บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมลภาวะทางอากาศเนื่องจากฝุ่น

เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะทำการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหยดละอองน้ำ โดยมุ่งเน้นเฉพาะอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน อุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากมีปริมาณฝุ่นจำนวนมากที่ฟุ้งกระจายออกมาจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน ในเบื้องต้นจะขอกล่าวถึงศัพท์บางคำที่เกี่ยวกับอนุภาคฝุ่นและมลภาวะอากาศที่มักพบบ่อยๆ เพื่อให้มีความหมายและความเข้าใจตรงกัน จากนั้นจึงกล่าวถึงขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตของโรงโม่หิน จุดที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นในกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน ตลอดจนอันตรายของฝุ่นต่อสุขภาพของคนงานที่ทำงานอยู่ในโรงโม่หิน ชุมชนที่อยู่รอบๆโรงโม่หิน และอันตรายของฝุ่นต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง รวมถึงมาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง และวิธีการควบคุมฝุ่นละออง ตลอดจนข้อดีและข้อเสียของการกำจัดฝุ่นโดยใช้วิธีการฉีดหยดละอองน้ำเปรียบเทียบกับการกำจัดฝุ่นด้วยวิธีการอื่นๆ

สำหรับในช่วงท้ายของบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีกลไกการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 <u>คำศัพท์และความหมาย</u>

มีศัพท์หลายคำเกี่ยวกับอนุภาคฝุ่น และมลพิษทางอากาศที่จะต้องถูกอธิบายให้มีความหมายและความเข้าใจตรงกัน ซึ่งคำศัพท์เหล่านี้ในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีความหมายใกล้เคียงกัน Hesketh (1974) ได้ให้ความหมายของศัพท์เหล่านี้ไว้ดังนี้

อนุภาค (particulate matter) คือ วัตถุหรือสสารที่เป็นของเหลวหรือของแข็งใดๆ ที่อยู่ในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.0002 – 500 ไมครอน

แอโรซอล (aerosol) คือ อนุภาคของแข็ง หรือของเหลวขนาดเล็กซึ่งแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ โดยทั่วไปได้แก่อนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอน เล็กลงไปจนไม่ถึง 1 ไมครอน ซึ่งสิ่งที่ถูกจัดรวมเป็นละอองไอได้แก่ ฝุ่น หมอก ฟูม ควัน ละอองน้ำ และเมฆหมอก

ฝุ่น (dust) คือ อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการแตกตัว การถูกบดอัด หรือการสลายตัวที่เกิดจากกระบวนการทางกล โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึงหลายร้อยไมครอน อนุภาคฝุ่นโดยทั่วไปมีรูปร่างของอนุภาคที่ไม่แน่นอน

ฟูม (fumes) คือ อนุภาคของแข็งที่เกิดจากการควบแน่นของโลหะจากสถานะที่เป็นก๊าซ โดยทั่วไปมีรูปร่างกลม มีขนาดระหว่าง 0.001 - 1 ไมครอน

หมอก (fog or mist) คือ แอโรซอลที่ฟุ้งกระจายเป็นของเหลว โดยสามารถเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของสภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งของไอระเหย หรือมาจากการกระจายของเหลวด้วยการตี พ่น หรือกวนให้เป็นฟอง มีขนาดตั้งแต่ 0.001 – 10 ไมครอน

ควัน (smoke) คือ อนุภาคของเหลวหรือของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ และอนุภาคที่เผาไหม้ได้อื่นๆ มีขนาดตั้งแต่ 0.001 – 1 ไมครอน

มลภาวะอากาศ (air pollution) คือ การดำรงอยู่ของสสารหรือวัตถุผิดปกติ (abnormal) ในอากาศหรือบรรยากาศที่เป็นผลให้เกิดอันตรายหรือผลร้ายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของสิ่งมีชีวิต

US EPA (1995) ได้ให้ความหมายของศัพท์ที่อธิบายถึงขนาดของอนุภาคต่างๆ ที่นิยมเขียนเป็นสัญลักษณ์ในภาษาอังกฤษ ดังนี้

- TSP (จำนวนอนุภาคทั้งหมดที่แขวนลอยในบรรยากาศ, Total Suspended Particulate) คือ จำนวน(ปริมาณ) ของอนุภาคที่สามารถถูกเก็บตัวอย่าง และตรวจวัดได้โดยเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูง TSP มีช่วงของขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง จากการทดสอบในอุโมงค์ลม เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนได้เกือบ 100 % จนกระทั่งสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับ 100 ไมครอน ได้เพียงไม่กี่เปอร์เซนต์เท่านั้น เพราะว่าเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงมิได้มีการบ่งชี้ถึงช่วงของขนาดอนุภาคที่เก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตามได้ระบุถึงค่า effective cut point ที่สามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ได้เท่ากับ 30 ไมครอน

- PM-10 คือ อนุภาคฝุ่นผงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์เล็กกว่า 10 ไมครอน

- IP (ฝุ่นที่สามารถหายใจเข้าไปได้, Inhalable Particulate) คือ ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์เล็กกว่า 15 ไมครอน บางครั้งจะใช้สัญลักษณ์เป็น PM -15

- FP (ฝุ่นละเอียด, Fine Particulate) คือ ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ไม่โตเกินกว่า 2.5 ไมครอน บางครั้งจะใช้สัญลักษณ์เป็น PM - 2.5

2.2 อันตรายของฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน

กระบวนการผลิตหินของโรงโม่หินไม่ว่าจะเป็นการระเบิดหิน การขนถ่ายหิน การโม่บด หรือย่อยหินล้วนก่อให้เกิดอนุภาคฝุ่นในปริมาณที่สูงมาก อนุภาคฝุ่นเหล่านี้ก่อให้เกิดอันตรายและผลเสียต่างๆต่อคนและสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมาย ซึ่งสามารถจำแนกอันตรายของฝุ่นได้เป็น 2 ประเภท ตามผลที่เกิดตามมาดังนี้

2.2.1 อันตรายของฝุ่นต่อสภาพแวดล้อม การทำงาน และการดำเนินชีวิต

มลพิษจากฝุ่นนอกจากจะก่อให้เกิดความรำคาญ รู้สึกระคายเคือง และลดการมองเห็น อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ทำงานได้ไม่สะดวกและส่งผลให้ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพแล้ว อนุภาคฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหินเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย ซึ่งอนุภาคฝุ่นที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ อนุภาคฝุ่นเกือบทุกขนาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ (กลม ธนะนพวรรณ, 2540) นอกจากนั้นยังมีฝุ่นจำนวนหนึ่งสามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานและสามารถลอยไปได้ไกล ซึ่งถ้าบริเวณนั้นเกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากจะทำให้ลดการมองเห็นลงอย่างเห็นได้ชัด ทำให้บริเวณนั้นมืดลงและมีปัญหาในการสัญจรไปมาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้ามืดและช่วงเย็นถึงค่ำ

ดังเช่นบริเวณตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีโรงโม่หินตั้งอยู่เป็นจำนวนมากตลอดเส้นทางที่รถบรรทุกวัตถุดิบแล่นผ่านจะมีสภาพของฝุ่นละอองฟุ้งกระจายทั้งบริเวณโรงงานและบ้านเรือนใกล้เคียง สภาพบ้านเรือนในตำบลนี้จะมีฝุ่นละอองจับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2539)

2.2.2 อันตรายของฝุ่นต่อสุขภาพของคนในบริเวณที่มีมลภาวะ

อันตรายนี้จะมีผลทั้งคนงานที่ทำงานอยู่ในโรงโม่หิน ผู้ประกอบการ ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณโดยรอบโรงโม่หินหรือเขตที่มีโรงโม่หินตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก รวมถึงผู้ที่เดินทางสัญจรไปมาผ่านโรงโม่ ฝุ่นจำนวนมากเหล่านี้จะลอยอยู่ในบรรยากาศซึ่งส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อดวงตา และที่สำคัญที่สุดคือ เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและปอด (กลม ธนะนพวรรณ, 2540)

- กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจโดยการหายใจ อากาศที่หายใจจะเข้าสู่จมูก คอ ผ่านสู่หลอดลม ขั้วปอด และจากขั้วปอดจะแยกออกสู่ปอดทั้งสองข้างและกระจายออกเป็นท่อขนาดเล็ก ท่อฝอยและถุงลมปอดในที่สุด ซึ่งที่ถุงลมปอดจะมีเส้นเลือดฝอยและท่อน้ำเหลืองอยู่รอบ ๆ ด้วย

แต่ละส่วนของระบบทางเดินหายใจจะมีกลไกในการป้องกันที่จะดักจับสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามากับอากาศที่เราหายใจอยู่ อนุภาคของฝุ่นขนาดใหญ่(ใหญ่กว่า 10 ไมครอน) ส่วนใหญ่จะถูกดักจับภายในช่องจมูกและคอ ฝุ่นที่สามารถลอดผ่านไปได้บางส่วนจะถูกจับโดยการคัดหลั่งน้ำเมือกออกจากผิวของหลอดลมและท่อลมสาขา เมือกและอนุภาคที่ถูกจับเหล่านี้จะถูกดันขึ้นมาโดยขนขนาดเล็ก (hairs or cilia) จำนวนมากที่ทำให้เมือกหรือเสมหะเหล่านี้เคลื่อนที่ออกมาจากหลอดลม ด้วยอัตราครึ่งนิ้วต่อนาที และจะถูกขับออกในที่สุด อนุภาคที่เหลือที่เล็กกว่านี้ซึ่งส่วนใหญ่จะเล็กกว่า 5 ไมครอนอาจจะผ่านเข้าสู่ถุงลมปอดในที่สุด ที่นี่จะมีเซลล์ชนิดหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้เก็บอนุภาคที่หลุดเข้ามา (mobile scavenger cell) เรียกว่า phagocyte ซึ่งจะดูดกลืนอนุภาคเหล่านี้และนำอนุภาคเหล่านี้ออกไปยังหลอดลมฝอยซึ่งจะถูกผลักดันออกไปโดยขนขนาดเล็กในที่สุด แต่อนุภาคบางส่วนที่เหลืออยู่จะผ่านทะลุถุงลมปอดและฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อปอด และจะทะลุเข้าท่อน้ำเหลืองไปยังต่อมน้ำเหลืองซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวกรองซึ่งฝุ่นจำนวนหนึ่งจะติดอยู่ที่นั่น บางส่วนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเส้นใยหรือการเกิดขึ้นของเยื่อเหนียวหรือเยื่อพังผืดที่ปอด ซึ่งจะเกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อที่ฝุ่นฝังตัวหรือติดอยู่ ส่วนอนุภาคที่เหลือซึ่งโดยมากมีขนาดเล็กมากจะออกมากับลมหายใจออก

- ผลร้ายของฝุ่นละอองต่อระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นละอองโดยทั่วไปจะมีผลต่อร่างกายมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของฝุ่น ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่สัมผัส ความแข็งแรง หรือภูมิต้านทานของผู้ที่สูดเข้าไป

- โรคภูมิแพ้ (Allergic reaction) โรคภูมิแพ้เกิดขึ้นโดยการหายใจเอาอนุภาคฝุ่นบางชนิดเข้าไปแล้วเกิดการกระตุ้นที่เนื้อเยื่อ ทำให้ปล่อยเยื่อเมือกออกมาห่อหุ้มและค่อยๆขับออกมาโดยขนเล็กๆ การสะสมของฝุ่นอยู่ที่ผิวของระบบทางเดินหายใจจะทำให้ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการนี้ขึ้นชั่วครั้งชั่วคราวเป็นอาการที่ไม่รุนแรงมาก

- นิวโมโคนิโอซีส (pneumoconiosis) หมายถึง ปอดที่มีอาการผิดปกติหรือโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นอนินทรีย์ (inorganic dust) จากบรรยากาศเข้าไปสะสมในปอด ลักษณะของอนุภาคที่ทำให้เกิดนิวโมโคนิโอซีสนั้นจะเป็นเส้นใยค่อนข้างแข็งที่ติดอยู่กับปอด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ปอดจึงจะสร้างเยื่อเหนียวหรือเส้นใยมาห่อ ดังนั้นยิ่งหายใจเอาฝุ่นเข้าปอดมากเท่าไรโอกาสที่จะเป็นโรคปอดแข็งหรือนิวโมโคนิโอซีสมาเท่านั้น และถ้าเป็นโรคปอดแข็งประสิทธิภาพการทำงานของปอดจะลดลง อาการขั้นแรกของโรค คือ หายใจลำบาก ฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรคนี้มีหลายชนิด โรคที่เกิดขึ้นจะมีชื่อเรียกตามชนิดของฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ซิลิโคซีส แอสเบสโตซีส เบอริลลิโอซีส เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงฝุ่นที่มีมากในเหมืองหิน และโรงโม่หิน คือ ซิลิโคซีส

- ซิลิโคซีส (silicosis) เป็นโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นทรายหรือฝุ่นซิลิกาเข้าไป เมื่อหายใจเอาฝุ่นซิลิกาที่เป็นผลึกแหลมคมเข้าไปในปอดสะสมอยู่ในปอด ปอดจะสร้างเยื่อพังผืดมาห่อหุ้มผลึกเหล่านั้นไว้ อาการของโรคนี้ คือ หายใจลำบากต้องหายใจลึกๆ สั้นๆ ปริมาตรปอดลดลงเหนื่อยง่าย ทำงานได้น้อยลง อ่อนเพลีย ซึ่งอาจจะนำมาสู่การติดเชื้อวัณโรคได้ง่าย แต่อุตสาหกรรมโม่หินส่วนใหญ่จะมีซิลิกาในหินที่เป็นวัตถุดิบต่ำมากหรือไม่มีเลย

2.2.3 ผลกระทบในส่วนที่เกี่ยวกับขนาดอนุภาคของฝุ่น

ขนาดของอนุภาคฝุ่นจะแปรผกผันกับผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจมนุษย์ โดยจะแบ่งตามขนาดเป็น 3 ขนาด (กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี , 2541) ดังนี้

2.2.3.1 อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน

อนุภาคฝุ่นขนาดนี้ส่วนใหญ่จะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ไม่นานก็จะตกสู่พื้นดิน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจทำให้เกิดอาการ เช่น หายใจไม่สะดวก จาม คัดจมูก แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจมากนัก ยกเว้นได้รับในปริมาณมากๆ และเป็นเวลานาน แต่อนุภาคฝุ่นขนาดนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่อการมองเห็นอย่างมาก อันนำมาสู่ปัญหาของการทำงาน การสัญจร

และการทำงานของเครื่องจักร และจะทำให้ผู้ที่สัมผัสเดือดร้อนรำคาญอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อผิวหนัง หู และดวงตา

2.2.3.2 **อนุภาคฝุ่นที่มีขนาด 0.1 ถึง 10 ไมครอน**

อนุภาคฝุ่นขนาดนี้สามารถเข้าไปถึงส่วนต่างๆของระบบทางเดินหายใจอันจะส่งผลต่ออวัยวะต่างๆภายในระบบ นอกจากนี้อนุภาคฝุ่นขนาดนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าฝุ่นเหล่านี้ฟุ้งกระจายอยู่ในบริเวณใดบ้าง เป็นผลให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงฝุ่นเหล่านี้ได้ นอกจากนี้อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (แต่ละเม็ด) จะมีน้ำหนักน้อยมาก ทำให้สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานๆ จึงมีโอกาสที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ตลอดเวลาหากไปอยู่ในบริเวณที่มีฝุ่นเหล่านี้

อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กบางชนิดที่สามารถเคลื่อนตัวไปถึงปลายสุดของถุงลมปอดและอาจจะก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง ประเภทของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กที่อันตรายอาจพบในอุตสาหกรรมโม่บด และย่อยหิน ได้แก่ ฝุ่นจากซิลิกาซึ่งส่วนใหญ่มาจากหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) จะก่อให้เกิดโรคซิลิโคซีส ซึ่งโรคทั้งสองอาจทำให้ถึงตายได้หรืออาจก่อให้เกิดโรคแทรกซ้อนอื่นๆ เช่น วัณโรค มะเร็ง เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการเหมืองหินและโรงโม่หินจะพยายามหลีกเลี่ยงหินที่มีแร่ซิลิกาอยู่แล้ว เนื่องจากหินที่มีแร่ซิลิกาหรือควอทซ์จะเป็นหินที่แข็งมาก ทำให้เครื่องโม่หินสึกหรอมาก อายุการใช้งานต่ำ

2.2.3.3 **อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน**

อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน เป็นอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก โดยสามารถเคลื่อนตัวได้คล้ายก๊าซ (Mean Free Path = 0.1 ไมครอน) ดังนั้นอนุภาคฝุ่นขนาดนี้จะเข้าหรือออกจากระบบทางเดินหายใจได้คล้ายก๊าซ และส่วนมากมักถือว่าเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจน้อยมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 โรงโม่หินและกระบวนการผลิต

ไม่มีใครสามารถปฏิเสธได้ว่าอุตสาหกรรมเหมืองหิน อุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน รวมถึงการขนส่งหินออกจากโรงงานโม่หินที่ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นมีผลโดยตรงทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในบริเวณรอบๆ เหมืองและโรงโม่หิน

เนื่องจากต้นทุนในการขนส่งหินมีสัดส่วนที่สูงมาก ซึ่งจะส่งผลให้หินมีราคาแพงจนกระทั่งแพงกว่าราคาหินที่ซื้อจากแหล่งผลิตหลายเท่า โดยมีการคำนวณว่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วยรถบรรทุกโดยการบรรทุกหินทั้งขาไปและขากลับอยู่ในช่วง 0.85 – 0.95 บาท/ตัน/กม. (กรมทรัพยากรธรณี, 2539) ดังนั้นจึงทำให้มีความจำเป็นต้องจัดตั้งโรงโม่หินให้ใกล้แหล่งที่มีความต้องการใช้หินที่สุด ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถพบโรงโม่หินจำนวนมากอยู่ในเขตจังหวัดสระบุรีซึ่งเป็นแหล่งหินขนาดใหญ่ที่ใกล้กรุงเทพฯมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณตำบลหน้าพระลาน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ที่มีโรงโม่จำนวนมากตั้งอยู่ใกล้เคียงกัน ปัญหาฝุ่นละอองในบริเวณนั้นอยู่ในขั้นที่รุนแรงมาก การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศแวดล้อมโรงงานโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ในบางเดือนมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) เกินมาตรฐานทุกวัน เช่นในเดือนมีนาคม(กรมควบคุมมลพิษ, 2539) ส่วนในเดือนอื่นๆ จำนวนวันส่วนใหญ่ค่าที่วัดได้ก็เกินจากมาตรฐานที่กำหนด และค่าเฉลี่ยที่ได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนก็มีค่าสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ดังนั้นเราจะควบคุมอย่างไรให้อุตสาหกรรมนี้มีผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยเน้นการกำจัดฝุ่นที่เกิดจากอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการโม่ บด และย่อยหินซึ่งจัดเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญนอกเหนือจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดหินจากเหมืองหิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี พ.ศ. 2539 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน
ม.ค.	129.0	22.8	0	70.0	18.0	0	3.0	1.2	0	677.0	382.0	29
ก.พ.	86.0	6.9	0	101.0	18.5	0	3.0	1.0	0	660.1	256.2	21
มี.ค.	157.0	8.8	0	78.0	23.4	0	4.0	0.8	0	582.8	297.2	31
เม.ย.	42.0	5.2	0	82.0	21.8	0	1.6	0.7	0	506.3	264.4	26
พ.ค.	72.0	4.7	0	73.0	19.9	0	16.3	3.7	0	677.5	365.6	30
มิ.ย.	49.0	6.1	0	68.0	19.2	0	2.1	0.6	0	702.3	441.8	29
ก.ค.	43.0	5.5	0	43.0	16.2	0	1.7	0.4	0	642.2	329.0	24
ส.ค.	39.0	5.2	0	49.0	14.1	0	7.9	0.4	0	623.7	415.2	25
ก.ย.	57.0	2.7	0	46.0	12.5	0	8.6	0.6	0	504.8	237.7	21
ต.ค.	20.0	2.7	0	35.0	9.2	0	8.4	0.7	0	351.3	103.6	8
พ.ย.	21.7	2.7	0	79.0	14.8	0	1.4	0.4	0	629.8	201.5	12
ธ.ค.	39.3	3.0	0	53.0	10.3	0	1.3	0.5	0	399.9	247.1	16
ค่ามาตรฐาน	300			170			30			120		

ตารางที่ 2.2 คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2540 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu g/m^3$)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน
ม.ค.	106.0	5.5	0	72.0	21.0	0	2.8	0.7	0	731.3	346.9	28
ก.พ.	59.0	4.4	0	120.0	25.2	0	1.8	0.5	0	465.6	229.6	22
ค่ามาตรฐาน	300			170			30			120		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **กระบวนการผลิตหินในโรงโม่หิน**

อุตสาหกรรมการโม่ บด และย่อยหินโดยทั่วไปนิยมใช้กระบวนการผลิตหินในรูปแบบสายการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) กระบวนการผลิตภายในโรงโม่หินเริ่มจากการนำหินออกมาจากเหมืองหินโดยการเจาะและระเบิด หลังจากการระเบิดเกิดขึ้นจะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย(fugitive dust) หินจะแตกออกและตกจากหน้าผาลงสู่พื้นเหมือง จากนั้นรถตัก (front–end loader)จะตักหินใส่รถบรรทุก ปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจายจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของซิลท์ (silt content คือ สัดส่วนของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน)ในหินและความสูงของหน้าผาที่ตกลงมา หลังจากนั้นหินจะถูกบรรทุกมายังโรงโม่หินซึ่งช่วงนี้ก็จะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายจากหินที่บรรทุกในท้ายรถและจากล้อรถที่บดและสัมผัสกับหิน ดิน และฝุ่นที่ตกอยู่บนพื้นถนน โรงโม่หินควรจะอยู่ใกล้เหมืองหินเพื่อประหยัดค่าขนส่ง และเพื่อลดปริมาณฝุ่นที่จะเกิดขึ้นขณะขนส่งให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

หินซึ่งผ่านการระเบิดจะถูกลำเลียงจากหน้าเหมืองเพื่อนำมาย่อยในโรงโม่หิน ซึ่งปกติมักจะถูกลำเลียงมาโดยรถเทท้าย (Dump Truck) เพื่อป้อนเข้ายุ้งรับหิน จากนั้นหินก็จะถูกส่งผ่านไปย่อยด้วยเครื่องโม่ขั้นต้นหรือปากโม่ (Primary Crusher) ซึ่งมักจะเป็นเครื่องโม่ชนิดจอว์ (Jaw Crusher) เครื่องป้อนหิน (Feeder) จะถูกใช้ในการป้อนหินจากยุ้งเข้าสู่เครื่องโม่ขั้นต้น โดยทั่วไปมักนิยมใช้เครื่องป้อนแบบ plate feeder หรือ vibrating grizzly feeder (ภิญโญ มีชำนะ , 2539)

- เครื่องป้อนแบบ Grizzly จะเป็นเครื่องป้อนที่มีกลไกทำให้มีการสั่น ประกอบด้วยแท่งเหล็กขนานกัน มีช่องว่างให้หินขนาดเล็กลอดผ่านออกไปโดยไม่ต้องผ่านเครื่องโม่ขั้นต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณหินที่จะผ่านเครื่องโม่ และเพื่อลดความเสี่ยงที่หินขนาดเล็กจะเข้าตามช่องว่างทำให้เกิดการอัดแน่น (packing) และเครื่องโม่เกิดความเสียหายได้

- เครื่องป้อนแบบแผ่น (plate feeder) เครื่องป้อนนี้จะติดตั้งอยู่ข้างใต้ยุ้งปากโม่ การปรับอัตราการป้อนหินสามารถควบคุมได้โดยมีการเคลื่อนไหวซักไป-มา (ปรับความเร็วและช่วงชักได้) มักขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เหมาะสำหรับใช้ป้อนหินที่ไม่แข็งมากนัก เช่น หินปูน

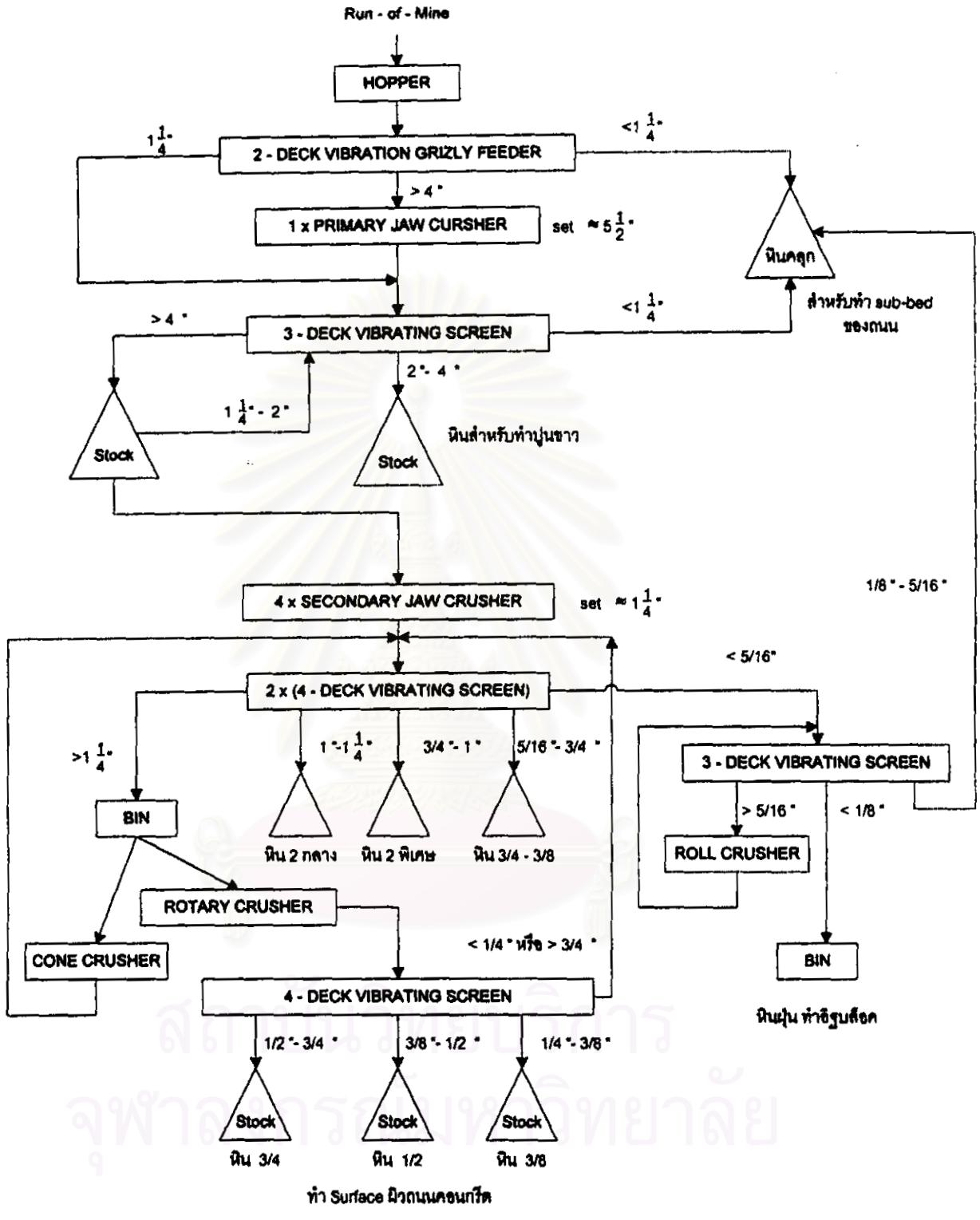
- เครื่องป้อนแบบโซ่ (chain feeder) ประกอบด้วยชุดของโซ่ขนาดใหญ่ต่อเป็นวงพันอยู่รอบๆ รอกและพาดวางอยู่บนหินที่จะป้อน ตัวหินเองจะอยู่บนยุ้งที่มีความเอียง เมื่อรอกหมุน โซ่ก็จะเคลื่อนที่ หินก็จะเคลื่อนไหลไปตามโซ่ การควบคุมอัตราไหลสามารถทำได้โดยการควบคุมการหมุนของรอกที่โซ่พันอยู่

เมื่อหินถูกป้อนเข้าสู่ปากโม่ หินก็จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงและถูกควบคุมขนาดด้วยปากทางออก (set หรือ discharge) หินที่มีขนาดเล็กลงจะถูกลำเลียงด้วยสายพานลำเลียงไปคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่น(Vibrating Screen) ซึ่งจะทำหน้าที่คัดหินออกให้มีขนาดต่างๆกัน ถ้าโรงโม่หินใช้เครื่องป้อนหินแบบแผ่นจะต้องมีตะแกรงสั่นที่ก็จะทำหน้าที่คัดเอาดินปนหินขนาดเล็กออก(ดินจะถูกคัดออกมาด้านล่างของตะแกรงล่างสุด) ดินและหินที่ปนกันอยู่นี้มักจะกองรวมกัน เรียกว่า กองหินคลุก ส่วนหินอื่นๆจะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการต่อไป

อย่างไรก็ตามหินที่ผ่านการย่อยขั้นต้นจะยังคงมีขนาดโตเกินกว่าที่จะนำมาใช้เป็นหินก่อสร้างได้ หินขนาดโตเหล่านี้จะถูกย่อยซ้ำให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องโม่ขั้นที่สอง (Secondary Jaw Crusher) ซึ่งมักจะเป็นเครื่องโม่ทรงกรวย (Cone Crusher) หรือจอว์ (Jaw Crusher) ที่มีขนาดปากเล็กและรูปร่างค่อนข้างแบนซึ่งมักเรียกว่า ปากฉอย ซึ่งหลังจากผ่านการย่อยซ้ำแล้วหินจะถูกนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นอีกชุดหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่คัดขนาดหินที่ผ่านการย่อยมาแล้วให้ได้ขนาดต่างๆก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตามอาจมีหินขนาดโตเกินกว่าที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง หินเหล่านี้จะถูกตะแกรงสั่นคัดออกมา และมักถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องโม่ขั้นที่สาม (Tertiary Crusher) ซึ่งมักใช้ชนิด impact mill หรือ hammer mill หรือ rotary crusher หินที่ถูกย่อยด้วยเครื่องโม่ขั้นที่สามมักจะถูกนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นชุดเดิมอีกครั้งหนึ่ง

หินที่ผ่านตะแกรงสั่นขั้นที่สองก็จะถูกลำเลียงโดยสายพานและตกลงสู่กองหินซึ่งกองตามขนาดหินต่างๆ และจะถูกรถตักตักใส่รถบรรทุกเพื่อลำเลียงออกขายต่อไป สำหรับหินขนาดเล็ก เช่น หินฝุ่นซึ่งก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายมากจะต้องจัดเก็บในยุ้ง และให้รถบรรทุกมารับหินจากก้นยุ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แสดงผังการโม่หินของโรงโม่หินทั่วไป

เครื่องจักรที่สำคัญภายในโรงโม่หินแสดงในรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ภิญโญ มีชำนะ , 2540)

- เครื่องโม่ขั้นต้น (Primary crusher)

เครื่องโม่ขั้นต้นที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ เครื่องโม่จอว์ ลักษณะสำคัญคือ ประกอบด้วยแผ่นย่อย 2 แผ่น แผ่นหนึ่งอยู่กับที่ (Fixed jaw) แต่อีกแผ่นหนึ่งเคลื่อนที่เข้าและออกจากแผ่นแรก (Swing jaw) โดยทำงานคล้ายๆกับขากรรไกรเคี้ยวอาหาร แผ่นย่อยทั้งสองจะทำมุมแหลม (Acute Angle)ซึ่งกันและกัน เมื่อนำหินที่ต้องการมาย่อยผ่านแผ่นทั้งสองก็จะถูกกดหรือหนีบ แล้วปล่อยออกมา หินก็จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วเคลื่อนที่ลงไปข้างล่างด้วยแรงโน้มถ่วง และก็จะถูกกดซ้ำอีกจนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากปากทางออก(set) หินที่ถูกย่อยโดยเครื่องโม่ขั้นต้นจะถูกย่อยให้มีขนาดประมาณ 7.5 – 30 เซนติเมตร

- เครื่องโม่ขั้นที่สอง (Secondary crusher)

เครื่องโม่ขั้นที่สองนี้มักมีน้ำหนักเบา และทำงานเบากว่าเครื่องโม่ข้างต้น เนื่องจากมักทำการย่อยหินที่มาจากเครื่องโม่ขั้นตน หินที่ป้อนเข้ามามักมีขนาดเล็กกว่า 15 เซนติเมตร นอกจากนั้นแล้วระบบการลำเลียงขนส่งตลอดจนระบบป้อนหินเข้าย่อยก็ไม่จำเป็นต้องเป็นระบบที่แข็งแรงมากเท่ากับที่ใช้ในการย่อยขั้นต้น เครื่องโม่ที่นิยมใช้มากได้แก่ เครื่องโม่จอว์ (Secondary Jaw Crusher) เครื่องโม่ทรงกรวย (Cone Crusher) และ เครื่องโม่แบบแท่งทรงกลม (Roll Crusher)

- เครื่องโม่ขั้นที่สาม (Tertiary crusher)

เครื่องโม่ขั้นที่สามที่นิยมใช้ในโรงโม่หิน ได้แก่ เครื่องโม่แบบแรงกระแทก (Impact crusher) ซึ่งอาจเรียกทั่วๆไปว่าเครื่องโม่โรตารี (Rotary crusher)

เครื่องโม่แบบแรงกระแทกจะใช้หลักการของแรงกระแทก(Impact) ในการทำให้เกิดการแตกหักของหิน แรงกระแทกจะมาจากวัสดุแข็งมากกระแทกหินที่ปล่อยให้หล่นลงมา (Free Falling Rock) โดยมีความเร็วสูง วัสดุแข็งหรือตัวตี (Beater) จะส่งผ่านพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ไปยังวัตถุที่ต้องการย่อยโดยการกระทบ ความเครียดภายใน (Internal Stress) ของวัตถุจะมากพอที่จะทำให้วัตถุเกิดการแตกกระจาย แรงกระแทกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อวัตถุไปกระทบแผ่นแข็ง (Breaker plate) อีกข้างหนึ่ง

- เครื่องคัดขนาด (Sizing Screen)

เครื่องคัดขนาดที่นิยมใช้ในโรงโม่ ได้แก่ ตะแกรงสั่น (Vibrating screen) สามารถคัดหินได้ใหญ่ที่สุด 25 เซนติเมตร และเล็กลงไปถึง 250 ไมครอน การสั่นจะอยู่ในแนวนอนโดยการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวไป–มา (Reciprocating device) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า แรงสั่นจะส่งผ่านไปยังโครง (Casing) ของตะแกรง หรือบางแบบอาจใช้การสั่นที่มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหินลอดผ่านตะแกรงในชั้นที่มีขนาดของรูต่างๆกัน ตะแกรงสั่นสามารถทำงานที่ความชัน (slope) ต่ำโดยใช้ความสูง (Head room) น้อย ตะแกรงสั่นหลายชั้น (Multi-deck Vibrating Screen) จะมีการป้อนเข้ามาคัดขนาดโดยตะแกรงรูใหญ่จะอยู่ข้างบนส่วนตะแกรงถัดมาจะมีขนาดรูเล็กลงตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถคัดหินออกมาได้หลายขนาด

2.4 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง

2.4.1 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศทั่วไป

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) และฉบับที่ 12 (พ.ศ.2538)

1) ฝุ่นละอองรวม ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีกราวิเมทริก(gravimetric) ในการวัด
2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน 0.12 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีกราวิเมทริก(gravimetric) ในการวัด

2.4.2 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นจากโรงโม่ บด และย่อยหิน

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องอากาศ ในการประชุมครั้งที่ 3/2538 มีมติกำหนดมาตรฐานมลพิษทางอากาศจากโม่ บด และย่อยหิน ดังนี้

1) มาตรฐานสารมลพิษทางอากาศจากโรงโม่ บด และย่อยหิน

1.1. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใช้มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) โดยมีรายละเอียด คือ

- ฝุ่นละอองรวม (TSP) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 0.10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM-10) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

จุดตรวจวัดให้ทำการตรวจวัดที่คนอยู่หรืออาศัยอยู่ ใช้วิธีการตรวจวัดแบบกราวิเมทริก (Gravimetric High Volume)

1.2. มาตรฐานมลพิษทางอากาศบริเวณแหล่งกำเนิด

1.2.1. กรณีโรงโม่ บด และย่อยหิน ไม่มีการติดตั้งระบบดูดฝุ่นละออง

- มาตรฐานความทึบแสง (Opacity) ที่กระบวนการผลิตของอุปกรณ์โม่ บด และย่อยหิน เช่น เครื่องโม่ย่อยหิน สายพาน ตะแกรงร่อน ฯลฯ ต้องมีความเข้มข้นฝุ่นละอองในรูปของความทึบแสง ไม่เกิน 20%
- จุดตรวจวัด ที่ระยะห่าง 1 เมตร โดยรอบจากขอบจุดกำเนิดฝุ่น วิธีการตรวจวัดแบบวัดความทึบแสดง (Smoke Opacity meter)

1.2.2. กรณีโรงโม่ บด และย่อยหิน มีการติดตั้งระบบดูดฝุ่นละอองระบายอากาศออกทางปล่อง

- กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ระบายออกไม่เกิน 400 มก./ลบ.ม. และค่าความทึบแสง (Opacity) ไม่เกิน 20%
- จุดตรวจวัดที่ปล่องระบายอากาศ วิธีตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองโดยวิธี US.EPA วิธีที่ 5 Determination of Particulate Emission from Stationary Sources ส่วนความทึบแสงใช้วิธีการตรวจวัดแบบวัดความทึบแสง (Smoke Opacity meter)

2) กำหนดให้โรงโม่ บด และย่อยหิน ซึ่งจัดเป็นโรงงานประเภทที่ 3 (1) ตาม พรบ.โรงงาน พ.ศ.2535 ทุกขนาดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษตามมาตรา 68 พรบ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535 ที่ต้องถูกควบคุมการระบายมลพิษให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

2.5 การปล่อยฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน

ฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมโม่ บด และย่อยหิน อาจจำแนกได้เป็น (US EPA, 1992)

- ฝุ่นจากกระบวนการ (Process source) หมายถึง ฝุ่นที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการ ซึ่งสามารถดักจับ และควบคุมได้
- ฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust) หมายถึง ฝุ่นจากพื้นหรือที่เกาะอยู่ตามเครื่องจักร แล้วถูกทำให้ฟุ้งกระจายในอากาศโดยลม หรือการเคลื่อนไหวหรือสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

สิ่งที่มีผลกระทบต่อการปล่อยฝุ่นละออง ได้แก่ (กมล ธนะนพวรรณ, 2540)

1. ชนิด และองค์ประกอบของหิน
2. ขนาดและการกระจายขนาดของหิน
3. ความชื้นของหิน
4. อัตราการผลิต
5. ชนิดของเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน
6. ลักษณะและวิธีการทำงาน
7. สภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ

โดยสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศของโรงโม่หิน ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยฝุ่นเป็นอันดับแรก คือ ลมและความชื้นของหิน

ลักษณะลมเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาค ฤดูกาล และสภาพภูมิอากาศ เราสามารถคาดเดาได้ว่าแหล่งกำเนิดที่ไม่ได้ถูกปิดล้อมจะมีการฟุ้งของฝุ่นผงอย่างรุนแรงในเวลาลมแรง

ความชื้นของหินเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาค ที่ตั้ง ฤดูกาล และสภาพอากาศเช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณการปล่อยฝุ่นในพื้นที่แห้งแล้งจะมากกว่าในพื้นที่ฝนตกชุก และปริมาณฝุ่นในฤดูแล้งจะมากกว่าฤดูฝน ความชื้นของหินมีผลอย่างมากต่อปริมาณการปล่อยฝุ่น ผลกระทบนี้เห็นได้ชัดเจนในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ผิวที่เปียกน้ำจะทำให้ฝุ่นรวมตัวกันหรือจับเกาะกับหินเป็นการลดปริมาณฝุ่น อย่างไรก็ดีเมื่อหินถูกย่อยหรือกระแทกทำให้เกิดฝุ่นจำนวนใหม่ขึ้น หรือเมื่อความชื้นระเหยไปประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นจะน้อยลงหรือหายไปด้วย ดังนั้นโรงโม่หินซึ่งใช้การฉีดน้ำรักษาความชื้นไว้สูงตลอดจะสามารถควบคุมฝุ่นไว้ได้ตลอดกระบวนการ ความชื้นของหินจากเหมืองอาจมีค่าศูนย์หรือหลายเปอร์เซนต์ขึ้นกับสภาพอากาศ โดยปริมาณความชื้นจริงต่อพื้นที่ผิวจะแปรผกผันกับขนาดของหิน โดยทั่วไปหินที่เปียกจะมีน้ำ 1.5 – 4 % หรือมากกว่า

ฝุ่นละอองที่ถูกปล่อยออกจากโรงโม่หินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

- ฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหิน
- ฝุ่นละอองจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหินของโรงโมหิน
- ฝุ่นละอองจากที่เกิดจากการลำเลียงขนส่งหิน

2.5.1 การปล่อยฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหิน

การทำเหมืองหินก่อให้เกิดการปล่อยฝุ่นละอองออกมาเป็นจำนวนมาก กิจกรรมหลักในเหมืองหิน คือ การทำให้หินแตกออกจากกันโดยการเจาะและการระเบิด ฝุ่นฟุ้งกระจายจะถูกปล่อยออกมาจำนวนมากเมื่อมีการระเบิด และเมื่อผนังของหินแยกตัวออกและถล่มลงมาที่พื้นเหมือง หินที่แตกแยกออกมาแล้วจะถูกลำเลียงใส่รถบรรทุกโดยรถตัก ปริมาณฝุ่นฟุ้งกระจายที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของซิลท์ และระยะความสูงของหินที่ตกใส่รถบรรทุก หลังจากนั้นรถบรรทุกก็จะลำเลียงหินไปยังโรงโม่ ระหว่างการขนส่งฝุ่นจากหินในรถบรรทุกอาจจะปล่อยออกมาตามถนนหรือตกลงยังพื้นถนนได้

2.5.2 จุดที่เป็นแหล่งปล่อยฝุ่นในกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน

บริเวณหรือกระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองจากกระบวนการผลิตหิน กิจกรรมต่างๆตั้งแต่การนำหินก้อนใหญ่จากเหมืองหินสู่กระบวนการโม่หิน จนกระทั่งส่งหินที่ย่อยแล้วออกไปจำหน่ายจะก่อให้เกิดฝุ่นละอองได้ในทุกขั้นตอน (Richard, 1976) โดยจุดหรือกระบวนการที่เป็นแหล่งปล่อยฝุ่นในกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน มีดังนี้ คือ

1) การขนส่งบรรทุกหินเข้าสู่โรงโม่
2) การเทหินลงสู่ยุ้งรับหิน (hopper)
3) การบดย่อยหินของเครื่องโม่ชนิดต่างๆ
4) จุดที่หินซึ่งย่อยแล้วตกกระทบลงบนสายพานลำเลียงหิน (Transfer point)
5) การสั่นสะเทือนที่บริเวณตะแกรงสั่นคัดขนาด
6) การเทหินบริเวณกองหิน
7) บริเวณที่รถตักทำการตักหินใส่รถบรรทุก หรือเพื่อเปลี่ยนสถานที่กองหินต่างๆ
8) บริเวณที่มีการลำเลียงขนส่งด้วยรถบรรทุกในเขตโรงโม่หินก่อนออกสู่ถนนใหญ่
9) ลมที่พัดผ่านโรงโม่หิน ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายในหลายจุด เช่น

- สายพานที่ไม่มีวัสดุคลุม
- กองหินต่างๆ
- ตะแกรง และเครื่องโม่ที่มีช่องเปิด
- พื้นที่โรงงานหรือถนนที่มีฝุ่นตกอยู่ เป็นต้น

แต่ทั้งนี้ ตามมาตรฐาน US EPA 1991 กำหนดให้ตำแหน่งปล่อยฝุ่นที่สำคัญภายในโรงโม่หิน ได้แก่

1) เครื่องโม่

ฝุ่นจะเกิดขึ้นและถูกปล่อยออกจากจุดนี้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณช่องป้อนหินเพื่อทำการโม่ และทางออกของหินที่โม่แล้ว ความชื้นและชนิดของเครื่องโม่ที่ใช้จะมีผลต่อการปล่อยฝุ่นออกมาอย่างมาก สัดส่วนการลดขนาดของเครื่องจักร การกระจายขนาดของหินที่โม่แล้ว สัดส่วนของอนุภาคละเอียด และพลังงานที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในอนุภาคละเอียดเหล่านั้นจะมีผลต่อการปล่อยฝุ่นออกมาโดยตรง

เครื่องโม่ที่ใช้การตีหรือการกระแทกจะทำให้เกิดสัดส่วนอนุภาคที่มีขนาดละเอียดในสัดส่วนที่มากกว่าการใช้การอัด นอกจากนั้นเครื่องโม่แบบกระแทกยังมีตัวหมุนกระแทกหินที่มีลักษณะคล้ายใบพัด ทำให้เกิดลมภายในที่พัดฝุ่นออกมามาก ด้วยเหตุผลเหล่านี้เครื่องโม่แบบกระแทกที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นจะก่อให้เกิดการปล่อยฝุ่นออกมาต่อจำนวนตันวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามามากกว่าเครื่องโม่ชนิดอื่นๆ การปล่อยฝุ่นออกมาจากเครื่องโม่ขั้นที่สอง เครื่องโม่ขั้นที่สาม และเครื่องโม่แบบทรงกรวย จะก่อให้เกิดฝุ่นมากกว่าเครื่องโม่จอว์ เพราะจะก่อให้เกิดอนุภาคละเอียดมากกว่า

2) ตะแกรงคัดขนาด

ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากการทำงานของตะแกรงเป็นผลเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของหินที่แห้ง ระดับของการปล่อยฝุ่นในกรณีที่ไม่มีการควบคุมจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนอนุภาคละเอียดที่อยู่ในหินที่ป้อน สัดส่วนความชื้นของหิน และประเภทของตะแกรง โดยทั่วไปตะแกรงที่ใช้คัดขนาดหินที่มีขนาดเล็กกว่าจะปล่อยฝุ่นออกมามากกว่าตะแกรงที่ใช้คัดขนาดหินที่ใหญ่กว่า เช่นเดียวกันตะแกรงที่มีการสั่นที่แอมพลิจูดหรือความถี่สูงกว่าจะปล่อยฝุ่นออกมามากกว่าตะแกรงที่มีการสั่นที่แอมพลิจูดหรือความถี่ต่ำกว่า

3) จุดถ่ายโอนสายพาน

ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากจุดถ่ายโอนสายพานจะขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดหินบนสายพาน สัดส่วนความชื้นอัตราเร็วของสายพาน ความเร็วลมจากสิ่งแวดล้อม และระยะการตกอิสระของหินระหว่างสายพาน (drop high)

กลไกการเกิดฝุ่นโดยการปล่อยหินให้ตกลงมาในอุปกรณ์โม่หิน หรือกองกับพื้น หรือปล่อยให้หินตกลงมาระหว่างการเคลื่อนย้ายโดยใช้สายพานเพื่อขนถ่ายหินเข้าสู่กระบวนการอื่นต่อไป แบ่งได้เป็น 2 กลไก ดังนี้คือ (Paul Cooper, 1995)

- ฝุ่นที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการเทหรือปล่อยหินให้ตกลงมาเป็นสาย (stream line)
- ฝุ่นที่เกิดจากหินที่เทหรือปล่อยลงไปกระทบกับกองหินที่อยู่ด้านล่าง

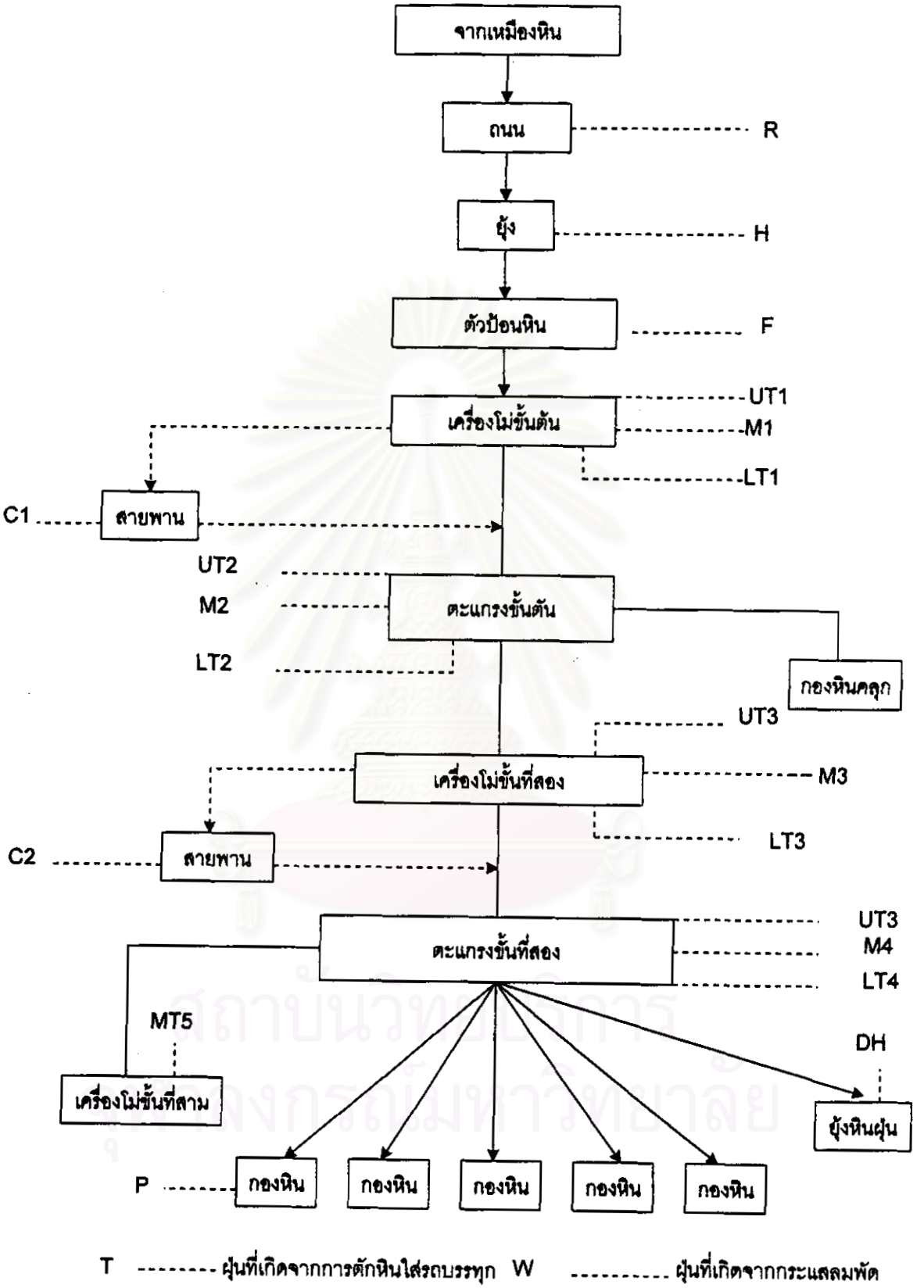
หินที่ตกลงมากระทบกับกองหิน ทำให้อากาศที่อยู่ภายในกองหินเกิดการเคลื่อนที่ออกมา อากาศที่เคลื่อนที่ออกมาทำให้เกิดเป็นแรงทางอากาศพลศาสตร์(aerodynamic) ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค(cohesive force) จึงทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย

2.5.3 ฝุ่นละอองที่เกิดระหว่างเส้นทางลำเลียงขนส่ง

บนเส้นทางลำเลียงขนส่งหิน ฝุ่นจะมาจาก

- หินที่บรรทุกบนรถบรรทุกหิน เมื่อหินแห้งและไม่มีผ้าใบปกคลุม
- พื้นถนนที่มีฝุ่นเมื่อรถบรรทุกหิน หรือรถยนต์วิ่งผ่าน
- ไหล่ถนนที่ไม่ได้ลาดยางหรือเทคอนกรีตเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่าน
- ไหล่ถนนที่ลาดยางหรือเทคอนกรีตที่มีฝุ่นเกาะอยู่บนไหล่ทางนั้นเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่าน

จุดที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นจำนวนมากและลักษณะการเกิดฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงโม่หินแสดงในรูป 2.2 และตารางที่ 2.3 ซึ่งลักษณะโรงโม่หินที่แสดงในรูปนี้เป็นรูปแบบสายการผลิตที่นิยมใช้ทั่วๆไปในประเทศไทย (กมล ธนะนพวรรณ, 2540)



รูปที่ 2.2 จุดกำเนิด และลักษณะการเกิดฝุ่นภายในโรงโม่หิน

ตารางที่ 2.3 จุดกำเนิดฝุ่นสำคัญและลักษณะการเกิดฝุ่นในกระบวนการผลิตของโรงโม่หิน

ตำแหน่ง	จุด	ลักษณะการเกิดฝุ่น
1. ถนน (road)	R	เกิดจากการวิ่งบนถนนของรถบรรทุกหินทั้งขาเข้าและขาออก โดยฝุ่นเกิดจาก 3 กรณี กรณีแรกเกิดจากฝุ่นฟุ้งกระจายออกจากรถบรรทุก กรณีที่สองเกิดจากล้อรถสัมผัสกับพื้นถนนที่ไม่มีวัสดุคลุม และมีเศษหิน ดินและฝุ่นตกหรือฟุ้งออกจากรถบรรทุก กรณีที่สามเกิดจากกระแสลมที่พัดให้ฝุ่นหรือหินที่ตกอยู่บนถนนฟุ้งกระจายขึ้นมา
2. ยุ้งเทหิน (hopper)	H	เกิดจากการเทหินออกจากถ่ายรถบรรทุกลงยังยุ้ง จะเกิดเป็นช่วงๆ แต่มีจำนวนมากโดยเฉพาะหากไม่มีวัสดุปกคลุมเหนือยุ้ง แต่จะเป็นระยะช่วงเวลาไม่นานนักหลังจากการเทหิน
3. ตัวป้อนหิน (feeder)	F	เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวป้อนหินที่ค่อยผลักดันหินหรือสั่นเพื่อให้หินตกลงสู่ปากโม่ใหญ่ ทำให้หินเกิดการเคลื่อนที่ สั่นสะเทือน และเสียดสีกันระหว่างหินกับหิน และระหว่างหินกับเครื่องจักร
4. จุดถ่ายโอนหินด้านบนของเครื่องจักร (upper transfer)	UT	ฝุ่นที่บริเวณด้านบนของเครื่องโม่ จะเกิด 2 กรณี กรณีแรกเกิดจากการที่หินตกกระทบลงบนเครื่องโม่ กรณีที่สองฝุ่นที่เกิดจากการโม่บางส่วนจะฟุ้งกระจายออกทางด้านเหนือปากโม่ เครื่องโม่ขั้นที่สองจะเกิดฝุ่นมากกว่าเครื่องโม่ขั้นต้น เนื่องจากมีฝุ่นขนาดเล็กซึ่งฟุ้งกระจายได้ง่ายเป็นจำนวนมาก และด้านบนของเครื่องโม่ขั้นต้นจะเกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากจากการเทหินทั้งหมดลงจากรถบรรทุก หินบางส่วนจะตกลงสู่เครื่องโม่ทันที แต่เกิดฝุ่นเป็นระยะเวลาสั้นๆ ส่วนฝุ่นที่บริเวณด้านบนของตะแกรง เกิดจากการที่หินตกกระทบกับตะแกรงและจากการที่ฝุ่นที่เกิดภายในตะแกรงฟุ้งกระจายออกด้านบน โดยตะแกรงขั้นที่สองจะเกิดฝุ่นจำนวนมากกว่าตะแกรงขั้นที่หนึ่ง
5. จุดถ่ายโอนหินด้านล่างของเครื่องจักร (lower transfer)	LT	เป็นฝุ่นที่เกิดจากสองกรณี คือ กรณีแรกเกิดจากฝุ่นบางส่วนที่เกิดจากการโม่ภายในเครื่องโม่หรือเกิดจากการสั่น และคัดขนาดของตะแกรงคัดขนาดฟุ้งออกมาทางช่องทางออกที่อยู่ใต้เครื่องโม่หรือตะแกรง กรณีที่สองเกิดจากหินตกกระทบลงยังสายพานลำเลียงที่คอยรับหินอยู่ด้านล่างทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นออกมา

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	จุด	ลักษณะการเกิดฝุ่น
6. ระหว่างจุดถ่ายโอนทั้งสอง	M	ในกรณีของเครื่องโม่ คือ ฝุ่นที่เกิดจากการโม่ภายในเครื่องโม่ที่ฟุ้งออกมาตามรอยชำรุด รอยต่อหรือขอบต่างๆของตัวเครื่องโม่ ถ้าเครื่องโม่มีสภาพที่สมบูรณ์จะเกิดฝุ่นในกรณีนี้ต่ำหรือต่ำมาก ส่วนตะแกรงคัดขนาดฝุ่นที่เกิดบริเวณด้านหลังหรือด้านข้างของตะแกรง เกิดจากการกระทบกันของหินกับตะแกรงชั้นต่างๆ และการสั่นสะเทือนทำให้เกิดฝุ่นภายในตะแกรงและบางส่วนฟุ้งกระจายออกด้านข้างของตะแกรง บริเวณจุดนี้ตะแกรงชั้นที่สองจะเกิดฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูง และปริมาณมากกว่าตะแกรงชั้นต้นมาก เนื่องจากมีตะแกรงหลายชั้นและฝุ่นตกค้างจำนวนมากจากการโม่ในเครื่องโม่ชั้นที่สอง บางครั้งอาจจะเห็นเป็นกลุ่มหมอกฟุ้งกระจายอย่างต่อเนื่อง
7. สายพาน (conveyor)	C	เฉพาะกรณีที่มีสายพานไม่ได้ลำเลียงโดยวิ่งเป็นเส้นเดียวกัน จะเกิดการถ่ายโอนหิน ความสั่นสะเทือนทำให้เกิดฝุ่น
8. กองหินคลุก และกองหิน (pile)	P	เกิดฝุ่นในสามกรณี คือ กรณีแรกเกิดในช่วงเวลาที่หิน ดิน และฝุ่นตกจากสายพานและลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของซิลท์ ความเร็วของลม ความชื้น และความสูงที่ลอยอยู่ในอากาศ กรณีที่สองเกิดจากการที่หิน ดิน และฝุ่นตกกระทบกับกองหิน ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและฟุ้งกระจาย กรณีสุดท้าย เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านกองหินทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายขึ้นมา
9. ยุ้งหินฝุ่น (dust hopper)	DH	หินที่โม่จากเครื่องโม่จะตกลงยุ้งปิด จะเกิดฝุ่นในขณะที่เปิดด้านล่างของยุ้งออกเพื่อให้หินฝุ่นตกลงใส่ยังกระบะท้ายของรถบรรทุก ฝุ่นจะฟุ้งกระจายออกมา
10. การตักหินใส่รถบรรทุก	T	หินที่กองไว้จะถูกตักใส่รถบรรทุก จะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายจำนวนมากจากจุดนี้
11. ลม (wind)	W	กระแสลมจะพัดให้ฝุ่นที่ติดค้างอยู่ตามสายการผลิตต่างๆรวมทั้งพื้นโรงงานภายในโรงโม่ฟุ้งกระจายไปทั่ว ถ้าหากมีการจัดการไม่ให้เกิดฝุ่นภายในโรงโม่ ก็จะเกิดฝุ่นตกสะสมจำนวนน้อย ฝุ่นที่เกิดจากกรณีนี้ก็จะน้อยลง

2.6 แนวทางการควบคุมปริมาณฝุ่นจากโรงโม่หิน

แนวทางการควบคุมปริมาณฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหินแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง ดังนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2541)

- ควบคุมไม่ให้เกิดฝุ่นละอองหรือให้เกิดฝุ่นละอองน้อยที่สุด รวมถึงการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นแล้วนั้นไม่ให้ฟุ้งกระจายออกจากแหล่งกำเนิดอันได้แก่ การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เกิดฝุ่นน้อยที่สุด การฉีดพ่นหยดละอองน้ำ หรือการสร้างระบบรวมรวมและส่งผ่านฝุ่นไปยังถุงกรองเพื่อกำจัดฝุ่น
- ควบคุมไม่ให้ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดออกไปสู่ชุมชนหรือภายนอกโรงโม่ เช่น การหาวัสดุมาคลุมบริเวณที่เกิดฝุ่น การสร้างอาคารโรงโม่ที่ปิดมิดชิด การล้อมรั้วสูงทึบรอบโรงโม่ และการปลูกต้นไม้รอบโรงงาน และปลูก หญ้า หรือพืชคลุมดิน ในบริเวณที่ว่างรอบๆ โรงโม่หิน เป็นต้น
- ควบคุมเพื่อลดโอกาสที่ฝุ่นละอองจะสัมผัสกับ หรือเข้าสู่ระบบหายใจของคนงาน และประชาชนในบริเวณใกล้เคียง เช่น การสร้างห้องทำงานที่ปิดมิดชิด คนงานไม่ต้องเข้าไปทำงานสัมผัสกับฝุ่น การสวมหน้ากากป้องกัน เป็นต้น

2.7 การกำจัดฝุ่นจากโรงโม่หิน

การกำจัด การควบคุม หรือการลดการปล่อยฝุ่นจากกระบวนการผลิตภายในโรงโม่หินมีหลายวิธีที่ประยุกต์ใช้ในการควบคุมฝุ่นจากโรงโม่หินซึ่งก็มีข้อดีข้อเสียในแต่ละวิธี แต่ระบบที่มีการใช้กันอยู่มากและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ สามารถจำแนกใหญ่ๆ ได้ 2 วิธี

1. ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก โดยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำเหนือแหล่งกำเนิดฝุ่น
2. ระบบดูด ท่อส่งฝุ่นและรวบรวมฝุ่น ซึ่งระบบกำจัดฝุ่นในระบบนี้ยังสามารถจำแนกตามระบบรวบรวมฝุ่นออกได้เป็น 2 วิธี
   - ระบบรวบรวมฝุ่นโดยใช้ถุงกรอง
   - ระบบรวบรวมฝุ่นโดยการใช้หอสเปรย์

ระบบควบคุมฝุ่นแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียเมื่อประยุกต์ใช้กับโรงโม่หินดังนี้คือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

- ระบบควบคุมฝุ่นโดยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ

ข้อดี

1) ระบบมีโครงสร้างที่ง่ายๆ ใช้เงินลงทุนน้อย
2) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ
3) สามารถประกอบและติดตั้งได้ง่าย
4) การบำรุงรักษาได้ง่าย

ข้อเสีย

1) ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นแปรเปลี่ยนได้มาก ขึ้นกับขนาดฝุ่นละอองและชนิดของหัวฉีดที่เลือกใช้
2) ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นละเอียดไม่สูงนัก เนื่องจากเป็นระบบเปิดและได้ผลกระทบจากกระแสลมจากสิ่งแวดล้อม
3) มีปัญหาการอุดตันของหัวฉีดถ้าน้ำมีคุณภาพต่ำ
4) อาจก่อให้เกิดการเกาะติดของผงหิน และการอุดตันบางส่วนบนตะแกรงคัดขนาด
5) ละอองน้ำและอากาศที่มีความชื้นสูง อาจนำไปสู่ปัญหาการผุกร่อนของเครื่องจักรและการรั่วของไฟฟ้า และหากใช้ปริมาณน้ำมากเกินไปอาจทำให้มีน้ำขังบริเวณโดยรอบ
6) ไม่เหมาะกับโรงงานที่ขาดแคลนน้ำหรือมีน้ำบาดาลคุณภาพต่ำมาก

- ระบบควบคุมฝุ่นแบบถุงกรอง

ข้อดี

1) ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นสูงกว่า 95-99% แม้ว่าจะเป็นฝุ่นละเอียด
2) ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำช่วย
3) เหมาะกับการกรองฝุ่นจากลมปริมาณที่ค่อนข้างมากซึ่งมีความเข้มข้นของฝุ่นในระดับต่ำถึงปานกลาง

ข้อเสีย

1) มักต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์ดูดและรวบรวมฝุ่น (hood)
2) ต้องการเงินลงทุนค่อนข้างสูง
3) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบดูดรวบรวมฝุ่นค่อนข้างสูง
4) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

5) ต้องติดตามการทำงานของถุงกรอง โดยสังเกตจากผลต่างความดันคร่อมทั้งสองฝั่งของระบบกรอง เพื่อทราบปัญหาการรั่วเสียหายของถุง

6) ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งพอสมควร

- ระบบควบคุมฝุ่นแบบหอสเปรย์

ข้อดี

1) มีประสิทธิภาพในการจับฝุ่นค่อนข้างสูง แต่ยังต่ำกว่าระบบถุงกรอง
2) เหมาะกับการเก็บฝุ่นจากลมในปริมาณน้อยถึงปานกลาง
3) โครงสร้างง่าย ราคาประหยัด
4) การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยากเหมือนระบบถุงกรอง
5) เงินลงทุนไม่สูง (เมื่อไม่คิดรวมระบบดูดรวบรวมฝุ่น)

ข้อเสีย

1) มักต้องใช้ร่วมกับระบบดูดรวบรวมฝุ่น
2) ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งปานกลาง(น้อยกว่าระบบถุงกรอง)
3) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบดูดรวบรวมฝุ่นค่อนข้างสูง
4) ไม่เหมาะกับโรงงานที่ขาดแคลนน้ำ หรือมีน้ำบาดาลคุณภาพต่ำมาก
5) ลมที่ปล่อยออกมาหากมีความชื้นสูงอาจก่อให้เกิดปัญหาการผุกร่อนของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

2.8 <u>หัวฉีดหยดละอองน้ำ</u> (Spray nozzle)

ปัจจุบันนี้หัวฉีดมีอยู่มากมายหลายชนิดแต่ละชนิดมีกลไกการทำงาน และข้อดีแตกต่างกันออกไป เช่น อิสระจากการอุดตัน(freedom from plugging) รูปแบบการฟ่น(pattern of spray) การกระจายขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกฟ่นออกจากหัวฉีด และปริมาณพลังงานที่ใช้ เป็นต้น หัวฉีดจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ได้แก่

1. หัวฉีดด้วยความดัน (Pressure nozzle)
2. หัวฉีดสองของไหล (Two-fluid nozzle)
3. หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary device)

ซึ่งหัวฉีดทั้งสามประเภทมีลักษณะคล้ายกันดังนี้ คือ ประสิทธิภาพต่ำ ราคาถูก ช่วงการกระจายขนาดกว้าง ส่วนหัวฉีดชนิดอื่นๆ เช่น หัวฉีดที่ใช้พลังงานโซนิก (sonic energy) พลังงานอุนตร้าโซนิก (ultrasonic energy) และพลังงานไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic energy) จะให้พลังงานที่สูงกว่าแต่ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปลักษณะสำคัญที่สุดของหัวฉีด คือ ขนาดของหยดละอองน้ำที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีด หยดละอองน้ำที่มีขนาดเล็กมากๆจะถูกพัดพา(entrain)ไป ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงปริมาณของเหลวที่ถูกพัดพาไปในขณะที่หัวฉีดนั้นฉีดพ่นหยดละอองน้ำ เช่น ถ้าติดตั้งหัวฉีดในสภาวะที่มีลมจากสภาพแวดล้อมเท่ากับ 5 ฟุต/วินาที หยดละอองน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า 350 ไมครอน (ค่าความเร็วปั้นปลายประมาณ 5 ฟุต/วินาที)จะถูกพัดพาไป

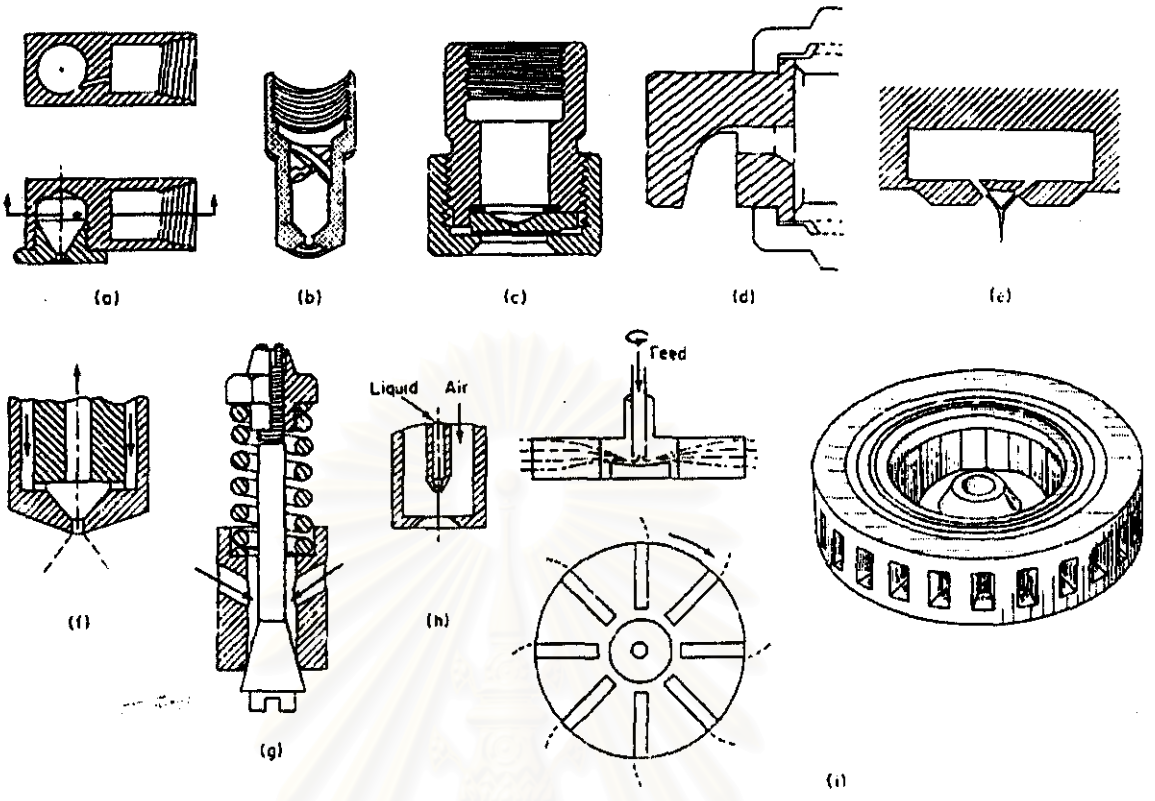
ตารางที่ 2.4 ตารางสรุปลักษณะของหัวฉีด

ชนิดหัวฉีด	ลักษณะการออกแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
หัวฉีดความดัน (Pressure nozzle)	อัตราการไหล $\propto (\Delta P/\rho_l)^{1/2}$	- ง่ายและต้นทุนต่ำ	- ความทนทานต่ำ และรูปแบบการพ่นหยดละอองน้ำไม่แน่นอนเมื่อของเหลวมีความหนืดสูง และเกิดการสึกกร่อนง่าย
1. กรวยกลวง (Hollow cone)	ของเหลวจะถูกอัดให้มีความดันแล้วฉีดออกมาจากห้องไหลวนหรือหมุน เป็นรูปของแผ่นกรวย (conical sheet) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ - แบบห้องไหลวน (Whirl chamber) - แบบหนีศูนย์กลาง (Grooved core)	- ประสิทธิภาพการทำให้เกิดละอองสูง (atomization)	- หยดละอองน้ำจะหนาแน่นบริเวณขอบกรวย
2. กรวยเต็ม (Solid cone)	คล้ายคลึงกับโคนกลวงแต่เพิ่มส่วนที่ทำให้การกระจายตัวสม่ำเสมอ	- รูปแบบการพ่นสม่ำเสมอกว่าแบบโคนกลวง	- ละอองหยาบ - ของเหลวต่างชนิดมีผลต่อรูปแบบการพ่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ชนิดหัวฉีด	ลักษณะการออกแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
3. แบบใบพัด (Fan or Flat spray)	ของเหลวจะถูกอัดให้มีความดัน แล้วฉีดออกมาเป็นรูปแบบแผ่นแบนคล้ายพัด แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ - แบบรูเปิดวงรี (Oval or rectangular orifice) - แบบใช้ตัวเบี่ยง (Deflector) - แบบกระทบ (Impinging jet)	- เหมาะสำหรับการเคลือบผิวโดยการฉีดพ่น	- ละอองหยาบ - ต้องพิจารณาการตั้งศูนย์ลำของไหลเป็นพิเศษ
4. แบบปรับช่วงอัตราการไหล (Nozzle with wider range of turndown)			
a. แบบบายพาส (By-pass)	- ส่วนของเหลวถูกนำกลับมาใช้ใหม่หลังจากผ่านช่องเกลียวแล้ว	- รูปแบบการพ่นสม่ำเสมอ	- ต้องใช้พลังงานและท่อเพิ่มขึ้นสำหรับกระแสลัด(By-pass)
b. แบบก้านลิ้น (poppet)	- ของไหลถูกอัด แล้วฉีดออกมาเป็นแผ่นบางรูปกรวยระหว่างช่องเปิดกับก้านลิ้น (poppet) - ความดันที่เพิ่มขึ้นทำให้ก้านลิ้นเคลื่อนตัวออกและพื้นที่การไหลเพิ่มขึ้น	- ควบคุมอัตราการไหลได้ง่าย	- การรักษาระยะช่องห่างระหว่างช่องเปิดกับก้านลิ้นที่เหมาะสมเป็นไปได้ยาก
หัวฉีดสองของไหล (Two-fluid nozzle)	- ก๊าซกระทบกันบนแกนร่วม และส่งพลังงานเพื่อใช้ในการแตกตัว (break-up)	- ความเร็วสูงขณะที่ความดันต่ำ เนื่องจากความเร็วของกระแสก๊าซสูง - ทางผ่านของของเหลวมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการอุดตันจึงเกิดได้น้อย	- ประสิทธิภาพต่ำกว่าหัวฉีดความดัน
หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary device)	- ของเหลวถูกป้อนเข้าไปในบริเวณใจกลางของจานที่กำลังหมุนด้วยความเร็วสูง และถูกทำให้เป็นหยดละอองที่บริเวณรอบๆ จานโดยแรงหนีศูนย์กลาง	- ขนาดของหยดละอองไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก แม้ว่าปริมาณของเหลวที่ป้อนจะแปรเปลี่ยน - สามารถพ่นฝอยได้แม้กระทั่งของเหลวที่มีความหนืดสูง	- ความซับซ้อนทางกลไกของอุปกรณ์การหมุน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของหัวฉีด(spray nozzle) แบบต่างๆ a. กรวยกลวงแบบห้องไหลวน (whirl - chamber hollow cone) b. กรวยเต็ม(solid cone) c. แบบรูเปิดวงรี (Oval or rectangular orifice) d. แบบใช้ตัวเบี่ยง (deflector jet) e. แบบกระทบ (impinging jet) f. แบบกระแสลัด (By-pass) g. แบบก้านลิ้น (poppet) h. หัวฉีดสองของไหล (Two-fluid nozzle) i. หัวฉีดแบบจานหมุน (Rotary device)

2.9 ระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ

ระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำหรือระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียกนี้เป็นวิธีที่มีความประหยัดและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สูง ประกอบกับเป็นระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงพอสมควรและเหมาะสมอย่างยิ่งต่อโรงโม่หิน เนื่องจากในกระบวนการผลิตการปิดคลุมอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อสร้างระบบดูดและรวบรวมฝุ่นไม่สามารถกระทำได้ จำเป็นต้องมีการเปิดโล่งบางจุดเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา นอกจากนี้ระบบควบคุมฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำยังสามารถใช้ได้กับทุกๆ จุดในกระบวนการผลิต ซึ่งระบบกำจัดฝุ่นแบบรวมรวมและส่งผ่านฝุ่นไปยังถุงกรองหรือหอสเปรย์ไม่สามารถกระทำได้ในทางปฏิบัติ เช่น ในจุดที่หินตกสู่สายพาน กองหิน หรือรถบรรทุก

การกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำเป็นการใช้ของเหลวในการควบคุม ลด และกำจัดฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ (Airborne dust) หรือกำจัดฝุ่นที่แหล่งกำเนิดโดยตรง โดยกระบวนการเกี่ยวข้องมีดังนี้ (กมล ธนะนพวรรณ, 2540)

1. การกักขัง (Confinement) ฝุ่นที่เกิดขึ้นเหนือบริเวณพื้นที่กำเนิดฝุ่นด้วยม่านความชื้น (curtain of moisture)
2. การทำให้ฝุ่นเปียกโดยการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำ
3. การเกิดการจับเป็นกลุ้มก้อน (formation of agglomerate) ที่หนักเกินกว่าจะลอยในอากาศหรือหนักเกินไปที่จะกลายเป็นฝุ่นที่ลอยในอากาศ โดยการผสมกันระหว่างอนุภาคฝุ่นด้วยกันเองและหยดละอองน้ำ

ระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำเป็นวิธีการให้ความชื้นโดยใช้น้ำ และอาจมีการเติมสารประกอบควบคุมฝุ่น(dust control compound) โดยจุดมุ่งหมายหลัก คือ การทำให้ฝุ่นเปียก เพื่อทำให้อนุภาคฝุ่นเมื่อเปียกแล้วจะรวมตัวกันและตกลงมาไม่เกิดการฟุ้งกระจาย

จากที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.5 โดยทั่วไปสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการควบคุมหรือลดปริมาณฝุ่น คือ ปริมาณความชื้นที่ให้แก่หิน สิ่งนี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบจะประสบความสำเร็จหรือไม่ โดยปกติการให้ความชื้นจะเริ่มที่รถบรรทุกที่จุดเทหินซึ่งจะนำความชื้นสู่วัตถุดิบและกำจัดฝุ่นที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการเทหินลงสู่ปากโม่ ในกระบวนการโม่จะทำให้หินมีขนาดเล็กลงและหินเกิดพื้นผิวแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการให้ความชื้นอย่างพอเพียงที่จะปิดพื้นผิวแห้งใหม่ที่ก่อให้เกิดฝุ่นขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของหินภายในเครื่องโม่เป็นการช่วยทำให้ความชื้นแพร่สู่พื้นผิวแห้งใหม่ของหินอีกทางหนึ่งด้วย

หากหินผ่านการควบคุมความชื้นที่เหมาะสมหินขนาดเล็กจะถูกคัดออกจากหินขนาดใหญ่โดยไม่เกิดปัญหา เช่น การอุดตันของตะแกรงเป็นต้น นอกจากนี้การให้ความชื้นในบริเวณจุดถ่ายโอนสายพานและตะแกรงคัดขนาดหินอาจจะไม่จำเป็นอีก ถ้าการให้ความชื้นในจุดก่อนหน้านี้มีความเหมาะสมและเพียงพอที่จะทำให้จุดเหล่านี้ไม่เกิดการฟุ้งของฝุ่น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าการควบคุมปริมาณฝุ่นด้วยวิธีการฉีดหยดละอองน้ำ เป็นวิธีการที่สำคัญในการควบคุมปริมาณฝุ่นเนื่องจากสามารถให้ความชื้นกับหินโดยตรง แต่ในความเป็นจริงแล้วฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเกิดจากวัตถุดิบที่ประกอบด้วยอนุภาคละเอียด เช่น ดิน โคลน ทรายละเอียด ซึ่งพื้นที่ผิวจะสูงมากและทำให้ต้องใช้ความชื้นหรือปริมาณน้ำมากตามไปด้วย

I19265761

การให้ความชื้นแก่วัตถุดิบในสถานการณ์นี้จำเป็นต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของวัตถุดิบในกระบวนการการผลิตให้ช้าลงหรือไม่ก็ต้องมีการปรับลักษณะและอัตราการฉีดพ่นของหยดละอองน้ำ เพราะหยดละอองน้ำจำเป็นต้องสัมผัสกับพื้นผิวของอนุภาคจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีปริมาณเพียงพอ และเหมาะสมกัน ซึ่งความชื้นที่ให้จะต้องมากกว่าการโม่หินทั่วๆไป และถ้ามีอนุภาคละเอียดเช่นนี้มากอาจจะต้องให้ความชื้นสูงถึง 4 – 5 %โดยปริมาตร (กมล ธนะนพวรรณ, 2540) นอกจากนี้ในบางโอกาสการกำจัดฝุ่นแบบเปียกจะทำให้เกิดการเคลือบของอนุภาคขนาดเล็กรอบๆหินที่เป็นผลิตภัณฑ์ (coating of stone) ซึ่งจะเป็นผลให้หินนี้ขายไม่ได้ราคาและไม่สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างหลายชนิดได้ ในสถานการณ์เช่นนี้การใช้ระบบกำจัดฝุ่นที่ผสมผสานระหว่างระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ และระบบรวบรวมและส่งผ่านฝุ่นไปยังถุงกรองหรือหอสเปรย์ซึ่งเรียกอีกอย่างว่าระบบแห้ง เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ระบบเปียกที่ตะแกรง จุดถ่ายโอนหิน กองหิน และการบรรทุกหินขึ้นรถ ส่วนระบบรวบรวมและกำจัดฝุ่นแบบแห้งใช้กับเครื่องโม่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละเอียด เนื่องจากฝุ่นละเอียดนี้จะสามารถเกาะติดหินได้เมื่อโดนความชื้น

ตัวอย่างเช่น เครื่องโม่ขั้นที่สองหรือปากขอย เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละเอียด ถ้าหินถูกให้ความชื้นที่ทางเข้าเครื่องโม่หินขั้นต้นหรือปากโม่ เราจะสามารถควบคุมฝุ่นบริเวณทางเข้าปากโม่ขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มความชื้นให้กับหิน ระบบดูดฝุ่นจะดูดบริเวณภายในเครื่องโม่ขั้นที่สอง ทำให้อนุภาคละเอียดที่จะเกิดขึ้นที่ทางออกของเครื่องโม่ถูกรวบรวมทั้งหมด หลังจากผ่านกระบวนการนี้การให้ความชื้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เกิดสภาวะที่ปราศจากฝุ่นที่จุดถ่ายโอน ตะแกรง ยุ้ง กองหิน และจุดจ่ายหินอื่นๆ และหินที่ได้ก็จะไม่มีปัญหาการเคลือบของฝุ่น สิ่งสำคัญที่ยังต้องคำนึงถึง คือ พบว่าถึงแม้จะมีระบบรวบรวมฝุ่น ดูดฝุ่นที่เกิดจากปากโม่ออกแล้วก็ตาม ยังมีโอกาสเกิดการฟุ้งของฝุ่นที่ตะแกรง กองหิน และอื่นๆ ได้

ส่วนการใช้ระบบกำจัดฝุ่นแบบรวบรวมและส่งผ่านฝุ่นเพียงอย่างเดียวเพื่อกำจัดฝุ่นที่เกิดในกระบวนการผลิตเป็นไปได้ยาก เนื่องจากแหล่งกำเนิดฝุ่นบางจุดนอกจากจะเกิดอนุภาคฝุ่นในปริมาณมากแล้ว ยังยากที่จะครอบคลุมแหล่งกำเนิดนั้นให้มิดชิด และการใช้ระบบดูดและรวบรวมฝุ่นอย่างเดียวจะต้องใช้ระบบรวบรวมกลาง เช่น ถุงกรองขนาดใหญ่มากหรือต้องใช้เป็นจำนวนมาก ใช้ท่อรวบรวมขนาดใหญ่ซึ่งจะต้องเดินไปตามสายการผลิตที่ซับซ้อน แต่จะไม่มีผลตกทอดในการควบคุมหรือลดปริมาณฝุ่นในจุดถัดไปเช่นเดียวกับระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นที่รุนแรงที่กองหิน การตักหินใส่รถบรรทุก สายพาน หรือจุดที่เปิดให้ลมพัดผ่านได้

กล่าวโดยสรุปข้อดีของการใช้ระบบผสมมีดังนี้

1. ภาระของระบบดูดและรวบรวมฝุ่นลดลงอย่างมาก เป็นการลดขนาดตัวรวบรวมและลดขนาดของมอเตอร์ของระบบดูดฝุ่นให้มีขนาดเล็กลง เช่น ถุงกรองมีขนาดเล็กลง
2. ปัญหาของการเคลือบหินของฝุ่นละเอียดจะหมดไป
3. สามารถควบคุมฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดทุกพื้นที่การผลิต
4. ฝุ่นที่รวบรวม สามารถนำไปขาย นำผลกำไรกลับคืนมา ซึ่งสามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบได้

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการควบคุมปัญหามลภาวะอากาศจากโรงโม่หินไม่สามารถหาคำตอบที่ตายตัวได้โดยง่าย หรือรวดเร็ว ในกรณีที่จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบของการกำจัดฝุ่นในแต่ละโรงงานอันได้แก่

- วัตถุดิบที่ใช้
- ชนิดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้
- แผนผังและขนาดโรงงาน
- กำลังการผลิต
- สภาพท้องถิ่น
- กฎหมาย และการบังคับควบคุมมลภาวะอากาศ

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์อย่างระมัดระวังเพื่อให้ระบบกำจัดฝุ่นมีประสิทธิภาพสูงสุดและมีต้นทุนต่ำสุด

ข้อแนะนำในการกำจัดฝุ่นในบางจุด (กมล ธนะนพวรรณ, 2540)

- **จุดเทหิน**

เพราะจุดเทหินมีขนาดใหญ่มาก มีรถขนาดใหญ่เข้าออก และจะต้องเทหินเข้าสู่ปากโม่ขั้นต้น ดังนั้นการใช้ระบบดูด และรวบรวมฝุ่นไม่สามารถกระทำให้ปกคลุมพื้นที่กำเนิดฝุ่นทั้งหมดได้ ในกรณีนี้จะใช้น้ำทำให้หินเปียกเพื่อควบคุมฝุ่น

- **เครื่องโม่ขั้นที่สองหรือปากซอย**

โดยทั่วไปสามารถที่จะปิดคลุม (enclosure) ทั้งหมดและระบายอากาศโดยผ่านระบบดูดและรวบรวมฝุ่น เช่น ระบบถุงกรอง สามารถใช้ได้จะรวมทั้งจุดที่หินตกสู่สายพานด้วย

- **ตะแกรงคัดขนาดและบริเวณจุดถ่ายโอนหิน**

โดยทั่วไปฝุ่นที่ปล่อยออกจากทั้งสองจุดสามารถถูกปิดคลุมทั้งหมดและดูดไปยังถุงกรองได้

- **กองหิน**

ฝุ่นจากกองหินโดยทั่วไปไม่สามารถปิดคลุมได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีการฉีดพ่นหยดละอองน้ำทำให้หินเปียก การพิจารณาว่าหินมีความชื้นเพียงพอหรือไม่อาจมองได้โดยใช้สายตา บริเวณจุดที่หินตกกระทบลงบนกองหินถ้าวัสดุแห้งและประกอบด้วย(silt) ถูกปล่อยลงสู่กองหิน ฝุ่นจำนวนมากจะถูกปล่อยออกมา ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อมีลมพัดฝุ่นจะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย วิธีอื่นในการลดฝุ่นในจุดนี้ คือ การลดความสูงของจุดปล่อยหินให้ใกล้กองหินที่สุด หรือใช้บันไดหิน

รายละเอียดแหล่งปล่อยฝุ่นและการควบคุมฝุ่นแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แหล่งปล่อยฝุ่นและการควบคุมฝุ่นของโรงโม่หิน (กมล ธนะนพวรรณ, 2540)

แหล่งปล่อยฝุ่น	การควบคุม
รถบรรทุกหินมายังโรงโม่ (hauling)	การทำให้ถนนเปียกด้วยน้ำ การราดถนนด้วยสารลดแรงตึงผิว การปรับสภาพดินให้มั่นคง (soil stabilization) การราดด้วยวัสดุคลุมผิวหน้าถนน การควบคุมจราจร
การโม่	การกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
ตะแกรง	การกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
สายพานลำเลียง (จุดถ่ายโอน)	การกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
กองหิน	บันไดหิน (stone ladder) สายพานกองหิน (stacker conveyor) ฉีดหยดละอองน้ำที่จุดปล่อยหินจากสายพาน
ยุ้งเก็บ (storage bin)	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

แหล่งปล่อยฝุ่น	การควบคุม
สายพานจุดอื่นๆ	วัสดุปิดคลุม การกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ
ลมพัดกองหิน	การทำให้เปียกด้วยน้ำ สารลดแรงตึงผิว การปิดคลุม (ไขโล, ยุ้ง อื่นๆ) ตัวกันลม
ลมพัดฝุ่นบนถนนและพื้นที่โรงงาน	การทำให้เปียกด้วยน้ำ การใช้น้ำมัน (oiling) สารลดแรงตึงผิว การทำให้ดินมั่นคง การราดด้วยวัสดุคลุมผิวหน้าถนน การกวาด
การบรรทุกใส่รถ	การทำให้เปียก การดูดจับและรวบรวมฝุ่น

2.10 กลไกของการกำจัดฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำ

จากหัวข้อ 2.8 จะพบว่าระบบกำจัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำเป็นระบบกำจัดฝุ่นที่มีความจำเป็นสำหรับการควบคุม หรือลดปริมาณฝุ่นจากอุตสาหกรรมโม่บด และย่อยหิน

ในการศึกษาระบบกำจัดฝุ่นดังกล่าวจะต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกของการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำ ซึ่งกลไกหลักของการเก็บฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำมี 3 รูปแบบดังนี้ (วิวัฒน์ และคานาโอกะ, 2528)

2.10.1 **การกระทบด้วยแรงเฉื่อย** (Inertial impaction)

ในกรณีที่อนุภาคฝุ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอน หรือใหญ่กว่า การกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะมีผลอย่างชัดเจนที่สุดต่อประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของหยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับฝุ่น โดยในรูปที่ 2.4 แสดงหลักการที่ฝุ่นในกระแสก๊าซสกปรกชน และเกาะติดกับหยดของเหลวเนื่องจากแรงเฉื่อย

ตัวเลขไร้มิติที่นิยมใช้แสดงความมากน้อยของแรงเฉื่อย เรียกว่า พารามิเตอร์แรงเฉื่อย (Inertia parameter) φ ซึ่งนิยามดังนี้

$$\varphi = \frac{\rho_p D_p^2 U_r}{18\mu_a D_w} = \frac{\rho_p D_p U_r R}{18\mu_a} \qquad (2.1)$$

เมื่อ U_r คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดละอองน้ำกับอนุภาคฝุ่น

D_w คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดละอองน้ำ

D_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น

R คือ พารามิเตอร์สกัดกั้น (Interception parameter) ดูรายละเอียดหัวข้อ 2.9.3

โดยที่ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของหยดละอองน้ำ 1 หยดโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (η_i) สามารถคำนวณดังสมการซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าตัวเลขเรย์โนด์ของหยดละอองน้ำ (Kanaoka,et.al., 1972)

- กรณีของ Potential flow

$$\eta_{i,p} = \left[\frac{\varphi}{(\varphi + 0.24)}\right]^2 \qquad \text{เมื่อ} \qquad \text{Re} > 200 \qquad (2.2)$$

- กรณีที่การไหลอยู่ระหว่าง Potential flow และ Viscous flow

$$\eta_{i,pv} = \frac{\eta_{i,v} + \eta_{i,p}(\text{Re}/8.4)^{0.5}}{1 + (\text{Re}/10)^{0.5}} \qquad \text{เมื่อ} \qquad 1 < \text{Re} < 200 \qquad (2.3)$$

- กรณีของ Viscous flow

$$\eta_{II,v} = \frac{(\varphi - 0.607)}{(\varphi^{0.5} + 0.4)^2} \qquad \text{เมื่อ} \qquad \text{Re} < 1 \qquad (2.4)$$

โดยที่ $$\mathrm{Re} = \frac{\rho_a U_r D_w}{\mu_a} \quad (2.5)$$

นั่นคือถ้าอนุภาคฝุ่นยิ่งมีขนาดใหญ่ ความหนาแน่นยิ่งสูง และความเร็วสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับหยดละอองน้ำยิ่งสูงเท่าใด ค่า φ มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยจะยิ่งมีค่าสูงขึ้นด้วย

2.10.2 การแพร่ (Brownian diffusion)

การแพร่เป็นกลไกที่มีบทบาทมากในการจับอนุภาคละเอียดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 ไมครอน หรือเล็กกว่านั้น รูปที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนไหวของอนุภาคแบบบราวเนียน

ตัวเลขไร้มิติแสดงสัดส่วนการพาเทียบกับการแพร่ ได้แก่ Peclet Number (Pe) ;

$$\mathrm{Pe} = \frac{U_{wt} D_w}{\vartheta} \quad (2.6)$$

โดยที่ ϑ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) สามารถคำนวณได้ด้วยสมการต่อไปนี้ เมื่อ $D_p >$ ระยะทาง Mean free path ของโมเลกุลของไหลตัวกลางที่อนุภาคฝุ่นนั้นแขวนลอยอยู่ จะได้ (Einstein Equation,1908)

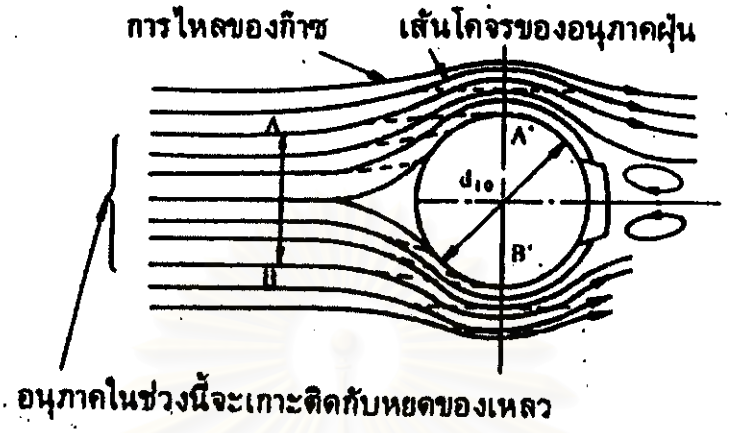
$$\vartheta = \frac{CkT}{3\pi\mu_a D_p} \quad (2.7)$$

โดยที่ C คือ Cunningham Slip Correction Factor หาได้จาก (Calvert et al,1972)

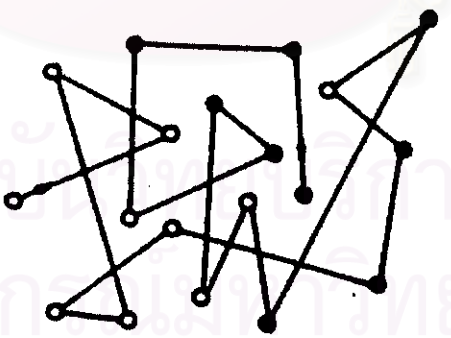
$$C = 1 + \frac{6.21\times10-4}{D_p}T \quad (2.8)$$

โดยที่ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของหยดละอองน้ำโดยการแพร่ (η_{BD}) สามารถคำนวณจาก

$$\eta_{BD} = \frac{8}{\mathrm{Pe}} + 2.23\frac{\mathrm{Re}_d^{1/8}}{\mathrm{Pe}^{5/8}} \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.4 หลักการที่ฝุ่นในกระแสก๊าซสกปรกชน และเกาะติดกับหยดของเหลวเนื่องจากแรงเฉื่อย



รูปที่2.5 แสดงการเคลื่อนไหวของอนุภาคฝุ่นแบบบราวเนียน (Brownian diffusion)

ความเร็วที่อนุภาคเกาะติดผิวโดยการแพร่จะแปรผันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) ของอนุภาคนั้น นั่นคือความเร็วของการเกาะติดผิวจะสูงขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง(ละเอียดขึ้น) ปริมาณที่อนุภาคเกาะติดผิวจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณฝุ่นในก๊าซ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำและสัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาค แต่จะแปรผกผันกับความหนืดของก๊าซ

ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดเหมือนกัน ปริมาณที่อนุภาคฝุ่นเกาะติดหยดของของเหลวโดยกลไกการแพร่จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดละอองน้ำ และความเร็วของก๊าซมีค่าน้อยลง

2.10.3 **การสกัดกั้น** (Interception)

กลไกการสกัดกั้นจะช่วยเสริมประสิทธิภาพในการจับเก็บฝุ่น ไม่ว่าจะโดยกลไกการแพร่หรือกลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อย ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดไม่เล็กจนเป็นจุดเมื่อเทียบกับสิ่งกีดขวาง(เช่น หยดละอองน้ำ) ลักษณะที่อนุภาคสัมผัสและเกาะติดกับสิ่งกีดขวางโดยกลไกการสกัดกั้นได้แสดงดังรูปที่ 2.6

ตัวเลขไร้มิติที่ใช้แสดงผลของการสกัดกั้น มีชื่อเรียกว่า พารามิเตอร์การสกัดกั้น (Interception parameter, R) ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$R = \frac{D_p}{D_w} \tag{2.10}$$

โดยที่ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นด้วยหยดละอองน้ำโดยการสกัดกั้น(η_{DI}) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (Ranz and Wong, 1952)

$$\eta_{DI,p} = (1-R)^2 - \frac{1}{(1+R)} \approx 3R \qquad \text{เมื่อ} \quad Re_d > 100 \tag{2.11}$$

$$\eta_{DI,p} = (1-R)^2 - 3\frac{(1+R)}{2} + \frac{1}{2(1+R)} \approx \frac{3R^2}{2} \qquad \text{เมื่อ} \quad Re_d < 1 \tag{2.12}$$

สรุปว่าประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคจะสูงขึ้นเมื่อ R มีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 2.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยกับค่าพารามิเตอร์แรงเฉื่อยของอนุภาค ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการสกัดกั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการ

เก็บอนุภาคโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพจะสูงขึ้น เมื่อ R มีค่าสูงขึ้น และข้อสรุปเดียวกันนี้สามารถใช้กับกรณีของการเก็บอนุภาคโดยการแพร่หรือกลไกอื่นๆด้วย

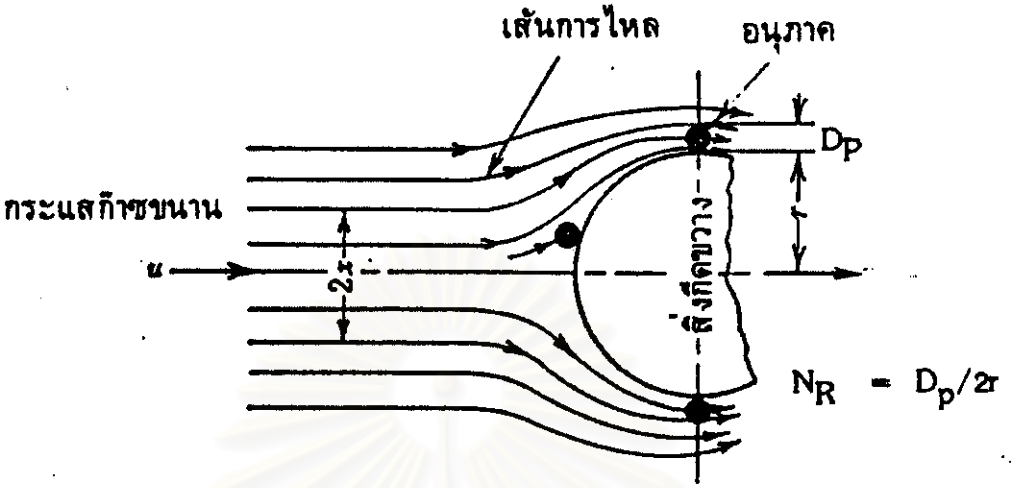
2.10.4 การหาประสิทธิภาพรวมของการจับฝุ่น (Overall Aerodynamic Capture Efficiency)

การหาประสิทธิภาพรวมของการจับฝุ่น สามารถคำนวณได้ดังนี้

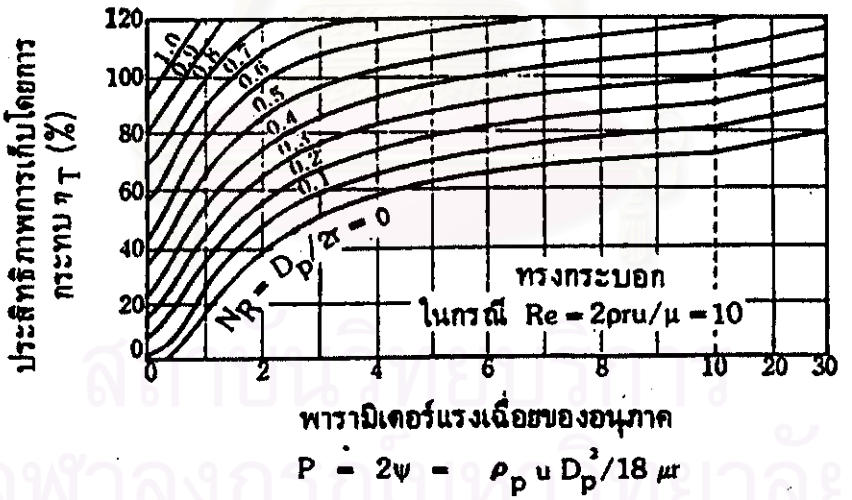
$$\eta_w = 1-(1-\eta_{II})(1-\eta_{DI})(1-\eta_{BD}) \qquad (2.13)$$

ในกรณีของฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการโม่ บด และย่อยหินจะมีขนาดตั้งแต่ 0.1 – 100 ไมครอน (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2539) ฝุ่นที่มีขนาดโตจะตกลงบนพื้นในเวลาอันสั้นกว่าฝุ่นขนาดเล็ก (ฝุ่นขนาด 100, 20 และ 10 ไมครอน มีความเร็วบั้นปลายในอากาศนิ่งประมาณ 80, 3 และ 0.8 ซม./วินาที ตามลำดับ) ส่วนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจะสามารถแพร่เข้าสู่ปอดของมนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงได้ดีกว่าเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูงกว่า ทำให้อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กถูกพิจารณาว่าเป็นมลพิษที่ต้องทำการควบคุม ดังนั้นในการศึกษาจึงมุ่งเน้นที่จะพิจารณาเฉพาะอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กช่วง 0.1 – 10 ไมครอน ซึ่งกลไกสำคัญของการกำจัดฝุ่นด้วยระบบบำบัดฝุ่นแบบฉีดละอองน้ำในที่เปิดโล่งของฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วงดังกล่าว คือ กลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 ลักษณะที่อนุภาคสัมผัส และเกาะติดกับสิ่งกีดขวางโดยกลไกการสกัดกั้น



รูปที่ 2.7 แสดงผลที่การสกัดกั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจับฝุ่นโดยการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (การคำนวณ)

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Richard J. Seible (1981) ได้ทำการศึกษาการควบคุมปริมาณฝุ่นบริเวณจุดถ่ายเท (Transfer point) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นสูง โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการควบคุมปริมาณฝุ่น 2 วิธี คือ วิธีการควบคุมฝุ่นด้วยการฉีดพ่นสารดีเทอร์โฟม และวิธีการควบคุมฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ พร้อมทั้งมีการประยุกต์ให้มีการฉีดหยดละอองน้ำหรือสารดีเทอร์โฟมลงบนสายพานก่อนที่จะเคลื่อนที่มารับวัสดุ จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมปริมาณฝุ่นบริเวณจุดถ่ายเท คือวิธีการควบคุมปริมาณฝุ่นด้วยการฉีดพ่นหยดละอองน้ำ เนื่องจากวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่ามาก และเป็นวิธีที่สะดวกกว่า ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณฝุ่นจะไม่สูงเท่ากับวิธีการควบคุมปริมาณฝุ่นด้วยการฉีดพ่นสารดีเทอร์โฟม แต่ก็สูงพอที่จะใช้ในการควบคุมปริมาณฝุ่นบริเวณจุดถ่ายเทได้ และหากทำการฉีดละอองน้ำหรือสารดีเทอร์โฟมลงบนสายพานก่อนที่จะเคลื่อนที่มารับวัสดุ จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงยิ่งขึ้น

H.G.Horn (1988) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจับฝุ่นโดยหยดน้ำฝน สำหรับการทดลองจะแบ่งเป็น 2 กรณี กรณีแรกศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของหยดน้ำฝน และการไหลของอากาศรอบๆ หยดน้ำฝน โดยใช้ solid model ในการทดลอง อนุภาคที่ใช้มี 2 ขนาด คือ 3.4 ไมครอน และ 32 ไมครอน กรณีที่สองที่ศึกษาประสิทธิภาพของการจับฝุ่นของการจับอนุภาคเมื่อหยดน้ำฝนที่ทราบขนาดตกลงมาด้วยความเร็วคงที่ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมที่มีผู้วิจัยแล้ว

Howard E. Hesketh (1995) ได้ทำการศึกษากลไกการจับฝุ่นของหยดของเหลวภายในหอสเปรย์ทั้งแบบที่อากาศและหยดของเหลวไหลสวนทางกัน (Counter current) และไหลทางเดียวกัน (co current) โดยพบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการจับฝุ่นเมื่อการไหลเป็นแบบสวนทางกัน ได้แก่ ขนาดของของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ ความสูงของหอสเปรย์ และความเร็วของอากาศตามลำดับ ส่วนการไหลแบบทางเดียวกันพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญตามลำดับ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคฝุ่น ความเร็วของอากาศที่เข้าหอสเปรย์ ขนาดของของเหลวที่ใช้จับฝุ่น อัตราส่วนของของเหลวที่ใช้ต่ออากาศที่เข้าหอ และความสูงของหอสเปรย์ ส่วนขนาดเฉลี่ยของของเหลวที่ถูกพ่นออกจากหัวฉีดจะขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลวที่ใช้ อุณหภูมิ ชนิดของหัวฉีด และความดันของของเหลวที่ออกถูกพ่นออกจากหัวฉีด โดยพบว่าเมื่อความดันเพิ่ม อัตราการไหลของของเหลวและความเร็วเริ่มต้นของของเหลวจะมีค่าเพิ่ม แต่ขนาด

ของของเหลวมีค่าเล็กลง นอกจากนี้ได้นำเสนอสมการคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่นในหอสเปรย์โดยกลไกการเก็บฝุ่นสำคัญที่พิจารณาได้แก่ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย และพบว่าเมื่อให้การไหลเป็นแบบสวนทางกันหยดละอองน้ำขนาดเล็กจะจับฝุ่นได้ดีกว่า แต่อาจจะเกิดปัญหา คือ ถ้าหยดละอองน้ำมีขนาดเล็กเกินไปจนถึงค่าวิกฤต(critical small size)หยดละอองน้ำจะไม่ตกลงมา และถ้าต้องการให้หยดของเหลวตกลงมาที่ระยะมากกว่า 4.5 ฟุตจากหัวฉีด และหยดของเหลวทุกขนาดสามารถกำจัดฝุ่นได้ หยดของเหลวต้องมีขนาดใหญ่กว่า 1400 ไมครอน ส่วนถ้าการไหลเป็นแบบไหลทางเดียวกัน อนุภาคฝุ่นส่วนใหญ่จะถูกจับเมื่อเคลื่อนที่ลงมาต่ำกว่าระดับที่ติดตั้งหัวฉีดอันล่างสุด ในบริเวณที่ใกล้หัวฉีดหยดของเหลวจะจับฝุ่นได้ดีกว่า แต่หยดของเหลวใหญ่ซึ่งตกลงมาเร็วกว่าจะให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสูงสเปรย์เพิ่มขึ้น

W.Tanthapanichkoon et al (1997) ได้นำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวกับการจำแนกเครื่องเก็บฝุ่นประเภทต่างๆ ความรู้พื้นฐานของการจับฝุ่นโดยหยดของเหลว และวิธีการใหม่สำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของระบบบำบัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่ง ณ สภาวะการทำงานที่คงตัว ขนาดของหยดละอองน้ำที่พ่นออกมาจากหัวฉีดและขนาดของฝุ่นที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ย พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่น ทั้งนี้การพิจารณาผลกระทบเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การกระจายขนาดของหยดละอองน้ำ การกระจายขนาดของฝุ่น รวมทั้งทิศทางและความเร็วของลมนั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ซับซ้อน และขึ้นกับระบบที่ทำการศึกษา

W.Limpaseni et al (1999) ได้นำแบบจำลองของ W.Tanthapanichkoon et al (1997) มาพัฒนาเพิ่มเติมจากแบบจำลองเดิมที่เคยใช้ค่าเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่นและหยดละอองน้ำสำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของระบบบำบัดฝุ่นด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำในที่เปิดโล่ง ณ สภาวะการทำงานที่คงตัว มาใช้ค่าการกระจายขนาดของหยดละอองน้ำและอนุภาคฝุ่น และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงจากโรงโม่หินพบว่าประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นมีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่า 5%