บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. พัฒนาอุปกรณ์แยกสัญญาณ (Phase Shift Unit ,PSU)
2. ปรับปรุงขนาดพื้นที่ทำงานของขั้วไฟฟ้า
3. ทดสอบการหมุนของเซลล์ แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp.
4. ประมาณค่าคงที่ทางไฟฟ้า แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp. ตามแบบจำลองเซลล์เดี่ยวทรงกลมเปลือกเซลล์ชั้นเดียว

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัสดุสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์แยกสัญญาณ

1. IC เบอร์ 74Ls393 และ เบอร์ 74HC14
2. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N706 , KTC9013 และ 2SC1061
3. ตัวต้านทานไฟฟ้า ขนาด ¼ วัตต์ ความต้านทาน R_1 ,R_2 ,R_3 ,R_4 ,R_5 ,R_6 ,R_7 และ R_8 คือ 420 Ω, 470 Ω, 300 Ω, 5kΩ, 10kΩ, 2kΩ, 100Ω และ 715 kΩ ตามลำดับ
4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_9) ขนาด 10 kΩ
5. ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ ขนาด 35 โวลต์ C_1 = 1000 μF, C_2 =100 μF และ C_3 = 47 μF
6. ไดโอด 1N4001
7. ตัวหนีบแบบปากจระเข้
8. กล่องบรรจุแผงวงจรไฟฟ้า
9. สายไฟฟ้า
10. แผ่นวงจรไฟฟ้า
11. ตะกั่วบัดกรี
12. หัวแร้งบัดกรี
13. หม้อแปลงไฟฟ้า AC 220 input 24 V output ขนาด 1 แอมป์

3.1.2 วัสดุสำหรับทำขั้วไฟฟ้า

1. เส้นลวดแพลตตินัม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm.(Advent Research Materials Ltd.,UK)
2. กาวอิพอกซี
3. แผ่นพลาสติกใสความหนาขนาด 2 มม.
4. กระดาษทราย
5. มีดคัตเตอร์
6. ไม้บรรทัด

3.1.3 วัสดุที่ใช้เพาะเลี้ยง แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp.

1. หัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชน้ำเค็มของ *Tetraselmis* sp. และน้ำเลี้ยงแพลงก์ตอน สูตร ของ Sato and Serikawa (1978) สำหรับเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนได้รับความ อนุเคราะห์จาก สถาบัน เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทะเลสงขลา
2. สาร $Na_2HAsO_4.7H_2O$ (สำหรับการเลี้ยง เซลล์แพลงก์ตอนที่มีการปนเปื้อน สารหนู)

3.1.4 วัสดุที่ใช้สำหรับแขวนลอยเซลล์แพลงก์ตอน

1. ซูโครส
2. สารละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์(KCl) สำหรับปรับค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์

3.1.5 วัสดุที่ใช้สำหรับตรวจสอบการมีชีวิตของเซลล์แพลงก์ตอน

1. สารละลายเข้มข้นของ Fluorescein diacetate : FDA 0.5 %

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์แยกสัญญาณ

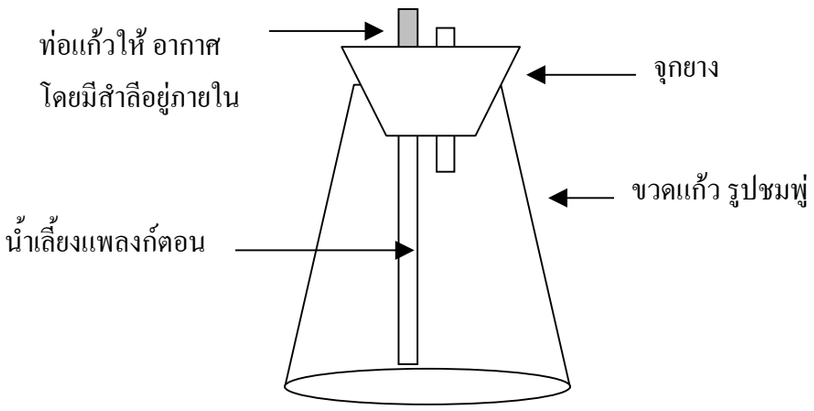
1. ออสซิลโลสโคปแบบ 4 ช่องสัญญาณ 100 MHz (Tektronix ,2245A, USA)
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (STAND FORD RESEARCH SYSTEM , DS340)

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงและเตรียมเซลล์

1. ชุดอุปกรณ์การเพาะเลี้ยงเซลล์แพลงก์ตอน ได้แก่ ขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 1 ลิตร

พร้อมจุกยางสำหรับปิดปากขวดแก้วเพาะเลี้ยง จุกยางดังกล่าวถูกเจาะรูไว้สองรู สำหรับสอดท่อสาย ยางต่อกับเครื่องให้อากาศ โดยมีสำลีสำหรับกรองอากาศคั่นไว้ที่ปลายท่อ ดังแสดงภาพประกอบ 3.1

2. เครื่องวัดความเข้มแสง (HIOKI E.E ,3421,Japan)
3. หม้อนึ่งความดันไอน้ำสำหรับฆ่าเชื้ออุปกรณ์ก่อนการใช้เพาะเลี้ยงเซลล์



ภาพประกอบ 3.1 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับการเพาะเลี้ยง

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับการเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า

1. จานเพาะเลี้ยง (Petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm.
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Denver Instrument , M0009861,USA)
3. กล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ (OLYMPUS , DXC-107AP,USA)กำลังขยาย 600 เท่า
4. สายโคแอกเชียล รุ่น RQ-58ALV หัวต่อแบบ M-BNC
5. อุปกรณ์ตัวปรับเลื่อนตำแหน่งอย่างละเอียด (Micromanipulator, Japan)
6. ออสซิลโลสโคปแบบ 4 ช่องสัญญาณ 100 MHz (Tektronix ,2245A,USA)
7. เครื่องเล่น วิดีโอเทป (SONY ,SLV-K872,Japan)
8. โทรทัศน์สีขนาด 24 นิ้ว (Panasonic,Japan)
9. กล้อง CCD (SONY , SSC-DC18P,Japan)
10. ไมโครโฟน

11. Phase Shift Unit2 ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้
12. ขั้วไฟฟ้า ที่ทำขึ้นในงานวิจัยนี้
13. เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (STAND FORD RESEARCH SYSTEM , DS340)
14. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Tetracon 325 , LF 318 ,USA)
15. ไมโครปิเปต (Nichipet ,5000G,Japan) ช่วง 10- 100 ไมโครลิตร
16. อุปกรณ์สำหรับวัดความหนืดของสารละลาย (Schcott Geratte ,รุ่น51610/1 ,Germany)
17. ม้วนวิดีโอสำหรับบันทึกภาพขนาดความยาว120 และ180นาที(SONY,Japan)
18. นาฬิกาจับเวลา (CITIZEN , LC QUARTZ , Japan)

3.2.4 อุปกรณ์สำหรับวัดการหมุนของเซลล์ในสนามไฟฟ้า

1. คอมพิวเตอร์ CPU Pentium 4 ,1.8 GHz / Ram 256MB /Harddisk 40 GB
2. TV Tuner (Winfast , TV 2000 XP) สำหรับนำภาพจากวิดีโอเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Cell RPM V.2 พัฒนาโดย ผศ.เลียง คูบุรัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อวัดการหมุนของเซลล์

3.2.5 อุปกรณ์สำหรับการประมวลผลเชิงทฤษฎี

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3 วิธีการวิจัย

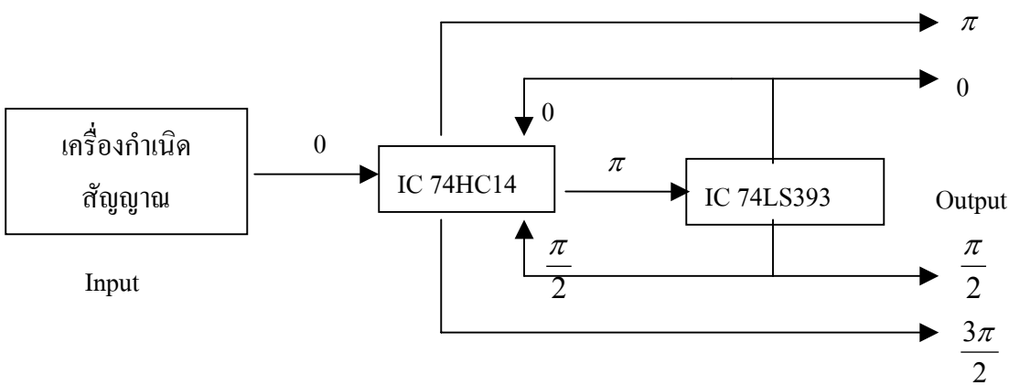
3.3.1 พัฒนาอุปกรณ์แยกสัญญาณ (Phase Shift Unit2 ,PSU 2)

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ห้องวิจัยทำขึ้น (PSU1) ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับความถี่สูงกว่า 1 MHz จึงออกแบบอุปกรณ์ใหม่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น และเรียกอุปกรณ์ที่ปรับปรุงนี้ว่า PSU 2 จากภาพประกอบ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของเครื่อง แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนแยกสัญญาณไฟฟ้า เลือกใช้ IC ชนิด TTL 2 ตัว คือ 74HC14 ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุท ให้สัญญาณมีเฟสต่างกัน π สัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยัง 74LS393 ที่เอาท์พุท 74LS393 จะได้สัญญาณสองสัญญาณ ที่มีเฟสต่างกันเป็นมุม $\frac{\pi}{2}$ และสัญญาณทั้งสองนี้จะถูกส่งกลับไป 74HC14 เพื่อทำหน้าที่กลับเฟสสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง ดังไดอะแกรมการทำงานของไอซี ทั้งสองนี้ดูได้จากภาพประกอบ 3.3 (a) ดังนั้น จะได้สัญญาณทั้งสี่ที่มีเฟสต่างกัน $\frac{\pi}{2}$

2. แหล่งจ่ายไฟของวงจร

ไฟฟ้ากระแสสลับ24V.จากหม้อแปลงจะต่อผ่านไดโอดเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็น ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าประมาณ 32 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุ (C_1) 1000 μF เป็นตัวกรองทำให้สัญญาณเรียบ ทั้งนี้มีทรานซิสเตอร์ 2SC1061 เป็นทางผ่านของกระแสไฟไปจุดเอาท์พุท กระแสไฟที่มาไบอัส ที่ได้จาก KTC9013 โดยที่ขา B ของ KTC9013 จะเป็นตัวควบคุมกระแส ถ้ากระแสไหลเข้าขา B น้อย เอาท์พุทจะมีแรงดันไฟต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงใช้ KTC9013 อีกตัวมาทำการควบคุมขา B ของ KTC9013 เมื่อสมมติให้ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_9) ให้มีความต้านทานน้อยลง ทำให้มีกระแสไฟมาไบอัส KTC9013 ให้นำกระแส ส่งผลให้ขา B ของ 2SC1061 จะไม่มีกระแส แรงดันเอาท์พุทจึงต่ำ และหากปรับ R_9 ให้มีความต้านทานมาก กระแสไฟที่มาไบอัส KTC9013 ต่ำ ทำให้ KTC9013 นำกระแสได้น้อย แต่ 2SC1061 จึงนำกระแสได้มาก ส่งผลให้แรงดันเอาท์พุทสูง ต่อเอาท์พุทของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับขา C ของทรานซิสเตอร์ 2N706 โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากไอซี TTL ทั้ง 2 ตัวเป็นตัวควบคุมขา B ของทรานซิสเตอร์ 2N706 ปรับอัมปลิจูดสัญญาณไฟฟ้าของ PSU2 โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_9)ทำการบัดกรีอุปกรณ์ให้เรียบร้อยแล้วนำมาประกอบลงกล่องดังภาพประกอบ 3.3 (b)



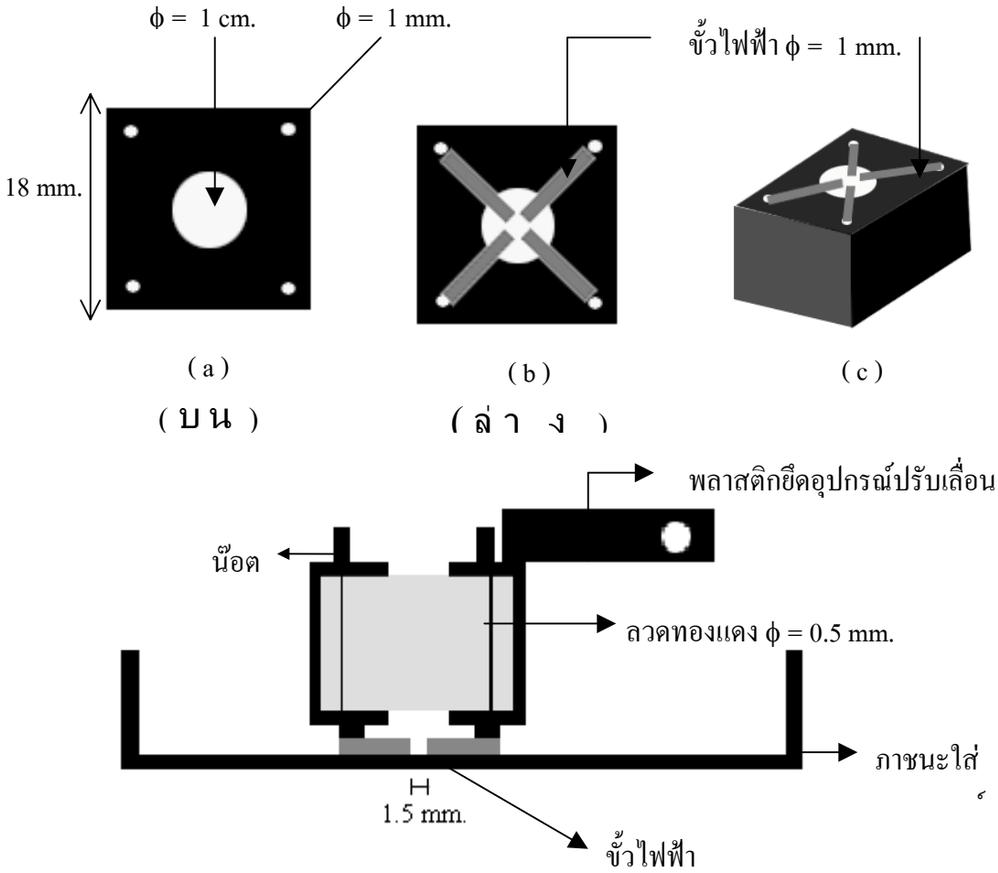
(a)

(b)

ภาพประกอบ 3.3 ไดอะแกรมการทำงานของ IC 74HC14 และ IC 74LS393 (a) ซึ่งบรรจุในกล่อง PSU2 (b) หน้ากล่อง ประกอบด้วยช่องสำหรับรับสัญญาณเข้า(Input)จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ช่องจ่ายสัญญาณ 4 ช่อง (Output) และปุ่มปรับ อัมปลิจูด (Amplitude)

3.3.2 ปรับปรุงขนาดพื้นที่ทำงานของขั้วไฟฟ้า

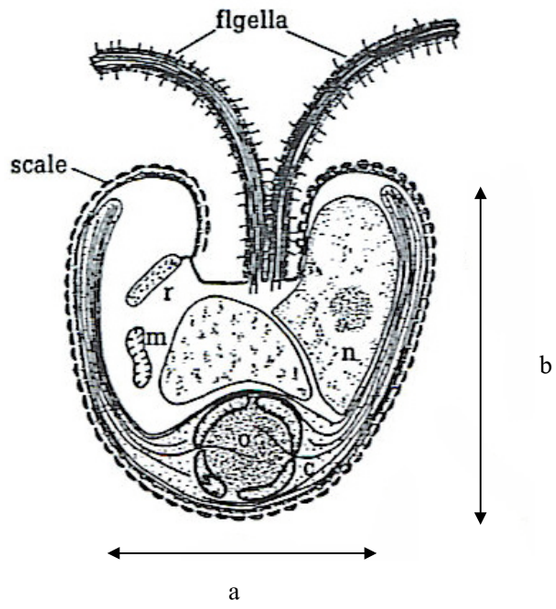
ตรึงลวดแพลตตินัม เส้นผ่านศูนย์กลาง (ϕ) 1 มม. ยาว 1 ซม. บนแผ่นพลาสติกใส ดังภาพประกอบ 3.4 (a , b และ c) โดยให้ขั้วไฟฟ้าทั้งสี่มีระยะห่าง 1.5 มม. ยึดขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ด้วยลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม. ซึ่งขึงตึงอยู่ในกล่องพลาสติกด้วยน๊อต เพื่อต่อกับเอาท์พุทของ PSU 2



ภาพประกอบ 3.4 แสดงการประกอบขั้วไฟฟ้าชนิด แพลตตินัม (a,b,c) และ การยึดขั้วไฟฟ้ากับแผ่นพลาสติกเพื่อการใช้งาน (d)

3.3.3 การเพาะเลี้ยงเซลล์ และการเตรียมเซลล์

แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp. เป็นแพลงก์ตอนน้ำเค็มที่ได้รับการอนุเคราะห์ จากสถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา ลักษณะของเซลล์ มีรูปทรงรีที่มีความกว้าง a และความยาว b โดยเฉลี่ย ประมาณ 12.0 ± 0.8 และ 7.0 ± 0.8 μm .ตามลำดับ มีเปลือกหุ้ม เกิดจากเกล็ดคลุมเซลล์ มีหนวด 4 เส้น ดังภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 ลักษณะแพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp.

3.3.3.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์แพลงก์ตอน

ก่อนเริ่มทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ทุกครั้งมีการทำความสะอาดและทำการฆ่าเชื้อ อุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งภาชนะที่ใช้ทำการทดลอง ด้วยหม้ออบความดันไอน้ำ ใช้อุณหภูมิ 121 ^{o}C นานประมาณ 20 นาที ปิดปากภาชนะด้วยอลูมินัมเพื่อป้องกันเชื้อโรค ผสมหัวเชื้อ *Tetraselmis* sp. ในสารละลายน้ำเลี้ยงสูตร Sato & Serikawa (ภาคผนวก ก.) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อต่อสารละลาย 1 : 10 โดยปริมาตร ให้ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นประมาณ 10^{6} cell / ml. เพาะเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ที่ต่อกับท่ออากาศในตู้เพาะเลี้ยงที่มีความเข้มแสง 3000 lux มีตัวควบคุมระบบการเปิดปิดไฟด้วยสวิทช์อัตโนมัติ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ต่อวันอุณหภูมิเฉลี่ยของการเพาะเลี้ยงในช่วงมีแสง 25 ± 3^{o}C เลือกเซลล์ในระยะล็อกเฟสของการเติบโต มาทำการทดลองซึ่งประมาณวันที่ 3 หลังการเพาะเลี้ยงพร้อมทั้งนำไปขยายพันธุ์ต่อในอัตราส่วนเดิม สำหรับการทดลองชุดต่อไป

3.3.3.2 การเตรียมเซลล์เป็นและตาย

นำเซลล์ *Tetraselmis* sp.ที่เพาะเลี้ยงได้ 3 วันจำนวน 1 มล. มาปั่นแยกที่ 7000 รอบต่อนาที (3.5g) แต่ละครั้งใช้เวลานาน 2 นาที เอาน้ำเลี้ยงของเซลล์ทิ้ง แล้วเติมสารละลายน้ำตาลซูโครส 0.3 M ทำซ้ำตามวิธีเดิมอีกครั้ง ส่วนการเตรียมเซลล์ตาย เตรียมโดย นำเซลล์ไปต้ม ที่อุณหภูมิ80^{0}C เป็นเวลา 10 นาทีทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปั่นแยกเซลล์ออกจากน้ำเลี้ยง ด้วยวิธีเดียวกัน

3.3.3.3 การเตรียมเซลล์ปนเปื้อนสารหนู

นำเซลล์แพลงก์ตอน ที่เลี้ยงตาม 3.3.3.1 เลือกระยะล็อกเฟส เลี้ยงในสูตรอาหาร Sato & Serikawa แบ่งออกเป็น 4 ชุด ใส่ขวดรูปชมพู่เท่าๆกัน จำนวน 200 มล. โดย 3 ชุดแรกเติมสารหนูเข้มข้น 100 ppm 50 ppm และ 10 ppm อีกหนึ่งชุดเป็นชุดควบคุม เลี้ยงเซลล์ในเงื่อนไขดังกล่าวไว้ 24 ชม. แล้วปั่นแยกเซลล์ออกจากน้ำเลี้ยง ด้วยวิธีที่กล่าวข้อ 3.3.3.2

3.3.3.4 การปรับสภาพนำไฟฟ้า ของสารละลายสำหรับแขวนลอยเซลล์

ปรับสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายซูโครสด้วย สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 M วัดค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายซูโครสด้วย เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง (25 ^{0}C) จนกระทั่งได้สารละลายที่มีสภาพนำไฟฟ้าที่ต้องการคือ 5 10 และ 15 mS.m^{-1}

3.3.3.5 การทดสอบการมีชีวิตของเซลล์

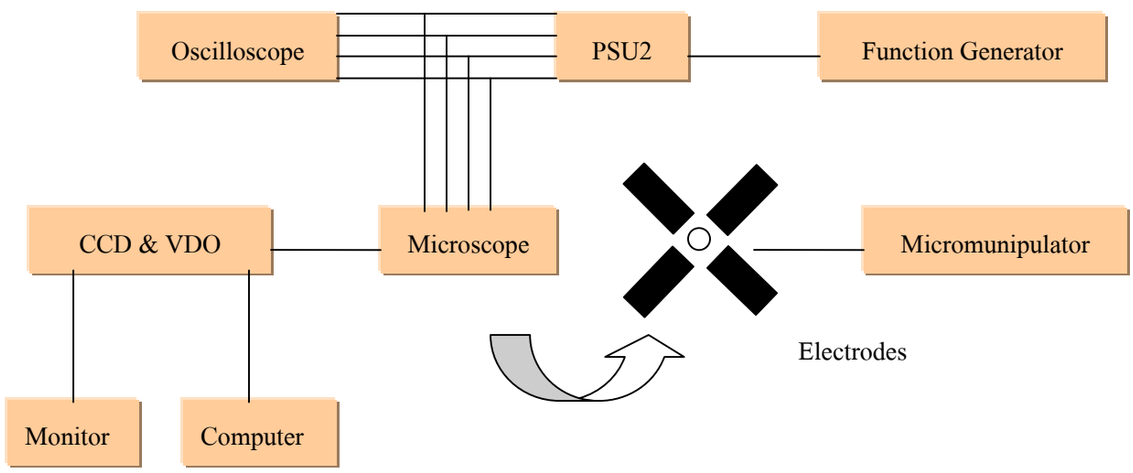
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การตรวจสอบการมีชีวิต 2 วิธี คือ

1. การเพาะเลี้ยงเพื่อดูการเจริญเติบโตโดยการนำเซลล์ที่ผ่านการต้ม ในข้อ 3.3.3.2 และเซลล์ปกตินำมาลี้ยงในน้ำเลี้ยง ทำการนับความหนาแน่นเซลล์ทุกวัน เปรียบเทียบระหว่างเซลล์ที่ผ่านการต้ม และเซลล์ปกติ สำหรับเซลล์ที่ปนเปื้อนสารหนู เมื่อเลี้ยงในน้ำเลี้ยงที่ปนเปื้อนสารหนูดังหัวข้อ 3.3.3.3 แล้วนำเซลล์ปั่นแยกน้ำเลี้ยงที่ปนเปื้อนออก แล้วเพาะเลี้ยงเซลล์ในน้ำเลี้ยงปกติทำการนับความหนาแน่นเซลล์ทุกวัน

2. สำหรับวิธีการติดสี จะทำโดยเตรียมสารละลายเข้มข้นของ Fluorescein diacetate : FDA 0.5 % หยดสารละลาย FDA ลงในสารละลายน้ำตาลซูโครส 0.3 M ที่มีเซลล์ แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp. ที่ผ่านการต้มปริมาตร 5 มล. และเซลล์ปกติ 5 มล. จนสารละลายของเซลล์ทั้งสอง เป็นสีขาวขุ่น นำเซลล์ ทั้งสองชนิด หยดลงบนแผ่นสไลด์ชนิดละแผ่น ทิ้งไว้ 2-5 นาที สังเกตุเซลล์ทั้งสองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับปรับแสงให้พอเหมาะและเลื่อนหาตำแหน่งที่เห็นเซลล์ชัดเจนด้วยปุ่มปรับความชัดชนิดหยาบและละเอียด ปิดแสงจากกล้องจุลทรรศน์ แล้วเปิดแสง UV ที่ฐานกล้องเพื่อดูการเรืองแสงของเซลล์

3.3.4 การเหนี่ยวนำเซลล์ด้วยไฟฟ้า

จัดอุปกรณ์สำหรับเหนี่ยวนำเซลล์ด้วยไฟฟ้าให้สัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้า PSU2 ซึ่งต่อกับขั้วไฟฟ้าทั้งสี่ ขณะเดียวกันใช้ออสซิลโลสโคปแบบสี่ช่องสัญญาณตรวจสอบสัญญาณที่ให้กับขั้วไฟฟ้าส่วนตัวกล้องจุลทรรศน์ต่อกับกล้องถ่ายรูป (CCD) บันทึกภาพวิดีโอการทดลอง และสามารถมองผ่านจอมอนิเตอร์ ขณะเดียวกันได้เก็บข้อมูลการหมุนของเซลล์ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังภาพประกอบ 3.6



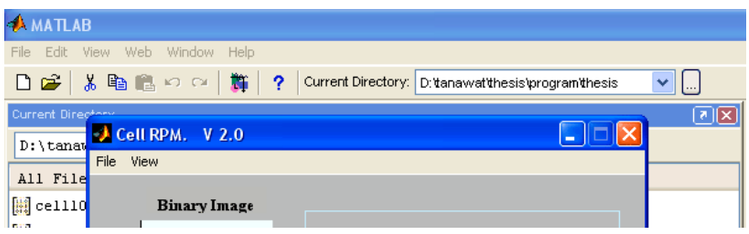
ภาพประกอบ 3.6 ไดอะแกรมการจัดวางอุปกรณ์ทดลอง

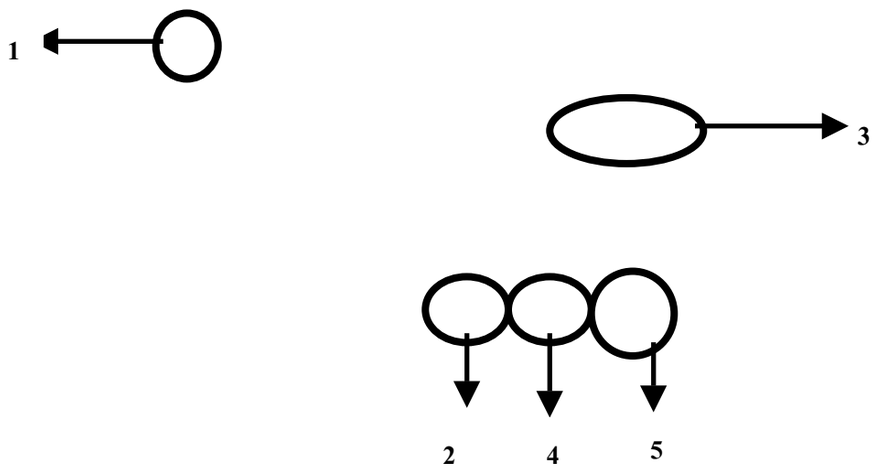
หยดสารละลายที่มีเซลล์ปนอยู่ลงในจานแก้ว แล้วหย่อนขั้วไฟฟ้าคร่อมเซลล์ที่ต้องการศึกษา จัดให้อยู่กึ่งกลางขั้วไฟฟ้า ปรับอัมปลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าที่ PSU2 และปรับความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณตั้งแต่ 1 kHz ถึง 5 MHz บันทึกการหมุนของเซลล์ที่แต่ละความถี่นานประมาณ 10 - 50 วินาที นำข้อมูลนี้ไปคำนวณอัตราหมุนของเซลล์

3.3.5 การคำนวณอัตราการหมุนของเซลล์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Cell RPM V.2

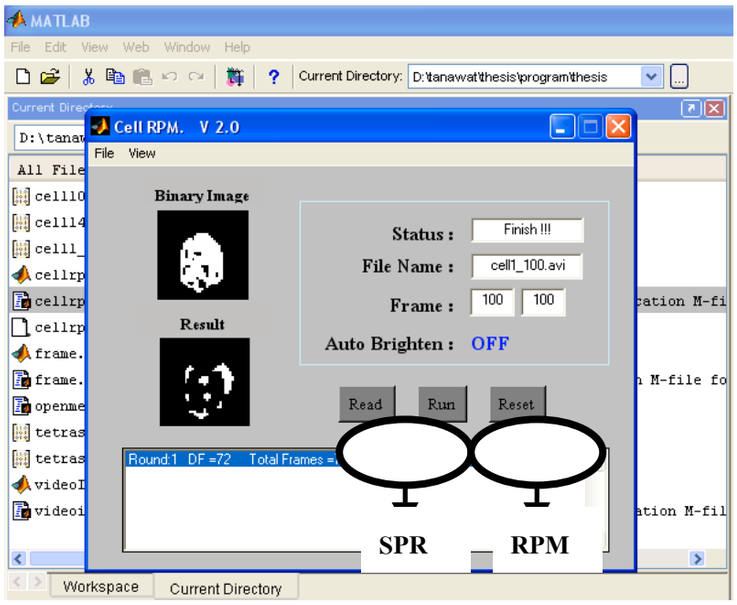
เลือกสนามไฟฟ้าขนาด 8.4 $kV.m^{-1}$ ถึง 18.9 $kV.m^{-1}$ เพื่อเหนี่ยวนำเซลล์แล้วบันทึกภาพการหมุนของเซลล์ ที่แต่ละความถี่เป็นไฟล์วิดีโอไว้ในคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้จะทำงานและแปรผลภายใต้โปรแกรม Matlab ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 ดังนี้

เปิดไฟล์ วิดีโอที่แถบเมนู (หมายเลข1) กดปุ่ม Read (หมายเลข 2) เพื่ออ่านไฟล์ วิดีโอ จะปรากฏคำว่า Ready ที่ช่อง Status (หมายเลข 3) เมื่อกดปุ่ม Run (หมายเลข 4) โปรแกรมทำการวัดความเร็วรอบของเซลล์ และคำนวณอัตราหมุนของเซลล์ในหน่วย วินาที/รอบ ค่าที่ปรากฏตรง SPR คือเวลาที่เซลล์หมุนรอบตัวเอง 1 รอบและค่าที่ปรากฏตรง RPM คือ จำนวนที่รอบของเซลล์หมุน ภายใน1 นาที หากต้องการลบข้อมูลทั้งหมด ให้กด Reset (หมายเลข 5)





(a)



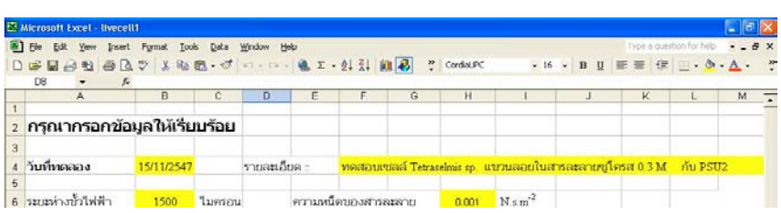
(b)

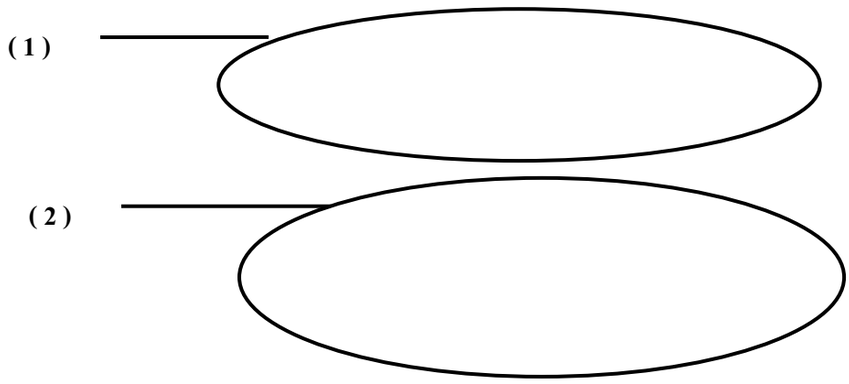
ภาพประกอบ 3.7 แสดงการทำงานของโปรแกรม Cell RPM V.2 ลักษณะหน้าจอตัวโปรแกรม (a) โปรแกรมคำนวณอัตราหมุนของเซลล์ (b)

3.3.6 การพัฒนาโปรแกรม Excel เพื่อเก็บข้อมูล และประมาณค่าคงที่ทางไฟฟ้า

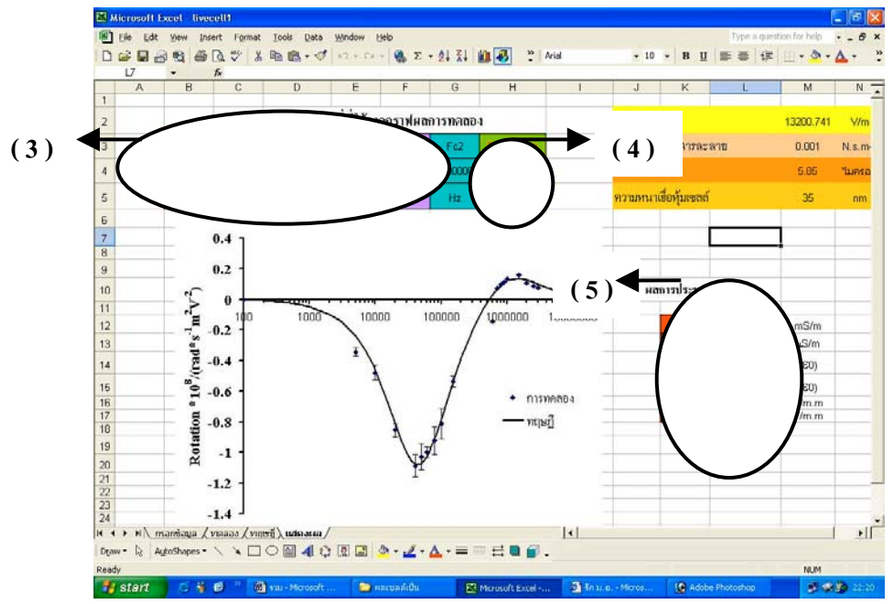
แบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่กรอกข้อมูล (ภาพประกอบ 3.8 a) และส่วนแสดงผล (ภาพประกอบ 3.8 b) ที่บริเวณหมายเลข 1 ใส่ข้อมูลค่าที่ใช้ทดลองเช่น ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า อัมปลิจูดของสัญญาณ ความเข้มสนามไฟฟ้า ความหนืดของสารละลาย รัศมีเซลล์ และ สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่แขวนลอยเซลล์ ส่วนบริเวณของหมายเลข 2 คือ ข้อมูลความถี่ และค่า SPR ที่ได้จากการโปรแกรม Cell RPM V.2 แต่ละคอลัมน์แทนข้อมูลของแต่ละเซลล์ที่ทดลองตามความถี่ที่ใช้ในคอลัมน์แรก ข้อมูลในสองคอลัมน์ท้ายของหน้าจอหมายเลข 2 บอกค่าเฉลี่ยอัตราหมุนของเซลล์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำหรับภาพประกอบ 3.8 b แสดงกราฟอัตราหมุนเทียบกับความถี่ที่ได้จากการทดลอง และเส้นกราฟที่ลากผ่านค่าเฉลี่ยซึ่งคำนวณจากแบบจำลองเซลล์เดี่ยวทรงกลมเปลือกเซลล์ชั้นเดียว (ข้อ2.3 ในบทที่ 2) และบริเวณของหมายเลข 3 คือค่า f_{c1} , f_{c2} , R_1 และ R_2 ที่นำมาจากกราฟผลการทดลอง เพื่อโปรแกรมคำนวณและลากเส้นกราฟตามทฤษฎีให้สอดคล้องกับกราฟผลการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้สัมประสิทธิ์การถดถอย (ข้อ 2.4ในบทที่ 2)(หมายเลข 4) ให้มีค่าใกล้เคียง 1.0 ในที่สุด โปรแกรมคำนวณค่าคงที่ทางไฟฟ้าและแสดงผลออกมาบริเวณหมายเลข 5





(a)



(b)

ภาพประกอบ 3.8 โปรแกรม Exel กำลังประมาณค่าคงที่ของเซลล์ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกรอกข้อมูล (a) ส่วนแสดงผลกราฟ (b)