**ชนิดของยิว**” [Online], Available: <https://www.meditek.ca/uv-sterilization-robots-infection-prevention-technology-operating-rooms/>, 2018
- [6] Vioguard Tech, “**UV กับการทำลาย DNA ของแบคทีเรีย**” [Online], Available: <https://www.vioguard.com/the-solution/uv-c-technology/>
- [7] “**Staphylococcus aureus**” [Online], Available: [http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Agricultural\\_Biotechnology/2549/Bs/BoonyapornTp/chapter2.pdf](http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Agricultural_Biotechnology/2549/Bs/BoonyapornTp/chapter2.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์, “S. aureus สเตฟิโลค็อกคัส-เรียส” [Online], Available:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1197/staphylococcus-aureus-สเตฟิโลค็อกคัส-ออเรียส>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Python Code ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์

```
from flask import Flask
from flask import render_template
from flask import request
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import cgi
import cgitb
cgitb.enable()
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
app = Flask(__name__)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(32,GPIO.OUT) # relay
#right wheel
GPIO.setup(7, GPIO.OUT) # Connected to PWMA
GPIO.setup(11, GPIO.OUT) # Connected to AIN2
GPIO.setup(12, GPIO.OUT) # Connected to AIN1
#relay
GPIO.output(32,GPIO.HIGH) # close lamp
#left wheel
GPIO.setup(15, GPIO.OUT) # Connected to BIN1
GPIO.setup(16, GPIO.OUT) # Connected to BIN2
GPIO.setup(18, GPIO.OUT) # Connected to PWMB
p1 = GPIO.PWM(7,50)
p2 = GPIO.PWM(18,50)
speed=10
p1.start(speed)
p2.start(speed)
# Set the motor speed
# Motor A:
```

```
GPIO.output(7, GPIO.HIGH) # Set PWMA
# Motor B:
GPIO.output(18, GPIO.HIGH) # Set PWMB
try:
```

```
    FPIN_TRIGGER = 21
    FPIN_ECHO = 22
    FPIN_TRIGGER2 = 23
    FPIN_ECHO2 = 24
    GPIO.setup(FPIN_TRIGGER, GPIO.OUT)
    GPIO.setup(FPIN_ECHO, GPIO.IN)
    GPIO.setup(FPIN_TRIGGER2, GPIO.OUT)
    GPIO.setup(FPIN_ECHO2, GPIO.IN)
```

finally:

```
    a=1
@app.route("/")
def index():
    #////////// Ultrasonics 1 START!!!!
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.LOW)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.LOW)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.00001) # sending 10 us
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER, GPIO.LOW)
    while GPIO.input(FPIN_ECHO)==0: Fpulse_start_time = time.time()
    while GPIO.input(FPIN_ECHO)==1:
        Fpulse_end_time = time.time()
    ##### number 2 start
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.HIGH)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(FPIN_TRIGGER2, GPIO.LOW)
```

```

while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==0:
    Fpulse_start_time2 = time.time()
while GPIO.input(FPIN_ECHO2)==1:
    Fpulse_end_time2 = time.time()
Fpulse_duration1 = Fpulse_end_time - Fpulse_start_time
Fdistance1 = round(Fpulse_duration1 * 17150, 2)
Fpulse_duration2 = Fpulse_end_time2 - Fpulse_start_time2
Fdistance2 = round(Fpulse_duration2 * 17150, 2)
return render_template("UVBot.html",Fdistance1 = Fdistance1 , Fdistance2=Fdistance2)
@app.route('/save', methods=['POST'])
def save():
    speed = request.form.get('save' , type =int)
    p1.start(speed)
    p2.start(speed)
    return ",204"
@app.route('/cgi-bin/examples/radiobuttons.py', methods=['POST'])
def lamp():
    state = request.form['light']
    if state == 'off' :
        GPIO.output(32,GPIO.HIGH) # close lamp
    if state == 'on' :
        GPIO.output(32,GPIO.LOW) # open lamp
    return ",204"
@app.route('/left_side')
def left_side():
    data1="LEFT"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.LOW) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.HIGH) # Set AIN2
    # Motor B:

```

```

GPIO.output(15, GPIO.LOW) # Set BIN1
GPIO.output(16, GPIO.HIGH) # Set BIN2
return 'true'
@app.route('/right_side')
def right_side():
    data1="RIGHT"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
# Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
    return 'true'
@app.route('/up_side')
def up_side():
    data1="FORWARD"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.LOW) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.HIGH) # Set AIN2
# Motor B:
    GPIO.output(15, GPIO.HIGH) # Set BIN1
    GPIO.output(16, GPIO.LOW) # Set BIN2
    return 'true'
@app.route('/down_side')
def down_side():
    data1="BACK"
    # Motor A:
    GPIO.output(11, GPIO.HIGH) # Set AIN1
    GPIO.output(12, GPIO.LOW) # Set AIN2
# Motor B:

```

```

GPIO.output(15, GPIO.LOW) # Set BIN1
GPIO.output(16, GPIO.HIGH) # Set BIN2
return 'true'
@app.route('/stop')
def stop():
    data1="STOP"
    GPIO.output(11 , 0)
    GPIO.output(12 , 0)
    GPIO.output(15 , 0)
    GPIO.output(16 , 0)
return 'true'
if __name__ == "__main__"
app.run(host='192.168.43.5',port=5010)

```

### HTML Code สำหรับการทำให้เว็บไซต์

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
<head>
<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.1.1/jquery.min.js"></script>
<script type="text/javascript">
    setInterval("my_function();",1000);
    function my_function(){
        $('#apDiv10').load(location.href + ' #apDiv11');
    }
</script>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<title>Untitled Document</title>
<style type="text/css">

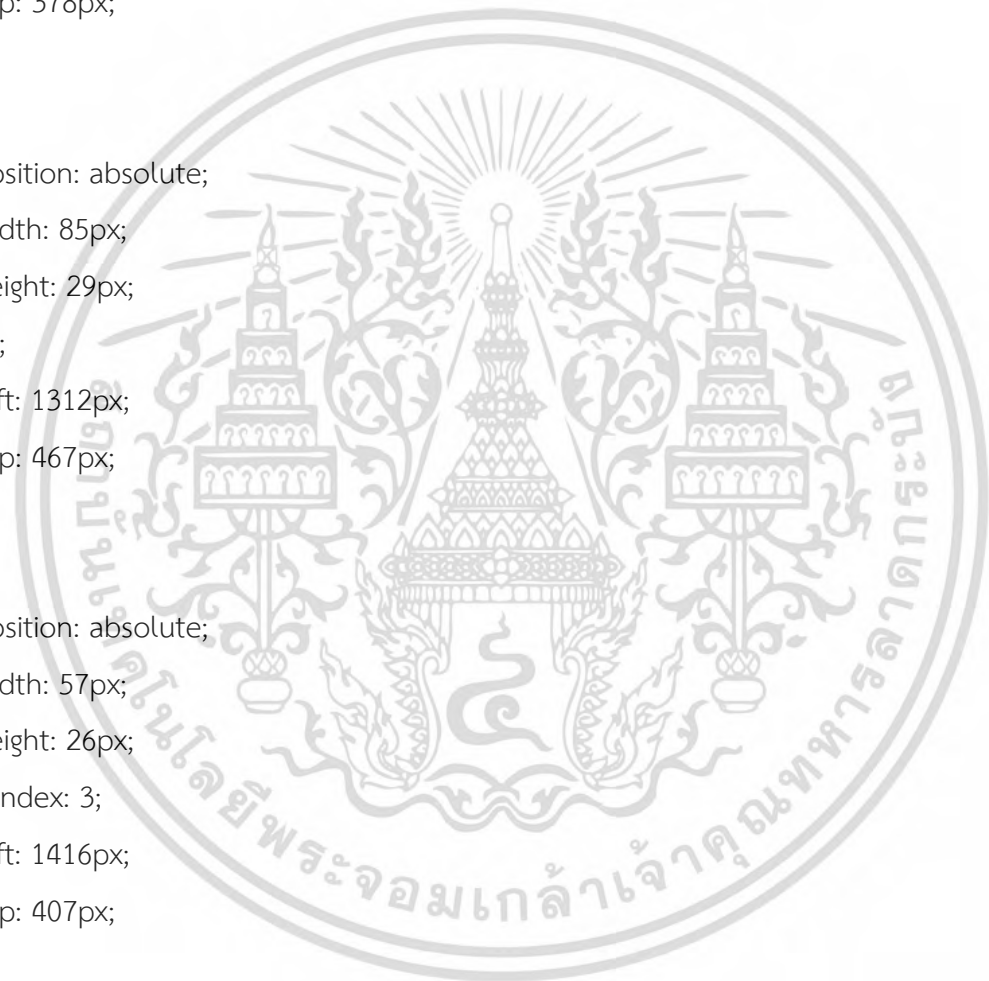
```

```
#apDiv1 {  
    position: absolute;  
    width: 73px;  
    height: 28px;  
    z-index: 1;  
    left: 1318px;  
    top: 378px;  
}
```

```
#apDiv2 {  
    position: absolute;  
    width: 85px;  
    height: 29px;  
    z-index: 2;  
    left: 1312px;  
    top: 467px;  
}
```

```
#apDiv3 {  
    position: absolute;  
    width: 57px;  
    height: 26px;  
    z-index: 3;  
    left: 1416px;  
    top: 407px;  
}
```

```
#apDiv4 {  
    position: absolute;  
    width: 47px;  
    height: 29px;  
    z-index: 4;  
    left: 1231px;  
}
```



```

        top: 408px;
    }
    body,td,th {
        color: #09F;
        font-size: 30px;
        font-weight: 800;
    }
    #apDiv5 {
        position: absolute;
        width: 79px;height: 30px;
        z-index: 1;
        left: 1294px;
        top: 354px;
    }
    h1,h2,h3,h4,h5,h6 {
        font-family: "Courier New", Courier, monospace;
    }
    h1 {
        font-size: 80px;
        color: #F30;
    }
    h2 {
        font-size: 40px;
        color: #000040;
    }
    #apDiv6 {
        position: absolute;
        width: 332px;
        height: 33px;
        z-index: 5;
    }

```



```

left: 1221px;
top: 547px;
}
#apDiv7 {
position: absolute;
width: 200px;
height: 115px;
z-index: 6;
left: 192px;
top: 373px;
}

```

```

#apDiv8 {
position: absolute;
width: 258px;
height: 180px;
z-index: 6;
left: 863px;
top: 364px;
}

```

```

body {
background-color: #9DCFF9;
}

```

```

h6 {
font-size: 30px;
}

```

```

#apDiv9 {
position: absolute;
width: 640px;
height: 480px;
background-color: #999;
}

```



```

layer-background-color: #999;
border: 1px none #000000;
z-index: 7;
left: 26px;
top: 355px;
}
#apDiv10 {
position: absolute;
width: 258px;
height: 180px;
z-index: 6;
left: 863px;
top: 564px;
}
</style>
</head>

<body>
<form id="form1" name="form1" method="post" action="">
<div align="center">
<h1>
<strong>KMITL</strong></h1>
<div id="apDiv1">
<div align="center">
<input name="Forward" type="button" id="up" value="Forward" />
</div>
<div align="left"></div>
</div>
</div>
</form>

```



```

<div id="apDiv3">
  <input type="submit" name="button2" id="right" value="Right" />
</div>
<div id="apDiv2">
  <input name="Forward2" type="button" id="down" value="Backward" />
</div>
<div id="apDiv4">
  <input type="submit" name="Submit" id="left" value="Left" />
</div>
<form id="form2" name="form1" method="post" action="">
  <div align="center">
    <h2>Ultra-Violet Sterilization Bot </h2>
    <h2>for Operating Room</h2>
  </div>
</form>
<div id="apDiv6">
  <!-- Speed
  <input type="text" name="textfield" id="textfield" />
  <input type="submit" name="button3" id="button3" value="Submit" /> -->

<form id="contact-form" action="/save", method="POST">
  <p>Speed<input type = "text" name = "save" /></p>
  <p><input type = "submit" value = "submit" /></p>
</form>
</div>
<div id="apDiv10">
  <p>Distance of front obstacle {{Fdistance1}} cm </p>
  <p>Distance of back obstacle {{Fdistance2}} cm </p>
</div>
<div id="apDiv11">

```

```

    <p>Distance of front obstacle {{Fdistance1}} cm </p>
    <p>Distance of back obstacle {{Fdistance2}} cm </p>
</div>
<div id="apDiv8">
    <!-- <form id="form3" name="form3" method="post" action="">
    <h6>
    <label>
        <input type="radio" name="RadioGroup1" value="radio" id="RadioGroup1_0" />
        Close Lamp</label>
    <br />
    <label>
        <input type="radio" name="RadioGroup1" value="radio" id="RadioGroup1_1" />
        Open Lamp</label>
    <br />
    </h6>
    </form> -->
<form action="/cgi-bin/examples/radiobuttons.py" method="POST">
    <input type="radio" name="light" value="on">Turn on<br>
    <input type="radio" name="light" value="off">Turn off
<br>
    <input type="submit" value="Submit">
</form>
</div>
<div id="apDiv9"></div>
<script>
$( document ).ready(function(){
    $("#down").on("mousedown", function() {
        $.get('/down_side');
    }).on('mouseup', function()$.get('/stop');
});

```

```

$("#up").on("mousedown", function() {
    $.get('/up_side');
}).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
});
$("#left").on("mousedown", function() {
    $.get('/left_side');
}).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
});
$("#right").on("mousedown", function() {
    $.get('/right_side');
}).on('mouseup', function() {
    $.get('/stop');
});
});
</script>
<script>
document.addEventListener('keydown', function(event) {
    if(event.keyCode == 37) {
        <!-- alert('Left was pressed');-->
        $.get('/left_side');
    }
    else if(event.keyCode == 39) {
        <!-- alert('Right was pressed');-->
        $.get('/right_side');
    }
    else if(event.keyCode == 38) {
        <!-- alert('Forward was pressed');-->
        $.get('/up_side');
    }
});
</script>

```

```
}
else if(event.keyCode == 40) {
    <!-- alert('Backward was pressed');-->
    $.get('/down_side');
}
});
document.addEventListener('keyup', function(event) {
    $.get('/stop');
});
</script>
</body>
</html>
```



# Wibool Piyawattanametha, PhD

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

*Group Leader, Advanced Light Microscopy*

1 Soi Chalong Krung1, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand, T: +66 (0)2-329-8000

*Email: [wibool@gmail.com](mailto:wibool@gmail.com) and [wibool.pi@kmitl.ac.th](mailto:wibool.pi@kmitl.ac.th)*

Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science & Engineering, Michigan State University

220 Trowbridge Rd, East Lansing, MI 48824, USA, T: +1 517-355-1855

*Email: [piyawatt@msu.edu](mailto:piyawatt@msu.edu)*

## EDUCATION

University of California, Los Angeles, USA (2000 – 2004)

*Doctor of Philosophy in Electrical Engineering*

University of California, Los Angeles, USA (1997 – 1999)

*Master of Science in Electrical Engineering*

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand (1990 – 1994)

*Bachelor of Electronics Engineering (Magna cum laude)*

## ACCOMPLISHMENTS/AWARDS

- Recognized on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)
- Awarded 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2018, Hong Kong, China
- Awarded Gold Medal Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland
- Awarded Bronze Medal Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from the 46th International Exhibition of Inventions of Geneva 2018, Geneva, Switzerland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Awarded Special prize for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from Korea Invention Promotion Association 2018
- Awarded Recognition Award for Smart Road surface Monitoring System via Cloud Computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded Recognition Award for smart emergency vehicle notification APP and traffic clearing system via cloud computing from National Research Council of Thailand 2018, Bangkok, Thailand
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China
- Awarded Silver Prize in Leaders in Innovation Fellowships 2017, the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France
- Awarded Leaders in Innovation Fellowships 2017 from the Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom
- Awarded the Newton Fund Researcher Links in 2015 from the British Council, United Kingdom
- Awarded 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, Alaska, USA
- Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Berlin, Germany
- Awarded Young Scientists Award 2013 from the World Economic Forum (WEF), Geneva, Switzerland– given to top 40 young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world
- Awarded an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEJ) 2014, Bangkok, Thailand
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from True Innovation, Bangkok, Thailand 2012
- Awarded Erasmus Mundus Grant 2012 from the European Commission
- Awarded 2<sup>nd</sup> prize from the Global Entrepreneurship Competition (GEC) 2011, Barcelona, Spain
- Outstanding paper award from Transducers 2011, Beijing, China, 2011
- Awarded 1<sup>st</sup> prize from the Global Social Venture Competition (GSVC) 2011, Bangkok, Thailand
- Achieved over 2600 citations with h-index of 25
- Served as a Director of Advanced Imaging Research Center at the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University (2010-14)

- Contributed to seven book chapters and filed 5 patents in micro- and nano-systems and biomedical imaging technology
- Presented at over 300 professional meetings including invited talks at various world class research institutes
- Served as a principal investigator (PI) in the following funding agencies since 2009 (US\$ 3+ million):
  - National Research Council (NRC)
  - Chulalongkorn University
  - National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
  - Office of the Higher Education Commission (OHEC)
  - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a founding member and an executive committee member of the Global Young Academy (GYA) and Thai Young Scientists Academy (TYSA) in 2010
- Elevated to be senior members of The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010, The Optical Society of America (OSA) in 2011, and The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012
- Served as a co-investigator in:
  - National Cancer Institute (NCI), USA-funded Network for Translational Research Award (US\$ 17+ million) to develop an endoscopic confocal microscope, ultrasound transducers, and nanoparticle-based wide-field spectral imaging devices, for molecularly-targeted disease detection in the gastrointestinal tract from 2005 to 2013
  - Howard Hughes Medical Institute (HHMI), USA-funded for Deep Brain Imaging Award (US\$ 5+ million) to develop ultraportable 2-photon microendoscopes for mouse brain imaging from 2006 to 2010
- Served as a technical and program reviewer for:
  - Department of Defense (DOD), USA
  - National Institutes of Health (NIH), USA
  - National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand
  - Thailand Research Fund (TRF)
- Served as a technical program committee member and a technical program chair for:
  - SPIE Photonics West Optical MEMS and Miniaturized Systems Conference from 2007 until present (chair)
  - IEEE NANOMED Conference in 2012 until present (chair)
  - IEEE CYBER Conference in 2012 (chair)
  - International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) in 2016 (chair)
  - IEEE Optical MEMS and Nanophotonics (OMN) Conference from 2015 until present (committee)

- IEEE Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS) from 2012 until present (committee)
- International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE) from 2008 - 2013
- Served as a co-editor and a technical reviewer for:
  - Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS (JM3) in 2014 (guest editor)
  - PLOS ONE from 2012 to present (reviewer)
  - International Journal of Cancer (IJC) from 2011 until present (reviewer)
  - Journal of Biomedical Science and Engineering (JBISE) from 2008 until present (reviewer)
  - IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE) from 2006 until present (reviewer)
  - IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS) from 2005 until present (reviewer)
  - IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing from 2012 until present (reviewer)
  - Springer International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2012 until present (reviewer)
- Authored and co-authored over 80 manuscripts published in peer-reviewed conference proceedings and journals such as *IEEE*, *OSA*, *SPIE*, Elsevier, and *Nature Publishing Group*
- Taught classes or gave lectures at various institutes (UCLA, Stanford University, HKUST, TECHNION, Peking University, National Taiwan University, National Tsing Hua University, Tokyo University, etc.)

#### PROFESSIONAL EXPERIENCE

*Michigan State University*

(2018 – Present)

*Adjunct Professor, Institute for Quantitative Health Science & Engineering*

*King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)*

(2014 –

Present)

*Group Leader of Light Microscopy, Vice Director of the KMITL Research and Innovation Division (2015-16)*

*Fraunhofer IPMS*

(2014 – Present)

*Technology Consultant*

*King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)*  
2016)

(2014 –

*Vice Director of Research and Innovation*

*National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)*

(2009 – 2014)

*Group Leader of Light Microscopy*

*Chulalongkorn University, Faculty of Medicine*

(2009 – Present)

*Director of Advanced Imaging Research (AIR) Center*

*Adjunct Professor, Department of Internal Medicine*

*Stanford University*

(2007 – 2009)

*Physical Science Research Associate*

*Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics*

- Demonstrated the first clinical use of a novel handheld Dual-Axes Confocal microscope (10-mm diameter) in live human patients in skin, with the ultimate goal to examine for monitoring sub-mucosa cancer progression and drug delivery through skin
- Demonstrated the first Dual-Axes Confocal endoscope (< 5 mm diameter) for GI tract imaging
- Demonstrated the first use of MEMS based portable two-photon fluorescence microendoscope (< 3.5 grams) for deep brain imaging in live awaking mice to correlate their behaviors to brain activities

*Stanford University*

(2005 – 2006)

*Post-doctoral research scholar*

*Departments of Applied Physics, Biology, Electrical Engineering, and Pediatrics*

- Led a team of four to develop two novel miniaturized medical microendoscope and endoscope by combining MEMS, micro-optics, and beam scanning microscopy. Those microendoscopes/endoscopes are:
  - Two-photon microendoscope: to be used in small animal imaging
  - Dual-axes confocal endoscope: to be used in human patients
- Co-developed the first compact 2-D MEMS scanners with high speed and large angular rotation for endoscopic imaging applications
- Optimized micro-fabrication process of MEMS scanners to increase production yield, production efficiency, and increase scanner performance
- Lectured in MEMS/Optics classes at Stanford University

**University of California, Los Angeles**

(1997 – 2004)

*Graduate student researcher*

- Demonstrated the first 2-D MEMS scanners based for an Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography (UHR-OCT) imaging endoscope
- Designed, fabricated, and demonstrated the first 2-D MEMS scanners with electrostatic angular vertical comb (AVC) actuators based on surface and bulk micromachined techniques for endoscopic imaging application
- Demonstrated the first MEMS based Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope
- Co-developed the first linearization control method for electrostatically actuated surface micromachined 2-D scanner
- Lectured in a MEMS fabrication/design class to undergraduate and graduate students at UCLA

**Schlumberger Limited**

(1994 – 1997)

*Field Engineer (FE)*

- Provided oil and gas reservoir evaluation engineering services by using electrical wireline logging technology to localize the hydrocarbon layers of the subsurface reservoir
- Managed and led a team of 4 members to provide these services
- Responsible for engineering services valued at \$300,000 - \$500,000 per month

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 XXX  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Collected and analyzed technical data and coordinated engineering project activities with major clients e.g. Exxon-Mobil, Unocal, and TOTAL

## Research

### 1. Publication refereed

#### a. Journal

- [1] L. Jung, D. Lopez, Z. Qiu, and W. Piyawattanametha, "2-D MEMS Scanner for Handheld Mutispectral Dual-Axis Confocal Microscopes," IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS), May 24, 2018, vol. PP, no. 99, pp. 1-8.
- [2] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "New Endoscopic Imaging Technology Based on MEMS Sensors and Actuators," Micromachines 2017, 8(7), 210; doi:10.3390/mi8070210.
- [3] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Medical Endomicroscopes," Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE), Vol.21, No.4, August 16, 2015, DOI 10.1109/JSTQE.2015.2389530.
- [4] N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, R. Jolivot, U. Jarujareet, K. Plaimas, P. Bhattarakosol, S. Patumraj, and W. Piyawattanametha, "Novel p16 binding peptide development for p16-overexpressing cancer cell detection using phage display," Journal of Peptide Science, Vol. 21, Issue 4, April 2015, pp. 265-273.
- [5] Z. Qiu and W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber optical microendoscopes," Displays, Vol. 37, April 2015, pp 41-53.
- [6] C. B. Wong, B. Y. Khoo, S. Sasidharan, W. Piyawattanametha, S. Kim, N. Khemthongcharoen, M. Y. Ang, L. O. Chuah, and M. T. Liong, "Inhibition of Staphylococcus aureus by crude and fractionated extract from lactic acid bacteria," Beneficial Microbes, March 2015, 1;6(1):129-39.
- [7] C. Zhao, Y. K. Lee, R Xu, C. Liang C, D. Y. Liu, W. Ma, W. Piyawattanametha, Y. Zohar, "Isolation of circulating tumor cells under hydrodynamic loading using microfluidic technology," Advances in Mechanics, 2014, 44: 201412.
- [8] N. Khemthongcharoen, S. Rattanavarin, R. Jolivot, and W. Piyawattanametha, "Advances in imaging probes and optical microendoscopic imaging techniques for early in vivo cancer assessment (invited paper)," Journal of Advanced Drug Delivery Reviews, July 30, 2014, Vol. 74, pp. 53-74.

- [9] K. Kongsmak, P. Pungpit, M. R. Kano, S. Komai, W. Piyawattanametha, and O. Phanraksa, "Perceptions of Research Excellence in Thailand and Japan," *Science Technology and Innovation Policy Review*, ISSN: 2093-3053, October 2013, Vol. 4, No. 2.
- [10] W. Piyawattanametha, H. Ra, Z. Qiu, S. Friedland, J. T. C. Liu, K. Loewke, G. S. Kino, O. Solgaard, T. D. Wang, M. J. Mandella, and C. H. Contag, "*In Vivo* Near-infrared Dual-Axis Confocal Microendoscopy in the Human Lower Gastrointestinal Tract," *Journal of Biomedical Optics* 17(2), February 2012, 021102:1-4.
- [11] C. L. Hoy, O. Ferhanoglu, M. Yildirim, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, "Optical design and imaging performance testing of a 9.6-mm diameter femtosecond laser microsurgery probe," *Optics Express* 19, 10536 - 10552 (2011).
- [12] K. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, C. H. Contag, S. Thurn, and K. Salisbury, "*In Vivo* Micro-Image Mosaicing," *The IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, January 2011, Vol. 58, No. 1, pp. 159-171.
- [13] W. Piyawattanametha, H. Ra, E. Gonzalez, M. J. Mandella, G. S. Kino, O. Solgaard, D. Leake, R. L. Kaspar, A. Oro, and C. H. Contag, "*In vivo* imaging of human and mouse skin with a dual-axis confocal fluorescence microscope," *Journal of Investigative Dermatology*, January 2011, 131, 1061-1066.
- [14] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, N. O. Loewke, H. Haerberle, H. Ra, W. Piyawattanametha, O. Solgaard, G. S. Kino, and C. H. Contag, "Micromirror-scanned dual-axis confocal microscope utilizing a gradient-index relay lens for image guidance during brain surgery," *Journal of Biomedical Optics*, April 2010, vol. 15, pp. 026029.
- [15] W. Piyawattanametha and T. D. Wang, "MEMS-Based Dual Axes Confocal Microendoscopy (Invited Paper)," *The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, July-August 2010, Vol. 16, Issue 4, pp. 804-814.
- [16] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, K. Loewke, T. D. Wang, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, "3-D Near Infrared Fluorescence Imaging using a MEMS-based Miniature Dual-Axes Confocal Microscope," *The IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE)*, Sept-Oct 2009, Vol. 15, Issue 5, pp. 1344-1350.
- [17] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "*In vivo* brain imaging using a portable 2.9 gram two-photon microscope based on a microelectromechanical systems scanning mirror," *Optics Letters*, August 1, 2009, Vol. 34, No. 15, pp. 2309-2311.
- [18] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, "siRNA silencing of keratinocyte-specific GFP expression in a transgenic mouse skin model," *Gene Therapy* (2009), Vol. 16, May 28, 2009, pp. 963-972.
- [19] E. Gonzalez, H. Ra, R. P. Hickerson, Q. Wang, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, G. S. Kino, D. Leake, A. Avilion, O. Solgaard, T. C. Doyle, C. H. Contag, and R. L. Kaspar, "Characterization of a transgenic GFP

- mouse skin model for development of siRNA delivery technologies,” *Journal of Investigative Dermatology*, April 2009, 129, S90.
- [20] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, “Miniaturized probe for femtosecond laser microsurgery and two-photon imaging,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 13, pp. 9996-10005.
- [21] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, P. L. Hsiung, J. Hardy, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Three-dimensional *in vivo* imaging by a handheld dual-axes confocal microscope,” *Optics Express*, Vol. 16 (2008), Issue 10, pp. 7224-7232.
- [22] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, D. Lee, M. J. Mandella, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, “Two-dimensional MEMS scanner for dual-axes confocal microscopy,” *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, Vol. 16, August 2007, pp. 969-976.
- [23] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, “Two-axis MEMS Scanning Catheter for Ultrahigh Resolution Three-dimensional and *En Face* Imaging,” *Optics Express*, Vol. 15 (2007), Issue 5, pp. 2445-2453.
- [24] J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, W. Piyawattanametha, C. H. Contag, and O. Solgaard, “A miniature near-infrared dual-axes confocal microscope utilizing a two-dimensional MEMS scanner,” *Optics Letters: Vol. 32* (2006), Issue 3, pp. 256-258.
- [25] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “Fast-scanning two-photon fluorescence imaging based on a microelectromechanical systems two-dimensional scanning mirror,” *Optics Letters*, Vol. 31, No. 12, July 1, 2006, pp. 2018-2020.
- [26] B. A. Flusberg, E. D. Cocker, W. Piyawattanametha, J. C. Jung, E. L. M. Cheung, and M. J. Schnitzer, “Fiber-optic Fluorescence Imaging (Invited Paper),” ***Nature Methods: 2, 941 - 950 (2005)***.
- [27] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, “Surface- and Bulk- Micromachined Two Dimensional Scanner Driven by Angular Vertical Comb Actuators,” *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, Vol. 14, Issue 6, December 2005, pp.1329 – 1338.
- [28] M. Fujino, Pamela R. Patterson, H. Nguyen, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, “Monolithically Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning,” *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 10, No. 3, May/June 2004, pp. 492-497.
- [29] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, R. Chao, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, “Angular Vertical Comb Driven Tunable Capacitor with High Tuning Capabilities,” *IEEE Journal of Micro Electromechanical Systems (JMEMS)*, June 2004, Vol. 3, No. 3, pp. 406-413.
- [30] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. -T. Chan, and M. C. Wu, “Linearization of Electrostatically Actuated Surface Micromachined 2-D Optical Scanner,” *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS)*, June 2001, Vol. 10, No. 2, pp. 205-214.

## b. Conference

- [1] W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with handheld dual-axis confocal microendoscope," World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering, Prague, Czech Republic, June 3-8, 2018.
- [2] W. Piyawattanametha, "Fiber-optical microendoscopy based on MEMS scanning technology (invited)," Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-nano Technology 2018, Hongkong, China, June 24-27, 2018.
- [3] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS based dual-axis microendoscope (invited)," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS), Singapore, April 22-26, 2018.
- [4] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral MEMS scanner based dual-axis microendoscope (invited)," Focus on Microscopy, Singapore, March 25-28, 2018.
- [5] W. Piyawattanametha, "The Global State of Young Scientists in ASEAN: What is the next step? (invited)," The International Workshop on Asian Young Academies, The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel, February 11-13, 2018.
- [6] Z. Qiu, N. Loewke, W. Piyawattanametha, I. W. Jung, T. Teraphongphom, R. Ertsey, F. Schonig, S. Rogalla, S. Friedland, M. J. Mandella, D. Lopez, E. Rosenthal, and C. Contag, "MEMS based multi-spectral dual-axis confocal microendoscope for clinical applications (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.
- [7] T. Marumo, G. Murashova, D. Agnew, F. Schonig, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, Z. Qiu, M. Dantus, and C. H. Contag, "Design of MEMS based handheld multi-photon and second harmonic generation imaging system for early detection and imaging guided surgery of oral cancer (invited)," Photonics West 2018, San Francisco, CA, USA, January 30 - February 1, 2018.
- [8] S. Suwan and W. Piyawattanametha, "A handheld Escherichia coli Detection System," International Workshop on Advanced Image Technology, Chiangmai, Thailand, January 7-10, 2018.
- [9] M. Dumripatanachod and W. Piyawattanametha, "Automated Paptest Diagnosis with Artificial Neural Network," The 2017 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology a Theme on "Smart Embedded Systems for Industry 4.0," Bangkok, Thailand, August 2-4, 2017.
- [10] K. Phasuk, C. Pipitsombat, S. Pattanasak, and W. Piyawattanametha, "A fast Escherichia Coli Detector for Water Inspection," The 16<sup>th</sup> International Conference on Environment Engineering, Science, and Management, Bangkok, Thailand, May 17-18, 2017.
- [11] K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Development of E. coli detection," The 5<sup>th</sup> Higher Education Research Promotion Congress, Udonthani, Thailand, March 2-4, 2017.
- [12] C. Pipitsombat, K. Phasuk, S. Suwan, and W. Piyawattanametha, "Evaluation of rapid detection system for Escherichia coli in water samples," The 8<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEICON 2016), Luang Prabang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.

- [13] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "Wide-field high-resolution fiber bundle based Endomicroscope for Cervical epithelium cells imaging," The 8<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2016), Luangprbang, Lao People's Democratic Republic, December 6-8, 2016.
- [14] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "Centralized Pap Test Diagnosis with Artificial Neural Network and Internet of Things," The 10th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed), Macau, China, October 30 – November 2, 2016.
- [15] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Virtual biopsies with a MEMS scanner based confocal microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2016, Matsushima, Sendai, Japan, April 17-20, 2016.
- [16] W. Piyawattanametha, "A handheld confocal microscope for 3D biopsies," Photonics West 2016, San Francisco, CA, USA, February 13-18, 2016.
- [17] M. Dumripanachod and W. Piyawattanametha, "A Fast Depixelation Method of Fiber Bundle Image for an Embedded System," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [18] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "A Portable Escherichia Coli Detection Platform for Water Inspection," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2015), Pattaya, Thailand, November 25-27, 2015.
- [19] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," Microscopy Conference 2015, Gottingen, Germany, September 6-11, 2015.
- [20] W. Piyawattanametha, "Three-dimensional microscopy of biopsies with a handheld confocal microscope," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2015, Jerusalem, Israel, August 2-6, 2015.
- [21] S. Pattanasak and W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy with MEMS technology (invited)," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [22] C. Pipitsombat and W. Piyawattanametha, "Fiber-optical endoscopy with MEMS scanner technology," Photonics West 2015, San Francisco, CA, USA, January 31 – February 5, 2015.
- [23] W. Piyawattanametha, "Portable holographic imager for biological samples," The 7<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2014), Fukuoka, Japan, November 26-28, 2014.
- [24] W. Piyawattanametha, "High-resolution Imaging with MEMS based handheld confocal microscope," the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [25] W. Piyawattanametha, "Confocal microendoscopy (invited)," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.
- [26] W. Piyawattanametha, "MEMS based fiber-optical microendoscopy," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2014, Glasgow, Scotland, August 17-21, 2014.

- [27] W. Piyawattanametha, "Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope (invited)," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kaen, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [28] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy for early cancer detection (invited)," The 1<sup>st</sup> International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM 2014), Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [29] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy (invited)," The 2nd Optical Science of Dynamically Correlated Electrons (DYCE 2013), Kashiwa, Japan, December 17-18, 2013.
- [30] W. Piyawattanametha, "A review: Endoscopic imaging probe based on MEMS technology for nanomedicine (invited)," The 7th IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed) 2013, Phuket, Thailand, November 10-13, 2013.
- [31] W. Piyawattanametha, "Advance in Light Microendoscopy (invited)," The 6<sup>th</sup> Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2013), Krabi, Thailand, October 23-25, 2013.
- [32] W. Piyawattanametha, "A review of MEMS scanner based endoscopic optical imaging probe (invited)," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2013, Kanazawa, Japan, August 18-22, 2013.
- [33] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, M. J. Mandella and W. Piyawattanametha, "MEMS multispectral confocal probe," the 16<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2013), Barcelona, Spain, June 16-20, 2013.
- [34] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, R. Jolivot, I. L. Jung, D. Lopez, and W. Piyawattanametha, "Handheld multispectral dual-axis confocal microscope for cervical cancer screening," Photonics West 2013, San Francisco, CA, USA, February 2-7, 2013.
- [35] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, U. jarujareet, S. Niruthisard, W. Piyawattanametha, "Phage-displayed p16INK4a binding peptide scanning from phage display library as a HPV-related cancer cells tracer," Molecular Medicine Conference 2012 (MMC), Bangkok, Thailand, December 19-22, 2012.
- [36] P. Sankatumvong, P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, I. L. Jung, and W. Piyawattanametha, "Characteristics of MEMS scanners with different driving bias," IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC), Bangkok, Thailand, December 3-5, 2012.
- [37] N. Khemthongcharoen, A. Ruangphacha, W. Piyawattanametha, "Phage Display Specific p16INK4a Binding Peptide for Ex Vivo Cancer Cells Imaging," The 6<sup>th</sup> IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering (NanoMed 2012), Bangkok, Thailand, November 4-7, 2012.
- [38] A. Ruangphacha, N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, "Homology modeling characterization of CDK4-roscovitine complexes," 11<sup>th</sup> International Conference on Bioinformatics (InCoB), Bangkok, Thailand, October 3-5, 2012.

- [39] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, R. Jolivot, I. W. Jung, D. López, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Multispectral Confocal Microscope for Cervical Cancer Diagnosis," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 42-42, August 6-9, 2012.
- [40] I. W. Jung, S. Rattanavarin, S. Sarapukdee, M. J. Mandella, W. Piyawattanametha, "2-D MEMS scanner for handheld multispectral confocal microscopes," IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Banff, Alberta, Canada, pp. 238-239, August 6-9, 2012.
- [41] S. Rattanavarin, P. Sarapukdee, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "Handheld Cervical Confocal Microscope Based on a MEMS Scanner," The 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT 2012), Nanjing, China, July 8-11, 2012.
- [42] U. Jarujareet, N. Khemthongchareon, W. Piyawattanametha, "Micro Objects Detection by a Portable Lensless Imaging Platform", The 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT), Nanjing, China, July 8-11, 2012.
- [43] P. Sarapukdee, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, N. Khemthongcharoen, A. Ruangpracha, M. J. Mandella, and W. Piyawattanametha, "MEMS-Based Handheld Dual-Axis Confocal Microscope for Cervix Cancer Screening," International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2012), Hua Hin, Thailand, May 16-18, 2012.
- [44] W. Piyawattanametha, "Light microendoscopy," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.
- [45] U. Jarujareet and W. Piyawattanametha, "2D Correlation Map Based Object Detection in Digital In-line Holography," Nano-Thailand 2012, Khon Kaen, Thailand, April 9-12, 2012.
- [46] P. Wongsawatwariyha, N. Khemthongcharoen, and W. Piyawattanametha, "Video Mosaicing for Real-time Field of View Enhancement," IEEE Robotics and Biomimetics (ROBIO), Phuket Island, Thailand, December 7-11, 2011.
- [47] W. Piyawattanametha, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," the 15<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2011), Beijing, China, June 10-14, 2011.
- [48] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "MEMS-based handheld single-axis confocal microscope design and experiment," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2011 8th International Conference on*, vol., no., pp.38-41, May 17-19, 2011
- [49] W. Piyawattanametha and M. J. Schnitzer, "Cortical blood flow imaging with a portable MEMS based 2-photon fluorescence microendoscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2011, Kaohsiung, Taiwan, February 20-23, 2011.

- [50] T. Chantakien, P. Raphisak, I. Kumazawa, and W. Piyawattanametha, "Design and simulate of MEMS based confocal microscope probes," Information and Communication Technology for Embedded Systems (ICTES)," 2011 2nd International Conference, January 27-29, 2011.
- [51] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "In Vivo Skin Microscopy," SPIE Photonics West 2011, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 25-29, 2011.
- [52] W. Piyawattanametha, "Smart microsystems for disease diagnostics," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2010, Sapporo, Japan, August 9-13, 2010.
- [53] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, S. Friedland, Z. Qiu, G. S. Kino, T. D. Wang, O. Solgaard, and C. H. Contag, "Dual-Axes Confocal Microendoscopy of Gastrointestinal Tract," SPIE Photonics West 2010, Endoscopic Microscopy V, San Francisco, CA, January 23-28, 2010.
- [54] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. H. Contag and O. Solgaard, "From Bench to Bedside with Advanced Dual-Axes Confocal Microendoscope," IEEE Microelectromechanical Systems (MEMS), Hong Kong, China, January 24-28, 2010.
- [55] W. Piyawattanametha and M. J. Mandella, "In vivo Imaging with MEMS based Confocal Microscope," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS), Xiamen, China, January 20-23, 2010, pp. 146.
- [56] W. Piyawattanametha, "Advanced Microendoscopy with Miniaturized Confocal Imaging Systems," IEEE Photonics Society Winter Topicals, Majorca, Spain, January 11-13, 2010.
- [57] W. Piyawattanametha, H. Ra, and M. J. Mandella, "In vivo Real Time Imaging by a Micromachined based Dual-axes Confocal Microscope," the 3<sup>rd</sup> IEEE International NanoElectronics Conference (INEC) 2010, Hong Kong, China, January 3-8, 2010, pp. 32.
- [58] W. Piyawattanametha, "3-D in vivo imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope," The 4<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Biomedical Engineering, Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.
- [59] "In vivo real time imaging by a micromachined based confocal microscope," the 13<sup>th</sup> International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MTAS), Jeju, Korea, November 1-5, 2009.
- [60] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, L. D. Burns, R. P. J. Barretto, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, "A Portable MEMS Based Two-photon Fluorescence Microendoscope for Three-dimensional *in vivo* Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.
- [61] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, E. Gonzalez, R. L. Kaspar, G. S. Kino, C. H. Contag, and O. Solgaard, "Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging," IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Clearwater Beach, Florida, August 17-20, 2009.

- [62] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, and C. H. Contag, “*In vivo* microscopy in mouse models of monogenic skin disease,” H. Ra, E. Gonzalez, World Molecular Imaging Congress, Montreal, Canada, September 23-26, 2009.
- [63] “*Real-time in Vivo Cancer Diagnosis with a Microelectromechanical Systems (MEMS) Based Handheld Dual-Axes Confocal Microscope (Invited Talk)*,” the 4<sup>th</sup> Medical Biotech Forum 2009, Dalian, China, August 7-11, 2009, pp. 248.
- [64] H. Ra, E. Gonzalez, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, R. Kaspar, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Sequential *in vivo* Molecular Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope,” Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, June 1-6, 2009.
- [65] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, E. Gonzalez, R. Kaspar, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, “*In vivo* clinical and intravital imaging with MEMS based Dual-Axes Confocal Microscopes,” Optical Society of America, The OSA topical meeting in Novel Techniques in Microscopy, Vancouver, BC, Canada, April 27-29, 2009.
- [66] H. Ra, W. Piyawattanametha, E. Gonzalez, R. Kaspar, M. J. Mandella, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “*In vivo* Intravital Imaging with a Dual-Axes Confocal Microscope in Skin,” IEEE Lasers and Electro-Optics Society (LEOS) Annual Meeting, Newport Beach, California, November 9-13, 2008, pp. 35-36.
- [67] W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, H. Ra, J. T. C. Liu, E. Garai, G. S. Kino, O. Solgaard, and C. H. Contag, “MEMS based dual-axes confocal clinical endoscope for real time *in vivo* imaging,” IEEE International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Freiburg, Germany, August 11-14, 2008, pp. 42-43.
- [68] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, D. K. Smith, T. L. Larson, W. Piyawattanametha, H. Ra, B. Korgel, K. Sokolov, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, “Two-photon luminescence imaging using a MEMS-based Miniaturized Probe,” Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), San Jose, CA, May 4-9, 2008, CThG5.
- [69] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, C. B. Du, C. H. Contag, G. S. Kino, O. Solgaard, and T. D. Wang, “Three-dimensional *in-vivo* imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope,” SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III (6851-13), San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [70] K. E. Loewke, D. Camarillo, W. Piyawattanametha, and K. Salisbury, Jr., “Real-time image mosaicing with a dual-axes confocal microscope,” SPIE Photonics West 2008, Endoscopic Microscopy III, Vol. 6851, pp. 68510-19, San Jose, CA, January 19-24, 2008.
- [71] C. L. Hoy, N. J. Durr, P. Chen, W. Piyawattanametha, H. Ra, O. Solgaard, and A. Ben-Yakar, “A Miniature microscope for two-photon imaging and femtosecond laser surgery,” Frontiers in Optics (FiO), September 16, 2007, San Jose, CA.
- [72] W. Piyawattanametha, E. D. Cocker, R. P. J. Barretto, B. A. Flusberg, J. C. Jung, H. Ra, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “A Portable Two-photon Fluorescence Microendoscope based on a Two-dimensional Scanning

- Mirror,” IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, Hualien, Taiwan, August 12-16, 2007, pp. 6-7.
- [73] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Three-dimensional *in vivo* Real Time Imaging by a Miniature Dual-axes Confocal Microscope based on a Two-dimensional MEMS Scanner,” the 14<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2007 & Eurosensors XXI), Lyon, France, June 10-14, 2007, pp. 439-442.
- [74] H. Ra, W. Piyawattanametha, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “Three-Dimensional *in vivo* Reflectance and Fluorescence Imaging by a Handheld Dual-Axes Confocal Microscope,” the Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MD, May 7-11, 2007, CTuEE1.
- [75] W. Piyawattanametha, H. Ra, M. J. Mandella, J. T. C. Liu, L. K. Wong, C. B. Du, T. D. Wang, C. H. Contag, G. S. Kino, and O. Solgaard, “MEMS Based Dual-Axes Confocal Handheld Microscope for *in vivo* Imaging,” SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6432), San Jose, CA.
- [76] M. J. Mandella, J. T. C. Liu, W. Piyawattanametha, H. Ra, P. L. Hsiung, L. K. Wong, T. D. Wang, C. H. Contag, and G. S. Kino, “Compact optical design for dual-axes confocal endoscopic microscopes,” SPIE Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6443), San Jose, CA.
- [77] W. Piyawattanametha, B.A. Flusberg, R.P.J. Barretto, J.C. Jung, T.H. Ko, E.D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M.J. Schnitzer, “Toward portable two-photon fluorescence micro-endoscopy using a two-dimensional microelectromechanical (MEMS) scanning mirror,” 2007 SPIE Photonic West Conference, Multiphoton Microscopy in the Biological Sciences VII, San Jose, CA, January 22, 2007.
- [78] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, “Reflectance and fluorescence imaging with a MEMS dual-axes confocal microscope (*Invited Paper*),” Photonics West 2007, Endoscopic Microscopy III (6466), San Jose, CA.
- [79] W. Piyawattanametha, J. T. C. Liu, M. J. Mandella, H. Ra, L. K. Wong, P. Hsiung, T. D. Wang, G. S. Kino, and O. Solgaard, “MEMS Based Dual-axes Confocal Reflectance Handheld Microscope for *in vivo* Imaging,” IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [80] H. Ra, W. Piyawattanametha, Y. Taguchi, and O. Solgaard, “Dual-axes Confocal Fluorescence Microscopy with a Two-dimensional MEMS Scanner,” IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Montana, USA, August 21-24, 2006.
- [81] H. Ra, Y. Taguchi, D. Lee, W. Piyawattanametha, and O. Solgaard, “Two-dimensional MEMS Scanner for Dual-Axes Confocal *in vivo* Microscopy,” IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 2005, Istanbul, Turkey, January 22-26, 2006.
- [82] W. Piyawattanametha, R. P. J. Barretto, T. H. Ko, B. A. Flusberg, E. D. Cocker, H. Ra, D. Lee, O. Solgaard, and M. J. Schnitzer, “Fast-scanning two-photon fluorescence imaging using a microelectromechanical systems

- two- dimensional scanning mirror,” Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2006, Long Beach, CA.
- [83] A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, and M. C. Wu, “Ultrahigh resolution OCT imaging with a two-dimensional MEMS scanning endoscope,” in *Photonics West 2005, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems III*, Session 11, 5692-49.
- [84] L. S. Fan, W. Piyawattanametha, M. Fujino, and M. C. Wu, “Endoscopic three-dimensional OCT imaging with MEMS scanner (*Invited Paper*),” Univ. of California, Los Angeles; A. D. Aguirre, P. R. Herz, Y. Chen, J. G. Fujimoto, Massachusetts Institute of Technology, SPIE Photonics West 2005, MOEMS and Miniaturized Systems V, Session 5, 5719-20.
- [85] P. R. Patterson, D. Hah, M. Fujino, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, “Scanning micromirrors: an overview (*Invited Paper*),” *Optomechatronic Micro/Nano Components, Devices, and Systems*, Optics East 2004, Philadelphia, PA, Proceedings of SPIE, vol. #5604.
- [86] W. Piyawattanametha, L. Fan, S. Hsu, M. Fujino, M. C. Wu, P. R. Herz, A. D. Aguirre, Y. Chen, and J. G. Fujimoto, “Two-dimensional Endoscopic MEMS Scanner for High Resolution Optical Coherence Tomography,” Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2004, San Francisco, May 2004, CWS 2.
- [87] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, “A 2-D Scanner by Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Comb Actuators,” IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 93-94.
- [88] “Cascaded Micromirror Pair Driven by Angular Vertical Combs for Two-Axis Scanning,” IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, Waikoloa, HI, August 18-21, 2003, pp. 99-100.
- [89] W. Piyawattanametha, P. Patterson, D. Hah, H. Toshiyoshi, and M. Wu, “A Surface and Bulk Micromachined Angular Vertical Combdrive for Scanning Micromirrors,” Optical Fiber Conference 2003, Atlanta, USA, March 2003, pp. 251-252.
- [90] H. Nguyen, D. Hah, P. R. Patterson, W. Piyawattanametha, and M. C. Wu, “A Novel MEMS Tunable Capacitor based on Angular Vertical Comb Drive Actuators,” Solid-State Sensor, Actuator, and Microsystems, Hilton Head Island, South Carolina, June 2-6, 2002, pp. 277-280.
- [91] W. Piyawattanametha, P. Patterson, G. D. Su, H. Toshiyoshi, and M. C. Wu, “A MEMS Non-Interferometric Differential Confocal Scanning Optical Microscope,” The 8<sup>th</sup> International conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers 2001 & Eurosensors XV), Munich, Germany, June 10-14, 2001, pp. 590-593.
- [92] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C. T. Chan, and M. C. Wu, “Linearization and Analysis of Electrostatically Actuated MEMS 2-D Optical Scanner,” Late News Technical Digest of Solid-State Sensor and Actuator Workshop (Hilton Head 2000), South Carolina, CA, USA, June 4-8, 2000, pp. 7-8.

- [93] W. Piyawattanametha, H. Toshiyoshi, J. LaCosse, and M. C. Wu, "Surface Micromachined Confocal Scanning Optical Microscope," Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2000, San Francisco, CA, USA, May 7-12, 2000, pp. 447-448.
- [94] G. D. Su, W. Piyawattanametha, R. Rollier, L. Fan, and M. C. Wu, "MEMS 2D Scanning Mirror for Dynamic Alignment in Optical Interconnect," Proceedings of Integrated Photonics Research (IPR'99), Santa Barbara, CA, USA, July 1999.
- [95] W. Piyawattanametha, L. Fan, and M. C. Wu, "[MEMS Technology for Optical Crosslink for Micro/Nano Satellites](#)," The International Conference on Integrated Nano/Microtechnology for Space Applications (NanoSpace'98), NASA/Johnson Space Center, Houston, TX, USA, November 1-6, 1998.

## 2. Invited/keynote talks (selected)

- [1] "Microendoscopy techniques based on MEMS technology," APCOT, Hong Kong, China (Keynote).
- [2] "MEMS technology for light microscopy," International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China (Keynote).
- [3] "Light microendoscopy with MEMS technology," Imperial College, London, July 2016 (Invited).
- [4] "Innovation State of Thailand," Sci Days, Saint Petersburg, Russia, October 21, 2015 (Invited).
- [5] "Recent updates in optical microendoscopy," Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, August 31, 2015.
- [6] "Light microendoscopy with MEMS technology," IEEE Nanoelectromechanical Systems (NEMS) 2015, Xian, China, April 7-11, 2015.
- [7] "Confocal microendoscopy," International Coastal Biology Congress 2014, Yantai, China, September 26-30, 2014.
- [8] "Image Mosaicing Technique and Real-Time Imaging with MEMS based Handheld Confocal Microscope," The 18th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014), Khon Kean, Thailand, July 30 – August 1, 2014.
- [9] "Light microendoscopy for early cancer detection," The International Conference on Beneficial Microbes (ICOBM) 2014, Penang, Malaysia, May 27-29, 2014.
- [10] "MEMS based medical microendoscope," Institute of Photonics and Microsystems, Fraunhofer Institute, Dresden, Germany, March 19, 2014.
- [11] "Early cancer detection with photonics technology," The 1<sup>st</sup> Young Scientists Meeting, Tokyo, Japan, February 13-14, 2014.

- [12] “Entrepreneurial Spirits in Thailand,” The 1<sup>st</sup> Workshop for Young Scientists and Engineers, Jerusalem, Israel, November 25-28, 2013.
- [13] “Advance in light microendoscopy,” Technion, Haifa, Israel, November 24, 2013.
- [14] “The Global Young Academy Activities,” Regional Meeting of the Global Research Council (GRC), Jeju Island, Korea, November 18-19, 2013.
- [15] “MOEMS devices for endoscopic imaging,” Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Seoul, South Korea, August 29, 2013.
- [16] “Advanced light microendoscopy,” Seoul National University (SNU), Seoul, South Korea, August 28, 2013.
- [17] “Early cancer detection with optical imaging,” Toyota Technological Institute University, Nagoya, Japan, August 23, 2013.
- [18] “Light microendoscopy for cancer detection,” National Chiao Tung University, Taipei, Taiwan, July 18, 2013.
- [19] “Endoscopic imaging,” National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, July 17, 2013.
- [20] “Advanced confocal imaging,” the 2<sup>nd</sup> Bio-Photonics Workshop,” Taipei, Taiwan, July 17-19, 2013.
- [21] “Light microendoscopy,” University of Bourgogne, Bourgogne, France, May 7, 2013.
- [22] “Confocal microendoscopy and biomarkers,” Conference on nanobiology, Okayama, Japan, March 12-13, 2013.
- [23] “Advance in light microendoscopy,” Bio4Apps 2012, Singapore, November 19-20, 2012.
- [24] “Light microscopy,” University of Bourgogne, Bourgogne, France, October 16, 2012.
- [25] “Review: Microendoscopic imaging,” South Africa’s Council for Scientific and Industrial and Research (CSIR), Pretoria, South Africa, May 20, 2012.
- [26] “Biomedical imaging,” 4th Khonkaen University (KKU) International Engineering Conference 2012, May 10-11, 2012.
- [27] “Micro- and nano-technology for medical devices,” NSTDA Academy Lecture at NSTDA Science Park, January 19, 2012.
- [28] “Biomarkers technology for *in vivo* imaging,” Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, November 9, 2011.
- [29] “Micro- and nano-technology R&D research in Thailand,” ICMAN 2011, Shenzhen, CN November 4-6, 2011.
- [30] “Revolutionizing Microscope: Imaging, Analysis, and Application,” Thai Society of Microcirculation, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University December 22, 2010.
- [31] “Advanced Confocal Microendoscopy,” IAP Young Scientists Conference in the World Economic Forum, Tianjin, September 12-16, 2010.
- [32] “Noninvasive dermatologic measurement: from research to clinical,” Dermatological Society of Thailand, September 10, 2010.
- [33] “Optical Microscopy 101,” King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), August 30, 2010.

- [34] “Biological imaging with handheld microscope,” King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), June 11, 2010.
- [35] “MEMS based endoscopic imaging,” Argonne National Laboratory, Chicago, USA, April 3-7, 2010.
- [36] “Cancer Imaging with optical technique,” Khonkean University (KKU), April 23, 2010.
- [37] “Advanced Imaging with molecular- or bio-markers,” NAC 2010, Thailand Science Park, Bangkok, March 28-30, 2010.
- [38] “Imaging Systems in Dermatology,” Thai Dermatological Society Annual Meeting, Centrara Hotel, March 11-12, Bangkok 2010.
- [39] “Advanced Imaging with Nanotechnology,” UK-Thailand Nanomedicine Symposium, Siriraj Hospital, Bangkok, March 23-24, 2010.
- [40] “Advanced Confocal Imaging,” The Fifth National Conference on Optics and Applications (NCOA), Jaopraya Park Hotel, Bangkok, February 5, 2010, pp. 3.
- [41] “From Laboratory to Clinic with Endoscopic Imaging,” Xiamen University, China, January 20, 2010.
- [42] “Photonics in Medical Imaging Technology,” Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, January 5, 2010.
- [43] “3-D in vivo imaging with a miniature dual-axes confocal fluorescence microscope,” The 4<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME), Plaza Athenee, Bangkok, December 14-18, 2009.
- [44] “Biosensors for Medical Device Industry,” NECTEC ACE 2009, Thailand Science Park, Convention Center (TSPCC), September 23-25, 2009.
- [45] “From lab to hospital with imaging technology,” King Mongkut Institute of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand, September 2009.
- [46] “Dual-Axes Confocal Microscopy for Human Skin Clinical Imaging (Keynote),” IEEE Optical MEMS and Nanophotonics 2009, Tampa, Florida, August 17, 2009.
- [47] “From Bench to Bedside with Advanced Microscopy,” The 4<sup>th</sup> International Conference on Sensors 2009 (AsiaSense), The Imperial Queen’s Park Hotel, Bangkok, Thailand, July 29-31, 2009.
- [48] “Advanced Optical Endoscopy and Microendoscopy,” Stanford University Photonics Retreat (SUPR), Monterey, CA, April 3-5, 2009.
- [49] “Dual-Axes Confocal Microscope for Advanced Clinical Diagnosis,” Medical Technology Symposium, Chiangmai University, Chiangmai, Thailand, November 12, 2008.
- [50] “Real time *in vivo* cancer diagnosis with a MEMS based Confocal Microscope,” the 1<sup>st</sup> Annual Symposium on Molecular Imaging 2008, Belle Villa Resort Chiangmai, Thailand, November 9-12, 2008.
- [51] “*In vivo drug monitoring and real-time disease diagnosis with a MEMS based handheld Dual-Axes Confocal Microscope,*” NanoThailand Symposium 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, November 6-8, 2008.

- [52] “From bench to bedside with Advanced Microscopy and Endoscopy,” at BIOTEC, a member of NSTDA, Bangkok, Thailand, November 4, 2008.
- [53] “Advanced Clinical Imaging (*Invited Talk*),” Ramathibodi University Hospital, Bangkok, Thailand, September 16, 2008.
- [54] “Clinical diagnostic with novel medical imaging systems,” at Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, Dresden, Germany, August 18, 2008.
- [55] “Novel biomedical imaging and drug monitoring with micro- and nano-technology,” Tokyo University, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [56] “MEMS and MOEMS packaging,” Topcon Corporation, Tokyo, Japan, May 19, 2008.
- [57] “Skin imaging technique with a handheld dual-axes confocal microscope,” the International Investigative Dermatology 2008, Kyoto, Japan, May 14, 2008.
- [58] “Real time skin microscopy with confocal microscopy,” the International Society of Biophysics and Imaging of Skin (ISBS) 2008, Seoul, Korea, May 7-10, 2008.
- [59] “Advanced Endoscopy,” the Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Kowloon, Hong Kong, September 5, 2007.
- [60] “MEMS Applications in Biomedical Imaging,” the National Taiwan University (NTU), Taipei, Taiwan, August 17, 2007.
- [61] “MEMS based two-photon microendoscope,” Stanford Photonics Research Center Symposium (SPRC), Stanford CA, September 18-20, 2006.
- [62] “Surface and Bulk Micromachined Two-Dimensional Angular Vertical Comb Actuators Scanner for Endoscopic Ultrahigh Resolution Optical Coherence Tomography Imaging,” at Optical Sciences Center, the University of Arizona, October 8, 2004.

### 3. Media articles and awards (selected)

- [1] Listed on Times Higher Education Ranking Website as a notable KMITL Alumni (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/king-mongkuts-institute-technology-ladkrabang>)
- [2] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “World Science Forum looks at bitcoin phenomenon,” December 7, 2017. (<http://www.nationmultimedia.com/detail/Economy/30333359>)
- [3] Won the 2<sup>nd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2017, Beijing, China.
- [4] Press coverage on the Nation Newspaper on “KMITL Engineering Students Win Award,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/KMITL-ENGINEERING-STUDENTS-WIN-AWARD-30290875.html>)

- [5] Won the 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2016, Paris, France.
- [6] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “First Science Leadership Programme for ASEAN,” July 19, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/First-Science-Leadership-Programme-for-Asean-30290867.html>)
- [7] Served as a guest news editor for the Nation Newspaper on “The Indispensable Intertwined Ties in the Digital Era,” April 15, 2016. (<http://www.nationmultimedia.com/business/The-indispensable-intertwined-ties-in-the-digital--30283845.html>)
- [8] Won the 3<sup>rd</sup> prize from the International Contest of Applications in Nano-micro Technology (ICAN) 2015, Anchorage, AK USA.
- [9] Won an excellent paper award from the International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IIEEJ), Samui, Thailand, October 7-10, 2014.
- [10] Awarded Fraunhofer-Bessel Research Award in 2014 from the Alexander von Humboldt Foundation, Germany.
- [11] Interviewed by the Nation Newspaper on “A Classy Way to Success,” February 15, 2014. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20140215/283781376785057>)
- [12] Selected by the World Economic Forum (WEF), Switzerland in 2013 to be one of the 40 top young scientists under the age of 40 who plays transformation role in integrating scientific knowledge and technological innovation to improve the state of the world, Dalian, China, September 11-13, 2013.
- [13] Awarded Erasmus Mundus Grant in 2012 from the European Commission to conduct research in France.
- [14] Won the 2<sup>nd</sup> prize from True Innovation Award, Bangkok, Thailand, December 17, 2012.
- [15] Won outstanding paper award from the 16th International Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Conference 2011 (Transducers 2011), Beijing, China, June 5-9, 2011.
- [16] Won the 2<sup>nd</sup> prize in Global Entrepreneurship Competition (GEC), Barcelona, Spain, June 15-16, 2011.
- [17] “Microendoscope,” I-inspire Journal, Thailand, May 1, 2011.
- [18] Won the 1<sup>st</sup> prize Global Social Venture Competition (GSVC) South East Asia, March 3-4, 2011.
- [19] Elected to serve as an executive member of the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, July 2012.
- [20] Co-founded the Global Young Academy (GYA), Berlin, Germany, February 14-16, 2010 ([www.globalyoungacademy.net](http://www.globalyoungacademy.net))
- [21] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on “New Device Gives Early Diagnosis of Cancers,” March 23, 2010. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20100323/283467842451622>)
- [22] “MEMS microscope images brains,” Research Highlights in Nature Photonics, Volume 3, October 2009.
- [23] “Intelligent microendoscope,” Chevit-Cheva Channel 3 Program, Thailand, September 30, 2009.
- [24] “Tiniest two-photon MEMS microscope performs Brain Imaging,” an article in Laser Focus World Magazine, USA, August 1, 2009.
- [25] “Cancer Imaging,” an interview on the Bangkok Morning Talk, Thailand, Channel 11, June 19, 2009.

- [26] “Light microscopy for cancer diagnosis,” Matichon Newspaper, Thailand, May 25, 2009
- [27] Press coverage in the Bangkok Post Newspaper on “Novel approach to cancer,” May 20, 2009.
- [28] “Optical microendoscope for cancer detection,” Kao-sod Newspaper, Thailand, April 20, 2009. (<https://www.pressreader.com/thailand/bangkok-post/20090520/282003258383144>)
- [29] “Cancer screening with optical microendoscope,” Nation Weekend Magazine, Thailand, April 16, 2009.
- [30] “Novel imaging instrument for cancer diagnosis,” Matichon Newspaper, Thailand, April 7, 2009.
- [31] “Optical endoscopist,” Health Check Up Channel, Thailand, April 2, 2009.
- [32] “Advance optical microscope for cancer detection,” Dailynews Newspaper, Thailand, March 30, 2009.
- [33] “Novel microendoscope for cancer detection,” Naewna Newspaper, Thailand, March 28, 2009.
- [34] “Cancer diagnosis with endoscopic imaging,” Bangkok Business, Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [35] “Detect cancer with optical microendoscope,” Manager Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [36] “Novel microendoscope for early cancer detection,” Thairath Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [37] “Early detection of cancer with optical microendoscope,” Matichon Newspaper, Thailand, March 25, 2009.
- [38] “Cancer detection with optical microendoscope,” Voice TV, Thailand, March 24, 2009.
- [39] “Innovation that shapes the world,” Bangkok Business Newspaper, Thailand, December 30, 2008.
- [40] “Confocal Microscopy for medical imaging,” an interview on the Bangkok Morning Talk, Channel 11, December 2008.
- [41] “Novel Medical Imaging Instrument,” Bangkok Business Newspaper, Thailand, November 11, 2008.
- [42] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscope,” SPIE Newsroom 2007.
- [43] “Creating a microscope that reads minds,” an interview on the American Broadcasting Company (ABC) News, USA, on October 19, 2007. Weblink: <http://abclocal.go.com/kgo/story?section=local&id=5716715>.
- [44] “Microtechnology enables endoscopic confocal microscopy,” in the SPIE Newsroom, USA, October 2006,
- [45] “MEMS-based scanning device facilitates microendoscopy,” an article in Biophotonics International Magazine, September 2006, pp. 27-28. Weblink: <http://pyramidal.stanford.edu/publications/Biophotonics-Sept2006-MEMS.pdf>.
- [46] “Two-dimensional OCT scanner promises *in-situ* diagnosis,” an article in Laser Focus World Magazine, USA, July 2004, pp. 47-48.

#### 4. Patents

- [1] W. Piyawattanametha, "E. coli enumeration with fluorescence technique," Thai Patent Application 1701006685, filed, December 7, 2017, Patent Pending.
- [2] W. Piyawattanametha, "Integrated wide-field and high-resolution catheter," Thai Patent Application 1301005583, filed September 2013, Patent Pending.
- [3] N. Khemthongcharoen, W. Piyawattanametha, A. Ruangphacha, S. Rattanavarin, U. Jarujareet, S. Pathumraj, S. Niruthisard, P. Sarapukdee, and R. Jolivot, "Development of a Fluorescence-labeled p16 peptide for cervical cancer screening," Thai Patent Application 1201003486, filed September 2012, Patent Pending.
- [4] S. Rattanavarin, W. Piyawattanametha N. Khemthongcharoen, U. Jarujareet, A. Ruangphacha, and P. Sarapukdee, "Line-scan based dual-axis confocal imaging probe," Thai Patent Application 1201004887, filed September 2012, Patent Pending.
- [5] W. Piyawattanametha, "Multi-spectral dual-axis confocal imaging probe," Thai Patent Application 1101000602, filed April 2011, Patent Pending.

## 5. Book chapters (selected)

- [1] "Optical MEMS," Intech Book Chapter 2012, Source: Microelectromechanical Systems and Devices, edited by Nazmul Islam, ISBN 978-953-51-0306-6, Hard cover, 480 pages, Publisher: InTech, Published: March 28, 2012.
- [2] "Advances in Bio-Imaging: From Physics to Signal Understanding Issues State-of-the-Art and Challenges," Series: Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 120, Loménie, Nicolas; Racoceanu, Daniel; Gouaillard, Alexandre (Eds.), 2012, 2012, XXII, 246 p. 129 illus., 84 in color, Softcover, ISBN 978-3-642-25546-5. Weblink: <http://www.springer.com/engineering/computational+intelligence+and+complexity/book/978-3-642-25546-5>.
- [3] "In Vivo Clinical Imaging and Diagnosis," McGraw-Hill Book Chapter 2011, James W Tunnell, ISBN: 9780071626835 0071626832, Publisher: McGraw-Hill 2011.
- [4] "Miniature Dual Axes Confocal Microscope for Real Time in vivo Imaging," Intech Book Chapter 2010, Source: Advances in Solid State Circuit Technologies, edited by: Paul K Chu, ISBN: 978-953-307-086-5, Publisher: INTECH, April 2010.
- [5] "Optical MEMS and Nano-Photonics," in *MEMS/NEMS Handbook*, Chinese Science Publishing Company, 2005.

## 6. Professional membership

- [1] Senior Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in 2010.
- [2] Senior Member of the Optical Society of America (OSA) in 2011.
- [3] Senior Member of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineering (SPIE) in 2012.