# บทที่ 2
# วิธีการหาค่าไดอิเล็กทริกและสภาพนำไฟฟ้าของโพรโทพลาสต์

งานวิจัยนี้ทำการหาค่าไดอิเล็กทริกและสภาพนำไฟฟ้าของโพรโทพลาสต์สับปะรดภูเก็ตด้วยวิธีเหนี่ยวนำให้โพรโทพลาสต์เกิดไดอิเล็กโทรฟอเรซิสเคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วไฟฟ้าแบบทรงกระบอกวางคู่ขนานที่ต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ผลิตสนามไฟฟ้าที่มีความเข้ม ณ ตำแหน่งต่าง ๆระหว่างขั้วไฟฟ้าแบบไม่คงที่(สนามไฟฟ้าแบบไม่เอกรูป , non-uniform field,)ประมาณ กิโลโวลต์ต่อเมตร โดยใช้สนามไฟฟ้ากระแสสลับช่วงความถี่ 10 kHz ถึง 30 MHz แล้ววัดความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติก จึงนำไปคำนวณค่า $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ รายละเอียดต่าง ๆ สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณแรงไดอิเล็กโทรฟอเรติก
ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติก
ขั้นตอนที่ 3 คำนวณเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ จากการทดลอง
ขั้นตอนที่ 4 คำนวณเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ จากแบบจำลองไฟฟ้า SSM และ SDM
ขั้นตอนที่ 5 ประมาณค่าไดอิเล็กทริกและสภาพนำไฟฟ้าของโพรโทพลาสต์
ขั้นตอนที่ 6 สรุปผล

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

## ขั้นตอนที่ 1 คำนวณแรงไดอิเล็กโทรฟอเรติก

Mahaworasilpa et al.1996 แสดงสมการคำนวณแรงไดอิเล็กโทรฟอเรติกตามแบบจำลอง SSM ไว้ดังนี้

$$F_{DEP} = 2\pi\varepsilon_S R^3 \,\mathrm{Re}[f(\omega)]\vec{\nabla}(E^2) \qquad 40)$$

คำนวณค่า $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ ตามสมการที่ 30
สรวุฒิและคณะ เสนอสมการคำนวณแรงไดอิเล็กโทรฟอเรติกตามแบบจำลอง DSM ไว้ดังนี้

$$F_{DEP} = 0.6\pi\varepsilon_S R^3 \,\mathrm{Re}[f(\omega)]_{DSM}\vec{\nabla}(E^2) \qquad 41)$$

คำนวณค่า $\mathrm{Re}[f(\omega)]_{DSM}$ ตามสมการที่ 39

**ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติก**

ความเร็วของโพรโทพลาสต์(เซลล์)ทรงกลมที่เคลื่อนที่ในของเหลว(สารละลาย)ที่มีความหนืด $\eta$ มีค่าขึ้นกับแรงต้านในทิศตรงกันข้ามแนวการเคลื่อนที่ตามหลักของสโตกส์ เรียกแรงดังกล่าวว่า แรงลากของสโตกส์(stokes'drag force, $\vec{F}_\eta$ ) สรวุฒิ(วิทยานิพนธ์,2541)แสดงสมการความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติกรูปทั่วไปคือ

$$\vec{V}_{DEP}(t) = \vec{\gamma}\left[tahn\left(\frac{\beta t\sqrt{\vec{\gamma}}}{m}\right)\right]^2 \qquad 42)$$

เมื่อ $m$ คือมวลของเซลล์ $t$ คือเวลาที่เซลล์กำลังเคลื่อนที่ $\beta = 6\pi\eta R$ เมื่อ $R$ คือรัศมีเซลล์ และ $\vec{\gamma} = \varepsilon_s R^2\,\mathrm{Re}[f(\omega)]\vec{\nabla}(\vec{E})^2$

จากสมการที่ 42 พบว่าถ้า $t \to \infty$ แล้ว $\vec{V}_{DEP} \cong \vec{\gamma}$ ซึ่งเป็นกรณีที่เซลล์เคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วสอดคล้องตามที่ Mahaworasilpa et al.1996 ได้เสนอไว้ จึงได้ว่า

$$\vec{V}_{DEP} = \varepsilon_s R^2\,\mathrm{Re}[f(\omega)]\vec{\nabla}(\vec{E})^2 \qquad 43)$$

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{\nabla}(\vec{E})^2$ และระยะทางระหว่างขั้วไฟฟ้าตามเงื่อนไขของงานวิจัยนี้สมการที่ 6 จึงประมาณได้ว่าความเร็วสมการที่ 43 มีค่าคงที่ ความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติกตามสมการที่ 43 เป็นความเร็วเชิงทฤษฎี สำหรับความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรติกที่ได้จากการทดลองใช้สูตรการหาอัตราเร็วเฉลี่ยตามสมการ

$$\vec{V} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t} \qquad 44)$$

เมื่อ $\Delta\vec{s}$ คือการขจัดที่เซลล์เคลื่อนที่ วิธีวัดความเร็วใช้ตาม สรวุฒิ(วิทยานิพนธ์,2541)

**ขั้นตอนที่ 3 คำนวณเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ จากการทดลอง**

จัดรูปสมการที่ 43 ใหม่ได้เป็น

$$\mathrm{Re}[f(\omega)] = \frac{3\eta\vec{V}}{\varepsilon_s R^2}\cdot\frac{1}{\vec{\nabla}(\vec{E})^2} \qquad 45)$$

แทนค่าต่าง ๆลงในสมการข้างต้นด้วยวิธีการดังนี้

วัดความหนืดของสารละลายที่ใช้แขวนลอยโพรโทพลาสต์ ($\eta$) (รายละเอียดบทที่ 3)

วัดความเร็วโพรโทพลาสต์ขณะเคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วไฟฟ้า ($\vec{V}$) (รายละเอียดบทที่ 3)

วัดรัศมีโพรโทพลาสต์ ($R$) (รายละเอียดบทที่ 3)

แทนค่า $\varepsilon_s = 78\varepsilon_0$ เมื่อ $\varepsilon_0 = 8.85x10^{-12} F/m$

คำนวณเทอม $\vec{\nabla}(\vec{E})^2$ จากสมการที่ 6

ค่า $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ ที่คำนวณได้ไม่มีหน่วย เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง

**ขั้นตอนที่ 4 คำนวณเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ จากแบบจำลองไฟฟ้า SSM และ SDM**

ทดลองคำนวณเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ ตามทฤษฎีแบบจำลอง SSM และ DSM จากสมการที่ 30และ 39 ตามลำดับ ด้วยวิธีการแทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามค่าเริ่มต้นเหล่านี้

<u>แบบจำลอง SSM</u>

1. ค่าไดอิเล็กทริกของไซโทพลาสซึม $\varepsilon_c$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ $40\varepsilon_0$
2. ค่าไดอิเล็กทริกของผนังเซลล์ $\varepsilon_m$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ $2\varepsilon_0$
3. ค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์ $\varepsilon_s$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ $78\varepsilon_0$
4. สภาพนำไฟฟ้าของไซโทพลาสซึม $\sigma_c$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ 0.1 S/m
5. สภาพนำไฟฟ้าของผนังเซลล์ $\sigma_m$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ 1 $\mu$S/m
6. สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์ $\sigma_s$ ใช้ค่าตามที่วัดได้จริง
7. รัศมีเซลล์ $R$ ใช้ค่าตามที่วัดได้จริง
8. ความหนาของผนังเซลล์ $\delta$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ 10 nm

<u>แบบจำลอง DSM</u>

1. ค่าไดอิเล็กทริกของไซโทพลาสซึม $\varepsilon_{ic}$ และ $\varepsilon_{oc}$ อิงตาม SSM
2. ค่าไดอิเล็กทริกของผนังเซลล์ $\varepsilon_{im}$ และ $\varepsilon_{om}$ อิงตาม SSM
3. ค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์ $\varepsilon_s$ มีค่าเริ่มต้นประมาณ $78\varepsilon_0$
4. สภาพนำไฟฟ้าของไซโทพลาสซึม $\sigma_{ic}$ และ $\sigma_{oc}$ อิงตาม SSM
5. สภาพนำไฟฟ้าของผนังเซลล์ $\sigma_i$ และ $\sigma_{om}$ อิงตาม SSM
6. สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์ $\sigma_s$ ใช้ค่าตามที่วัดได้จริง
7. รัศมีเซลล์ $R$ ใช้ค่าตามที่วัดได้จริง
8. ความหนาของผนังเซลล์ $\delta$ อิงตาม SSM
9. $R_i$ อิงตามค่า $\delta$

**ขั้นตอนที่ 5 ประมาณค่าไดอิเล็กทริกและสภาพนำไฟฟ้าของโพรโทพลาสต์**

แทนค่าไดอิเล็กทริกและสภาพนำไฟฟ้าของโพรโทพลาสต์ตามขั้นตอนที่ 4 ลงในเทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ จนได้ค่าที่ทำให้เทอม $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ ตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 มีค่าสอดคล้องกัน ขั้นตอนนี้ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Delphi ตามงานวิจัยที่ สรวุฒิและเจษฎา (2542) ได้เสนอไว้ รวมทั้งใช้โปรแกรม Clipper ที่เขียนโดยผู้ร่วมวิจัยนี้สำหรับวิเคราะห์ผลซ้ำเพื่อเลือกค่าพารามิเต์อร์เป็นช่วง

<u>วิธีการใช้โปรแกรม</u> กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ปรากฏตามขั้นตอน 4 ลงในช่องกรอกข้อมูลตามคำถามที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้หน่วยของพารามิเตอร์ตามที่ระบุในแบบจำลองนั้นๆ ป้อนค่า $\mathrm{Re}[f(\omega)]$ ที่ได้จากการทดลองได้มากสุด 20 ค่า (Clipper) จากนั้นกดปุ่ม "ENTER" แล้วรอคำตอบ ระยะเวลาที่หน่วยประมวลผลในคอมพิวเตอร์เริ่มทำงานจนสิ้นสุดการทำงานจะใช้เวลาต่างกันขึ้นกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานจะปรากฏค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองที่มีค่าเหมาะสมที่สุด