

**วิธีทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต
แบบสาย-แผ่นสำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นจากเตาเผาชีวมวล**
**Approach to Predict the Total Collection Efficiency of a Wire-plate Electrostatic
Precipitator for Particles Removal from Biomass Furnace**

พานิช อินตะ* และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

โทร 0-5387-5140 โทรสาร 0-5387-5140 *อีเมล panich.intra@hotmail.com, panich_intra@yahoo.com

Panich Intra* and Natthawut Dussadee

Energy Research Center, MaeJo University, Nonghan, Sansai, Chiang Mai, 50290, Thailand

Tel: 0-5387-5140, Fax: 0-5387-5140, *E-mail: panich.intra@hotmail.com, panich_intra@yahoo.com

บทคัดย่อ

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำจัดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 – 1,000 ไมโครเมตร โดยอาศัยวิธีการทางไฟฟ้า เครื่องตกตะกอนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอน โดยขั้วดิสชาร์จจะถูกจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงในขณะที่ขั้วตกตะกอนมีศักย์เป็นกราวด์ทำให้เกิดโคโรนาดิสชาร์จขึ้นบริเวณรอบๆขั้วดิสชาร์จ และเกิดการไหลของกระแสไอออนผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน เมื่อแก๊สที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้จะทำให้อนุภาคได้รับประจุและถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตกตะกอนอยู่บนขั้วตกตะกอน ซึ่งประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนแบบนี้ขึ้นอยู่กับ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ความเร็วของแก๊ส อุณหภูมิและความดันของแก๊สภายในเครื่องตกตะกอน ในบทความวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย-แผ่น สำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นจากเตาเผาชีวมวลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.01 – 100 ไมโครเมตร จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย-แผ่น มีศักยภาพสูงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดอนุภาคที่ปล่อยออกจากเตาเผาชีวมวล โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตต่อไป

Abstract

Electrostatic precipitator is used to separation of particles from gas flow stream in the size range from 0.01 – 1,000 micron is based on electrical means. The precipitator is divided into two parts, discharge and collection electrodes. The discharge electrode is connected to the high voltage supply, while the collection electrode is grounded. The high voltage supply is used to produce the corona discharge on the electrode. The corona discharge generates the ion current which move rapidly toward the collection electrode. The exhaust gas flow containing particles is direct across the corona discharge field and is then charged. The charged particles are deflected outward the collection electrode and they are collected on the collection electrode. The most important parameters that determine the total collection efficiency of particle of such devices are the electric field strength, gas flow velocity and operating temperature and pressure inside the device. In this research paper is to provide an approach to predict the total collection efficiency of the wire-plate electrostatic precipitator for particles removal from biomass furnace with mathematical model. The particle in the size range of 0.1 to 100 micron was analytically calculated in this study. It was found from the results that the wire-plate electrostatic precipitator to be high performance and useful in exhaust gas particle removal from biomass furnace. Finally, a prototype of the

wire-plate electrostatic precipitator is planned to be built and tested, based on the results of this model.

1. บทนำ

การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitation) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (particulate) ที่เป็นอันตรายจากกระบวนการต่างๆ [1 – 4] เนื่องจากแรงทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) จะกระทำต่อตัวอนุภาคเพียงอย่างเดียว จึงไม่มีผลกระทบต่อการไหลของแก๊ส ดังนั้นข้อดีของการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนี้จึงผลให้ความดันสูญเสีย (pressure drop) ของแก๊สมีค่าต่ำปกติแล้วจะน้อยกว่า 1000 Pa และมีประสิทธิภาพการตกตะกอนสำหรับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร สูงปกติจะมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ และข้อดีที่สำคัญอย่างหนึ่งของ การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตนี้ก็คือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ [5]

เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator, ESP) เป็นอุปกรณ์ที่มีกลไกการทำงานที่มีความซับซ้อนระหว่างสนามไฟฟ้า (electric field) การไหลของของไหล (fluid field) และการไหลของอนุภาค (particle flow) ภายใน โดยการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตได้มีการศึกษาโดยหลายวิธีการ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษากการทดลองของเครื่องตกตะกอนในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale ESP) การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่าย (simplified numerical modelling) [6 – 11] ซึ่งในการศึกษาเหล่านี้จะทำการทดสอบและปรับปรุงเครื่องตกตะกอนให้ดีขึ้น โดยตัวแปรการทำงานส่วนใหญ่ที่ใช้ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขั้วดิสชาร์จ (discharge wire diameter) ช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จ (wire to wire) และช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน (wire to plate) ความเร็วการไหลของอากาศ (air flow velocity) และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วดิสชาร์จ ผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

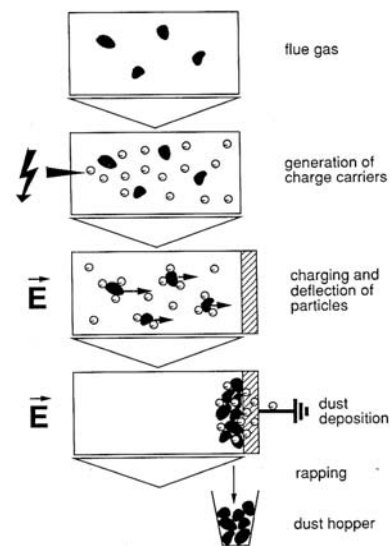
สถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน ได้มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เช่น ลำไย พริก มะเขือเทศ ถั่วลิสง มะม่วง โดยการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะสามารถลดต้นทุนในด้านเชื้อเพลิงลงได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ [12] เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้มีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในบริเวณพื้นที่ที่การทำเกษตรกรรม แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยระบบพลังงานชีวมวลยังมีปัญหาการแพร่กระจายของอนุภาคแขวนลอยที่ปนไปกับอากาศร้อน โดยอนุภาคแขวนลอยที่ปนมากับอากาศร้อนจะมีขนาดอยู่ในช่วง 10 นาโนเมตร ไปจนถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งอนุภาคฝุ่นเหล่านี้จะทำให้เกิดผลกระทบต่อทัศนวิสัยอากาศตามฤดูกาล และสุขภาพชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน สามารถที่จะผ่านเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ [13]

จากประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ได้กล่าวมาในข้างต้น และผลกระทบจากปริมาณการแพร่กระจายของอนุภาคจากเตาเผาชีวมวลที่มีการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในบท

ความวิจัยฉบับนี้ จะนำเสนอวิธีการทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย - แผ่น สำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นจากเตาเผาชีวมวลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 – 100 ไมโครเมตร แรงดันไฟฟ้าในช่วง 1 – 100 กิโลโวลต์ ความเร็วของแก๊สในช่วง 0.5 – 2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของแก๊สในช่วง 250 - 750 องศาเซลเซียส โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต สำหรับการกำจัดอนุภาคจากเตาเผาชีวมวลต่อไป

2. หลักการของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

การกำจัดอนุภาคออกจากกระแสการไหลของแก๊สของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยขั้นตอนแรกการสร้างประจุให้กับอนุภาค (generation of charge carriers) จากนั้นอนุภาคที่มีอนุภาคฝุ่นแขวนลอยอยู่ไหลผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน (ions-particles collisions) ไอออนเกาะติดกับอนุภาคเหล่านั้นเป็นผลทำให้อนุภาคได้รับประจุ (charged particles) และอนุภาคที่มีประจุถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังแผ่นตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตหรือที่เรียกว่าแรงคูลอมบ์ (coulomb force) และถูกสะสมตัวอยู่บนแผ่นตกตะกอนและถูกกำจัดออกจากแผ่นตกตะกอนโดยการเคาะแผ่นตกตะกอนด้วยค้อนเพื่อทำให้ฝุ่นหลุดตกลงไป



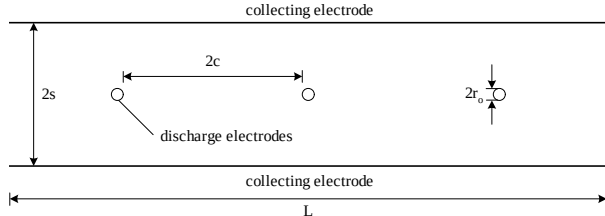
รูปที่ 1 หลักการของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต [5]

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดัน

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน (current - voltage relationship) สามารถอธิบายได้จากสมการของ Maxwell ที่ครอบคลุมสมการ Poisson's ของสนามไฟฟ้า E คือ [14]

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$



รูปที่ 2 การจัดวางอิเล็กโทรดของเครื่องตกตะกอนแบบสาย – แผ่น

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของประจุ (C/m^3) และ ϵ_0 คือค่าเปอร์มิตติวิตีของสุญญากาศหรือที่ว่าง (Free-space permittivity) มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m ซึ่งสมการนี้ใช้ได้สำหรับแก๊สภายใต้สภาวะปกติ ในการศึกษานี้จะสมมติให้การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากผลของประจุค้างของไอออน (ion space charge) ในเครื่องตกตะกอนแบบสาย – แผ่นมีค่าน้อยมากๆ ดังนั้นค่ากระแสโคโรนาเฉลี่ย (average corona current) I_c ที่เป็นฟังก์ชันของศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดของเครื่องตกตะกอนแบบสาย – แผ่นดังรูปที่ 2 คือ [5]

$$I_c = \frac{\pi \epsilon_0 Z_i h L}{c s^2 \ln(d/r_o)} V(V - V_c) \quad (2)$$

เมื่อ Z_i คือความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน (ion electrical mobility) สำหรับในการศึกษานี้จะใช้ไอออนลบ (negative ion) เนื่องจากมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนลบ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงตามไปด้วย [15 – 17] โดยมีค่าเท่ากับ 2.1×10^{-4} m²/V.s สำหรับไอออนลบในอากาศ d คือรัศมีทรงกระบอกสมมูล (equivalent cylindrical radius) ($d = 4s/\pi$ สำหรับ $s/c \leq 0.6$) r_o คือรัศมีของขั้วอิเล็กโทรด h คือความสูงของขั้วตกตะกอน L คือความยาวของขั้วตกตะกอน V คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด และ V_c คือแรงดันเริ่มเกิดโคโรนา (corona onset voltage) หาได้จาก [5]

$$V_c = r_o E_c \ln(d/r_o) \quad (3)$$

สนามไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนา (corona onset field) E_c สำหรับโคโรนาลบในอากาศหาได้จาก [5]

$$E_c = \delta \left(32.2 + \frac{0.864 \times 10^5}{\sqrt{r_o \delta}} \right) \quad (4)$$

$$\delta = \frac{298}{(298 + T)} P \quad (5)$$

เมื่อ δ คือความหนาแน่นของแก๊ส (gas density) T คืออุณหภูมิทำงานของแก๊ส (operating temperature) P คือความดันทำงาน (operating pressure)

3.2 การอัดประจุอนุภาค

อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศจะถูกอัดประจุ (particle charging) ด้วยสัมผัสและการเกาะติดของไอออนที่ถูกสร้างขึ้นโดยปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จที่อิเล็กโทรด ไอออนจะถูกเคลื่อนย้ายโดยสนามไฟฟ้าและการแพร่เชิงความร้อน (thermal diffusion) ในการศึกษาจำนวนของประจุที่อยู่บนอนุภาคจะได้มาจากการอัดประจุแบบสนาม (field charging) เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 100 นาโนเมตร – 100 ไมโครเมตร [15] โดยการประมาณค่าจำนวนประจุของอนุภาคด้วยวิธีการนี้สามารถคำนวณได้จาก [15 – 16]

$$n_p = \left(\frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \left(\frac{E d_p^2}{4K_E e} \right) \left(\frac{\pi K_E e Z_i N_i t}{1 + \pi K_E e Z_i N_i t} \right) \quad (6)$$

เมื่อ ϵ คือค่าคงที่ของการเป็นฉนวนของอนุภาค (dielectric constant of particle) E คือสนามไฟฟ้า K_E คือค่าคงที่จากสมการของคูลอมบ์ (มีค่าเท่ากับ 9.0×10^9 N.m²/C²) d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค e คือค่าประจุของอิเล็กตรอน (มีค่าเท่ากับ 1.61×10^{-19} C) N_i คือค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออน (ion number concentration) และ t คือเวลาในการอัดประจุ (charging time) สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย – แผ่น ค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออนกับเวลาในการอัดประจุสามารถหาได้จาก [16]

$$N_i t = \frac{I_c d}{Z_i e v_0 V h} \quad (7)$$

เมื่อ v_0 คือความเร็วของของไหล

3.3 การเคลื่อนที่ของอนุภาค

การเคลื่อนที่ของอนุภาค (particle motion) ในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต จำเป็นต้องรู้สมมูลของแรงทั้งหมดที่กระทำบนอนุภาค ซึ่งประกอบด้วยแรงโมเมนตัม (momentum force) $\vec{F}_T$ แรงทางไฟฟ้า (electrical force) $\vec{F}_E$ และแรงเสียดลาก (drag force) $\vec{F}_D$ [5]

$$\vec{F}_T = -m\vec{a} \quad (8)$$

$$\vec{F}_E = n_p e \vec{E} \quad (9)$$

$$\vec{F}_D = \frac{3\pi \mu d_p w}{C_c} \quad (10)$$

เมื่อ m คือมวลของอนุภาค $\vec{a}$ คืออัตราเร่ง μ คือความหนืดของของไหล w คือความเร็วไฟฟ้าสถิตบนปลาย (terminal electrostatic velocity) และ C_c คือตัวชดเชยของคันทิงแฮม (Cunningham correction factor) [17] โดยผลรวมของแรงที่กระทำบนอนุภาคทั้งหมดจะเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ 11

$$\vec{F}_T + \vec{F}_E + \vec{F}_D = \vec{0} \quad (11)$$

จากกฎของนิวตัน (Newton's law) ของอนุภาคจะได้สมการเชิงอนุพันธ์ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคคือ

$$m \frac{dw}{dt} = n_p e E - 3\pi\mu d_p w \quad (12)$$

เมื่อ t คือเวลา โดยพิจารณาให้มวลของอนุภาคมีค่าน้อยมากๆ และเวลามีค่ามากกว่า 10^{-2} วินาที จะได้ความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังขั้วตกตะกอนคือ [5]

$$w = \frac{n_p e E C_c}{3\pi\mu d_p} \quad (13)$$

3.4 ประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาค

ประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาค (collection efficiency) η ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย - แผ่น สามารถคำนวณได้จากสมการของ Deutsch คือ [5]

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{wL}{v_0 S}\right) \quad (14)$$

เมื่อ L คือความยาวของขั้วตกตะกอน

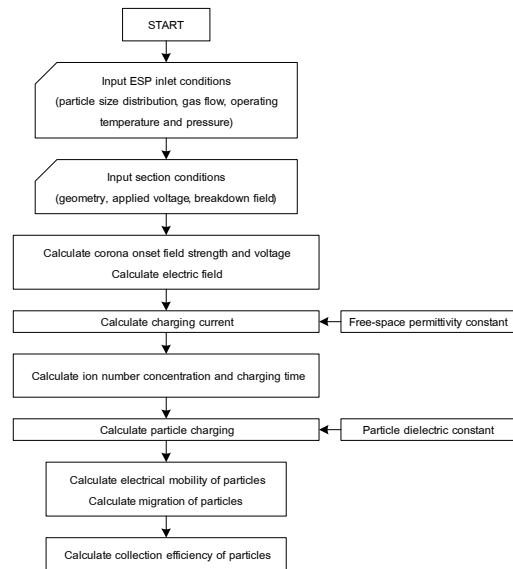
4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตกตะกอน

ในบทความวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อทำนายประสิทธิภาพรวมการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย - แผ่น ที่มีลักษณะการจัดวางอิเล็กโทรดดังรูปที่ 2 โดยสมมุติให้คุณสมบัติของแก๊สร้อนมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับอากาศคือความหนาแน่น (density) เท่ากับ 1.1614 kg/m^3 และ ความหนืด เท่ากับ $1.846 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ และสมมุติให้รูปร่างของความเร็วของของไหลสม่ำเสมอ (uniform velocity profile) ตลอดพื้นที่หน้าตัดของทางเข้าและให้อนุภาคมีประจุเป็นประจุลบ ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์จะมีลำดับขั้นตอนดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยอันดับแรกจะต้องกำหนดเงื่อนไขด้านขาเข้าของเครื่องตกตะกอนคือ ช่วงขนาดของอนุภาค การไหลของแก๊ส ความดันและอุณหภูมิขณะทำงาน จากนั้นจะกำหนดเงื่อนไขภายในเครื่องตกตะกอนคือ ขนาดเรขาคณิตของเครื่องตกตะกอน แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้ว

เล็กโทรตและสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ ต่อจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าแรงดันและสนามไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาด้วยสมการที่ 3 – 5 และทำการคำนวณค่ากระแสโคโรนาจากสมการที่ 2 พร้อมกับกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การอัดประจุของอนุภาคในเครื่องตกตะกอน และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุกับความเข้มข้นจำนวนของไอออน ต่อจากนั้นจะคำนวณหาค่าการอัดประจุของอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในเครื่องตกตะกอนจากสมการที่ 6 และ 7

ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปร	ช่วงการคำนวณ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดิสชาร์จ (2r _o)	3 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จ (2c)	150 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน (s)	50 มิลลิเมตร
ความยาวของเครื่องตกตะกอน (L)	650 มิลลิเมตร
ความสูงของขั้วตกตะกอน (h)	500 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค	10 นาโนเมตร – 100 ไมโครเมตร
จำนวนขั้วอิเล็กโทรต	3 ขั้ว
ประจุอนุภาค	ประจุลบ
แรงดันไฟฟ้า	1 – 100 กิโลโวลต์
อุณหภูมิแก๊ส	250 – 750 °C
ศักย์ไฟฟ้า	ขั้วลบ
ความดัน	1 บาร์
ลักษณะการไหลของแก๊ส	สม่ำเสมอตลอดทางเข้า
ความเร็วของแก๊ส	0.5 – 2.0 เมตร ต่อ วินาที

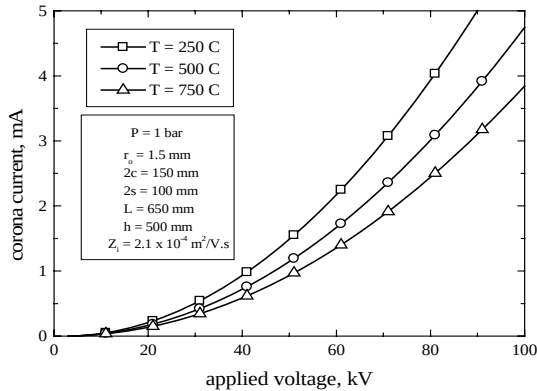


รูปที่ 3 แผนภูมิลำดับการคำนวณประสิทธิภาพการตกตะกอน

เมื่อได้ค่าประจุของอนุภาคแล้ว ก็จะทำการคำนวณหาความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาคและความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอนจากสมการที่ 12 ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการคำนวณหาประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอนจากสมการที่ 13

5. ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

รูปที่ 4 แสดงการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโคโรนา กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วดิสชาร์จของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย – แผ่น โดยมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1 – 100 กิโลโวลต์ และอุณหภูมิแก๊สอยู่ในช่วง 250 – 750 องศาเซลเซียส จากรูปพบว่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดีสชาร์จจะเริ่มตั้งแต่ประมาณ



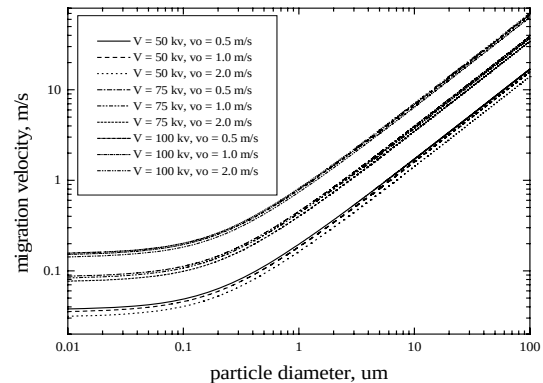
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย-แผ่น

10 กิโลโวลต์ และกระแสโคโรนามีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และจากรูปยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแก๊สสูงขึ้นจะทำให้ค่ากระแสดีสชาร์จมีค่าลดลงตาม เนื่องจากค่ากระแสดีสชาร์จเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่นของอากาศ

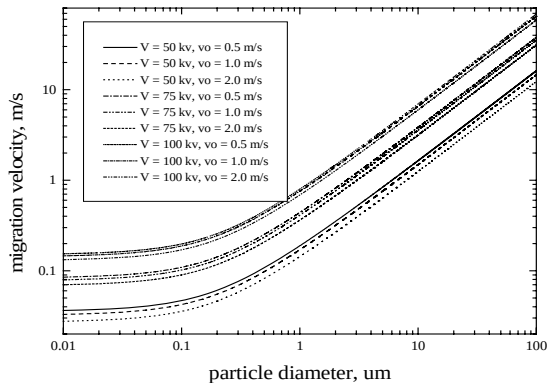
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอนกับขนาดของอนุภาคที่แรงดันไฟฟ้า ความเร็วของของไหล และอุณหภูมิต่างกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10 นาโนเมตร – 100 ไมโครเมตร แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 50 – 100 กิโลโวลต์ ความเร็วของของไหลอยู่ในช่วง 0.5 – 2.0 เมตร ต่อ วินาที และอุณหภูมิ 250 และ 750 องศาเซลเซียส จากผลที่ได้จากรูปที่ 5 จะเป็นการวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าและความเร็วของของไหลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยที่ความเร็วของของไหลสูงขึ้นจะผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคลดลง เนื่องจากความเร็วสูงจะทำให้เวลาในการอัดประจุอนุภาคสั้นลงทำให้มีผลต่อค่า N/t และทำให้จำนวนประจุบนอนุภาคลดลง [16] และการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเครื่องตกตะกอน สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะผลทำให้ความเร็วการเคลื่อนที่ลดลงเล็กน้อย

รูปที่ 6 แสดงผลการทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย – แผ่นเทียบกับขนาดของอนุภาค จากรูปจะพบว่าที่ความเร็วของของไหลต่ำและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วดิสชาร์จสูงมีผลทำให้มีระดับประจุบนอนุภาคสูง ดังนั้นทำให้ค่าความสามารถในการดึงดูดเชิงไฟฟ้าและประสิทธิภาพการตกตะกอนของ

อนุภาคสูงขึ้นตาม ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคในรูปที่ 5 และจากรูปที่ 6 จะพบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพการตกตะกอนเฉลี่ยที่ 99.99 เปอร์เซ็นต์ และที่ขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพการตกตะกอนเฉลี่ยที่ 91.68 เปอร์เซ็นต์ (ที่แรงดัน 75 กิโลโวลต์ ความเร็วของของไหล 1.0 เมตร ต่อ วินาที และอุณหภูมิแก๊ส 250 องศาเซลเซียส)



(ก) T = 250 °C



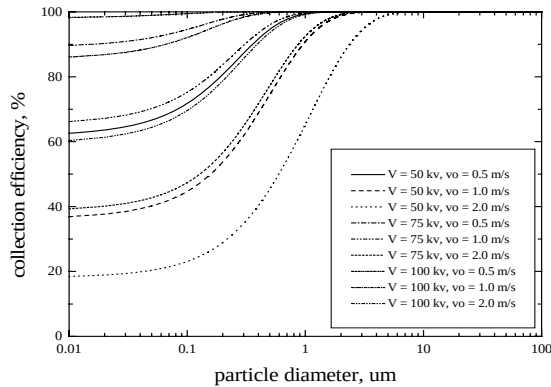
(ข) T = 750 °C

รูปที่ 5 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเทียบกับขนาดอนุภาค

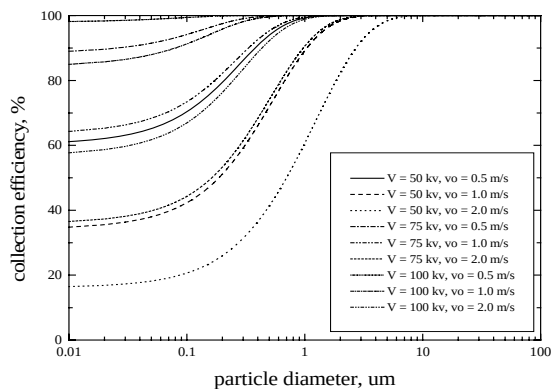
6. สรุปและงานในอนาคต

ในบทความวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย – แผ่น สำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นจากเตาเผาชีวมวลด้วยจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01 – 100 ไมโครเมตร แรงดันไฟฟ้าในช่วง 1 – 100 กิโลโวลต์ ความเร็วของแก๊สในช่วง 0.5 – 2.0 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของแก๊สในช่วง 250 - 750 องศาเซลเซียส โดยใช้สมการของ Deutsch จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบ

ว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพการตกตะกอนเฉลี่ยสูงถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร จะมีประสิทธิภาพการตกตะกอนเฉลี่ยที่ 91.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย – แผ่น มีศักยภาพสูงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดอนุภาคที่ปล่อยออกจากเตาเผาชีวมวล สำหรับในการศึกษาต่อไป จะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับการกำจัดอนุภาคจากเตาเผาชีวะ-



(ก) T = 250°C



(ข) T = 750°C

รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการตกตะกอนเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาค

มวล และทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพการตกตะกอนทางการทดลองเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พานิช อินต๊ะ, 2548. เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับการควบคุมมลภาวะทางอากาศจากอุตสาหกรรม. วารสาร Technic Magazine, ปีที่ 22, ฉบับที่ 252, หน้า 109 – 122.
- [2] Mizuno, A., 2000. Electrostatic Precipitation. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.7, No.5, pp. 615-624.
- [3] Haslerm P. and Nussbaumer, T.H., 1999. Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification. Biomass & Bioenergy, Vol. 16, pp. 385 – 395.
- [4] พานิช อินต๊ะ และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี, 2550. ศักยภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยจากเตาเผาชีวมวลด้วยเทคนิคการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต. การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมลพิษในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6, เชียงใหม่, 15 – 16 มีนาคม.
- [5] Parker, K.R., 1997. Applied Electrostatic Precipitation. Blackie Academic & Professional, New York.
- [6] Kim, S.H. and Lee, K.W., 1999. Experimental study of electrostatic precipitator performance and comparison with existing theoretical prediction models. Journal of Electrostatics, Vol. 48, pp. 25.
- [7] Zhuang, Y., Kim, Y.J., Lee, T.G. and Biswas, P., 2000. Experimental and theoretical studies of ultra fine particle behavior in electrostatic precipitators. Journal of Electrostatics, Vol. 49, pp. 245.
- [8] Bapat, J.D., 2001. Application of ESP for gas cleaning in cement industry with reference to India. Journal of Hazardous Materials, B81, pp. 285.
- [9] Kim, S.H., Park, H.S. and Lee, K.W., 2001. Theoretical model of electrostatic precipitator performance for collecting polydisperse particles. Journal of Electrostatics, Vol. 50, pp. 177.
- [10] Park, J.H. and Chun, C.H., 2002. An improved modeling for prediction of grade efficiency of electrostatic precipitator with negative corona, Journal of Aerosol Science, Vol. 33, pp. 673.
- [11] Choi, B.S. and Fletcher, C.A.J., 1997. Computation of Particle Transport in an Electrostatic Precipitator. Journal of Electrostatics, Vol. 40 – 41, pp. 413 – 418.
- [12] ณัฐวุฒิ ดุษฎี, พาวิน มะโนชัย, ญาณกร สุทัศนมาลี และ วีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล, 2549. ระบบการใช้พลังงานชีวมวลแบบรวมศูนย์สำหรับอบแห้งลำไยด้วยเครื่องกระบะ. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์, สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- [13] Hinds, W.C., 1999. Aerosol Technology. John Wiley and Sons, New York, USA.

- [14] Chang, J., Kelly, A.J., and Crowley, J.M., 1995. Handbook of Electrostatic Processes. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- [15] White, H.J., 1963. Industrial Electrostatic Precipitation. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- [16] Intra, P. and Tippayawong, N., 2005. Approach to characterization of a diode type corona charger for aerosol size measurement. KIEE International Transactions on Electrophysics and Applications, Vol. 5-C, No. 5, pp. 196-203.
- [17] Cunningham, E., 1910. On the velocity of steady fall of spherical particles through fluid medium. Proceeding of the Royal Society, A-83, pp. 357 – 365.