การวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยในอากาศภายใต้สนามไฟฟ้า

Analytical Investigation of Aerosol Transport under Electric Field

พานิช อินต๊ะ

นคร ทิพยาวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

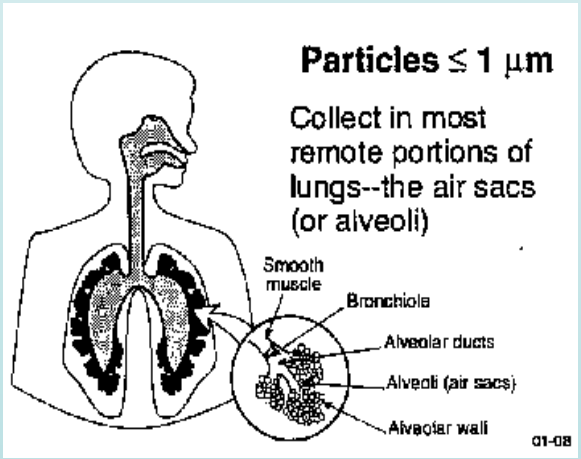
โครงสร้างของการนำเสนอ

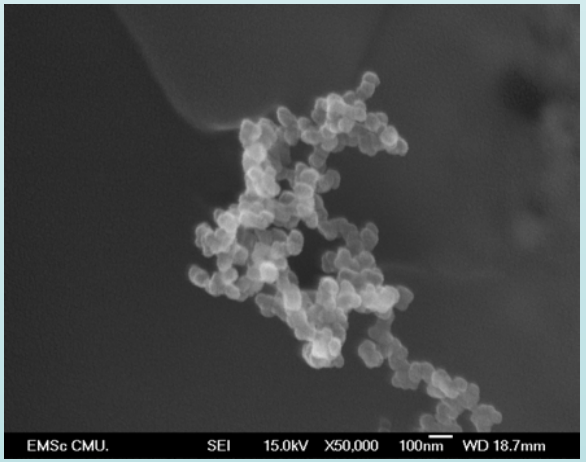
- บทนำ
- เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า
- การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า
- การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า
- การวิเคราะห์และวิจารณ์ผล
- บทสรุป

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

บทนำ

- ปัญหามลพิษทางอากาศ
- อนุภาคขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ และในกระบวนการในอุตสาหกรรม
- จำเป็นต้องมีศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ เพื่อทำการตรวจสอบวิเคราะห์ และควบคุมคุณภาพอากาศและสิ่งปนเปื้อนจากอนุภาคขนาดเล็ก
- อุปกรณ์และเครื่องมือวัดขนาดอนุภาค

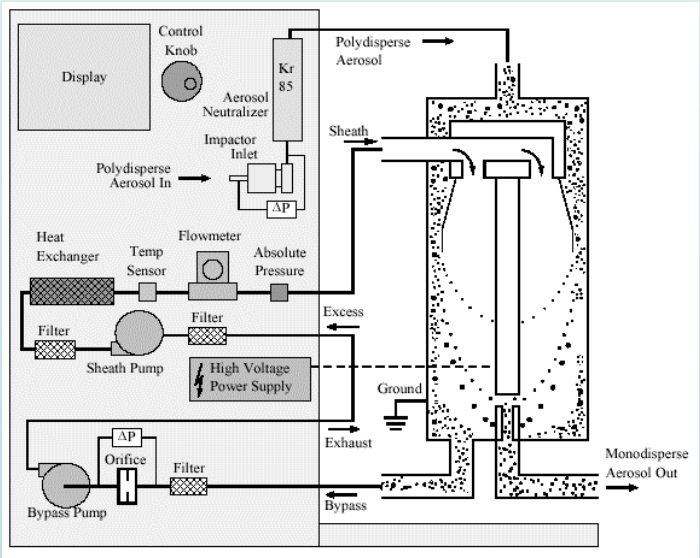




Faculty of Engineering
Chiang Mai University

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดขนาดอนุภาค

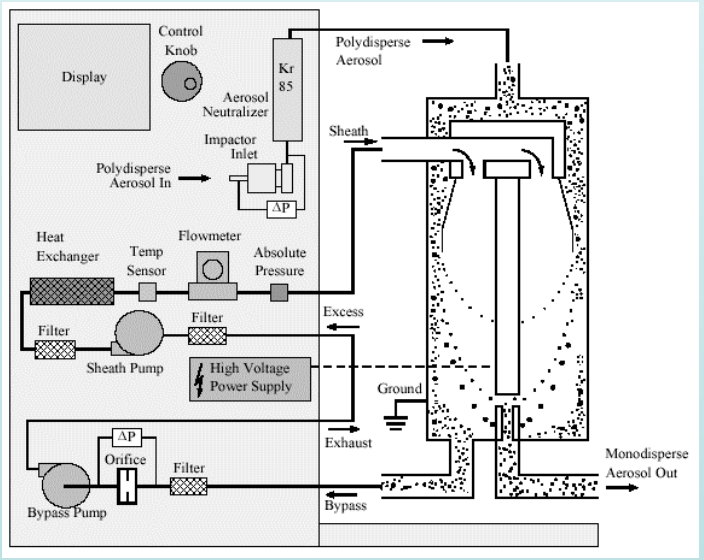
- วิธีการแพร่ของอนุภาค (Diffusion method)
- วิธีการจากแรงเฉื่อยของอนุภาค (Inertial method)
- วิธีการเคลื่อนตัวตามหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic method)
- วิธีการกระจายแสงของอนุภาค (Light scattering method)
- วิธีการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาค (Electrical mobility method)



Faculty of Engineering
Chiang Mai University

การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดขนาดอนุภาค แบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า

- จำเป็นต้องรู้ถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากสำหรับการออกแบบ เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ถึงความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือวัด

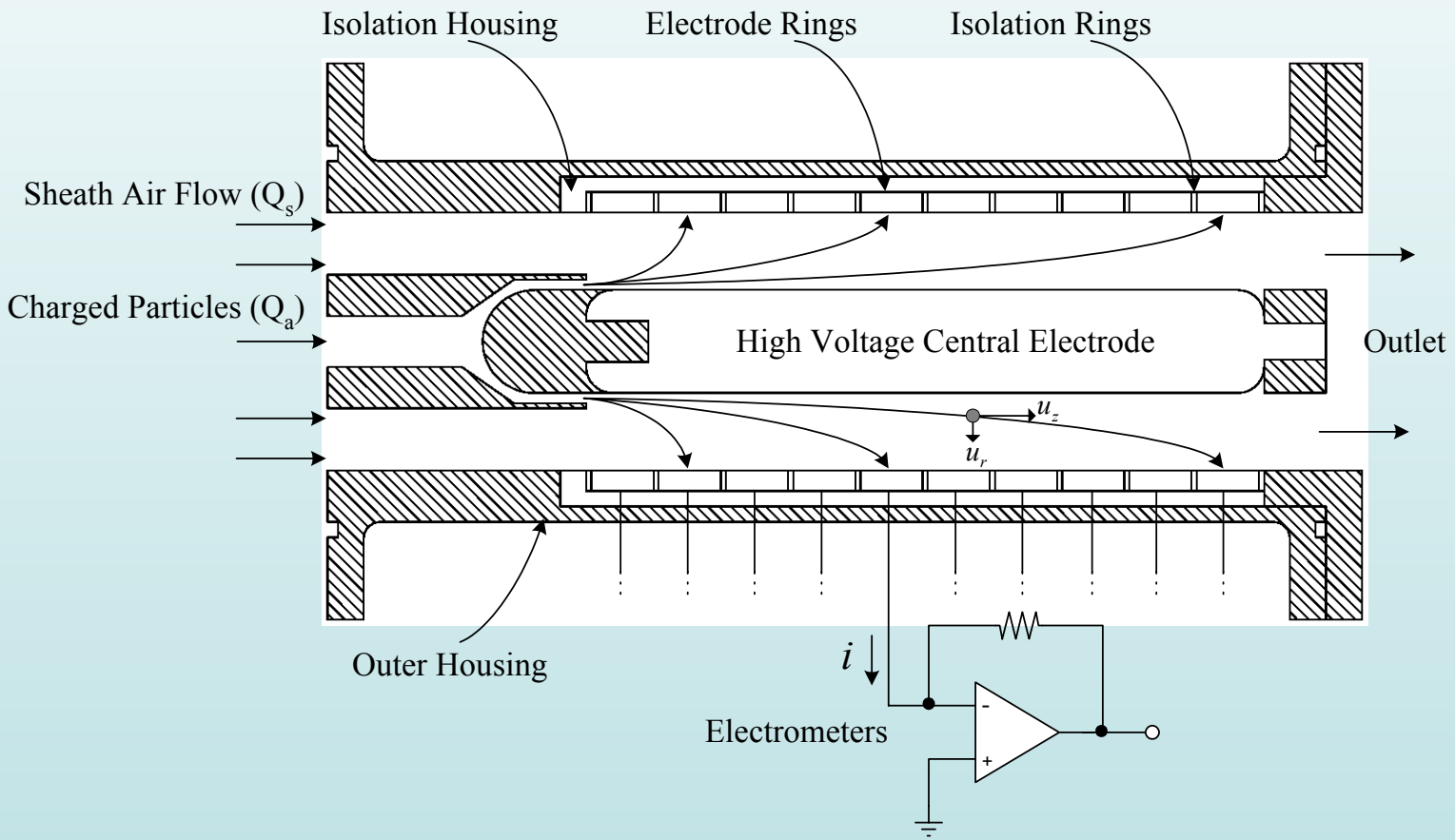


วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยในอากาศภายใต้สนามไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดขนาดอนุภาคแขวนลอยในอากาศแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

เครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบให้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า



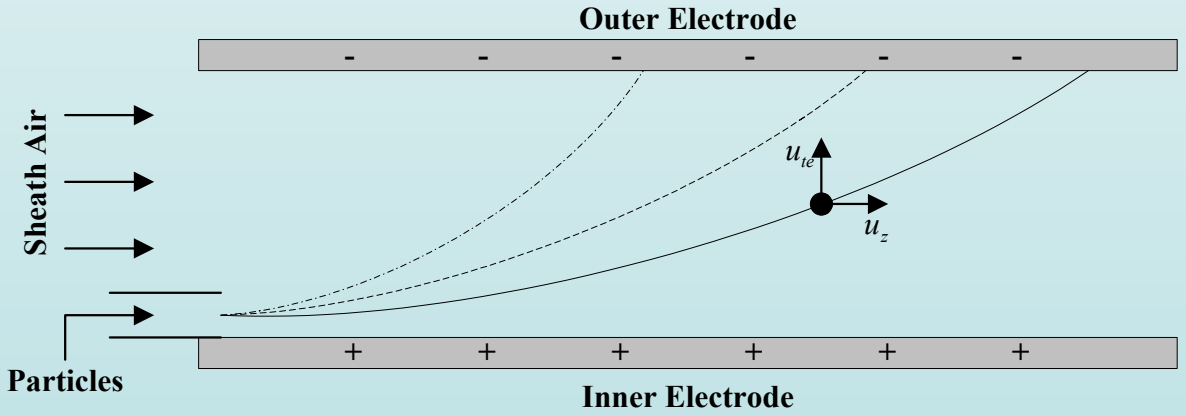
ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาคแต่ละขนาด

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า

ความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาค (Particle Electrical Mobility) ภายใต้สนามไฟฟ้า :

$$Z_p = \frac{\text{Particle Velocity}}{\text{Electric Field Strength}} = \frac{u}{E} = \frac{neC_c}{3\pi\mu d_p}$$



n = จำนวนประจุที่อยู่บนอนุภาค

e = ค่าประจุของอิเล็กตรอน

E = ค่าความเครียดของสนามไฟฟ้า

μ = ค่าความหนืดของแก๊ส

d_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

C_c = ตัวชดเชยของคันนิงแฮม

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า

สมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในแนวรัศมี r และแนวแกน z :

$$\frac{dr}{dt} = u_r + Z_p E_r \qquad \frac{dz}{dt} = u_z + Z_p E_z$$

สมมุติให้การสูญเสียของสนามไฟฟ้าที่ขอบมุมมีค่าน้อยมากๆ และสนามไฟฟ้าในแนวรัศมี r และแนวแกน z :

$$E_r = \frac{V}{r \ln\left(r_2 / r_1\right)} \qquad E_z = 0$$

และสมมุติให้การไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบสมมาตรกับแกน, แบบราบเรียบ, แบบรูปร่างของความเร็วพัฒนาไปจากเดิมอย่างเต็มที่ และแบบไม่ยุบตัวตามความดัน ดังนั้นความเร็วในแนวรัศมี r และแนวแกน z :

$$u_r = 0 \qquad u_z(r) = Ar^2 + B\ln(r) + C$$

$$A = \frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dz},\ B = -\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln\left(r_2/r_1\right)}, C = \frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dz}\left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln\left(r_2/r_1\right)}\ln(r_1) - r_1^2\right),$$

V = แรงดันไฟฟ้า, r = ระยะรัศมี, r_1 = รัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านใน และ r_2 = รัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า

เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle Trajectory) :

$$\frac{dr}{dz} = \frac{\frac{dr}{dt}}{\frac{dz}{dt}} = \frac{Z_p V}{r u_z \ln\left(r_2/r_1\right)}, \quad \int_r^{r_2} r u_z(r) dr = \int_0^L \frac{V Z_p}{\ln\left(r_2/r_1\right)} dz$$

เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ตำแหน่งรัศมี r_1 :

$$z(r) = -\frac{1}{4 Z_p V}\left(\ln\left(r_2/r_1\right)\begin{pmatrix} B r_1^2 - 2C r_1^2 - A r_1^4 - B r^2 + 2C r^2 \\ + A r^4 - 2B r_1^2 \ln(r_1) + 2B r^2 \ln(r) \end{pmatrix}\right)$$

และเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ตำแหน่งรัศมี $r_1 + \delta$:

$$z(r) = -\frac{1}{4 Z_p V}\left(\ln\left(r_2/r_1\right)\begin{pmatrix} B\delta^2 - 2C\delta^2 - A\delta^4 + 2B\delta r_1 - 4C\delta r_1 \\ -4A\delta^3 r_1 + B r_1^2 - 2C r_1^2 - 6A\delta^2 r_1^2 \\ -4A\delta r_1^3 - A r_1^4 - B r^2 + 2C r^2 + A r^4 \\ -2B\delta^2 \ln(\delta + r_1) - 4B\delta r_1 \ln(\delta + r_1) \\ -2B r_1^2 \ln(\delta + r_1) + 2B r^2 \ln(r) \end{pmatrix}\right)$$

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

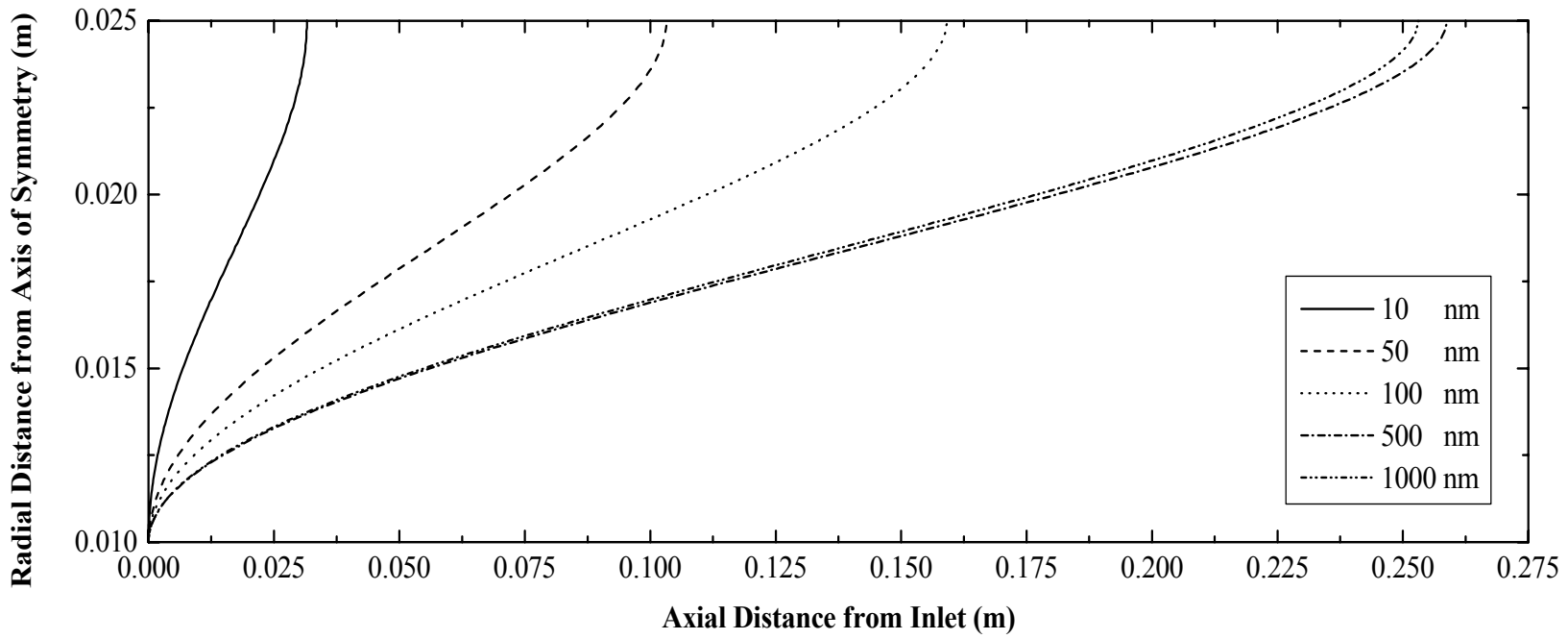
เงื่อนไขในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาค

- ขนาดของอนุภาค อยู่ในช่วง 10 -1,000 นาโนเมตร
- แรงดันไฟฟ้า อยู่ในช่วง 1 – 10 kV
- อัตราการไหลทั้งหมดภายใน อยู่ในช่วง 11 – 15 lpm
- ตำแหน่งระยะรัศมีทางเข้าของอนุภาค อยู่ในช่วง 1 – 15 mm

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

ผลการวิเคราะห์

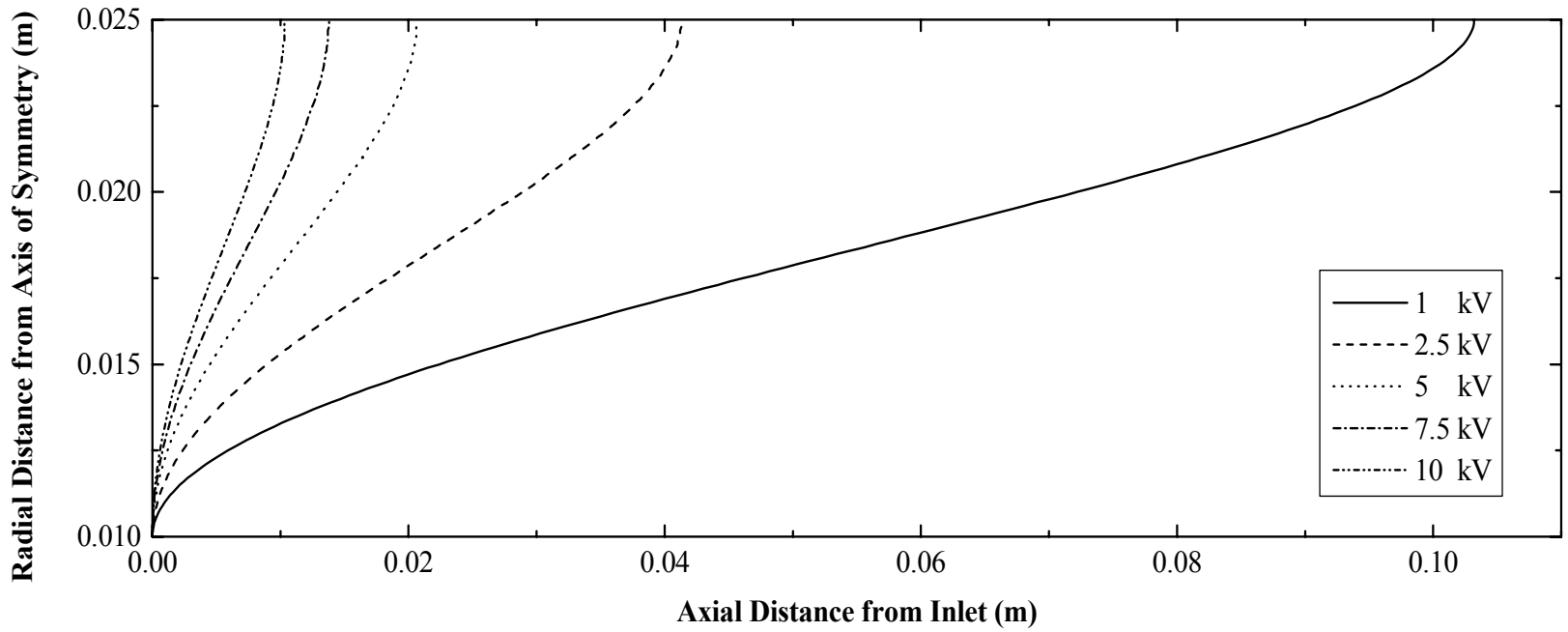
ผลของขนาดของอนุภาค (แรงดันไฟฟ้า 1 kV, อัตราการไหล 11 ลิตร ต่อ นาที) :



Faculty of Engineering
Chiang Mai University

ผลการวิเคราะห์

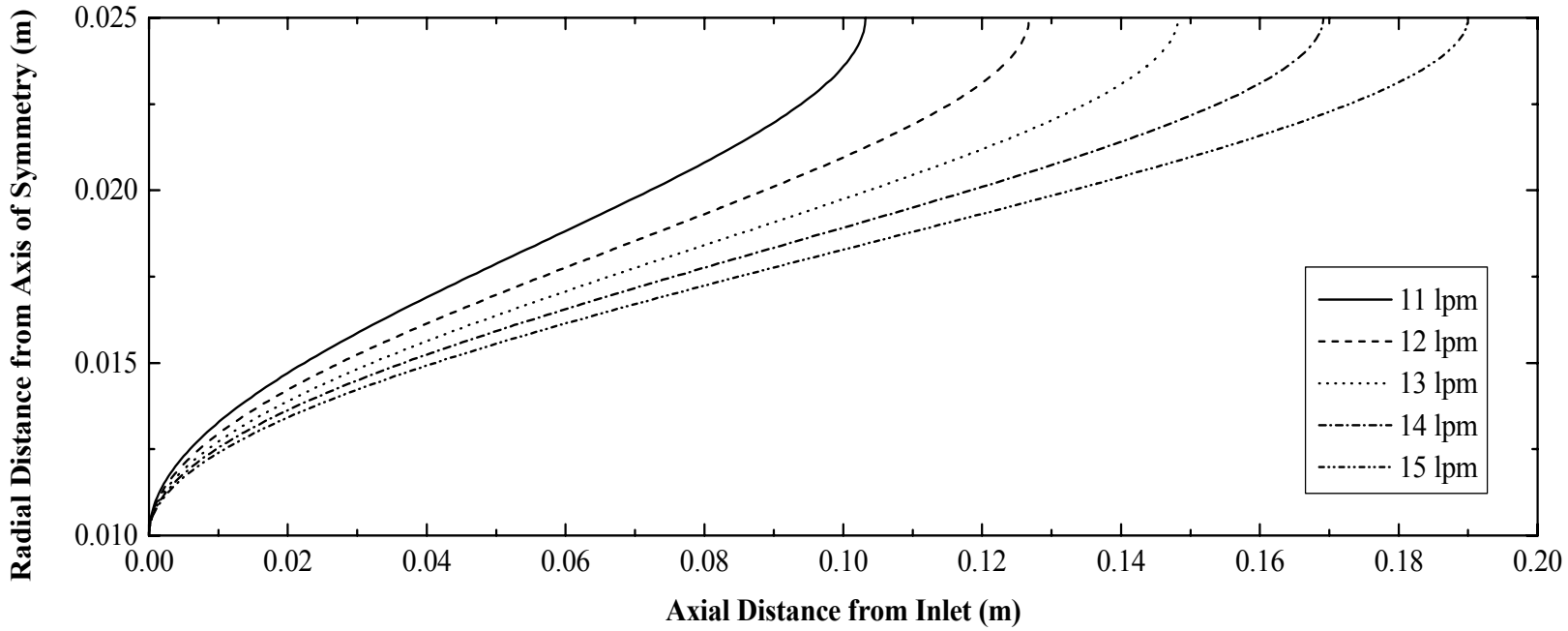
ผลของแรงดันไฟฟ้า (อนุภาคขนาด 50 nm, อัตราการไหล 11 ลิตร ต่อ นาที) :



Faculty of Engineering
Chiang Mai University

ผลการวิเคราะห์

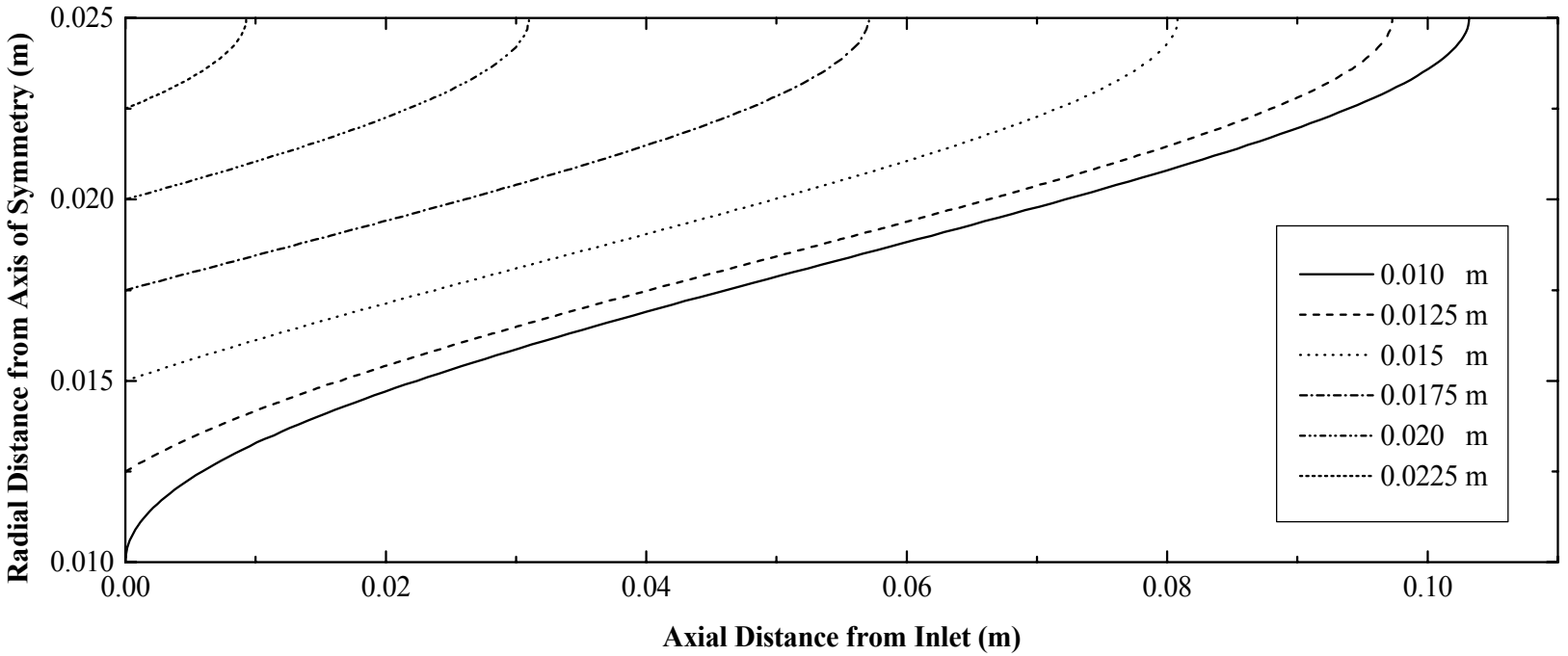
ผลของอัตราการไหลของของไหล (อนุภาคขนาด 50 nm, แรงดันไฟฟ้า 1 kV) **:**



ผลการวิเคราะห์

ผลของตำแหน่งระยะรัศมีทางเข้าของอนุภาค

(อนุภาคขนาด 50 nm, แรงดันไฟฟ้า 1 kV, อัตราการไหล 11 ลิตร ต่อ นาที) :



บทสรุป

- ค่าความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของอนุภาค แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และอัตราการไหลของของไหล
- ตำแหน่งระยะรัศมีทางเข้าของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการทับซ้อนของอนุภาคหลายขนาดได้
- ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละขนาดจะใช้ประโยชน์ในการออกแบบระยะของหัววัดค่าความเข้มข้นของอนุภาค

งานในอนาคต

- ทำการศึกษาลักษณะของสนามไฟฟ้าและรูปร่างการไหลของของไหลภายในของเครื่องวัดขนาดอนุภาค ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์
- ทำการสร้างต้นแบบเครื่องวัดขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้า โดยใช้ผลจากการวิเคราะห์นี้ ช่วยในการออกแบบระยะการจัดวางของหัววัดค่าความเข้มข้นของอนุภาค

Faculty of Engineering
Chiang Mai University

กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

จบการนำเสนอ
ขอบคุณครับ
6 6:38AM

Q&A