บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าและทางกลศาสตร์ไฟฟ้าของอนุภาค ในรูปร่างและรูปแบบต่างๆ ทั้งทางทฤษฎีและทางการทดลอง รวมถึงพัฒนาวิธีการยึดจับอนุภาค เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูง. รูปร่างของอนุภาคที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง และทรงกลม. รูปร่างทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้วถูกประยุกต์ใช้กับปัญหาช่องว่างก๊าซหรือช่องว่างอากาศในฉนวนแข็ง ซึ่งมักเป็นจุดอ่อนที่ทำให้เกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ฉนวนแข็งเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว. การวิจัยใช้วิธีเงาประจุกับระบบพิกัดทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว. ผลการศึกษาทำให้เข้าใจกระจ่างถึง (ก) การเพิ่มของสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างขึ้นจากสนามไฟฟ้าพื้นหลังในฉนวนแข็ง (ข) อิทธิพลของช่องว่างในบริเวณใกล้เคียงที่มีต่อสนามไฟฟ้าในช่องว่าง และ (ค) ความเหมาะสมในการใช้มัลติโพลแทนผลของช่องว่างที่มีต่อสนามไฟฟ้าภายนอก.

รูปทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างถูกประยุกต์ใช้กับปัญหาอนุภาคตัวนำ ที่ปนเปื้อนในระบบฉนวนไฟฟ้าด้วยก๊าซ. การศึกษาทำโดยใช้ทฤษฎีเชิงวิเคราะห์ ทั้งในกรณีที่การจัดเรียงของทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างเป็นแบบสมมาตรรอบแกนหมุน และเป็นแบบสามมิติ. ผู้วิจัยใช้วิธีเงามัลติโพลสำหรับระบบพิกัดทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างในการคำนวณหาคำตอบของสนามไฟฟ้า. หลังจากนั้น นำสนามไฟฟ้ามาคำนวณประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แรงไฟฟ้าสถิต และแรงบิดไฟฟ้าสถิต ที่กระทำกับทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง. ผลการวิจัยทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของอนุภาคกับลักษณะสมบัติของค่าทางกลศาสตร์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น. นอกจากนี้ เงื่อนไขการเกิดดิสชาร์จในก๊าซที่บริเวณปลายของทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างยังถูกนำมาพิจารณาหาระยะห่างวิกฤตหรือสนามไฟฟ้าวิกฤตของการจัดเรียง. ผู้วิจัยได้ศึกษาอย่างละเอียดถึงผลของแรงบิดไฟฟ้าสถิตที่มีต่อการเริ่มเคลื่อนที่ และรูปแบบการเคลื่อนที่ของทรงคล้ายทรงกลม.

นอกจากระบบฉนวนแล้ว รูปแบบทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้วและทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างถูกนำมาวิเคราะห์การประยุกต์ใช้งานทางไฟฟ้าสถิตกับเซลล์สิ่งมีชีวิต เพื่อหาผลของรูปร่างของเซลล์ที่มีต่อลักษณะสมบัติของแรงดันเมมเบรนของเซลล์ ภายใต้การอัดประจุด้วยสนามไฟฟ้ากระแสตรง. การวิเคราะห์ทำโดยวิธีชิ้นประกอบขอบเขต ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณสนามไฟฟ้าเชิงตัวเลข. รูปแบบการจัดเรียงที่ศึกษาเป็นลักษณะของเซลล์เดี่ยว และเซลล์คู่ เพื่อจำลองสภาวะของเซลล์ในกระบวนการอิเล็กทรอพอเรชั่น และกระบวนการเชื่อมเซลล์ด้วยไฟฟ้า. การศึกษาในโครงการนี้ทำให้ทราบถึงผลของสภาพนำไฟฟ้าของตัวกลางภายนอก และรูปร่างของเซลล์ที่มีต่อแรงดันเมมเบรนของเซลล์.

รูปร่างทรงกลมถูกนำมาใช้ศึกษาการควบคุมอนุภาคในระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูง. การศึกษาทำโดยการวิเคราะห์แรงไดอิเล็กโตรโฟเรติกด้วยวิธีเชิงเลข และการทดลองในห้องปฏิบัติการ. รูปแบบอิเล็กโตรแบบระนาบเอียง ที่มีการนำแผ่นฉนวนมาป้องกันอนุภาคทรงกลมจากการอัดประจุไฟฟ้า ถูกนำมาใช้ในการทดลอง. จากผลการศึกษาในโครงการนี้ ผู้วิจัยสามารถยืนยันว่า เราสามารถประยุกต์ใช้วิธีการยึดจับอนุภาคกับระบบฉนวนไฟฟ้าได้ สำหรับอนุภาคโลหะที่พิจารณา ซึ่งมีขนาดต่ำกว่ามิลลิเมตร.

คำสำคัญ

ระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ช่องว่าง อนุภาคตัวนำ เซลล์สิ่งมีชีวิต อนุภาคทรงกลม ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง ทรงคล้ายทรงกลมแบนขั้ว การยึดจับอนุภาค

Abstract

This research studies the electrical and electromechanical behavior of particles in various kinds of profiles and configuartions. The studies have been done analytically and experimentally and include the design of particle deactivation technique. The particle profiles considered in this research are oblate spheroidal, prolate spheroidal and spherical shapes. The oblate spheroid is applied to the problems of air or gaseous voids in a solid dielectric, which are often the weak point for the partial discharge in high-voltage insulation systems. The study uses the method of multipole images in oblate spheroidal coordinates. Results from the study clarify (a) the field intensification inside a void in comparison with the background electric field in the solid dielectric, (b) the influence of voids in proximity on the electric field in the void, and (c) the propriety of the equivalent multipole moments for representing the influences of a void on the electric field in its exterior.

The prolate spheroid is applied to the problem of conducting particle contamination in gaseous insulation systems. The study is done by using an analytical method in both axisymmetric and three-dimentional configurations. The research uses the method of multipole images in prolate spheroidal coordinates to determine the electric field in the configurations. Then, the induced charge, electrostatic force and electrostatic torque on the spheroid are determined from the electric field. Results from the study clarify the relationships between the particle profile and the characteristics of the aforementioned electromechanical parameters. In addition, the condition of discharge inception in the insulating gas at the tip of the spheroid is used to determine the critical separation and the critical electric for the configurations. We have studied the effects of the electrostatic torque on the initial motion and the motion pattern of the spheroid.

In addition to the insulation systems, the oblate and prolate spheroidal profiles are used to analyze the electrostatic applications of biological cells. The objective is to determine the effects of cell profile on the characteristics of cell membrane voltage under dc electric field charging. The analysis is done by using the boundary element method, a numerical field calculation method. The configuration of isolated cell and cell pair are considered, corresponding to the cells in the process of electroporation and electrofusion, respectively. From the results, we understand the effects on the membrane voltage of the electrical conductivity of extracellular medium and the cell profiles.

The spherical profile is used for studying the particle manipulation in high-voltage insulation systems. The study begins with the analysis of the dielectrophoretic force by a numerical method and then experimental verification is carried out. The configuration is a diverging electrode system with an insulating layer preventing particle from being charged. From the results, we can verify that the proposed particle deactivation technique is applicable to the conducting particles considered in this research, which are in submillimeter ranges.

Keywords

High-voltage insulation system, void, conducting particle, biological cell, spherical particle, oblate spheroid, prolate spheroid, particle deactivation method