

บทคัดย่อ

T167298

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อสนามไฟฟ้าและแรงบนโซ่อนุภาคในของไหลอียาร์. ของไหลอียาร์ประกอบด้วยอนุภาคฉนวนที่อยู่ภายในฉนวนเหลว โดยมีลักษณะสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อได้รับสนามไฟฟ้าภายนอกที่สูงเพียงพอ จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของเหลว. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ก็คือ เพื่อศึกษาพื้นฐานของสนามไฟฟ้าและแรงที่เกิดขึ้นกับโซ่อนุภาคภายในของไหลอียาร์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของไหล. การศึกษาเน้นที่ การหาวิธีการคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงที่มีความแม่นยำสูง และผลของการจัดเรียงอนุภาค รูปร่างอนุภาค และความนำไฟฟ้าที่มีต่อสนามไฟฟ้าและแรงที่เกิดขึ้น.

สำหรับในการวิจัยในส่วนของวิธีการคำนวณสนามไฟฟ้าและแรง โครงการนี้ได้นำเสนอวิธีเงามัลติโพล ซึ่งเป็นวิธีเชิงวิเคราะห์วิธีใหม่สำหรับคำนวณสนามไฟฟ้า ทั้งในระบบที่สนามไฟฟ้าเป็นแบบสมมาตรรอบแกนหมุน และแบบสามมิติทั่วไป. วิธีนี้มีพื้นฐานจากวิธีเงาประจุ แต่มีความสามารถในการคำนวณปัญหาที่มีรูปแบบซับซ้อนกว่ามากได้ โดยผู้วิจัยได้เสนอเงามัลติโพลสำหรับการจัดเรียงแบบต่างๆ เพื่อเป็นคำตอบพื้นฐานในการคำนวณ. นอกจากวิธีวิเคราะห์นี้แล้ว โครงการวิจัยนี้ยังได้ใช้วิธีขึ้นประกอบขอบเขต ซึ่งเป็นวิธีเชิงเลข ในการตรวจสอบความแม่นยำและประเมินความเหมาะสมในการใช้งานอีกด้วย.

ผลการคำนวณบนรูปแบบการจัดเรียงที่สนามไฟฟ้าสมมาตรรอบแกนหมุนพบว่า สนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโซ่อนุภาคมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนอนุภาคที่ประกอบเป็นโซ่นั้น ตามสภาพยอมของโซ่อนุภาค และตามระดับความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าที่โซ่อนุภาคได้รับ. เมื่อเทียบกับผลการคำนวณด้วยวิธีเงาประจุ ผู้วิจัยพบว่า การคำนวณด้วยวิธีขึ้นประกอบขอบเขตให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน. อย่างไรก็ตาม ผลการคำนวณด้วยวิธีขึ้นประกอบขอบเขตมีความแม่นยำต่ำลง เมื่อสภาพยอมของอนุภาคมีค่าสูงขึ้น. ผู้วิจัยได้เสนอแนะให้ใช้วิธีเชิงวิเคราะห์ ในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีเชิงเลขก่อนใช้งานวิธีเชิงเลขจริง.

การศึกษาผลของการจัดเรียงอนุภาคที่สนามไฟฟ้าเป็นแบบสามมิติทั่วไปพบว่า แรงที่เกิดขึ้นกับโซ่อนุภาคฉนวนมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของโซ่ และทิศทางของโซ่เมื่อเทียบกับทิศทางของสนามไฟฟ้าภายนอก. อย่างไรก็ตาม ขนาดของแรงดึงดูดและแรงผลักค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโซ่อนุภาคจะลู่เข้าถึงจุดอิมตัว เมื่อจำนวนอนุภาคในโซ่เพิ่มขึ้นเป็น 32 และ 12 โดยประมาณ ตามลำดับ. เมื่ออนุภาคตัวล่างของโซ่อนุภาคสัมผัสอยู่กับระนาบอิเล็กโตรด แรงไดอิเล็กโตรโฟรีติกบนโซ่มีค่าเพิ่มขึ้นโดยรวม และแรงที่เกิดขึ้นพยายามดึงดูดอนุภาคให้อยู่ติดกับระนาบอิเล็กโตรดเสมอ. ดังนั้น โซ่อนุภาคมีเสถียรภาพในช่วงมุมระหว่างโซ่กับสนามไฟฟ้าภายนอกที่กว้างกว่า. โดยปกติแล้ว การละลายปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กโตรดกับอนุภาคให้ผลการคำนวณที่แม่นยำเพียงพอสำหรับการคำนวณแรง เว้นแต่ว่าอิเล็กโตรดจะอยู่ใกล้กับอนุภาคอย่างมาก.

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาต่อถึงผลของระนาบอิเล็กโตรดที่มีต่อสนามไฟฟ้าและแรงอย่างละเอียด โดยพิจารณาสนามไฟฟ้าและแรงไดอิเล็กโตรโฟรีติกบนโซ่ของสองอนุภาคภายในฉนวนเหลว ซึ่งอยู่ระหว่างอิเล็กโตรดแบบระนาบคู่ขนาน. ผู้วิจัยได้ตรวจสอบผลของสภาพยอมของอนุภาค มุมเอียง(ระหว่างอนุภาคกับสนามไฟฟ้าที่ป้อน) และรูปแบบการจัดเรียงของอนุภาค ต่อสนามไฟฟ้าและแรง. ผลที่ได้พบว่า สนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของสภาพยอมของอนุภาคต่อสภาพยอมของของเหลว. สนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัส

T167298

ระหว่างอนุภาคลดลง เมื่อมุมระหว่างอนุภาคเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่สนามไฟฟ้าสูงสุดที่จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคกับอิเล็กโทรดแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง. สนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นสามารถประมาณได้ด้วยสมการรูปแบบง่าย ๆ โดยเป็นฟังก์ชันกำลังสองของอัตราส่วนสภาพยอม. แรงไดอิเล็กโตรโฟรีติกขึ้นกับระยะระหว่างอนุภาคหรือระยะระหว่างอนุภาคกับอิเล็กโทรดอย่างมาก. อย่างไรก็ตาม ด้วยมุมเอียงของโซ่ที่ศึกษาในที่นี้ แรงในแนวระดับที่ทำกับอนุภาคตัวบนของโซ่อนุภาคมีทิศทางด้านแรงเฉือนภายนอกเสมอ. ค่าสูงสุดของแรงในแนวระดับของโซ่อนุภาคแปรเป็นฟังก์ชันกำลัง 1.7 ของอัตราส่วนสภาพยอม ถ้าอนุภาคในโซ่ยังคงอยู่ติดกัน. ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบแรงที่ได้จากการประมาณจากแรงบนโซ่อนุภาคเดี่ยว กับผลการคำนวณแรงที่ได้จากวิธีเงาประจุ. ผลการเปรียบเทียบแสดงว่า ไม่มีโมเดลการประมาณใดที่สอดคล้องกับผลการคำนวณตลอดช่วงของอัตราส่วนสภาพยอมที่ศึกษา.

โครงการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัส ซึ่งมีมุมสัมผัสเท่ากับศูนย์ ระหว่างอนุภาคแบบทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีหรืออนุภาคทรงรี กับระนาบอิเล็กโทรด. สนามไฟฟ้าถูกคำนวณด้วยวิธีขึ้นประกอบขอบเขตสำหรับปัญหาแบบสองมิติ และแบบสมมาตรรอบแกนหมุน. ผลการคำนวณแสดงว่า สนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อ อัตราส่วนของความยาวแกนโทต่อแกนเอกของอนุภาคลดลง หรืออัตราส่วนสภาพยอมเพิ่มขึ้น. ผู้วิจัยได้นำเสนอสมการง่าย ๆ สองสมการ ในการประมาณค่าสนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัสในช่วงของอัตราส่วนสภาพยอมที่สนใจ โดยมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณน้อยกว่า 6.6%.

การศึกษาผลของความนำไฟฟ้าที่มีต่อสนามไฟฟ้าและแรง ได้ใช้อนุภาคที่ประกอบด้วยแกนกลางและชั้นฟิล์มฉนวนเป็นโมเดลในการศึกษา. การวิเคราะห์นี้ใช้วิธีเงาจำลองที่ได้นำเสนอในโครงการ โดยมีผลเฉลยพื้นฐานสำหรับรูปแบบที่หลากหลายของแกนกลางและชั้นฟิล์ม. แนวความคิดของสภาพยอมปรากฏได้ถูกนำไปใช้ เพื่อให้ทราบอย่างชัดเจนถึงความแตกต่างระหว่างอนุภาคชนิดต่างๆ. การวิเคราะห์แสดงว่า ผลตอบสนองของอนุภาคที่มีชั้นฟิล์มต่อสนามไฟฟ้าภายนอกนั้นเป็นลักษณะเฉพาะ. เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคเนื้อเดียวที่ไม่มีชั้นฟิล์ม เราพบว่า สนามไฟฟ้าและแรงมีค่าต่ำกว่าบนอนุภาคแกนตัวนำ แต่สูงกว่าบนอนุภาคแกนฉนวน. ผู้วิจัยได้คำนวณสนามไฟฟ้าและแรงด้วย วิธีขึ้นประกอบขอบเขตซึ่งใช้พื้นผิวที่ไม่มีควมหนาแต่มีสภาพนำเชิงผิวในการคำนวณ. ผลการคำนวณพบว่า ความเหมาะสมของการใช้สภาพนำเชิงผิวนอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของฟิล์มแล้ว ยังขึ้นกับระดับของสนามไฟฟ้าภายนอกอีกด้วย.

ABSTRACT

TE167298

This report presents the analysis of the effects of various parameters on electric field and force on particle chains in electrorheological (ER) fluid. The ER fluid is a suspension of particles in a dielectric liquid. An important characteristic of the fluid is the change in its viscosity under a sufficiently-high applied electric field. The purpose of this research is to study the fundamentals of electric field and force on particle chains in the ER fluid, which contribute to the change of viscosity. This research focuses on the calculation method for electric field and force which can realize high accuracy and the effects of the particle arrangement, profile, and conductivity on the electric field and force.

For the method to calculate electric field and force, we have proposed the method of multipole images, which is a new analytical method for field calculation. The method is applicable for arrangements where the field may be axisymmetrical or arbitrarily three dimensional. The method is based on the method of images, but can be used for more complicated problems. We have presented multipole images for various fundamental arrangements. In addition to the analytical method, we utilized the boundary element method (BEM), a numerical method, to ascertain the accuracy and estimate its propriety.

Calculation results of the arrangements in which the field is axisymmetrical show that the maximum electric field increases with the particle number, the particle permittivity, and the degree of non-uniformity of the applied field. The results by the BEM agree well with the analytical results. However, the results by the BEM become less accurate with increasing the permittivity of dielectric particles. We suggest the use of the analytical method to estimate the accuracy of the numerical method.

The study of the arrangements in which the field is arbitrarily three dimensional shows that the force on a dielectric particle chain in a dielectric fluid depends on the number of particles and the chain direction. However, the maximal attractive and repulsive forces reach their saturation values at about 32 and 12 particles, respectively. When the lower particle of a chain is in contact with a plate electrode, the dielectrophoretic force on the chain becomes higher on the whole, and it always attracts the chain to the electrode. As a result, the particle chain is stabilized for a wider range of the angle between the chain and the applied field. Neglecting the interaction between the electrodes and particles usually gives adequate accuracy in the force calculation, unless the electrodes are very close to particles.

This research also studied in detail the effect of plate electrodes on electric field and force by considering the field and dielectrophoretic force on a dielectric particle chain suspended in a host liquid lying between parallel-plate electrodes. We have investigated the effect of the particle

permittivity, the tilt angle (between the chain and the applied field) and the chain arrangement on the electric field and force. The results show that the electric field intensification rises in accordance with the increase in the ratio of the particle-to-liquid permittivity. The electric field at the contact point between the particles decreases with increasing tilt angle, while the maximal field at the contact point between the particles and the plate electrodes is almost unchanged. The maximal field can be approximated by a simple formula, which is a quadratic function of the permittivity ratio. The dielectrophoretic force depends significantly on the distance from other particles or an electrode. However, for the tilt angles in this work, the horizontal force on the upper particle of the chain always has the direction opposite to the shear direction. The maximal horizontal force of a chain varies as a power function of the permittivity ratio if the particles in the chain are still in contact with each other. The approximated force, based on the force on an isolated chain, has been compared with our calculation results. The comparison shows that no approximation model agrees well with our results throughout the range of permittivity ratios.

We have analyzed the electric field at the contact point of zero contact angle formed by an elliptic-cylindrical or ellipsoidal particle and a plate electrode. The electric field has been calculated by the BEM for two dimensional and axisymmetrical arrangements. The calculation results show that the contact-point electric field is intensified by either decreasing the aspect ratio of the dielectric solid or increasing the ratio of the material constant of the solid to that of the surrounding medium. Two simple equations are given for estimating the contact-point electric field for a range of the material-constant ratio with the errors less than 6.6%.

The study of the effects of conductivity on the electric field and force used a particle composed of a core and a surface film as the model. In the analysis, we use the method of multipole images with the fundamental solutions given for various types of particles composed of a core and a surface film. The concept of the apparent conductivity is introduced to clarify the difference between the particle types. The analysis shows that the response of particle with a surface film to an external field is unique and generally cannot be obtained by replacing the particle with a homogeneous particle. The electric field and force are found smaller on the conductor-core particle but greater on the dielectric-core particle, compared with the particle without any surface film. We have calculated the electric field and force by using the BEM in which a surface film is treated as a zero-thickness medium. The propriety of such treatment of a surface film depends not only on the film properties but also on the external field.