4. สรุปผลการศึกษาที่ได้จากโครงการวิจัย

การวิเคราะห์ประจุสมมูลสำหรับวัตถุทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว

ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการคำนวณสนามไฟฟ้าในระบบพิกัดทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว และประยุกต์วิธีคำนวณดังกล่าวกับปัญหาสนามไฟฟ้าในช่องว่างที่วางตัวอยู่ภายในฉนวนแข็ง. ผลที่สำคัญที่ได้จากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- สนามไฟฟ้าภายในช่องว่างเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความยาวแกน b/c และเพิ่มขึ้นตามค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของฉนวนแข็งที่อยู่ล้อมรอบ.
- เราสามารถละเลยอิทธิพลของอิเล็กโตรดที่มีต่อสนามไฟฟ้าได้ หากว่าระยะห่าง s ระหว่างอิเล็กโตรดและช่องว่างมีค่ามากกว่าครึ่งของความยาวแกนเอก c ของช่องว่าง.
- เมื่อระยะห่าง s มีค่าน้อย สนามไฟฟ้าบนแกนสมมาตรของช่องว่างมีขนาดลดลง เนื่องจากผลของอิเล็กโตรด. การกระจายของสนามไฟฟ้าบนแกนสมมาตรมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนความยาวแกน b/c เพิ่มขึ้น.
- ในช่องว่างที่มีค่าอัตราส่วน b/c สูง (ลักษณะแบน) สนามไฟฟ้าสูงสุดภายในช่องว่างไม่ได้อยู่แกนสมมาตร และจะอยู่ที่บริเวณใกล้กับขอบด้านข้างของช่องว่าง.

การยึดกับอนุภาคโดยอาศัยแรงไดอิเล็กโตรโฟเรติก

ผู้วิจัยได้ศึกษาทั้งทางทฤษฎี และทางปฏิบัติ ถึงการควบคุมอนุภาคตัวนำไฟฟ้าโดยอาศัยแรงไดอิเล็กโตรโฟเรติก.

- ระบบอิเล็กโตรดแบบระนาบเอียงถูกใช้ในการทดลอง โดยมีการแทรกชั้นฉนวนเข้าไป เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ และเพื่อจับยึดอนุภาค
- ผู้วิจัยทำการคำนวณเชิงเลข เพื่อยืนยันการกระจายของสนามไฟฟ้า ขนาดและทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นภายในระบบ.
- ผลการทดลองยืนยัน ความสามารถในการยึดจับอนุภาคด้วยแรงไดอิเล็กโตรโฟเรติก. อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการยึดจับอนุภาคขึ้นอยู่กับตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาค และแรงดันเริ่มเคลื่อนที่ของอนุภาคเพิ่มขึ้นระยะแกปที่ยาวขึ้น.

การวิเคราะห์แรงดันเมมเบรน

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีเชิงเลขคำนวณหาแรงดันเมมเบรนของอนุภาคเซลล์สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะทรงกลม และไม่เป็นทรงกลม. ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

เซลล์เดี่ยว

- ผลการคำนวณเชิงเลขสอดคล้องกับผลที่ได้จากสมการเชิงวิเคราะห์อย่างดี. การลดลงของสภาพนำของตัวกลางภายนอกเซลล์ลดขนาดของแรงดันเมมเบรน V_m.
- ผลของสภาพนำ σ_E ของตัวกลางภายนอกเซลล์เริ่มสังเกตได้เมื่อ น้อยกว่า 0.1 S/m และมีผลอย่างเด่นชัดบนเซลล์แบบทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว มากกว่าบนเซลล์แบบทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง.
- ในสภาวะที่ σ_E มีค่าสูง แรงดัน V_m ที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อลดอัตราส่วนของรัศมีต่อความยาวแกน a/R ของเซลล์.

- ในตัวกลางที่ σ_E มีค่าต่ำ แรงดันV_m ที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน มีค่าสูงสุดบนเซลล์รูปร่างทรงกลม สำหรับเรขาคณิตของเซลล์ที่พิจารณาในงานวิจัยนี้.

คู่เซลล์

- สำหรับเซลล์รูปร่างทรงกลม และเซลล์รูปทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว V_m ของคู่เซลล์ซึ่งมีลักษณะเดียวกันและสัมผัสกันอยู่ มีขนาดเล็กกว่าค่าแรงดัน V_m ของกรณีเซลล์เดี่ยว.
- เมื่อขนาดของเซลล์ในคู่แตกต่างกัน แรงดัน V_m จะถูกลดลงอย่างชัดเจนบนเซลล์ที่มีขนาดรัศมีเล็กกว่า.
- ความแตกต่างของขนาดเซลล์ ซึ่งอาจเป็นความแตกต่างของความยาวแกน หรือความแตกต่างของรัศมีเซลล์ จะทำให้เกิดความแตกต่างของขนาดแรงดัน V_m ณ จุดสัมผัสระหว่างเซลล์ทั้งสอง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความยากในการเชื่อมเซลล์ทางไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูง.
- เมื่อสภาพนำของตัวกลางภายนอกเซลล์ลดลง ความแตกต่างของแรงดัน V_m ระหว่างเซลล์ทั้งสองลดลง แต่การลดลงจะเกิดน้อยที่บริเวณเล็กๆ ใกล้กับจุดสัมผัสระหว่างเซลล์ เมื่อเทียบกับบริเวณอื่น. นอกจากนี้ การลดลงของ V_m ยังน้อยมากสำหรับเซลล์รูปร่างทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง.
- เมื่อสภาพนำของตัวกลางภายนอกเซลล์มีค่าต่ำเพียงพอ แรงดันเมมเบรน V_m ของทั้งสองเซลล์มีค่าสูงสุดที่จุดสัมผัส และมีค่าเท่ากันทั้งสองเซลล์

การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและแรงบนอนุภาคทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง

ผู้วิจัยได้ใช้วิธีมัลติโพลในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า ประจุเหนี่ยวนำ และแรงไฟฟ้าสถิตบนอนุภาคสำหรับการจัดเรียงของทรงคล้ายทรงกลมที่อยู่บนหรือเหนือระนาบตัวนำ ภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอก. ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

การจัดเรียงแบบสมมาตรรอบแกนหมุน

- ผู้วิจัยได้แสดงผลของอัตราส่วนความยาวแกน c/b ที่มีต่อสนามไฟฟ้า ประจุเหนี่ยวนำ และแรงไฟฟ้าสถิตที่กระทำกับทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง
- การประมาณแบบครึ่งทรงคล้ายทรงกลมไม่เหมาะสมสำหรับสนามไฟฟ้า แต่อาจใช้ประมาณขนาดของแรงและประจุเหนี่ยวนำบนทรงคล้ายทรงกลมที่ต่อลงดินบนระนาบกราวนด์ได้ ถ้าหากว่าอัตราส่วนความยาวแกนของทรงคล้ายทรงกลมมีค่าสูงเพียงพอ.
- ทรงคล้ายทรงกลมที่ไม่ถูกอัดประจุและวางตัวอยู่เหนือระนาบกราวนด์ มีสนามไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ขั้วด้านล่าง ซึ่งจะเพิ่มขนาดขึ้นอย่างมากเมื่อระยะห่าง δ/c ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ ต่ำกว่า δ/c 0.1.
- ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างวิกฤตที่ทำให้เริ่มเกิดดิสชาร์จที่แกป กับขนาดของสนามไฟฟ้าภายนอก
- สำหรับทรงคล้ายทรงกลมที่ถูกอัดประจุเต็มที่ และวางตัวอยู่เหนือระนาบกราวนด์ สนามไฟฟ้าสูงสุดบนทรงคล้ายทรงกลมแปรค่าตามระยะห่างจากระนาบกราวนด์น้อยมาก.

การจัดเรียงแบบสามมิติ

- ผู้วิจัยได้แสดงผลของอัตราส่วนความยาวแกน c/b ที่มีต่อสนามไฟฟ้า ประจุเหนี่ยวนำ และแรงไฟฟ้าสถิตที่กระทำกับทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง.

- แรงไฟฟ้าสถิตบนทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างที่มีขนาดแกนโทเท่ากัน เพิ่มขนาดขึ้นตามความยาวแกนเอก และมุมเอียง α ระหว่างทรงคล้ายทรงกลมกับระนาบกราวนด์.
- แรงบิดไฟฟ้าสถิตมีทิศทางหมุนอนุภาคให้ทำมุมเอียง α เพิ่มขึ้นเสมอ และมีขนาดสูงสุดที่มุม 45 องศาโดยประมาณ.
- ลักษณะสมบัติทางกลศาสตร์ไฟฟ้าของอนุภาคสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ตามลักษณะการเริ่มเคลื่อนที่ของอนุภาค
- แรงบิดไฟฟ้าสถิตเพิ่มความเป็นไปได้ที่ทรงคล้ายทรงกลมจะยกตัวขึ้นจากอนุภาคด้วยสนามไฟฟ้า.