ภาคผนวก 1

ตาราง 7.1 สูตรอาหารสำหรับใช้เพาะเลี้ยง *Dendrobium sp.* ที่ใช้ในการทดลอง

สูตรอาหาร VW สำหรับเลี้ยง *Dendrobium sp.* ปริมาตร 1 ลิตร		
Macro stock A	10	ml
Micro stock B	10	ml
Stock C	10	ml
Sucrose	20	g
$Ca_3(PO_4)_2$ ละลายใน 1 N HCL	0.2	g
น้ำมะพร้าว	150	ml
วุ้น ตรานางเงือก	8	g

Stock A (VW) ปริมาตร 1 ลิตร ประกอบด้วย		
KNO_3	525	mg
KH_2PO_4	250	mg
$(NH_4)_2SO_4$	500	mg
Stock B (VW) ปริมาตร 1 ลิตร ประกอบด้วย		
$MgSO_4.7H_2O$	250	mg
$MnSO_4.H_2O$	57.0	mg
Stock C (VW) ปริมาตร 1 ลิตร ประกอบด้วย		
Na_2EDTA	37.25	mg
$FeSO_4.7H_2O$	27.85	mg

ค่า pH = 4.8-5.0

ตาราง 7.2 สูตรอาหารสำหรับใช้เพาะเลี้ยง *Lillium longiflorum* ที่ใช้ในการทดลอง

สูตรอาหาร BDS สำหรับเลี้ยง *Lillium longiflorum* ปริมาตร 1 ลิตร				
Macro			100	ml
Micro			1	ml
MsFe			10	ml
Vitamine			1	ml
MS-inositol			10	ml
Sucrose			30	g
$Na_2HPO_4H_2O$			1	ml
วุ้น ตรานางเงือก			8	g
Sub BA			3 - 2	ml
	Stock Macro BDS	1 L		
	$CaCl_2 2H_2O$	150	mg	
	KNO_3	2530	mg	
	NH_4NO_3	320.16	mg	
	$NH_4H_2PO_4$	230.06	mg	
	$(NH_4)_2SO_4$	134	mg	
	$MgSO_4 7H_2O$	274	mg	
	Stock Micro BDS	1	L	
	$MnSO_4 4H_2O$	13.2	mg	
	$ZnSO_4 7H_2O$	2	mg	
	$CuSO_4 5H_2O$	0.039	mg	
	KI	0.75	mg	
	$CaCl_2 6H_2O$	0.025	mg	
	H_3BO_3	3	mg	
	$NaMO_4 2H_2O$	0.25	mg	
	$NaMO_4 2H_2O$	174	mg	(เตรียมต่างหาก)

ตาราง 7.2 (ต่อ) สูตรอาหารสำหรับใช้เพาะเลี้ยง *Lillium longiflorum* ที่ใช้ในการทดลอง

Stock Vitamin BDS	100	ml	
Nicotinic		0.1	g
Thiamine HCl		1	g
Pynidoxine HCl		0.1	g
pH = 5.5			

วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงต้นไม้ ปริมาตร 1 ลิตร

1. เตรียมภาชนะที่มีความจุอย่างน้อย 1 ลิตร ใส่น้ำกลั่น จำนวน 500 ml
2. เติม สารละลาย Stock A,B และ C ตามปริมาณที่ระบุไว้ตามสูตร ใช้อุปกรณ์ Stirrer คน เพื่อให้สารละลายเข้ากัน
3. ชั่งน้ำตาลซูโครส ปริมาณตามที่สูตรกำหนด เติมในสารละลายที่เตรียมไว้ตามข้อ 2 คนต่อไปด้วยอุปกรณ์ Stirrer จนสารละลายเป็นเนื้อเดียว
4. เติมน้ำกลั่นลงไปจนปริมาตรเกือบครบ 1,000 ml แล้วคนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียว
5. ปรับ pH ให้ได้ค่าใกล้เคียงกับที่สูตรกำหนด โดย
   - ถ้าต้องการปรับ pH ให้ลดลง ใช้สารละลาย HCl
   - ถ้าต้องการปรับ pH ให้เพิ่มขึ้น ใช้สารละลาย NaOH
6. ปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 1,000 ml โดยใช้ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 ml
7. เติมวุ้นปริมาณตามที่สูตรกำหนด นำไปต้มโดยเตาอบ ไมโครเวฟ ให้วุ้นละลาย
8. นำสารละลายหรืออาหารหลังจากต้ม บรรจุในขวดที่มีฝาปิดมิดชิดขนาด 5 ออนซ์ โดยบรรจุอาหารแต่ละขวดปริมาณ 25 ml
9. นำไปอบฆ่าเชื้อ ด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่ ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121^0C นาน 20 นาที
10. นำออกจากหม้อนึ่ง รอจนอุณหภูมิลดลง จึงนำไปเก็บที่ชั้นวาง เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงต้นไม้ต่อไป

ภาคผนวก 2

การเตรียมเอนไซม์ ปริมาตร 50 ml

1. เอนไซม์สำหรับย่อยใบ *Dendrobium sp.* (Cellulase 2% + Dricilase 1% + Marcerrozyme 0.5%)
   - เตรียมบิกเกอร์ขนาดอย่างน้อย 50 ml เติมน้ำกลั่นจำนวน 25 ml
   - ชั่ง เอนไซม์ Cellulase 1 g, Dricilase 0.5 g และ Marcerrozyme 0.25 g เติมในน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ แล้วคนเพื่อให้เอนไซม์ละลายเข้ากันด้วยอุปกรณ์ Stirrer
   - ชั่งน้ำตาล แมนนิทอน จำนวน 6.376 g เติมลงไปในเอนไซม์ที่เตรียมไว้แล้วคนต่อไปให้เข้ากัน (เติมให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายเป็น 0.7 M เพื่อเซลล์เหี่ยวนิดหน่อยขณะกำลังย่อยจะช่วยให้ย่อยง่ายขึ้น)
   - เติมน้ำกลั่นในสารละลายจนปริมาตรเกือบครบ 50 ml
   - ปรับ pH ให้ได้ใกล้เคียง 5.7
   - ปรับปริมาตรจนครบ 50 ml โดยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml
   - นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge เพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลาย
   - นำสารละลายหรือเอนไซม์ที่ได้บรรจุขวดปิดฝาแล้วเก็บไว้ในช่องแช่แข็งของตู้เย็นเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ สำหรับไว้ใช้งานต่อไป
2. เอนไซม์สำหรับย่อยใบ *Lillium longiflorum* (Cellulase 1% + Driselase 1% + Marcerozyme 0.5%)

   วิธีการเตรียมเหมือนกับการเตรียมเอนไซม์สำหรับย่อยใบ *Dendrobium sp.* เพียงแต่ลดปริมาณของ Cellulase ลงเหลือจำนวน 0.5 g

ความดันออสโมติก (Osmotic pressure)

เซลล์ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายเปรียบเสมือนกับระบบสองระบบที่ถูกแยกออกจากกันโดยมีเยื่อบางกั้นหรือเยื่อหุ้มเซลล์ และทั้งสองด้านของระบบเป็นสารละลาย ถ้าความเข้มข้นของสารละลายในด้านที่ 1 (c_i คือ ความเข้มข้นภายในเซลล์) และด้านที่ 2 (c_o คือความเข้มข้นภายนอกเซลล์) มีค่าไม่ท่ากัน จะมีการไหลของโมเลกุลของสารละลายจากด้านที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เพื่อรักษาสมดุลของระบบ แต่หากว่าโมเลกุลของสารละลายมีขนาดใหญ่กว่ารูของเยื่อหุ้มเซลล์ที่กั้นอยู่โมเลกุลของสารจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ดังนั้นระบบจะรักษาสมดุลไว้โดยการทำให้โมเลกุลของน้ำซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดี (บัญญัติ, 2533) เป็นตัวเคลื่อนที่แทนโมเลกุลของสารละลาย การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำจะเป็นไปในลักษณะของการแพร่โดยจะแพร่จากด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำ ซึ่งจะตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลาย เนื่องมาจากสาเหตุ บริเวณที่ความเข้มข้นสูงจะมีปริมาณน้ำน้อยกว่าบริเวณที่มีความเข้มต่ำ เมื่อเทียบเป็นปริมาตร ผลจากการแพร่ของโมเลกุลของน้ำดังกล่าว ก่อให้เกิดแรงดันในทิศทางตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำกระทำต่อเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกความดันนี้ว่า ความดันออสโมติก ($\Delta\pi$) ตามกฎของ Vant'Hoff law (Hoppe et al, 1983) หาค่าได้จากค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ ($R= 8.31441\ J.mol^{-1}.K^{-1}$)คูณกับค่าอุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิล (K) ของระบบกับผลต่างของความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองด้านของเยื่อหุ้มเซลล์ลายทั้งสอง (ΔC)

$$\begin{aligned}\Delta\pi &= \pi_i - \pi_o \\ &= RT(c_i - c_o) \\ &= RT\Delta c \end{aligned} \qquad (38)$$

หลังจากที่โมเลกุลของน้ำแพร่ไปสู่อีกด้านของเยื่อหุ้มเซลล์จนความเข้มข้นของทั้งสองด้านมีค่าเท่ากันจึงเกิดความสมดุลนั่นหมายความว่าความดันออสโมติกมีค่าเป็นศูนย์ ($\Delta\pi=0$) สำหรับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตถ้าความความเข้มข้นภายในเซลล์สูงกว่าภายนอกน้ำจะแพร่จากภายนอกเข้าสู่ภายในเซลล์จะส่งผลให้เซลล์ขยายใหญ่ขึ้นและอาจจะแตกในที่สุด และในทางกลับกันถ้าความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ต่ำกว่าภายนอกน้ำจะแพร่จากภายในเซลล์สู่ภายนอกเซลล์และส่งผลให้เซลล์เหี่ยวจนมีขนาดเล็กลง

เกรเดียนท์เดนซิตี้ (Gradient density)

การแยกของผสมออกจากสารละลายที่แขวนลอย มีหลายวิธีตามความเหมาะสม เช่นการกรอง การกลั่น หรือการทำเกรเดียนท์เดนซิตี้ หรือวิธีอื่นๆ ในที่นี้ขอกล่าวถึงวิธี เกรเดียนท์เดนซิตี้

การแยกของผสมออกจากสารละลายโดยวิธีนี้ส่วนใหญ่ใช้กับตัวกลางที่ที่เป็นของเหลว อาศัยหลักการความต่างกันของค่าความหนาแน่นของสารประกอบที่จะแยกออกจากกัน เมื่อหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วที่เหมาะสมด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง โมเลกุลหรือสารประกอบที่มีความหนาแน่นมากจะเคลื่อนที่ออกไปได้ไกลกว่าส่วนที่มีความหนาแน่นน้อยทำให้สารหลังจากถูกหมุนเหวี่ยง สารจะแยกตัวออกเป็นชั้นตามความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยการทำแกรเดียนท์เดนซิตี้เพื่อแยกโพรโทพลาสต์ที่ย่อยได้ออกจากออกจากเอนไซม์มีวิธีการดังต่อไปนี้

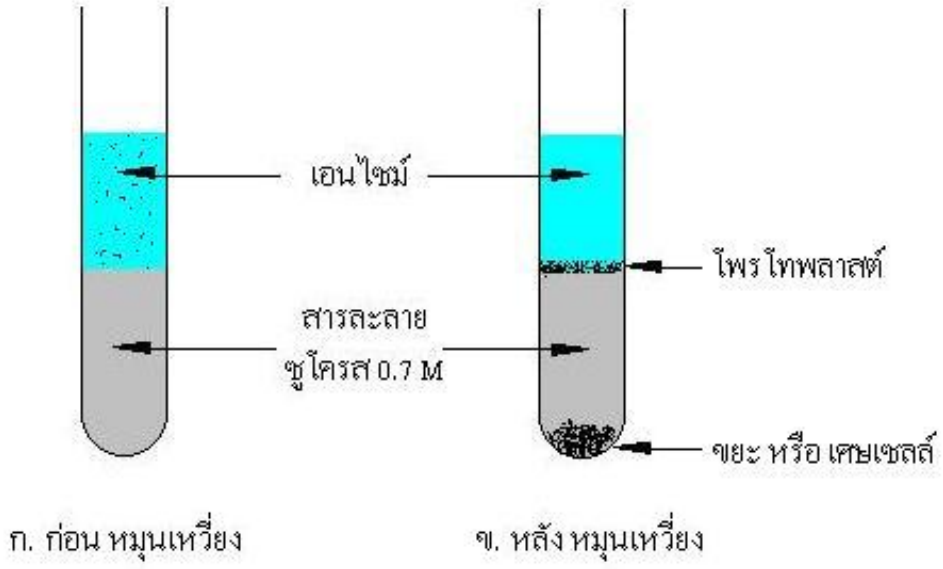
1. เตรียมสารละลายซูโครสความเข้มข้น 0.7 M ใส่ในหลอดขนาด 10 ml จำนวน 4 ml

2. นำโพรโทพลาสต์ที่ย่อยจนครบตามกำหนดเวลา กรองด้วยตะแกรงขนาดรู 140 μm เพื่อแยกเศษเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ออก แล้วนำส่วนที่กรองเสร็จแล้วใส่ในหลอดที่บรรจุน้ำตาลซูโครส 0.7 M จนเต็มหรือหมดสารที่มีโพรโทพลาสต์ปะปนอยู่ โดยไม่ให้สารทั้งสองละลายปะปนกัน ซึ่งจะมองเห็นเป็นชั้นของสารละลายอยู่ดังภาพประกอบ 6.1ก. เสร็จแล้วปิดฝานำไปปั่นโดยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 1,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

3. นำหลอดที่บรรจุโพรโทพลาสต์ออกจากเครื่องหมุนเหวี่ยงจะสังเกตุเห็นชั้นของโพรโทพลาสต์อยู่ระหว่างชั้นของเอนไซม์กับสารละลายน้ำตาลซูโครส เป็นลักษณะของวงแหวนดังภาพประกอบ 6.1 ข

4. ใช้หลอดดูดสารละลายดูดเฉพาะส่วนที่เป็นโพรโทพลาสต์ใส่ในหลอดบรรจุอีกหลอดเพื่ออำปล้างเอนไซม์ที่ปะปนออกโดยการเติมสารละลายน้ำตาลแมนนิทอลที่เตรียมไว้แขวนลอยสำหรับทดลองแล้วนำหมุนเหวี่ยงอีกครั้งเพื่อให้โพรโทพลาสต์ตกตะกอน

5. ดูดสารละลายแมนนิทอนออก แล้วเติมใหม่ทำเหมือนข้อ 4 ทั้งหมด 3 ครั้งจะได้โพรโทพลาสต์ที่พร้อมสำหรับทำการทดลอง



ภาพประกอบ 6.1 ก) หลอดบรรจุสารละลายซูโครส 0.7 M และมีเอนไซม์ที่ย่อยโพรโทพลาสต์ ใส่ไว้ส่วนบนโดยไม่ให้ละลายปนกัน ข) หลังจากเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง โพรโทพลาสต์จะถูกแรงเหวี่ยงให้ไปรวมกันอยู่ที่ระหว่างรอยต่อการสารละลายซูโครสกับเอนไซม์ ส่วนเศษเซลล์ซึ่งจะมีความหนาแน่นมากกว่าโพรโทพลาสต์จะถูกเหวี่ยงไปกองอยู่ที่ก้นหลอด

การนับเซลล์โดยใช้สไลด์นับเซลล์

1. ใช้แผ่นสไลด์ ปิดสไลด์นับเซลล์ แล้วจึงหยดสารละลายที่มีเซลล์แขวนลอยอยู่ลงบนสไลด์นับเซลล์ แล้วนำไปนับโดยสังเกตผ่านกล้องจุลทัศน์

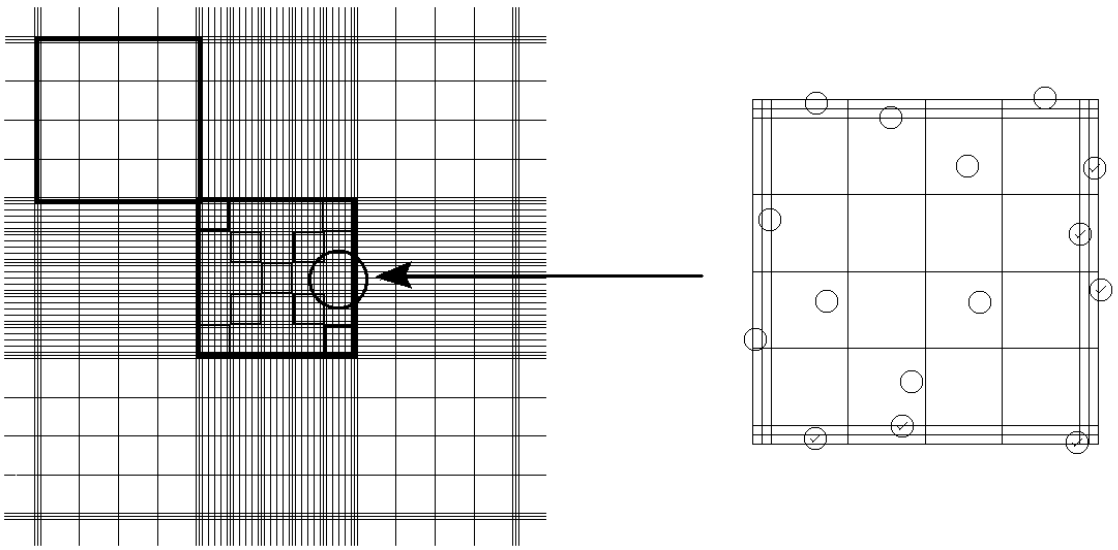
2. เริ่มนับเซลล์โดยหลักการนับมี 3 กรณีคือ

2.1 ถ้าจำนวนเซลล์ในกริดที่ทำเป็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมเส้นทึบตามภาพประกอบ A มีจำนวนน้อยกว่า 50 เซลล์ ให้นับเซลล์ที่มีอยู่เป็นกริดทั้งหมดห้ากริดคือตรงกลาง และตามมุมทั้งสี่ แล้วหาค่าเฉลี่ยต่อกริด แล้วคูณด้วยค่าคงที่ 5×10^4 จะได้ค่าออกมาเป็น ความหนาแน่นของจำนวนเซลล์ที่แขวนลอยหน่วยเป็น $Cell.ml^{-1}$

2.2 ถ้าจำนวนเซลล์ในกริดตามข้อ 2.1 มีค่าอยู่ระหว่าง 50 – 100 เซลล์ นับเซลล์เฉพาะในกริดตรงกลาง แล้วนำจำนวนเซลล์ที่นับได้คูณกับค่าคงที่ตามข้อ 4.1 จะได้จำนวนเซลล์ต่อปริมาตร

2.3 ถ้าจำนวนเซลล์ในกริดมากกว่า 100 เซลล์ ให้นับเซลล์จากช่องเล็ก 9 ช่องตามเส้นแทยงมุมในกริดที่อยู่ตรงกลาง แล้วนำจำนวนเซลล์ที่ได้ คูณด้วย $25/9\times10^4$ จะได้ค่าของจำนวนเซลล์ต่อปริมาตรเหมือนหัวข้อที่ 2.1

3. ถ้าเซลล์ที่นับไปตรงกับเส้นขอบของช่องที่ต้องการนับให้นับเซลล์ที่อยู่บนเส้นของสองด้านส่วนอีกสองด้านไม่นับ ดังภาพประกอบ 6.2 คือนับเซลล์ที่ไม่ทำเครื่องหมายไว้ส่วนที่เหลือไม่ต้องนับ



ก ข

ภาพประกอบ 6.2 ก) ลักษณะของสไลด์นับเซลล์ ส่วนภาพ ข) เป็นภาพขยายของช่องเล็กทั้ง 25 ช่องของกริดที่อยู่ตรงกลาง และแสดงเซลล์ที่ต้องนับและไม่นับเมื่อตำแหน่งของเซลล์อยู่ตรงเส้นของพอดี

การหาค่าความหนืดของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์

1. เตรียมสารละลายที่ต้องการวัดความหนืดปริมาตร 2 ml เทใส่ในอุปกรณ์ในภาพประกอบ 6.3 ทางช่อง A

2. นำจุกยางครอบไว้ที่ตำแหน่ง B แล้วดูดสารละลายให้ไหลขึ้นไปตามหลอดจนเลยตำแหน่ง C ขึ้นไป แล้วถอดจุกยางออกปล่อยให้สารละลายไหลกลับลงมา

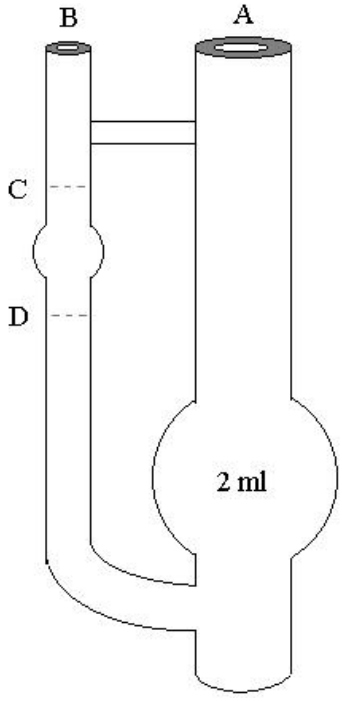
3. จับเวลาที่สารละลายใช้ในการไหลจากจุด C ถึงจุด D เป็นค่า t และทำซ้ำเหมือนเดิมอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วนำค่า t แต่ละครั้ง เฉลี่ยกันได้เป็นค่า $t_{average}$

4. หาค่าความหนาแน่นของสารละลายโดยนำสารละลาย จำนวน 2 ml ชั่งด้วยเครื่องชั่ง ความละเอียด 4 ตำแหน่ง นำค่าของน้ำหนักที่ได้คำนวณหาค่าความหนาแน่นจากสมการ(39)

$$D = \frac{M_{average}}{V} \tag{39}$$

5. นำค่าความหนาแน่นตามข้อ 4 คำนวณค่าความหนืดโดยใช้สมการ(40)โดย η คือความหนืด หน่วยเป็น $N.s.m^{-2}$และ k คือ ค่าคงที่ของอุปกรณ์การวัดค่าเท่ากับ $1.1\times10^{-8}\ m^2.s^{-2}$

$$\eta = Dkt_{average} \tag{40}$$



ภาพประกอบ 6.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความหนืด

การหาค่าเฉลี่ยและค่าความผิดพลาด

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุดต้องทำการทดลองหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยหาจากสมดังต่อไปนี้

โดยค่าเฉลี่ยหาจาก

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i}^{n} x}{n} \tag{41}$$

ค่าความผิดพลาดหาจาก

$$y = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \quad \text{ใช้ n-1 เนื่องจากข้อมูลน้อยกว่า 100 ชุด} \tag{42}$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

x ข้อมูลแต่ละค่า

n จำนวนของครั้งที่ทำการทดลอง

y ค่าความผิดพลาด

σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการนำเสนอข้อมูลสามารถเขียนได้ในรูป $\bar{x} \pm y$

เช่นค่าความจุไฟฟ้าของเซลล์มีค่า เท่ากับ $\mathbf{3.20 \pm 0.03}$ μF.cm^{-1}

การหาค่า Regression Coefficient

ในงานวิจัยนี้ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เขียนกราฟร่วมกับทฤษฎีดังนั้นในการเขียนกราฟให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุดจึงมีการนำค่า Regression coefficient ช่วยในการเขียนกราฟและวิเคราะห์ข้อมูลใช้สมการที่แสดง

$$\text{Regression coefficient} = 1 - \left[\frac{\sum_{i} \left(\Omega_{expt}(\omega_i) - \Omega_{theo}(\omega_i) \right)^2}{\sum_{i} \left(\Omega_{expt}(\omega_i) \right)^2} \right] \tag{43}$$

เมื่อ $\Omega_{expt}(\omega_I)$ คือ ความเร็วการหมุนที่ได้จากการทดลอง

$\Omega_{theo}(\omega_I)$ คือ ความเร็วการหมุนที่ได้จากทฤษฎี

ภาคผนวก 3

ตาราง 7.3 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ PSU เมื่อกำหนดค่า V_{rms}= 2.09 V

f(Hz)	V_{rms}(V)				
	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Ch_4	เฉลี่ย
1.5E+02	2.16	2.04	2.07	2.10	2.09 ± 0.03
2.0E+02	2.05	2.03	2.04	2.11	2.06 ± 0.02
2.5E+02	2.16	2.03	2.07	2.10	2.09 ± 0.03
3.0E+02	2.05	2.03	2.03	2.10	2.05 ± 0.02
3.5E+02	2.15	2.04	2.07	2.10	2.09 ± 0.02
4.0E+02	2.05	2.04	2.03	2.09	2.05 ± 0.01
4.5E+02	2.15	2.04	2.06	2.10	2.09 ± 0.02
5.0E+02	2.05	2.03	2.03	2.09	2.05 ± 0.01
1.0E+03	2.15	2.04	2.06	2.09	2.09 ± 0.02
1.5E+03	2.05	2.04	2.03	2.08	2.05 ± 0.01
2.0E+03	2.05	2.04	2.03	2.10	2.06 ± 0.02
2.5E+03	2.15	2.04	2.06	2.11	2.09 ± 0.02
3.0E+03	2.15	2.04	2.07	2.10	2.09 ± 0.02
3.5E+03	2.04	2.05	2.03	2.09	2.05 ± 0.01
4.0E+03	2.04	2.05	2.02	2.08	2.05 ± 0.01
4.5E+03	2.15	2.04	2.05	2.11	2.09 ± 0.03
5.0E+03	2.15	2.04	2.06	2.09	2.09 ± 0.02
1.0E+04	2.15	2.05	2.07	2.10	2.09 ± 0.02
1.5E+04	2.05	2.04	2.02	2.07	2.05 ± 0.01
2.0E+04	2.05	2.03	2.03	2.10	2.05 ± 0.02
2.5E+04	2.15	2.04	2.05	2.11	2.09 ± 0.03
3.0E+04	2.15	2.04	2.05	2.11	2.09 ± 0.03
3.5E+04	2.05	2.04	2.01	2.09	2.05 ± 0.02
4.0E+04	2.04	2.02	2.03	2.11	2.05 ± 0.02

ตาราง 7.3(ต่อ) ความต่างศักย์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ PSU เมื่อกำหนดค่า V_{rms}= 2.09 V

f(Hz)	V_{rms}(V)				
	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Ch_4	เฉลี่ย
5.0E+04	2.16	2.03	2.04	2.13	2.09 ± 0.03
1.0E+05	2.16	2.04	2.00	2.08	2.07 ± 0.03
1.5E+05	2.05	2.04	2.00	2.08	2.04 ± 0.02
2.0E+05	2.03	2.00	2.01	2.07	2.03 ± 0.02
2.5E+05	2.09	1.98	2.02	2.07	2.04 ± 0.02
3.0E+05	2.07	1.97	2.01	2.06	2.03 ± 0.02
3.5E+05	2.02	1.97	1.95	2.06	2.00 ± 0.02
4.0E+05	2.00	1.96	1.94	2.03	1.98 ± 0.02
4.5E+05	2.14	1.95	1.96	2.12	2.04 ± 0.05
5.0E+05	2.06	1.94	1.94	2.02	1.99 ± 0.03
1.0E+06	2.03	1.83	1.80	1.96	1.91 ± 0.05
1.5E+06	2.05	1.72	1.75	1.90	1.86 ± 0.08
2.0E+06	2.00	1.70	1.66	1.84	1.80 ± 0.08
2.5E+06	1.92	1.66	1.66	1.79	1.76 ± 0.06
3.0E+06	1.98	1.66	1.65	1.76	1.76 ± 0.08
3.5E+06	2.09	1.69	1.70	1.74	1.81 ± 0.10
4.0E+06	2.06	1.75	1.61	1.82	1.81 ± 0.09
4.5E+06	2.05	1.78	1.47	1.86	1.79 ± 0.12
5.0E+06	1.93	1.80	1.45	1.88	1.77 ± 0.11

ตาราง 7.4 ความต่างศักย์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ PSU เมื่อกำหนดค่า V_{rms} = 2.75 V

f(Hz)	V_{rms}(V)				
	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Ch_4	เฉลี่ย
5.0E+01	2.80	2.71	2.73	2.76	2.75 $\pm$ 0.02
1.0E+02	2.71	2.74	2.70	2.76	2.73 $\pm$ 0.01
1.5E+02	2.81	2.75	2.73	2.76	2.76 $\pm$ 0.02
2.0E+02	2.70	2.76	2.70	2.76	2.73 $\pm$ 0.02
2.5E+02	2.81	2.73	2.73	2.77	2.76 $\pm$ 0.02
3.0E+02	2.70	2.76	2.70	2.77	2.73 $\pm$ 0.02
3.5E+02	2.82	2.76	2.73	2.83	2.79 $\pm$ 0.02
4.0E+02	2.76	2.74	2.71	2.76	2.74 $\pm$ 0.01
4.5E+02	2.83	2.76	2.72	2.82	2.78 $\pm$ 0.03
5.0E+02	2.80	2.75	2.73	2.77	2.76 $\pm$ 0.01
1.0E+03	2.70	2.75	2.69	2.75	2.72 $\pm$ 0.02
1.5E+03	2.81	2.73	2.72	2.76	2.76 $\pm$ 0.02
2.0E+03	2.71	2.74	2.69	2.76	2.73 $\pm$ 0.02
2.5E+03	2.80	2.74	2.71	2.76	2.75 $\pm$ 0.02
3.0E+03	2.74	2.74	2.71	2.75	2.74 $\pm$ 0.01
3.5E+03	2.75	2.73	2.70	2.76	2.74 $\pm$ 0.01
4.0E+03	2.75	2.73	2.71	2.76	2.74 $\pm$ 0.01
4.5E+03	2.75	2.73	2.71	2.76	2.74 $\pm$ 0.01
5.0E+03	2.71	2.74	2.69	2.77	2.73 $\pm$ 0.02
1.0E+04	2.70	2.73	2.69	2.77	2.72 $\pm$ 0.02
1.5E+04	2.70	2.72	2.70	2.76	2.72 $\pm$ 0.01
2.0E+04	2.74	2.72	2.70	2.77	2.73 $\pm$ 0.01
2.5E+04	2.81	2.74	2.73	2.75	2.76 $\pm$ 0.02
3.0E+04	2.75	2.74	2.70	2.76	2.74 $\pm$ 0.01
3.5E+04	2.74	2.73	2.70	2.75	2.73 $\pm$ 0.01

ตาราง 7.4(ต่อ) ความต่างศักย์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ PSU เมื่อกำหนดค่า V_{rms}= 2.75 V

f(Hz)	V_{rms}(V)				
	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Ch_4	เฉลี่ย
4.0E+04	2.74	2.73	2.69	2.75	2.73 $\pm$ 0.01
4.5E+04	2.74	2.74	2.70	2.75	2.73 $\pm$ 0.01
5.0E+04	2.79	2.74	2.73	2.74	2.75 $\pm$ 0.01
1.0E+05	2.67	2.72	2.70	2.72	2.70 $\pm$ 0.01
1.5E+05	2.77	2.72	2.69	2.75	2.73 $\pm$ 0.02
2.0E+05	2.73	2.70	2.63	2.74	2.70 $\pm$ 0.02
2.5E+05	2.73	2.67	2.65	2.74	2.70 $\pm$ 0.02
3.0E+05	2.71	2.66	2.61	2.72	2.68 $\pm$ 0.03
3.5E+05	2.70	2.64	2.60	2.71	2.66 $\pm$ 0.03
4.0E+05	2.69	2.63	2.57	2.69	2.65 $\pm$ 0.03
4.5E+05	2.74	2.60	2.57	2.75	2.67 $\pm$ 0.05
5.0E+05	2.69	2.59	2.54	2.67	2.62 $\pm$ 0.03
1.0E+06	2.60	2.41	2.35	2.55	2.48 $\pm$ 0.06
1.5E+06	2.47	2.28	2.11	2.46	2.33 $\pm$ 0.09
2.0E+06	2.42	2.19	2.10	2.35	2.27 $\pm$ 0.07
2.5E+06	2.25	2.08	2.07	2.27	2.17 $\pm$ 0.05
3.0E+06	2.25	2.07	2.00	2.23	2.14 $\pm$ 0.06
3.5E+06	2.25	2.05	1.97	2.82	2.27 $\pm$ 0.19
4.0E+06	2.24	2.06	1.85	2.19	2.09 $\pm$ 0.09
4.5E+06	2.25	2.07	1.78	2.10	2.05 $\pm$ 0.10
5.0E+06	2.12	2.04	1.76	2.08	2.00 $\pm$ 0.08

ตาราง 7.5 ค่าอัตราเร็วการหมุนของโพรโทพลาสต์ *Lillium longiflorum* ที่ค่าความถี่ต่างๆค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายแมนนิทอล 3.7 $mS.m^{-1}$ ความเข้มสนามไฟฟ้า 12 $kV.m^{-1}$

f (kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)
12	35	0.567 ± 0.030
14	40	0.709 ± 0.011
16	40	0.755 ± 0.011
18	45	0.815 ± 0.014
20	45	0.876 ± 0.004
22	45	0.897 ± 0.004
24	45	0.928 ± 0.006
26	40	0.900 ± 0.005
28	45	0.858 ± 0.016
30	45	0.838 ± 0.041
32	35	0.808 ± 0.024
34	40	0.790 ± 0.037
36	35	0.776 ± 0.033
38	30	0.706 ± 0.016
40	20	0.511 ± 0.044
25000	22	0.303 ± 0.004
26000	45	0.685 ± 0.030
27000	45	1.058 ± 0.014
28000	45	1.164 ± 0.026
29000	45	1.388 ± 0.102
30000	45	1.495 ± 0.075

ตาราง 7.6 อัตราเร็วการหมุนและค่ามุมระหว่างแนวจุดศูนย์กลางของโพรโทพลาสต์ของ *Lillium longiflorum* ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 12 $kV.m^{-1}$ และ 14 $kV.m^{-1}$ สภาพนำไฟฟ้า 3.7 $mS.m^{-1}$

f	E=12 $kV.m^{-1}$		E=14 $kV.m^{-1}$	
(kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)
10	30	0.490 ± 0.007	35	0.799 ± 0.010
12	35	0.567 ± 0.030	40	0.891 ± 0.019
14	40	0.709 ± 0.011	45	1.002 ± 0.034
16	40	0.755 ± 0.011	45	1.118 ± 0.052
18	45	0.815 ± 0.014	45	1.205 ± 0.054
20	45	0.876 ± 0.004	45	1.291 ± 0.053
22	45	0.897 ± 0.004	45	1.360 ± 0.055
24	45	0.928 ± 0.006	45	1.416 ± 0.048
26	40	0.900 ± 0.005	45	1.327 ± 0.067
28	45	0.858 ± 0.016	45	1.335 ± 0.102
30	45	0.838 ± 0.041	45	1.226 ± 0.086
32	35	0.808 ± 0.024	45	1.165 ± 0.074
34	40	0.790 ± 0.037	45	1.139 ± 0.088
36	35	0.776 ± 0.033	40	0.994 ± 0.041
38	30	0.706 ± 0.016	40	0.893 ± 0.048
40	20	0.511 ± 0.044	35	0.725 ± 0.068
25000	22	0.303 ± 0.004	20	0.616 ± 0.017
26000	45	0.685 ± 0.030	15	1.120 ± 0.088
27000	45	1.058 ± 0.014	45	1.434 ± 0.039
28000	45	1.164 ± 0.026	45	1.524 ± 0.028
29000	45	1.388 ± 0.102	45	2.381 ± 0.083
30000	45	1.495 ± 0.075	45	2.728 ± 0.197

ตาราง 7.7 อัตราเร็วการหมุนและค่ามุมระหว่างแนวจุดศูนย์กลางของโพรโทพลาสต์ของ *Lillium longiflorum* ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 14 $kV.m^{-1}$ ค่าสภาพนำไฟฟ้าเปรียบเทียบกันสองค่าคือ3.7 $mS.m^{-1}$ กับ 50.0 $mS.m^{-1}$

σ_S=3.7 $mS.m^{-1}$			σ_S=50.0 $mS.m^{-1}$		
f (kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)	f (kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)
10	35	0.799 $\pm$ 0.010	100	30	0.212 $\pm$ 0.002
12	40	0.891 $\pm$ 0.019	120	15	0.296 $\pm$ 0.012
14	45	1.002 $\pm$ 0.034	140	20	0.729 $\pm$ 0.022
16	45	1.118 $\pm$ 0.052	160	20	0.829 $\pm$ 0.019
18	45	1.205 $\pm$ 0.054	180	20	0.957 $\pm$ 0.031
20	45	1.291 $\pm$ 0.053	200	30	1.446 $\pm$ 0.180
22	45	1.360 $\pm$ 0.055	220	30	1.359 $\pm$ 0.028
24	45	1.416 $\pm$ 0.048	240	30	1.488 $\pm$ 0.023
26	45	1.327 $\pm$ 0.067	260	30	1.523 $\pm$ 0.080
28	45	1.335 $\pm$ 0.102	280	30	1.530 $\pm$ 0.029
30	45	1.226 $\pm$ 0.086	300	30	1.482 $\pm$ 0.024
32	45	1.165 $\pm$ 0.074	320	30	1.423 $\pm$ 0.038
34	45	1.139 $\pm$ 0.088	340	30	1.330 $\pm$ 0.019
36	40	0.994 $\pm$ 0.041	360	30	1.283 $\pm$ 0.038
38	40	0.893 $\pm$ 0.048	380	30	1.191 $\pm$ 0.013
40	35	0.725 $\pm$ 0.068	400	30	1.066 $\pm$ 0.008
25000	20	0.616 $\pm$ 0.017	450	30	0.401 $\pm$ 0.014
26000	15	1.120 $\pm$ 0.088	500	30	0.358 $\pm$ 0.020
27000	45	1.434 $\pm$ 0.039			
28000	45	1.524 $\pm$ 0.028			
29000	45	2.381 $\pm$ 0.083			
30000	45	2.728 $\pm$ 0.197			

ตาราง 7.8 อัตราเร็วการหมุนและค่ามุมระหว่างแนวจุดศูนย์กลางของโพรโทพลาสต์ของ *Dendrobium sp.*เปรียบเทียบกับโพรโทพลาสต์ *Lillium longiflorum* ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 14 $kV.m^{-1}$ ค่าสภาพนำไฟฟ้า 50.0 $mS.m^{-1}$

Dendrobium sp.			*Lillium longiflorum*		
f (kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)	f (kHz)	θ (^{0})	Ω ($rad.s^{-1}$)
70	5	0.276 ± 0.011	100	30	0.212 ± 0.002
80	30	0.581 ± 0.044	120	15	0.296 ± 0.012
90	45	0.848 ± 0.072	140	20	0.729 ± 0.022
100	45	0.919 ± 0.029	160	20	0.829 ± 0.019
110	45	1.114 ± 0.033	180	20	0.957 ± 0.031
120	45	1.269 ± 0.124	200	30	1.446 ± 0.180
150	45	1.381 ± 0.120	220	30	1.359 ± 0.028
200	45	1.558 ± 0.081	240	30	1.488 ± 0.023
250	45	1.646 ± 0.086	260	30	1.523 ± 0.080
500	45	1.736 ± 0.021	280	30	1.530 ± 0.029
550	15	1.396 ± 0.081	300	30	1.482 ± 0.024
600	15	1.275 ± 0.041	320	30	1.423 ± 0.038
650	15	1.149 ± 0.029	340	30	1.330 ± 0.019
700	15	1.008 ± 0.070	360	30	1.283 ± 0.038
750	15	0.871 ± 0.047	380	30	1.191 ± 0.013
800	10	0.476 ± 0.023	400	30	1.066 ± 0.008
			450	30	0.401 ± 0.014
			500	30	0.358 ± 0.020

ตาราง 7.9 ค่าคงที่ทางไฟฟ้าของเซลล์เม็ดเลือดแดงได้จากการทดลองแบบ 4 ขั้วโดยใช้ค่าตัวแปรตาม Jan Gimsa (1998) ใช้เซลล์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 μm ในการทดลอง กำหนดค่า δ = 8 nm, $\varepsilon_C=80\varepsilon_0$, $\varepsilon_m=8.5\varepsilon_0$, σ_C=0.53 $S.m^{-1}$, σ_m=1 $\mu S.m^{-1}$ เพื่อหาค่าคงที่ K ในสมการ ( )

E ($kV.m^{-1}$)	σ_S ($S.m^{-1}$)	K	Regression Coefficient
22	0.016	75	0.9398
22	0.020	75	0.9641
18	0.020	75	0.9554
22	0.016	80	0.9570
22	0.020	80	0.9654
18	0.020	80	0.9720
22	0.016	85	0.9638
22	0.020	85	0.9598
18	0.020	85	0.9781

ตาราง 7.10 ความเร็วของการหมุนของเซลล์เม็ดเลือดแดง ที่ค่าความถี่ต่างๆ จากการทดลองแบบขั้วไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว สภาพนำไฟฟ้า 20.7 $mS.m^{-1}$ เซลล์ขนาด 3.5 μm.

E ($kV.m^{-1}$)	Ω ($rad.s^{-1}$)		
	f = 200 kHz	f = 300 kHz	**f = 400 kHz**
13.2	-0.327 ± 0.029	-0.428 ± 0.035	-0.389 ± 0.049
15.1	-0.485 ± 0.011	-0.575 ± 0.029	-0.563 ± 0.001
16.9	-0.554 ± 0.033	-0.698 ± 0.078	-0.671 ± 0.056
18.8	-0.553 ± 0.057	-0.758 ± 0.058	-0.713 ± 0.046
20.7	-0.730 ± 0.039	-0.992 ± 0.045	-0.906 ± 0.093
22.6	-0.846 ± 0.023	-1.199 ± 0.192	-1.029 ± 0.090

ตาราง 7.11 ความเร็วการหมุนของโพรโทพลาสต์ของใบ *Lilium longiflorum* ที่สภาพนำไฟฟ้า 16.0 $mS.m^{-1}$ เมื่อค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็น 12.06 $kV.m^{-1}$ และ 22.63 $kV.m^{-1}$ ตามลำดับ

f	Ω ($rad.s^{-1}$)	
(kHz)	E = 12.06 $kV.m^{-1}$	E = 22.63 $kV.m^{-1}$
50	-0.074 $\pm$ 0.012	-0.282 $\pm$ 0.012
60	-0.091 $\pm$ 0.012	-0.378 $\pm$ 0.034
70	-0.115 $\pm$ 0.015	-0.442 $\pm$ 0.022
80	-0.129 $\pm$ 0.016	-0.499 $\pm$ 0.019
90	-0.147 $\pm$ 0.012	-0.581 $\pm$ 0.053
100	-0.165 $\pm$ 0.014	-0.612 $\pm$ 0.045
200	-0.202 $\pm$ 0.020	-0.732 $\pm$ 0.062
300	-0.176 $\pm$ 0.005	-0.606 $\pm$ 0.045
400	-0.159 $\pm$ 0.022	-0.496 $\pm$ 0.035
500	-0.127 $\pm$ 0.018	-0.458 $\pm$ 0.072
600	-0.099 $\pm$ 0.004	-0.342 $\pm$ 0.063
700	-0.083 $\pm$ 0.002	-0.247 $\pm$ 0.073

ตาราง 7.12 อัตราเร็วการหมุนของโพรโทพลาสต์ของ *Lilium longiflorum* เมื่อกำหนดให้ค่าความคงที่ แล้วเปลี่ยนค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

E^2	f			
($10^6 V^2.m^{-2}$)	10 kHz	20 kHz	24 kHz	30 kHz
51	0.127	0.211	0.220	0.189
36	0.078	0.139	0.149	0.110
23	0.043	0.079	0.085	0.079

ตาราง 7.13 อัตราเร็วการหมุนของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่สภาพนำไฟฟ้า 20.7 $mS.m^{-1}$ เมื่อค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็น 18 $kV.m^{-1}$ และ 22 $kV.m^{-1}$ ตามลำดับ

f	Ω ($rad.s^{-1}$)	
(kHz)	E = 18 $kV.m^{-1}$	E = 22 $kV.m^{-1}$
50	-0.169 ± 0.009	-0.202 ± 0.001
60	-0.226 ± 0.009	-0.211 ± 0.003
70	-0.247 ± 0.013	-0.296 ± 0.007
80	-0.407 ± 0.025	-0.579 ± 0.054
90	-0.580 ± 0.019	-0.870 ± 0.103
100	-0.620 ± 0.057	-1.004 ± 0.100
200	-0.716 ± 0.015	-1.111 ± 0.176
300	-0.654 ± 0.030	-1.051 ± 0.205
400	-0.620 ± 0.033	-1.011 ± 0.199
500	-0.469 ± 0.029	-0.892 ± 0.119
600	-0.398 ± 0.007	-0.726 ± 0.170
700	-0.334 ± 0.009	-0.645 ± 0.176
800	-0.288 ± 0.011	-0.564 ± 0.100
1000	-0.244 ± 0.014	-0.408 ± 0.106

ตาราง 7.14 แสดงตัวอย่างความเร็วของการหมุนของโพรโทพลาสต์ของ *Lilium longiflorum* ที่ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็น 12.06 $kV.m^{-1}$ เมื่อสภาพนำไฟฟ้าเป็น 0.016 $S.m^{-1}$ และ 0.0207 $S.m^{-1}$

f	Ω ($rad.s^{-1}$)	
(kHz)	σ_s = 0.0160 $S.m^{-1}$	σ_s = 0.0207 $S.m^{-1}$
50	-0.074 $\pm$ 0.012	-0.143 $\pm$ 0.0
60	-0.091 $\pm$ 0.012	-0.177 $\pm$ 0.0
70	-0.115 $\pm$ 0.015	-0.195 $\pm$ 0.0
80	-0.129 $\pm$ 0.016	-0.228 $\pm$ 0.0
90	-0.147 $\pm$ 0.012	-0.236 $\pm$ 0.0
100	-0.165 $\pm$ 0.014	-0.249 $\pm$ 0.0
200	-0.202 $\pm$ 0.020	-0.278 $\pm$ 0.0
300	-0.176 $\pm$ 0.005	-0.192 $\pm$ 0.0
400	-0.159 $\pm$ 0.022	-0.168 $\pm$ 0.0
500	-0.127 $\pm$ 0.018	-0.136 $\pm$ 0.0
600	-0.099 $\pm$ 0.004	-0.117 $\pm$ 0.0
700	-0.083 $\pm$ 0.002	-0.093 $\pm$ 0.0

ตาราง 7.15 อัตราเร็วการหมุนของโพรโทพลาสต์ *Lilium longiflorum* โพรโทพลาสต์ของใบสับปะรด และเซลล์เม็ดเลือดแดง ที่ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็น 22 $kV.m^{-1}$ เมื่อสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเป็น 16 $mS.m^{-1}$

f	Ω ($rad.s^{-1}$)		
(kHz)	*Lilium longiflorum sp.*	Pineapple	Red blood cell
50	-0.282 ± 0.012	-0.384 ± 0.025	-
60	-0.378 ± 0.034	-0.476 ± 0.053	-
70	-0.442 ± 0.022	-0.558 ± 0.025	-0.340 ± 0.013
80	-0.499 ± 0.019	-0.667 ± 0.096	-0.383 ± 0.033
90	-0.581 ± 0.053	-0.768 ± 0.036	-0.467 ± 0.025
100	-0.612 ± 0.045	-0.804 ± 0.070	-0.604 ± 0.046
200	-0.732 ± 0.062	-0.942 ± 0.102	-1.069 ± 0.063
300	-0.606 ± 0.045	-0.831 ± 0.063	-1.177 ± 0.084
400	-0.496 ± 0.035	-0.670 ± 0.073	-0.941 ± 0.085
500	-0.458 ± 0.072	-0.532 ± 0.027	-0.857 ± 0.046
600	-0.342 ± 0.063	-0.451 ± 0.023	-0.693 ± 0.148
700	-0.247 ± 0.073	-0.359 ± 0.042	-0.544 ± 0.119
800	-0.209 ± 0.066	-	-0.456 ± 0.094
900	-	-	-0.345 ± 0.112
1000	-	-	-0.266 ± 0.058