

การจำลองการไหลของอากาศและสปอร์ในโรงเรือนเพื่อพัฒนาไบโอเซนเซอร์
สำหรับตรวจจับเชื้อราสีเทาในผักสลัด

SIMULATION OF AIRFLOW AND SPORES IN GREENHOUSES TO
DEVELOP BIOSENSORS FOR GRAY MOLD DETECTION IN LETTUCE

ณัฐธิดา เจือวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การจำลองการไหลของอากาศและสปอร์ในโรงเรือนเพื่อพัฒนาไบโอเซนเซอร์
สำหรับตรวจจับเชื้อราสีเทาในผักสลัด

ณัฐธิดา เจือวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำลองการไหลของอากาศและสปอร์ในโรงเรือนเพื่อพัฒนาไบโอเซนเซอร์
สำหรับตรวจจับเชื้อราสีเทาในผักสลัด

Simulation of Airflow and Spores in Greenhouses to Develop
Biosensors for Gray Mold Detection in Lettuce

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวณัฐธิดา เจือวงษ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรษา ลิบบับ, Ph.D.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เกรียงไกร แซมสีม่วง, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์, Ph.D.)

วันที่ 18 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองการไหลของอากาศและสปอร์ในโรงเรือนเพื่อพัฒนาไบโอเซนเซอร์
สำหรับตรวจจับเชื้อราสีเทาในผักสลัด

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐธิดา เจือวงษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการปลูกผักสลัดที่ปลอดสารพิษกำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างสูง แต่หากไม่มีสารเคมีที่จะไปช่วยปกป้องเชื้อโรคที่จะเข้ามาทำร้ายผักสลัดเหล่านั้น ก็อาจจะทำให้ผักเสียหาย และทำให้ผลผลิตลดลงได้ โรคเน่าของผักที่เกิดจากเชื้อราสีเทานั้นจัดว่าเป็นโรคที่สำคัญและสร้างความเสียหายมากโรคหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้จำลองการไหลของอากาศและสปอร์ภายในโรงเรือนแบบต่าง ๆ เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดด้วยไบโอเซนเซอร์

งานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ เช่น การเกิดโรคเน่าในผักสลัด การตรวจวินิจฉัยโรค การประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และการพัฒนาอุปกรณ์เพิ่มความแม่นยำ จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์แบบ 3 มิติ และทำการจำลองการไหล โดยการใช้ซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล และจำลองการติดตั้งไบโอเซนเซอร์ภายในโรงเรือน

จากการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของปริมาตรอากาศตามความสามารถของพัดลมดูดอากาศนั้นมีผลต่ออากาศในระบบ แต่กระแสลมเริ่มต้นที่สามารถช่วยพัดพาสปอร์ และขนาดของสปอร์นั้นไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสปอร์ โดยตำแหน่งของประตู พัดลม และไบโอเซนเซอร์ส่งผลกระทบต่อ การกระเจิงของอนุภาค การติดตั้งไบโอเซนเซอร์ในบริเวณที่มีความเร็วลมพอสมควร และอากาศจะต้องไหลเวียนไปทั่วเรือนกระจกก่อนจะสัมผัสกับไบโอเซนเซอร์

คำสำคัญ : ไบโอเซนเซอร์ เชื้อราสีเทา คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ การจำลองเสมือน

Thesis Title Simulation of Airflow and Spores in Greenhouses to Develop
 Biosensor for Gray Mold Detection in Lettuce

Name-Surname Miss Nattida Juewong

Program Agricultural Machinery Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Kiattisak Sangpradit, Ph.D.

Academic year 2021

ABSTRACT

Nowadays, organic lettuce cultivation is becoming very popular. However, without the agricultural chemicals used to protect vegetables from germs, organic salad vegetables tend to be damaged by diseases, and these damages could lower productivity. Gray mold rot is one of the most important and damaging diseases in vegetable crops. Therefore, the simulations of airflow and spores in different types of greenhouses were conducted in order to develop a detecting system with biosensors for gray mold rot in lettuce.

First, the necessary information for designing the system including the occurrence of gray mold rot in salad vegetables, the diagnosis of the disease, the application of biosensors in the system and the precision equipment development was studied. Then, a 3D biosensor device was designed. Next, a flow simulation was performed and the flow behavior of fluids was analyzed using a software. Later, the installation of biosensors inside the greenhouse was simulated.

According to the test result, it was found that the outlet air volume flow rate which depending on the capacity of the exhaust fan affected the air in the system. The initial wind could blow the spores; however, the sizes of the spores did not affect their movement. The position of the door, the exhaust fan and the biosensors had a high impact on the scattering of particles. The biosensors should be installed in the area with sufficient wind speed. In addition, the air should be circulated throughout the greenhouse before it came into contact with the biosensors.

Keywords: biosensors, grey mold, computer aided design, virtual simulation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำ และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรษา ลิบลับ และรองศาสตราจารย์เกรียงไกร แซมสีม่วง ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบปริญญาวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมให้กับผู้วิจัย อีกทั้งช่วยให้คำแนะนำในการนำเนื้อหาทางด้านซอฟต์แวร์สำหรับงานด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และช่วยติดต่อสถานที่สำหรับการทดสอบ แม้ว่าท้ายที่สุดจะไม่ได้ดำเนินการทดสอบดังกล่าวก็ตาม ขอขอบคุณที่ ๆ น้อง ๆ ร่วมชั้นในระดับปริญญาโท ที่ร่วมเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนประสบความสำเร็จอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณนาย Jérôme Planchais และนางสาว Alice Bordes เพื่อนสนิทของข้าพเจ้าที่คอยให้ความรู้ทางด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และปรับปรุงการค้นคว้าให้ครบถ้วนยิ่งขึ้น ทำให้การคิดค้นไปโอเซนเซอร์ชิ้นนี้สามารถดำเนินลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งบิดา มารดา และทุก ๆ คนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยดูแลให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ตลอดเวลาการทำใจที่ผ่านมา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตั้งแต่เริ่มโครงการจนเสร็จสิ้นโครงการวิจัย

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจทั่วไป ส่วนข้อบกพร่อง ผู้วิจัยขอน้อมรับด้วยความยินดีเป็นอย่างยิ่ง

ณัฐธิดา เจือวงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	12
1.4 ขั้นตอนวิจัย/กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผักสลัด.....	14
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	19
2.3 โรคเน่าของผักสลัด.....	22
2.4 การวินิจฉัยโรคเน่าของผักสลัด.....	24
2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบไบโอเซนเซอร์.....	27
2.6 คอมพิวเตอร์กับงานวิศวกรรม.....	33
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	43
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	45
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์.....	54
4.1 ผลการศึกษาความสามารถของพัดลมดูดอากาศ.....	54
4.2 ผลการศึกษากระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์.....	56
4.3 ผลการศึกษาขนาดของสปอร์.....	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในโรงเรือน.....	60
4.5 ผลการทดสอบตำแหน่งอุปกรณ์ต่อการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์	63
4.6 ผลการศึกษาการแยกตัวของอนุภาคสปอร์จากจุดจำลองผักสลัดที่ติดโรค	63
4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากแบบจำลองเทียบกับระบบจริง	65
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบความสามารถของพัดลมดูดอากาศ.....	73
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์.....	80
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบขนาดของสปอร์.....	84
ภาคผนวก ง การเผยแพร่ผลงาน.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 รูปแบบการเพาะปลูกพืช.....	20
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบที่สามารถใช้เป็นไบโอเซนเซอร์.....	28
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของไบโอเซนเซอร์	29
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบจำเพาะในการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์	46
ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบเขตศึกษา	50
ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการไหลนี้	62
ตารางที่ 4.2 การแยกตัวของอนุภาคในแต่ละตำแหน่ง.....	64
ตารางที่ 4.3 การแยกตัวของอนุภาคในแต่ละตำแหน่ง.....	65



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผักสลัดหลากหลายสายพันธุ์.....	14
รูปที่ 2.2 กรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce).....	15
รูปที่ 2.3 เรดโอ๊ค (Red Oak Lettuce).....	16
รูปที่ 2.4 คอส หรือ ผักกาดโรเมน (Cos Lettuce or Romaine Lettuce).....	16
รูปที่ 2.5 ฟิลเลย์ (Frillice Ice Berg Lettuce).....	17
รูปที่ 2.6 บัตเตอร์เฮด (Butterhead Lettuce).....	18
รูปที่ 2.7 ปัตตาเวีย (Batavia).....	18
รูปที่ 2.8 การปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิคส์.....	19
รูปที่ 2.9 การบรรจุผักสลัดลงลังพลาสติกขณะเก็บเกี่ยว.....	21
รูปที่ 2.10 เชื้อราสีเทาในหัวผักกาดหอม.....	22
รูปที่ 2.11 เชื้อรา <i>Botrytis ssp.</i> เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์.....	24
รูปที่ 2.12 การเตรียมสารบนแผ่นของชุดตรวจอีไลซา.....	25
รูปที่ 2.13 ความจำเพาะของการตรวจจับ <i>B. cinerea</i> ด้วยผลิตภัณฑ์ LAMP.....	26
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับละอองลอยที่มีสปอร์ของแบคทีเรีย.....	32
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง CAD/CAM/CAE/FP/3D Scanner.....	34
รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ออปติคอลไบโอเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับการติดเชื้อไวรัสในพืช.....	36
รูปที่ 2.17 กระบวนการประดิษฐ์ตัวแปลงสัญญาณเส้นลวดนาโน.....	37
รูปที่ 2.18 วิธีการตรวจสอบโรคพืชทั้งสองชนิด.....	37
รูปที่ 2.19 ไบโอเซ็นเซอร์ที่มีการสะสมมวลบนพื้นผิวคริสตัล.....	38
รูปที่ 2.20 คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ และผลในการลดการสะท้อนแสงอย่างมากที่มุมนั้น.....	39
รูปที่ 2.21 ขั้นตอนทีละขั้นตอนสำหรับการผลิตชิปอิมมูโนเซ็นเซอร์ QCM.....	40
รูปที่ 2.22 ตัวเลือกการระบายอากาศที่ใช้ในการศึกษา.....	41
รูปที่ 2.23 แผนภาพของระบบมานอากาศทั่วไป.....	42
รูปที่ 3.1 คอมพิวเตอร์แบบพกพา.....	43
รูปที่ 3.2 โลโก้โปรแกรม SOLIDWORKS.....	43
รูปที่ 3.3 โลโก้ซอฟต์แวร์ Add-in : SOLIDWORKS Flow Simulation.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 แอนิเมเตอร์แบบพกพา NKTech รุ่น NK-W0.....	44
รูปที่ 3.5 ฟิล์มคอปทซ์ไมโครบาลานซ์ 14.0 มม. Ti/Au.....	47
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ในกล่องไฟฟ้า.....	48
รูปที่ 3.7 แผนผังของการปลูกผักกาดหอมในเรือนกระจก.....	48
รูปที่ 3.8 สมการที่ใช้บังคับและสมมติฐานสำหรับการศึกษาอนุภาค	49
รูปที่ 3.9 การตั้งค่าการวิเคราะห์	50
รูปที่ 3.10 การกำหนดวัสดุใหม่ในโปรแกรม SOLIDWORKS.....	51
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งของไบโอเซนเซอร์และตำแหน่งต่าง ๆ ของผักที่ติดเชื้อ	53
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความเร็วของอากาศ	54
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและอุณหภูมิของอากาศ	55
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความชื้นสัมพัทธ์	56
รูปที่ 4.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 0.5 เมตร/วินาที	57
รูปที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 1 เมตร/วินาที	57
รูปที่ 4.6 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 1.5 เมตร/วินาที	57
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความยาวของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของกระแสม	58
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบเวลาของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของกระแสม	58
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความยาวของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของสปอร์	59
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบเวลาของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของสปอร์.....	60
รูปที่ 4.11 ปรัชญาการณความเร็วบนแกน Z เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งประตู และพัดลมดูดอากาศ ...	61
รูปที่ 4.12 วิธีถักไหล เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งประตู และพัดลมดูดอากาศ	62
รูปที่ 4.13 การแยกตัวของอนุภาคในตำแหน่ง A	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ผักสลัด หรือผักกาดหอม เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม อาจห่อหุ้มหรือไม่ห่อหุ้ม ลักษณะรูปร่าง และสีแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ บางพันธุ์อาจมีใบหนาแข็ง บางพันธุ์ใบอ่อน นุ่ม มีสีเขียวอ่อนจน ถึงสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง สีแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ผักกาดแก้ว ใบจะห่อหุ้มซ้อนกันเป็นหัวกลม ใบบางกรอบ ขอบใบหยักสีเขียวอ่อน [1] ลักษณะที่น่าสนใจของการปลูกผักสลัด คือสามารถปลูกได้หลากหลายวิธี โดยในปัจจุบันการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์หรือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกำลังเป็นที่นิยมในเมืองไทย สามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งวางจำหน่ายอยู่ในห้างสรรพสินค้าทั่วไปในโซนขายผักปลอดสารพิษ [2] การปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์จะใช้น้ำที่ผสมสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อพืชหล่อเลี้ยงพืชให้เจริญเติบโต ผักสลัดสามารถปลูกลงดินได้เช่นเดียวกับผักอื่น ๆ หากมีพื้นที่เหมาะสม ทั้งดินและอากาศที่เอื้ออำนวย ผักสลัดที่นิยมปลูกและรับประทานกันมากในปัจจุบันมีอยู่ 6 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค คอส พิลเลย์ บัตเตอร์เฮด และปัตตาเวีย [3] ผักสลัดเป็นพืชที่นิยมบริโภคสด แต่สามารถประกอบอาหารได้บางชนิด มีวิตามินซีสูง นอกจากนี้ยังให้ฮีโมโกลบินช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง บรรเทาอาการท้องผูก เหมาะสำหรับผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน [1]

ในปัจจุบันผู้คนเริ่มหันมาใส่ใจดูแลตนเองกันมากขึ้น การปลูกผักสลัดที่ปลอดสารพิษ และสารเคมี จึงกำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างสูง แต่หากไม่มีสารเคมีที่จะไปช่วยปกป้องเชื้อโรคที่จะเข้ามาทำร้ายผักสลัดเหล่านั้น อาจทำให้ผักเกิดโรค และขายไม่ได้ราคาเท่าที่ควร การดูแลผักสลัดนั้นจึงควรเข้าใจถึงความเสี่ยงในการเกิดโรคของผักแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถป้องกันและดูแลผักได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะการใช้ชีวภัณฑ์ที่ปลอดภัยกับทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค รวมถึงยังสามารถสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพ และทำกำไรได้ดีอีกด้วย [4] ดังนั้นเพื่อต้องการลดปริมาณการใช้สารเคมี และลดการสูญเสียผลผลิตให้แก่เกษตรกร จึงได้คิดค้นวิจัยออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และทดสอบระบบสำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมขึ้น เพื่อเป็นการช่วยลดต้นทุนการออกแบบ และใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม ซึ่งคาดว่าจะการศึกษาและการทดสอบนี้จะป็นต้นแบบที่สามารถนำไปสร้างเครื่องตรวจจับโรคที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานของเกษตรกรเพื่อแก้ปัญหาโรคพืชในช่วงเวลาที่เหมาะสมได้อย่างทันท่วงทีก่อนการระบาดของโรสดังกล่าวในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับโรคในผักสลัด เช่น ปัญหาโรคพืชในผักสลัด และวิธีการตรวจสอบหาโรคพืชนั้น

1.2.2 เพื่อออกแบบและจำลองระบบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ต้นแบบสำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดภายในโรงเรือนขนาดเล็ก โดยการใช้ซอฟต์แวร์ออกแบบ และซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล ทั้งการไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์เชื้อรา

1.2.3 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากแบบจำลองเทียบกับระบบจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เขียนแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับสร้างอุปกรณ์ตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดในโรงเรือนที่มีความจำเพาะ มีขนาดเล็กที่สามารถพกพาและติดตั้งในโรงเรือนได้ เกษตรกรสามารถนำไปตรวจวัดเองได้ โดยไม่ต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนประกอบหลักคือ ส่วนทางชีวภาพ ส่วนทางด้าน การเปลี่ยนสัญญาณ และส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ทั่วถึงขึ้น

1.3.2 เขียนแบบโรงเรือน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation โดยโรงเรือนทดสอบนี้มีหลังคาโค้งพาราโบลา และโรงเรือนมีขนาด 24 ตารางเมตร โดยมีความกว้าง 4 เมตร และยาว 6 เมตร

1.3.3 ทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศภายในโรงเรือน โดยวิเคราะห์จากอัตราการไหลของปริมาตรขาออกคือ 7, 12.5 และ 15.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามความสามารถของพัดลมดูดอากาศ และมีอัตราการไหลของปริมาตรขาเข้าคงที่ ณ 0.00755 ลูกบาศก์เมตร/วินาที บนด้านหน้าของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

1.3.4 ทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของสปอร์เชื้อรารภายในโรงเรือนเดิม โดยวิเคราะห์จากกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 0.5, 1 และ 1.5 เมตร/วินาที

1.3.5 ทดสอบการไหลของสปอร์ขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครเมตร โดยมีกระแสลมคงที่ 1.5 เมตร/วินาที ภายในโรงเรือนขนาดเล็กดังกล่าว

1.3.6 เปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในโรงเรือน เมื่อมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ 1 คู่ และประตู 1 บาน ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนทั้งหมด 4 กรณี คือ กรณี (a) ประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว กรณี (b) ประตูอยู่ตรงมุมและพัดลมสองตัวแยกกัน กรณี (c) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวอยู่ในมุม และกรณี (d) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวแยกจากกัน

1.3.7 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดเมื่อมีการติดตั้งในบริเวณต่าง ๆ ได้แก่ มุมซ้าย กึ่งกลาง และมุมขวา ภายในโรงเรือนที่มีประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว

1.3.8 ศึกษาการแยกตัวของอนุภาคที่มีการกระจายสปอร์จากจุดจำลองผักสลัดที่ติดโรคในตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วโรงเรือนเป็นจำนวน 12 จุดทดสอบ โดยวัดปริมาณสปอร์ที่สัมผัสบน 3 พื้นผิว ได้แก่ ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศทั้ง 2 ตัว และด้านหน้าอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

1.4 ขั้นตอนวิจัย/กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

1.4.2 เขียนแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และโรงเรือนทดสอบด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

1.4.3 จำลองระบบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ภายในโรงเรือนขนาดเล็กด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation

1.4.4 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รายละเอียดที่ชัดเจนจากแบบจำลองชิ้นส่วนของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ในลักษณะรูปทรง 3 มิติ ที่จะช่วยให้สามารถนำไปต่อยอดสำหรับสร้างอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ที่มีความจำเพาะสำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดได้ในอนาคต

1.5.2 ได้ประเมินระบบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ที่ได้ออกแบบ และจำลองการใช้งานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยลดต้นทุน และประหยัดเวลา สำหรับการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวได้

1.5.3 ได้เปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์ภายในโรงเรือนเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยให้มีความเข้าใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

1.5.4 ได้พบข้อบกพร่องจากการจำลองการใช้งานอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และสามารถวิเคราะห์เพื่อหาทางแก้ไข และปรับปรุงการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวในอนาคตได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการที่จะทำงานวิจัยนั้นมีความจำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลเอกสารหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละเรื่องให้เข้าใจก่อนที่จะลงมือออกแบบ สร้าง หรือทดสอบ เพื่อให้เกิดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนการผลิตในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ไปโอเซนเซอร์ตรวจจับโรคเน่าในผักสลัด

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผักสลัด

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของผักสลัด

ผักกาดหอม (Lettuce) หรือ ผักสลัด ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* L. ผักสลัดเป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม อาจห่อหัวหรือไม่ห่อหัว ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีสีเขียวอ่อนจน ถึงสีเขียวเข้ม สีนํ้าตาลปนแดง สีแดง และสีนํ้าตาล (รูปที่ 2.1) ผักกาดหอมมีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ข้อดอกเป็นแบบแยกแขนง สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10-25 ดอกต่อข้อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า และเป็นระยะสั้น ผักสลัดเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-24°C [1] ผักสลัดมีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรป และเอเชีย นิยมบริโภคส่วนของใบ ผักสลัดแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ผักกาดหอมห่อหัวคล้ายกะหล่ำปลี (Head Lettuce) ผักกาดหอมชนิดธรรมดาไม่ห่อหัว (Leaf Lettuce) และผักกาดหอมที่มีลำต้นยาว (Stem Lettuce) มี 6 สายพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกกันมาก [5]



รูปที่ 2.1 ผักสลัดหลากหลายสายพันธุ์ [1]

2.1.2 สายพันธุ์ และประโยชน์ของผักสลัด

1) กรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca scariola* var. *sativa* L. - var. *integrata* L. - var. *Integrifolia* โดยกรีนโอ๊คอยู่ในวงศ์ Asteraceae ลักษณะผักสลัดมีสีเขียวสด มีใบหยักสีเขียวตลอดทั้งใบและก้าน ดังรูปที่ 2.2 มีความโดดเด่นและรสชาติใกล้เคียงกับเรดโอ๊ค มีรสชาติดหวาน กรอบ มีลักษณะเป็นพุ่ม ผักสลัดประเภทนี้เข้ากับน้ำสลัด และอาหารจานอื่น ๆ ได้ดี มีกากใยช่วยให้ย่อยอาหารได้เป็นอย่างดี กรีนโอ๊คมีวิตามินบี วิตามินซี และไฟเบอร์สูงช่วยเรื่องท้องผูก บำรุงสายตา กล้ามเนื้อ และเส้นผมได้เป็นอย่างดี มีแคลอรีที่ต่ำมาก ๆ แถมยังรับประทานง่าย ง่ายให้สะอาดดีไปจัดลงจาน พร้อมกับราดน้ำสลัด หรือรับประทานสด ๆ ได้ตามชอบ [6]



รูปที่ 2.2 กรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce) [6]

2) เรดโอ๊ค (Red Oak Lettuce) ผักสลัดที่มีการบริโภคกันมาหลายร้อยปี มีต้นกำเนิดจากประเทศฝรั่งเศส มีการอ้างอิงในหนังสือตั้งแต่ปี ค.ศ. 1699 ซึ่งต่อมาได้ มีการเริ่มขายในท้องตลาดในปี ค.ศ. 1771 และขยายสู่ประเทศอังกฤษในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 18 เลย์ทีเดียว ซึ่งเรดโอ๊คมีวิตามินและสารต่อต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น วิตามินเอ วิตามินซี โฟเลต และธาตุเหล็ก สีของเรดโอ๊คจะมีสีแดงเข้ม เบอร์กันดีบริเวณขอบใบหยัก ๆ ซึ่งตรงตามชื่อ มีสีเขียวแซมบ้าง ดังรูปที่ 2.3 เรดโอ๊คเป็นผักที่มีกากใยสูง เหมาะสำหรับผู้ที่ขับถ่ายยากหรือมีปัญหาเรื่องการขับถ่าย การรับประทานเรดโอ๊คจะช่วยได้เป็นอย่างดี เรดโอ๊คนั้นไม่เหมาะกับการปรุงร้อน เหมาะสำหรับการทานสดมากกว่า เช่น ใช้ปรุงเมนูสลัดหรือทานคู่กับเมนูเนื้อหรือรับประทานสด ๆ ร่วมกับเมนูอาหารจานโปรดจะอร่อยกว่า [6]



รูปที่ 2.3 เรดโอ๊ค (Red Oak Lettuce) [6]

3) คอส หรือ ผักกาดโรเมน (Cos Lettuce or Romaine Lettuce) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* ในประเทศอังกฤษมักจะเรียกว่า “คอส” แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะเรียกว่า “โรเมน” คาดกันว่ามีที่มาจากตั้งแต่สมัยอียิปต์ และชื่อ “คอส” นั้นถูกตั้งชื่อมาตั้งแต่สมัยกรีกโดยตั้งชื่อตามเกาะคอสของกรีกนั่นเอง จะมีลักษณะที่มีลักษณะไม่เหมือนผักสลัดประเภทอื่น ๆ เพราะมีใบสีเขียวเรียวยาวเป็นผักกรอบ ดังรูปที่ 2.4 ไม่ค่อยมีกลิ่นเหม็นเขียวของผักเท่าไหร่นัก ซึ่งคอสนั้นสามารถทนความร้อนได้ดีกว่าผักสลัดชนิดอื่น ๆ ด้วยรสชาติผักที่เน้นหวานนิยมใช้ในเมนูชีสซาร์สลัด บางครั้งชาวยุโรปนิยมทำซุป สำหรับผักคอสขึ้นชื่อว่าเป็นผักที่ช่วยในระบบขับถ่ายเช่นเคย และเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง มีสารต้านอนุมูลอิสระ [6]



รูปที่ 2.4 คอส หรือ ผักกาดโรเมน (Cos Lettuce or Romaine Lettuce) [6]

4) ฟิลเลย์ (Frillice Ice Berg Lettuce) ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก เป็นสลัดที่นิยมมากในสหรัฐอเมริกาและเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นในประเทศไทยในระยะหลังมานี้ ฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก มีใบสีเขียวอ่อนและสีเขียวเข้ม มีลักษณะอวบ กรอบ แปรลกตา ลักษณะเป็นพุ่ม ฝอยหยิก ๆ เข้าหากัน ดังรูปที่ 2.5 โคนลำต้นตรงมีความชุ่มน้ำเป็นผักตระกูลสลัดที่สามารถปลูกในดิน หรือปลูกแบบไฮโดรโปรอนิกส์ก็ได้ อายุประมาณ 40-50 วันก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งสลัดฟิลเลย์ไอซ์เบิร์คนั้นค่อนข้างไม่ทนความร้อนจึงเหี่ยวเฉาง่าย นิยมทานสด ๆ อุดมไปด้วยสารอาหารเช่น วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอื่น ๆ อีกเพียบ ซึ่งมีประโยชน์ช่วยบำรุงตา แก้ปวด ขับเสมหะ ป้องกันมะเร็ง บำรุงร่างกาย ช่วยขับน้ำนมจึงดีกับคุณแม่มีอใหม่ สร้างเม็ดเลือด ช่วยลดท้องอืดท้องเฟ้อ ขับถ่ายได้เป็นอย่างดีเยี่ยม [6]



รูปที่ 2.5 ฟิลเลย์ (Frillice Ice Berg Lettuce) [6]

5) บัตเตอร์เฮด (Butterhead Lettuce) อาจเรียนกว่าผักกาดบอสตัน หรือ บิบ ในอเมริกา เป็นผักสลัดที่คงคุณค่าโภชนาการ พร้อมกับความกรอบ ช่วยให้ผู้รับประทานรู้สึกสดชื่นขึ้น ถึงจะมีสีเขียวใกล้เคียงกับกรีนโอ๊คแต่สังเกตง่าย ๆ บัตเตอร์เฮดจะกลมมนกว่า อัดแน่นกว่า มีพุ่มที่สวยงามคล้ายกลีบดอกไม้ ดังรูปที่ 2.6 เป็นผักสลัดที่ทำได้หลายเมนูอร่อย เช่น รับประทานสด ๆ สามารถใส่ในแฮมเบอร์เกอร์ สามารถผัดน้ำมันหอยกินร้อน ๆ ก็อร่อยไปอีกแบบ หรือจะนากับกระทะ รับประทานร่วมกับเนื้อวัวย่างหอม ๆ เป็นสลัดจานเด็ด [6] มีสรรพคุณช่วยบำรุงเส้นผม บำรุงผิว ลดคอเรสเตอรอล บำรุงประสาท และป้องกันโลหิตจาง [2]



รูปที่ 2.6 บัตเตอร์เฮด (Butterhead Lettuce) [6]

6) ปัตตาเวีย (Batavia) เป็นผักสลัดกลุ่ม Crip Leaf มีลักษณะใบเป็นแผ่นรูปหยดน้ำ ขอบใบหยิกเป็นคลื่น เป็นทรงพุ่ม ห่อหุ้มแบบหลวม ๆ มีทั้งสีเขียวและสีแดง ดังรูปที่ 2.7 เป็นผักสลัดที่นิยมมากในแถบยุโรปตอนใต้และในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา นิยมรับประทานสดเป็นสลัด เพราะมีคุณค่าทางสารอาหาร คือช่วยบำรุงสายตา บำรุงเส้นผม บำรุงประสาทและกล้ามเนื้อ บำรุงผิวพรรณ ป้องกันโรคปากนกกระจอก ช่วยในการสร้างเม็ดเลือด ให้เส้นใยอาหารสูง ขจัดอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคหัวใจ [2]



รูปที่ 2.7 ปัตตาเวีย (Batavia) [2]

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.2.1 การปลูก

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ หรือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย (รูปที่ 2.8) ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าธุรกิจการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ในประเทศไทยกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว [2] ข้อดีของการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ คือ ใช้เวลาในการเตรียมพื้นที่ปลูกน้อย หากเป็นดินต้องมีการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการให้สารอาหารได้ดีและทั่วถึงกว่า ทำให้สามารถกำหนดขนาดของพืชให้เติบโตใกล้เคียงกันได้ [3] สำหรับการเกษตรยุคใหม่ การเกษตรในร่ม (Indoor Farming) เป็นหนึ่งในเทรนด์สำคัญของภาคการเกษตรที่ค่อย ๆ มีบทบาทในเชิงพาณิชย์มากขึ้นในไทย ซึ่งเป็นรูปแบบการเกษตรภายในโรงเรือนหรือสิ่งปลูกสร้าง ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้น ปริมาณน้ำ ปุ๋ย เป็นต้น ซึ่งมีรูปแบบการเพาะปลูกพืชที่หลากหลาย โดยสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 2.1 ตามระบบการเพาะปลูก และโครงสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะปลูก รูปแบบการเกษตรดังกล่าวจะช่วยประหยัดการใช้ทรัพยากร ทั้งน้ำ ปุ๋ย พื้นที่เพาะปลูก และแรงงาน รวมถึงยังสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้ตามที่ต้องการ จึงช่วยลดความผันผวนในด้านปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้ดีกว่าการเกษตรแบบดั้งเดิม [7]

ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัด ควรร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรีย์วัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ระหว่าง 6-6.5 พื้นที่ปลูกควรโล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ เนื่องจากใบผักสลัด หรือผักกาดหอมมีลักษณะบาง ไม่ทนต่อฝน ดังนั้นในช่วงฤดูฝนควร ปลูกใต้โรงเรือน [1]



รูปที่ 2.8 การปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิคส์ [2]

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการเพาะปลูกพืช [7]

ระบบการเพาะปลูก	โครงสร้างอุปกรณ์
Hydroponics: การปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในน้ำที่มีธาตุอาหารสำหรับพืชละลายอยู่	Glass or poly greenhouse: พื้นที่ปิดและโปร่งแสงโดยใช้โครงสร้างเป็นกระจกหรือ polycarbonate
Aeroponics: การปลูกพืชโดยรากพืชเปลือยอยู่ในอากาศ	Indoor vertical farm: พื้นที่ปิดและทึบแสงโดยใช้แสงไฟช่วยในการเพาะปลูก
Aquaponics: การรวมระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำและการปลูกพืชเข้าด้วยกัน	Low-tech plastic hoop house: โครงสร้างครึ่งวงกลมหรืออุโมงค์โดยใช้แผ่นพลาสติกใสคลุม
Soil-based: การปลูกพืชโดยใช้ดิน	Container farm: แยกยูนิตปลูกพืชแต่ละต้นโดยใช้การเพาะปลูกแนวตั้งและแสงไฟช่วยในการเพาะปลูก
Hybrid: การปลูกพืชแบบหลายระบบผสมผสานกัน	Indoor deep-water culture: พื้นที่ปิดและทึบแสงโดยใช้ระบบน้ำลึกช่วยในการเพาะปลูก

2.2.2 ศัตรูพืช

อาจพบหนอนชอนใบ หนอนกระทู้ดำ หรือหนอนกินใบในบางระยะของการเจริญเติบโต แต่จะไม่พบในระยะกล้า 20-25 วัน [1] ส่วนใหญ่ผักประเภทนี้ไม่มีแมลงมาควน นอกจากอากาศไม่เหมาะสมเลย คือ ร้อน แดดจ้า ก่อให้เกิดเพลี้ยไฟบ้าง [8]

2.2.3 โรคพืช

ในระยะกล้า 20-25 วัน สามารถพบโรคโคนเน่าได้ แต่หลังจากย้ายปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวจะสามารถพบโรคใบจุด โรคหัวเน่า และโรครากปมแทน [1] โรคจะเจอช่วงที่อากาศร้อนขึ้น เหมาะกับการเจริญเติบโตของโรค ถ้าหากผักสลัดหนึ่งต้นติดเชื้อโรคเยอะมากให้ทำการตัดทิ้งก่อน แต่อาจทำให้ไม่ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ [8]

2.2.4 การเตรียมดิน

ควรรไพอรวนหน้าดิน และขุดดินตากแดด ทิ้งไว้นาน 7-14 วัน โรยปูนขาวหรือโดโลไมท์ในอัตรา 0-100 กรัม/ตรม. เพื่อให้วัชพืชแห้งตาย ทุกครั้งที่ปลูกจะรองพื้นด้วยปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยชีวภาพ

สูตรต่าง ๆ ซึ่งปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับปุ๋ยแต่ละประเภท นอกจากนี้ต้องมีการเตรียมกล้า โดยการเพาะกล้า ในสภาพหลุมแบบประณีต ดินเพาะควรระบายน้ำดี อายุกล้าประมาณ 3-4 อาทิตย์ [1, 5, 8]

2.2.5 การเพาะปลูก

ระยะห่างระหว่างหลุมเพาะปลูกที่แนะนำคือ 30×30 ตร.ซม. ในฤดูร้อน และ 40×40 ตร.ซม. ในฤดูฝน เพื่อป้องกันการระบาดของโรค [1] ช่วงฤดูหนาวจะปลูกให้ห่างเพื่อให้ใบกางแผ่ได้ดี ถ้าเป็นหน้าร้อน หรือหน้าฝน ผักจะไม่ค่อยโต ให้ปลูกระยะชิดตามสภาพ ระยะห่างมีผลต่อการเจริญเติบโต ถ้าปลูกห่างโอกาสเกิดโรคน้อย เพราะมีการระบายอากาศที่ดี ถ้าปลูกชิดจนเกินไป อากาศอบอ้าวถือว่าเป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคได้ดี ทำให้เกิดโรคได้ง่ายยิ่งขึ้น [8]

2.2.6 การให้น้ำและการดูแลรักษา

ควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอต่อการเจริญเติบโต การให้น้ำไม่ควรมากเกินไป อาจทำให้เกิดโรคโคนเน่า [1] ระบบน้ำใช้สปริงเกอร์ วางท่อหลักยาวประมาณ 300-400 เมตร หลังจากนั้นต่อระบบให้น้ำออกซ้าย-ขวา เป็นก้างปลา ทำให้สามารถนำต้นกล้าไปปลูกได้ทุกที่เพราะมีการเข้าถึงน้ำหมด [8]

2.2.7 การเก็บเกี่ยว

เมื่อผักสลัดมีอายุได้ประมาณ 40-60 วันหลังย้ายปลูก การเก็บเกี่ยวให้ใช้มีดตัด และเหลือใบนอก 3 ใบ เพื่อป้องกันความเสียหายในการขนส่ง หลีกเลี่ยงการเก็บเกี่ยวตอนเปียกควรเก็บเกี่ยวตอนบ่าย หรือค่ำแล้วผึ่งลมในที่ร่ม และคัดเกรด ป้ายปูนแดงที่รอยตัดเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อโรคเข้าสู่หัวอย่าล้างผัก และบรรจุลงลังพลาสติก ดังรูปที่ 2.9 [1]



รูปที่ 2.9 การบรรจุผักสลัดลงลังพลาสติกขณะเก็บเกี่ยว [8]

2.3 โรคเน่าของผักสลัด

โรคเน่าของผักที่เกิดจากเชื้อราจัดว่าเป็นโรคที่สำคัญและสร้างความเสียหายมากโรคหนึ่ง เป็นโรคที่พบได้ทั้งในแปลงปลูก และภายหลังเก็บเกี่ยวแล้ว โดยเป็นกับผักหลากหลายชนิดมากกว่า 500 ชนิด ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจตั้งแต่ หมื่นล้านดอลลาร์ ถึง แสนล้านดอลลาร์ทั่วโลก [9] โรคเน่าที่เกิดการระบาดอย่างรุนแรงเกิดจากเชื้อราสีเทา *Botrytis cinerea* ในผักกาดหอม เชื้อราที่แพร่หลายนี้พร้อมโจมตีผักกาดหอม หากไม่มีมาตรการแก้ไขที่สัญญาณแรกของการติดเชื้ออาจเกิดการสูญเสียพืชอย่างรุนแรง [10]

2.3.1 อาการโรค

ในโรงเรือน *Botrytis* สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ในระยะต้นกล้า และก่อให้เกิดโรคโคนเน่า ในขณะที่โรคกำลังเจริญเติบโต สีนํ้าตาลอ่อนอาจปรากฏขึ้นบนลำต้นและที่ฐานของใบเก่า ในที่สุดพืชก็เหี่ยวแห้ง และตาย ภายใต้สภาพที่มีความชื้น เชื้อราสีเทา (ไมซีเลียม และสปอร์) จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือสีแทน สามารถเจริญบนใบอ่อน และลึกลงไปในหัวของผักกาดหอม (รูปที่ 2.10) อาการเริ่มแรกของโรคบางครั้งอาจไม่มีใครสังเกตเห็นเพราะมักเกิดขึ้นในยอดใบไม้ที่มีความหนาแน่น [10]



รูปที่ 2.10 เชื้อราสีเทาในหัวผักกาดหอม [10]

2.3.2 สาเหตุโรค

เชื้อรา *Botrytis cinerea* จัดเป็นเชื้อราในพวกที่ไม่มีการขยายพันธุ์ทางเพศ (Imperfect fungi) ในคลาส Deuteromycetes เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย (Conidia) ลักษณะรูปไข่ (Ovoid) ที่ไม่มีสี (Hyaline) หรือออกเทาเล็กน้อยเกาะกันเป็นกลุ่มเหมือนพวงองุ่น (Botryoid manner) บนก้านสั้น ๆ ที่งอกออกมาจากก้าน Conidiophore ที่แตกกิ่งก้านสาขา สปอร์หรือโคนิเดียนีจะทำหน้าที่ขยายพันธุ์ หรือแพร่กระจายโดยติดไปกับสิ่งที่เคลื่อนไหวทุกชนิดที่ไปสัมผัสหรือปลิวไปตามลมได้เป็นระยะทางไกล ๆ นอกจากนี้ อาจจะมีการสร้างสเคลอโรเทีย (Sclerotia)

ลักษณะเป็นแผ่น หรือก้อนแบน ๆ (Flat) สีดำแข็งขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่เล็กมองด้วยตาเปล่าเกือบไม่เห็น จนถึงครั้งนิ้ว สเคลอโรเทียพวกนี้ จะพบอยู่ตามส่วนของพืชที่เป็นโรคหรือไม่ก็ตามดิน ทำหน้าที่ คล้ายสปอร์ แต่มีความคงทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่ผิดปกติได้นานกว่า แต่จะไม่คงทนต่อความชื้นคือจะเน่าเปื่อยได้ง่าย หากตกไปอยู่ในน้ำ ก้อนหรือแผ่นสเคลอโรเทียนี้เมื่อตกไปยังที่มีอาหารหรือสิ่งแวดล้อมเหมาะสมก็จะงอกออกมาเป็นเส้นใยเจริญเติบโตต่อไป [11] เชื้อราดังกล่าวผลิตสปอร์บนพื้นผิวของชิ้นส่วนที่ติดเชื้อ เชื้อราสามารถแพร่เชื้อได้เกือบทุกส่วนของพืชเมื่อมีความชื้น โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเยื่อที่บอบบาง มีบาดแผล เนื้อเยื่อชรา และเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว [10]

2.3.3 การเข้าทำลายพืช

เมื่อโคนิเดียหรือสเคลอโรเทียถูกพาไปตกลงบนผิวของพืชก็จะงอก Germ tube ส่งเข้าไปภายในพืชโดยผ่านทางแผลไปเจริญเติบโตอยู่ภายใต้ Epidermis ระหว่าง เซลล์ Parenchyma ก่อให้เกิดการทำลายและสลายตัวกับเซลล์ดังกล่าวในที่สุด เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ก็จะส่งก้าน Conidiophore ออกมานอกผิวพืชตรงส่วนที่ถูกทำลาย แล้วสร้างโคนิเดียขึ้นเป็นจำนวนมากปกคลุมบริเวณแผล ทำให้เห็นเป็นปุยหรือใยสีเทาดังกล่าว [11] เชื้อราก่อสารเคมีที่เป็นพิษหลายชนิดบนพื้นผิวที่ติดเชื้อ เช่น

- เอนไซม์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งเจาะผนังเซลล์ และเมมเบรน และนำไปสู่การสลายตัวของเนื้อเยื่อ
- สารพิษที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งฆ่าเซลล์ของพืช เนื่องจากเส้นใย Hypha เจริญเติบโตในเนื้อเยื่อ ผลิตสารเซสควิเทอร์พีน (Sesquiterpenes) ในกระบวนการเมแทบอลิซึม [12]

2.3.4 สิ่งแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมการเกิดโรค

Botrytis cinerea ต้องการความชื้นที่ค่อนข้างสูงทั้งในการงอกของสปอร์หรือโคนิเดียและการเข้าทำลายพืช (Infection) โดยจะต้องมีความชื้นถึงจุดอิ่มตัวหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ไม่ต่ำกว่า 90% สำหรับอุณหภูมินั้น จากการที่มีผู้ทดลองนำเอาเชื้อรานี้มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ ในห้องทดลองพบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ 0–35.5°C แต่จะดีที่สุดระหว่าง 2–25°C ส่วนในการเข้าทำลายพืชนั้นอยู่ระหว่าง 22–23°C เชื้อรานี้ชอบอุณหภูมิต่ำเล็กน้อย

2.3.5 การป้องกันและกำจัดโรค

1) การให้น้ำกับพืชเมื่อปลูกอยู่ในแปลง ควรทำในขณะที่ยังมีแสงแดดลมแรงและท้องฟ้าแจ่มใส ทั้งนี้เพื่อให้น้ำระเหยแห้งจากต้นพืชโดยเร็ว ในระยะที่อากาศเย็น ครึ้มฟ้าครึ้มฝน เมฆมาก ควรงดให้น้ำชั่วคราว ทั้งนี้เพื่อกันการงอก และการเข้าทำลายพืชของเชื้อ

2) ฉีดพ่นต้นกล้า หรือต้นอ่อนของผักที่เพิ่งย้ายปลูกลงด้วยเทอร์ราคลอร์ ผสมกับแคปแทน อย่างละ 5 ซ่อนซา (20 กรัม) ในน้ำ 1 ปีบ (20 ลิตร) โดยสารเคมีนี้จะใช้กับกล้าที่ปลูกในแปลงขนาด 2x5 เมตร ควรฉีดพ่นทุก ๆ 5-7 วัน ในกรณีที่มีโรคเกิดขึ้น นอกจากนี้อาจใช้มาเน็บ 50 กรัม หรือเพอร์แบม 100 กรัมต่อน้ำ 1 ปีบ

3) การเก็บเกี่ยวผลผลิตผลระวังอย่าให้เกิดแผล หรือรอยช้ำกับพืชโดยไม่จำเป็น ควรหึ่งลมให้ผิวพืชแห้ง ก่อนบรรจุลงในภาชนะให้มีจำนวนพอดี ภาชนะที่ใช้บรรจุควรสะอาดปราศจากเชื้อติดอยู่ ควรฆ่าเชื้อเสียก่อนโดยการล้างให้สะอาดหรือใช้สารเคมีฆ่าเชื้อ เช่น เมอร์คิวริกคลอไรด์ ฟอร์มาลิน หรือ CuSO_4 เสียก่อน ระหว่างรอกการขนส่ง ควรเก็บไว้ในโรงเรือนที่แห้งโปร่ง อากาศถ่ายเทสะดวก อุณหภูมิควรสูงกว่า 25°C [11]

2.4 การวินิจฉัยโรคเน่าของผักสลัด

2.4.1 วิธีการแบบดั้งเดิม

สายพันธุ์ *Botrytis* ทั่วไป ได้รับการจำแนกแบบดั้งเดิมโดยวิธีที่ไม่แม่นยำ ใช้ระยะเวลานาน และไม่ไวต่อการมองเห็นอาการ วิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อ และวิธีการทางจุลพยาธิวิทยา (รูปที่ 2.11) ระยะหลังการติดเชื้อจะถูกจำแนกอย่างง่ายตายด้วยโครงสร้างเชื้อราสีเทา หรือสีน้ำตาลบนพื้นผิวที่ติดเชื้อ อย่างไรก็ตามการติดเชื้อระยะเริ่มต้น หรือระยะพักตัวนั้นยากที่จะตรวจพบในส่วนที่ไม่แสดงอาการ นอกจากนี้สัณฐานวิทยาของ Conidiophores ของ *Botrytis* spp. มักจะไม่ชัดเจน และการใช้งานกล้องจุลทรรศน์นั้นไม่นิยมในภาคสนาม [13]



รูปที่ 2.11 เชื้อรา *Botrytis* spp. เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ [14]

2.4.2 การวินิจฉัยจากหลักการทดสอบทางวิทยาภูมิคุ้มกัน

วิธีการสร้างภูมิคุ้มกันหลายวิธีได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อวินิจฉัย และหาปริมาณในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณของเชื้อโรคพืช โดยวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับ *Botrytis* spp. เป็นชุดตรวจอีไลซา (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) ดังรูปที่ 2.12 ด้วยการฉีดสารต้านสารพิษในกระต่าย ใช้ชุดตรวจหาแอนติเจนและอิมมูโนซอร์เบนต์ที่ติดกับแผ่น เพื่อกำหนดระดับแอนติเจนของ *Botrytis* ในน้ำองุ่นที่ติดเชื้อ ในวิธีการเดียวกัน ด้วยโมโนโคลนอลแอนติบอดีชนิดเฉพาะ (MAB) BC-12.CA4 ถูกใช้ในการตรวจสอบ และหาปริมาณ *B. cinerea* ในลำต้นลูกแพร์ สตรอเบอร์รี่ องุ่นเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และการติดเชื้อ *B. aclada* แผงในใบหอม การผลิต MAB สำหรับ *Botrytis* spp. ตอนนี้ค่อนข้างเป็นวิธีการหลัก ชุดตรวจอีไลซาที่ติดอยู่กับแผ่นในห้องปฏิบัติการใช้เวลานานซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเคลือบแอนติเจนข้ามคืนด้วยสารสกัดจากเนื้อเยื่อพืชที่ติดเชื้อตามมาด้วยการบ่มต่อเนื่องจากโมโนโคลนอลแอนติบอดีซึ่งเป็นแอนติบอดี แอนติบอดี และสารตั้งต้นที่มีการชะล้างระหว่างแต่ละขั้นตอน ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของแอนติบอดีรอง ทำให้เวลาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยลดลงเหลือ 20 นาที ในขณะเดียวกันอุปกรณ์ดักจับสปอร์และภูมิคุ้มกัน (อุปกรณ์ MTIST) ที่ใช้ระบบการดูดเพื่อดักจับอนุภาคอากาศโดยตรงซึ่งถูกใช้ร่วมกับแอนติบอดี BC12.CA4 สำหรับการตรวจสอบอย่างรวดเร็ว และการหาปริมาณของ *B. cinerea* จากนั้นใช้ BC-12.CA4 กับชุดตรวจอีไลซาแบบการแข่งขัน เพื่อหาปริมาณของ *B. cinerea* ในแอปเปิ้ล องุ่น และเนื้อเยื่อลูกแพร์ ในการทดสอบนี้ แอนติเจนของ *Botrytis* spp. ที่อยู่ในสารสกัดจากเนื้อเยื่อที่ติดเชื้อจะแข่งขันกับ *B. cinerea* บริสุทธิ์ แอนติเจนได้ตรึงบนพื้นผิวของแผ่นโดยใช้สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง แม้ว่าการตรวจจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที โดยมีขีดจำกัดในการตรวจจับเพียง 0.97 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งรวมถึงการติดเชื้อที่ไม่แสดงอาการ แต่แอนติบอดีชนิด BC12.CA4 ก็แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของ *Botrytis* ในแต่ละสายพันธุ์ [13]

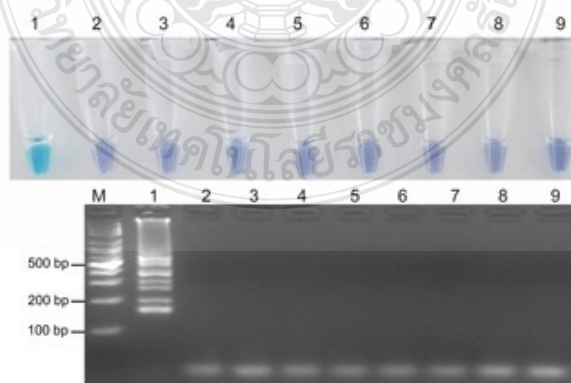


รูปที่ 2.12 การเตรียมสารบนแผ่นของชุดตรวจอีไลซา [15]

2.4.3 การวินิจฉัยระดับโมเลกุล

แนวทางเลือกแทนวิธีการแบบดั้งเดิม และการทดสอบทางวิทยาภูมิคุ้มกัน การวินิจฉัยเฉพาะสำหรับแต่ละ *Botrytis spp.* อาจพัฒนาโดยใช้ตัวจับโมเลกุลที่ออกแบบมาเพื่อเป้าหมายเฉพาะ (ลำดับ DNA) ซึ่งมีความเสถียร และโดดเด่นในแง่ของศักยภาพในการวิวัฒนาการ ดังนั้นจึงมีการอธิบายลักษณะกรดนิวคลีอิกเป้าหมายสำหรับการตรวจหา *B. cinerea* รวมถึงการวิเคราะห์บางช่วงของโรโบโซม (IGS), β -tubulin, Cutinase A และ RNA helicase อย่างไรก็ตามการตรวจสอบยืนยันเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจง เช่น Cutinase A และ β -tubulin มีลักษณะที่จะเกิดปฏิกิริยาข้ามกับสายพันธุ์ใกล้เคียงอย่าง *B. fabae* ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเปราะบางของลำดับในบริเวณบางช่วงของโรโบโซม IGS การทดสอบ PCR ถูกพัฒนาแบบเรียลไทม์ด้วยชุดไพรเมอร์ LR12R / CNS1 สำหรับการหาปริมาณของ *Botrytis aclada*, *Botrytis allii* และ *Botrytis byssoidea* ในเมล็ดหัวหอม ต่อมา มีการ PCR แบบเรียลไทม์ของ TaqMan ด้วยชุดไพรเมอร์ B_squa_up221/B_squa_lo361 เพื่อหาปริมาณ Conidia ของ *B. squamosa* ที่เป็นสาเหตุของการทำลายใบของหัวหอม ในทำนองเดียวกันการวินิจฉัย *B. cinerea* ในองุ่น ด้วย PCR แบบเรียลไทม์ขึ้นอยู่กับลำดับ IGS ที่มีขีดจำกัดการตรวจจับที่ 6.3 pg ประมาณ 540 จีโนมส์

เพื่อปรับปรุงความสามารถในการพกพาของการตรวจวิเคราะห์ระดับโมเลกุลเทคนิคการขยาย DNA ที่รู้จักกันในชื่อ LAMP ได้รับการพัฒนาซึ่งขยายกรดนิวคลีอิกด้วยการเลือกสูงไวและรวดเร็วภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ LAMP สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยการเพิ่มสีย้อมดีเอ็นเอตัวบ่งชี้โลหะไอออน CuSO_4 , Calcein หรือโดยการวัดการเพิ่มความขุ่นที่เกิดจากการสะสมแมกนีเซียมไพโรฟอสเฟต เพื่อสรุปการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของดีเอ็นเอขยาย (รูปที่ 2.13) ผลิตภัณฑ์ LAMP มีรูปแบบการตรวจจับตามเวลาจริง พกพาสะดวก และใช้พลังงานต่ำ โดยมีขีดจำกัดที่ 6.5 pg ประมาณ 140 จีโนมส์ [13]



รูปที่ 2.13 ความจำเพาะของการตรวจจับ *B. cinerea* ด้วยผลิตภัณฑ์ LAMP [16]

2.4.4 แนวทางการวินิจฉัยด้วยไบโอเซนเซอร์

ไบโอเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ที่ใช้ตรวจจับโมเลกุลเป้าหมายโดยสร้างสัญญาณที่อ่านได้ตามสัดส่วนของการทำงานร่วมกันของการวิเคราะห์กับสารประกอบที่รู้จัก มีการใช้ไบโอเซนเซอร์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมอาหาร และการวิเคราะห์ทางคลินิก เช่นเดียวกับการวิเคราะห์เชื้อโรคพืช มีการใช้รูปแบบเซ็นเซอร์หลากหลายประเภทสำหรับการวินิจฉัยโรคและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวภาพต่าง ๆ ในระดับเนื้อเยื่อ จุลินทรีย์ ตัวรับเซลล์ ออร์แกนเนลล์ เอนไซม์ แอนติบอดี และกรดนิวคลีอิก

ในปัจจุบันมีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าสำหรับการวินิจฉัยโรคพืช *Botrytis spp.* ที่เกี่ยวข้องกับระยะพักตัวในหัวหอมด้วยการขยายเป้าหมาย ตัวทดสอบ AuNPs-DNA และการตรึงโมเลกุล streptavidin ในรูปแบบที่เป็นเม็ด มีความเร็วที่ 60 นาที และละเอียดอ่อน 214 pM หรือ ประมาณ 3×10^8 สปอร์/ μL นอกจากนี้การทดสอบแบบใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับ DNA ของเชื้อโรคพืชที่สำคัญ และโรคเชื้อรา *Botrytis spp.* วิธีนี้ให้ผลการตรวจพบว่ามีเชื้อโรคใช้ หรือไม่ใช้ เพื่อการจัดการความเสี่ยงของโรคทันที และใช้ในการตรวจหา *B. cinerea* ในระยะแรกของการติดเชื้อเมื่อมีอาการที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าด้วยขีดจำกัด การตรวจจับน้อยกว่า 0.3 pg/ μL (ประมาณ 6 สปอร์/ μL) เมื่อเร็ว ๆ นี้พบว่า *B. cinerea* ในวงศ์ผักกาด และพืชมะเขือเทศผ่านทางรูปแบบการวินิจฉัยเพื่อติดตามการรักษาที่พัฒนาโดยใช้ SERS และ RPA วิธีนี้เร็วกว่าและไวกว่า PCR เพียง 100 เท่า และสามารถตรวจหาจีโนมของ *B. cinerea* ได้เพียงสองตัว ทั้งนี้ทุกวิธีจะสามารถวินิจฉัยโรคได้จากการเก็บตัวอย่างพืชมาทดสอบเท่านั้น [13]

2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบไบโอเซนเซอร์

2.5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไบโอเซนเซอร์

ไบโอเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์การตรวจวัดทางชีวภาพโดยการใช้สารชีวภาพเปลี่ยนปริมาณสารที่ต้องการตรวจวัดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดได้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก

1) สารทางชีวภาพ (Biological elements) ได้แก่ เอนไซม์ จุลินทรีย์ เนื้อเยื่อพืชและสัตว์ แอนติเจนและแอนติบอดี เมื่อสารชีวภาพได้รับสารที่มีความเลือกเฉพาะที่ต้องการวัด (Analyte) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ พร้อมกับส่งสัญญาณให้ส่วนถัดไป

2) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณทางฟิสิกส์ ทางเคมี และชีวเคมี ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อส่งต่อไปให้กับส่วนของการวัดสัญญาณ

การผสมผสานส่วนของสารชีวภาพ และทรานสดิวเซอร์สามารถเลือกได้หลากหลาย ซึ่งมีทั้งปรากฏในงานวิจัยและไม่ปรากฏในงานวิจัย ในตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของไบโอเซนเซอร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ได้โดยใช้แนวคิดของไบโอเซนเซอร์ ซึ่งอาจจะปรากฏในงานวิจัยในอนาคต

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบที่สามารถใช้เป็นไบโอเซนเซอร์ [17]

Biological elements	Transducers
สิ่งมีชีวิต (Organism)	โพเทนชิโอเมตริก (Potentiometry)
เนื้อเยื่อ (Tissue)	แอมเปอร์โรเมตริก (Amperometry)
เซลล์ (Cells)	คอนดักโทเมตริก (Conductometry)
ออร์แกเนลล์ (Organelles)	อิมพีดิเมตริก (Impedimetric)
เมมเบรน (Membranes)	ออปติคอล (Optical)
เอนไซม์ (Enzymes)	แคลอริเมตริก (Calorimetric)
ส่วนประกอบของเอนไซม์ (Enzyme components)	อะคูสติคส์ (Acoustic)
รีเซพเตอร์ (Receptors)	โมเลกุลอิเล็กทรอนิกส์ (Molecular electronic)
แอนติบอดี (Antibodies)	
กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids)	
โมเลกุลสารอินทรีย์ (Organic molecules)	

ในการตรวจวัดเพื่อให้ได้สัญญาณ และอ่านค่าได้ จำเป็นต้องใส่ส่วนประกอบด้านการขยายสัญญาณหากสัญญาณมีขนาดต่ำ (Amplifier) การประมวลผลสัญญาณ (Processor) และการวาดสัญญาณ (Signal evaporation) เพื่อให้ผู้ใช้อ่านค่าได้ คุณสมบัติของไบโอเซนเซอร์ที่ดีต้องสามารถตรวจวัดสารได้อย่างดี โดยไบโอเซนเซอร์หากตรวจวัดได้ดีในตัวอย่างที่มีเมทริกซ์ (Matrix) แบบหนึ่งได้ดีแล้ว ไม่ได้หมายความว่า จะตรวจได้ดีเมื่อเปลี่ยนเมทริกซ์ ตัวแปรที่ทำให้ไบโอเซนเซอร์ตรวจวัดได้ดีมีหลายชนิด เช่น อุณหภูมิ ความดัน ขนาด สารรบกวนในระบบ คุณสมบัติของไบโอเซนเซอร์สรุปได้ดังตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ ลักษณะเฉพาะของไบโอเซนเซอร์ที่ได้ควรรายงานค่าลักษณะเฉพาะ ต้องแสดงค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) ค่าความเป็นเส้นตรง (Linearity) ค่าสภาพไว (Sensitivity) สารรบกวน (Interferences) นอกจากนี้ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) บางครั้งก็จำเป็นต้องรายงาน [17]

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของไบโอเซนเซอร์ [17]

คุณลักษณะ	ความหมาย
1. สัญญาณมีความสัมพันธ์กับสารตัวอย่างด้วยสมการอย่างง่าย (Simple mathematical relationships)	คุณลักษณะนี้ไม่จำเป็นสำหรับเซนเซอร์ฉลาด (Smart sensor) ที่สามารถอ่านค่าและแปลเป็นปริมาณได้ทันที
2. ไม่มีฮิสเทอรีซิส (None hysteresis)	สัญญาณควรกลับสู่เบสไลน์ (Baseline) เมื่อวัดสารตัวอย่างเสร็จแล้ว
3. ตอบสนองได้เร็ว (Fast response)	การที่สัญญาณตอบสนองช้าอาจจะเนื่องมาจากการใช้เมมเบรนในการตรึงหรือเกิดจากไคเนติกส์ของสารที่เข้าทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์อย่างทันเวลา (Real-time monitoring)
4. ให้สัญญาณต่อสัญญาณพื้นสูง (Good signal to noise, S/N)	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณพื้น หากมีค่าสูงจะทำให้ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ (Limit of detection) มีค่าต่ำลง
5. มีความเลือกเฉพาะ (Selectivity)	เซนเซอร์ที่มีความเลือกเฉพาะสูงต่อสารวิเคราะห์ จะทำให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ
6. มีสภาพไว (Sensitivity)	สภาพไวคืออัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณต่อหน่วยความเข้มข้น หากเซนเซอร์มีสภาพไวสูง การใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอ
7. มีการวัดซ้ำได้สูง (Reproducibility)	ไบโอเซนเซอร์ควรมีประสิทธิภาพในการวัดซ้ำสูง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย
8. อายุการใช้งาน (Working lifetime)	อายุการใช้งานหมายถึงจำนวนครั้งหรือระยะเวลาของไบโอเซนเซอร์โดยเริ่มนับจากสัญญาณที่เริ่มใช้ครั้งแรก จนกระทั่งสัญญาณลดลงครึ่งหนึ่งของครั้งแรก ไบโอเซนเซอร์ควรมีอายุการใช้งานที่ยาว และสามารถใช้ได้หลายครั้ง

2.5.2 การจำแนกประเภทของไบโอเซนเซอร์

1) เรโซแนนท์ไบโอเซนเซอร์ (Resonant Biosensor) สำหรับไบโอเซนเซอร์ประเภทนี้ตัวแปลงสัญญาณคลื่นเสียงอะคูสติกส์จะประกอบเข้ากับแอนติบอดี (องค์ประกอบทางชีวภาพ) เมื่อโมเลกุลที่ต้องการวัด (หรือแอนติเจน) ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ มวลของเยื่อหุ้มเซลล์จะเปลี่ยนไป การ

เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในมวลจะเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ การเปลี่ยนแปลงความถี่นี้จะถูกวัด [18]

2) ออปติคัลไบโอเซนเซอร์ (Optical biosensors) สัญญาณที่ส่งออกที่วัดได้สำหรับไบโอเซนเซอร์ชนิดนี้คือแสง โดยสร้างจากการเปลวเบนของแสง (Electrochemiluminescence) โดยออปติคัลทรานสดิวเซอร์นี้น่าสนใจเป็นพิเศษสำหรับการประยุกต์ใช้ในการตรวจจับแบคทีเรีย เซ็นเซอร์เหล่านี้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในดัชนีหักเห หรือความหนาซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเซลล์จับกับตัวรับที่ถูกตรึงบนพื้นผิวของตัวแปลงสัญญาณ พวกมันมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นมวลหรือจำนวนของโมเลกุลกับการเปลี่ยนแปลงโดยตรงในลักษณะของแสง มีการรายงานเทคนิคทางแสงหลายอย่างสำหรับการตรวจจับเชื้อโรคที่เกิดจากแบคทีเรียซึ่ง ได้แก่ ท่อนำคลื่น ไดอิเล็กทริก คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) ความหนาฟิล์มบาง กระจกสะท้อน และอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ เป็นต้น [19, 20 และ 21]

- คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) ตรวจสอบบริเวณที่เลือนหายไปโดยใช้ฟิล์มทองคำบาง ๆ เพื่อการตรวจจับ การทำงานร่วมกันระหว่างโมเลกุลที่ต้องการวัดที่ไหลผ่านอินเตอร์แอคทีฟแบบตรึงบนพื้นผิวทองคำจะถูกตรวจสอบผ่านการตรวจจับการสะท้อนแสงน้อยบนแถวเซนเซอร์ตรวจจับภาพถ่าย SPR ประสบความสำเร็จในการนำไปใช้ในการตรวจหาแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคด้วยวิธีการทางภูมิคุ้มกัน [21 และ 22]

- เพียโซอิเล็กทริกไบโอเซนเซอร์ (PZ) ให้สัญญาณที่ส่งออกแบบเรียลไทม์ แนวคิดทั่วไปนั้นขึ้นอยู่กับหลักการเคลื่อนผิวของเซ็นเซอร์ PZ ด้วยสารจับยึดที่คัดเลือก เช่น แอนติบอดีต่อแบคทีเรีย จากนั้นวางลงในสารละลายที่มีแบคทีเรีย แบคทีเรียจะจับกับแอนติบอดี และมวลของผลึกจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่เรโซแนนซ์ของการสั่นจะลดลงตามสัดส่วน [19 และ 21]

3) ไบโอเซนเซอร์ทางความร้อน (Thermal Biosensors) ไบโอเซนเซอร์ชนิดนี้ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติพื้นฐานอย่างหนึ่งของปฏิกิริยาทางชีวภาพคือการดูดซับหรือการผลิตความร้อน ซึ่งจะเปลี่ยนอุณหภูมิของตัวกลางที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้น พวกมันถูกสร้างขึ้นโดยการรวมโมเลกุลของเอนไซม์ตรึงกับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ เมื่อโมเลกุลที่ต้องการวัดสัมผัสกับเอนไซม์ ปฏิกิริยาความร้อนของเอนไซม์จะถูกวัด และสอบเทียบกับความเข้มข้นของโมเลกุลที่ต้องการวัด การใช้งานทั่วไปของไบโอเซนเซอร์ชนิดนี้ ได้แก่ การตรวจหายาฆ่าแมลง และแบคทีเรียก่อโรค [21]

4) ไบโอเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Biosensors) ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการตรวจจับดีเอ็นเอไฮบริด ยาที่มีผลผูกพันกับดีเอ็นเอ ความเข้มข้นของกลูโคส ฯลฯ ไบโอเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้าสามารถจำแนกตามการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเป็น Conductimetric

และ Amperometric นักวิเคราะห์ทำงานกับตัวอย่างเช่น และต้นทุนของอุปกรณ์ต่ำกว่าวิธีการทางแสง แต่วิธีการทางเคมีไฟฟ้า นั้นมีการเลือกและความไวที่จำกัดกว่าแสงแบบคู่เล็กน้อย [19 และ 23]

- ตัวนำไฟฟ้า (Conductimetric) พารามิเตอร์ที่วัดได้คือ ค่าการนำไฟฟ้า/ความต้านทานของสารละลาย เมื่อปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสร้างไอออน หรืออิเล็กตรอนการนำไฟฟ้าโดยรวมหรือความต้านทานของสารละลายจะเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงนี้ถูกวัด และเทียบเป็นมาตราส่วนที่เหมาะสม การวัดค่าสื่อไฟฟ้ามีความไวค่อนข้างต่ำ [19]

- แอมเพอโรเมตริก (Amperometric) อาจเป็นวิธีการตรวจสอบทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้กันมากที่สุดที่ใช้ในไบโอเซนเซอร์ ไบโอเซนเซอร์ที่มีความไวสูงนี้สามารถตรวจจับชนิดที่มีปฏิกิริยาทางอิเล็กโตรไลต์ที่มีอยู่ในตัวอย่างทดสอบทางชีวภาพ แอมเพอโรเมตริกผลิตกระแสไฟฟ้าตามสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ตรวจจับได้ ชนิดที่พบมากที่สุดใช้ขั้วออกซิเจนของ Clark [19 และ 21]

- โปเทนชิโอเมตริก (Potentiometric) สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่พบได้น้อยที่สุดของไบโอเซนเซอร์ทั้งหมด แต่อาจพบกลยุทธ์ที่แตกต่างกันในเซนเซอร์ประเภทนี้ พารามิเตอร์ที่วัดได้คือการออกซิเดชัน หรือลดโอกาสเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า หลักการทำงานขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกนำไปใช้กับอิเล็กโตรดในสารละลายการไหลของกระแสจะเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้บ่งบอกถึงปฏิกิริยาเฉพาะ และชนิดเฉพาะ [21 และ 24]

5) เซนเซอร์ทางการเรืองแสงทางชีวภาพ (Bioluminescence sensors) ใช้ประโยชน์จากความสามารถของเอนไซม์บางตัวในการปล่อยโฟตอนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาของพวกมัน ปรัชญาการนี้เรียกว่าการเรืองแสงจากสิ่งมีชีวิต การประยุกต์ใช้สิ่งมีชีวิตเรืองแสงในการตรวจจับแบคทีเรียเริ่มต้นจากการพัฒนาของ Luciferase reporter phages (LRPs) ยีนเรืองแสง *lux* ของแบคทีเรียได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ความเข้มข้นของสารประกอบสามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการตรวจสอบความเข้มของแสงเรืองแสง เพื่อตรวจจับจุลินทรีย์หลากหลายชนิด [21 และ 24]

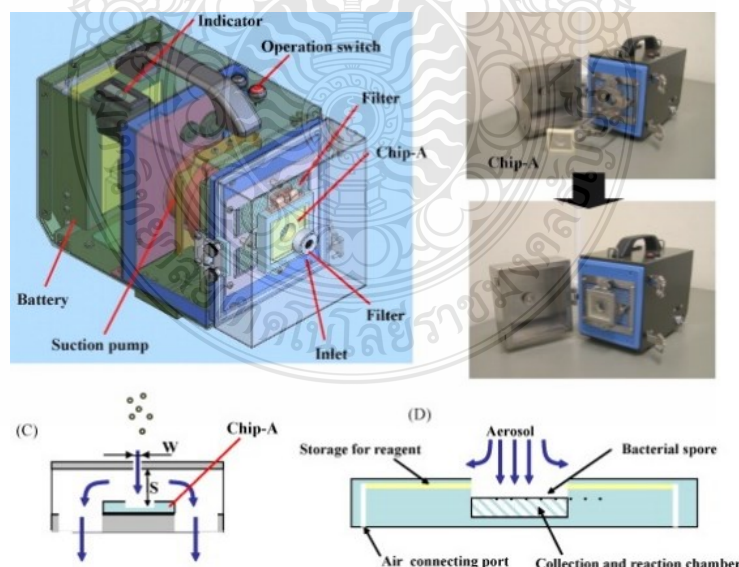
6) ไบโอเซนเซอร์ที่ใช้กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid-based Biosensors) เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ที่รวมโอลิโกนิวคลีโอไทด์เข้ากับตัวแปลงสัญญาณ หัววัดกรดนิวคลีอิกถูกตรึงบนตัวแปลงสัญญาณ และทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับรู้ทางชีวภาพเพื่อตรวจจับชิ้นส่วน DNA/RNA [21]

7) นาโนไบโอเซนเซอร์ (Nanobiosensors) สามารถจัดเป็นเซ็นเซอร์ตามหลักนาโนเทคโนโลยี การพัฒนานาโนไบโอเซนเซอร์เป็นหนึ่งในความก้าวหน้าล่าสุดในด้านนาโนเทคโนโลยี เงินและอนุภาคนาโนโลหะมีตระกูลอื่น ๆ มีแอปพลิเคชันที่สำคัญมากมายในด้านการใช้ฉลากสำหรับผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ระบบนำส่งยา ตัวกรอง และยาต้านจุลชีพ หรือเซนเซอร์ต้านจุลชีพ [25]

2.5.3 อุปกรณ์เพิ่มเติมในการวัดสปอร์ในอากาศ

เมื่อเกษตรกรต้องการนำอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ไปใช้งานจริงแล้ว เพียงส่วนประกอบหลักของไบโอเซนเซอร์ อันได้แก่ สารทางชีวภาพ และทรานสดิวเซอร์นั้นอาจไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากการทดสอบอุปกรณ์จำเป็นจะต้องมีพื้นผิวสัมผัสกับตัวอย่างพืชที่นำมาทดสอบโดยตรง ไม่สามารถตรวจวัดได้อย่างทั่วถึงทุกพื้นที่การเพาะปลูก การหาข้อมูลในหัวข้อนี้จะช่วยนำไปพัฒนาอุปกรณ์เพื่อให้สามารถตรวจจับโรคพืชได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น

ระบบตรวจจับสปอร์ของแบคทีเรียกึ่งอัตโนมัติ (BSDS) ได้รับการพัฒนาเพื่อตรวจหาสารคุกคามทางชีวภาพ (เช่น *Bacillus anthracis*) ในพื้นที่ ระบบประกอบด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างละอองลอย (Aerosol) Micro-fluidic chip-A (สำหรับการกรองของสปอร์ และการสลายเซลล์) Micro-fluidic chip-B (สำหรับการสกัด และตรวจดีเอ็นเอจีโนม) และเครื่องวิเคราะห์ ดังรูปที่ 2.14 ละอองลอยที่มีสปอร์ของแบคทีเรียถูกรวบรวมครั้งแรกในห้องเก็บของชิป A ด้วยความเร็ว 300 ลิตร/นาที และชิป A ถูกนำออกจากตัวอย่างละออง และไหลตกลงในเครื่องวิเคราะห์ รีเอเจนต์ที่บรรจุในชิป A ถูกนำไปใช้อย่างต่อเนื่องในห้อง สารสกัดดีเอ็นเอจีโนมจากสปอร์ไลโซเลทถูกถ่ายโอนจากชิป A ไปเป็นชิป B ได้เอง และไหลตกลงในเครื่องวิเคราะห์จีโนมดีเอ็นเอในชิป B ถูกขังอยู่ในแก้วที่มีเม็ดกันเดือด (Glass bead) ล้างด้วยรีเอเจนต์ต่าง ๆ และถูกส่งไปยังห้องตรวจจับโดยการจ่ายแบบอัตโนมัติตามลำดับ การขยายตัวของกรดนิวคลีอิก (ICAN) ด้วยการวัดฟลูออเรสเซนซ์แบบใช้ความร้อน เพื่อขยายและตรวจจับ DNA เป้าหมายของ *Bacillus subtilis* สามารถตรวจจับสปอร์ได้ 104 ครั้งภายใน 2 ชั่วโมงตลอดกระบวนการ [26]



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับละอองลอยที่มีสปอร์ของแบคทีเรีย [26]

2.6 คอมพิวเตอร์กับงานวิศวกรรม

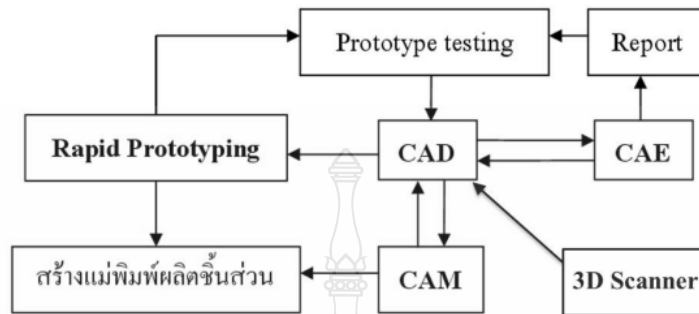
2.6.1 คอมพิวเตอร์และการประยุกต์ใช้งาน

คอมพิวเตอร์ (Computer) ตามความจำกัดความของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน คือ เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติทำหน้าที่เหมือนสมองกล ใช้สำหรับแก้ปัญหาต่าง ๆ ทั้งที่ง่ายและซับซ้อนโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยในปัจจุบันความหมายที่ระบุเฉพาะเจาะจงของคอมพิวเตอร์ คือ เครื่องคำนวณอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถคำนวณ และเปรียบเทียบค่าตามชุดคำสั่งด้วยความเร็วสูงได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ มีการนำข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำซึ่งทำให้เครื่องมือสามารถจำข้อมูลและคำสั่งได้ โดยผู้ใช้สามารถที่จะดึงข้อมูลหรือคำสั่งมาเพื่อนำไปปฏิบัติงาน และให้ผลลัพธ์ตามความต้องการของผู้ใช้

คอมพิวเตอร์มีบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อสังคมของมนุษย์ในปัจจุบัน แทบทุกวงการล้วนนำคอมพิวเตอร์ไปใช้งาน ทั้งสำหรับการดำเนินชีวิตและการทำงานในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานต่าง ๆ เช่น การใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านการศึกษา การใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านวิศวกรรมหรืออุตสาหกรรม การใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านการแพทย์ การใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านธุรกิจ การใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านการทหาร การใช้คอมพิวเตอร์ทางด้านศิลปะ การสร้างทำนองดนตรีหรือการสร้างภาพที่เสมือนจริง ตลอดจนการใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI: Artificial Intelligence)

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาช่วยในการผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรม อย่างกว้างขวาง เพื่อเพิ่มคุณภาพของสินค้า ลดต้นทุน และเวลาในการผลิตลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถ ในการแข่งขันในวงการอุตสาหกรรมให้สูงขึ้น โดยทั่วไปสินค้าประเภทยานยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องจักรกลต่าง ๆ จะประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบมากมายชิ้นเข้าด้วยกันจนได้สินค้าตามต้องการ ชิ้นส่วนประกอบย่อยทั้งหมดนี้จะถูกออกแบบและขึ้นรูปมาจาก CAD 3D หลังจากนั้นจึงนำชิ้นส่วนดังกล่าวมาวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE) เพื่อแก้ไขรูปทรงและคุณสมบัติ จนได้ค่าตามมาตรฐานกำหนดและนำผลที่ได้มาสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) แล้ววิเคราะห์ชิ้นงานต้นแบบตามสภาพใช้งานจริงจนค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นยอมรับได้ จึงนำข้อมูล CAD 3D เข้าโปรแกรม CAM ออกแบบแม่พิมพ์ ในปัจจุบันเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping, RP) สามารถสร้างต้นแบบได้อย่างรวดเร็วด้วยการรับข้อมูลจาก CAD โดยตรง ส่วนใหญ่มักจะนำต้นแบบไปใช้สื่อสารกับลูกค้าหรือฝ่ายผลิต และปรับปรุง แก้ไขรูปร่างของผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการ นอกจากนั้น RP ยังสามารถทำแม่พิมพ์ได้โดยตรง สำหรับการผลิตจำนวนไม่มาก นอกจากนั้นเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติถูกนำมาใช้ด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) ซึ่งช่วยลดเวลาสูญเสียในการสร้างแบบจำลอง 3

มิติ ที่ซับซ้อนหรือมีข้อมูลไม่เพียงพอ โดยเทคโนโลยี CAD/CAM/CAE/3D Scanner นี้มีความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกันดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง CAD/CAM/CAE/3D Scanner

2.6.2 คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ

คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ หรือเรียกย่อ ๆ ว่า “CAD” หมายถึงการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างภาพ หรือแบบจำลอง (Model) แล้วบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำ สามารถที่จะเรียกแบบดังกล่าวขึ้นมาแสดงบนจอภาพ โดยสามารถย่อ-ขยาย หมุนพลิกภาพ หรือ ปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการ และสามารถสั่งให้พิมพ์ออกมาบนกระดาษได้ โดยปกติคอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้ในงานประเภทนี้ จะต้องมีฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ที่มีความจุสูงมาก ๆ มีจอภาพที่มีความละเอียดสูง และมีตัวประมวลผลที่ทำงานได้รวดเร็ว

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ เขียนแบบ และสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนในลักษณะรูปทรง 2 มิติ หรือ 3 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพของงาน ช่วยให้งานออกแบบมีคุณภาพ แม่นยำ สะดวกรวดเร็ว ง่ายต่อการแก้ไข และสามารถนำงานที่ออกแบบไปวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE) เพื่อหาจุดบกพร่อง นอกจากนี้เพื่อเพิ่มผลผลิต และลดเวลาการผลิต การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบจะช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานให้กับผู้ออกแบบ อีกทั้งช่วยลดปัญหา ลดข้อผิดพลาด และง่ายต่อการทำความเข้าใจ และยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับงานอุตสาหกรรม สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการผลิต (CAM) และใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต (CAPP)

โปรแกรม SOLIDWORKS เป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์ด้านคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Dassault System ประเทศฝรั่งเศส ในปี 1995 เพื่อใช้สร้างแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ในคอมพิวเตอร์ ก่อนที่จะสร้างตัวต้นแบบจริง โปรแกรมนี้มีความสามารถสูงที่นำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ ที่นำเสนอมุมมองของชิ้นงานได้ทุก

มุมมอง โดยสามารถกำหนดวัสดุ และบอกคุณสมบัติต่าง ๆ ของแบบจำลองได้ นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันรวมชิ้นส่วน 3 มิติเข้าด้วยกันเพื่อประกอบกันเป็นกลไกหรือเครื่องจักรกลต่าง ๆ ผู้ใช้งานสามารถสร้างแบบแปลนภาพฉาย 2 มิติ จากชิ้นงาน 3 มิติ และบันทึกไฟล์ได้ อีกทั้งมีเครื่องมือสำหรับการทดสอบการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบหาชิ้นส่วนที่ขัดกัน และสร้างภาพเคลื่อนไหวแสดงการทำงานของชิ้นส่วน

2.6.3 คอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้านวิศวกรรม

คอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้านวิศวกรรม หรือเรียกย่อ ๆ ว่า “CAE” เป็นการนำข้อมูลชิ้นงานที่ขึ้น รูปจาก CAD 3D มาวิเคราะห์ทางวิศวกรรม โดยมีการจำลองคุณสมบัติทางวัสดุวิศวกรรม จำลองเงื่อนไขของแรงต่าง ๆ และจำลองสภาพสิ่งแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริง แล้วโปรแกรมจะคำนวณผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขรูปทรง เปลี่ยนวัสดุ หรือเงื่อนไขต่าง ๆ จนได้ข้อมูลตามความต้องการหรือตามค่ามาตรฐาน จากนั้นสร้างชิ้นงานต้นแบบจากข้อมูลที่ดีที่สุดของ CAE แล้วทดสอบชิ้นงานต้นแบบตามสภาพใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย CAE จนค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นยอมรับได้ จึงนำข้อมูลที่ได้ ไปใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำนวนมาก นอกจากนั้น CAE ยังสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่ไม่สามารถทดสอบในสภาวะการทำงานจริงได้ เช่น ที่สภาวะอุณหภูมิหรือความดันสูงมาก ๆ เป็นต้น ปัญหาของการใช้ CAE ในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ คือ ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซอฟต์แวร์มีราคาแพง และผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ความชำนาญทั้งด้าน การใช้ซอฟต์แวร์และปัญหาที่วิเคราะห์ โดยปกติ CAE จะมีความสามารถวิเคราะห์ทางวิศวกรรมด้านต่าง ๆ เช่น วิเคราะห์ทางโครงสร้างให้ทราบถึงความเค้นและความเครียดต่าง ๆ วิเคราะห์ทางความร้อน วิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมทางวิศวกรรม และวิเคราะห์การไหลของของไหลและมวล [27]

SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นซอฟต์แวร์ที่ Add-in ใน SOLIDWORKS ที่ทำให้สามารถแก้ไขแบบงานพร้อมวิเคราะห์หาผลลัพธ์ได้ทันที ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล และแสดงผลเป็นค่าตัวเลข เกรดสี หรือภาพเคลื่อนไหว ช่วยทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจพฤติกรรมของของไหลได้ง่ายขึ้น ความสามารถหลัก ๆ ของ SOLIDWORKS Flow Simulation มีดังต่อไปนี้ วิเคราะห์การไหลของของเหลวและก๊าซได้ วิเคราะห์ของไหลที่อัดตัวไม่ได้และอัดตัวได้ จำลองการไหลได้ทั้งแบบภายในและภายนอก สามารถวิเคราะห์การไหลแบบ Laminar และ Turbulent ได้ และยังสามารถวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการวางตำแหน่งของชิ้นงานภายใต้เงื่อนไขที่เรากำหนดได้ [28]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

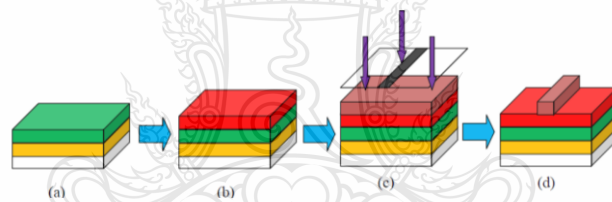
ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไบโอเซนเซอร์ในการตรวจจับโรคพืช แนะนำวิธีการออกแบบ การทดลองมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินผล การออกแบบไบโอเซนเซอร์ในการตรวจจากโรคเน่าในผักสลัดซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

N. F. Starodub และคณะ ได้พัฒนาไบโอเซนเซอร์แบบพกพาสำหรับวัดค่าการเหนียวนำกระแสไฟฟ้าของคลอโรฟิลล์เรืองแสง และการควบคุมการติดเชื้อไวรัสบางชนิดของผักอย่างรวดเร็วไบโอเซนเซอร์มีชื่อว่า “Floratest” ช่วยให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในเนื้อเยื่อซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงสถานะโดยรวมของผัก (รูปที่ 2.16) สำหรับการควบคุมการติดเชื้อไวรัสของผักบางชนิด ผักที่แห้งแล้งมีระดับคลอโรฟิลล์เรืองแสงสูงกว่ามาก ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยหลักการภูมิคุ้มกันมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่ได้จาก PCR ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกถ่ายโอนจากอุปกรณ์ไปยังศูนย์การแพทย์หรือห้องปฏิบัติการโดยใช้ช่องสัญญาณวิทยุ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังเป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่การวิเคราะห์ที่ถูกถ่ายโอนโดยใช้วิธีการของช่องสัญญาณวิทยุ สำหรับเป้าหมายนี้จะใช้ระบบ GPS ซึ่งสร้างขึ้นเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ หลักการทำงานขึ้นอยู่กับการถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมดผ่านทางช่องสัญญาณวิทยุ(โดยใช้เทคโนโลยี GSM) โดยตรงไปยังอินเทอร์เน็ตและจากนั้นไปยังเซิร์ฟเวอร์ขององค์กรแพทย์ ไม่ว่าจะในกรณีใด ๆ ก็ไม่ต้องสงสัยเลยว่าไบโอเซนเซอร์ที่พัฒนาแล้วทั้งสองนั้นสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีสำหรับการปฏิบัติตามข้อสังเกตการคัดกรอง หลักการของไบโอเซนเซอร์ทางภูมิคุ้มกันทำงานขึ้นอยู่กับการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ ไบโอเซนเซอร์นี้อาจช่วยในการวินิจฉัยโรคหลายชนิดจากไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา [29]

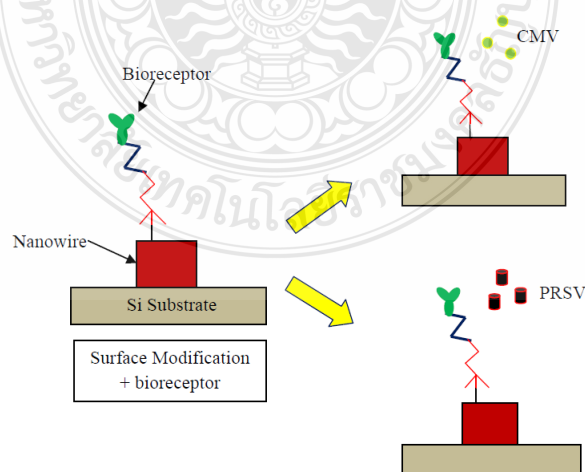


รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ออปติคัลไบโอเซนเซอร์เพื่อตรวจจับการติดเชื้อไวรัสในพืช [29]

Shahrul A.B Ariffin และคณะ ได้พัฒนาอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ด้วยเส้นลวดนาโนเพื่อตรวจจับโรคเช่น ไวรัสใบด่างแดง (CMV) และ โรคใบด่างจุดวงแหวนในมะละกอ (PRSV) จากรูปที่ 2.17 การออกแบบ Nanowire เริ่มต้นด้วยชั้นเวเฟอร์ซิลิกอน (สีเขียว) ถูกปกคลุมด้วยชั้นไดอิเล็กทริกซิลิกอนออกไซด์ SiO_2 (สีเหลือง) และซิลิกอนไนไตรด์ Si_3N_4 (สีเขียวน้ำเงิน) เพื่อการป้องกันความเครียดของวัสดุ และการกัดพื้นผิวออกไปที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขั้ว (a) ชั้นถัดไปเป็นชั้นที่สำคัญที่สุดเพราะมันจะเป็นโครงสร้างของเส้นลวดนาโน สามารถเป็นวัสดุใด ๆ เช่น กิ่งตัวนำ โลหะ โลหะออกไซด์ และอื่น ๆ ทรายใดที่มีมันมีกระแสหรือแรงดัน (b) หลังจากนั้นกระบวนการถ่ายภาพด้วยแสงจะถูกนำไปใช้กับวัสดุพิมพ์ มีหลายกระบวนการ ประกอบด้วยสารเคลือบผิวด้วยแสง การจัดแนวการออกแบบหน้ากาก การเปิดรับแสง UV ส่วนแข็งและอ่อนนุ่ม (c) สุดท้ายก่อให้เกิดการพัฒนาเพื่อเปิดเผยรูปแบบ (d) เส้นลวดนาโนได้รับการปรับเปลี่ยนพื้นผิวด้วยสารละลายกลุ่มอะมิโน และเอนไซม์ที่ได้รับ แสดงให้เห็นว่ารอบสารชีวโมเลกุลมีค่าเล็ก ๆ ของสนามไฟฟ้าที่มีประโยชน์ในการอ่าน หรือส่งผลให้ตรวจจับไวรัสเหล่านั้นได้ ขนาดของเส้นลวดนาโนต้องจับคู่อย่างพอเหมาะ เพราะถ้าใหญ่เกินไปความไวของเซนเซอร์จะลดลง และการตรวจจับไวรัสจะผิดพลาด แต่ถ้าเล็กเกินไปก็จะถูกรบกวนได้ง่าย โดยมีความจำเพาะดังรูปที่ 2.18 [30]

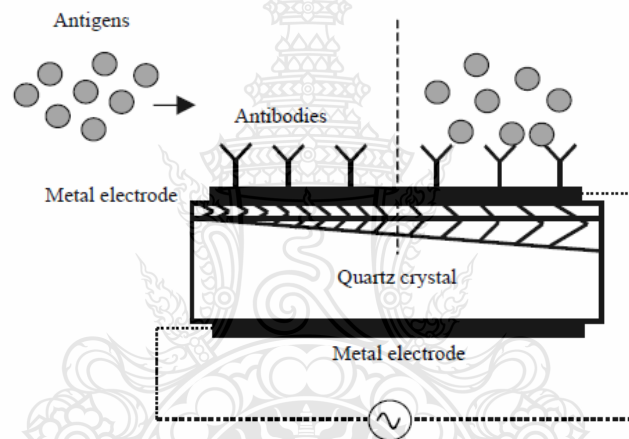


รูปที่ 2.17 กระบวนการประดิษฐ์ตัวแปลงสัญญาณเส้นลวดนาโน [30]



รูปที่ 2.18 วิธีการตรวจสอบโรคพืชทั้งสองชนิด [30]

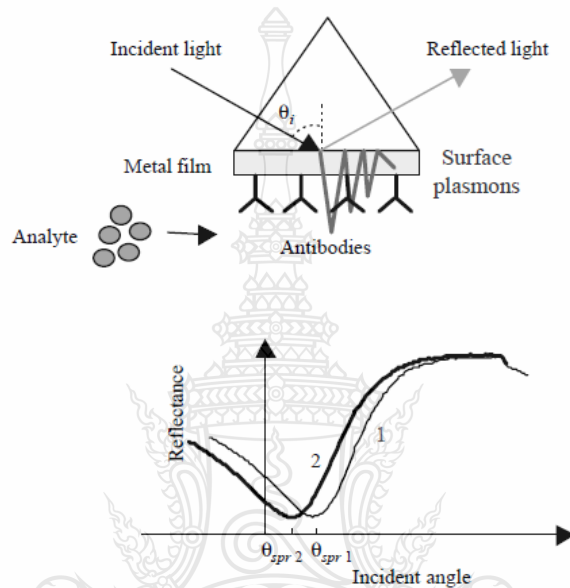
Ye J. และคณะ ได้อธิบายหลักการทำงานของเพียโซอิเล็กทริกไปโอเซนเซอร์ (PZ) สำหรับการตรวจหาเชื้อ *Salmonella typhimurium* อุปกรณ์ประกอบด้วยแผ่นเวเฟอร์ผลึกคริสตัล คั่นระหว่างขั้วไฟฟ้าโลหะสองอัน ขั้วไฟฟ้าเหล่านี้มีการเชื่อมต่อกับ Oscillator ภายนอกวงจรที่ขับเคลื่อนคริสตัลควอตซ์ที่เป็นจังหวะความถี่ การเปลี่ยนแปลงของมวลบนพื้นผิวของขั้วโลหะจึงเปลี่ยนความถี่พ้องของอุปกรณ์ Microbalance คริสตัลควอตซ์ (QCM) (รูปที่ 2.19) แอนติบอดีต่อสู้กับเชื้อ *Salmonella* ที่ตรึงอยู่กับพื้นผิวผลึกคริสตัลเคลือบขั้วโลหะทองคำผ่านเทคนิค Polyethyleneimine – glutaraldehyde เซลล์เชื้อ *Salmonella* ทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะและสัมพันธ์กับคริสตัลบนพื้นผิว ส่งผลให้มวลเพิ่มขึ้นโดยตรงกับความเข้มข้นในสารละลายไปโอเซนเซอร์ มีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของ *S. typhimurium* ในช่วง 5.3×10^5 ถึง 1.2×10^9 CFU/mL ใน 25 นาที [31]



รูปที่ 2.19 ไปโอเซนเซอร์ที่มีการสะสมมวลบนพื้นผิวคริสตัล [31]

Fratamico P.M. และคณะ ได้พัฒนาไปโอเซนเซอร์ด้วยการใช้หลักการของคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) สำหรับการตรวจจับของเชื้อ *E. coli* O157: H7 คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์เป็นควอนตัมปรากฏการณ์แสงไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่าพลังงานที่ถ่ายด้วยโฟตอนของแสงสามารถถ่ายโอนไปยังอิเล็กตรอนในโลหะ ความยาวคลื่นของแสงที่มีการรวมตัวเกิดขึ้นนั้นเป็นลักษณะของโลหะโดยเฉพาะ และสภาพแวดล้อมของพื้นผิวโลหะจะสว่างเมื่อมีการถ่ายโอนนี้ สามารถสังเกตได้โดยการวัดจำนวนของแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวโลหะ รูปที่ 2.20 แสดงวิธีการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมทางเคมีที่มีความยาวคลื่น 100 นาโนเมตรเหนือชั้นโลหะบาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของแสงซึ่งถูกดูดซับมากกว่า สะท้อนให้เห็นถึงการใช้งานจริงที่พบบ่อยที่สุดของ SPR คือการใช้ปริซึมออปติคัลเคลือบโลหะ แต่ยังมีวิธีการใช้งานจริงอีกหลายวิธี รวมถึงการเปลี่ยนเลนส์ที่

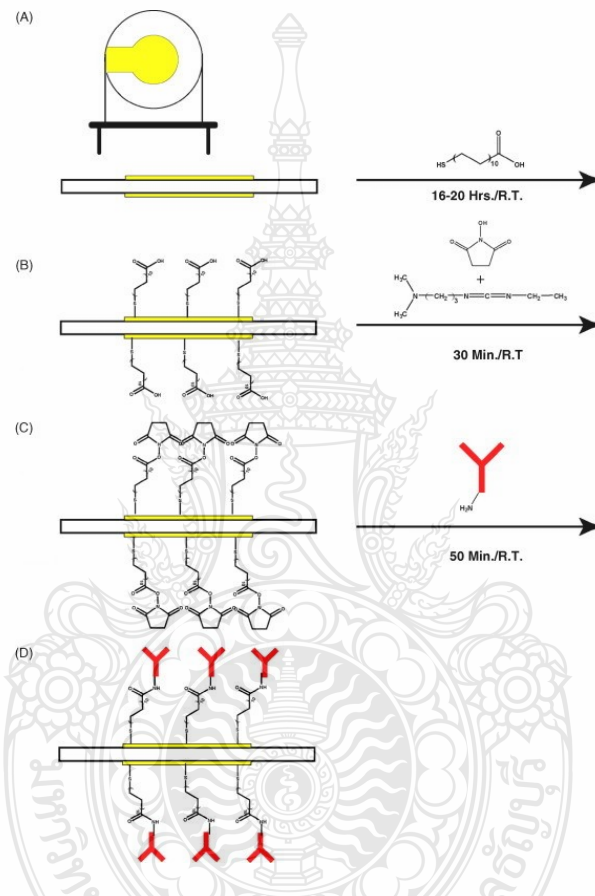
เป็นโลหะ เส้นใย และท่อนำคลื่นระนาบ ไบโอะเซนเซอร์ทางคลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์มีศักยภาพ
 สำหรับใช้ในการตรวจจับอย่างรวดเร็วแบบเรียลไทม์ และการจำแนกชนิดของแบคทีเรีย และศึกษา
 ปฏิสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีแอนติบอดี หรือโมเลกุลอื่น ๆ ของแต่ละสายพันธุ์ การตรวจจับที่ต่ำกว่า
 ขีดจำกัดของระบบ BIAcore (ตัวอย่างเชิงพาณิชย์ของระบบ SPR) คือ Analyte mm² ประมาณ 10 pg
 [32]



รูปที่ 2.20 คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ และผลในการลดการสะท้อนแสงอย่างมากที่มุมนั้น [32]

Thomas W.O. และคณะ ได้มีการสร้างเซนเซอร์ด้วยหลักการการทำงานของเพียโซอิเล็กทริก
 (PZ) สำหรับการตรวจหาอนุภาคไวรัสไข้หวัดใหญ่ชนิด A ได้โดยตรง ทำโดยการวัดความถี่ของ QCM
 ด้วยตัวนับความถี่ Agilent/Hewlett-Packard (HP 53131A) ที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ข้อมูล
 ความถี่ถูกเก็บรวบรวมโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่จัดทำโดยผู้ผลิตตัวนับความถี่ หน่วยออสซิลเลเตอร์ 10 MHz
 และคริสตัล AT cut มีชั้นการยึดเกาะ Ti หนา 100 Å และชั้นทองหนา 1,000 Å ใช้เครื่องพ่นละอองยา
 Omron Micro Air เพื่อสร้างอนุภาคละอองลอย อุปกรณ์นี้ใช้แผ่นตาข่ายเซรามิกและการสันสะเทือน
 ความถี่ต่ำเพื่อสร้างละอองลอยความเร็วต่ำ หลังจากการดัดแปลงพื้นผิวหลายขั้นตอนดังรูปที่ 2.21 ตั้งแต่
 (A) การก่อรูป MUA SAM, (B) การก่อรูปเอสเทอร์ของ NHS, (C) การตรึงแอนติบอดี และ (D) ซิปีมมู
 โนเซ็นเซอร์ QCM หลังจากนั้นคริสตัลถูกใส่เข้าไปในห้องพ่นยาขยายขนาด 50 มล. น้ำยาล้างไวรัสถูก
 เจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์พิเศษจนถึงความเข้มข้นที่ต้องการ และสารละลายนี้ถูกใส่ลงในเครื่องพ่นฝอย
 ละออง ห้องนี้ให้การแยกและกักอนุภาคละอองเพื่อตรวจจับอนุภาคไวรัสในอากาศ เมื่อคริสตัลให้การ

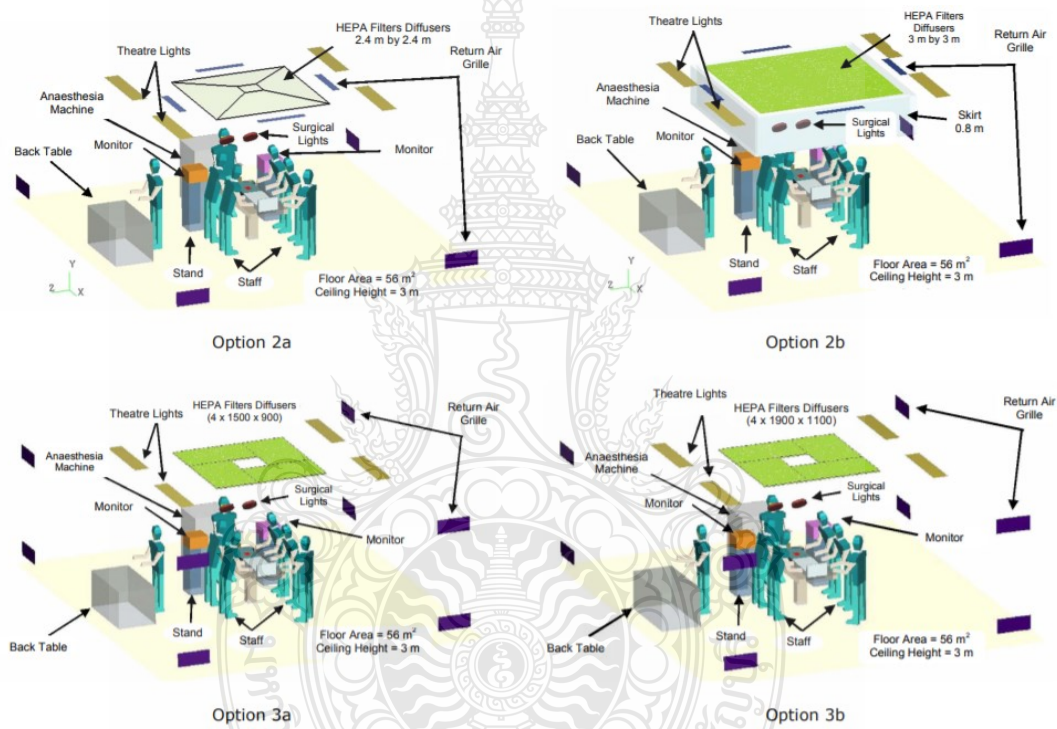
อ่านความถี่ที่เสถียรแล้ว เครื่องพ่นยาจะถูกเปิดเป็นเวลา 3 วินาทีแล้วจึงปิด อัตราการพ่นละอองต่ำสุดคือ 0.25 มล./นาที และเส้นผ่านศูนย์กลางตามหลักอากาศพลศาสตร์ของมวลอนุภาค (MMAD) คือ 5 ไมโครเมตร ใช้หัวฉีดใหญ่ที่มีชีวิตถูกยับยั้งการทำงานโดยรังสียูวีในสารเชื่อมขวางรังสีอัลตราไวโอเล็ต UVP CL-1000 เพื่อเป็นการป้องกันความปลอดภัยเพิ่มเติม การทดลองพ่นยาทั้งหมดได้ดำเนินการในตู้ความปลอดภัยทางชีวภาพระดับ 2 [33]



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนทีละขั้นตอนสำหรับการผลิตชิปอิมมูโนเซ็นเซอร์ QCM [33]

Rafat Al-Waked ได้ทำการทดสอบผลกระทบของกลยุทธ์การระบายอากาศภายใต้หัวข้อการควบคุมการติดเชื้อภายในโรงพยาบาล ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณพลศาสตร์ของไหล CFD โดยการศึกษาได้สร้างแบบจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ CFD เชิงพาณิชย์ CFD ACE v2004 จาก CFD Research Corporation การศึกษานี้เสนอให้ตรวจสอบตัวเลือกการระบายอากาศที่แตกต่างกันสำหรับห้องผ่าตัดทั้งแบบมาตรฐาน และแบบออร์โธปิดิกส์ ภายในโรงพยาบาล เพื่อพัฒนาการให้บริการในโรงพยาบาล ตัวเลือกการระบายอากาศที่มีอยู่คือระบบ UCV ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และนำมา

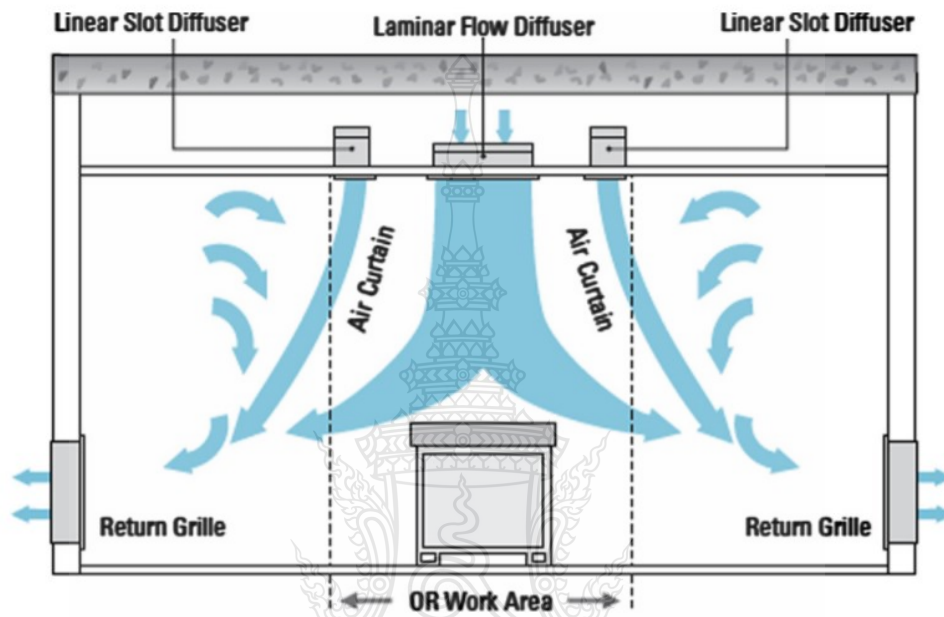
เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางเลือกที่ประหยัดกว่า ทำการศึกษาระบบแต่ละประเภทในรูปแบบขนาดต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.22 โดยมีและไม่มีกระโปรงและไฟผ่าตัดแบบต่าง ๆ ผลของการไหลความร้อนแบบเบาในการผ่าตัด, การเปลี่ยนแปลงของอากาศต่อชั่วโมง (ACH), การแยกอากาศออกตรวจสอบเปอร์เซ็นต์และตำแหน่งของช่องลมออกด้วย จากผลการศึกษาพบว่า ช่องจ่ายอากาศที่ติดตั้งระบบ UCV 3000×3000 ที่สามารถจ่ายได้อย่างน้อย 63 ACH และไฟผ่าตัดที่มีพื้นที่ใบนาน้อยที่สุดเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ ความต้องการ และความคุ้มค่า นอกจากนี้ พบว่าคุณภาพอากาศขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอากาศต่อชั่วโมง [34]



รูปที่ 2.22 ตัวเลือกการระบายอากาศที่ใช้ในการศึกษา [34]

Zhiqiang (John) Zhain และ Anna L. Osborne ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบปรับอากาศที่ดีขึ้นสำหรับห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลจากการทำแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ มีการตั้งค่าโมเดลพื้นฐานในซอฟต์แวร์ CFD งานคล้ายกรรมใน ORs อากาศที่กรองด้วย HEPA และกระแสลม Laminar แนวตั้งลง มักถูกใช้เพื่อให้อากาศบริสุทธิ์ไหลออกจากเพดานในทิศทางเดียว ล้างตัวผู้ป่วย และไหลออกจาก ช่องระบายอากาศที่ผนังด้านข้างใกล้พื้น ดังรูปที่ 2.23 อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า วิธีการศึกษารูปแบบการไหลแบบทิศทางเดียวไม่ได้ช่วยให้บรรลุผล สิ่งที่ต้องสนใจคือภาวะ

ปลอดภัยในอากาศที่เหมาะสมที่สุด ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพื้นที่การไหลราบเรียบ
สูงสุด ช่วยแก้ไขปัญหานี้และให้ระดับการปนเปื้อนที่ต่ำมาก การใช้ม่านอากาศที่กำหนดโดยผู้ผลิต
ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์อาจไม่ให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจด้วย เนื่องจากระดับการปนเปื้อนที่เห็นได้ชัดเจนที่
บริเวณแผล [35]



รูปที่ 2.23 แผนภาพของระบบม่านอากาศทั่วไป [35]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์แบบพกพาดังรูปที่ 3.1 ถูกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มี Intel Core i7-10th gen เป็นโมบายล์โปรเซสเซอร์ โดยแล็ปท็อปเครื่องนี้ยังมีระบบจัดเก็บข้อมูลคู่ และกราฟิก NVIDIA GeForce เพื่อใช้งานบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง โปรเซสเซอร์ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 10 และมีหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (RAM) 16.00 GB เป็นหน่วยความจำหลัก



รูปที่ 3.1 คอมพิวเตอร์แบบพกพา

3.1.2 ซอฟต์แวร์ : โปรแกรม SOLIDWORKS

ซอฟต์แวร์ด้านคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ (รูปที่ 3.2) ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ โดยสามารถกำหนดวัสดุ และบอกคุณสมบัติต่าง ๆ ของแบบจำลองได้ นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชัน Assembly เพื่อรวมชิ้นส่วน 3 มิติเข้าด้วยกันเพื่อประกอบกันเป็นอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในโรงงานที่เราต้องการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.2 โลโก้โปรแกรม SOLIDWORKS

3.1.3 ซอฟต์แวร์ Add-in : SOLIDWORKS Flow Simulation

ซอฟต์แวร์ด้านคอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ Add-in ใน SOLIDWORKS (รูปที่ 3.3) ที่ทำให้สามารถแก้ไขแบบงานพร้อมวิเคราะห์หาผลลัพธ์ได้ทันที ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล และแสดงผลเป็นค่าตัวเลข เคนสี หรือภาพเคลื่อนไหว ช่วยทำให้เราเข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและสปอร์ได้ง่ายขึ้น และยังสามารถวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ พัดลมดูดอากาศ และประตู ภายใต้เงื่อนไขที่เราต้องการทดสอบได้



รูปที่ 3.3 โลโก้ซอฟต์แวร์ Add-in : SOLIDWORKS Flow Simulation

3.1.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม

การวัดความเร็วลมในที่ต่ำ ๆ จะใช้ มาตรฐาน หรือ แอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) โดยการศึกษาในครั้งนี้ใช้แอนิโมมิเตอร์แบบพกพา NKTech รุ่น NK-W0 ที่มีการแสดงผลความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในรูปแบบดิจิตอล อุปกรณ์นี้จะถูกนำไปวัดค่าในบริเวณต่าง ๆ ทั้งตรงประตูทางเข้าโรงเรียน ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศ และทางออกของอากาศด้านนอกโรงเรียน (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แอนิโมมิเตอร์แบบพกพา NKTech รุ่น NK-W0

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงวางแผนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

- 1) การศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ
- 2) การเขียนแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ต้นแบบ และโรงเรือนทดสอบ
- 3) การจำลองระบบการทำงานของไบโอเซนเซอร์ภายในโรงเรือนขนาดเล็ก
- 4) การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

วัตถุประสงค์ในการศึกษาขั้นตอนนี้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผักสลัดสำหรับนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ มีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาปัญหา และวิธีการจัดการโรคพืชของเกษตรกร

จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีเพื่อช่วยป้องกันเชื้อโรคที่เข้ามาทำร้ายผักสลัดที่ปลูกไว้ หากไม่สามารถป้องกันและดูแลผักได้อย่างถูกต้องจะทำให้ผักเกิดโรค และขายไม่ได้ราคาเท่าที่ควร ปัจจุบันเกษตรกรจึงได้ใช้สารเคมีจำนวนมากในการดูแล มีการฉีดพ่นสารเคมีทุกสัปดาห์ ทำให้ไม่ปลอดภัยกับทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค อีกทั้งเมื่อผักสลัดหนึ่งต้นติดเชื้อโรคเยอะมากจำเป็นต้องทำการตัดทิ้งก่อน ทำให้ไม่ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบถึงปัญหาปริมาณสารเคมีรักษาโรคทั้งหมด เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลผลิต การนำอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์เข้ามาใช้งาน ช่วยแนะนำให้ลดการฉีดพ่นสารเคมีเพียง 1 ครั้งภายในสัปดาห์ที่มีการแจ้งเตือนการระบาดเท่านั้น

- 2) การศึกษาข้อมูลพื้นฐานเพื่อประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

การศึกษาประเภทของสารทางชีวภาพที่สามารถวินิจฉัยได้ และวิธีการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.1 ถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดในโรงเรือนให้มีความจำเพาะ และเสถียร ขนาดเล็กที่สามารถพกพาและติดตั้งในโรงเรือนได้ โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนทางชีวภาพ ส่วนทางด้าน การเปลี่ยนสัญญาณ และส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ทั่วถึงขึ้น

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบจำเพาะในการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

สารทางชีวภาพ	ทรานสดิวเซอร์
(MAB) BC-12.CA4	ออปติคัลไบโอเซนเซอร์
β -tubulin	ไบโอเซนเซอร์ที่ใช้กรดนิวคลีอิก
Cutinase A	นาโนไบโอเซนเซอร์

3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ต้นแบบ

จากการศึกษาข้อมูลที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ จึงได้ดำเนินการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์เพื่อตรวจจับโรคเน่าในผักสลัด ซึ่งกำหนดเกณฑ์และรายละเอียดการออกแบบดังต่อไปนี้

1) เกณฑ์ในการออกแบบ ที่สำคัญดังนี้

- ตรวจจับโรคเน่าในผักสลัด ด้วยการใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดี β -tubulin เป็นสารทางชีวภาพ และออปติคัลไบโอเซนเซอร์แบบ PZ เป็นทรานสดิวเซอร์

- กลไกในการตรวจจับละเอียดที่มีสปอร์ของเชื้อรา

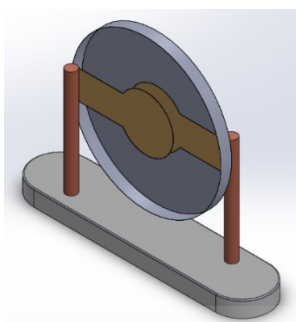
- มีขนาดเล็กที่สามารถพกพา และติดตั้งในโรงเรือนได้

2) รายละเอียดในการออกแบบ

ในการออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์เพื่อตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดได้ออกแบบให้มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ส่วนทางชีวภาพ ส่วนทางด้าน การเปลี่ยนสัญญาณ และส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ทั่วถึงขึ้น โดยแต่ละส่วนมีการสร้างดังนี้

ส่วนทางชีวภาพ

โมโนโคลนอลแอนติบอดี β -tubulin ที่มีชื่อว่า Botrytis cinerea Antibody BC-12.CA4 ถูกใช้เป็นสารทางชีวภาพเป้าหมาย สำหรับการตรวจหา *Botrytis cinerea* ในผักสลัด ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ในระยะต้นกล้า และก่อให้เกิดโรคโคนเน่า โดยมีสปอร์และโคนิเดียทำหน้าที่ในการขยายพันธุ์ หรือแพร่กระจาย การศึกษานี้มีการใช้สารดังกล่าวสำหรับเคลือบติดบนแผ่นควอทซ์คริสตัลเพื่อส่งสัญญาณให้กับขั้นตอนต่อไป อิเล็กโทรดของผลึกควอทซ์คริสตัลดังกล่าวประกอบด้วย แผ่นทองคำหนา 1,000 Å (Au) และไทเทเนียมยึดเกาะหนา 100 Å (Ti) อิเล็กโทรดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.1 มม. และยึดติดอยู่กับแผ่นใสพื้นผิวเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.0 มม. ที่ยึดอิเล็กโทรดทำมาจากพลาสติก ABS ที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ชิ้นส่วนถูกออกแบบและกำหนดคุณสมบัติในโปรแกรม SOLIDWORKS ดังรูปที่ 3.5



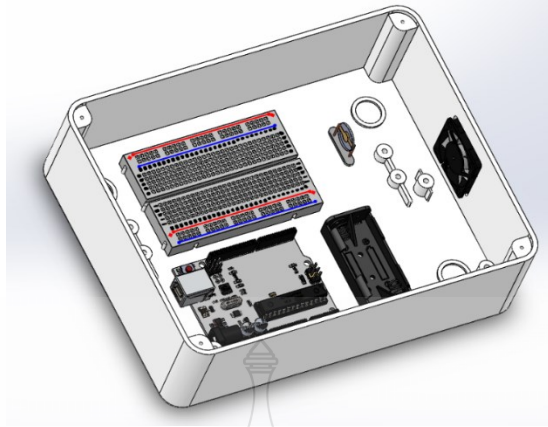
รูปที่ 3.5 ผลึกควอตซ์ไมโครบาลานซ์ 14.0 มม. Ti/Au

ส่วนทางการเปลี่ยนสัญญาณ

ออปติคัลไบโอเซนเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (PZ) ถูกใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ มีส่วนประกอบคือแท่งคริสตัลควอตซ์ที่มีการเคลือบสารโมโนโคลนอลแอนติบอดี β -tubulin ตามส่วนประกอบด้านบน กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ หลังจากนั้นกระแสสลับจะถูกขยายสัญญาณ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ Arduino UNO R3 และ Mini Breadboard ทำหน้าที่ส่งสัญญาณและประมวลผล

ส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ทั่วถึงขึ้น

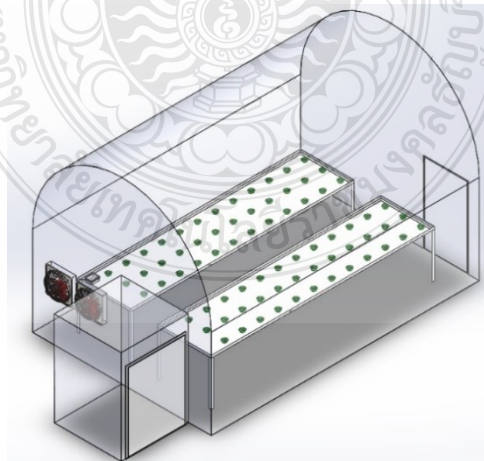
ส่วนประกอบนี้ประกอบไปด้วยพัดลมดูดอากาศขนาดเล็ก และแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นกลไกในการดักจับละอองลอยที่มีสปอร์ของเชื้อรา เนื่องจากอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์จะสามารถใช้ในการตรวจสอบได้เมื่อมีการสัมผัสกับตัวอย่างที่ต้องการทดสอบโดยตรง การใช้พัดลมนี้จะช่วยนำพาสปอร์ในอากาศที่มีขนาดเล็กเข้ามาสัมผัสกับแผ่นคริสตัลควอตซ์ที่มีการเคลือบสารโมโนโคลนอลแอนติบอดี β -tubulin ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โมดูลพัดลมที่เลือกมาทดสอบใช้กระแสไฟตรง 5V สามารถเชื่อมต่อได้ด้วย Arduino และควบคุมความเร็วโดยตรงด้วยสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ข้อมูลจำเพาะของพัดลมนี้คือ ยาว 30 มม. x กว้าง 30 มม. x สูง 7 มม. อุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในกล่องไฟฟ้าพลาสติกกันน้ำ โดยใช้ Assembly ที่เป็นฟังก์ชันใน SOLIDWORKS รวมชิ้นส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ในกล่องไฟฟ้า

3) การจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบ

ทำการจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์เพื่อตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดภายในโรงเรือนขนาดเล็ก รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งไบโอเซนเซอร์บนเตียงเพาะปลูกผักสลัด ยาว 5 ม. x กว้าง 1.2 ม. x สูง 1 ม. พร้อมด้วยระยะห่างการปลูกผักสลัด 40 x 40 ซม. และทำการออกแบบโรงเรือนเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation โดยโรงเรือนทดสอบนี้มีหลังคาโค้งพาราโบลา และโรงเรือนมีขนาด 24 ตารางเมตร โดยมีความกว้าง 4 เมตร และยาว 6 เมตร นอกจากนี้ยังมีประตู และพัดลมดูดอากาศสองตัวสำหรับเก็บอากาศไว้ให้เคลื่อนไปทั่วทั้งเรือนกระจก



รูปที่ 3.7 แผนผังของการปลูกผักกาดหอมในเรือนกระจก

3.2.3 การทดสอบและประเมินระบบการทำงานของไบโอเซนเซอร์

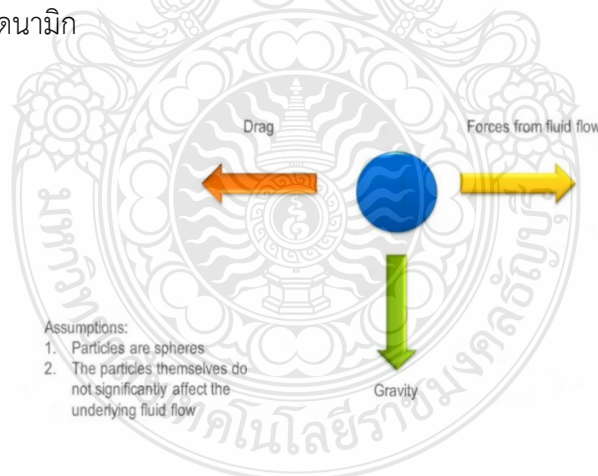
เพื่อให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของของไหล ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาได้แก่ การไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์ จากเนื้อหาของ Solid Solutions [36] ที่ได้ทำการอ้างอิง สมการสำหรับอนุภาคทรงกลมที่ประกอบไปด้วย (3.1) สมการแรง, (3.2) สมการลาก และ (3.3) สมการจำนวนเรย์โนลด์ส และสรุปความสัมพันธ์ของสมการที่ถูกใช้ตามข้อสันนิษฐานดังกล่าวได้ในรูปที่ 3.8

$$m \frac{dv_p}{dt} = - \frac{\rho_f (V_f - V_p) |V_f - V_p|}{2} C_d * A + F_g \quad (3.1)$$

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{4.12}{1 + 0.03Re + 0.48\sqrt{Re}} + 0.38 \quad (3.2)$$

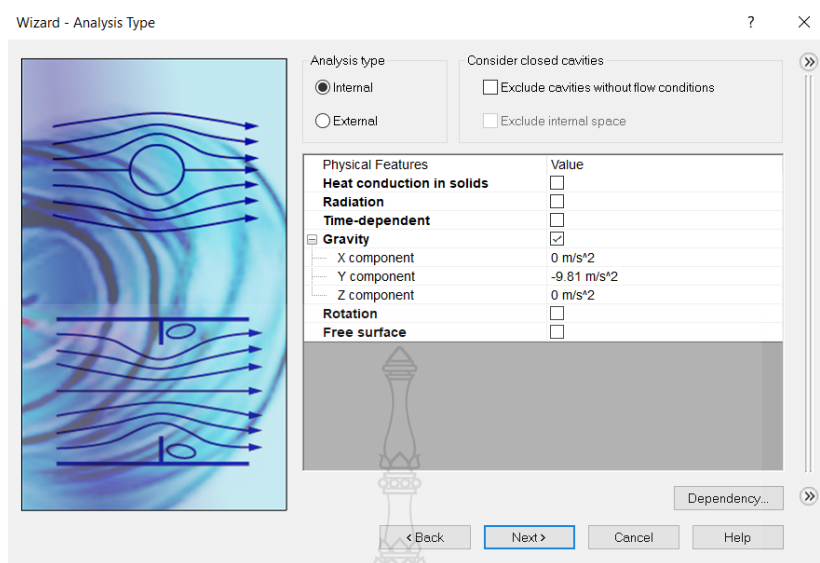
$$Re = \frac{\rho_f |V_f - V_p| d}{\mu} \quad (3.3)$$

โดยที่ m = มวลของอนุภาค, V_p = ความเร็วของอนุภาค, V_f = ความเร็วของของไหล, ρ_f = ความหนาแน่นของของเหลว, F_g = แรงโน้มถ่วง, A = พื้นที่ด้านหน้าของอนุภาค, C_d = สัมประสิทธิ์การลากของอนุภาค, Re = หมายเลข Reynolds, d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และ μ = ความหนืดแบบไดนามิก



รูปที่ 3.8 สมการที่ใช้บังคับและสมมติฐานสำหรับการศึกษาอนุภาค

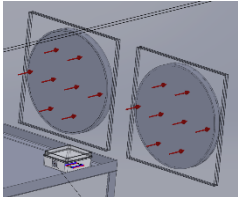
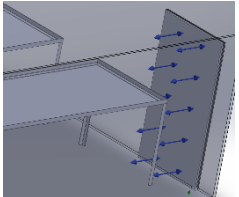
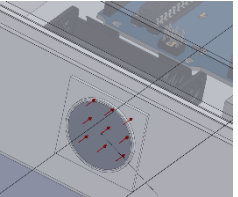
การวิเคราะห์นี้เป็นการตรวจสอบการไหลภายในผ่านโครงสร้าง การจำลองการไหลนี้คำนึงถึงทั้งแบบ Laminar และแบบ Turbulent การตั้งค่ามีการเลือกใช้ค่าเริ่มต้นทั้งหมด ยกเว้นค่าอุณหภูมิให้กำหนดเป็น 30°C เนื่องจากภายในโรงเรือนมีความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิห้อง กำหนดให้มีผลกระทบจากแรงโน้มถ่วง -9.81 m/s^2 ที่ถูกเลือกบนแกนตั้งในระนาบระบบพิกัด (แกน Y) ตามรูปที่ 3.9



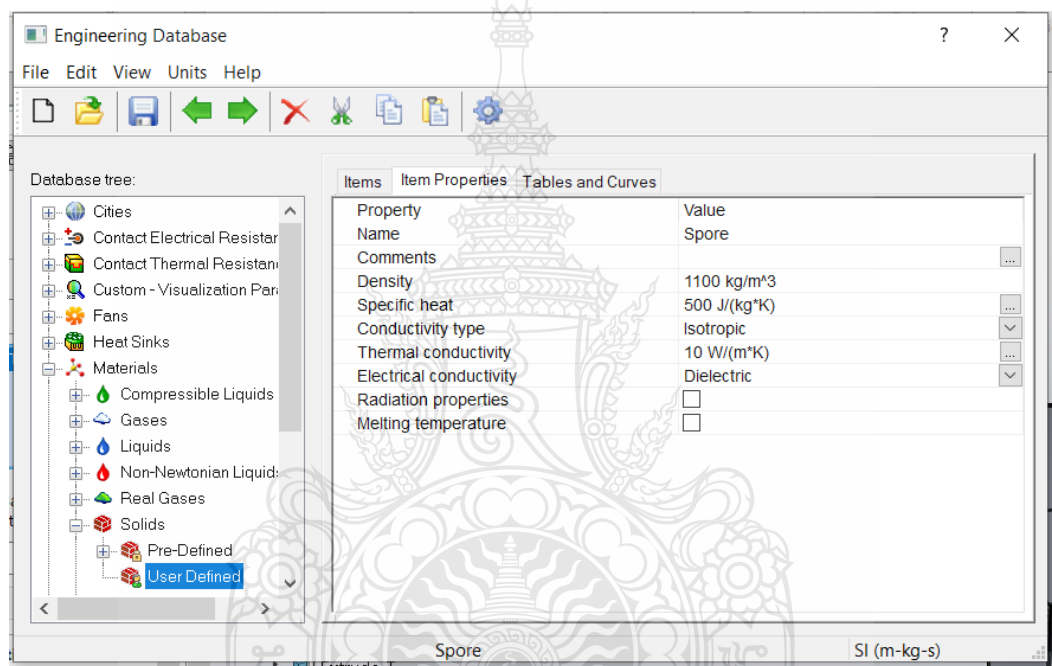
รูปที่ 3.9 การตั้งค่าการวิเคราะห์

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตนั้นจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สามารถจำลองระบบได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด เราได้ทำการศึกษาเมื่ออากาศไหลเข้าทางประตูตามสภาวะปกติ แล้วถูกพัดลมดูดอากาศหมุนเวียนอากาศออกสู่ภายนอก และเราต้องการตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของอากาศเข้าสู่อุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ โดยมีการตั้งค่าพื้นฐานตามตารางที่ 3.2 ด้านล่างนี้

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบเขตศึกษา

ตำแหน่ง	พัดลมดูดอากาศ	ประตู	พัดลมไบโอเซนเซอร์
ประเภท	Flow openings	Pressure openings	Flow openings
ตัวเลือก	Outlet Volume Flow	Environment pressure	Inlet Volume Flow
พารามิเตอร์	15.5 m ³ /s	101325 Pa	0.00755 m ³ /s
รูปภาพประกอบ			

นอกจากนี้ยังต้องทำการกำหนดวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสปอร์ โดยใช้คุณสมบัติ Solids-user Defined ที่มีอยู่ใน SOLIDWORKS ดังรูปที่ 3.10 โดยการกำหนดค่าดังกล่าวนี้ผลมาจากการวิจัยของ Madsen ที่กล่าวว่าชิ้นส่วนของเชื้อราจะแพร่กระจายเมื่อสัมผัสกับกระแสลมตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.5 เมตรต่อวินาที และมีขนาดระหว่าง 2 ถึง 10 ไมโครเมตร [37] นอกจากนี้ ความหนาแน่นของสปอร์เฉลี่ยคือ 1.1 g/cm^3 ตามที่สังเกตโดย Zanatta et al [38] ดังนั้นสมบัติอนุภาคของการจำลองนี้จึงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1×10^{-5} เมตร อัตราการไหลของมวล 1100 กิโลกรัม/วินาที และความเร็วของอนุภาคเริ่มต้นที่ 1.5 เมตร/วินาที



รูปที่ 3.10 การกำหนดวัสดุใหม่ในโปรแกรม SOLIDWORKS

การทดสอบค่าพารามิเตอร์นั้น เราได้ทำการปรับเปลี่ยนจากค่าพื้นฐานเดิม และทำการทดสอบใหม่ เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์ โดยได้ทำการทดสอบพารามิเตอร์แบ่งออกเป็น 3 กรณี ต่อไปนี้

กรณีที่ 1 : ศึกษาความสามารถของพัดลมดูดอากาศ

ทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศภายในโรงเรือน โดยวิเคราะห์จากอัตราการไหลของปริมาตรขาออกคือ 7, 12.5 และ 15.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามความสามารถของพัดลม

ดูอากาศ กรณีนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากสิ่งแวดล้อมที่บริเวณประตู และอัตราการไหลของปริมาตรเข้าบนด้านหน้าของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

กรณีที่ 2 : ศึกษากระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์

ทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของสปอร์เชื้อราภายในโรงเรือนเดิม โดยวิเคราะห์จากกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 0.5, 1 และ 1.5 เมตร/วินาที กรณีนี้เป็นการปรับเปลี่ยนเพียงคุณสมบัติของอนุภาคที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการไหลเท่านั้น แต่การตั้งค่าเงื่อนไขขอบเขตการศึกษาให้คงไว้ตามเดิม การศึกษานี้เพียงต้องการทราบพฤติกรรมการไหลของสปอร์ขนาดใหญ่ว่ามีการเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างไรต่อกระแสลมต่าง ๆ

กรณีที่ 3 : ศึกษาขนาดของสปอร์

ทดสอบการไหลของสปอร์ขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครเมตร โดยมีกระแสลมคงที่ 1.5 เมตร/วินาที ภายในโรงเรือนขนาดเล็กดังกล่าว กรณีนี้เป็นการปรับเปลี่ยนเพียงคุณสมบัติของอนุภาคที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการไหลเท่านั้น แต่การตั้งค่าเงื่อนไขขอบเขตการศึกษาให้คงไว้ตามเดิม การศึกษานี้ต้องการทราบว่าถ้าสปอร์มีขนาดแตกต่างกันจะมีผลต่อการฟุ้งกระจายของสปอร์อย่างไรบ้าง

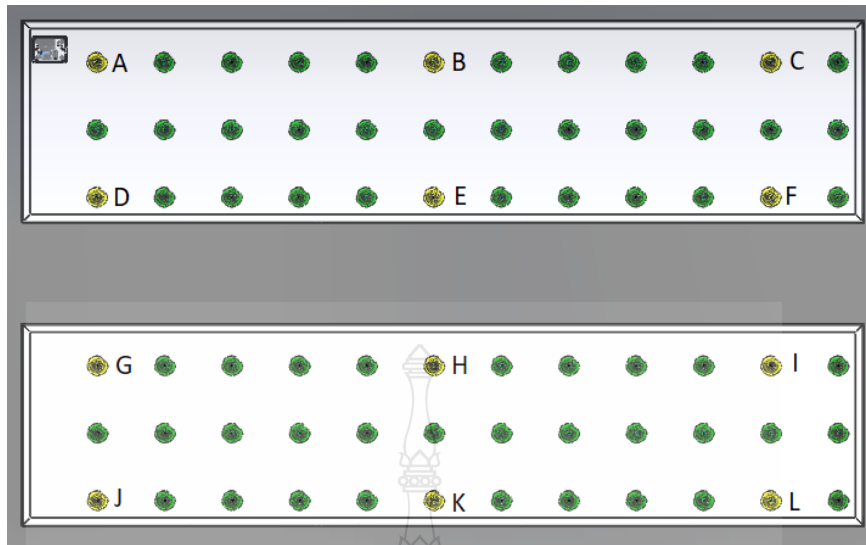
3.2.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

เริ่มต้นการวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในโรงเรือน เมื่อมีการจำลองการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ 1 คู่ และประตู 1 บาน ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนทั้งหมด 4 กรณี

- กรณี (a) ประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว
- กรณี (b) ประตูอยู่ตรงมุมและพัดลมสองตัวแยกกัน
- กรณี (c) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวอยู่ในมุม
- กรณี (d) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวแยกจากกัน

หลังจากนั้นทดสอบระบบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดเมื่อมีการติดตั้งในบริเวณต่าง ๆ ได้แก่ มุมซ้าย กึ่งกลาง และมุมขวา ภายในโรงเรือนกรณี (a) ที่มีประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว

สุดท้ายศึกษาการแยกตัวของอนุภาคที่มีการกระจายสปอร์จากจุดจำลองผักสลัดที่ติดโรคในตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วโรงเรือนเป็นจำนวน 12 จุดทดสอบ เพื่อวิเคราะห์อนุภาคที่ตรวจพบในไบโอเซนเซอร์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ตำแหน่งที่เลือกในการศึกษานี้อยู่ที่มุมหนึ่งของเรือนกระจกที่แสดงในรูปที่ 3.11 ผักสีเขียวแสดงถึงผักกาดหอมที่ติดสุขภาพ โดยที่ผักสีเหลืองระบุผักกาดหอมที่ติดเชื้อบน 12 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน (ตำแหน่ง A ถึง L) โดยวัดปริมาณสปอร์ที่สัมผัสบน 3 พื้นผิว ได้แก่ ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศทั้ง 2 ตัว และด้านหน้าอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งของไบโอเซนเซอร์และตำแหน่งต่าง ๆ ของฝักที่ติดเชื้อ

เนื่องจากการศึกษานี้ไม่ได้มีการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) จึงไม่สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานต้นแบบตามสภาพใช้งานจริงและนำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ได้ งานวิจัยนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ภายในโรงเรือนแบบต่าง ๆ สำหรับหาข้อบ่งพร่อง และให้คำแนะนำการใช้งานอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ภายในโรงเรือนแก่ผู้ใช้งานในอนาคต โดยการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากแบบจำลองเทียบกับระบบจริงนั้นสามารถทำได้เพียงวัดค่าความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณประตูทางเข้าโรงเรือน ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศ และทางออกของอากาศด้านนอกโรงเรือนเท่านั้น

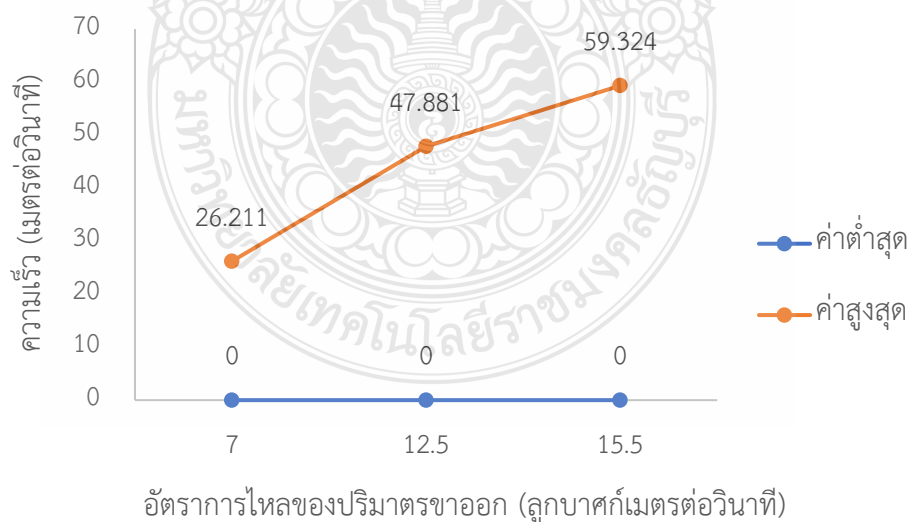
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการดำเนินงานวิจัยตามวิธีการที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ ประกอบด้วยผลทดสอบพารามิเตอร์ และประเมินระบบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

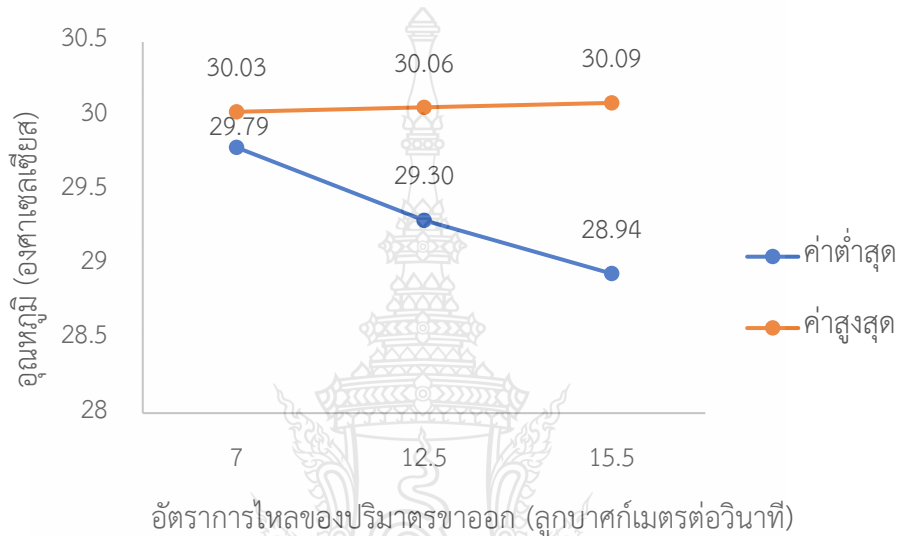
4.1 ผลการศึกษาความสามารถของพัดลมดูดอากาศ

สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศภายในโรงเรือน เมื่ออัตราการไหลของปริมาตรขาออกมีค่า 7, 12.5 และ 15.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามความสามารถของพัดลมดูดอากาศ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากสิ่งแวดล้อมที่บริเวณประตู และอัตราการไหลของปริมาตรขาเข้าบนด้านหน้าของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ การศึกษานี้นำเสนอข้อมูลโดยสรุป และแสดงค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ภาคผนวก ก) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความเร็วของอากาศดังรูปที่ 4.1 พบว่าแม้ว่าจะเพิ่มอัตราการไหลของปริมาตรขาออก ค่าความเร็วต่ำสุดก็ยังอยู่ที่ 0 เมตรต่อวินาที แต่สามารถช่วยเพิ่มค่าความเร็วสูงสุดให้เพิ่มขึ้นได้ซึ่งเป็นผลดีต่อการระบายอากาศภายในโรงเรือน



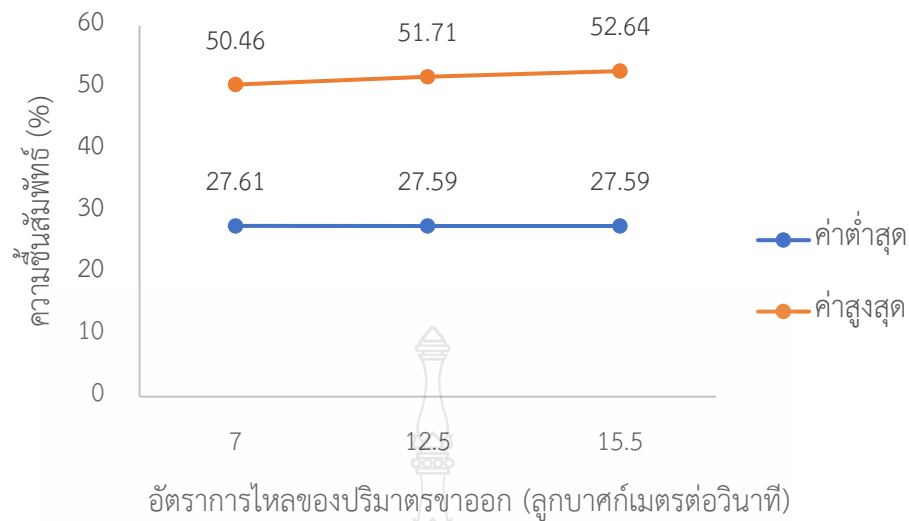
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความเร็วของอากาศ

นอกจากนี้ พบว่าอุณหภูมิของอากาศทั้งระบบและอุณหภูมิของของไหลมีค่าเท่ากัน เนื่องจากการศึกษาการไหลของอากาศ ไม่ใช่สารอื่นใด จากรูปที่ 4.2 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของปริมาตรขาออก ค่าอุณหภูมิต่ำสุดจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ค่าอุณหภูมิสูงสุดนั้นแทบจะคงที่ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิตามค่าตั้งต้นที่กำหนดให้ภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิเป็น 30°C ทำให้ทราบว่ายิ่งใช้พัดลมดูดอากาศที่มีความสามารถสูง จะช่วยระบายความร้อนในโรงเรือนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีผลดีต่อการดูแลรักษาผักสลัด



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและอุณหภูมิของอากาศ

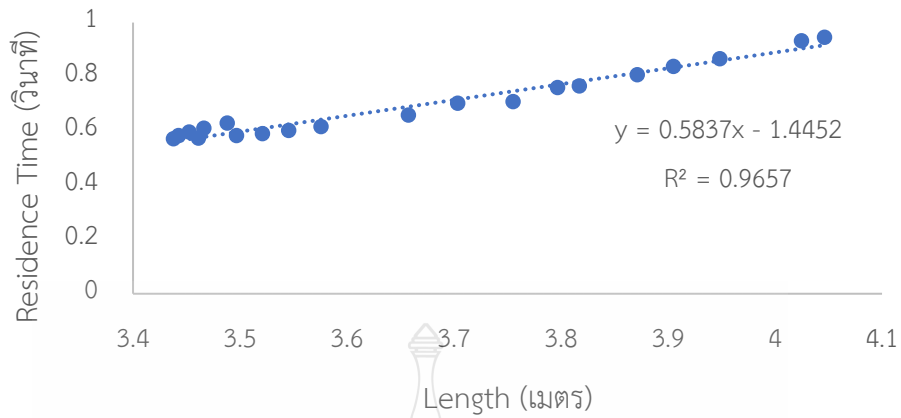
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุดแทบจะไม่แตกต่างกันในแต่ละกรณี แม้ว่าจะเพิ่มความสามารถในการระบายอากาศของพัดลมดูดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดก็แทบจะไม่ลดลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ยังคงอยู่ในระดับที่เชื่อว่าไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะดังกล่าว จึงกล่าวได้ว่าพัดลมดูดอากาศก็มีความจำเป็นในการดูแลรักษาผักสลัด และและลดปัญหาโรคเน่าที่เกิดจากเชื้อราได้ (รูปที่ 4.3)



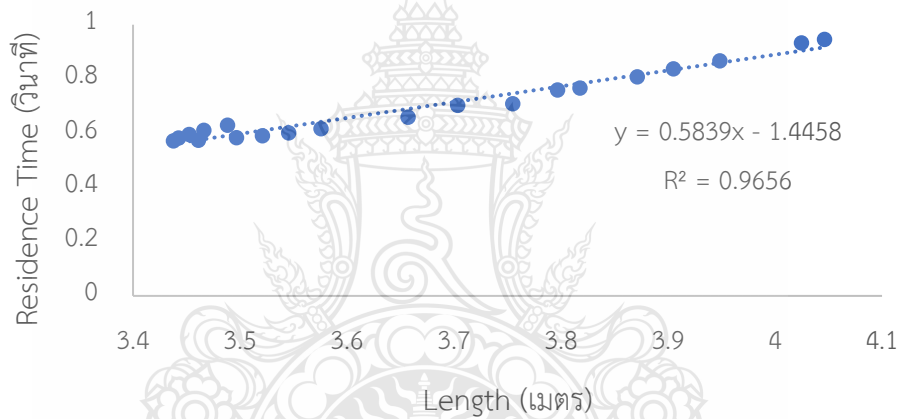
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรขาออกและความขึ้นสัมพันธ์

4.2 ผลการศึกษากระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์

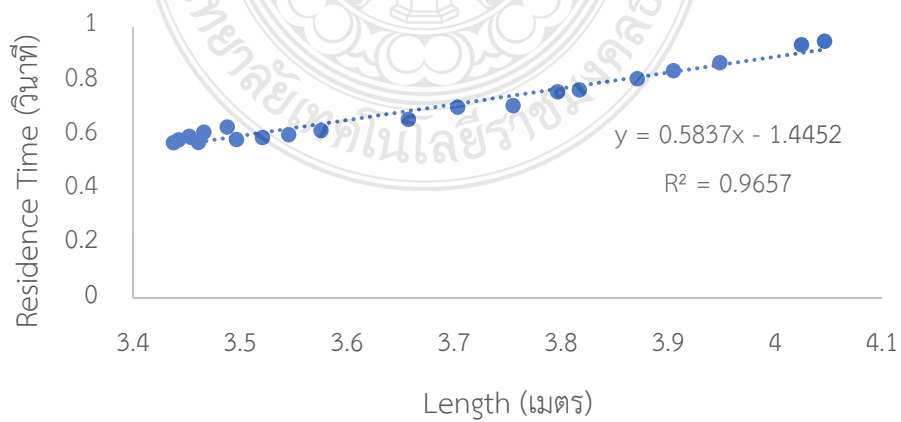
การทดสอบพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับการไหลของสปอร์เชื้อราภายในโรงเรือน โดยวิเคราะห์จากกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 0.5, 1 และ 1.5 เมตร/วินาที มีการจำลองการไหลของอนุภาคทั้งหมด 20 อนุภาคด้วยฟังก์ชันที่ชื่อว่า Particle Study ในโปรแกรม Flow Simulation (ภาคผนวก ข) เนื่องจากทำการทดสอบเบื้องต้นแล้วพบว่าค่าสถิติของอนุภาคนั้นแสดงผลไม่ครบตามจำนวนอนุภาคที่ตั้งต้นถ้ามีค่าน้อยกว่า 20 ลงไป นอกจากนี้ยังพบว่าหากปรับกระแสลมให้สูงขึ้น ระบบยังคงสามารถประมวลผลทางสถิติได้อยู่จนถึง 300 เมตร/วินาที หลังจากนั้นจะไม่สามารถหาค่าได้ จากการศึกษาได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 เมื่อกระแสลมมีค่า 0.5, 1 และ 1.5 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงระยะทางที่อนุภาคเดินทางขณะที่อยู่ในโดเมน (Length) และระยะเวลาที่อนุภาคอยู่ในโดเมน (Residence Time) ลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกันทั้ง 3 กรณี ยิ่งเคลื่อนที่ไปได้ไกลก็มักจะมีเวลาที่อนุภาคคงอยู่ในระบบนานยิ่งขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวค่อนข้างเป็นเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) เกือบเท่ากันทุกกรณี



รูปที่ 4.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 0.5 เมตร/วินาที

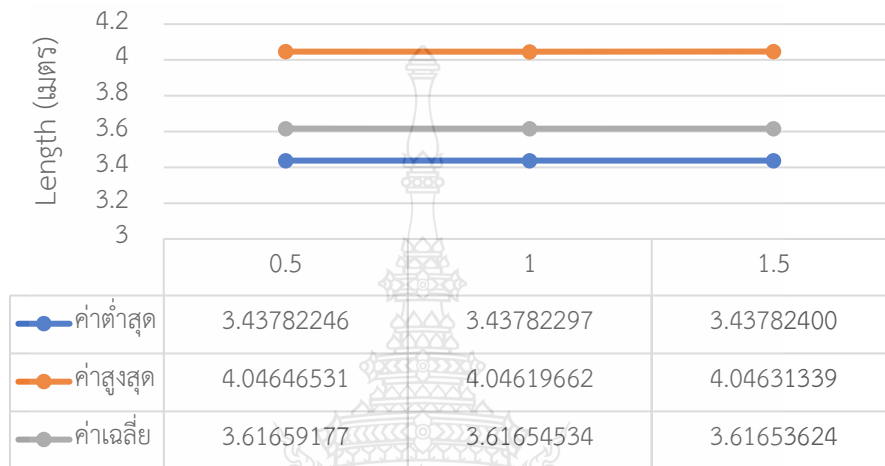


รูปที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 1 เมตร/วินาที



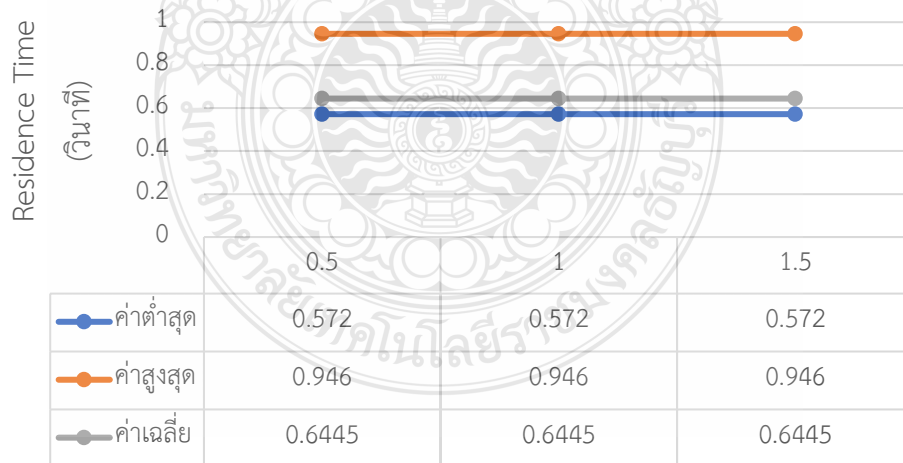
รูปที่ 4.6 การเคลื่อนที่ของอนุภาคสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 1.5 เมตร/วินาที

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติของทั้ง 20 อนุภาค จากทั้ง 3 กรณีการศึกษา พบว่าทุกอนุภาคตัวอย่างมีการเคลื่อนที่แบบเดียวกัน ค่าความยาวต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (รูปที่ 4.7) และเวลามีค่าเท่ากันทุกกรณี (รูปที่ 4.8) สรุปได้ว่าขนาดของกระแสมเริ่มต้นนั้นไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสปอร์



กระแสมช่วยพัดพาสปอร์ (เมตรต่อวินาที)

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความยาวของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของกระแสม



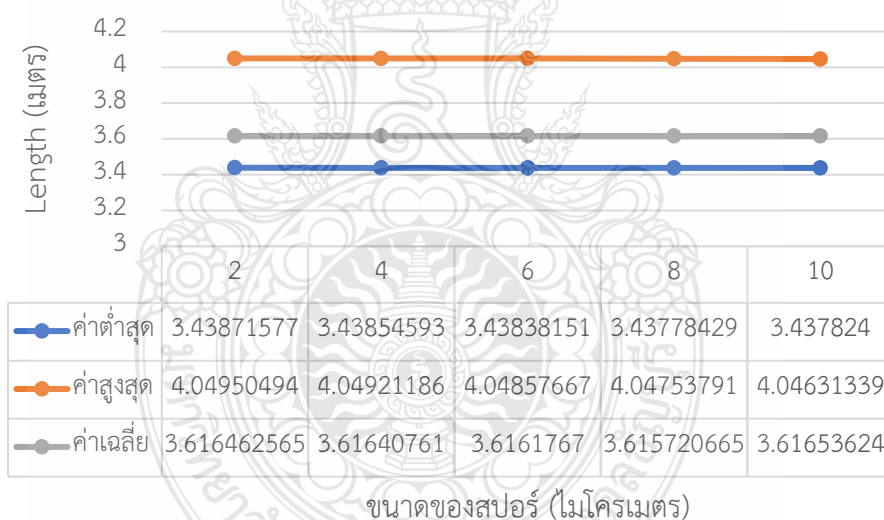
กระแสมช่วยพัดพาสปอร์ (เมตรต่อวินาที)

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบเวลาของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของกระแสม

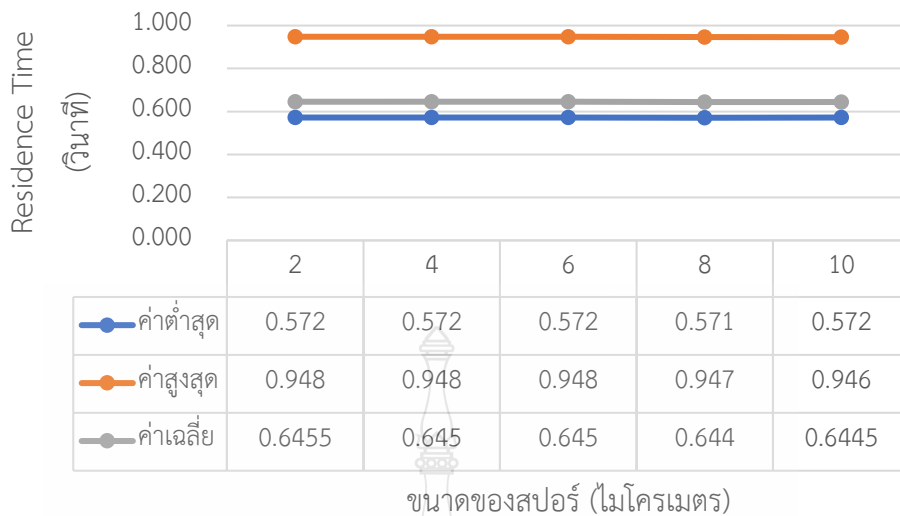
4.3 ผลการศึกษาขนาดของสปอร์

จากการทดสอบการไหลของสปอร์ขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครเมตร โดยมี กระแสลมคงที่ 1.5 เมตร/วินาที ภายในโรงเรือนขนาดเล็ก มีการจำลองการไหลของอนุภาคทั้งหมด 20 อนุภาคด้วยฟังก์ชันที่ชื่อว่า Particle Study ในโปรแกรม Flow Simulation (ภาคผนวก ค) จาก การศึกษานี้ได้ความสัมพันธ์ของระยะทางที่อนุภาคเดินทางขณะที่อยู่ในโดเมน (Length) และระยะเวลา ที่อนุภาคอยู่ในโดเมน (Residence Time) ของแต่ละอนุภาคเหมือนกับกรณีศึกษา 4.2 ก่อนหน้า ซึ่งมี ลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกันทั้ง 5 กรณี ยิ่งเคลื่อนที่ไปได้ไกลก็มักจะมีเวลาที่อนุภาคคงอยู่ในระบบ นานยิ่งขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) บนเส้นตรงเข้าใกล้ 1 และเกือบเท่ากันทุกกรณี

การเปรียบเทียบค่าทางสถิติของทั้ง 20 อนุภาค จากทั้ง 5 กรณีการศึกษา พบว่าทุกอนุภาค ตัวอย่างมีการเคลื่อนที่แบบเดียวกัน ค่าความยาวต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (รูปที่ 4.9) และเวลามีค่า เกือบเท่ากันทุกกรณี (รูปที่ 4.10) สรุปได้ว่าขนาดของสปอร์ ไม่ว่าจะมีความเล็กหรือใหญ่นั้นไม่มีผลต่อ การเคลื่อนที่ของสปอร์



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบความยาวของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของสปอร์



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบเวลาของการเคลื่อนที่ของสปอร์ในแต่ละขนาดของสปอร์

4.4 ผลการเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในโรงเรือน

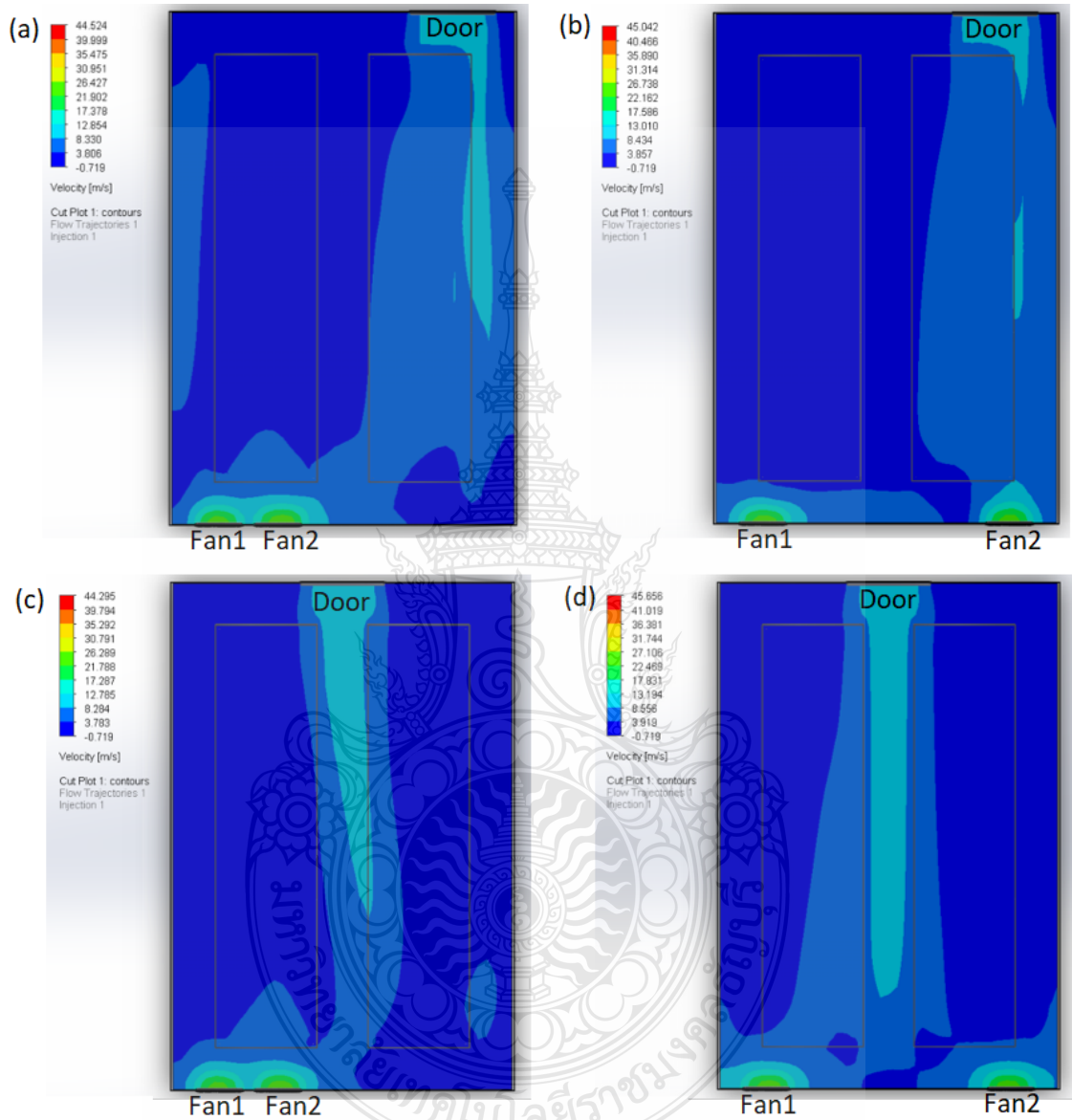
จากการเปรียบเทียบการไหลของอากาศภายในโรงเรือนทั้ง 4 กรณี ที่มีการจำลองการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ 1 คู่ (Fan1 และ Fan2) และประตู 1 บาน (Door) ในตำแหน่งที่แตกต่างกันดังนี้

- กรณี (a) ประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว
- กรณี (b) ประตูอยู่ตรงมุมและพัดลมสองตัวแยกกัน
- กรณี (c) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวอยู่ในมุม
- กรณี (d) ประตูอยู่ตรงกลางและพัดลมสองตัวแยกจากกัน

ทำการวิเคราะห์ภาพหน้าตัด โดยเลือกระนาบซึ่งอยู่บนแกน Z ที่ระดับพารามิเตอร์ของการตั้งค่าเริ่มต้นคือ 3.47025791 เมตร หลังจากการจำลองแล้ว ผลลัพธ์ความเร็วจะแสดงขึ้น โดยความเร็วจะถูกแบ่งออกเป็นสีบไซนสี ตามค่าของมันในหน่วยเมตรต่อวินาที สำหรับส่วนประกอบที่ไม่จำเป็นในการคำนวณ รวมถึงปริมาตรของห้องที่อยู่ติดกับเรือนกระจก ใบพัดของพัดลม และฝัก จะถูกละเลยสำหรับการจำลองนี้ เนื่องจากห้องขนาดเล็กและพัดลมดังกล่าวไม่เกี่ยวข้องกับปริมาตรของเรือนกระจกหลัก และขนาดฝักไม่ได้เป็นจุดสนใจของการศึกษานี้ การดำเนินการนี้ช่วยทำให้ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้เร็วขึ้น

ผลการจำลองในรูปที่ 4.11 แสดงให้เราเห็นว่าปรากฏการณ์ความเร็วลมบนแกน Z เปลี่ยนไปเมื่อประตูและพัดลมสองตัวถูกย้ายออกไป การกำหนดค่าที่เลือกสำหรับตำแหน่งของประตูและพัดลมแสดงถึงการจำลองการติดตั้งตามความเป็นจริงทั้งหมด ความเร็วของอากาศที่เข้าทางประตูลดลงในสถานการณ์ (a) และ (b) ที่ประตูนั้นถูกวางตรงข้าม และเกือบชิดติดกับเตียงเพาะปลูกฝัก เป็นที่ชัดเจน

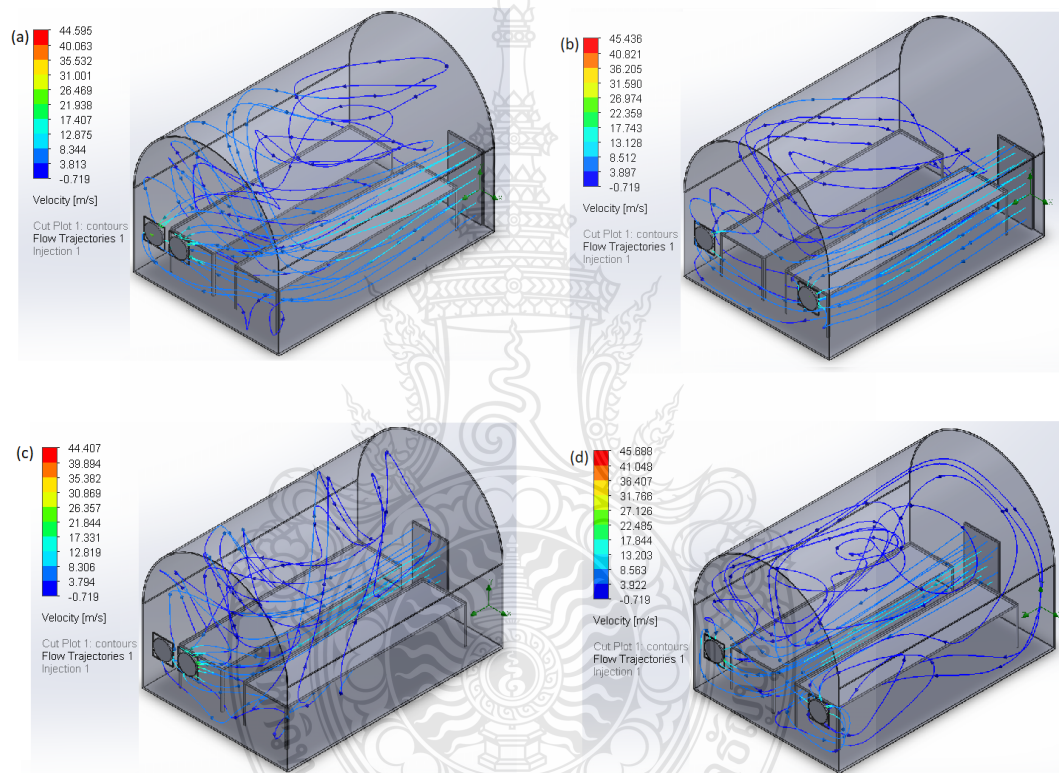
ว่าพื้นที่ความเร็วสูงในกรณี (d) นั้นมากกว่ากรณีอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วลมสูงสุดจะอยู่ที่พัดลมเสมอโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งของประตูและพัดลม



รูปที่ 4.11 ปรากฏการณ์ความเร็วบนแกน Z เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งประตู และพัดลมดูดอากาศ

การไหลของอากาศถูกแสดงเป็นเส้นที่มีหัวลูกศรเพื่อทำความเข้าใจทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศทั่วทั้งเรือนกระจกในรูปที่ 4.12 โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการไหลนี้แสดงผลในตารางที่ 4.1 การตั้งค่านี้อาจเกี่ยวกับความสามารถในการอ่านค่า ควรเลือกให้เหมาะสมเพื่อทำการอ่านค่า และ

วิเคราะห์ผลได้ง่ายที่สุด การทดสอบนี้ช่วยให้มองเห็นเส้นทางอากาศจากประตูสู่พัดลมได้ เมื่อวางประตูไว้ใกล้กับพัดลม อากาศจะไหลเร็วขึ้นและหมุนเวียนได้ดีขึ้น เช่น ในกรณี (c) และ (d) อากาศบางส่วนลอยขึ้นสู่เพดานแล้วค่อย ๆ เคลื่อนเข้าหาพัดลม ในขณะที่บางส่วนไหลตรงไปยังตำแหน่งพัดลม แม้ว่าความเร็วในกรณี (d) จะดีมาก แต่วิธีการไหลไม่สอดคล้องกันในทุกตำแหน่งในเรือนกระจก อันที่จริงอากาศไม่ได้ไหลผ่านพื้นที่บางส่วนของเรือนกระจก หรือมีความเร็วเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงอาจไม่ถึงพอยที่จะนำอนุภาคสปอร์ในพื้นที่เหล่านั้นเข้าสู่เขตการวัดได้ ตามรูปร่างความเร็วและวิธีการไหล กรณี (a) ดูเหมือนจะเป็นการนำไปใช้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษานี้



รูปที่ 4.12 วิธีการไหล เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งประตู และพัดลมดูดอากาศ

ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการไหลนี้

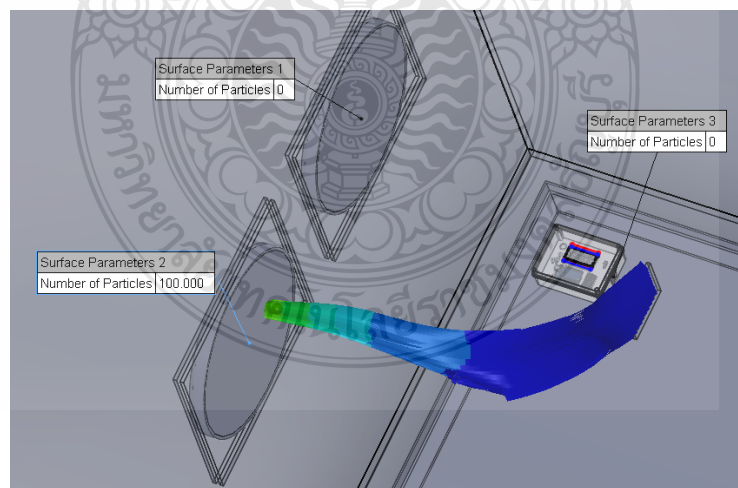
ประเภท	ค่าพารามิเตอร์
ขนาด	0.04 เมตร
ความกว้าง	ระดับ 2
จำนวนลูกศร	20

4.5 ผลการทดสอบตำแหน่งอุปกรณ์ต่อการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์

การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดเมื่อมีการติดตั้งในบริเวณต่าง ๆ ได้แก่ มุมซ้าย กึ่งกลาง และมุมขวา ภายในโรงเรือนกรณี (a) ที่มีประตูอยู่ในแนวทแยงกับพัดลมสองตัว ทำการศึกษาจากกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่ 1.5 เมตรต่อวินาที มีการจำลองการไหลของอนุภาคทั้งหมด 20 อนุภาค เหมือนกับการทดสอบพารามิเตอร์ 4.2 และ 4.3 ก่อนหน้านี้ พบว่าอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ไม่สามารถวัดค่าสปอร์ได้ นอกจากนี้เราพยายามย้ายตำแหน่งของไบโอเซนเซอร์ไปไว้ด้านหน้าพัดลมดูดอากาศ แต่ก็ยังคงไม่สามารถตรวจพบอนุภาคบนอุปกรณ์ได้ เนื่องจากอนุภาคสปอร์มีขนาดเล็กและเบา จึงถูกส่งผ่านพัดลมของไบโอเซนเซอร์ไปยังพัดลมที่ใหญ่กว่า

4.6 ผลการศึกษาการแยกตัวของอนุภาคสปอร์จากจุดจำลองผักสลัดที่ติดโรค

จากการจำลองการทดสอบตำแหน่งการติดเชื้อ ตั้งแต่ตำแหน่ง A ถึง L โดยผักที่ติดเชื้อจะให้จำนวนจุดหรืออนุภาค 100 จุด โดยใช้คุณสมบัติอนุภาคตั้งต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1×10^{-5} เมตร อัตราการไหลของมวล 1100 กิโลกรัม/วินาที และความเร็วของอนุภาคเริ่มต้นที่ 1.5 เมตร/วินาที เป้าหมายคือการดูการกระจายของอนุภาคในกรณี (a) บนพื้นผิวสามแบบซึ่งอยู่ที่ใบหน้าของพัดลมดูดอากาศเรือนกระจกสองตัวและของไบโอเซนเซอร์ ดังรูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างอนุภาคที่ตรวจพบในแต่ละพื้นผิวจากผักที่ติดเชื้อในตำแหน่ง A



รูปที่ 4.13 การแยกตัวของอนุภาคในตำแหน่ง A

การจำลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าอนุภาคไม่มีโอกาสผ่านบนพารามิเตอร์พื้นผิวที่ 3 (Surface Parameter 3) เนื่องจากอีกสองพื้นผิวมีอัตราการไหลของปริมาตรที่แรงกว่ามาก อย่างไรก็ตาม พื้นผิวอีกสองพื้นผิวรับปริมาณสปอร์ที่แตกต่างกันในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่แสดงในตารางที่ 4.2 โดยในสถานการณ์ส่วนใหญ่ อนุภาคทั้งหมดที่ตรวจพบจากพารามิเตอร์พื้นผิวที่ 1 และ 2 มีผลรวมเกือบ 100 อนุภาค ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถพบและตรวจพบสปอร์ส่วนใหญ่ได้ แต่ในบางสถานการณ์ ไม่ใช่ทุกอนุภาคที่ทะลุผ่านพัดลมดูดอากาศเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและตำแหน่งมุมอับอากาศที่จำกัดในพื้นที่โดยรอบของฝักที่ติดเชื้อ อนุภาคที่พัดผ่าน Fan 2 มากกว่า Fan 1 ยกเว้นในกรณีของตำแหน่ง B และ E ซึ่งพิจารณาถึงความเร็วที่ต่ำกว่าและวิธีการไหลของอากาศ อนุภาคจะไม่ถูกพัดไปยัง Fan 2 โดยตรงเหมือนสถานการณ์ส่วนใหญ่ แต่จะหมุนเวียนในเรือนกระจกและกระจายไปทางพัดลมทั้งสองแทน อากาศไม่ไหลผ่านตำแหน่ง J ทำให้อนุภาคสปอร์ไม่สามารถพัดผ่านเข้าสู่โซนการวัดได้

ตารางที่ 4.2 การแยกตัวของอนุภาคในแต่ละตำแหน่ง

ตำแหน่ง	พารามิเตอร์พื้นผิวที่ 1	พารามิเตอร์พื้นผิวที่ 2	ผลรวม
A	0	100	100
B	96	4	100
C	18	76	94
D	0	100	100
E	100	0	100
F	0	99	99
G	0	98	98
H	19	33	52
I	0	100	100
J	0	0	0
K	0	98	98
L	0	94	94

4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากแบบจำลองเทียบกับระบบจริง

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจากแบบจำลองเทียบกับระบบจริงของงานวิจัยนี้ ทำการวัดค่าความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการจำลอง จากการวัดค่าจริงที่ เค เอส ฟาร์ม ตำบลบางลูกเสือ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก ในวันที่ 10 มีนาคม 2565 พบว่าอากาศภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอก ทำการเปรียบเทียบกับระบบจากแบบจำลองที่ทำการปรับค่าใหม่ให้ใกล้เคียงกับสภาพอากาศในวันดังกล่าว และตามความสามารถของพัดลมดูดอากาศในสถานที่ทดสอบ ดังนี้ อุณหภูมิของระบบอยู่ที่ 35°C และอัตราการไหลของปริมาตรอากาศเปลี่ยนแปลงเป็น 0.8 ลูกบาศก์เมตร/วินาที จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความเร็วลมที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงอย่างมาก แม้ว่าอุณหภูมิของระบบจากแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเหมือนระบบจริง แต่ก็มีความสัมพันธ์ตรงตามผลการศึกษาความสามารถของพัดลมดูดอากาศก่อนหน้าที่แสดงให้เห็นว่า ณ อัตราการไหลของปริมาตรอากาศ 7 ลูกบาศก์เมตร/วินาที นั้นมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยมาก ความชื้นสัมพัทธ์ของระบบจากแบบจำลองและระบบจริงนั้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้ว่าแบบจำลองจะไม่สามารถแสดงผลที่วัดจากทางด้านหลังของพัดลมที่อยู่นอกโรงเรือนได้ แต่ข้อมูลจากระบบจริงสามารถช่วยอ้างอิงถึงอากาศภายนอกโรงเรือนในวันทดสอบดังกล่าว

ตารางที่ 4.3 การแยกตัวของอนุภาคในแต่ละตำแหน่ง

กรณีศึกษา	บริเวณ		ด้านหลังของพัดลม
	หน้าประตู	ด้านหน้าของพัดลม	
ความเร็วลม (m/s)			
แบบจำลอง	0.248	2.173	-
ระบบจริง	0.2	2.1	1.7
อุณหภูมิ (°C)			
แบบจำลอง	35.0	35.0	-
ระบบจริง	37.5	35.7	39.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			
แบบจำลอง	49.99	49.76	-
ระบบจริง	50	49	40

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการวิจัยเรื่อง การตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดด้วยไบโอเซนเซอร์ สามารถสรุปได้ตามหัวข้อต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางด้านวิศวกรรม ช่วยให้ผู้ที่สนใจสร้างอุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดได้เข้าใจการทำงานของอุปกรณ์มากขึ้น ทั้งส่วนประกอบทางชีวภาพ ส่วนทางด้าน การเปลี่ยนสัญญาณ และส่วนโครงสร้างเพิ่มเติมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับได้ทั่วถึงขึ้น โดยการทดสอบพารามิเตอร์ และการจำลองการไหลบน SOLIDWORKS เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์ ทำให้สามารถออกแบบเรือนกระจกต้นแบบด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดใหม่ให้เหมาะสมได้ โดยอัตราการไหลของปริมาตรอากาศตามความสามารถของพัดลมดูดอากาศนั้นมีผลต่อความเร็วของอากาศในระบบ และอุณหภูมิของอากาศพบว่าหากใช้พัดลมดูดอากาศที่มีความสามารถสูงจะช่วยระบายความร้อนในโรงเรือนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีผลต่อการดูแลรักษาผักสลัด และลดปัญหาโรคเน่าที่เกิดจากเชื้อรา นอกจากนี้พบว่า ณ กระแสลมเริ่มต้นที่สามารถช่วยพัดพาสปอร์ และขนาดของสปอร์นั้นไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสปอร์ นอกจากนี้จากการศึกษาการไหลของอนุภาคยังช่วยปรับปรุงการศึกษาการตรวจจับสปอร์ที่นำเสนอในตำแหน่งต่าง ๆ โดยจำลองเส้นทางของอากาศและอนุภาค ผลลัพธ์ที่ได้สะท้อนให้เห็นว่าตำแหน่งของประตู พัดลม และไบโอเซนเซอร์ส่งผลกระทบต่อภาระของอนุภาค ควรติดตั้งไบโอเซนเซอร์ในบริเวณที่มีความเร็วลมพอสมควร และอากาศจะต้องไหลเวียนไปทั่วเรือนกระจกในช่วงเวลาก่อนจะสัมผัสกับไบโอเซนเซอร์ สาเหตุที่สปอร์ไม่สามารถเข้าถึงเซ็นเซอร์ได้เนื่องจากตำแหน่งของเซ็นเซอร์ใกล้กับพัดลมดูดอากาศมากเกินไป เพื่อลดผลกระทบของทั้งพัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ ขอแนะนำให้ติดตั้งปล่องระบายอากาศเพิ่มเติมนอกโรงเรือนทางด้านหลังที่มีพัดลมดูดอากาศอยู่ เพื่อบังคับให้อากาศไหลเข้าหาอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในปล่องระบายอากาศก่อนปล่อยอากาศออกสู่ภายนอก

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ และคอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้านวิศวกรรม สำหรับการวิเคราะห์การตรวจจับโรคเน่าในผักสลัดด้วยอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ที่ติดตั้งใน

โรงเรียนขนาดเล็ก ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเพื่อใช้ต่อยอดในการสร้างอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ และการติดตั้งอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ในเรือนกระจกหลากหลายประเภทตามความเป็นจริง

ข้อดีของงานวิจัย

- 1) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสามารถกำหนดขนาด ลักษณะ และคุณสมบัติของ ส่วนประกอบของอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ได้อย่างชัดเจน
- 2) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทำให้ผู้ที่ต้องการสร้างอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ในอนาคต สามารถทำงานได้อย่างสะดวก และรวดเร็วมากขึ้น
- 3) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้านวิศวกรรมสามารถทำงานได้อย่างหลากหลาย เพื่อ ทดสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการไหลของอากาศ และการไหลของสปอร์
- 4) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยช่วยงานทางด้านวิศวกรรมทำให้ทดสอบอุปกรณ์ และระบบการ ใช้งานโดยรวมได้โดยไม่ต้องเสียเงิน และเสียเวลาสร้างอุปกรณ์ทดสอบหลากหลายแบบ
- 5) การทดสอบนี้สามารถให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานที่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์ไบโอเซนเซอร์ใน โรงเรียนขนาดเล็กได้ เพื่อเพิ่มคุณภาพการใช้งาน และลดปัญหาการใช้งานในอนาคต

ข้อเสียของงานวิจัย

- 1) การทดสอบนี้ไม่ได้สร้างชิ้นงานต้นแบบ แล้วทดสอบชิ้นงานต้นแบบดังกล่าวตามสภาพใช้ งานจริง ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยงานทางด้าน วิศวกรรมได้

บรรณานุกรม

- [1] นายผัก. (20 สิงหาคม 2008). **ผักกาดหอม ผักสลัด (Lettuce)**. ฐานข้อมูลพืชผัก บทความเกษตร. เข้าถึงจาก: <https://vegetweb.com/%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%94%E0%B8%AB%E0%B8%AD%E0%B8%A1-2/>
- [2] Thospaak. (16 กันยายน 2019). **ผักสลัด (Lettuce) ผักเมืองหนาว ที่นิยมนำมาปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์**. forfarm.co. เข้าถึงจาก: <https://www.forfarm.co/29/lettuce/>
- [3] Miss.Nim. (5 กรกฎาคม 2017). **เตรียมตัวให้พร้อม ก่อนคิดจะปลูกผักสลัดขาย**. SME Thailand. เข้าถึงจาก: <https://www.smethailandclub.com/entrepreneur-1982-id.html>
- [4] Arbadahey. (17 มกราคม 2020). **โรคของผักสลัด รู้ก่อนป้องกันก่อน**. SVGROUP. เข้าถึงจาก: <https://www.svgroup.co.th/blog/%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%94-%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%81%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B9%89/>
- [5] Garden, M. O. (n.d.). **เกษตรปลอดภัย หมู่บ้านห้วยทราย หมู่ 8 การปลูกผักสลัด**. เกษตรปลอดภัย. เข้าถึงจาก: <https://huaysaiagricultural.wixsite.com/mysite>
- [6] ช้อนกลาง. (2 กุมภาพันธ์ 2019). **ผักสลัด 9 ชนิดที่คนรักผักนิยมมีอะไรบ้าง**. เข้าถึงจาก: <https://www.chonklang.com/th/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1/%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%94+9+%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%84%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8>
- [7] Team, T. (12 มิถุนายน 2019). **Indoor farming ปลูกพืชยุคใหม่ ไทยพร้อมหรือยัง?** เข้าถึงจาก: <https://techsauce.co/tech-and-biz/is-thailand-ready-for-indoor-farming>
- [8] ศิริสัมพันธ์, ธ. (17 พฤศจิกายน 2019). **เกษตรกรรุ่นเก่า! แนะนำเทคนิคปลูกผักปลอดสาร ให้ตลาดแย่งกันซื้อ**. เทคโนโลยีเกษตร. เข้าถึงจาก: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_130919
- [9] Li H., Chen Y., Zhang Z., Li B., Qin G. & Tian S. (24 กรกฎาคม 2018). **Pathogenic mechanisms and control strategies of Botrytis cinerea causing post-harvest decay in fruits and vegetables**, Vol. 2, Issue 3, 111-119.
- [10] Mirza, G. S. (13 สิงหาคม 2019). **Managing Botrytis: A serious disease in greenhouse lettuce**. Greenhousecanada. Retrieved from: <https://www.greenhousecanada.com/managing-botrytis-a-serious-disease-in-greenhouse-lettuce-33048/>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Author. (6 กุมภาพันธ์ 2013). โรคเน่าของที่เกิดจากเชื้อรา *Botrytis*. ไทยเกษตรศาสตร์. เข้าถึงจาก:
<https://www.thaikasetsart.com/%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B2/>
- [12] Kan, J. A. (2005). **Infection Strategies of *Botrytis cinerea***. *Acta Hort*, 77-90.
- [13] Bilkiss, M., Shiddiky, M. J., & Ford, R. (14 สิงหาคม 2019). **Advanced Diagnostic Approaches for Necrotrophic Fungal Pathogens of Temperate Legumes With a Focus on *Botrytis* spp.** *Microbiol*, 10, 1-12.
- [14] Grant-Downton, R. T., Terhem, R. B., Kapralov, M. V., Mehdi, S., Rodriguez-Enriquez, M. J., Dewey, F. M. (2 มิถุนายน 2014). **A Novel *Botrytis* Species Is Associated with a Newly Emergent Foliar Disease in Cultivated *Hemerocallis***. *Plos One*, 9(6), 1-11.
- [15] BioSite. (n.d.). **Guidelines for Preparing ELISA Standards**. Retrieved from:
<https://nordicbiosite.com/guidelines-for-preparing-elisa-standards>
- [16] Duan, Y.-B., Ge, C.-Y., Ge, C.-Y., Wang, J.-X., & Zhou, M.-G. (20 ตุลาคม 2014). **Development and Evaluation of a Novel and Rapid Detection Assay for *Botrytis cinerea* Based on Loop-Mediated Isothermal Amplification**. *Plos One*, 9(10), 1-9.
- [17] แต่งกวารัมย์, ช. (18 มีนาคม 2017). **ไบโอเซนเซอร์**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เข้าถึงจาก:
<https://erp.mju.ac.th/articleDetail.aspx?qid=659>
- [18] Higson, S., Reddy, S., & Vadgama, P. (กุมภาพันธ์ 1994). **Enzyme and other biosensors: evolution of a technology**. *Engineering Science & Education Journal*, 3(1), 41-48.
- [19] Lazcka, O., Campo, F. J., & Muñoz, F. X. (15 กุมภาพันธ์ 2007). **Pathogen detection: A perspective of traditional methods and biosensors**. *Biosensors and Bioelectronics*, 22(7), 1205-1217.
- [20] Watts, H. J., Lowe, C. R., & Pollard-Knight, D. V. (1 สิงหาคม 1994). **Optical Biosensor for Monitoring Microbial Cells**. *Anal. Chem.*, 66, 2465-2470.
- [21] Syam, R., Davis, J., Pratheesh, M. D., & Anoopraj, R. (มกราคม 2012). **Biosensors: A Novel Approach for Pathogen Detection**. *VETSCAN*, 7, 14-18.
- [22] Homola, J., Yee, S. S., & Gauglitz, G. (25 มกราคม 1999). **Surface plasmon resonance sensors**. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 54(1-2), 3-15.
- [23] Wang, J., Rivas, G., Cai, X., Palecek, E., Nielsen, P., Flair, M. (30 กรกฎาคม 1997). **DNA electrochemical biosensors for environmental monitoring**. *Analytica Chimica Acta*, 347(1-2), 1-8.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] D'Souza, S. (สิงหาคม 2001). **Microbial biosensors**. *Biosensors and Bioelectronics*, 16(6), 337-353.
- [25] Rai, M., Gade, A. K., Gaikwad, S. C., & Marcatob, P. D. (มกราคม 2012). **Biomedical Applications of Nanobiosensors: the State-of-the-Art**. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(1), 14-24.
- [26] Inami, H., Tsuge, K., Matsuzawa, M., Sasaki, Y., Togashi, S., Seto, Y. (15 กรกฎาคม 2009). **Semi-automated bacterial spore detection system with micro-fluidic chips for aerosol collection, spore treatment and ICAN DNA detection**. *Biosensors and Bioelectronics*, 24(11), 3299-3305.
- [27] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2012). **Solidworks ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : ทริปเพิ้ล กรุ๊ป, 206 หน้า
- [28] AppliCAD. **SOLIDWORKS Flow Simulation**, Retrieved from:
<https://www.applicadthai.com/solidworks-flow-simulation/>
- [29] Starodub, N. F., Son'ko, R. V., Romanov, V. O., & Galelyuka, I. P. (2011). **Complex of Optical Biosensors for Control of Total State of Vegetables and Estimation of their Loading by Viruses**. *SENSOR+TEST Conferences 2011* (pp. 133-138). Nürnberg: Proceedings OPTO 2011.
- [30] Ariffin, S. A., Adam, T., Hashim, U., & Salam, F. (พฤศจิกายน 2013). **Plant Diseases Detection Using Nanowire as Biosensor Transducer**. *Advanced Materials Research*, 832, 113-117.
- [31] J., Y., S.V., L., & A.G., R. (1977). **Piezoelectric biosensor for detection of Salmonella typhimurium**. *Journal of Food*, 62(5), 1067-1071.
- [32] P.M., F., T.P., S., M.B., M., & A.G., G. (1998). **Detection of Escherichia coli O157:H7 using a surface plasmon resonance biosensor**. *Biotechnology Techniques*, 12(7), 571-576.
- [33] Thomas W.O., Rabih O. A., Christopher J. B., and Quan C. (1 ตุลาคม 2007). **Microgravimetric immunosensor for direct detection of aerosolized influenza A virus particles**. *Sens Actuators B Chem*, 126(2): 691-699.
- [34] Rafat Al-Waked. (2010). **Effect of Ventilation Strategies on Infection Control Inside Operating Theatres**. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 4:1, 1-16.
- [35] Zhiqiang (John) Zhain and Anna L. Osborne. (2013). **Simulation-based feasibility study of improved air conditioning systems for hospital operating room**. *Frontiers of Architectural Research*, vol. 2, issue 4, pp. 468-475.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [36] A. Fulcher. (2016). **Particle studies in SOLIDWORKS Flow Simulation**. Solid Solutions.
- [37] A.M. Madsen. (2012). **Effects of airflow and changing humidity on the aerosolization of respirable fungal fragments and conidia of Botrytis cinerea**. Applied and Environmental Microbiology, vol. 78, 11, pp. 3999-4007.
- [38] F. Zanatta, J. Patino, F. Lebeau, M. Massinon, K. Hylander, M.D. Haan, P. Ballings, J. Degreef, and A. Vanderpoorten. (2016). **Measuring spore settling velocity for an improved assessment of dispersal rates in mosses**. Annals of Botany, vol. 118, 2, pp. 197-206.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบความสามารถของพัดลมดูดอากาศ



ก.1 ผลการทดสอบเมื่อพัฒนารูปร่างการไหลของปริมาตรขาออก 7 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

Results summary

Project Name: Project(1)

Configuration: Default

Version: Flow Simulation

File Type FLD

Iteration 212

Physical Time 0 s

CPU time 0 s

Total cells 181631

Fluid cells 181631

Fluid cells contacting solids 80357

Trimmed cells 10

Maximum refinement level 5

X min -1.371 m

X max 2.637 m

Y min 1.446 m

Y max 5.474 m

Z min 1.756 m

Z max 8.689 m

X size 4.008 m

Y size 4.028 m

Z size 6.933 m

High Mach number flow No

Time-dependent No

Heat Conduction in Solids No

Radiation No

Porous Media No

Internal Yes

Gravity Yes



Basic Mesh Dimensions $N_x = 18$, $N_y = 18$, $N_z = 30$

Pressure [100776.37 Pa; 101912.70 Pa]

Velocity [0 m/s; 26.211 m/s]

Temperature [29.79 °C; 30.03 °C]

Density (Fluid) [1.16 kg/m³; 1.17 kg/m³]

Reference Pressure 101325.00 Pa

Parameter	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	1.16	1.17
Pressure [Pa]	100776.37	101912.70
Temperature [°C]	29.79	30.03
Temperature (Fluid) [°C]	29.79	30.03
Velocity [m/s]	0	26.211
Velocity (X) [m/s]	-19.673	19.608
Velocity (Y) [m/s]	-16.316	19.743
Velocity (Z) [m/s]	-6.552	16.932
Mach Number []	0	0.08
Velocity RRF [m/s]	0	26.211
Velocity RRF (X) [m/s]	-19.673	19.608
Velocity RRF (Y) [m/s]	-16.316	19.743
Velocity RRF (Z) [m/s]	-6.552	16.932
Vorticity [1/s]	2.09e-05	762.02
Relative Pressure [Pa]	-548.63	587.70
Shear Stress [Pa]	0	4.51
Bottleneck Number []	0	1.000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
ShortCut Number []	0	1.000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	-6109818.809	3098803.273
Acoustic Power [W/m ³]	0	1.149e-06

ก.2 ผลการทดสอบเมื่อพัฒนามี้อัตราการไหลของปริมาตรขาออก 12.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

Results summary

Project Name: Project(2)

Configuration: Default

Version: Flow Simulation

File Type FLD

Iteration 185

Physical Time 0 s

CPU time 0 s

Total cells 181631

Fluid cells 181631

Fluid cells contacting solids 80357

Trimmed cells 10

Maximum refinement level 5

X min -1.371 m

X max 2.637 m

Y min 1.446 m

Y max 5.474 m

Z min 1.756 m

Z max 8.689 m

X size 4.008 m

Y size 4.028 m

Z size 6.933 m

High Mach number flow No

Time-dependent No

Heat Conduction in Solids No

Radiation No

Porous Media No

Internal Yes

Gravity Yes



Basic Mesh Dimensions $N_x = 18$, $N_y = 18$, $N_z = 30$

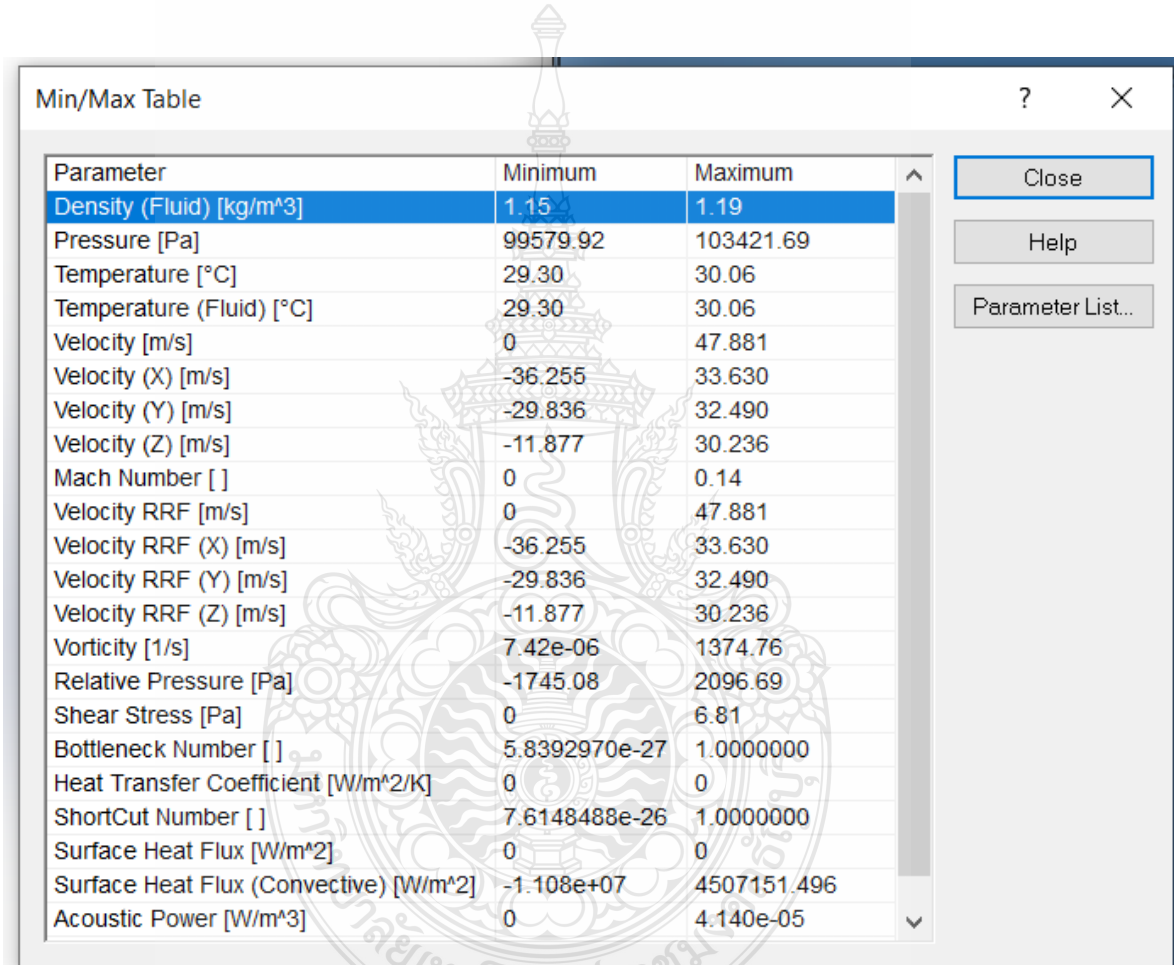
Pressure [99579.92 Pa; 103421.69 Pa]

Velocity [0 m/s; 47.881 m/s]

Temperature [29.30 °C; 30.06 °C]

Density (Fluid) [1.15 kg/m³; 1.19 kg/m³]

Reference Pressure 101325.00 Pa



Parameter	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	1.15	1.19
Pressure [Pa]	99579.92	103421.69
Temperature [°C]	29.30	30.06
Temperature (Fluid) [°C]	29.30	30.06
Velocity [m/s]	0	47.881
Velocity (X) [m/s]	-36.255	33.630
Velocity (Y) [m/s]	-29.836	32.490
Velocity (Z) [m/s]	-11.877	30.236
Mach Number []	0	0.14
Velocity RRF [m/s]	0	47.881
Velocity RRF (X) [m/s]	-36.255	33.630
Velocity RRF (Y) [m/s]	-29.836	32.490
Velocity RRF (Z) [m/s]	-11.877	30.236
Vorticity [1/s]	7.42e-06	1374.76
Relative Pressure [Pa]	-1745.08	2096.69
Shear Stress [Pa]	0	6.81
Bottleneck Number []	5.8392970e-27	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
ShortCut Number []	7.6148488e-26	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	-1.108e+07	4507151.496
Acoustic Power [W/m ³]	0	4.140e-05

ก.3 ผลการทดสอบเมื่อพัฒนามี้อัตราการไหลของปริมาตรขาออก 15.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

Results summary

Project Name: Project(3)

Configuration: Default

Version: Flow Simulation

File Type FLD

Iteration 451

Physical Time 0 s

CPU time 0 s

Total cells 181631

Fluid cells 181631

Fluid cells contacting solids 80357

Trimmed cells 10

Maximum refinement level 5

X min -1.371 m

X max 2.637 m

Y min 1.446 m

Y max 5.474 m

Z min 1.756 m

Z max 8.689 m

X size 4.008 m

Y size 4.028 m

Z size 6.933 m

High Mach number flow No

Time-dependent No

Heat Conduction in Solids No

Radiation No

Porous Media No

Internal Yes

Gravity Yes



Basic Mesh Dimensions $N_x = 18$, $N_y = 18$, $N_z = 30$

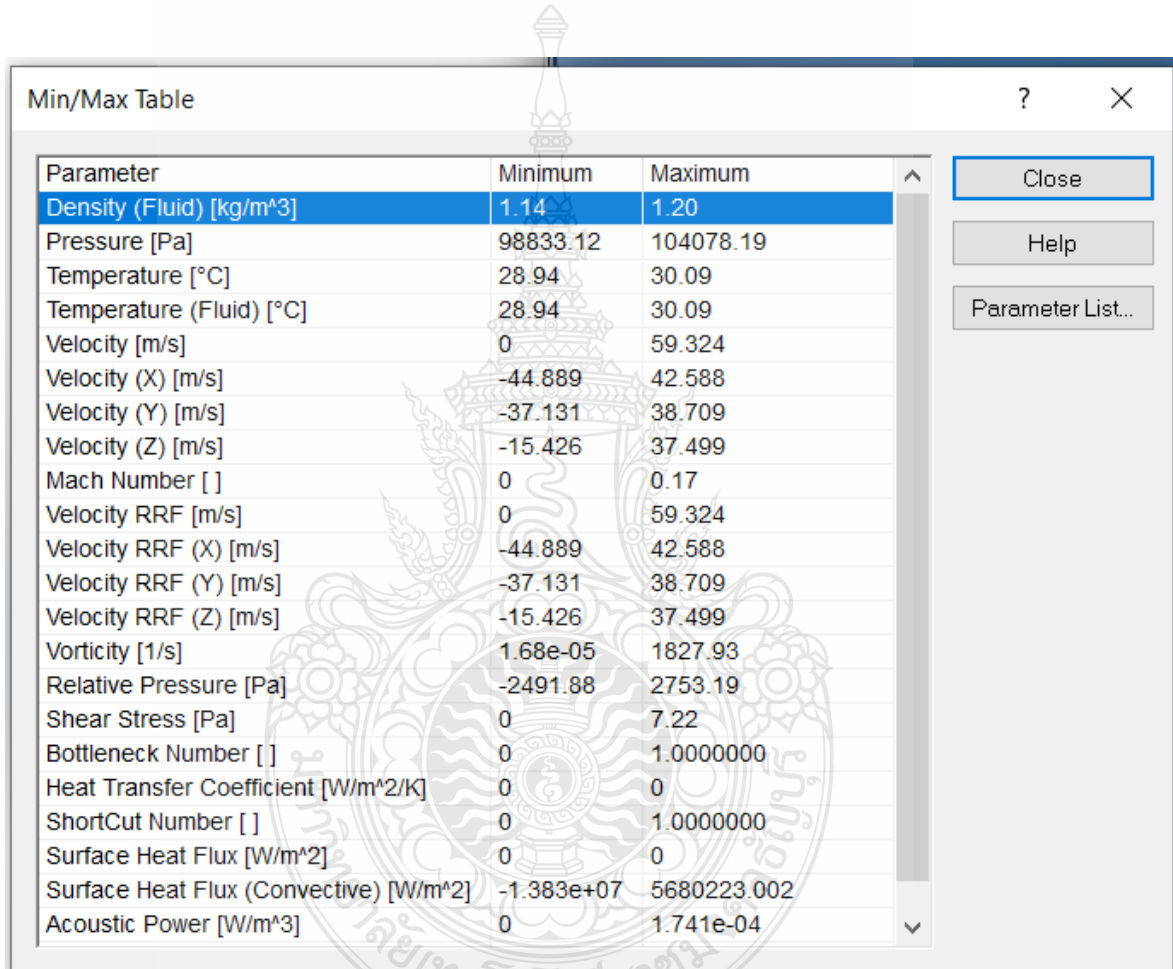
Pressure [98833.12 Pa; 104078.19 Pa]

Velocity [0 m/s; 59.324 m/s]

Temperature [28.94 °C; 30.09 °C]

Density (Fluid) [1.14 kg/m³; 1.20 kg/m³]

Reference Pressure 101325.00 Pa



Parameter	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	1.14	1.20
Pressure [Pa]	98833.12	104078.19
Temperature [°C]	28.94	30.09
Temperature (Fluid) [°C]	28.94	30.09
Velocity [m/s]	0	59.324
Velocity (X) [m/s]	-44.889	42.588
Velocity (Y) [m/s]	-37.131	38.709
Velocity (Z) [m/s]	-15.426	37.499
Mach Number []	0	0.17
Velocity RRF [m/s]	0	59.324
Velocity RRF (X) [m/s]	-44.889	42.588
Velocity RRF (Y) [m/s]	-37.131	38.709
Velocity RRF (Z) [m/s]	-15.426	37.499
Vorticity [1/s]	1.68e-05	1827.93
Relative Pressure [Pa]	-2491.88	2753.19
Shear Stress [Pa]	0	7.22
Bottleneck Number []	0	1.000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
ShortCut Number []	0	1.000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	-1.383e+07	5680223.002
Acoustic Power [W/m ³]	0	1.741e-04

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์



ข.1 ผลการทดสอบเมื่อมีกระแสลม 0.5 เมตร/วินาที ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02488466	0.933	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.9051427	0.838	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81722493	0.767	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75521616	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65735937	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04646531	0.946	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.94857591	0.867	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87126272	0.808	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79703909	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.70345558	0.703	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.48819716	0.630	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46637757	0.611	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45247215	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44281864	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43782246	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57582417	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54567075	0.602	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.5210112	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49685064	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46127565	0.574	Opening

ข.2 ผลการทดสอบเมื่อมีกระแสลม 1 เมตร/วินาที ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02494255	0.933	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90515915	0.838	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81722718	0.767	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.7553165	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65724595	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04619662	0.946	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.9485862	0.867	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87126502	0.808	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79704231	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.7034553	0.703	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.48840989	0.630	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46638787	0.611	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45247412	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44280838	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43782297	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57584473	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54556404	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52102144	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49685885	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46129429	0.574	Opening

ข.3 ผลการทดสอบเมื่อมีกระแสลม 1.5 เมตร/วินาที ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02494164	0.933	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90515428	0.838	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81770976	0.767	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75516393	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65725032	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04631339	0.946	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.94858198	0.867	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87125579	0.808	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.7970378	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.7034475	0.703	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4883912	0.630	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46638193	0.611	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45247348	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44281445	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.437824	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57582216	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54553188	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52101173	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49686225	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46127924	0.574	Opening



ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบขนาดของสปอร์

ค.1 ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 2 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02735373	0.935	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.9068342	0.840	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81852514	0.768	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75541091	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65729799	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04950494	0.948	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.95095738	0.868	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87305408	0.809	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79863105	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.7052437	0.704	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4918396	0.632	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46953683	0.613	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45410049	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44415296	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43871577	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57562714	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54471428	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52025499	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49652413	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46214427	0.574	Opening

ค.2 ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 4 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02715038	0.935	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90675057	0.840	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81854795	0.768	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75554166	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65714606	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04921186	0.948	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.95074713	0.868	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87297494	0.809	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79856737	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.70513731	0.704	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4913692	0.631	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46902606	0.612	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45388624	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44381384	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43854593	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57566916	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54475539	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.5202527	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49638546	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46198811	0.574	Opening

ค.3 ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 6 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02672886	0.935	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90644714	0.839	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.8184308	0.768	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75546766	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65682189	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04857667	0.948	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.95053172	0.868	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87250721	0.809	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79822846	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.70482548	0.704	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.49069013	0.631	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46810044	0.612	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4532673	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4435145	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43838151	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57553151	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54478425	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52020953	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49631299	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46201132	0.574	Opening

ค.4 ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 8 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02587966	0.934	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90573958	0.839	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81789469	0.767	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75501558	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65608453	0.658	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04753791	0.947	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.94938913	0.867	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87169614	0.808	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.79750705	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.70392346	0.703	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.48909006	0.630	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4671669	0.612	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45266047	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44281429	0.582	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.43778429	0.571	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.5753568	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54456249	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52009219	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49633815	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46101637	0.573	Opening

ค.5 ผลการทดสอบกระแสลมที่ช่วยพัดพาสปอร์ขนาด 10 ไมโครเมตร

Save to ASCII	Length [m]	Residence time [s]	Fate
#1 (1.128 m; 2.620 m; 5.257 m)	4.02494164	0.933	Opening
#2 (1.158 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.90515428	0.838	Opening
#3 (1.188 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.81770976	0.767	Opening
#4 (1.218 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.75516393	0.709	Opening
#5 (1.248 m; 2.620 m; 5.257 m)	3.65725032	0.659	Opening
#6 (1.113 m; 2.605 m; 5.257 m)	4.04631339	0.946	Opening
#7 (1.113 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.94858198	0.867	Opening
#8 (1.113 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.87125579	0.808	Opening
#9 (1.113 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.7970378	0.760	Opening
#10 (1.113 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.7034475	0.703	Opening
#11 (1.128 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.4883912	0.630	Opening
#12 (1.158 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.46638193	0.611	Opening
#13 (1.188 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.45247348	0.596	Opening
#14 (1.218 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.44281445	0.583	Opening
#15 (1.248 m; 2.470 m; 5.257 m)	3.437824	0.572	Opening
#16 (1.263 m; 2.605 m; 5.257 m)	3.57582216	0.617	Opening
#17 (1.263 m; 2.575 m; 5.257 m)	3.54553188	0.601	Opening
#18 (1.263 m; 2.545 m; 5.257 m)	3.52101173	0.591	Opening
#19 (1.263 m; 2.515 m; 5.257 m)	3.49686225	0.584	Opening
#20 (1.263 m; 2.485 m; 5.257 m)	3.46127924	0.574	Opening

ภาคผนวก ง
การเผยแพร่ผลงาน



PROCEEDINGS OF ICITEE 2021

THE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE
ON INFORMATION TECHNOLOGY AND
ELECTRICAL ENGINEERING

14-15 OCTOBER 2021 | ONLINE VIRTUAL CONFERENCE



Faculty of Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Thailand



Department of Electrical Engineering
and Information Technology
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

Technical Co-sponsors



Organized by



Organizer

IEEE Computational Intelligence Society Thailand Chapter



Co-organizer

Faculty of Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang (KMUTL), Thailand



Co-organizer

Department of Electrical Engineering
and Information Technology, Universitas
Gadjah Mada (UGM), Indonesia

Technically Co-Sponsored by



IEEE
**COMPUTER
SOCIETY**
Thailand Chapter



Committees

International Advisory Committee

Chu Kiong Loo, University of Malaya, Malaysia
Hanung Adi Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Jonathan H. Chan, IEEE Computational Intelligence Society Thailand Chapter
Kirapat Jiamset, IEEE Thailand Section
Lukito Edi Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Masanori Sugimoto, Hokkaido University, Japan
Ruttikorn Varakulsiripunth, Thai-Nichi Institute of Technology, Thailand

Sarjiya, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Siridech Boonsang, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Tumiran, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

General Chair

Kuntpong Woraratpanya, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

General Co-Chair

Adhistya Erna Permanasari, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Organizing Committee

Adhistya Erna Permanasari, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Chayanon Sub-r-pa, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Dyonisius Dony Ariananda, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Indriana Hidayah, UGM, Indonesia

Lesnanto Multa Putranto, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Kamol Wasapinyokul, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Kitsuchart Pasupa, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Kuntpong Woraratpanya, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Pattanapong Chantamit-O-Pas, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Praphan Pavarangkoon, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Roni Irnawan, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Samart Moodleah, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Sigit Basuki Wibowo, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Sirasit Lochanachit, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Teerapong Leelanupab, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Technical Program Chair

Teerapong Leelanupab, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Thailand

Technical Program Committee

Ahmad Nasikun, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Anan Phonphoem, Kasetsart University, Thailand

Anggun Isnawati, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia

Annop Monsakul, Panyapiwat Institute of Management, Thailand

Anuntachai Anuntapat, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Aphirak Jansang, Kasetsart University, Thailand

Bundit Thanasopon, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Chantri Polprasert, Srinakharinwirot University, Thailand

Charan Sanrach, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Chawan Manaspon, Chiang Mai University, Thailand

Chayanon Sub-r-pa, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Dani Adhipta, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

David Banjerdpongchai, Chulalongkorn University, Thailand

Dhomas Hatta Fudholi, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Dome Lohpetch, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Engkarat Techapanurak, Tohoku University, Japan

Esa Prakasa, Indonesian Institute of Sciences, Indonesia

Gwanggil Jeon, Incheon National University, South Korea

Herwig Unger, FernUniversität in Hagen, Germany

- Hutchatai Chanlekha**, Kasetsart University, Thailand
- Issarapong Khuankrue**, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
- Iwan Setyawan**, Satya Wacana Christian University, Indonesia
- Jitkomut Songsiri**, Chulalongkorn University, Thailand
- Jonathan Chan**, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
- Kanjanapan Sukvichai**, Kasetsart University, Thailand
- Kanokwan Atchariyachanvanich**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Kazuki Kobayashi**, Shinshu University, Japan
- Khanit Matra**, Srinakharinwirot University, Thailand
- Khukrit Osathanunkul**, Payap University, Thailand
- Kitsuchart Pasupa**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Kittipong Ekkachai**, National Electronics and Computer Technology Center, Thailand
- Korawit Prutsachainimmit**, Prince of Songkla University, Thailand
- Kulwadee Somboonviwat**, Kasetsart University, Thailand
- Kuntpong Woraratpanya**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Lapas Pradittasnee**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Maleerat Maliyaem**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Monlica Wattana**, Khon Kaen University, Thailand
- Nagul Cooharajanone**, Chulalongkorn University, Thailand
- Napasool Wongvanich**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Narit Hnoohom**, Mahidol University, Thailand
- Nipon Parinyavuttichai**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Nont Kanungsukkasem**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Nopporn Chotikakamthorn**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Olarik Surinta**, Mahasarakham University, Thailand
- Pakpoom Patompak**, Panyapiwat Institute of Management, Thailand
- Panwit Tuwanut**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Pattanapong Chantamit-O-Pas**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Peerayot Sanposh**, Kasetsart University, Thailand
- Phayung Meesad**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Piyoros Tungthamthiti**, Botnoi Consulting, Thailand
- Pongpisit Wuttidittachotti**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Pongsarun Boonyopakorn**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Ponrudee Netisopakul**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Pornavalai Chotipat**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Pornsuree Jamsri**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Pracha Khamphakdi**, Ubon Ratchathani University, Thailand
- Pramuk Boonsieng**, Thai-Nichi Institute of Technology, Thailand
- Praphan Pavarangkoon**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Pudsadee Boonrawd**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Punitha Swamy**, Dayananda Sagar University, India
- Rudy Hartanto**, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
- Saiyan Saiyod**, Khon Kaen University, Thailand
- Salil Boonbrahm**, Walailak University, Thailand
- Samart Moodleah**, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- Sansanee Auephanwiriyaikul**, Chiang Mai University, Thailand
- Sanya Khruahong**, Naresuan University, Thailand
- Saranya Saetang**, Kasetsart University, Thailand
- Sarawan Wongsa**, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
- Sarayoot Tanessakulwattana**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Satit Mangkalajan**, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
- Silada Intarasothonchun**, Khon Kaen University, Thailand

Singha Chaveesuk, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Sirasit Lochanachit, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Sirion Vittayakorn, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Siriwan Chaisurayakarn, Kasetsart University, Thailand
Somkiat Wangsiripitak, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Soradech Krootjohn, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Sriudon Saeung, Chandrakasem Rajabhat University, Thailand
Sudchai Boonto, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
Sumet Prabhavat, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Sunantha Sodsee, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Supakit Nootyaskool, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Supannada Chotipant, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Supaporn Chairungsee, Walailak University, Thailand
Supawan Tasanaprasert, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Supot Nitsuwat, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Syukron Abu Ishaq Alfaroz, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Teerapong Leelanupab, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Teerawat Kamnardsiri, Chiang Mai University, Thailand
Thitiporn Lertrudachakul, Thai-Nichi Institute of Technology, Thailand
Thongchai Kaewkiriya, Panyapiwat Institute of Management, Thailand
Toshiaki Kondo, Sirindhorn International Institute of Technology, Thailand
Ungsumalee Suttapakti, Burapha University, Thailand
Vataya Chunwijitra, National Electronics and Computer Technology Center, Thailand
Vuttiapon Tarateeraseth, Srinakharinwirot University, Thailand
Warsun Najib, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Watchareewan Jitsakul, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Weenawadee Muangon, Silpakorn University, Thailand
Wisonthera Mettanont, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Yajima Kuniaki, National Institute of Technology, Sendai College, Japan
Yoshimitsu Kuroki, National Institute of Technology, Kurume College, Japan

Paper Session Schedule

Title	Paper ID	Session	Page
Random Projection on Sparse Representation Based Classification for Face Recognition	1570739605	SIG4	223
Relative Velocity Model to Locate Traffic Accident With Aerial Cameras and YOLOv4	1570727699	SIG5	229
Robust Beamforming Based on Steering Vector Estimation via Iterative Algorithm	1570752211	SIG5	235
Sequential Compressive Range-Azimuth Estimation in Radar Signal Processing	1570758212	CN3	240
The Discovery of MicroRNA-Phytochemicals Interaction of Diseases Caused by Viruses Using Ensemble Data Mining Techniques	1570752369	SIG3	247
The Effect of Partial Fine Tuning on AlexNet for Skin Lesions Classification	1570757604	SIG3	253
The Importance of Generation Transferring: A Satisfaction Comparison of Generation Z Undergraduate Students Towards Traditional and League Learning Methods	1570758029	IT5	259
User Experience Aspect Assessment Method for Digital Wallet Mobile Application: A Literature Review	1570755473	IT4	263
Virtual Simulation for Detection of Gray Mold With Biosensor Technology in Greenhouse	1570758023	IT1	269

Virtual Simulation for Detection of Gray Mold with Biosensor Technology in Greenhouse

Nattida Juewong¹
 Department of agricultural engineering
 RMUTT
 Pathum Thani, Thailand
 nattida_j@mail.rmutt.ac.th

Kiattisak Sangpradit*
 Department of agricultural engineering
 RMUTT
 Pathum Thani, Thailand
 k.sangpradit@rmutt.ac.th

Abstract—Lettuce (*Lactuca sativa*) is a plant that is native to Asia and Europe and is widely accepted as a popular salad vegetable. Indeed, they are rich in vitamins like other nutritious greens. People are more concerned about chemicals are paying more attention to their food. While farms are able to grow lettuce without pesticide, fungal disease especially gray mold (*Botrytis cinerea*) is a true challenge. A quick diagnosis must be done to reduce harvest loss and quality deterioration. A biosensor is an advance technology used in modern farming to analyze health of plant in any stage. This study aims to determine the optimal location of the biosensor based on the configuration of the greenhouses for detection of gray mold using SOLIDWORKS software as a computer simulation. A virtual 3D greenhouse prototype was built in the program then run with simulations of different scenarios to obtain insights on velocity zones in the greenhouse and how they affect the particle scattering of fungi spore. The results have been represented in cut plot and virtually flow trajectories. For this particular test, the sensor seemed to be badly placed take into the account the air velocity near two exhaust fans of the greenhouse. The sensor was not able to collect spore particles for the measurements. The particles flow through to the exhaust fans, not the biosensor's fan.

Keywords—computer aided design, computer graphic, virtual simulation, particle study, biosensor, technology, fungal disease

I. INTRODUCTION

Lettuce (*Lactuca sativa*) is an annual plant of the aster family, Asteraceae. It's a plant that is native to Asia and Europe. Lettuce can have taproots or fibrous root systems. The stems are plump and short and the nodes are frequent. As the internodes elongate, the leaves grow from the nodes into overlapped groups. Lettuce varies in shape and color and the head can be loose or hard depending on the species. Some varieties may have thick and stiff leaves while others have softer leaves. Leaf colors can range from pale green to dark green, reddish brown, red and brown, etc. [1], [2]. Lettuce can be grown in a variety of ways. Currently, hydroponics or soilless cultivation are becoming popular in Thailand [3]. Lettuce can be planted in the ground like any other vegetable if the space is suitable, both soil and climate permitting. There are 6 types of lettuce that are commonly grown and eaten as salad vegetables, which are: Green oaks, Red oaks, Cos, Fillets, Butterheads and Batavia [4]. Lettuce is regularly consumed fresh. It is high in vitamin C, also provides hemoglobin to help prevent anemia and relieve constipation [1].

Nowadays, people are starting to pay more attention to themselves and are concerned about pesticides or other

chemical residues in their food. Growing a chemical-free lettuce is definitely in favor of this food trend. Nevertheless, eliminating chemicals also means allowing vegetables to be plagued by numerous diseases. This directly affects the perceived value and selling price of lettuce. The use of bio-fungicides must be safe for both producers and consumers [5]. Gray mold (*Botrytis cinerea*) is a fungus that is considered as major damaging diseases in lettuce. Under humid conditions, gray fungi (mycelium and spores) turn brown or tan. It can grow on young leaves and deep in the head of lettuce. The early symptoms of the disease sometimes go unnoticed because they often occur in dense leaf shoots [6]. Gray mold can also be found in planting plots, causing infection in the seedling stage and resulted in root rot. An obvious sign of root rot can be discolored stems and the base of old leaves appearing light brown. A plot size of 2×5 meters should be sprayed every 5-7 days in the event of disease occurring [7]. Without corrective action taken at the first sign of infection, the plant eventually withers and dies, resulting in severe plant loss problem in greenhouses. To reduce the chemicals while preventing loss from gray mold, gray fungi should be diagnosed on time before a serious outbreak occur.

Botrytis species used to be identified and classified by plate culturing and histopathological methods. The biggest disadvantage of this traditional method were inefficiency and inaccuracy, not being able to diagnose on time. Several immunization methods were then developed in terms of evolutionary potential. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) is the most common method where individual *Botrytis* spp. or gray fungi was specified by molecular-based diagnostics, targeting the probe like DNA sequence or nucleic acid-based. For modern farming, biosensors are currently the most advance technique to enhance a rapid, specific and sensitive pathogen diagnostics. A biosensor is used to detect target molecule at the level of tissue, microbial, receptor, organelle, enzyme, antibody or nucleic acid [8]. In one study, an electrochemical immunosensor is used to detect *Botrytis* spp. from plant pathogen samples. The AuNPs-DNA assay had a speed of 60 minutes and a sensitive of 214 pM or approximately 3×10^8 spores/ μ l [9]. A novel examination was developed to detect DNA of important plant pathogens, including *Botrytis cinerea* by assigning a yes/no pathogen detection, limit of less than 0.3 pg/ μ l (approximately 6 spores/ μ l) [10]. However, these methods requires plant samples for diagnosis. A semi-automated bacterial spore detection system was then developed to detect biological threat agents on-site in the form of an aerosol sampler [11]. In another study, quartz crystal microbalance sensor is able to direct detection of aerosolized influenza A virions, limit 4

particles/mL [12]. Among all the studies carried out, none created an automatic biosensor to detect gray mold on-site.

The main objective of this study is to design and apply virtual simulation to help to determine the optimal location of the biosensor for detection of gray mold in greenhouses. More specific objectives are; (1) To study aerosol particles using flow simulation techniques; (2) To determine an optimal condition for biosensor installation based on the configuration of the greenhouses; and (3) To study the efficiency of biosensor installations in greenhouse.

II. MATERIALS, METHODS AND THEORIES

A. Processing Devices

Computer systems are made up of many categories of hardware, such as input, output, storage and processing components. Processing devices are main hardware that are responsible for data processing within the computer system. The central processing unit (CPU), graphics processing unit (GPU), motherboard, network card, sound card, and video card are the most common processing devices in a computer [13]. Intel Core i7-10th gen was mobile processor for laptop used in this study. This laptop also had a dual storage system and NVIDIA GeForce graphic to perform on a high-performance computing device. The processor ran on Windows 10 and 16.00 GB of random access memory (RAM).

B. Computer Aided Design

Based on 3D design software, SOLIDWORKS was developed in term of computer aided design (CAD) program. Its comprehensive design features helped in creating realistic parts and assembling designs quickly and efficiently [14]. Using this software, a biosensor for detection of gray mold was created in 3D model. The piezoelectric properties of a quartz crystal wafer were the basis for the development of novel sensor. The electrodes of quartz crystal consisted of 1000 Å thick gold (Au) plates and 100 Å thick titanium (Ti) adhesion layer. Electrode 5.1 mm diameter adhered on transparent surface 14.0 mm diameter. The characteristics of the chosen component correspond to a pre-existing model. They allow the proper functioning of the system without developing a new quartz crystal microbalance. The electrode holder was made of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastic that is resistant to chemical corrosion and will not rust. Copper wire of 1 mm diameter was used in electronics circuitry. Fig. 1 shows quartz crystal microbalance with holder.

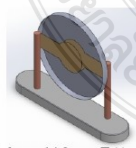


Fig. 1 Quartz crystal microbalance 14.0 mm Ti/Au

Alternating current was amplified then Arduino UNO R3 electronic board and Mini Breadboard were used for signal processing. Fan module using 5V of direct current can connect with Arduino and directly control speed by Pulse Width

Modulation (PWM). This fan specifications were 30 mm length x 30 mm width x 7 mm height. All devices placed in waterproof plastic electrical enclosure, using Assembly function in SOLIDWORKS as shown in Fig. 2.

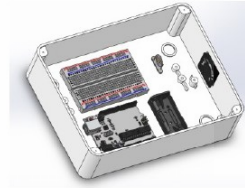


Fig. 2 Biosensor device in electrical enclosure

We aim to build a cost-efficient biosensor, thus allowing general farmers to take benefit of the technology. The size of the greenhouses is adjusted to common size build in Thailand. Fig. 3 shows the installation of biosensor on an elevated lettuce bed, 5 m length x 1.2 m width x 1 m height, with the 40 x 40 centimeters distance between planting plots. The greenhouse size was 4 x 6 meters, which was 24 square meters with a parabolic vaulted roof. Two exhaust fans kept the air moving throughout the entire greenhouse.

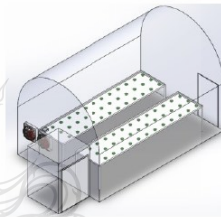


Fig. 3 Schematic diagram of growing lettuce in greenhouse

C. Virtual Simulation Software

SOLIDWORKS Simulation is able to optimize design, determine product mechanical resistance for finite element analysis and also perform sequential multi-physics simulation [14]. For this research, particle study in SOLIDWORKS Flow Simulation was tested to present behavior of airborne spores. According to Solid Solutions [15], governing equations for sphere particles were force equation (1), drag equation (2), and Reynolds' Number equation (3).

$$m \frac{dv_p}{dt} = -\frac{\rho_f (V_f - V_p) |V_f - V_p|}{2} C_d * A + F_g \quad (1)$$

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{4.12}{1 + 0.03 Re + 0.48 \sqrt{Re}} + 0.38 \quad (2)$$

$$Re = \frac{\rho_f |V_f - V_p| d}{\mu} \quad (3)$$

Where: m is the particle mass; V_p and V_f are the particle and fluid velocities; ρ_f is the fluid density; F_g is the gravitational force; A is the particle frontal area; C_d is the particle drag coefficient; Re is Reynolds Number, d is the particle diameter; and μ is the dynamic viscosity. Governing equations and assumptions were summarized in Fig. 4.

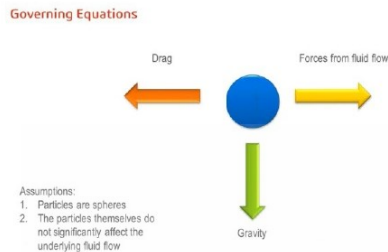


Fig. 4 Governing equations and assumptions for particle study [15]

An internal analysis investigated the flow through the structure. This flow simulation takes into account both Laminar and Turbulent flow type. The default settings were kept, except for temperature of 30°C and gravitational effects of -9.81 m/s^2 were selected on the vertical axis in a plane coordinate system (Y-axis). The outlet volume flow rate was set at $15.5 \text{ m}^3/\text{s}$ according to regular exhaust fans. An environment pressure of 101325 Pa was set at the inner face of the door. The inlet volume flow rate was applied at $0.00755 \text{ m}^3/\text{s}$ on the face of biosensor component.

D. Experimental Procedure

The objective of this virtual flow simulation was to study aerosol particles movements and efficiency of biosensor position. Limitations of this case study corresponded to the size of the greenhouse. The results were obtained by analyzing particle detected in biosensor in various scenarios. This simulation aimed to be a first step of determining the optimal position for biosensor installation. The position selected in this study was at one corner of the greenhouse shown in Fig. 5. Green vegetables represent healthy lettuces where yellow vegetables indicate one infecting lettuce on 12 different positions (A to L) on vegetable bed. Particles omnipresent in the greenhouse was shown on the simulation plot to determine the lowest and highest particle regions.

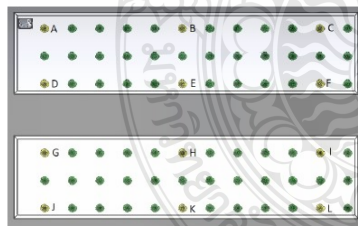


Fig. 5 Position of biosensor and different position of an infected vegetable

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Viewing Cut Plots

The selected cut plot was the top plane which is on the Z-axis. At the parameter level, the default offset was 3.47025791 meters. After simulation, the velocity contours were then displayed. The velocity was split into ten color zones according to its value in meter per second. Unnecessary

components in the calculations including the volume of the room adjacent to the greenhouse, rotor blades of fans, and vegetables were ignored for the simulation. The small room and the fan is independent of the main greenhouse volume and the vegetable size was not the focus of this study. This action allowed the software to run faster.

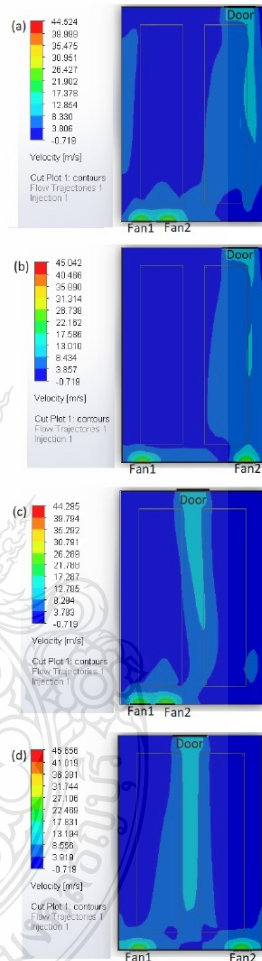


Fig. 6 Velocity contours on Z-axis for 4 cases of various position: case (a) the door is diagonally to the two fans, case (b) the door is in the corner and two fans separate, case (c) the door is in the middle and two fans are in the corner, and case (d) the door is in the middle and two fans separate

The simulation result in Fig. 6 shows us that the phenomenon air speed on Z-axis changes when the door and two fans have relocated. The configurations chosen for the location of the door and the fans allow to represent all the real

installations. The speed of air entered through the door decreases in scenario (a) and (b) that the door was placed facing a vegetable bed. It is clear that the area of the high velocity in case (d) was greater than the other case, and the strongest air speed is always at the fan regardless of the position of the door and the fan.

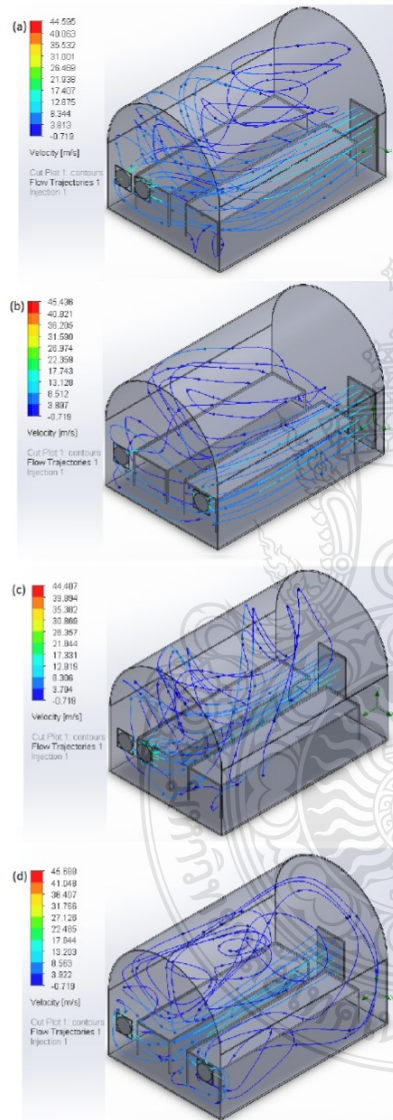


Fig. 7 Flow trajectories represented in 3D line with arrows for 4 cases of various position: case (a), case (b), case (c) and case (d)

B. Flow Trajectories

The airflow was represented as a line with arrows to understand the direction and movement of air throughout the greenhouse in Fig. 7. The parameters used for this flow trajectory was the size, the width and the number of the arrows displayed. The values were respectively 0.04 meters, level 2 and 20 regarding high readability. This allows visual presentation of air paths from the door to the fans. When the door was placed closer to the fans, the air flow faster and circulated better as in case (c) and (d). Some amount of air rises to the ceiling then slowly travel towards the fans, whereas some flow directly to the fan position. Although the velocity in case (d) is great, the flow trajectory isn't consistent across all locations in the greenhouse. In fact, the air didn't flow through some area of the greenhouse, thus may not be thorough enough to bring spore particles in those area into the measurement zone. Based on velocity contours and flow trajectories, case (a) seems to be the most suitable implementation for this study.

C. Particle Studies

The spore defined for particle studies was created using Solids-user Defined feature. Based on the research of Madsen, fungal fragments were aerosolized when exposed to an airflow of 1.5 m.s^{-1} or 0.5 m.s^{-1} and their sizes were between 2 and $10 \mu\text{m}$ [16]. Mean spore density was 1.1 g/cm^3 as observed by Zanatta et al. [17]. Particle properties of this simulation were therefore diameter of $1 \times 10^{-5} \text{ m}$, mass flow rate of 1100 kg/s and initial particle velocity of 1.5 m/s . The trajectories band was set to 0.04 m width. The simulation was tested for each infection position (A to L) in which an infected vegetable will give 100 injection points or particles. The goal was to see the distribution of particles in case (a) on three surfaces which are at the faces of the two greenhouse air extraction fans, and that of the biosensor. Fig. 8 presents one example of the particles detected on each surfaces from an infected vegetable in position A.

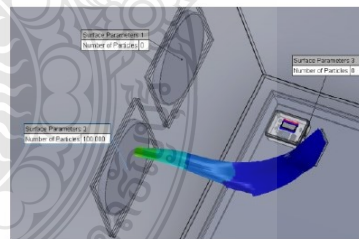


Fig. 8 Separation of particles in position A

All simulation shows that particles do not get a chance to pass through the Surface Parameter 3 as the other two surfaces have much stronger volume flow rate. However, the other two surfaces pick up different amount of spore in different scenarios presented in Table I. In most scenarios, the total particles detected from Surface Parameter 1 and 2 were close to 100 particles, indicating that most of spores could be found and detected. In some scenarios, not all particles went through the fan due to gravity and air confined position in the area of infected vegetable. We tried to move the position of the

biosensor to be placed in front of the exhaust fans. Still, particles cannot be detected on the device. Because the spore particles are small and light, they are carried over the biosensor's fan to the larger fans. For the same reason, more particles went through Fan 2 than Fan 1. Except in the case of position B and E, considered the lower velocity and air flow trajectories, particles are not blown directly to the Fan 2 like most scenarios. Instead, they circulate in the greenhouse and scatter towards both fans. The air didn't flow through position J; spore particles didn't enter into the measurement zone.

TABLE I. SEPARATION OF PARTICLES IN EACH POSITION

Position	Surface Parameters 1	Surface Parameters 2	Total
A	0	100	100
B	96	4	100
C	18	76	94
D	0	100	100
E	100	0	100
F	0	99	99
G	0	98	98
H	19	33	52
I	0	100	100
J	0	0	0
K	0	98	98
L	0	94	94

IV. CONCLUSION

The simulations on SOLIDWORKS made it possible to design a prototype greenhouse with real parameters. It also enhances the study of detecting spores presented in various positions by simulating air and particle trajectories. The result reflects that the location of the door, fans, and biosensor greatly affects the outcome of particle scattering. Indeed, the installation of biosensor should be placed where there is a good amount of air velocity. The air must also be circulated throughout the greenhouse at that time of exposing to the biosensor. The reason that the spores were not allowed to reach the sensor was due to the location of the sensor being too close to the exhaust fan. To eliminate the effect of both ventilation and exhaust fans, an additionally chimney is recommended to install outside of greenhouse where the exhaust fans are located. Forcing the air to flow towards sensor device in the chimney before letting the air out. This research helps in designing a more inclusive greenhouse prototype for future regarding biosensor installations test and certain types of greenhouse in reality.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank Department of agricultural engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, for cooperation and support for this research. The author also thanks Assistant Professor Dr. Kiattisak Sangpradit for providing all the facility that was required during the experiment.

REFERENCES

- [1] Naipak, Lettuce, Vegetable database-agricultural articles, 2008.
- [2] M. Petruzzello, Lettuce-plant, Encyclopaedia Britannica, 2021.
- [3] Thospaak, Lettuce: a winter vegetable that is commonly grown in hydroponics, Forfarm.co, 2019.
- [4] Miss Nim, Get ready before thinking about growing lettuce for sale, SME Thailand, 2017.
- [5] Arbadahey, Lettuce disease: know first protect first, SVGroup, 2020.
- [6] G.S. Bhatia and M. Mirza, Managing Botrytis: A serious disease in greenhouse lettuce, Greenhouse Canada, 2019.
- [7] Author, Rot disease caused by Botrytis, Thai agriculture, 2013.
- [8] M. Bilkiss, M.J.A. Shiddiky, and R. Ford, Advanced diagnostic approaches for Nectrophic fungal pathogens of temperate legumes with a focus on Botrytis spp., Front Microbiology, vol. 10, p. 1889, 2019.
- [9] H.Y. Lau, H. Wu, E.J.H. Wee, M. Trau, Y. Wang, and J.R. Botella, Specific and sensitive isothermal electrochemical biosensor for plant pathogen DNA detection with colloidal gold nanoparticles as probes, Scientific Reports, vol. 7, p. 38896, 2017.
- [10] E.J. Wee, H.Y. Lau, J.R. Botella, and M. Trau, Re-purposing bridging flocculation for on-site, rapid, qualitative DNA detection in resource-poor settings, Chem Commun (Camb), vol. 51, 27, pp. 5828-5831, 2015.
- [11] H. Inami, K. Tsuge, M. Matsuzawa, Y. Sasaki, S. Togashi, A. Komano, and Y. Seto, Semi-automated bacterial spore detection system with micro-fluidic chips for aerosol collection, spore treatment and ICAN DNA detection, Biosens Bioelectron, vol. 24, 11, pp. 3299-3305, 2009.
- [12] T.W. Owen, R.O. Al-Kaysi, C.J. Bardeen, and Q. Cheng, Microgravimetric immunosensor for direct detection of aerosolized influenza A virus particles, Sens Actuators B Chem, vol. 126, 2, pp. 691-699, 2007.
- [13] Wikibooks contributors, Components of a computer system and modes of use: Types of hardware, Wikibooks, The Free Textbook Project, 2020.
- [14] Dassault Systèmes, SOLIDWORKS/Products, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2021. <<https://www.solidworks.com/>>.
- [15] A. Fulcher, Particle studies in SOLIDWORKS Flow Simulation, Solid Solutions, 2016.
- [16] A.M. Madsen, Effects of airflow and changing humidity on the aerosolization of respirable fungal fragments and conidia of Botrytis cinerea, Applied and Environmental Microbiology, vol. 78, 11, pp. 3999-4007, 2012.
- [17] F. Zanatta, J. Patino, F. Lebeau, M. Massinon, K. Hylander, M.D. Haan, P. Ballings, J. Degreef, and A. Vanderpoorten, Measuring spore settling velocity for an improved assessment of dispersal rates in mosses, Annals of Botany, vol. 118, 2, pp. 197-206, 2016.

ICITEE 2021

THE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
INFORMATION TECHNOLOGY AND
ELECTRICAL ENGINEERING

CERTIFICATE

has been presented to

Nattida Juewong

RMUTT, Thailand

For a paper entitled

**Virtual Simulation for Detection of Gray Mold With Biosensor
Technology in Greenhouse**

The 13th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering
held on 14-15 October 2021



Assoc. Prof. Dr. Teerapong Leelanupab
Technical Program Chair



Assoc. Prof. Dr. Kuntpong Woraratpanya
Conference Chair



Assoc. Prof. Dr. Phayung Meesad
Vice Chair of IEEE CIS Thailand Chapter



Faculty of Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Thailand



Department of Electrical Engineering
and Information Technology
Wichitvet Digital Media
Technology, Bangkok



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวณัฐธิดา เจือวงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	17 กันยายน 2538
ที่อยู่	29/787 ถนนหทัยราษฎร์ แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กทม. 10510
ประวัติการศึกษา	<p><u>พ.ศ. 2554-2557</u> มัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์-คณิต โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า <u>พ.ศ. 2558-2559</u> ประกาศนียบัตรมหาวิทยาลัย (DU-Diplôme Universitaire) การเตรียมความพร้อมสำหรับการฝึกอบรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย IUT du Mans ประเทศฝรั่งเศส <u>พ.ศ. 2559-2561</u> อนุปริญญาสายเทคโนโลยี (DUT-Diplôme universitaire de technologie) คณะวิศวกรรมชีวภาพ สาขาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย IUT de Brest ประเทศฝรั่งเศส <u>พ.ศ. 2561-2562</u> ปริญญาตรีวิชาชีพ (LP-Licence Professionnelle) คณะวิศวกรรมชีวภาพ สาขาการเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัย IUT d'Angers ประเทศฝรั่งเศส</p>
ประวัติการทำงาน	<p><u>ม.ย.-ก.ค. 2560 (5 สัปดาห์)</u> ฝึกงานในฟาร์มโคเนื้อ ณ Marsac en livradois ประเทศฝรั่งเศส <u>พ.ค.-ก.ค. 2561 (3 เดือน)</u> เจ้าหน้าที่วิจัยเกษตร CATE ณ Saint Pol de Leon ประเทศฝรั่งเศส <u>มี.ค.-ส.ค. 2562 (6 เดือน)</u> เจ้าหน้าที่วิจัยพืชผักสวนครัว สถานีทดลอง ณ Auray ประเทศฝรั่งเศส</p>
อีเมล	nattida_j@mail.rmutt.ac.th