บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

การศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวสิ่งมีชีวิตมากมาย และพบว่าสิ่งมีชีวิตมีองค์ประกอบภายในที่เป็นพื้นฐานเหมือนกันคือเซลล์ (Cell) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากสิ่งมีชีวิตสามารถสืบพันธุ์หรือเจริญขึ้นใหม่จากเซลล์เล็กๆ เช่นมนุษย์ก็เกิดมาจากเซลล์ไข่และเซลล์อสุจิเพียงสองเซลล์ การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายและละเอียดอ่อน ในระยะแรกจะมีการศึกษาด้านเคมี ชีววิทยา เช่นโครงสร้างของเซลล์ หน้าที่ ปฏิกิริยาภายในเซลล์ ต่อมามีการพัฒนาในด้านเทคโนโลยีชีวภาพ การใช้ประโยชน์จากพันธุวิศวกรรมมีมากขึ้นเพื่อรองรับความต้องการอาหารและผลิตพันธ์ที่เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณของมนุษยชาติ เช่นการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงมนุษย์ จึงอาจจะต้องมีการผลิตพืชทางการเกษตรให้มีผลผลิตมากกว่าที่ผลิตได้ตามธรรมชาติ หรือบางกรณีใช้ในการปรับปรุงพันธ์เพื่อต้านทานโรคโดยไม่ต้องใช้สารเคมี ดังนั้นการจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งกับเซลล์ (พืช และสัตว์)เพื่อประโยชน์ด้านพันธุวิศวกรรมหรือ เทคโนโลยีชีวภาพได้อย่างถูกต้อง จึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจกับสิ่งเหล่านั้นให้ถ่องแท้เสียก่อน

สำหรับการศึกษาเซลล์ในกรณีนี้อาศัยหลักการทางฟิสิกส์ของเซลล์ คือเมื่อนำเซลล์มีชีวิตไปเหนี่ยวนำภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสนามไฟฟ้าภายนอกเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลและส่วนประกอบที่มีขั้วภายในเซลล์ ตั้งแต่ระดับโมเลกุลจนถึงรูปร่างที่มองเห็นจากภายนอก การมีสมบัติเป็นฉนวนของเยื่อเซลล์จะทำหน้าที่คล้ายกับตัวเก็บประจุ (Schwan,1988) เมื่อมีประจุออกันที่ผนังทั้งสองด้านมากขึ้นอาจทำให้เซลล์ฉีกขาด และบางครั้งเมื่อเซลล์ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดไดโพล (Dipole) ขึ้นภายในเซลล์ ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างไดโพลที่เกิดขึ้น กับสนามไฟฟ้าที่ใช้เหนี่ยวนำ โดยสังเกตปรากฏการณ์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ จะมีหลายกรณี เช่นการเคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วไฟฟ้า การเกาะกันเป็นโซ่เซลล์ การหมุนรอบตัวเอง

1.1.1 โครงสร้างของเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยชีวิตเล็กๆของสิ่งมีชีวิต ค้นพบโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1665 โดยโรเบิร์ต ฮุค ในขณะที่ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ผลิตขึ้นเองส่องดูไม้คอร์กที่เฉือนบางๆ พบว่าจะประกอบด้วยห้องเล็กๆจำนวนมากต่อมาเรียกว่าเซลล์ และมีการศึกษาเรื่อยมาจนปี ค.ศ. 1831 โรเบิร์ตบราวน์ สังเกตเห็นว่า

ภายในเซลล์มีก้อนกลมเล็กๆบรรจุอยู่ด้วยและให้ชื่อว่านิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์อีกต่อหนึ่ง ของเหลวนี้เรียกว่าไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)

สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์จะประกอบขึ้นจากเซลล์จำนวนมากรวมกัน โดยเซลล์แต่ละส่วนที่ทำหน้าที่ต่างกันจะมีรูปร่างที่ต่างกันไปด้วย เพื่อให้เหมาะกับสภาวะแวดล้อมและหน้าที่เฉพาะของเซลล์นั้นๆ ส่วนขนาดของเซลล์ก็เช่นกันจะมีขนาดตั้งแต่เล็กมากๆ ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เช่น พวกแบคทีเรีย เชื้อโรคไปจนถึงเซลล์ที่มีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น เซลล์ไข่ของกบ แต่เซลล์โดยทั่วไปแม้จะมีรูปร่างลักษณะภายนอกที่แตกต่างกันมากเพียงใดก็ตาม ก็จะมีลักษณะของโครงสร้างที่ประกอบขึ้นเป็นเซลล์ไม่แตกต่างกันมาก สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ (Shell) กับส่วนที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ (Cell interior) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก) **ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์** ได้แก่ เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) เป็นเยื่อชั้นบางๆ หนาประมาณ 7 – 15 nm ประกอบด้วยโปรตีนและลิพิดประมาณ 90% โดยจะรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า ลิโปโปรตีน (Lipoprotein) ส่วนประกอบอื่นๆที่เหลือได้แก่ พวกแร่ธาตุ เอนไซม์ คาร์โบไฮเดรต ดังภาพประกอบ 2 เยื่อหุ้มเซลล์นั้นมีรูพรุนให้สารละลายผ่านเข้าออกได้ โดยสารที่มีโมเลกุลเล็กๆ จะผ่านได้ดี เช่น น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์หน้าที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ คือห่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างส่วนที่เป็นของเหลวภายในเซลล์ กับสภาวะแวดล้อมภายนอก ควบคุมการซึมผ่านของสารต่างๆ ทั้งเข้าและออกจากเซลล์ ทำให้สารต่างๆภายในเซลล์มีอยู่อย่างเหมาะสม เพื่อให้กิจกรรมเมทาบอลิซึม (Metabolism) ของเซลล์ดำเนินไปด้วยดี ทั้งนี้ยังมีความสำคัญในการติดต่อกันระหว่างเซลล์กับสภาวะแวดล้อม โดยเป็นตัวรับสัญญาณเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ หรือเพื่อถ่ายทอดไปยังเซลล์อื่นๆ เช่นเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทจะรับและถ่ายทอดสัญญาณประสาทไปสู่เซลล์อื่นๆ ด้วยการเคลื่อนที่ของไอออนบางชนิดผ่านเข้าและออกจากเซลล์ สมบัติทางกายภาพ ที่สำคัญ ประจุที่ผิวของเซลล์ (Surface charge) ซึ่งเกิดจากโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเยื่อหุ้มเซลล์ และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electrical potential) เกิดจากไอออนและสารประกอบต่างๆที่กระจายกันอยู่ทั่วไปในไซโทพลาสซึม และภายนอกเซลล์ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เซลล์สามารถนำสารเข้าและออกจากเซลล์ได้

2) ผนังเซลล์ (Cell wall) พบเฉพาะในเซลล์พืช และแบคทีเรีย แต่จะไม่พบในเซลล์สัตว์ เป็นสารประกอบจำพวก เซลลูโลส ไขมัน ลิกนิน (Lignin) ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเซลล์ เป็นตัวกำหนดรูปร่างของเซลล์ และช่วยในการป้องกันน้ำระเหยออกจากเซลล์ ทั้งนี้ในส่วนของผนังเซลล์งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงไม่ละเอียดเพราะโพรโทพลาสต์ที่ใช้ในการทดลองจะถูกย่อยเอาผนังเซลล์ออกไปจนหมด ส่วนเม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์ที่ไม่มีผนังเซลล์อยู่แล้วโดยธรรมชาติ

3) สารเคลือบเซลล์ (Cell coat) เป็นสารที่สร้างจากไซโตพลาสซึม เพื่อห่อหุ้มเซลล์อีกชั้นหนึ่ง ติดอยู่กับชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ มีความเหนียวและแข็งแรง ไม่ละลายน้ำ ช่วยลดการสูญเสียน้ำของเซลล์ และช่วยให้เซลล์ต่างๆเกาะกลุ่มกันอยู่ได้ ในเซลล์พืชสารเคลือบเซลล์ก็คือผนังเซลล์นั่นเอง ส่วนในเซลล์สัตว์ สารที่เคลือบบริเวณผิวเซลล์ เป็นสารจำพวกไกลโคโปรตีน (Glycoprotien) ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

ข) **โพรโทพลาสซึม (Protoplasm)** ภายในเซลล์จะบรรจุไว้ด้วยองค์ประกอบ (Organelles) ต่างๆมากมาย ทำหน้าที่เกี่ยวกับการดำเนินชีวิตของเซลล์ หรือสิ่งมีชีวิตเชิงซ้อนที่ประกอบขึ้นจากเซลล์หลายๆเซลล์ ดังนั้นจึงถือว่าองค์ประกอบส่วนนี้เป็นพื้นฐานแห่งชีวิตที่แท้จริง แบ่งย่อยออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่เป็นก้อนกลม ซึ่งจะมีสารบ่งบอกลักษณะพันธุกรรม และอื่นๆ ส่วนนี้เรียกว่านิวเคลียส และส่วนที่เหลือนอกจากนิวเคลียสทั้งหมดรวมเรียกว่าไซโตพลาสซึม สมบัติทางกายภาพของโพรโทพลาสซึม คือมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายวุ้น ไม่มีสีเป็นคอลลอยด์ มีสารต่างๆแขวนลอยอยู่เป็นจำนวนมากจึงเหนียวและยืดหยุ่นได้ดี อนุภาคต่างๆที่แขวนลอยอยู่มีขนาดตั้งแต่ 0.001μm ถึง 0.1 μm เป็นทั้งอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าและไม่มีประจุไฟฟ้า จึงทำให้มีค่าสภาพนำไฟฟ้าที่สูง ประกอบด้วยธาตุต่างๆจำนวนมากแบ่งเป็น สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) สารอนินทรีย์ ได้แก่ น้ำ มีปริมาณตั้งแต่ 60-90% ตามแต่ชนิดของเซลล์เป็นตัวทำละลาย สารประกอบต่างๆ ให้แตกตัวเป็นไอออน และเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ ทั้งยังช่วยในการรักษาอุณหภูมิ อีกส่วนหนึ่งคือ เกลือ กรด เบส โดยสารต่างๆเหล่านี้จะแตกตัวเป็นไอออน กระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม ทำให้ไซโตพลาสซึม มีสมบัตินำไฟฟ้าได้ดี และมีสภาพนำไฟฟ้าที่สูงมากเมื่อเทียบกับเยื่อหุ้มเซลล์ ไอออนที่บรรจุอยู่จะมีทั้งไอออนบวก และไอออนลบ เช่น ไฮโดรเจน (H^+) แอมโมเนียม (NH^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) ไฮดรอกซีล (OH^-) และคลอไรด์ (Cl^-)เป็นต้น ส่วนสุดท้ายได้แก่ ก๊าซ ซึ่งละลายน้ำได้ดี เช่น ออกซิเจน ซึ่งช่วยในการหายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากเมทาบอลิซึม

2) สารอินทรีย์ ได้แก่โปรตีน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุด ซึ่งมีบางส่วนไว้สำหรับสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ และออร์แกนเนลต่างๆ และบางส่วน ใช้เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ที่ใช้

ในกิจกรรมต่างๆของเซลล์ ส่วนต่อไปคือ ลิปิด ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบมากรองจากโปรตีน ส่วนมากอยู่ในรูปของอาหารสะสม ซึ่งนำมาใช้ย่อยสลายในกระบวนการเมทาบอลิซึม และยังนำไปใช้สร้างเยื่อหุ้มเซลล์และส่วนต่างๆของเซลล์ สุดท้ายคือ คาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงาน และเป็นสารตัวกลางสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนและลิปิด

1.1.2 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ชีวภาพ

Schwan (1988) อธิบายไว้ว่าสาเหตุที่ทำให้เซลล์ชีวภาพมีการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้านั้นเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบและโครงสร้องต่างๆของเซลล์แล้วพบว่าสาเหตุหลักที่สำคัญคือ

1) เซลล์มีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว (Polar molecule) ดังนั้นเมื่อมีสนามไฟฟ้ามาเหนี่ยวนำโมเลกุลของน้ำจึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้า

2) นอกจากน้ำแล้วภายในเซลล์ยังประกอบด้วยองค์ประกอบอย่างอื่นที่มีขั้วอีกมากมาย เช่น โปรตีน น้ำตาล DNA RNA ซึ่งโมเลกุลหรือสารประกอบเหล่านี้ก็สามารถเกิดอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าได้ด้วย

3) บางบริเวณของเซลล์มีส่วนที่สามารถแสดงสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ เช่น เยื่อหุ้มเซลล์

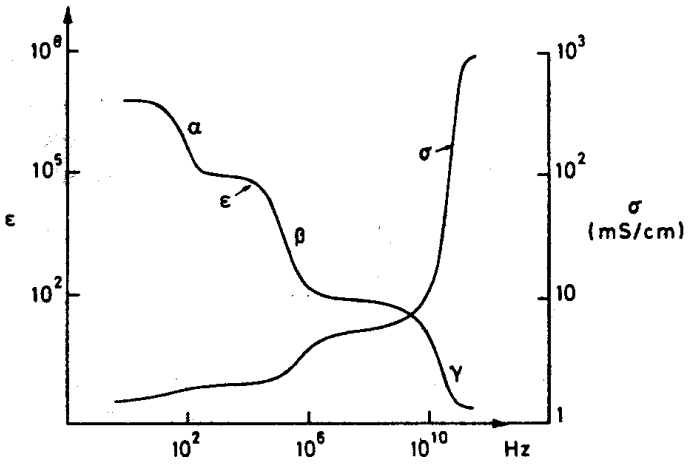
4) ที่บริเวณผิวของเมมเบรน เมื่อมีประจุมาออกันอยู่มากๆ จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าที่ได้รับ และสาเหตในข้อนี้ก็เป็นสาเหตที่สำคัญที่สุดของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ประจุภายในเซลล์กับสนามไฟฟ้าส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การหมุนของเซลล์

1.1.3 สมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ชีวภาพ

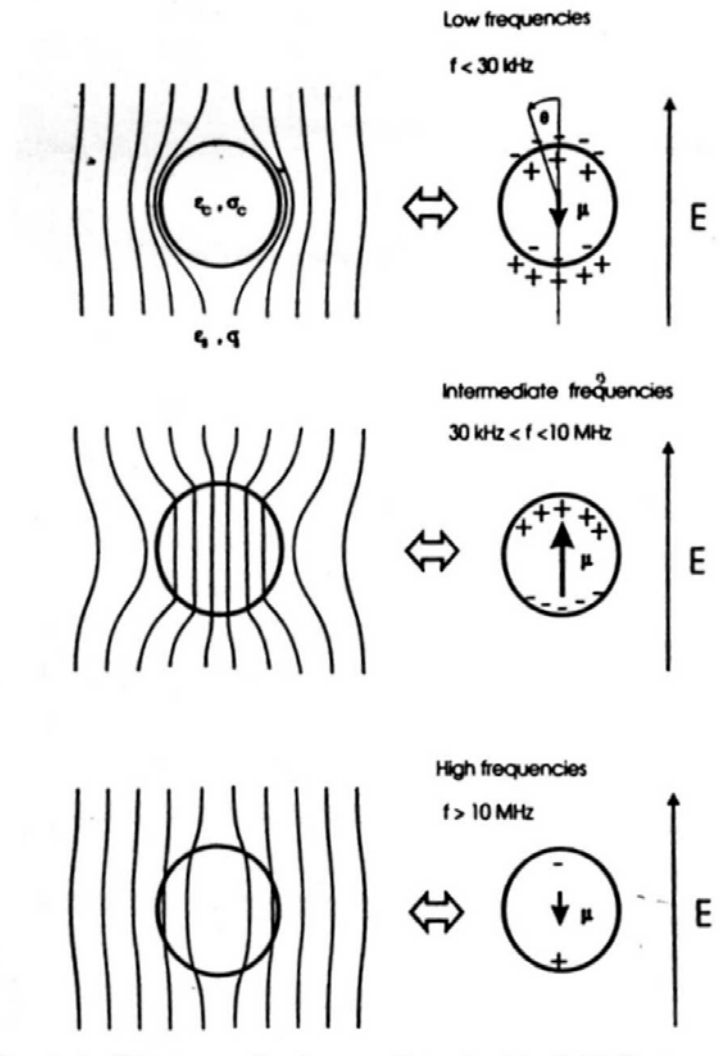
Schwan (1988) กล่าวว่าสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์เมื่อถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าที่มีค่าความถี่เชิงมุม (ω) พิจารณาได้จากค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity,ε) กับค่าสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity,σ) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเป็นไปได้ของจำนวนประจุที่สามารถบรรจุอยู่ภายในเซลล์ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้คือ $\varepsilon^* = \varepsilon + j\varepsilon'$ (ε^* คือ Complex permittivity, ε' คือ Out of phase permittivity มีค่าเท่ากับ $-\frac{\sigma}{\omega}$, และ j คือ จำนวนเชิงซ้อนมีค่าเท่ากับ $\sqrt{-1}$)การตอบสนองของเซลล์ต่อสนามไฟฟ้า ขึ้นกับความถี่ของสนามไฟฟ้าซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสามช่วง คือ α-dispersion, β-dispersion และ γ-dispersion ซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติไดอิเล็กตริกรวมของเซลล์ที่

เปลี่ยนไปเมื่อค่าความถี่เปลี่ยน(ภาพประกอบ 1.1) โดยช่วงα-dispersion นั้นจะเป็นช่วงของการศึกษาที่ใช้ความถี่ต่ำๆ คือน้อยกว่า 1kHz ช่วงนี้อิมพีแดนซ์ของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีค่าสูงเนื่องจากไม่นำไฟฟ้า

ดังนั้นประจุหรือไอออนไม่สามารถที่จะผ่านเข้าสู่เซลล์จึงออกันอยู่ที่บริเวณของผิวด้านนอกเซลล์และประจุที่ออกันอยู่ดังกล่าวได้เหนี่ยวนำประจุชนิดตรงข้ามกันที่อยู่ภายในเซลล์ให้มาออกันอยู่ที่บริเวณผิวภายในเซลล์ด้วยจึงทำให้สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุภายในเซลล์มีทิศตรงข้ามหรือต่อต้านกับสนามไฟฟ้าภายนอกเพราะฉะนั้น เมื่อเส้นแรงของสนามไฟฟ้าเจอกับเซลล์ ก็จะเบี่ยงเบนไปทางบริเวณด้านข้างของเซลล์ดังภาพประกอบ 1.2 (a) ส่วนช่วง β-dispersion ใช้ความถี่ 1kHz ถึง 1 GHz ซึ่งมีผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงนอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์แสดงสมบัติตัวเก็บประจุด้วย



ภาพประกอบ 1.1 สภาพยอมทางไฟฟ้า และค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ค่าความถี่ต่างกัน
(ที่มา : *Schwan, 1988)*



ภาพประกอบ 1.2 ลักษณะของเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่ผ่านเข้าสู่เซลล์ในช่วงความถี่ที่ต่างกัน

(ที่มา : *Mahaworasilpa.,. et al, 1994)*

ทำให้ทิศของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการโพลาไรซ์ภายในเซลล์มีทิศเสริมกับสนามไฟฟ้าภายนอกดังนั้นสนามจะไม่หักล้างกันเหมือนช่วงแรกแต่จะรวมกันทำให้เส้นแรงของสนามไฟฟ้าที่ผ่านเซลล์มีความหนาแน่นมากกว่าภายนอกดังภาพประกอบ 1.2 (b) ช่วง γ-dispersion คือเป็นช่วงของความถี่มากกว่า 1 GHz ช่วงนี้อิมพิแดนซ์ของเยื่อหุ้มเซลล์จะลดลงอย่างมากจนอยู่ในระดับที่สามารถนำไฟฟ้าได้สนามไฟฟ้าสามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ได้อย่างเต็มที่ การโพลาไรซ์ในช่วงนี้จึงเกิดจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถกักประจุไว้ได้ ในช่วงความถี่นี้สนามไฟฟ้าของการโพลาไรซ์มีทิศตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้าภายนอกอีกครั้ง ซึ่งการกระจายที่เกิดขึ้นทั้งสามช่วงความถี่ดังกล่าวเป็นผลมาจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าสภาพนำไฟฟ้าของเซลล์นั่นเอง

1.1.4 การศึกษาเซลล์ด้วยวิธีทางไฟฟ้า

การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์มีทั้งด้านชีวภาพ และกายภาพ ในด้านกายภาพระยะเริ่มแรกศึกษาโดยวิธีการวัดอิมพีแดนซ์ หรือศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Archer., et al ., 1999) แต่ยังไม่สามารถทำความเข้าใจสมบัติทางกายภาพภายในของเซลล์ได้มากนัก จึงเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติไดอิเล็กตริก ของเซลล์มีชีวิตด้วยวิธีการทางไฟฟ้า (Arnold and Zimmer., 1982 อ้างตาม Hozel., 1999) ซึ่งในปัจจุบันสามารถเลือกศึกษาได้หลายวิธี เช่น

ก) **การศึกษาอิมพีแดนซ์** เป็นการศึกษาสมบัติไดอิเลกตริกโดยภาพรวมของหลายๆเซลล์แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละเซลล์โดยคำนวณจากค่าความหนาแน่นของเซลล์ที่แขวนลอยขณะวัดค่าอิมพีแดนซ์ วิธีนี้ไม่ต้องอาศัยการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า จึงไม่สามารถบอกสมบัติของเซลล์แยกเป็นส่วนต่างๆได้ การศึกษาสามารถเลือกความถี่ได้ 3 ช่วงคือ ช่วง α เมื่อเซลล์อยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำกว่า 1 kHz และช่วง β เมื่อเซลล์อยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าความถี่ 1 kHz – 10 MHz และช่วง γ เมื่อเซลล์อยู่ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าความถี่มากกว่า 10 MHz (Gimsa and Wacher., 1998)

ข) **การเปลี่ยนรูปของเซลล์** (กนกกานต์., 2542., Zimmerman and Neil., 1996) เป็นการศึกษาโดยการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าที่ทำให้ทราบรายละเอียดเข้าไปด้านในของเซลล์มากกว่าการศึกษาอิมพีแดนซ์ เพียงอย่างเดียวเนื่องจากต้องสร้างแบบจำลองสำหรับเซลล์ขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณค่าของไดโพลโมเมนต์ที่เกิดจากการโพลาไรซ์ของเซลล์ และยังทำให้ทราบถึงสมบัติเชิงกล เช่นค่าความยืดหยุ่นของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการคำนวณจากแรงอันเนื่องมากไดโพลโมเมนต์ และเปรียบเทียบกับรูปร่างของเซลล์ที่เปลี่ยนไป มีการศึกษาทั้งในเซลล์พืชเช่น โพรโทพลาสต์ เซลล์อะมีบา (Friend., et al., 1975) เซลล์เม็ดเลือดแดง (Scheurich., et al., 1980., Engelhardt., et al., 1984) เซลล์ลูกวัว (Gass., et al., 1991) เซลล์อ่อนของหนู (Gass and Chernomodik., 1990) เซลล์รา (Poznanski., et al., 1992)

ค) **ไดอิเล็กโทรฟอเรซีส** (Dielectrophoresis) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อเซลล์เมื่อเซลล์อยู่ในสนามไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการโพลาไรซ์ของเซลล์ เช่นเดียวกับกรณีของการเปลี่ยนรูปของเซลล์ที่กล่าวไว้ข้างต้นแต่จะแตกต่างกันตรงการสังเกตุการพฤติกรรมที่เกิดขึ้นโดยการศึกษาด้วยวิธีการไดอิเล็กโทรฟอเรซิสอาศัยหลักการว่าเมื่อเซลล์มีแรงกระทำจะเคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วไฟฟ้าด้วยความเร็วค่าหนึ่ง แรงจะขึ้นกับความถี่ของสนามไฟฟ้า และชนิดของเซลล์ด้วย

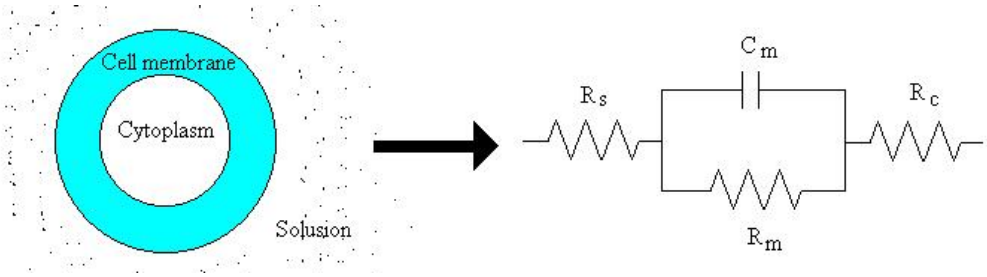
ดังนั้นค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาแรงที่กระทำต่อเซลล์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเซลล์ (Gimsa., et al., 1991.,

Marszalek., et al., 1991., Mahaworasilpa., et al., 1994., Washizu and Jones 1996., Chan., et al 1997., Gimsa and Wacher 1998.)

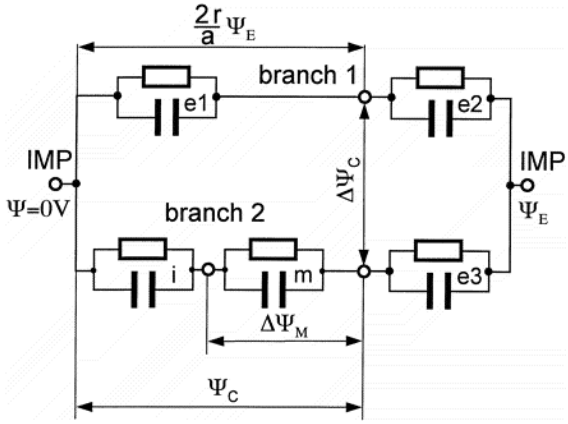
ง) **การหมุนเชิงไฟฟ้า** เป็นการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังรายละเอียดในหัวข้อการตรวจเอกสาร

1.1.5 ประโยชน์จากการศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์

ก) ทำให้ทราบองค์ประกอบของเซลล์ จากการศึกษาเซลล์ด้วยการเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าทำให้ทราบสมบัติไดอิเล็กตริก ของส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ จนสามารถอธิบายและจำลองเซลล์ไว้ในรูปแบบของวัสดุไดอิเล็กตริกเพื่อศึกษาการโพลาไรซ์และแรงที่เกิดขึ้นกับเซลล์ สำหรับทำนายค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของเซลล์ (Foster., et al., 1992) หรือสามารถจำลองไว้ในรูปแบบของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (Zimmermann., 1982) ดังภาพประกอบ 1.3 และต่อมาเมื่อมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้นจึงสามารถ



ภาพประกอบ 1.3 เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นเดียวสามารถจำลองไว้ลักษณะของตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน



ภาพประกอบ 1.4 แบบจำลองของเซลล์เมื่อจำลองไว้ในลักษณะของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุตามแบบของ Gimsa และ Wacher (1998) โดย ψ คือศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตามส่วนต่างๆ M คือ เยื่อหุ้มเซลล์ C คือ ไซโตพลาสซึม E คือบริเวณภายนอกเซลล์ (ที่มา:*Gimsa and Wacher., 1998)*

สร้างเป็นแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้น (Gimsa and Wacher., 1998) ดังภาพประกอบ 1.4 ซึ่งอธิบาย ศักย์ไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์บริเวณต่างๆ ของเซลล์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Fuhr และ Kuzmin (1986) กล่าวว่าพฤติกรรมของเซลล์เมื่อถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ เช่นการหมุนที่ขึ้นกับความถี่ เป็นตัวบ่งชี้จำนวนประจุ และลักษณะโครางสร้างของเซลล์

ข) ทางด้านการแพทย์ จากการศึกษาเซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยใช้เทคนิค electrorotation พบว่าสามารถใช้บ่งชี้ถึงการผิดปกติของเซลล์เช่นงานวิจัยของ Steffen Archer(1999)ที่ใช้เทคนิคดังกล่าวในการตรวจสอบเซลล์ไตของหนู (BHK(C-13)) เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส(HSV-1) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ ลดลงจาก $75\varepsilon_0$ เป็น $58\varepsilon_0$ และจาก 2.0 $\mu F.cm^{-2}$ เป็น 1.5 $\mu F.cm^{-2}$ ตามลำดับหลังจากติดเชื้อไวรัสประมาณ 12 ชั่วโมง

1.2 การตรวจเอกสาร

พฤติกรรมการหมุนของอนุภาคเล็กๆในสนามไฟฟ้าถูกค้นพบครั้งแรกโดย Hertz ในปี 1881 ซึ่ง Quincka ได้บันทึกเอาไว้ในปี 1896 ต่อมาจึงเริ่มมีการสนใจทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดังกล่าว สำหรับการทดลองในช่วงแรกการเหนี่ยวนำจะทำในสนามไฟฟ้าที่กำเนิดจากขั้วไฟฟ้าแบบสองขั้วทรงกระบอกโดยการวางขั้วไฟฟ้าขนานกัน หรือตั้งฉากกัน ในสารละลายที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าต่ำ 0 – 100 $mS.m^{-1}$โดยมีระยะห่าง 0.1 – 1 mm (Furedi and Valentine, 1962 ; Pohl and Crane, 1971 ; Zimmermann et al, 1981) แล้วใช้ผลจากการทดลองช่วยในการสร้างและทำความเข้าใจทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมของเซลล์ในสนามไฟฟ้า เพื่ออธิบายสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ การเหนี่ยวนำจะทำกับเซลล์ที่สามารถเตรียมได้ง่ายเช่นเซลล์ยีสต์ โดย Pohl และ Crane (1982) พบว่าเซลยีสต์จะหมุนเมื่อถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 100 Hz ถึง 500 MHz. และในช่วงความถี่ดังกล่าวยังพบว่ามีการเกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นคืออัตราเร็วของการหมุนจะเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราเร็วค่าหนึ่ง แล้วจึงลดลง ซึ่งความถี่ที่เซลล์หมุนได้เร็วที่สุดจะแตกต่างกันในเซลล์แต่ละชนิดจึงเรียกความถี่ดังกล่าวว่า ความถี่เฉพาะตัว (Characteristics frequency) โดยค่าความถี่เฉพาะตัวจะเปลี่ยนไปเมื่อเซลล์ถูกเหนี่ยวในสารละลายที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าต่างกัน ต่อมา Pohl (1983) ทดลองเหนี่ยวนำเซลล์ซึ่งมีทั้งเซลล์เป็นและเซลล์ตายในสนามไฟฟ้าที่กำเนิดจากขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วโดยจัดให้วางทำมุมกัน 120^0 พบว่าอัตราเร็วการหมุนของเซลล์จะแปรผันตรงกับค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้าที่ใช้เหนี่ยวนำ ต่อมาจึงเริ่มพัฒนาระบบศึกษาเป็นแบบ 4 ขั้วโดยแต่ละขั้ววางทำมุม 90^0 และสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วไฟฟ้าต้องมีเฟสต่างกัน 90^0 ด้วย จนสามารถสรุปหลักการการหมุนของเซลล์ว่าไดโพลโมเมนต์ภาย

ในเซลล์ที่เกิดจากการโพลาไรซ์ในสนามไฟฟ้ามีอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าภายนอกทำให้เกิดทอร์กขึ้นโดยมีจุดหมุนอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเซลล์ โดยเซลล์อาจจะหมุนในทิศที่เหมือนกับทิศของสนามไฟฟ้า หรือ ทิศทางตรงกันก็ได้ขึ้นอยู่กับความต่างเฟสของสนามไฟฟ้ากับไดโพลโมเมนต์ที่เกิดขึ้น อัตราเร็วเชิงมุมของการหมุนนำไปคำนวณสำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสมบัติต่างๆของเซลล์ เช่น ความหนาของเยื่อหุ้มเซลล์ สภาพยอมรับได้ทางไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์และไซโตพลาสซึมผลจากการศึกษาทราบว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง และค่าคงที่ของการ relaxation อยู่ในช่วง 10^{-9} ถึ1 10^{-3} วินาที ซึ่งค่าดังกล่าวจะสงผลให้การตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าจะต่างกัน ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าทอร์ก (Torque) ที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์อยู่ในสนามไฟฟ้าหมุน (rotating electrical field) จะมีค่าขึ้นกับความถี่ของสนาม ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่อไป (Schwan,1988)

Fuhr และ Kuzmin (1986) เสนอว่าการอธิบายพฤติกรรมของเซลล์ชีวภาพที่ถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้า ต้องอาศัยทฤษฎีควบคู่กับการทดลอง เมื่อคำนวณค่าทอร์กที่เกิดขึ้นกับเซลล์พบว่าจะมีค่าขึ้นกับสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สภาพนำไฟฟ้า จำนวนประจุของส่วนประกอบต่างๆของเซลล์ และขึ้นกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า ส่วนค่าอัตราเร็วการหมุนของเซลล์เมื่อสังเกตรวมกันในช่วงความถี่ที่กว้างพอ จะเห็นพฤติกรรมการเกิดการเรโซแนนซ์ ของไดโพลภายในเซลล์กับสนามไฟฟ้าภายนอก ผลจากการทดลองกับเซลล์ Beta vulgaris โดยใช้แบบจำลองทรงกลมเปลือกหุ้มสองชั้น (Spherical two-shell model) ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ ไซโทพลาสซึม เยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ คือ 80, 9 และ 70 ส่วนค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็น 5×10^{-1} $S.m^{-1}$, ค่าไม่แน่นอน และ 5×10^{-2} $S.m^{-1}$ ตามลำดับ

Fuhr และ คณะ (1986) ทดลองการหมุนของวัตถุในสนามไฟฟ้าโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกันสามชนิดคือ แก้วทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 cm อะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm สูง 4 cm และโพรโทพลาสต์ ของใบพืช(mesophyll) เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุที่มีขนาดใหญ่ กับวัสดุที่มีขนาดเล็กว่าสามารถอธิบายพฤติกรรมที่แสดงให้เห็นในสนามไฟฟ้าได้ด้วยหลักการเดียวกัน Foster และ คณะ (1992) เสนอว่าเซลล์หรืออนุภาคที่เป็นคอลลอยด์สามารถจำลองไว้ในฟอร์มของวัสดุไดอิเล็กตริก เพื่อศึกษาการโพลาไร์ สมบัติทางไฟฟ้า และสัมประสิทธิ์ต่างๆของเซลล์ และอนุภาค โดยอาศัยทฤษฎีของแรงไดอิเล็กโทรฟอเรติก

I Turco และ C M Lucaciu(1989) รายงานว่าเซลล์จะเกิดอันตรกิริยาได้ทั้งกับสนามไฟฟ้าสถิตย์และสนามไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ค่าสนามไฟฟ้าต้องมีค่าความเข้มสูงพอที่สามารถมีอิทธิพลต่อเซลล์ได้ หรือมีค่ามากว่าค่าสนามไฟฟ้าขีดเริ่ม (Threshold Value, E_C) ในเซลล์ ($E>E_C$) แต่สำหรับ

กรณีของสนามไฟฟ้ากระแสสลับค่า E_C จะมีค่าขึ้นกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้น ผลของการตอบสนองของเซลล์ต่อสนามไฟฟ้า สามารถสังเกตเห็นได้ จากการหมุนของเซลล์ และพบว่าทอร์ก ของเซลล์ที่อยู่ในสนามไฟฟ้าหมุนมีค่าสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าสภาพนำไฟฟ้า และจำนวนของประจุไฟฟ้าที่ผิวเซลล์ ซึ่งสามารถใช้ทอร์กที่เกิดขึ้นคำนวณหาอัตราเร็วการหมุนของเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำ และในทางกลับกันสามารถนำค่าอัตราเร็วการหมุนจากการทดลองกลับไปคำนวณเป็นทอร์กและคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้เช่นกัน

Gimsa และ คณะ (1991) ทดลองศึกษาสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ neurospora slime และ murine myeloma พบว่าความถี่เฉพาะตัวที่พบในช่วงแรก (f_{C1}) ของสเปกตรัมของอัตราเร็วการหมุนสามารถนำมาอะธิบายในเทอมที่สัมพันธ์กับค่าความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ และใช้คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ โดยค่าความจุไฟฟ้าของเซลล์ neurospora slime และ murine myeloma มีค่าเท่ากับ 0.81×10^{-2}F.m^{-1} และ 1.55×10^{-2} F.m^{-2} ส่วนค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็น 500 S.m^{-2} และ 380 S.m^{-2} ตามลำดับ Washisu และ Jones (1996) ได้แสดงวิธีการคำนวณค่าแรงไดอิเล็กโทรฟอรีซิสและทอร์กของการหมุนเชิงไฟฟ้าด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำเอาหลักการของ เคิร์ล (Curl) และเกรเดียนต์ (Gradient) มาช่วยในการคำนวณ ส่วน Mahaworasilpa และ คณะ (1996) ทดลองวัดความเร็วเชิงมุมของการหมุนของเซลล์ ของเซลล์หนู(SP2)และเซลล์ของมนุษย์(K562) ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว ในช่วงความถี่ 0.5 kHz ถึง 12 MHz พบว่าสามารถคำนวณค่าสภาพนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึมของเซลล์ K562 และ SP2 ได้ประมาณ 0.2 และ 0.3 Sm^{-1} ในขณะที่ค่า ความจุของเซลล์เมมเบรนอยู่ที่ประมาณ 2.7 ± 0.8 และ 9.8 ± 0.6 mFm^{-2}

Holzel (1997) เสนอว่าหากศึกษาสเปกตรัมของการหมุนของเซลล์ชีวภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนจะต้องศึกษาในสนามไฟฟ้าที่มีความถี่ระหว่าง 100 Hz ถึง 1.6 GHz ซึ่งทดลองโดยใช้เซลล์ยีสต์แขวนลอยในสารละลายที่มีสภาพนำไฟฟ้า 0.7 μS.m^{-1} ถึง 550 μS.m^{-1} คำนวณค่าคงที่ของเซลล์โดยใช้แบบจำลองทรงกลมที่มีชั้นของสารไดอิเล็กตริกสี่ชั้น (A spherical four-shell model) ได้แก่ 1)เยื่อหุ้มเซลล์ 2) Periplasmic space 3) Thick inner และ 4) Thin outer wall region ได้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะของชั้น 1, 2, และ 4 เป็น 0.76 μF.cm^{-1}, 0.5 μF.cm^{-1} และ 0.1 μF.cm^{-1} ตามลำดับ และไดค่าสภาพนำไฟฟ้า 12 mS.cm^{-1}, 5.8 nS.cm^{-1} และ 6 – 240 μS.cm^{-1} ตามลำดับ อีก 1 ปีต่อมาเขาได้ทดลองหาสมบัติไดอิเล็กตริกของเซลล์ยีสต์ โดยใช้ความถี่ 1kHz ถึง 1 GHz. แล้วเก็บข้อมูลจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยในการจับภาพการหมุนของยีสต์ ทำให้การทดลองสามารถทำได้ง่ายและเร็วขึ้น

Gimsa และ Washer (1998) เสนอว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยในสารละลายสามารถจำลองไว้ได้ในรูปแบบของ Resistor-Capacitor Model โดยองค์ประกอบต่างๆของเซลล์จะอยู่ในรูปของ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกันอยู่ ดังนั้นการตอบสนองของเซลล์ต่อสนามไฟฟ้ากระแสสลับจะต่างกันออกไปในแต่ละความถี่โดยทดลองกับเซลล์เม็ดเลือดแดงของมนุษย์โดยเทคนิค ไดอิเล็กโทรฟอรีซิส และ การหมุนเชิงไฟฟ้า

Kurschner และ คณะ (1998) ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ชีวภาพด้วยวิธีการหมุนเชิงไฟฟ้า และ ศึกษาเยื่อบางสังเคราะห์ (Artificial membrane) โดยใช้วิธี charge-pulse เพื่อเปรียบเทียบกัน โดยใช้สารละลายของสารประกอบ ทังสเทนคาร์บอนิล (Tungsten carbonyl) เช่น [$W(CO)_5(CN)]^-$, [$W(CO)_5(NCS)]^-$, และ [$W_2(CO)_{10}(CN)]^-$ เพื่อเป็นประจุลบที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อบางสังเคราะห์ ความเปลี่ยนแปลงของความถี่เฉพาะตัวของเยื่อหุ้มเซลล์สะท้อนให้เห็นถึง โครงสร้าง สภาวะแวดล้อม และการเคลื่อนที่ของประจุ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการทดลองของเยื่อบางสังเคราะห์

Chane (1997) แสดงให้เห็นข้อจำกัดของการใช้แบบจำลองที่มีเปลือกชั้นเดียว ว่าเมื่อใช้ทดลองกับเซลล์ที่มีเปลือก หรือชั้นของสารไดอิเล็กตริกหลายชั้น จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ได้จากการทดลองจะผิดเพี้ยนไปจากความความเป็นจริง โดยทดลองกับ ไลโปโซม (Liposomes) แยกเป็นแบบมีชั้นของสารไดอิเล็กตริก 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น

Reichle และ คณะ (2000) ได้พัฒนาวิธีการบันทึกข้อมูลจากการทดลองการหมุนเชิงไฟฟ้า ด้วยการใช้แสงเลเซอร์ฉายไปตกกระทบที่เซลล์ที่กำลังหมุน แล้ววัดค่าความเข้มของแสงที่เวลาเปลี่ยนไป ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นการวัดอัตราเร็วการหมุนของเซลล์ ทีลิมโฟมา (T-lymphoma) ที่แขวนลอยในสารละลาย ไอโอโนไมซิน(Ionomycin) โดยทดลองเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าหมุนที่กำเนิดจากขั้วไฟฟ้าแบบสี่ขั้ว ในช่วงความถี่ 1 kHz ถึง 250 MHz

ลักษณะการหมุนของเซลล์ในสนามไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถเกิดได้ 3 กรณี คือ

ก) การหมุนในสนามไฟฟ้าสถิต(Electrostatic field)(Quince,1896)

ข) การหมุนในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternating electric field)(Furedi and Valentine,1962 ; Mahaworasilpa, 1994)

ค) การหมุนในสนามไฟฟ้าหมุน(Rotating electric field)(Pohl, 1978)

สำหรับงานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาในกรณี ของการหมุนในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ (แบบ 2 ขั้ว) และสนามไฟฟ้าหมุน(แบบ 3 ขั้ว หรือ 4 ขั้ว) เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้จะศึกษาค่าคงที่ทางไฟฟ้าของเซลล์ในสนามไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์การหมุนของเซลล์ในสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบ

กันระหว่างการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบทรงกระบอกขนาน 2 ขั้ว กับการทดลองโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบระนาบ 4 ขั้ว รวมทั้งเปรียบเทียบค่าคงที่ที่ทางไฟฟ้าในเซลล์ต่างชนิดกันได้แก่ โพรโทพลาสต์ของ *Dendrobium* sp. และ *Lillium longflorum* เซลล์เม็ดเลือดแดง และภายใต้ความเข้มของสนามไฟฟ้า ความถี่ สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวนลอยเซลล์ โดยมีวัตถุประสงค์ตามหัวข้อ 1.3

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาผลของไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์(การหมุน)ของเซลล์ ภายใต้เงื่อนไข ความเข้มของ สนามไฟฟ้าความถี่สภาพนำไฟฟ้าของสารละลายโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว ทรงกระบอกวางขนานกัน

1.3.2 เพื่อพัฒนาการเหนี่ยวนำเซลล์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบ 4 ขั้วระนาบโดยแต่ละขั้วทำมุม 90^0 เพื่อเปรียบเทียบกับการเหนี่ยวนำแบบ 2 ขั้ว

1.3.3 เพื่อประมาณค่าทางไฟฟ้าที่เป็นไปได้ของ *Deodrobium sp., Liliumlongiflorum* และ *Ananas sp.*

1.3.4 เพื่อหาค่าคงที่ของขั้วไฟฟ้า โดยเทียบเคียงกับผลการทดลองด้วยเซลล์เม็ดเลือดแดงของคน