บทที่ 4

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ
(Mathematical model of open-air dust removing system using water spraying)

บทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำเพื่อกำจัดอนุภาคฝุ่น โดยเฉพาะอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหินเป็นหลัก สาเหตุที่ระบบต้องกระทำในที่เปิดโล่งเนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้สำหรับกระบวนการโม่ บด และย่อยหินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่น ได้แก่ เครื่องบดย่อยขนาดใหญ่ (ในวงการอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน เรียกว่า ปากโม่) เครื่องบดย่อยหินขนาดเล็ก(ปากซอย) ตะแกรงคัดขนาดหิน เป็นต้น โดยทั่วไปจะถูกจัดวางอยู่ในบริเวณที่ไม่มีอุปกรณ์ปกปิดหรือป้องกันลมจากสิ่งแวดล้อม ส่วนหัวฉีดที่ติดตั้งเหนืออุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดฝุ่นเหล่านี้ก็เป็นหัวฉีดที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดเหล่านี้จะมีการกระจายขนาด และสำหรับอนุภาคฝุ่นเองก็มีการกระจายขนาดเช่นเดียวกัน ดังนั้นแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากต้องสามารถประเมินหาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นให้ได้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลจริงแล้ว อีกประการหนึ่งที่คำนึงถึง คือ ผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น รวมถึงอิทธิพลของความเร็ว และทิศทางของลมจากสิ่งแวดล้อมที่เข้ามาในระบบ

เนื้อหาภายในบทนี้จึงประกอบไปด้วยรายละเอียดของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ รวมทั้งสมมติฐานและสมการที่ใช้อ้างอิงของแบบจำลอง และเนื่องจากในงานนี้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคู่ไปด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรมซึ่งจะได้กล่าวถึงในช่วงตอนท้ายของบทที่ 4 นี้ ส่วนรายละเอียดของการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ จะกล่าวต่อไปในบทที่ 5

4.1 สมมติฐานของแบบจำลอง (Model Assumptions)

เนื่องจากปรากฏการณ์การจับอนุภาคฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำมีความซับซ้อนมาก ทำให้การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยการตั้งสมมติฐานเพื่อให้สมการแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาหาคำตอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขได้ ดังนั้นสมมติฐานที่ใช้ในที่นี้คือ

- การคำนวณออกแบบจะถือว่าระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)
- การกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ และอนุภาคฝุ่นสม่ำเสมอในลำสเปรย์
- กำลังการผลิตหินของกระบวนการมีค่าเฉลี่ยคงที่ตลอดทั้งวัน
- รูปแบบกลไกการเก็บฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำที่สำคัญ คือ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction)
- หยดละอองน้ำมีความเร็วแรกเริ่มเมื่อถูกพ่นออกจากหัวฉีด (U_i) เท่ากัน
- หยดละอองน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีการเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกัน
- หยดละอองน้ำมีการระเหยน้อยมาก
- ลมจากสิ่งแวดล้อมที่พัดเข้ามาในระบบมีค่าความเร็วคงที่ และเข้ามาที่ด้านใดด้านหนึ่งของระบบเพียงด้านเดียว
- อนุภาคฝุ่นฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของลมที่พัดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด
- อนุภาคฝุ่นจากภายนอกระบบเข้ามาในระบบด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมที่พัดเข้ามาจากด้านข้าง

4.2 สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดละอองน้ำเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นสมการที่ประยุกต์มาจากแบบจำลองระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำของวิวัฒน์ และคณะ (1997) และเป็นสมการที่อาศัยหลักการดุลประชากร (Population Balance Model) ของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำเป็นสำคัญ

ลักษณะของแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณามีลักษณะเป็นปริมาตรสี่เหลี่ยม กล่าวคือ แหล่งกำเนิดฝุ่นจะมีความกว้าง ความยาว และความสูง (W x L x H) โดยระบบ (system) หรือปริมาตร

ควบคุม (control volume;V) ที่พิจารณาจะมีขนาดโตกว่าแหล่งกำเนิดฝุ่น คือ มีความกว้างและยาวมากกว่าความกว้างและยาวของแหล่งกำเนิดฝุ่นโดยวัดจากห่างจากขอบของแหล่งกำเนิดฝุ่นออกไปด้านละ 1 เมตร และมีความสูงมากกว่าความสูงของแหล่งกำเนิดฝุ่นโดยวัดจากขอบด้านบนสุดของแหล่งกำเนิดฝุ่นขึ้นไปอีก 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เหตุผลที่พิจารณาให้ระบบหรือปริมาตรควบคุมมีขนาดดังกล่าว เนื่องมาจากตามมติของคณะอนุกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องอากาศในการประชุมครั้งที่ 3/2538 มาตราฐานมลพิษทางอากาศเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่นต้องมีความเข้มข้นฝุ่นในรูปของความทึบแสงไม่เกิน 20% เมื่อทำการวัดที่จุดตรวจวัดซึ่งมีระยะห่าง 1 เมตรโดยรอบจากขอบแหล่งกำเนิดฝุ่น

ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นฝุ่นที่ขอบเขตของปริมาตรควบคุมทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นจึงสามารถใช้เป็นดัชนีในการบอกประสิทธิภาพการจับฝุ่นของแบบจำลองที่ออกแบบได้

4.2.1 สมการสมดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

สมการสมดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำเป็นสมการที่มีความสำคัญ เนื่องจากทำให้ทราบความเข้มข้นของฝุ่นในปริมาตรควบคุม หรือความเข้มข้นของฝุ่นที่เข้ามาในปริมาตรควบคุม หรือความเข้มข้นของฝุ่นที่เกิดขึ้นในปริมาตรควบคุม (ดูหัวข้อ 4.3.1 ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่นประกอบ)

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาสมการดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำจะได้สมการดุลมวลสารดังนี้

อัตราการสะสมของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุม	=	อัตราการเกิดอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม + อัตราการไหลของอนุภาคฝุ่นเข้าปริมาตรควบคุม – อัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นจากปริมาตรควบคุม – อัตราการจับอนุภาคฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในปริมาตรควบคุม

แต่เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีอนุภาคฝุ่นหลายขนาดที่ฟุ้งอยู่ในปริมาตรควบคุม และหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดมีหลายขนาด (size) เช่นเดียวกัน ดังนั้นการพิจารณาสมการดุลมวลสารจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- พิจารณาการสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นขนาด j (D_{pj})ในปริมาตรควบคุม
- พิจารณาการสมดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม

4.2.1.1 สมการสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด j (D_{pj}) ในปริมาตรควบคุม

เนื่องจากอนุภาคฝุ่นที่มีอยู่ในปริมาตรควบคุมมีจำนวนมากเกินกว่าจะสามารถระบุได้ว่าอนุภาคฝุ่นแต่ละอนุภาคมีขนาดเท่าใด ด้วยเหตุนี้การเก็บข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่นจึงเก็บในลักษณะเป็นช่วงขนาดหรืออันตรภาคชั้นเพื่อความสะดวก ดังนั้นการพิจารณาสมดุลมวลสารแต่ละขนาดในปริมาตรควบคุมจึงสามารถกล่าวอีกนัย คือ การพิจารณาสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นในแต่ละอันตรภาคชั้น เช่น เมื่อพิจารณาสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด j (D_{pj}) โดยที่อนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} คือ ค่ากึ่งกลางของอนุภาคฝุ่นในอัตรภาคชั้นที่ j และเป็นตัวแทนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆในอันตรภาคชั้นนั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นขนาด j ในปริมาตรควบคุมจะได้

$$V\frac{dC_{0j}}{dt} = Q_j + C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - \left[C_{0j}U_{amb}A_{sc} + C_{0j}U_{ptj}A_{bc} + C_{0j}U_l'A_{tc}\right] - 0 \qquad \text{[kg/s]} \qquad (4.1)$$

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC_{0j}}{dt} = 0$

สมการ (4.1) จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$0 = Q_j + C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - C_{0j}[U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U_l'A_{tc}]$$

$$C_{0j} = \left(Q_j + C_{ambj}U_{amb}A_{sc}\right)/\left(U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U_l'A_{tc}\right) \qquad \text{[kg/m}^3\text{]} \qquad (4.2)$$

เมื่อ $$Q_j = C_{sj}U_lA_{ts} \qquad (4.3)$$

$$U_l' = U_lA_{ts}/A_{tc} \qquad (4.4)$$

$$A_{tc} = (W+2)(L+2) \tag{4.5}$$

$$A_{sc} = (H+1)(L+2) \tag{4.6}$$

$$A_{ts} = W \times L \tag{4.7}$$

$$A_{bc} = A_{tc} - A_{ts} \tag{4.8}$$

โดยที่ค่า U_{ptj} คือ ความเร็วบั้นปลายของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.18) (3.19) หรือ (3.20) ซึ่งเป็นสมการที่คำนวณหาความเร็วบั้นปลายของหยดละอองน้ำ (U_{wt}) แต่ในการคำนวณต้องเปลี่ยนคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของหยดละอองน้ำเป็นของอนุภาคฝุ่นแทน

4.2.1.2 สมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม

เมื่อพิจารณาสมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม จะได้

$$V\sum_{j=1}^{m}\frac{dC_{0j}}{dt} = Q + \sum_{j=1}^{m} C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - \left[\sum_{j=1}^{m} C_{0j}U_{amb}A_{sc} + \sum_{j=1}^{m} C_{0j}U_{ptj}A_{bc} + \sum_{j=1}^{m} C_{0j}U_{l}'A_{tc}\right] - 0 \quad \text{[kg/s]} \tag{4.9}$$

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC_{0j}}{dt} = 0$

สมการ (4.9) จึงสามารถปรับรูปใหม่ได้ดังนี้

$$0 = Q + \sum_{j=1}^{m} C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - \sum_{j=1}^{m} C_{0j}\left[U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U_{l}'A_{tc}\right]$$

$$\sum_{j=1}^{m} C_{0j}\left[U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U_{l}'A_{tc}\right] = Q + \sum_{j=1}^{m} C_{ambj}U_{amb}A_{sc} \tag{4.10}$$

เมื่อ $$Q = \sum_{j=1}^{m} Q_j = \sum_{j=1}^{m} C_{sj}U_{l}A_{ts} \tag{4.11}$$

และ m คือ จำนวนขนาด (size) ทั้งหมดของอนุภาคฝุ่น

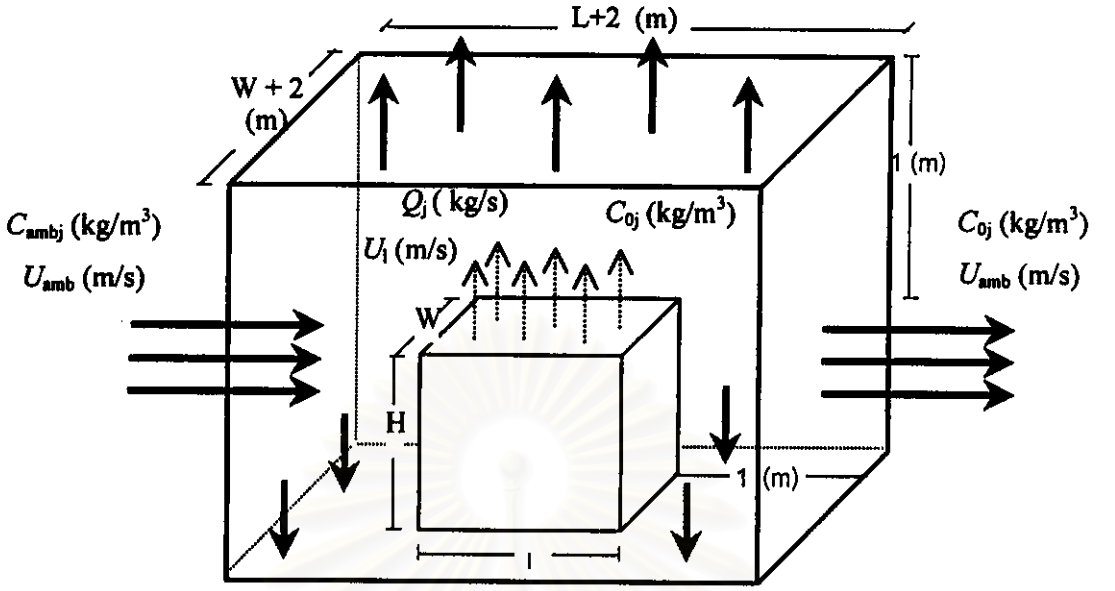
4.2.2 สมการสมดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

การพิจารณาสมการดุลมวลสารในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีการติดตั้งหัวฉีด 1 หัวเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่นดังแสดงในรูปที่ 4.2

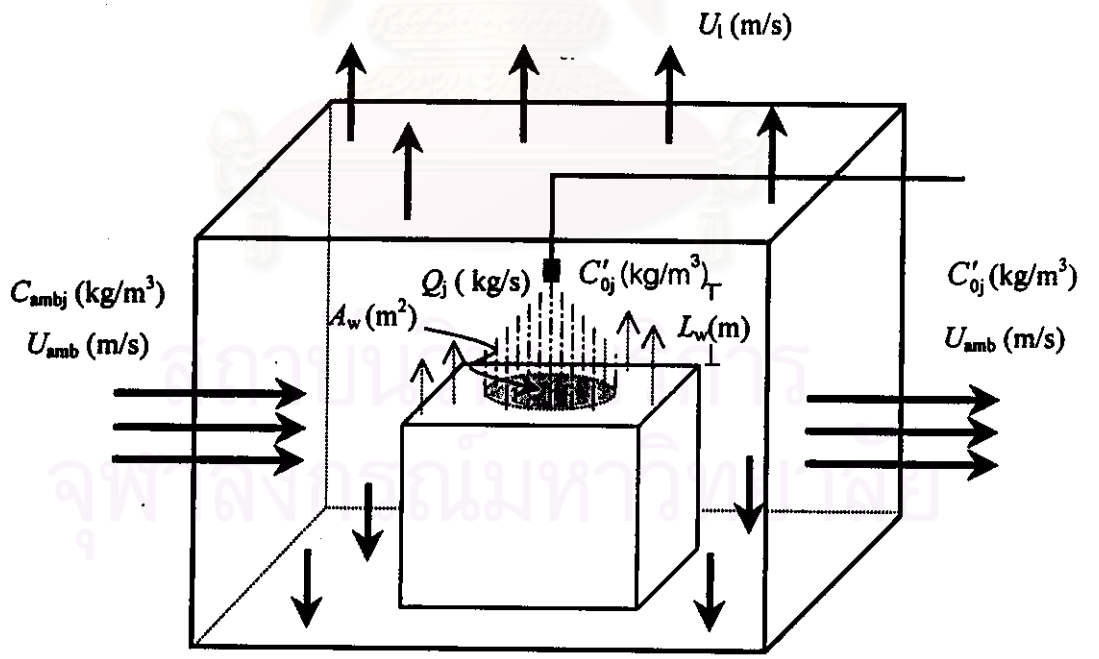
จากที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่า ระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำเพื่อกำจัดอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหินเป็นระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่ง เพราะฉะนั้นจึงมีปัจจัยของลมจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยสมมติให้ลมเคลื่อนที่ในแนวแกน x ดังนั้นการหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในลำสเปรย์จึงแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ทิศทาง คือ

- **แนวดิ่ง** ซึ่งเป็นการพิจารณาว่าอนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่สวนทาง (counter flow) กับหยดละอองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.3
- **แนวราบ** ซึ่งเป็นการพิจารณาว่าอนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่ตัดตั้งฉาก (cross flow) กับทิศทางการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

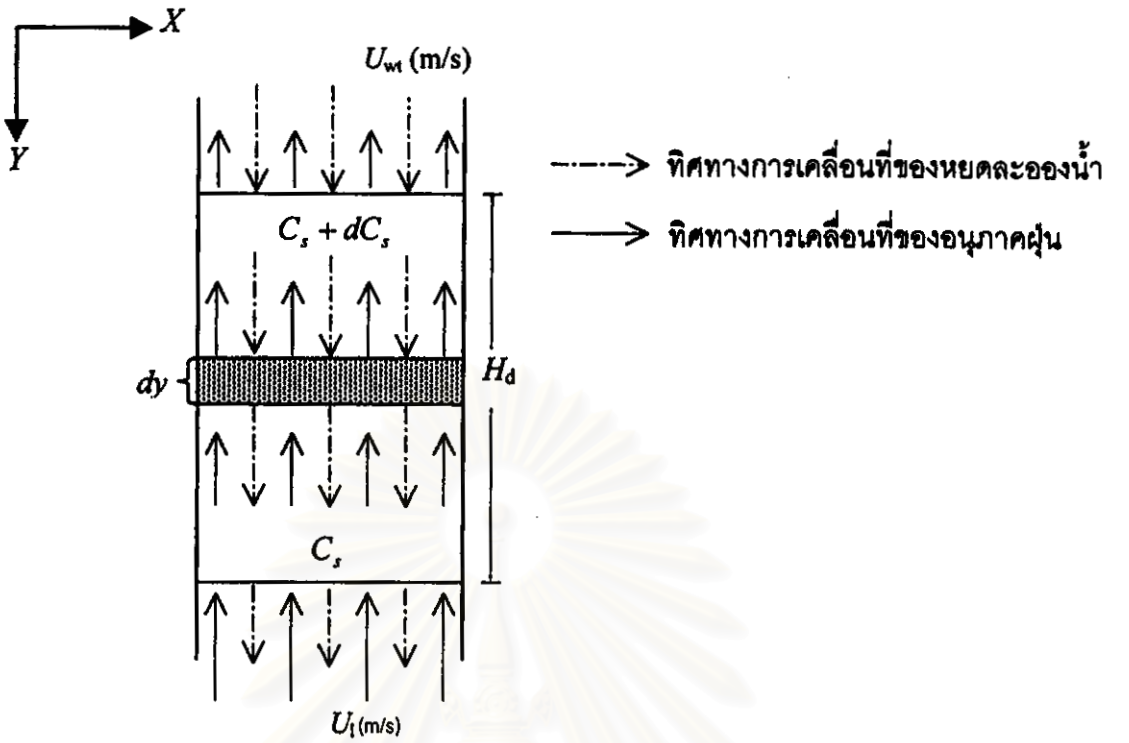
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



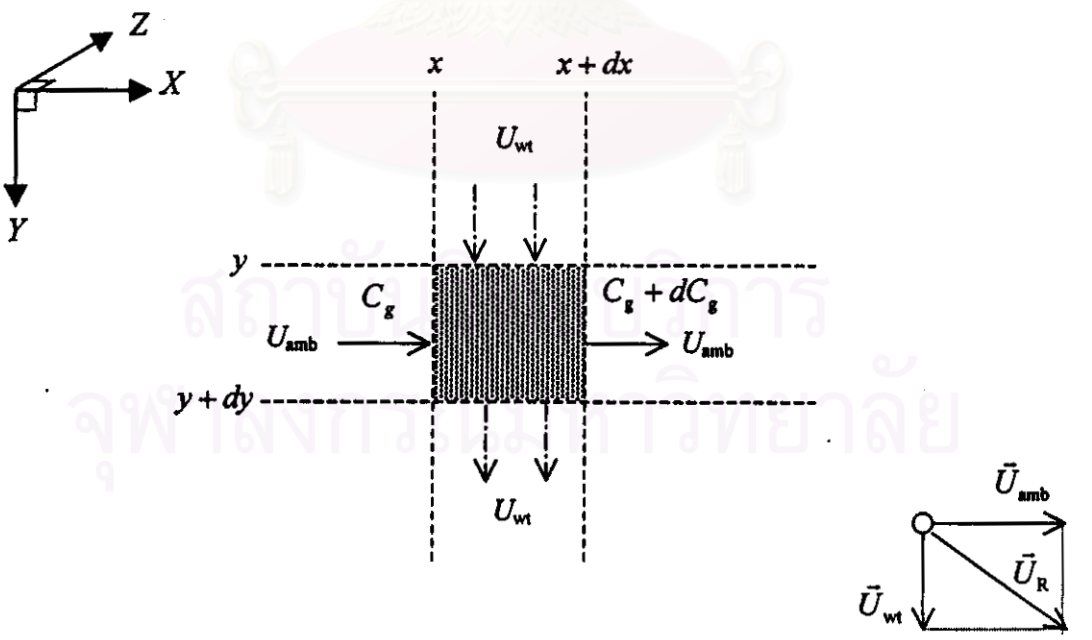
<u>รูปที่ 4.1</u> โมเดลของแหล่งกำเนิดฝุ่นก่อนการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ



<u>รูปที่ 4.2</u> โมเดลแหล่งกำเนิดฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งระบบบำบัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ



รูปที่ 4.3 แสดงภาพด้านข้าง (side view) การเคลื่อนที่แบบ counter flow ระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำ



รูปที่ 4.4 แสดงภาพด้านข้าง (side view) การเคลื่อนที่แบบ cross flow ระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำ

4.2.2.1 สมการคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในลำสเปรย์ในแนวดิ่ง

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดด้วยความเร็ว U_l ในทิศทางแนวดิ่งสวนทางกับหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดด้วยความดันในลำสเปรย์ โดยไม่มีความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม (U_{amb}) เข้ามาเกี่ยวข้อง

การพิจารณาจะถือว่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในแนวแกน x มีค่าคงที่ แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในแนวแกน y โดยเริ่มจากตำแหน่ง y = 0 ถึง y = Y โดยที่หยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} คือ ค่ากึ่งกลางของหยดละอองน้ำในอัตรภาคชั้นที่ i และเป็นตัวแทนหยดละอองน้ำขนาดต่างๆ ในอันตรภาคชั้นนั้น

เมื่อพิจารณาที่ระยะ dy ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์มีขนาดเท่ากับ A_w ดังนั้นบริเวณที่พิจารณาจะมีปริมาตร dy x A_w

- ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} ผ่านระยะทาง dy (Resident time ; t_i)

$$t_i = \frac{dy}{U_{yi}} \qquad [sec]$$

โดยที่ U_{yi} คือ ความเร็วในแนวแกน y ของหยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} ขณะเคลื่อนที่ผ่านระยะทาง dy

เพราะฉะนั้นหยดละอองน้ำแต่ละขนาดในปริมาตร dy x A_w จะมีค่า t_i ไม่เท่ากัน

- ความเร็วสัมพัทธ์ของหยดละอองน้ำ (U_{Rsi}) จะมีค่าเท่ากับ

$$U_{Rsi} = U_{yi} + U_l \cong U_{wti} \qquad (4.12)$$

- เนื่องจากการไหลของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง และจากสมมติฐานที่ว่าการกระจายตัวของหยดละอองน้ำสม่ำเสมอในลำสเปรย์

ดังนั้นปริมาตรของหยดละอองน้ำในปริมาตร dy x A_w (w_0)

$$w_0 = \sum_{i=1}^{n}\left(dy/U_{yi}\right)w_i \qquad [m^3]$$

เมื่อ $$w = \sum_{i=1}^{n} w_i \quad [m^3/s] \qquad (4.13)$$

โดยที่ w คือ อัตราการไหลของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด

w_i คือ อัตราการไหลของหยดละอองน้ำหยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} ที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด

n คือ จำนวนขนาด (size) ทั้งหมดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดด้วยความดัน

เพราะฉะนั้นพื้นที่ทั้งหมดของหยดละอองน้ำในปริมาตร $dy \times A_w$ (A_0)

$$A_0 = \sum_{i=1}^{n} \left(dy / U_{yi} \right) w_i \frac{\frac{\pi}{4} D_{wi}^2}{\frac{\pi}{6} D_{wi}^3}$$

$$= \frac{3}{2} \sum_{i=1}^{n} \left(dy / U_{yi} \right) \frac{w_i}{D_{wi}} \quad [m^2]$$

จากสมการ (2.1-4) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของหยดละอองที่มีขนาด D_{wi} จำนวน 1 หยดในการจับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} (η_{ij})

ดังนั้นพื้นที่ที่หยดละอองน้ำมีโอกาสกำจัดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ในปริมาตร $dy \times A_w$ (A_0') ได้คือ

$$A_0' = \frac{3}{2} \sum_{i=1}^{n} \left(dy / U_{yi} \right) \eta_{tij} \frac{w_i}{D_{wi}} \quad [m^2]$$

เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่น และสามารถถูกกำจัดโดยหยดละอองน้ำขนาดต่างๆ ในลำสเปรย์ (f_{sj}) จะได้

$$f_{sj} = \frac{3}{2} \sum_{i=1}^{n} \left(dy / U_{yi} \right) \eta_{tij} \frac{w_i}{D_{wi}} U_{wti} \quad [m^3/s]$$

- เมื่อพิจารณาสมดุลมวลของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่เข้าและออกจากปริมาตร $dy \times A_w$ จะได้

อัตราการสะสมของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} ที่แขวนลอยในปริมาตร $dy \times A_w$ = อัตราการไหลของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} เข้าปริมาตร $dy \times A_w$ – อัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} จากปริมาตร $dy \times A_w$ – อัตราการจับอนุภาคฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในปริมาตร $dy \times A_w$

$$(dy \times A_w)\frac{dC_{sj}}{dt} = C_{sj}U_l A_w - (C_{sj} + dC_{sj})U_l A_w - C_{sj}\left(\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\left(dy/U_{yi}\right)\eta_{tij}\frac{w_i}{D_{wi}}U_{wti}\right) \quad \text{[kg/s]} \tag{4.14}$$

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC_{sj}}{dt} = 0$

จากสมการ (4.13) และ (4.14) จะได้

$$A_w U_l dC_{sj} = -C_{sj}\left(\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}U_{wti}w_i}{D_{wi}(U_{wti}-U_l)}dy\right)$$

กำหนดให้ $Q_s = A_w U_l$ จะได้

$$\frac{1}{C_{sj}}dC_{sj} = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_l)}dy$$

เมื่อทำการอินทิเกรตโดยพิจารณาในช่วงตั้งแต่ y = 0 ถึง y = Y จะได้

$$\ln C'_{sj} - \ln C_{sj} = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}Y}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_l)}$$

$$\ln\left[\frac{C'_{sj}}{C_{sj}}\right] = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}Y}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_l)}$$

เมื่อทำการปรับรูปสมการให้อยู่ในรูป C'_{sj} จะได้

$$C'_{sj} = C_{sj}\exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}Y}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_l)}\right] \tag{4.15}$$

เนื่องจาก Y คือ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ของหยดละอองน้ำตั้งแต่เริ่มออกจากหัวฉีดจนถึงแหล่งกำเนิดฝุ่น หรือก็คือความสูงของลำสเปรย์ ดังนั้นแทน Y ด้วย L_w จะได้

$$C'_{sj} = C_{sj} \exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{wti} L_w}{D_{wi} Q_s (U_{wti} - U_l)}\right] \quad (4.16)$$

กำหนดให้

$$K_{sj} = \frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{wti} L_w}{D_{wi} Q_s (U_{wti} - U_l)} \quad (4.17)$$

เพราะฉะนั้นจะได้สมการที่ใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่หนีออกจากลำสเปรย์ (C'_{sj}) เมื่อพิจารณากรณีที่ไม่มีลมจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง(แนวดิ่ง) ดังนี้คือ

$$C'_{sj} = C_{sj} \exp[-K_{sj}] \quad [kg/m^3] \quad (4.18)$$

และอัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นออกจากลำสเปรย์ของหยดละอองน้ำเนื่องจากความเร็วของฝุ่นที่ลอยขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (q'_s) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q'_s = C'_{sj} U_l A_w \quad [kg/s] \quad (4.19)$$

เมื่อสมการที่ใช้คำนวณหาค่า A_w คือ

$$A_w = \pi R_w^2 \quad (4.20)$$

โดยที่ A_w คือ พื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์ [m^2]

R_w คือ รัศมีของลำสเปรย์ [m]

และจากสมการ (4.15) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่ระยะ Y ใดๆ ดังนั้นถ้าต้องการหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นขนาดเฉลี่ยในอันตรภาคชั้นที่ j โดยเฉลี่ยตลอดระยะความสูงของลำสเปรย์(L_w) จะสามารถทำได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\overline{C'_{sj}} = \frac{1}{L_w}\int_0^{L_w} C'_{sj}\,dy \qquad (4.21)$$

แทนค่า C'_{sj} ด้วยสมการ (4.15) จะได้

$$\overline{C'_{sj}} = \frac{1}{L_w}\int_0^{L_w} C_{sj}\exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}Y}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_1)}\right]dy \qquad (4.22)$$

กำหนดให้ $y^* = Y/L_w$ และแทนค่าลงในสมการ (4.22) จะได้

$$\overline{C'_{sj}} = \int_0^1 C_{sj}\exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij}w_i U_{wti}L_w y^*}{D_{wi}Q_s(U_{wti}-U_1)}\right]dy^* \qquad (4.23)$$

จากสมการ (4.22) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\overline{C'_{sj}} = C_{sj}\int_0^1 \exp(-K_{sj}y^*)\,dy^*$$

$$= -\frac{C_{sj}}{K_{sj}}\left[\exp(-K_{sj}y^*)\right]_0^1$$

$$= -\frac{C_{sj}}{K_{sj}}\left[\exp(-K_{sj})-1\right]$$

$$= \frac{C_{sj}}{K_{sj}}\left[1-\exp(-K_{sj})\right]$$

เพราะฉะนั้นค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่หนีออกจากลำสเปรย์โดยเฉลี่ยตลอดระยะความสูงของลำสเปรย์($\overline{C'_{sj}}$) จะสามารถคำนวณโดยใช้สมการ

$$\overline{C'_{sj}} = \frac{C_{sj}}{K_{sj}}\left[1-\exp(-K_{sj})\right] \quad [kg/m^3] \qquad (4.24)$$

4.2.2.2 สมการคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในลำสเปรย์ในแนวราบ

จากรูปที่ 4.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของลมจากสิ่งแวดล้อมผ่านปริมาตรควบคุมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของหยดละอองน้ำ(แนวแกน x) และพัดพาเอาอนุภาคฝุ่นจากภายนอกเข้ามาในปริมาตรควบคุม โดยไม่มีความเร็วลมจากแหล่งกำเนิด (U_i) เข้ามาเกี่ยวข้อง

การพิจารณาจะถือว่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในระยะทางแกน y คงที่แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในแนวแกน x โดยเริ่มจาก x = 0 ถึง x = X

จากรูปที่ 4.4 กำหนดให้ระยะทางในแนวแกน z ของส่วนที่แรเงายาวเท่ากับ δ ดังนั้นบริเวณที่พิจารณาจะมีปริมาตร $dy \times dx \times \delta$

- เนื่องจากอนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่ตามลมจากสิ่งแวดล้อม แต่หยดละอองน้ำมีขนาดใหญ่มากไม่สามารถเคลื่อนที่ตามลมได้ ดังนั้นระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหยดละอองน้ำหยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} ผ่านปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ หรือ Resident time ; t_i คือ

$$t_i = \frac{dy}{U_{wti}} \qquad [sec]$$

โดยที่ U_{wti} คือ ความเร็วปั่นปลายของหยดละอองน้ำหยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} ขณะเคลื่อนที่ผ่านระยะทาง dy

เพราะฉะนั้นหยดละอองน้ำแต่ละขนาดจะมีค่า t_i ไม่เท่ากันในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$

- ความเร็วสัมพัทธ์ของหยดละอองน้ำ (U_{Rgi}) จะมีค่าเท่ากับ

$$U_{Rgi} = \sqrt{U_{wt}^2 + U_{amb}^2} \qquad [m/s] \qquad (4.25)$$

- เนื่องจากการไหลของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง และจากสมมติฐานที่ว่าการกระจายตัวของหยดละอองน้ำสม่ำเสมอในลำสเปรย์

ดังนั้นปริมาตรของหยดละอองน้ำในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ (w_0)

$$w_0 = \sum_{i=1}^{n} \left(dy / U_{wti} \right) w_i \frac{dx\delta}{\delta X} \qquad [m^3]$$

เพราะฉะนั้นพื้นที่ทั้งหมดของหยดละอองน้ำในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ (A_0)

$$A_0 = \sum_{i=1}^{n}\left(dy/U_{wti}\right)w_i \frac{dx}{X}\frac{\frac{\pi}{4}D_{wi}^2}{\frac{\pi}{6}D_{wi}^3}$$

$$= \frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{w_i dxdy}{U_{wti}XD_{wi}} \quad [m^2]$$

จากสมการ (2.1-4) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของหยดละอองที่มีขนาด D_{wi} จำนวน 1 หยดในการจับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} (η_{tij})

ดังนั้นพื้นที่ที่หยดละอองน้ำที่มีขนาด D_{wi} มีโอกาสกำจัดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ (A_0') ได้คือ

$$A_0' = \frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{ji} w_i dxdy}{U_{wti}XD_{wi}} \quad [m^2]$$

เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดฝุ่น และสามารถถูกกำจัดโดยหยดละอองน้ำขนาดต่างๆ ในสเปรย์ (f_{gj}) จะได้

$$f_{gj} = \frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i dxdy}{U_{wti}XD_{wi}}U_{Rgi} \quad [m^3/s]$$

- เมื่อพิจารณาสมดุลมวลของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่เข้าและออกจากปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ จะได้

อัตราการสะสมของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} ในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ = อัตราการไหลของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} เข้าปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ – อัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj} จากปริมาตร $dy \times dx \times \delta$ – อัตราการจับอนุภาคฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในปริมาตร $dy \times dx \times \delta$

$$(dy \times dx \times \delta)\frac{dC_{gj}}{dt} = C_{gj}dy\delta U_{amb} - (C_{gj} + dC_{gj})dy\delta U_{amb} - C_{gj}\left(\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i dxdy}{U_{wti}XD_{wi}}U_{Rgi}\right)$$

[kg/s] (4.26)

กำหนดให้ C_{gj} คือ ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ก่อนเข้าลำสเปรย์ในแนวนอน

[kg/m^3]

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC_{gj}}{dt} = 0$

จากสมการ (4.26) จะได้

$$dy\delta U_{amb} dC_{gj} = C_{gj}\left(\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i dxdy}{U_{wti} XD_{wi}} U_{Rgi}\right)$$

กำหนดให้ $Q_g = Y\delta U_{amb}$ จะได้

$$\frac{1}{C_{gj}} dC_{gj} = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} Y}{D_{wi} Q_g XU_{wti}} dx$$

อินทิเกรตตั้งแต่ x = 0 ถึง x = X จะได้

$$\ln C'_{gj} - \ln C_{gj} = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} Y}{D_{wi} Q_g XU_{wti}} X$$

$$\ln\left[\frac{C'_{gj}}{C_{gj}}\right] = -\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} Y}{D_{wi} Q_g U_{wti}}$$

เมื่อทำการปรับรูปสามการให้อยู่ในรูป C'_{gj} จะได้

$$C'_{gj} = C_{gj} \exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} Y}{D_{wi} Q_g U_{wti}}\right] \qquad (4.27)$$

เนื่องจาก Y คือ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ของหยดละอองน้ำตั้งแต่เริ่มออกจากหัวฉีดจนถึงแหล่งกำเนิดฝุ่น หรือก็คือความสูงของลำสเปรย์ ดังนั้นแทน Y ด้วย L_w จะได้

$$C'_{gj} = C_{gj} \exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} L_w}{D_{wi} Q_g U_{wti}}\right] \qquad (4.28)$$

กำหนดให้

$$K_{gj} = \frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} L_w}{D_{wi} Q_g U_{wti}} \quad (4.29)$$

เพราะฉะนั้นจะได้สมการที่ใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่หนีออกจากสเปรย์ (C'_{gj}) ในแนวนอน ดังนี้ คือ

$$C'_{gj} = C_{gj}\exp[-K_{gj}] \quad [kg/m^3] \quad (4.30)$$

และอัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นออกจากลำสเปรย์ของหยดละอองน้ำเนื่องจากความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม(q'_g) สามารถคำนวณได้จาก

$$q'_g = C'_{gj} U_{amb} A_{sp} \quad [kg/s] \quad (4.31)$$

เมื่อสมการที่ใช้คำนวณหาค่า A_{sp} คือ

$$A_{sp} = 1.5 L_w R_w \quad (4.32)$$

โดยที่ A_{sp} คือ พื้นที่ผิวด้านข้างของลำสเปรย์ด้านรับลม [m^2]

และจากสมการ (4.27) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่ระยะ Y ใดๆ ดังนั้นถ้าต้องการหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} โดยเฉลี่ยตลอดระยะความสูงของลำสเปรย์(L_w) จะสามารถทำได้ดังนี้

$$\overline{C'_{gj}} = \frac{1}{L_w}\int_0^{L_w} C'_{gj}\,dy \quad (4.33)$$

แทนค่า C'_{gj} ด้วยสมการ (4.27) จะได้

$$\overline{C'_{gj}} = \frac{1}{L_w}\int_0^{L_w} C_{gj}\exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgi} Y}{D_{wi} Q_g U_{wti}}\right]dy \quad (4.34)$$

กำหนดให้ $y^* = Y/L_w$ และแทนค่าลงในสมการ (4.34) จะได้

$$\overline{C'_{gj}} = \int_0^1 C_{gj} \exp\left[-\frac{3}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\eta_{tij} w_i U_{Rgj} L_w y^*}{D_{wi} Q_g U_{wti}}\right] dy^* \qquad (4.35)$$

จากสมการ (4.35) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\overline{C'_{gj}} = C_{gj}\int_0^1 \exp(-K_{gj} y^*)\, dy^*$$

$$= -\frac{C_{gj}}{K_{gj}}\left[\exp(-K_{gj} y^*)\right]_0^1$$

$$= -\frac{C_{gj}}{K_{gj}}\left[\exp(-K_{gj}) - 1\right]$$

$$= \frac{C_{gj}}{K_{gj}}\left[1 - \exp(-K_{gj})\right]$$

เพราะฉะนั้นค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ที่หนีออกจากลำสเปรย์โดยเฉลี่ยพิจารณาตลอดระยะความสูงของลำสเปรย์($\overline{C'_{gj}}$) จะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\overline{C'_{gj}} = \frac{C_{gj}}{K_{gj}}\left[1 - \exp(-K_{gj})\right] \qquad (4.36)$$

เมื่อพิจารณาอัตราการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีด 1 หัว เหนือพื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น จะได้ดังนี้

อัตราการกำจัดฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในลำสเปรย์ = อัตราการเข้าของอนุภาคฝุ่นเข้าสู่ลำสเปรย์ - อัตราการหนีของอนภาคฝ่นออกจากลำสเปรย์

$$\Delta q_j = (q_s + q_g) - (q'_s - q'_g)$$

$$= (C_{sj} U_l A_w + C_{gj} U_{amb} A_{sp}) - (C'_{sj} U_l A_w + C'_{gj} U_{amb} A_{sp}) \qquad (4.37)$$

เมื่อพิจารณาสมการดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศบริเวณรอบๆ แหล่งกำเนิดฝุ่นซึ่งติดตั้งหัวฉีดหยดละอองน้ำ 1 หัว (ดังแสดงในรูปที่ 4.2) จะได้ว่า

อัตราการสะสมของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุม = อัตราการเกิดอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม + อัตราการไหลของอนุภาคฝุ่นเข้าปริมาตรควบคุม – อัตราการหนีของอนุภาคฝุ่นจากปริมาตรควบคุม – อัตราการจับอนุภาคฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในปริมาตรควบคุม

เนื่องจากอนุภาคฝุ่นที่อยู่ในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำมีอยู่หลายขนาด ดังนั้นการพิจารณาสมการดุลมวลสารจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกับการพิจารณาสมการดุลมวลสารก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่น คือ

- พิจารณาการสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นขนาด j (D_{pj})ในปริมาตรควบคุม
- พิจารณาการสมดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม

4.2.2.3 สมการดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาด j (D_{pj})ในปริมาตรควบคุม

เมื่อพิจารณาการสมดุลมวลสารของอนุภาคฝุ่นขนาด j (D_{pj})ในปริมาตรควบคุม จะได้

$$V\frac{dC'_{0j}}{dt} = Q_j + C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - \left[C'_{0j}U_{amb}A_{sc} + C'_{0j}U_{ptj}A_{bc} + C'_{0j}U'_{l}A_{tc}\right] - \Delta q_j \qquad \text{[kg/s]} \tag{4.38}$$

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC'_{0j}}{dt} = 0$

สมการ (4.38) จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$0 = Q_j + C_{ambj}U_{amb}A_{sc} - C'_{0j}\left[U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U'_{l}A_{tc}\right] - \Delta q_j$$

$$C'_{0j} = \left[\left(Q_j - \Delta q_j\right) + C_{ambj}U_{amb}A_{sc}\right] / \left(U_{amb}A_{sc} + U_{ptj}A_{bc} + U'_{l}A_{tc}\right) \qquad \text{[kg/m}^3\text{]} \tag{4.39}$$

4.2.2.4 สมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม

เมื่อพิจารณาสมการดุลมวลสารโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุม จะได้

$$V\sum_{j=1}^{m}\frac{dC'_{0j}}{dt} = Q+\sum_{j=1}^{m}C_{ambj}U_{amb}A_{sc}-\left[\sum_{j=1}^{m}C'_{0j}U_{amb}A_{sc}+\sum_{j=1}^{m}C'_{0j}U_{ptj}A_{bc}+\sum_{j=1}^{m}C'_{0j}U'_{l}A_{tc}\right]-\sum_{j=1}^{m}\Delta q_j$$

[kg/s] (4.40)

จากสมมติฐานที่กำหนดให้ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ดังนั้น $\frac{dC'_{0j}}{dt}=0$

สมการ (4.40) จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$0 = Q+\sum_{j=1}^{m}C_{ambj}U_{amb}A_{sc}-\sum_{j=1}^{m}C'_{0j}\left[U_{amb}A_{sc}+U_{ptj}A_{bc}+U'_{l}A_{tc}\right]-\sum_{j=1}^{m}\Delta q_j$$

$$\sum_{j=1}^{m}C'_{0j}\left[U_{amb}A_{sc}+U_{ptj}A_{bc}+U'_{l}A_{tc}\right]=\left(Q-\sum_{j=1}^{m}\Delta q_j\right)+\sum_{j=1}^{m}C_{ambj}U_{amb}A_{sc} \qquad (4.41)$$

เมื่อ

$$\sum_{j=1}^{m}\Delta q_j=\sum_{j=1}^{m}\left[\left(C_{sj}U_{l}A_{ts}+C_{gj}U_{amb}A_{sp}\right)-\left(C'_{sj}U'_{l}A_{ts}+C'_{gj}U_{amb}A_{sp}\right)\right] \qquad \text{[kg/s]} \quad (4.42)$$

4.2.3 สมการประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด และการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.2.3.1 ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของอนุภาคฝุ่นขนาด D_{pj}

ในการประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นที่มีขนาด D_{pj} ของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{co}) จะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

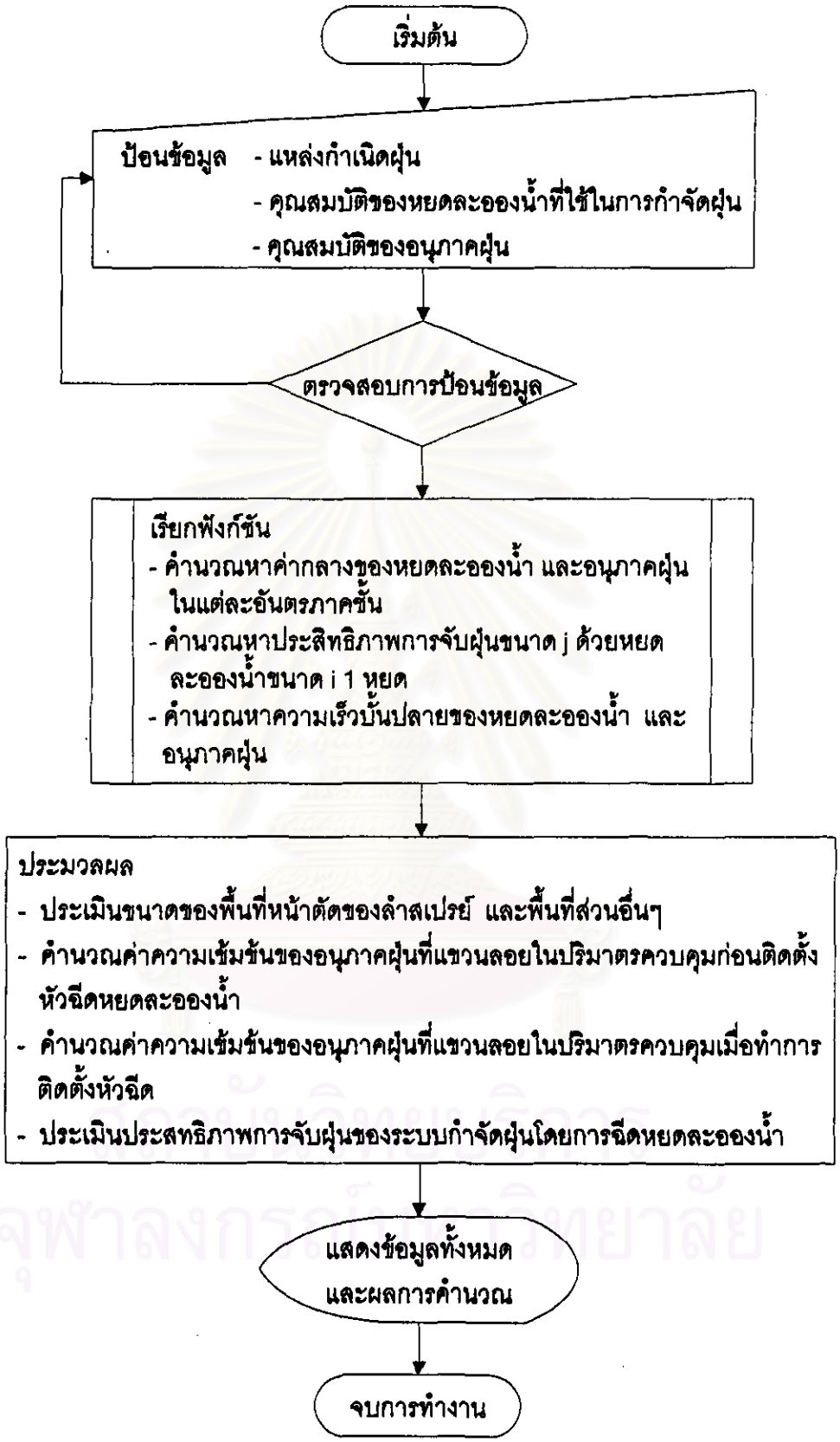
$$\eta_{C0j} = 1 - \frac{C'_{0j}}{C_{0j}} \tag{4.43}$$

4.2.3.2 ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยรวม

เมื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ (η_{total}) จะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{total} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m} C'_{0j}}{\sum_{j=1}^{m} C_{0j}} \tag{4.44}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 4.5</u> ผังการคำนวณอย่างง่ายของโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำ

4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ ซึ่งรายละเอียดของสมการที่อ้างอิงในแบบจำลองได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 4.2 และโปรแกรมดังกล่าวนี้เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาเดลไฟ(Delphi) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีลักษณะของ Visual และเป็นโปรแกรมแบบ 32 bit อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงสามารถใช้งานบน Window 95 และสามารถพัฒนา Application ต่างๆได้มากมาย ช่วยให้ผู้ใช้ (user) สามารถเข้าใจโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสะดวกในการใช้งาน

โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

- ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (Input Data)
- ขั้นตอนการประมวลผล (Process)
- ขั้นตอนการแสดงผล (Output data)

ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (Input Data)

ขั้นตอนการใส่ข้อมูลถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก โดยข้อมูลที่ป้อนจะต้องมีความถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด

การใส่ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้คือ

- **หน้าต่างที่1 ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น**

หน้าต่างที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ ข.6 ภาคผนวก ข) ถือว่าเป็นขั้นตอนเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "New" จากเมนูหลักหรือจากแถบเครื่องมือก็ดี หน้าต่างที่ 1 นี้ก็จะปรากฏขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลใหม่

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่นที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม ประกอบด้วย

- ชื่อ และขนาดของอุปกรณ์
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา (L_0)
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_i)
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})

จากนั้นกดปุ่ม "Next" เพื่อเข้าสู่หน้าต่างถัดไป คือข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ

- **หน้าต่างที่ 2 ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ**

หน้าต่างที่ 2 ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ ข.8 ภาคผนวก ข) โดยข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม ประกอบด้วย

- ความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ เช่น น้ำ (ρ_w)
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ หรือระยะการติดตั้งหัวฉีดเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น (L_w)
- รัศมีของลำสเปรย์ (R_w) หรือพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์ (A_w) และพื้นที่ผิวด้านข้างของลำสเปรย์ด้านรับลม (A_{sp})
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ (Water size distribution)

เพื่อความสะดวกของผู้ใช้ ในโปรแกรมมีข้อมูลของหัวฉีดเพิ่มขึ้นมาอีก 2 ชนิดให้เลือก คือ หัวฉีดประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นหัวฉีดยาฆ่าแมลงซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด และหัวฉีดประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นหัวฉีดชนิดเดียวกับที่บริษัทผลิตปูนซีเมนต์แห่งหนึ่งใช้อยู่ หากข้อมูลหัวฉีดที่มีตรงกับข้อมูลของหัวฉีดดังกล่าวก็สามารถเลือกชนิดของหัวฉีดเป็นหัวฉีดชนิดนั้นได้เลยโดยกดปุ่มหน้าหัวฉีดนั้น และไม่ต้องใส่ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำอีก แต่ถ้าข้อมูลของหัวฉีดที่มีไม่ตรงกับหัวฉีดทั้ง 2 ชนิด ก็ต้องใส่ข้อมูลการกระจายให้เรียบร้อยโดยกดปุ่ม "ใส่ข้อมูลการกระจายขนาด" จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในรูปที่ ข.8 (ภาคผนวก ข)

ส่วนข้อมูลรัศมีของลำสเปรย์(R_w) ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่มีข้อมูลรัศมีของลำสเปรย์ของหัวฉีดชนิดนั้น ก็สามารถคำนวณหาได้จากโปรแกรมคำนวณหาเส้นโคจรของหยดละอองน้ำซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 หรือถ้าผู้ใช้มีข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์อยู่แล้วก็สามารถเลือกใส่ข้อมูล

นั้นได้เลยโดยไม่ต้องใส่ข้อมูลรัศมีของลำสเปรย์อีก การที่โปรแกรมให้เลือกใส่ข้อมูลระหว่างรัศมีของลำสเปรย์หรือข้อมูลพื้นหน้าตัดของลำสเปรย์จะเป็นประโยชน์ต่อผลการคำนวณประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำมาก เพราะในความเป็นจริงพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์ก็ไม่ได้มีลักษณะเป็นวงกลมเสมอไปซึ่งถ้าใช้ข้อมูลรัศมีลำสเปรย์ไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์ตามสมการ (4.20) ก็อาจจะมีข้อผิดพลาดได้

เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงกดปุ่ม "Next" เพื่อเข้าสู่หน้าต่างถัดไป คือข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- **หน้าต่างที่ 3 ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น**

หน้าต่างที่ 3 ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น (แสดงดังรูปที่ ข.9 ภาคผนวก ข)โดยข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่นที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม ประกอบด้วย

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี และความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น (Dust size distribution)

เนื่องจากการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นจำเป็นต้องทราบข้อมูลความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นสามตำแหน่ง คือ ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม(C_{amb}) ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากแหล่งกำเนิดฝุ่น(C_s) และความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุมก่อนติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ(C_0) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจได้จากการวัดค่าโดยตรง แต่ในบางครั้งการวัดค่าโดยตรงเพื่อหาความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นทั้งสามตำแหน่งอาจทำได้ลำบาก ดังนั้นหากผู้ใช้มีข้อมูลเพียงสองตำแหน่งโปรแกรมก็ยังสามารถทำการประมวลผลได้ โดยโปรแกรมจะใช้สมการ (4.9) คำนวณหาข้อมูลความเข้มข้นอนุภาคฝุ่น ณ ตำแหน่งที่เหลือเองโดยอัตโนมัติ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผู้ใช้จะต้องเลือกข้อมูลของอนุภาคฝุ่นที่มีให้ถูกต้อง

เมื่อเลือกข้อมูลอนุภาคฝุ่นซึ่งตรงกับข้อมูลที่มีแล้ว จากนั้นกดปุ่ม " ใส่ข้อมูลการกระจายขนาด " เพื่อใส่ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในรูปที่ ข.10 *(ภาคผนวก ข)*

จากนั้นกดปุ่ม "Next" เข้าสู่หน้าต่างถัดไป เพื่อเลือกรูปแบบการแสดงผลการคำนวณดังแสดงในรูปที่ ข.12 (ภาคผนวก ข)

เนื่องจากข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมมีหลายค่า เพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูล ดังนั้นโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำจึงมีระบบหน่วยให้เลือกทั้งแบบเอสไอและแบบอังกฤษ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกหน่วยให้ตรงกับข้อมูลที่มี

นอกจากนี้ในส่วนการใส่ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นในโปรแกรมยังมีหน่วยให้เลือก คือ โดยปริมาตร (by volume) หรือโดยจำนวน (by No.) แล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้ตามข้อมูลการกระจายขนาดที่มี ซึ่งโปรแกรมจะมีสมการแปลงข้อมูลจากหน่วยจำนวนให้เป็นหน่วยปริมาตรซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้สำหรับการคำนวณ

$$v_i = \frac{d_i^3 n_i}{\sum d_i^3 n_i} \tag{4.45}$$

เมื่อ

v_i คือ ปริมาตรหยดละอองน้ำหรือความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นขนาดโดยเฉลี่ยในอันตรภาคชั้น i [m^3]

d_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดละอองน้ำหรืออนุภาคฝุ่นในอันตรภาคชั้น i [m]

n_i คือ จำนวนหยดละอองน้ำหรือจำนวนอนุภาคฝุ่นในในอันตรภาคชั้น i [No.]

ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมทั้งหมดนี้จะมีค่าที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า (Default) ไว้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.1 แสดงข้อมูล default ของโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ -	หมายเหตุ -	
- ขนาดของอุปกรณ์	1 x 1.5 x 2	ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	1 x 1.5	ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_l)	0.1	ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	1	ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม.
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	1.88×10^{-5}	ลบ.ม./วินาที
- รัศมีของลำสเปรย์ (R_w)	0.25	ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ (Water size distribution)	ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	1×10^{-4}	กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	0.1	กก./ลบ.ม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ขั้นตอนการประมวลผล (Process)

เมื่อทำการป้อนข้อมูลต่างๆเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะเริ่มทำการประมวลผลโดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินขนาดของพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์จากหัวฉีดที่เลือกใช้ (A_w)

จากที่กล่าวมาแล้วการใส่ข้อมูลเพื่อประเมินหาพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์มีให้เลือก 2 แบบ คือ ใส่ข้อมูลของพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์หรือใส่ข้อมูลรัศมีของลำสเปรย์ ในกรณีเลือกใส่ข้อมูลรัศมีของลำสเปรย์โปรแกรมจะประเมินหาพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์โดยใช้ข้อมูลของรัศมีของลำสเปรย์แทนลงในสมการ (4.20) ก็จะทราบค่าพื้นที่หน้าตัดของลำสเปรย์

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดความเร็วบั้นปลายของหยดละอองน้ำ(U_{wt}) และความเร็วบั้นปลายของอนุภาคฝุ่น(U_{pt})

ความเร็วบั้นปลายของหยดละอองน้ำ(U_{wt}) สามารถคำนวณโดยอาศัยการแก้สมการ (3.18), (3.19) หรือ (3.20) (ดูรายละเอียดหัวข้อ 3.3.2) ส่วนการคำนวณค่าความเร็วบั้นปลายของอนุภาคฝุ่น (U_{pt}) สามารถกระทำได้โดยอาศัยสมการดังกล่าวเช่นเดียวกัน เพียงแต่เปลี่ยนคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของหยดละอองน้ำเป็นของอนุภาคฝุ่นแทน

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นขนาดโดยเฉลี่ยในอัตรภาคชั้นที่ j ด้วยหยดละอองน้ำขนาดโดยเฉลี่ยในอันตรภาคชั้นที่ i จำนวน 1 หยด (η_{tij})

ประสิทธิภาพของการกำจัดฝุ่นขนาดโดยเฉลี่ยในอัตรภาคชั้นที่ j ด้วยหยดละอองน้ำขนาดโดยเฉลี่ยในอัตรภาคชั้นที่ i จำนวน 1 หยด (η_{tij}) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการ (2.1 - 2.4) ซึ่งเป็นสมการที่ขึ้นกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ค่า η_{tij} ที่คำนวณได้จะต้องนำไปแทนค่าลงในสมการ (4.16) และ (4.28) เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำจำเป็นต้องทราบข้อมูลความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม(C_{ambj}) ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากแหล่งกำเนิดฝุ่น(C_{sj}) และความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุมก่อนการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำของอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาดก่อน(C_{0j}) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจ

ได้มาจากการวัดจริงหรือใช้คณิตศาสตร์ในการคำนวณ โดยอาศัยสมการ (4.2) – (4.7) และเมื่อพิจารณาสมดุลมวลโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุมจะต้องเป็นไปตามสมการ (4.9) และ (4.10)

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

ก่อนที่จะคำนวณค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำต้องคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นขนาด j ที่หนีออกจากลำสเปรย์ในแนวตั้ง(C'_{sj}) และแนวนอน(C'_{gj}) ก่อนโดยอาศัยสมการ (4.18) และ (4.30) หรือคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นขนาด j ที่หนีออกจากลำสเปรย์โดยเฉลี่ยตลอดความสูงของลำสเปรย์ในแนวตั้ง ($\overline{C'_{sj}}$) และแนวนอน ($\overline{C'_{gj}}$) โดยอาศัยสมการ (4.24) และ (4.36) เพื่อที่จะคำนวณหาอัตราการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีด 1 หัวเหนือพื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่นซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.37) จากนั้นจึงคำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ(C'_{0j}) โดยอาศัยสมการ (4.39) และเมื่อพิจารณาสมดุลมวลโดยรวมของอนุภาคฝุ่นทั้งหมดในปริมาตรควบคุมจะต้องเป็นไปตามสมการ (4.41) และ (4.42)

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

หลังจากคำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในปริมาตรควบคุมเมื่อทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ(C'_{0j}) การประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นขนาด j ของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ(η_{C0j}) และประเมินประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำโดยรวม(η_{total}) โดยอาศัยสมการ (4.43) และสมการ (4.44) ตามลำดับ

4.3.3 ขั้นตอนการแสดงผล (Output Data)

การแสดงผลของโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำมีให้เลือก 3 แบบ คือ โดยสรุป โดยสังเขป และโดยละเอียด อนึ่งถ้าผู้ใช้เลือกรูปแบบการแสดงผลที่ต้องการแล้ว และกดปุ่ม "แสดงผลการคำนวณ" โปรแกรมจะแสดงหน้า

ต่างดังแสดงในรูปที่ ข.12 (ภาคผนวก ข) เมื่อผู้ใช้เลือกแสดงผลโดยสรุป และโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเอดิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ ข.13 (ภาคผนวก ข) เมื่อผู้ใช้เลือกแสดงผลโดยละเอียด

การแสดงผลโดยละเอียดจะบอกรายละเอียดทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น และผลการคำนวณทั้งหมด(ดูตัวอย่างการแสดงผลโดยละเอียด ภาคผนวก ค) ส่วนการแสดงผลการคำนวณโดยสรุปจะแสดงเพียงผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุมโดยรวมก่อนติดตั้งระบบกำจัดฝุ่น ($\sum_{j=1}^{m} C_{0j}$) และหลังทำการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่น ($\sum_{j=1}^{m} C'_{0j}$) โดยการฉีดหยดละอองน้ำ และประสิทธิภาพการจับฝุ่นของระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำโดยรวม (η_{total}) ส่วนการแสดงผลโดยสังเขปจะเพิ่มผลการคำนวณค่าความเข้มของอนุภาคฝุ่นโดยรวมที่เข้า($\sum_{j=1}^{m} C_{sj}$) และออกจากลำสเปรย์ ($\sum_{j=1}^{m} C'_{sj}$)ในแนวดิ่ง ผลการคำนวณความเข้มของอนุภาคฝุ่นโดยรวมที่เข้า($\sum_{j=1}^{m} C_{gj}$) และออกจากลำสเปรย์ ($\sum_{j=1}^{m} C'_{gj}$)ในแนวราบ ผลการคำนวณความเข้มของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อมที่เข้ามาในระบบโดยรวม ($\sum_{j=1}^{m} C_{ambj}$) อัตราการไหลเข้าและออกของอนุภาคฝุ่นโดยรวมในลำสเปรย์ และอัตราการจับอนุภาคฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในลำสเปรย์ (Δq)

ข้อมูลเหล่านี้สามารถบันทึกลงในแฟ้มข้อมูล (file) ที่ผู้ใช้กำหนด โดยเลือกเมนูย่อย Save หรือ Save As จากเมนูหลัก File หรือจากแถบเครื่องมือ โดยนามสกุลหรือส่วนขยายของแฟ้มข้อมูลเหล่านี้ คือ "sol" หรือหากผู้ใช้ต้องการเปิดแฟ้มข้อมูลก็สามารถกระทำได้โดยเลือกเมนู Open ในเมนูหลักหรือจากแถบเครื่องมือ โปรแกรมจะทำการเปิดแฟ้มข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการลงสู่หน้าต่างเอดิเตอร์เช่นเดียวกัน

ข้อมูลทั้งหมดที่แสดงอยู่ในหน้าต่างเอดิเตอร์สามารถพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ เมื่อเลือกเมนูย่อย Print หรือจากแถบเครื่องมือรูปเครื่องพิมพ์ (printer)

4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และผลที่ได้รับ

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ กระทำโดยการนำโปรแกรมคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำในที่เปิดโล่งที่พัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงสมการจากแบบจำลองดังกล่าวมาประมวลผลด้วยข้อมูลของอุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดฝุ่นของโรงโม่หินที่อ้างอิงจากเอกสารของ กมล ธนะนพวรรณ (2540) กรมควบคุมมลพิษ (2540) และกรมควบคุมมลพิษ (2541) ซึ่งในเอกสารอ้างอิงทั้งสามฉบับนี้จะมีข้อมูลของโรงโม่หินอยู่หลายแห่ง แต่โรงโม่หินที่มีข้อมูลพอเพียงที่จะใช้เป็นตัวอย่างข้อมูลสำหรับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลขนาดของอุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดฝุ่นต่างๆ ในกระบวนการผลิต ชนิดและจำนวนหัวฉีดทั้งหมดที่ติดตั้งเหนืออุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดฝุ่นเหล่านั้น ความเข้มข้นของฝุ่นในปริมาตรควบคุม(ระยะห่าง 1 เมตร จากแหล่งกำเนิดฝุ่นโดยรอบ)ก่อนและหลังติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำ รวมทั้งการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น ความเข้มข้นของฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม ทิศทางและความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมที่พัดผ่านระบบ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องป้อนให้กับโปรแกรม มี 2 แห่ง โดยขอจะเรียกว่า โรงโม่หินแห่งที่ 1 และโรงโม่หินแห่งที่ 2 (ดูรายละเอียดภาคผนวก ง)

4.4.1 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับอุปกรณ์ของโรงโม่หินแห่งที่ 1

อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำของโรงโม่หินแห่งที่1 ได้แก่ ปากโม่1 (Primary Jaw crusher) และปากขอยจำนวน 4 เครื่อง (Secondary Jaw crusher) ส่วนอุปกรณ์อื่นๆนั้นไม่สามารถนำมาทดสอบได้เนื่องจากข้อมูลไม่ชัดเจนเพียงพอ ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่นทั้งสอง และตารางที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงจากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง

<u>ตารางที่ 4.2</u> แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น เมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากโม่ 1 ของโรงโม่หินแห่งที่ 1

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

-	ชื่อ : ปากโม่ 1 โรงโม่หินแห่งที่ 1		
-	หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 8 หัวฉีด		
-	ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส)	1.22 x 1.52 x 2	ลบ.ม.
-	พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	1.17 x 1.47	ตร.ม.
-	ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
-	ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_i)	0.1	ม./วินาที
-	ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	1.38	ม./ วินาที
-	ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
-	ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
-	ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

-	ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม.
-	ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
-	อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	1.51×10^{-4}	ลบ.ม./วินาที
-	พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w)	1.571 **	ตร.ม.
-	พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp})	0.6	ตร.ม.
-	ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ	ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

-	ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
-	ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
-	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	6.18×10^{-7}	กก./ ลบ.ม.
-	ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	3.74×10^{-3}	กก./ลบ.ม.
-	ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น	ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง หัวข้อ ง.1.1	

<u>หมายเหตุ</u> : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด
** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น เมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากซอยทั้ง 4 เครื่อง ของโรงโม่หินแห่งที่ 1

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ : ปากซอย(คิดรวม 4 เครื่อง) โรงโม่หินแห่งที่ 1		
- หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 4 หัวฉีด		
- ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส)	0.73 x 1.82 x 2	ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	0.73 x 1.82	ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_f)	0.1	ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	1.38	ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	7.53×10^{-5}	ลบ.ม./วินาที
- พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w)	0.7854 *	ตร.ม.
- พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp})	0.25	ตร.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ	ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	6.18×10^{-7}	กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	1.55×10^{-3}	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น	ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง หัวข้อ ง.1.2	

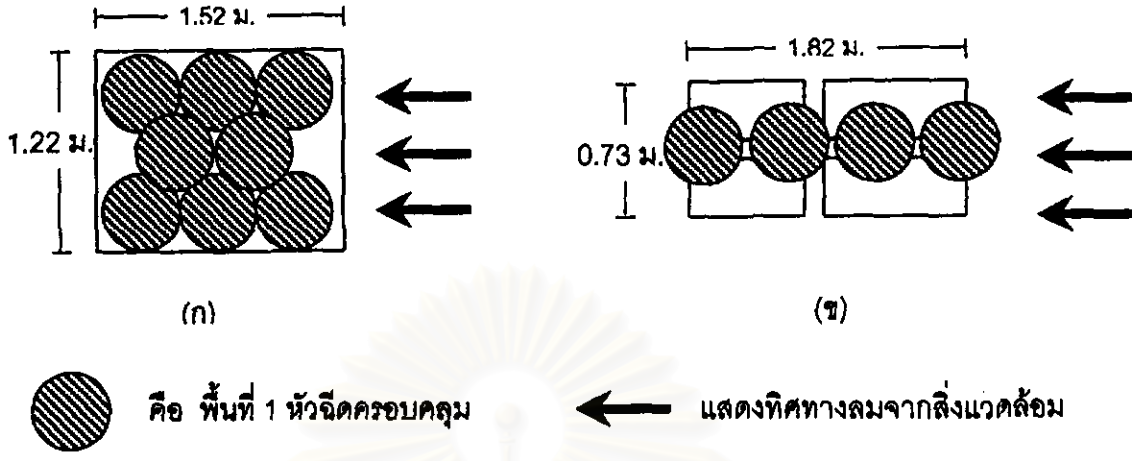
หมายเหตุ : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด

** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงจากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ของโรงโม่หินแห่งที่ 1

ตำแหน่งจุดวัด	ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (ลบ.ม)	พื้นที่กำเนิดฝุ่น (ตร.ม.)	จำนวนหัวฉีด	ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง			ผลการคำนวณจากแบบจำลอง		ความผิดพลาดสัมพัทธ์ %
				ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่น (มก./ลบ.ม)		ประสิทธิภาพ %	ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นเมื่อเปิดสเปรย์น้ำ (มก./ลบ.ม)	ประสิทธิภาพ %	
				ปิดสเปรย์น้ำ	เปิดสเปรย์น้ำ				
ด้านบนปากโม่ 1	1.22 x 1.52 x 2	1.17 x 1.47	8	3744.93	336.78	91.01	401.29	89.28	1.89
ด้านบนปากซอย (คิดรวม 4 เครื่อง)	0.73 x 1.82 x 2	0.73 x 1.82	4	1548.33	635.00	58.99	695.31	55.09	6.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4.6 แสดงภาพด้านบน (top view) การติดตั้งหัวฉีดเหนือ (ก) ปากโม่ และ (ข) ปากขอยของโรงโม่หินแห่งที่ 1

4.4.2 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับอุปกรณ์ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำของโรงโม่หินแห่งที่ 2 ได้แก่ ปากโม่1 (Primary Jaw crusher), ปากขอย (Secondary Jaw crusher), ตะแกรงขั้นที่1 (Primary Screen) และตะแกรงขั้นที่ 2 (Secondary Screen) โดยตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่นดังกล่าว และตารางที่4.9 แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงของโรงโม่หินแห่งที่ 2 จากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น เมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากโม่ 1 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ : ปากโม่ 1 โรงโม่หินแห่งที่ 2
- หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 8 หัวฉีด

- ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส)	0.8 x 1.2 x 2	ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	0.75 x 1.15	ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_i)	0.1	ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	3	ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม.
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	1.51×10^{-4}	ลบ.ม./วินาที
- พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w)	0.8625 **	ตร.ม.
- พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp})	0.6	ตร.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ	ดูรายละเอียดภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	2.11×10^{-6}	กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	6.33×10^{-3}	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น	ดูรายละเอียดภาคผนวก ง หัวข้อ ง.2.1	

หมายเหตุ : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด
** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นเมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือปากปากโม่ 2 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ : ปากโม่ 2 โรงโม่หินแห่งที่ 2
- หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 6 หัวฉีด
- ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส) 0.8 x 1 x 2 ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น 0.75 x 0.95 ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา 1 ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_l) 0.1 ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb}) 3 ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w) 0.5 ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a) 1.2928 กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a) 1.8×10^{-5} กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w) 1000 กก/ลบ.ม.
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้ หัวฉีดประเภทที่ 1
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w) 1.13×10^{-4} ลบ.ม./วินาที
- พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w) 0.7125 ** ตร.ม.
- พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp}) 0.5 ตร.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p) 2600 กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม 2.11×10^{-6} กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม 5.77×10^{-3} กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น ดูรายละเอียดภาคผนวก ง หัวข้อ ง.2.2

หมายเหตุ : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด
** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น เมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือตะแกรงขั้นที่ 1 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ : ตะแกรงขั้นที่ 1 โรงโม่หินแห่งที่ 2
- หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 2 หัวฉีด

- ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส)	1.2 x 3.7 x 1.5	ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	1 x 0.45	ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_i)	0.1	ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	3	ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม.
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	3.76×10^{-5}	ลบ.ม./วินาที
- พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w)	0.3927 *	ตร.ม.
- พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp})	0.5	ตร.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ	ดูรายละเอียดภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	2.11×10^{-6}	กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	3.23×10^{-3}	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น	ดูรายละเอียดภาคผนวก ง หัวข้อ ง.2.3	

หมายเหตุ : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด
** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น เมื่อทำการติดตั้งหัวฉีดเหนือตะแกรงชั้นที่ 2 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

ข้อมูลแหล่งกำเนิดฝุ่น

- ชื่อ : ตะแกรงชั้นที่ 2 โรงโม่หินแห่งที่ 2		
- หมายเหตุ : จำนวนหัวฉีด 2 หัวฉีด		
- ขนาดของอุปกรณ์ (ก x ย x ส)	1.2 x 3.7 x 1.5	ลบ.ม.
- พื้นที่แหล่งกำเนิดฝุ่น	1 x 0.45	ตร.ม.
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พิจารณา	1	ม.
- ความเร็วฝุ่นที่ฟุ้งขึ้นมาจากแหล่งกำเนิด (U_i)	0.1	ม./วินาที
- ความเร็วลมจากสภาวะแวดล้อม (U_{amb})	3	ม./ วินาที
- ความสูงเฉลี่ยของลำสเปรย์ (L_w)	0.5	ม.
- ความหนาแน่น ของอากาศ (ρ_a)	1.2928	กก./ ลบ.ม.
- ความหนืดของอากาศ (μ_a)	1.8×10^{-5}	กก./ม. วินาที

ข้อมูลคุณสมบัติของหยดละอองน้ำ ได้แก่

- ความหนาแน่นของหยดละอองน้ำ (ρ_w)	1000	กก./ลบ.ม.
- ชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้	หัวฉีดประเภทที่ 1	
- อัตราการไหลของหยดละอองน้ำออกจากหัวฉีดสเปรย์ (w)	3.76×10^{-5}	ลบ.ม./วินาที
- พื้นที่ที่สเปรย์สามารถครอบคลุมได้ (A_w)	0.3927 *	ตร.ม.
- พื้นที่สเปรย์ด้านรับลม(A_{sp})	0.5	ตร.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ	ดูรายละเอียดภาคผนวก จ หัวข้อ จ.1	

ข้อมูลคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่น

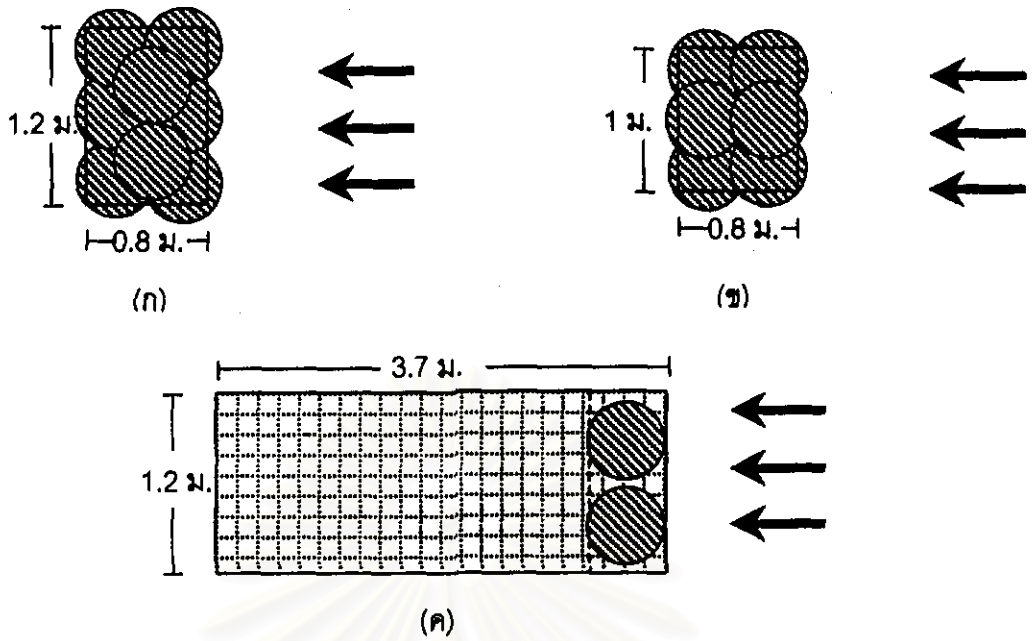
- ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น (ρ_p)	2600	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลอนุภาคฝุ่นที่มี	สิ่งแวดล้อม – ปริมาตรควบคุม	
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นจากสิ่งแวดล้อม	2.11×10^{-6}	กก./ ลบ.ม.
- ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในปริมาตรควบคุม	6.62×10^{-3}	กก./ลบ.ม.
- ข้อมูลการกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น	ดูรายละเอียดภาคผนวก ง หัวข้อ ง.2.4	

หมายเหตุ : * คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดฝุ่นไม่หมด
** คือ พื้นที่สเปรย์ครอบคลุมแหล่งกำเนิดหมด

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าประสิทธิภาพการจับฝุ่นระหว่างข้อมูลจริงจากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

ตำแหน่งจุดวัด	ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (ลบ.ม.)	พื้นที่กำเนิดฝุ่น (ตร.ม.)	จำนวนหัวฉีด	ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง			ผลการคำนวณจากแบบจำลอง		ความผิดพลาดสัมพัทธ์ %
				ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่น (มก./ลบ.ม)		ประสิทธิภาพ %	ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นเมื่อเปิดสเปรย์น้ำ (มก./ลบ.ม)	ประสิทธิภาพ %	
				ปิดสเปรย์น้ำ	เปิดสเปรย์น้ำ				
ด้านบนปากโม่ 1	0.8 x 1.2 x 2	0.75 x 1.15	8	6334.71	432.98	93.16	166.51	97.37	4.52
ด้านบนปากโม่ 2	0.8 x 1.0 x 2	0.75 x 0.95	6	5771.09	468.73	91.88	88.4	98.47	6.61
ตะแกรงชั้นที่ 1	1.2 x 3.7 x 1.5	1 x 0.45	2	3234.80	432.98	86.61	568.27	84.43	7.17
ตะแกรงชั้นที่ 2	1.2 x 3.7 x 1.5	1 x 0.45	2	6616.52	754.661	88.59	1123.80	83.02	6.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4.7 แสดงภาพด้านบน (top view) การติดตั้งหัวฉีดเหนือ (ก) ปากโม่ 1 (ข) ปากโม่ 2 และ (ค) ตะแกรงขั้นที่ 1 และ 2 ของโรงโม่หินแห่งที่ 2

จากตารางที่ 4.4 และ 4.9 ซึ่งแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ของประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำ (% Relative error) ระหว่างข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงกับผลจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม ซึ่งพัฒนาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นำเสนอไปในหัวข้อ 4.2 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์หาได้จาก

$$\% \text{ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์} = \frac{\eta_{ref} - \eta_{model}}{\eta_{ref}} \times 100 \qquad (4.45)$$

เมื่อ η_{ref} คือ ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำจากเอกสารอ้างอิง

η_{model} คือ ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดหยดละอองน้ำจากผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ

พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมพัทธ์ของการกำจัดฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำเหนืออุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดฝุ่น ได้แก่ ปากโม่ ปากขอย ตะแกรงคัดขนาดหินขั้นที่1 และตะแกรงคัดขนาดหินขั้นที่ 2 ของโรงโม่ทั้งสองแห่ง ซึ่งได้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง (กมล ธนะนพวรรณ, 2540

และกรมควบคุมมลพิษ, 2540 และ 2541) มีค่าสูงสุด 7.17% ซึ่งความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่

- ค่าความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมที่ป้อนให้กับโปรแกรมอาจมีความผิดพลาด เนื่องจากข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงทั้งสามฉบับไม่ได้ระบุว่าขณะที่ทำการวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่นนั้นความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่าใด และในสภาวะจริงความเร็วลมที่พัดผ่านปริมาตรควบคุมก็มีความเร็วไม่คงที่ ดังนั้นค่าที่ป้อนให้กับโปรแกรมจึงเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่คาดว่ามีการดำเนินการผลิตหิน
- ในบางอุปกรณ์ เช่น ตะแกรงคัดขนาดหิน การติดตั้งหัวฉีดเพื่อฉีดหยดละอองน้ำไม่สามารถฉีดครอบคลุมทั้งอุปกรณ์ได้เนื่องจากอาจทำให้ตะแกรงเกิดการอุดตันได้ ดังนั้นการติดตั้งหัวฉีดจะทำเฉพาะบริเวณจุดถ่ายโอนหินจากสายพานลงมายังตะแกรงซึ่งมีฝุ่นเกิดขึ้นมาก ซึ่งบริเวณนี้ถือว่าเป็นพื้นที่กำเนิดฝุ่นที่แท้จริงแต่ข้อมูลไม่ได้ระบุแน่ชัดว่ามีพื้นที่เท่าไหร่
- การใช้ค่ากึ่งกลางในแต่ละอันตรภาคชั้นของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น แทนหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ในอันตรภาคชั้นนั้น อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนหยดละอองน้ำ และอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆได้ทั้งหมดในสภาวะที่เกิดขึ้นจริง

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงที่มีพอจะอนุมานได้ว่า แบบจำลองที่นำเสนอนมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้สำหรับการคำนวณหรือประเมินหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยการฉีดหยดละอองน้ำในที่เปิดโล่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย