

**การคำนวณเชิงตัวเลขของสนามไฟฟ้าและการไหลภายในตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนา
สำหรับเครื่องวิเคราะห์ฝุ่นแขวนลอยในอากาศ**
**Numerical Computation of Electric and Flow Fields in a Corona-Needle Charger for
an Airborne Particulate Matter Analyzer**

อาทิตย์ ยาวุฒิ¹, พานิช อินต๊ะ² และ นคร ทิพย์วงศ์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

² วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50220

*ติดต่อ: E-mail: yartit@yahoo.com , เบอร์โทรศัพท์: 086-1161598

บทคัดย่อ

การอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคเป็นกลไกที่สำคัญสำหรับการวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในอากาศเชิงไฟฟ้าสถิต ซึ่งกำหนดการแจกแจงประจุไฟฟ้าสุทธิที่รู้ค่าแน่นอนให้กับอนุภาคละอองลอยแต่ละขนาด โดยจำนวนของประจุของอนุภาคแต่ละขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ความหนาแน่นของไอออน และเวลาที่อนุภาคลอยอยู่ในแก๊สไอออน หรือเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งจะสอดคล้องกับความเข้มของสนามไฟฟ้าและความเร็วในการไหลของของไหลภายในตัวอัดประจุ ดังนั้น ลักษณะของสนามไฟฟ้าและการไหลของของไหลภายในตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคจึงสำคัญและมีอิทธิพลต่อจำนวนประจุของอนุภาค บทความฉบับนี้นำเสนอการคำนวณเชิงตัวเลขของสนามไฟฟ้าและสนามการไหลภายในตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคแบบโคโรนาเข็มสำหรับเครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศ เพื่อทำนายพฤติกรรมของการไหลและลักษณะการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองและคำนวณเชิงตัวเลขของตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคแบบโคโรนาเข็มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล COMSOL ผลการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่าค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมาและผลการคำนวณที่ได้จากการศึกษานี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคแบบโคโรนาเข็มต่อไปได้

คำหลัก: การคำนวณเชิงตัวเลข สนามไฟฟ้า อนุภาค โคโรนาดีสชาร์จ ชูดให้ประจุไฟฟ้า

Abstract

Electrical charging of particles is an important mechanism for measurement and analysis of airborne particulate matter. It can generate ions and impart net charge to each size of the aerosol particles. Number of charge for each size of particle was dependent on particle diameter, ion concentration, and charging time, consistent with electric field intensity and fluid velocity in the charger. Characteristics of electric and fluid flow fields in the charger are immensely important and influential to number of electric charge on particles. This paper presents numerical computation of electric and flow fields in a corona-needle charger for airborne particle measurement and analysis to predict the flow behavior and the distribution of the electric field using COMSOL software. The numerically simulated results showed a close agreement between numerical prediction and reported experimental

CST-2002

measurements from previous research. This work may be utilized to develop and improve future design of corona-needle charger.

Keywords: Numerical computation, Electric field, Particle, Corona discharge, Electric ion charger

1. บทนำ

เครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าสถิต (Airborne Particulate Matter Analyzer) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้วัดปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1 – 10 ไมโครเมตร [1 - 2] โดยจากจุดฝุ่นละอองลอยในอากาศเข้ามาผ่านชุดคัดแยกอนุภาคเข้า (impactor) โดยอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดตามที่กำหนดไว้จะสามารถผ่านไปยังชุดให้ประจุอนุภาค (corona-needle charger) จากนั้นอนุภาคฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปยังชุดตรวจวัดสัญญาณประจุไฟฟ้าด้วยตัวตรวจวัดความไวสูง (ultra-low current sensor) และตัวขยายสัญญาณ (ultra-low amplifier) ก่อนจะนำค่าสัญญาณไฟฟ้าไปประมวลผลแปลงเป็นค่าปริมาณความเข้มข้นเชิงจำนวนของอนุภาคฝุ่นต่อไป ในส่วนของการให้ประจุไฟฟ้าอนุภาคเป็นกลไกอันหนึ่งที่สำคัญสำหรับเครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเชิงไฟฟ้าสถิตประสิทธิภาพในการให้ประจุไฟฟ้าสุทธิที่รู้ค่าแน่นอนย่อมหมายถึงประสิทธิภาพของเครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศ

การให้ประจุไฟฟ้าอนุภาคคือการเกาะติดของไอออน (ion attachment) บนพื้นที่ผิวของอนุภาคเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้าไปในกลุ่มของแก๊สไอออน (gaseous ions) โดยจำนวนของประจุของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค (particle size) ความหนาแน่นของไอออน (ion density) และเวลาที่ใช้ในการให้ประจุไฟฟ้า (charging time) ปัจจุบันมีการให้ประจุไฟฟ้าอนุภาคหลายแบบ [3] อย่างไรก็ตาม การให้ประจุแบบแพร่กระจายและสนาม (diffusion and field charging) ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากประสิทธิภาพในการให้ประจุไฟฟ้าอนุภาคสูงกว่าแบบอื่น [4] การให้ประจุแบบ

สนามด้วยขั้วอิเล็กโทรดแบบปลายเข็มสามารถให้ค่าความหนาแน่นไอออนได้มากกว่าการให้ประจุแบบแพร่กระจายด้วยเส้นลวดโคโรนามากและในขณะเดียวกันพบว่ามีไอออนที่ไม่ได้เกาะอยู่บนอนุภาคฝุ่นละอองลอยเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ระบบการวัดผิดพลาด ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้แรงดันไฟฟ้าดักจับไอออนส่วนเกินนี้ออกไปได้ [5, 6]

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนาสำหรับเครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศ โดยนำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนามการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นภายในห้องอัดประจุไฟฟ้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล COMSOL ที่ใช้ระเบียบเชิงตัวเลขแบบวิธีการปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume method; FVD)

2. หลักการอัดประจุไฟฟ้าอนุภาค

วัตถุประสงค์ของการให้ประจุไฟฟ้าให้กับอนุภาคคือเพื่อกำหนดการแจกแจงประจุสุทธิ (net charge distribution) ที่รู้ค่าแน่นอนให้กับอนุภาคละอองลอยเนื่องจากในการวิเคราะห์ความสามารถในการเคลื่อนตัวและการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาคจำเป็นต้องรู้การแจกแจงประจุของอนุภาคแต่ละขนาด ประสิทธิภาพในการให้ประจุไฟฟ้าอนุภาคสูงจะส่งผลทำให้มีความไวสูงในการวิเคราะห์

การให้ประจุแบบแพร่กระจายและแบบสนามขั้วเดียว (unipolar) เป็นกระบวนการให้ประจุแบบทางอ้อม โดยจะเกิดขึ้นจากการชนกันระหว่างไอออนก๊าซกับอนุภาค ดังนั้นผลที่ได้จากการชนกันคือประจุจะถูกย้ายจากไอออนไปสู่อนุภาคทำให้อนุภาคได้รับประจุไอออนก๊าซขั้วเดียว (unipolar gas ions) ซึ่งปกติจะถูกสร้างขึ้น ณ สภาวะโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) การให้ประจุแบบแพร่กระจายสามารถหาจำนวนของประจุอนุภาค $n(t)_{diffusion}$ จาก

CST-2002

สมการที่ 1 และการให้ประจุแบบสนามสามารถหาจำนวนของประจุอนุภาค $n(t)_{field}$ ได้จากสมการที่ 2

$$n(t)_{diffusion} = \frac{d_p kT}{2K_E e^2} \ln \left[1 + \frac{\pi K_E d_p \bar{c}_i e^2 N_i t}{2kT} \right] \quad (1)$$

$$n(t)_{field} = \left(\frac{3\varepsilon}{\varepsilon + 2} \right) \left(\frac{Ed_p^2}{4K_E e} \right) \left(\frac{\pi K_E e Z_i N_i t}{1 + \pi K_E e Z_i N_i t} \right) \quad (2)$$

เมื่อ d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m), k คือค่าคงที่โบลทซ์มานน์ (Boltzmann's constant) ประมาณ 1.380658×10^{-23} J/K, T คืออุณหภูมิทำงานของระบบ (Kelvin), ε_0 คือสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ, ε คือค่าคงที่ของการเป็นฉนวนของอนุภาค, $K_E = 1/(4\pi\varepsilon_0)$, $\bar{c}_i$ คือความเร็วเชิงความร้อนเฉลี่ยของไอออน, e คือค่าประจุอิเล็กตรอน (Coulomb, C), $N_i t$ คือค่าความเข้มข้นไอออนที่เวลา t (วินาที), E คือค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร), Z_i คือความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของไอออน

3. การออกแบบตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาค

3.1 ความต้องการในการออกแบบ

เป้าหมายในการออกแบบในงานวิจัยนี้คือเพื่อออกแบบตัวอัดประจุแบบเข็มโครนาสำหรับเครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศที่สามารถสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเครียดสูง มีส่วนที่สามารถดักจับไอออนความเข้มสูงที่ไม่ได้เกาะติดกับอนุภาคฝุ่นละอองลอยและเล็ดลอดออกมาจากส่วนของการอัดประจุมีต้นทุนต่ำและมีขนาดเล็กโดยใช้เทคโนโลยีและวัสดุที่จัดหาได้ในประเทศ ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีและวัสดุจากต่างประเทศ ตัวอัดประจุที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานกับฝุ่นละอองลอยในอากาศ โดยในการศึกษานี้กำหนดให้มีอัตราการไหลของของไหลไม่เกิน 15 ลิตรต่อนาที และแรงดันที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดจะต้องไม่เกิน 3,000 โวลต์ ความดันไม่เกิน 1 บาร์ ต้นแบบสามารถถอดทำความสะอาดและ

ประกอบได้ง่าย มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงดันสูงขณะใช้งาน

3.2. รายละเอียดในการออกแบบ

รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวอัดประจุแบบเข็มโครนาที่ได้ออกแบบ โดยมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกันเนื่องจากรูปร่างสามารถสร้างได้ง่ายและไม่ซับซ้อน อีกทั้งลักษณะทรงกระบอกยังมีความผิดเพี้ยนของเส้นสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดน้อยกว่ารูปร่างแบบอื่นเนื่องจากไม่มีผลของขอบมุมตัวอัดประจุที่ออกแบบประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่มีการจัดวางแบบทรงกระบอกซ้อนกันร่วม ขั้วอิเล็กโทรดด้านในทำด้วยสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร ทำปลายแหลมชั้นฉนวนยางเอียงทำมุม 10 องศา อิเล็กโทรดด้านนอกทำด้วยทองเหลืองขัดมันเงามีความเอียงด้านใน 35 องศา บริเวณท่อทางออกอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 37 มิลลิเมตรและมีความยาวรวม 115 มิลลิเมตร

4. การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าและสนามการไหล

4.1. สนามไฟฟ้า

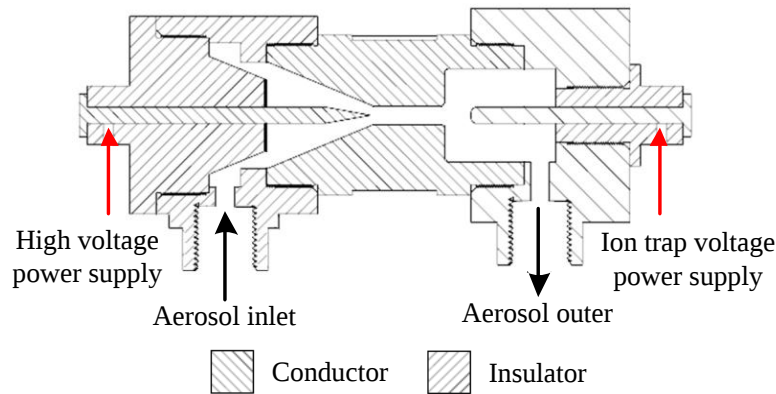
โมเดลของสนามไฟฟ้าสถิต [7] ถูกสร้างจากแรงดันไฟฟ้า (Electric potential) โดยการใช้กฎของเกาส์ (Gauss's law) และสมการความต่อเนื่องของปัวส์ซง (Poisson's equation) ในสภาวะคงตัวสามารถหาความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric field intensity; E) จากแรงดันไฟฟ้าตามสมการที่ 3 และอาศัยกฎของเกาส์ร่วมกับสมการของปัวส์ซงจะได้สมการที่ 4

$$\bar{E} = -\nabla V \quad (3)$$

$$-\nabla \cdot (\varepsilon \nabla V) = \rho \quad (4)$$

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้า (โวลต์), ρ คือค่าความหนาแน่นของประจุ (คูลอมต่อลูกบาศก์เมตร)

CST-2002



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนา

4.2. สหามการไหล

โมเดลของการไหลในงานวิจัยนี้ สมมติให้ความหนาแน่นของวัสดุภายในมีค่าคงที่ที่สุด รูปแบบการไหลภายในเป็นแบบสมมาตรกับแกน (axis symmetric) ไม่ยุบตัวตามความดัน (incompressible) โดยใช้สมการ Navier-Stokes แบบไม่ยุบตัวตามความดัน (Navier-Stokes equation) และสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) ดังนี้

$$-\eta \nabla^2 u + \rho(u \cdot \nabla)u + \nabla p = F \quad (5)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (6)$$

เมื่อ η คือค่าความหนืดของของไหล (ปาสคาลวินาที), u คือความเร็ว (เมตรต่อวินาที), ρ คือความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), p คือความดัน (ปาสคาล) และ F คือแรงเชิงปริมาตร (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)

4.3. ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

การคำนวณเชิงตัวเลขใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานบนพื้นฐานของสมการทางคณิตศาสตร์ ที่ภายในมีโมดูลต่างๆ สำหรับโจทย์ปัญหาหลายๆ รูปแบบรวมทั้งการคำนวณสนามไฟฟ้าและสนามการไหลของของไหลที่จะศึกษาในงานนี้ นอกจากนี้ข้อได้เปรียบของ

COMSOL เทียบกับโปรแกรมคำนวณเชิงตัวเลขอื่นคือสามารถทำการสร้างแบบจำลองและคำนวณได้พร้อมกันทำให้สามารถเห็นผลลัพธ์สุดท้ายจากโจทย์ปัญหาต่างๆ ได้พร้อมกัน ในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากรูปร่างของปัญหามีความซับซ้อนและมีความสมมาตรในแนวแกน z จึงทำการวิเคราะห์แบบจำลองเพียงครึ่งเดียวและทำการแบ่งแบบจำลองเป็นพื้นที่ย่อยหลายส่วน และเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ของสนามไฟฟ้าและสนามการไหลของตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนา ในการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2 (ก) ส่วนของโดเมนปัญหาถูกสร้างเป็นแบบ Unstructured mesh จำนวนรวม 14,960 เซลล์ ตามรูปที่ 2 (ข) เงื่อนไขต่างๆ กำหนดตามตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ขั้วแรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่เกิน 3,000 โวลต์ ขั้วแรงดันไฟฟ้าดักจับไอออนมีค่า 0 และ 300 โวลต์ คุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการคำนวณครั้งนี้ ค่าความหนาแน่นของแก๊สเท่ากับ $1.19 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ค่าความหนืดของแก๊สเท่ากับ $1.79 \times 10^{-5} \text{ (Pa.s)}$ ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน ค่าค่าคงที่ของการเป็นฉนวนของอากาศเท่ากับ 1.00054 (F/m) และสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศมีค่า $8.85 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$ ความดันและแรงเชิงปริมาตรมีค่าเป็นศูนย์ ท่อทางเข้าและทางออกของอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร อัตราการไหลอากาศเปลี่ยนแปลง 3 ค่าคือ 5, 10 และ 15 ลิตรต่อนาที ให้รูปร่างของความเร็วสม่ำเสมอ (uniform velocity profile) ตลอดพื้นที่หน้าตัดของทางเข้า

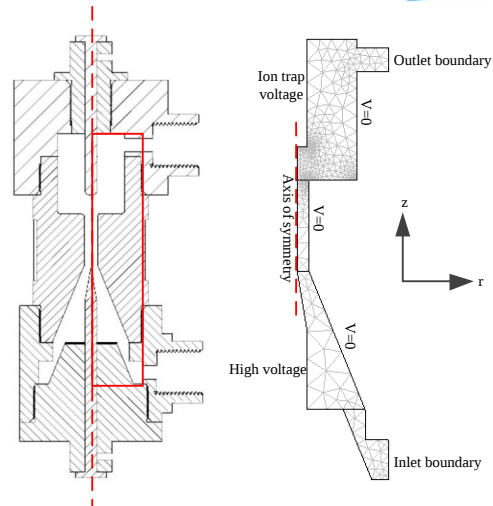
CST-2002

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทำงานของตัวอัดประจุแบบ
เข็มโครนาที่ใช้ในการคำนวณ

เกณฑ์ในการออกแบบ	คุณสมบัติ
แรงดันไฟฟ้าที่อิเล็กโทรด	ไม่เกิน 3,000 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าดักจับไอออน	ไม่เกิน 300 โวลต์
ศักย์ไฟฟ้า	ขั้วบวก
ผลของประจุค้าง	ไม่มี
อัตราการไหลแก๊สทางเข้า	ไม่เกิน 15 ลิตรต่อนาที
ลักษณะการไหล	แบบราบเรียบ
ความหนาแน่นของแก๊ส	$1.19 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
ความหนืดของแก๊ส	$1.79 \times 10^{-5} \text{ (Pa.s)}$
อุณหภูมิทำงาน	300 เคลวิน
ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของแก๊ส	1.00054 F/m
สภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ	$8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

5. ผลการคำนวณและวิจารณ์ผล

รูปที่ 3 แสดงลักษณะของการแพร่กระจาย
สนามไฟฟ้าภายในตัวอัดประจุแบบเข็มโครนา โดย
เมื่อทำการปรับค่าแรงดันดักจับไอออนเป็น 0 โวลต์
พบว่าเส้นสนามไฟฟ้าบางส่วนจะแยกจะพุ่งเข้าหาหัว
อิเล็กโทรดจ่ายแรงดันดักจับไอออนตามรูปที่ 3 (ก)
และเมื่อทำการจ่ายแรงดันดักจับไอออนเป็น 300
โวลต์ พบว่าเส้นสนามไฟฟ้าจากหัวอิเล็กโทรดไฟฟ้า
แรงดันสูงและสนามไฟฟ้าจากหัวอิเล็กโทรดแรงดันดัก
จับไอออนจะพุ่งเข้าหาพื้นที่ที่เป็นกราวด์ ตามรูปที่ 3
(ข) ในรูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของแรงดันไฟฟ้า
ภายในตัวอัดประจุแบบเข็มโครนาโดยจะเกิดมากที่สุดที่หัว
อิเล็กโทรดไฟฟ้าแรงดันสูง รูปที่ 5 แสดงลักษณะ
สนามไฟฟ้าและสนามการไหลภายในตัวอัดประจุแบบ
เข็มโครนา และเมื่อพิจารณาตามแนวแกนรัศมีที่
ปลายหัวอิเล็กโทรดไฟฟ้าแรงดันสูงจะพบว่าค่าความ
เข้มสนามไฟฟ้าจากการปรับค่าแรงดันที่อิเล็กโทรด
ไฟฟ้าแรงดันสูงค่า 1,000, 2,000 และ 3,000 โวลต์มี
ค่าสูงมากที่บริเวณปลายเข็มเท่ากับ 3.94×10^6 ,
 7.89×10^6 และ 1.186×10^7 โวลต์ต่อเมตร ตามลำดับ
และการกระจายตัวลดลงที่ระยะห่างจากปลายเข็มเพิ่มขึ้น
ตามรูปที่ 6 (ก) นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้ว่ามีค่า
ความเข้มสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอบริเวณขอบมุมของ
อิเล็กโทรดโดยในการสร้างจริงจะต้องลดขอบมุมนี้

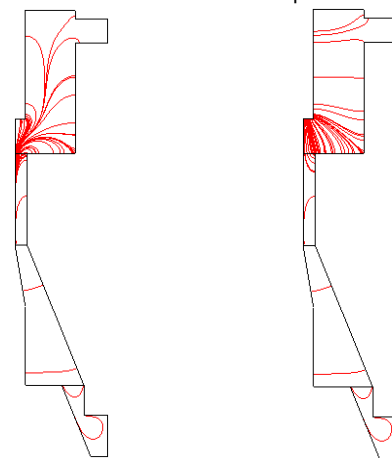


(ก) โดเมนและเงื่อนไขขอบเขต (ข) โดเมนปัญหา
รูปที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตและโดเมนปัญหา

ด้านนอกที่เป็นทองเหลือง ส่วนค่าความเร็วของสนาม
การไหลเมื่อกำหนดการไหลทางเข้าเป็น 3 ระดับคือ 5,
10 และ 15 ลิตรต่อนาที พบว่าความเร็วตามแนวแกน
รัศมีมีค่าสูงสุด 412, 820 และ 1,220 เมตรต่อวินาที
ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6 (ข)

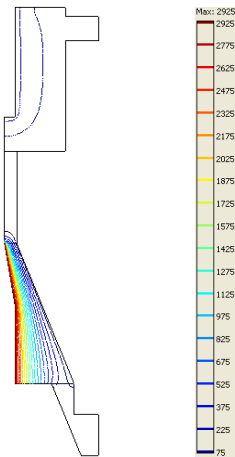
5. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองการ
คำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการศึกษาลักษณะการ
กระจายตัวของสนามไฟฟ้าและลักษณะการไหลของ
ของไหลภายในตัวอัดประจุแบบเข็มโครนาสำหรับ
เครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยในอากาศ
โดยสมการ Navier-Stoke แบบไม่ยุบตัวตามความดัน

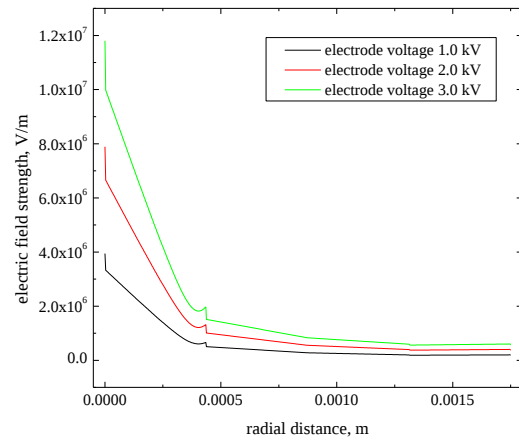


(ก) แรงดัน 0 โวลต์ (ข) แรงดัน 300 โวลต์
รูปที่ 3 ลักษณะการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าที่แรงดัน
ดักจับไอออนต่างๆ

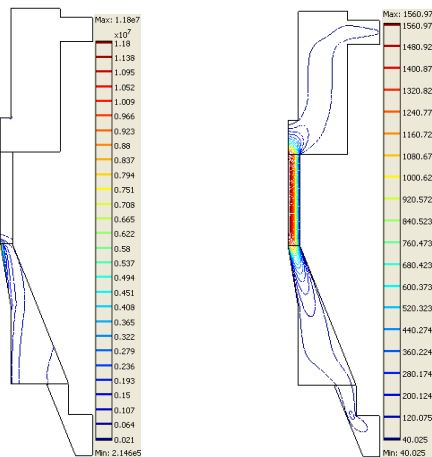
CST-2002



รูปที่ 4 การกระจายตัวของแรงดันไฟฟ้าภายในตัวอัด
ประจุแบบเข็มโคโรนา



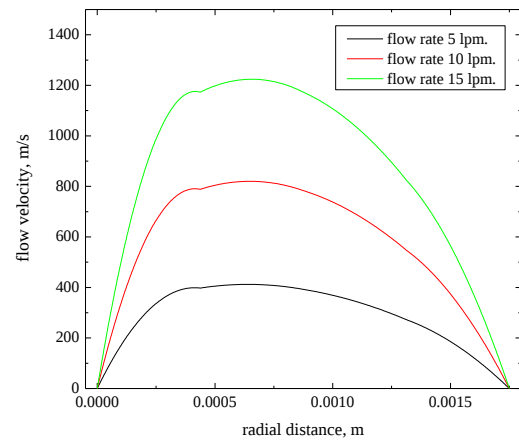
(ก) สนามไฟฟ้า



(ก) สนามไฟฟ้า

(ข) สนามการไหล

รูปที่ 5 ลักษณะสนามไฟฟ้าและสนามการไหลภายใน
ตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนา



(ข) สนามการไหล

รูปที่ 6 สนามไฟฟ้าและสนามการไหลตามแนวรัศมี
บริเวณปลายเข็มอิเล็กโทรดไฟฟ้าแรงดันสูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้
โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุน
โครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม จากสำนักงาน
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ รหัส
โครงการ P-11-00485

7. เอกสารอ้างอิง

[1] อาทิตย ยาวุฑฒินและพานิช อินต๊ะ (2556).
เครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก
PM2.5 และ 10 ในอากาศ, การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9, จังหวัด
นครนายก.

และสมการ Laplace's ในการคำนวณเชิงตัวเลข
สำหรับสนามไฟฟ้าและสนามการไหลด้วยโปรแกรม
สำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของ
ไหล COMSOL จากการศึกษาพบว่าค่าความเข้มของ
สนามไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่ปลายเข็มเท่ากับ 1.186×10^7
โวลต์ต่อเมตร และความเร็วในการไหลของของไหลมี
ค่าสูงสุดที่ 1,220 เมตรต่อวินาที สอดคล้องกับผล
การศึกษาตัวอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคในงานวิจัยที่ผ่านมา [5, 6, 8] ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้
ออกแบบและสร้างตัวอัดประจุแบบเข็มโคโรนาสำหรับ
เครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองลอยต่อไป

CST-2002

- [2] Panich intra et al. (2010). Design and Theoretical Investigation of a PM2.5 Impactor for Airborne Particulate Matter Sampling, *the 24th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*, Ubon Ratchathani.
- [3] Hinds, W.C. (1999). *Aerosol Technology*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- [4] Intra, P. and Tippayawong, N. (2011), An overview of unipolar charger developments for nanoparticle charging, *Journal of Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 11(No. 2), pp. 186 – 208.
- [5] อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และคณะ (2553). การคำนวณเชิงตัวเลขของสนามไฟฟ้าและสนามการไหลภายในชุดอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคแบบโคโรนาเข็มของเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแขวนลอยในอากาศ, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8*, จังหวัดสงขลา.
- [6] อาทิตย์ ยาวุฑฒิและคณะ (2553). การประเมินลักษณะสนามไฟฟ้าสถิตในชุดอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคแบบเส้นลวดโคโรนาของเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM2.5, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, จังหวัดเชียงใหม่.
- [7] COMSOL V3.5 (2008) Multiphysics Model Guide.
- [8] พิมพ์พร เสนอิน และคณะ (2555). การออกแบบห้องฆ่าเชื้อด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลว, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, ปี 35, ฉบับที่ 2, เมษายน – มิถุนายน 2555, หน้า 253 – 267.