หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทบทวนเอกสาร

3.1 ศัพท์และความหมาย

มีศัพท์หลายคำเกี่ยวกับอนุภาคมลพิษและมลภาวะอากาศที่จะต้องถูกอธิบายให้มีความหมายและความเข้าใจตรงกันเพื่อจะใช้ในการศึกษาและประยุกต์ใช้ในวงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้มีผู้นิยามศัพท์เหล่านี้ไว้หลายท่าน ซึ่งถ้าเป็นในวงการวิศวกรรมส่วนใหญ่จะมีความหมายใกล้เคียงกัน Howard E. Hesketh (1974) ได้ให้ความหมายของศัพท์เหล่านี้ไว้ดังนี้

อนุภาคมลพิษ (particulate matter) คือ วัตถุหรือสสารที่เป็นของเหลวหรือของแข็งใดๆที่อยู่ในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.0002 ถึง 500 ไมครอน

ละอองไอ (aerosol) คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวขนาดเล็กซึ่งแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ โดยทั่วไปได้แก่ขนาดตั้งแต่ 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 ถึง 1 ไมครอน

หมอก (fog or mist) คือ ละอองไอที่ฟุ้งกระจายเป็นของเหลว โดยสามารถเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของสภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งของไอระเหย หรือมาจากการกระจายของเหลวด้วยการตี พ่น หรือกวนให้เป็นฟอง มีขนาดตั้งแต่ 0.001 - 10 ไมครอน

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

มลภาวะอากาศ (air pollution) คือ การดำรงอยู่ของสสารหรือวัตถุที่ผิดปกติ (abnormal) ในอากาศหรือบรรยากาศที่เป็นผลให้เกิดอันตรายหรือผลร้ายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของคน

ตัวคูณอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษจากแหล่งกำเนิด (emission factor) คือ ค่าเฉพาะที่ที่บ่งชี้ให้เห็นถึงระดับปรกติของอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษที่ปล่อยออกมาจากแหล่งปล่อย (emission source) เมื่อมีการทำงานหรือกิจกรรมปรกติของแหล่งกำเนิด

US EPA (1995) ได้ให้ความหมายของศัพท์ที่อธิบายถึงขนาดของอนุภาคต่างๆ ที่นิยมเขียนเป็นสัญลักษณ์ย่อในภาษาอังกฤษ ดังนี้

TSP (ฝุ่นละอองรวมทั้งหมด , Total Suspended Particulate) คือ ฝุ่นที่สามารถถูกเก็บตัวอย่างและตรวจวัดได้โดยเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูง TSP มีช่วงของขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง จากการทดสอบในอุโมงค์ลม เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนได้เกือบ 100 % จนกระทั่งสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับ 100 ไมครอนได้เพียงไม่กี่เปอร์เซนต์เท่านั้น เพราะว่าเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงมิได้มีการบ่งชี้ถึงช่วงของขนาดอนุภาคที่เก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตามได้ระบุถึงค่า effective cut point ที่สามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ได้เท่ากับ 30 ไมครอน

PM-10 คือ ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ไม่โตเกินกว่า 10 ไมครอน

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

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

3.2 อันตรายของฝุ่น (dust hazard)

โรงโม่หินได้ก่อให้เกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากซึ่งฝุ่นเหล่านี้ได้ก่อให้เกิดอันตรายและผลเสียต่างๆ ต่อคนและสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมาย ซึ่งสามารถจำแนกอันตรายของฝุ่นได้เป็น 2 ประเภท ตามผลที่เกิดตามมา ดังนี้

3.2.1 อันตรายของฝุ่นต่อสภาพแวดล้อม การทำงาน และการดำเนินชีวิต

มลพิษจากฝุ่นก่อให้เกิดความรำคาญ ลดการมองเห็น เป็นสาเหตุที่ทำให้รู้สึกไม่สะดวกสบาย ระคายเคือง ทำให้ทำงานได้ไม่สะดวกเป็นผลให้ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย ซึ่งฝุ่นที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้ได้แก่ฝุ่นเกือบทุกขนาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นขนาดใหญ่ (International Labour Office , 1965) นอกจากนั้นยังมีฝุ่นจำพวกหนึ่งสามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานและสามารถลอยไปได้ไกล ซึ่งถ้าบริเวณนั้นเกิดฝุ่นเป็นจำนวนมาก จะทำให้ลดการมองเห็นลงอย่างเห็นได้ชัด ทำให้บริเวณนั้นมืดลงและทำให้มีปัญหาในการสัญจรไปมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้ามืดและช่วงเย็นถึงค่ำ

ดังเช่นกับบริเวณตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีโรงโม่หินตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก ตลอดเส้นทางที่รถบรรทุกวัตถุดิบแล่นผ่านจะมีสภาพของฝุ่นละอองฟุ้งกระจายทั้งบริเวณโรงงานและบ้านเรือนใกล้เคียง สภาพบ้านเรือนในตำบลนี้จะมีฝุ่นละอองจับ (กรมควบคุมมลพิษ , 2539)

3.2.2 อันตรายของฝุ่นต่อสุขภาพ

อันตรายนี้จะมีผลทั้งคนงานที่ทำงานอยู่ในโรงงาน ผู้ประกอบการ ประชาชนที่อยู่รอบๆโรงงานหรือเขตที่มีโรงโม่หินตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก และรวมถึงผู้ที่เดินทางสัญจรไปมาผ่านโรงโม่ ฝุ่นจำนวนมากเหล่านี้จะลอยอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เกิดความรู้สึกเดือดร้อนรำคาญ หงุดหงิด ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อดวงตา และที่สำคัญที่สุดคืออันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและปอดซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียด

3.2.2.1 กระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจโดยการหายใจ (International Labour Office , 1965) อากาศที่หายใจจะเข้าสู่จมูก คอ ผ่านสู่หลอดลม ขั้วปอด และจากขั้วปอดจะแยกออกสู่ปอดทั้งสองข้างและกระจายออกเป็นท่อขนาดเล็ก ท่อฝอย และถุงลมปอดในที่สุด ซึ่งที่ถุงลมปอดจะมีเส้นเลือดฝอยและท่อน้ำเหลืองอยู่รอบๆด้วย

แต่ละส่วนของระบบทางเดินหายใจจะมีกลไกในการป้องกันที่จะดักจับสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามากับอากาศที่เราหายใจอยู่ อนุภาคของฝุ่นขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 10 ไมครอน) ส่วนใหญ่จะถูกดักจับภายช่องจมูกและคอ ฝุ่นที่สามารถลอดผ่านไปได้บางส่วนจะถูกจับโดยการคัดหลั่งน้ำเมือกออกจากผิวของหลอดลมและท่อลมสาขา เมือกและอนุภาคที่ถูกจับเหล่านี้จะถูกดันขึ้นมาโดยขน

ขนาดเล็ก (hairs or cilia) จำนวนมากที่ทำให้เมือกหรือเสมหะเหล่านี้เคลื่อนที่ออกมาจากหลอดลมด้วยอัตราครึ่งนิ้วต่อนาที และจะถูกขับออกในที่สุด อนุภาคที่เหลือที่เล็กกว่านี้ซึ่งส่วนใหญ่จะเล็กกว่า 5 ไมครอนอาจจะผ่านเข้าสู่ถุงลมปอดในที่สุด ที่นี่จะมีเซลชนิดหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้เก็บอนุภาคที่หลุดเข้ามา (mobile scavenger cell) เรียกว่า phagocyte ซึ่งจะลูดกลืนอนุภาคเหล่านี้และนำอนุภาคเหล่านี้ออกไปยังหลอดลมฝอยซึ่งจะถูกผลักดันออกไปโดยขนขนาดเล็กในที่สุด แต่อนุภาคบางส่วนที่เหลืออยู่จะผ่านทะลุถุงลมปอดและฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อปอด และจะทะลุเข้าท่อน้ำเหลืองไปยังต่อมน้ำเหลืองซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวกรองซึ่งฝุ่นจำนวนหนึ่งจะติดอยู่ที่นั่น บางส่วนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเส้นใยหรือการเกิดขึ้นของเยื่อเหนียวหรือเยื่อพังผืดที่ปอดซึ่งจะเกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อที่ฝุ่นฝังตัวหรือติดอยู่ ส่วนอนุภาคที่เหลือซึ่งโดยมากมีขนาดเล็กมากจะออกมากับลมหายใจออก

3.2.2.2 ผลร้ายของฝุ่นละอองต่อระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นละอองโดยทั่วไปจะมีผลต่อร่างกายมากน้องเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของฝุ่น ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่สัมผัส ความแข็งแรงหรือภูมิต้านทานของผู้ที่สูดเข้าไป (วินัย อยู่สุข , 2527)

- เกิดเป็นโรคภูมิแพ้ (allergic reaction) โดยการหายใจเอาฝุ่นบางชนิดเข้าไปแล้ว เกิดการกระตุ้นที่เนื้อเยื่อ ทำให้ปล่อยเยื่อเมือกออกมาห่อหุ้มและค่อยๆขับออกมาโดยขนเล็กๆ การสะสมของฝุ่นอยู่ที่ผิวของระบบทางเดินหายใจจะทำให้ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการนี้ขึ้นชั่วครั้งชั่วคราวเป็นอาการที่ไม่รุนแรงมาก

- นิวโมโคนิโอซีส (pneumoconiosis) หมายถึง ปอดที่มีอาการผิดปกติหรือโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นอนินทรีย์ (inorganic dust) จากบรรยากาศเข้าไปสะสมในปอด ลักษณะของนิวโมโคนิโอซีสนั้นจะเป็นเส้นใยค่อนข้างแข็งที่ติดอยู่กับปอด มีสาเหตุเนื่องมาจากการระคายเคืองของฝุ่นที่เราหายใจเข้าไปที่ผ่านทะลุหลอดลมเข้าไปแล้ว ปอดจะสร้างเยื่อเหนียวหรือเส้นใยมาห่อหุ้มไว้ไม่ให้ปอดต้องระคายเคืองมาก จะทำให้เนื้อเยื่อปอดเกิดอาการแข็งตัว (fibrosis) ถ้าหากเรายิ่งหายใจเอาฝุ่นเข้าปอดมากเท่าไร โอกาสที่จะเป็นโรคปอดแข็งหรือนิวโมโคนิโอซีสมากเท่านั้น และถ้าเป็นโรคปอดแข็งประสิทธิภาพการทำงานของปอดย่อมลดลง อาการขั้นแรกของปอดคือหายใจลำบาก ฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรคนี้มีหลายชนิด โรคที่เกิดขึ้นจะมีชื่อเรียกตามชนิดของฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ซิลิโคซีส แอสเบสโตซีส เบอริลลิโอซีส เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงฝุ่นที่มีมากในเหมืองหินและโรงโม่หิน คือซิลิโคซีส

- ซิลิโคซีส (silicosis) เป็นโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นทรายหรือฝุ่นซิลิกาเข้าไป เมื่อหายใจเอาฝุ่นซิบิกาที่เป็นผลึกแหลมคมเข้าไปในปอดสะสมอยู่ในปอด ปอดจะสร้างเยื่อพังผืดมาห่อหุ้มผลึกเหล่านั้นไว้ อาการของโรคนี้คือ หายใจลำบาก ต้องหายใจถี่ๆ สั้นๆ ปริมาตรปอดลด

ลง เหนื่อยง่าย ทำงานได้น้อยลง อ่อนเพลีย ซึ่งอาจจะนำมาสู่การติดเชื้อวัณโรคได้ง่าย แต่อุตสาหกรรมไม่หินส่วนใหญ่จะมีซิลิกาในหินที่เป็นวัตถุดิบต่ำมากหรือไม่มีเลย

3.2.3 ผลกระทบในส่วนที่เกี่ยวกับขนาดของฝุ่น

ขนาดของฝุ่นจะแปรผกผันกับผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจมนุษย์ โดยจะแบ่งตามขนาดเป็น 3 ขนาด (กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี , 2540) ดังนี้

1) ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาดนี้ส่วนใหญ่จะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ไม่นานก็จะตกสู่พื้นดิน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจมักจะติดอยู่ในจมูกและทางเดินอากาศส่วนบนเกือบทั้งหมด จะก่อให้เกิดผลกระทบกับทางเดินหายใจทำให้เกิดอาการ เช่น หายใจไม่สะดวก จาม คัดจมูก แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจมากนัก ยกเว้นได้รับในปริมาณมากๆ และเป็นเวลานาน แต่ฝุ่นขนาดนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่อการมองเห็นอย่างมากอันนำมาสู่ปัญหาของการทำงาน การสัญจรและการทำงานของเครื่องจักร และจะทำให้ผู้ที่สัมผัสเดือดร้อนรำคาญอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อผิวหนัง หู และดวงตา

2) ฝุ่นที่มีขนาด 0.1 ถึง 10 ไมครอน ฝุ่นขนาดนี้สามารถเข้าไปถึงส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจอันจะส่งผลต่ออวัยวะต่างๆ ภายในระบบ นอกจากนี้ฝุ่นขนาดนี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยได้ตาเปล่า จึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าฝุ่นเหล่านี้ฟุ้งกระจายอยู่ในบริเวณใดบ้าง ทำให้หลีกเลี่ยงได้ยากและฝุ่นขนาดนี้ยังมีน้ำหนักน้อยมากทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานมาก

ฝุ่นขนาดเล็กบางชนิดที่สามารถเคลื่อนตัวไปถึงปลายสุดของถุงลมปอด อาจจะก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง ประเภทของฝุ่นขนาดเล็กที่อันตรายที่อาจพบในอุตสาหกรรมไม่หิน ได้แก่ ฝุ่นจากซิลิกาซึ่งส่วนใหญ่มาจากหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) จะก่อให้เกิดโรคซิลิโคซิส ซึ่งโรคทั้งสองอาจทำให้ถึงตายได้หรืออาจก่อให้เกิดโรคแทรกซ้อนอื่นๆ เช่น วัณโรค มะเร็ง เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการเหมืองหินและโรงโม่หินจะพยายามหลีกเลี่ยงหินที่มีแร่ซิลิกาอยู่แล้ว เนื่องจากหินที่มีแร่ซิลิกาหรือควอทซ์จะเป็นหินที่แข็งมาก ทำให้เครื่องโม่สึกหรอมาก อายุการใช้งานต่ำ

3) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน จะเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก โดยสามารถเคลื่อนตัวเข้าออกจากระบบทางเดินหายใจได้คล้ายก๊าซ ถือว่าเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจน้อยมาก

3.3 โรงโม่หินและกระบวนการผลิต

ในปัจจุบันความต้องการใช้หินเพื่อการก่อสร้างและทำปูนซีเมนต์ได้ทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ในปี 2537 ประมาณว่าปริมาณการผลิตหินย่อยอยู่ที่เท่ากับ 240 ล้านตัน และคาดว่าในปี 2550 จะมีความต้องการใช้หินในประเทศไทยทั้งหมดประมาณ 660 ล้านตันต่อปี (ฉลับ ปัทมสูต , 2539) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมนี้มีแต่แนวโน้มที่จะเติบโตขึ้นทุกปีและจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมากในปัจจุบันและอนาคต เราไม่สามารถปฏิเสธว่าอุตสาหกรรมเหมืองหิน อุตสาหกรรมย่อยหิน และการขนส่งหินออกจากโรงโม่หินที่ไม่มีการควบคุมเป็นผลโดยตรงทำให้ เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในบริเวณรอบๆ เหมืองและโรงโม่หิน

เนื่องจากหินมีค่าใช้จ่ายสูงมากในการขนส่งซึ่งจะส่งผลให้หินมีราคาแพงจนแม้กระทั่งแพงกว่าราคาหินที่ซื้อจากแหล่งผลิตหลายเท่า โดยมีการคำนวณว่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วยรถบรรทุกโดยการบรรทุกหินทั้งขาไปและขากลับอยู่ในช่วง 0.85 - 0.95 บาท/ตัน/กม. (กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี , 2539) จึงจำเป็นต้องผลิตให้ใกล้แหล่งที่มีการใช้หินที่สุด เราจึงสามารถพบโรงโม่หินจำนวนมากอยู่ในเขตจังหวัดสระบุรีซึ่งเป็นแหล่งหินขนาดใหญ่ที่ใกล้กรุงเทพฯมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณตำบลหน้าพระลาน อำเภอเมือง จ. สระบุรี ที่มีโรงโม่จำนวนมากตั้งอยู่ใกล้เคียงกัน ปัญหาฝุ่นละอองในบริเวณนั้นอยู่ในขั้นที่รุนแรงมาก การตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศแวดล้อมโรงงาน โดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเมือง จ.สระบุรี ในบางเดือนมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเกินมาตรฐานทุกวัน เช่นในเดือน มีนาคม (กรมควบคุมมลพิษ , 2539) ในเดือนอื่นๆ จำนวนวันส่วนใหญ่ก็เกินจากมาตราฐานที่กำหนด ค่าเฉลี่ยที่ได้ของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนก็มีค่าสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ดังนั้นเราจะควบคุมอย่างไรให้อุตสาหกรรมนี้มีผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในการศึกษานี้จะศึกษาครอบคลุมเฉพาะปัญหาฝุ่นละอองจากโรงโม่หิน

3.3.1 กระบวนการผลิต

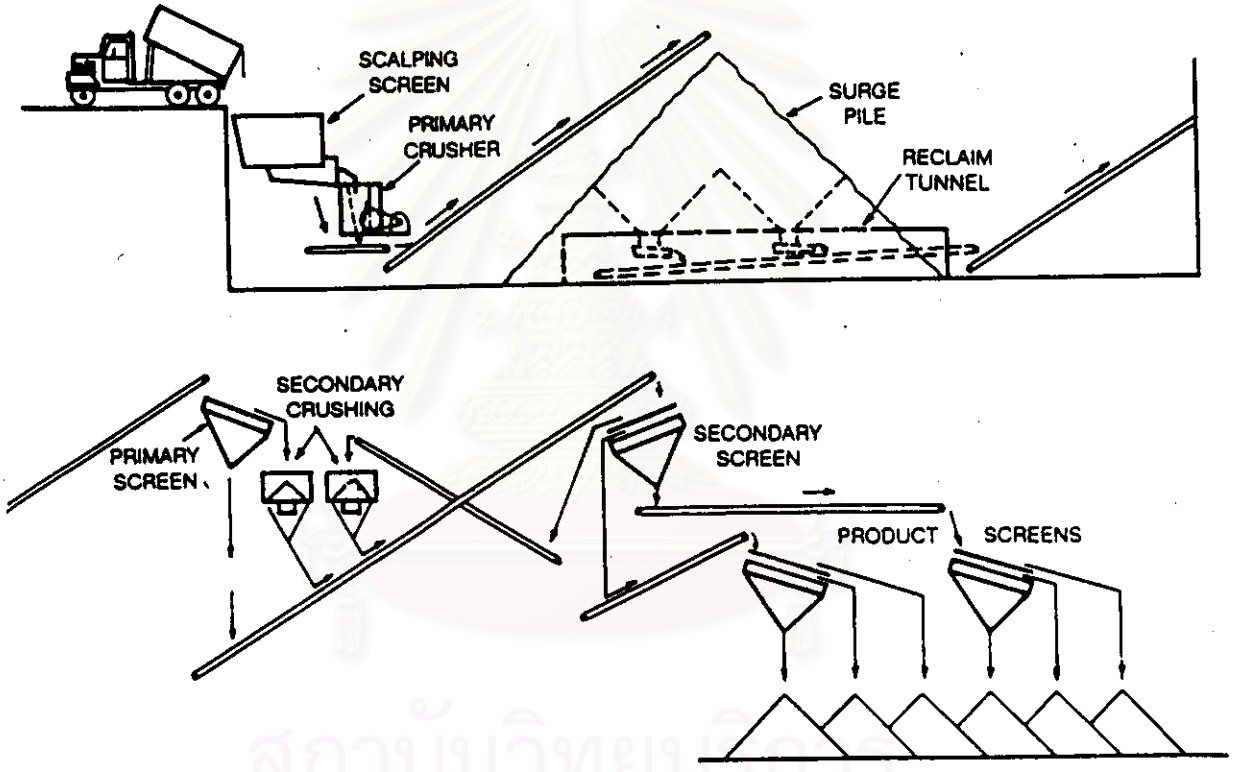
กระบวนการผลิตหินในรูปแบบสายการผลิตที่นิยมกันทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1 , 3.2 และ 3.3 และรูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน กระบวนการผลิตภายในโรงโม่หินเริ่มจากการนำหินออกมาจากเหมืองหินโดยการเจาะและระเบิด (Yocom , 1982) จะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจาย (fugitive dust) ขึ้นหลังจากการระเบิดเกิดขึ้น หินจะแตกออกและตกลงจากหน้าผาลงสู่พื้น

ตารางที่ 3.1 คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี ปี พ.ศ. 2539 (กรมควบคุมมลพิษ , 2540)

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ก๊าซโอโซน (O3) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ug/m^3)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน
มกราคม	129.0	22.8	0	70.0	18.0	0	3.0	1.2	0	74.0	25.8	0	677.0	382.0	29
กุมภาพันธ์	86.0	6.9	0	101.0	18.5	0	3.0	1.0	0	70.0	26.9	0	660.1	256.2	21
มีนาคม	157.0	8.8	0	78.0	23.4	0	4.0	0.8	0	85.0	14.0	0	582.8	297.2	31
เมษายน	42.0	5.2	0	82.0	21.8	0	1.6	0.7	0	70.0	12.4	0	506.3	264.4	26
พฤษภาคม	72.0	4.7	0	73.0	19.9	0	16.3	3.7	0	46.2	4.9	0	677.5	365.6	30
มิถุนายน	49.0	6.1	0	68.0	19.2	0	2.1	0.6	0	17.0	3.2	0	702.3	441.8	29
กรกฎาคม	43.0	5.5	0	43.0	16.2	0	1.7	0.4	0	28.0	3.5	0	642.2	329.0	24
สิงหาคม	39.0	5.2	0	49.0	14.1	0	7.9	0.4	0	23.3	3.0	0	623.7	415.2	25
กันยายน	57.0	2.7	0	46.0	12.5	0	8.6	0.6	0	67.0	3.8	0	504.8	237.7	21
ตุลาคม	20.0	2.7	0	35.0	9.2	0	8.4	0.7	0	40.0	9.8	0	351.3	103.6	8
พฤศจิกายน	21.7	2.7	0	79.0	14.8	0	1.4	0.4	0	42.0	15.2	0	629.8	201.5	12
ธันวาคม	39.9	3.0	0	53.0	10.3	0	1.3	0.5	0	55.0	25.4	0	399.9	247.1	16
ค่ามาตรฐาน	300			170			30			100			120		

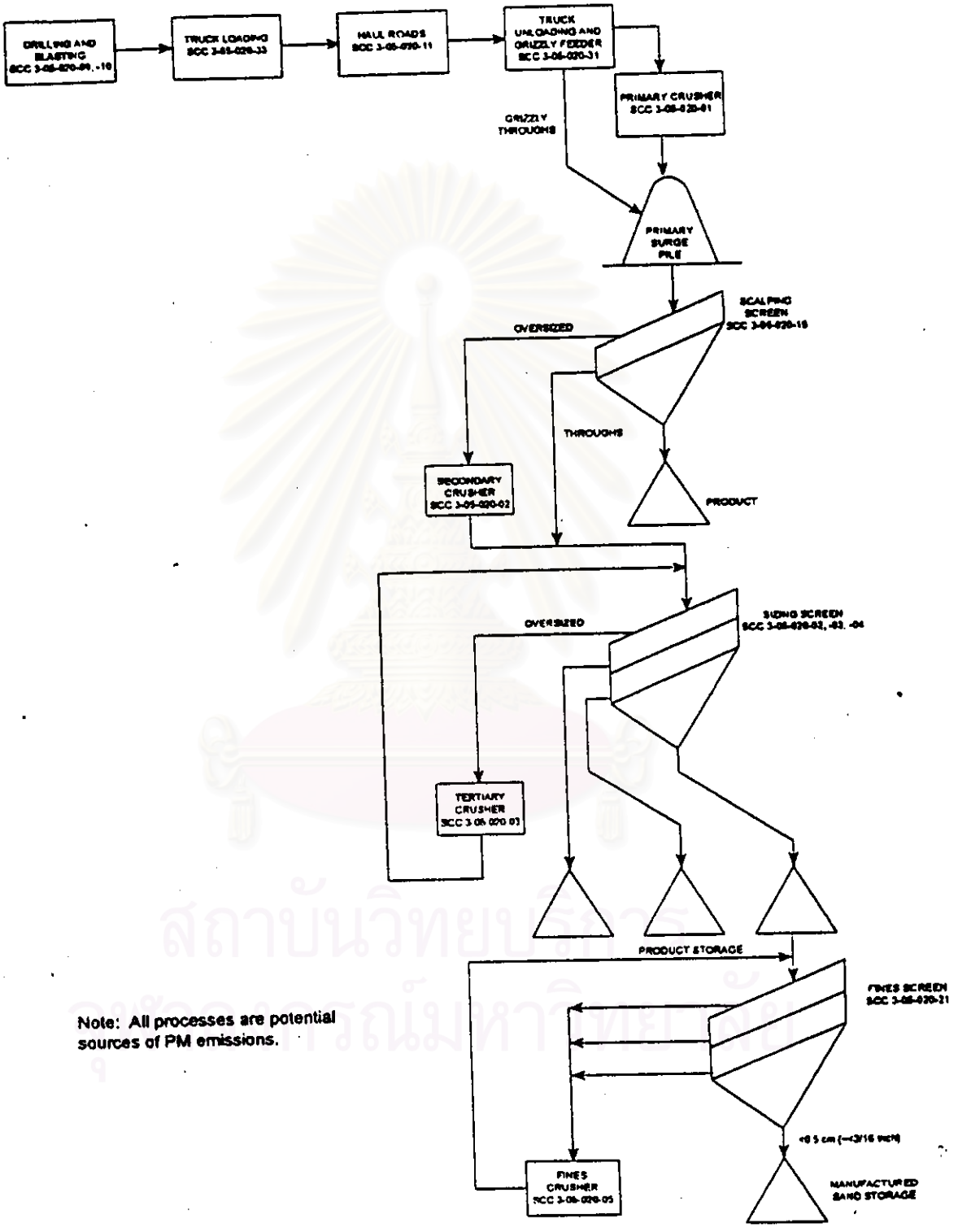
ตารางที่ 3.2 คุณภาพอากาศบริเวณโรงเรียนหน้าพระลาน ต.หน้าพระลาน จ.สระบุรี เดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ 2540 (กรมควบคุมมลพิษ , 2540)

เดือน	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO2) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppm)			ก๊าซโอโซน (O3) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง (ppb)			ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ug/m^3)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	จำนวนครั้งที่สูงกว่ามาตรฐาน
มกราคม	106.0	5.5	0	72.0	21.0	0	2.8	0.7	0	56.0	21.6	0	731.3	346.9	28
กุมภาพันธ์	59.0	4.4	0	120.0	25.2	0	1.8	0.5	0	63.0	21.1	0	465.6	229.6	22
ค่ามาตรฐาน	300			170			30			100			120.0		

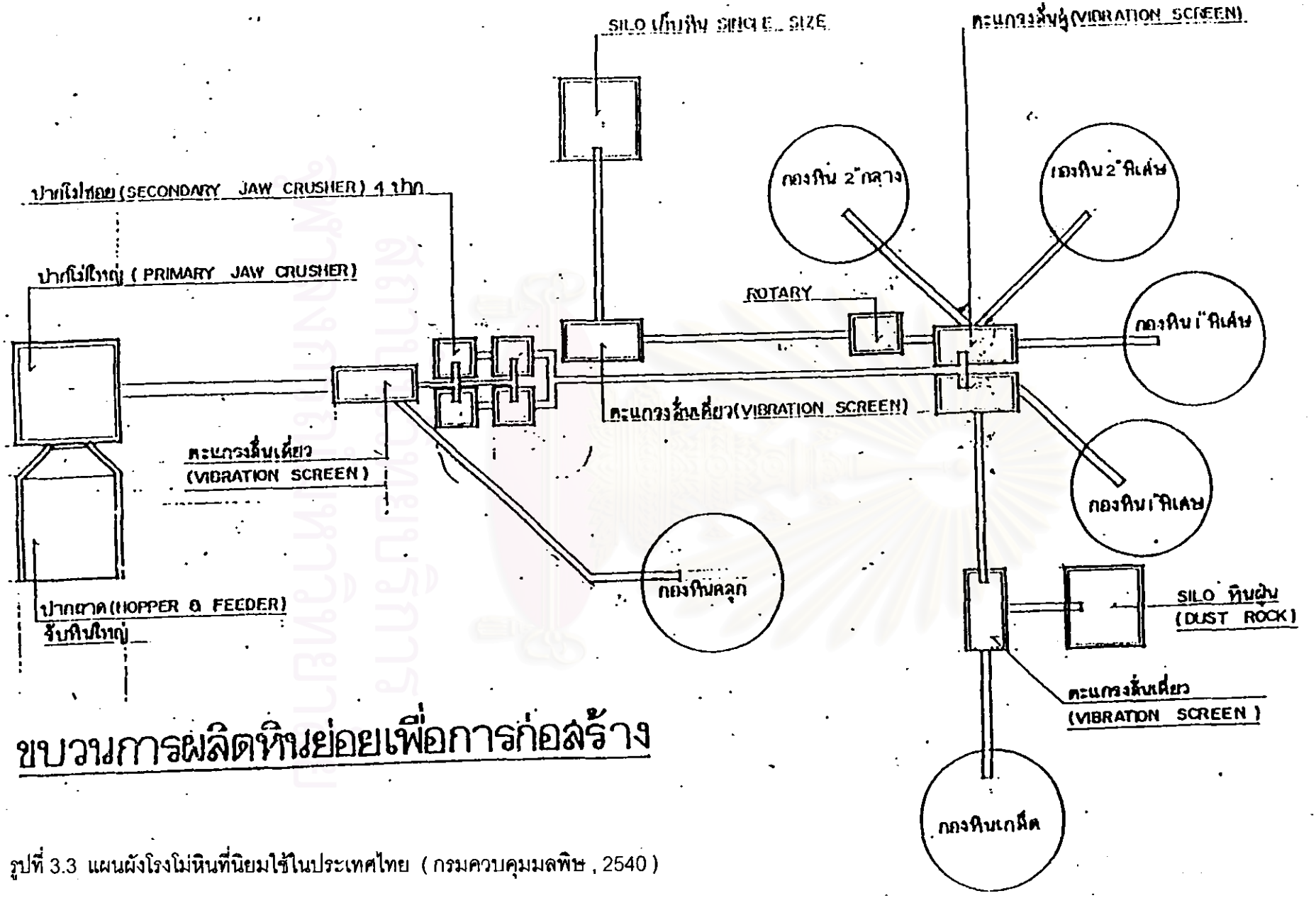


รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตทั่วๆ ไปในโรงโม่หิน (Yocom , 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



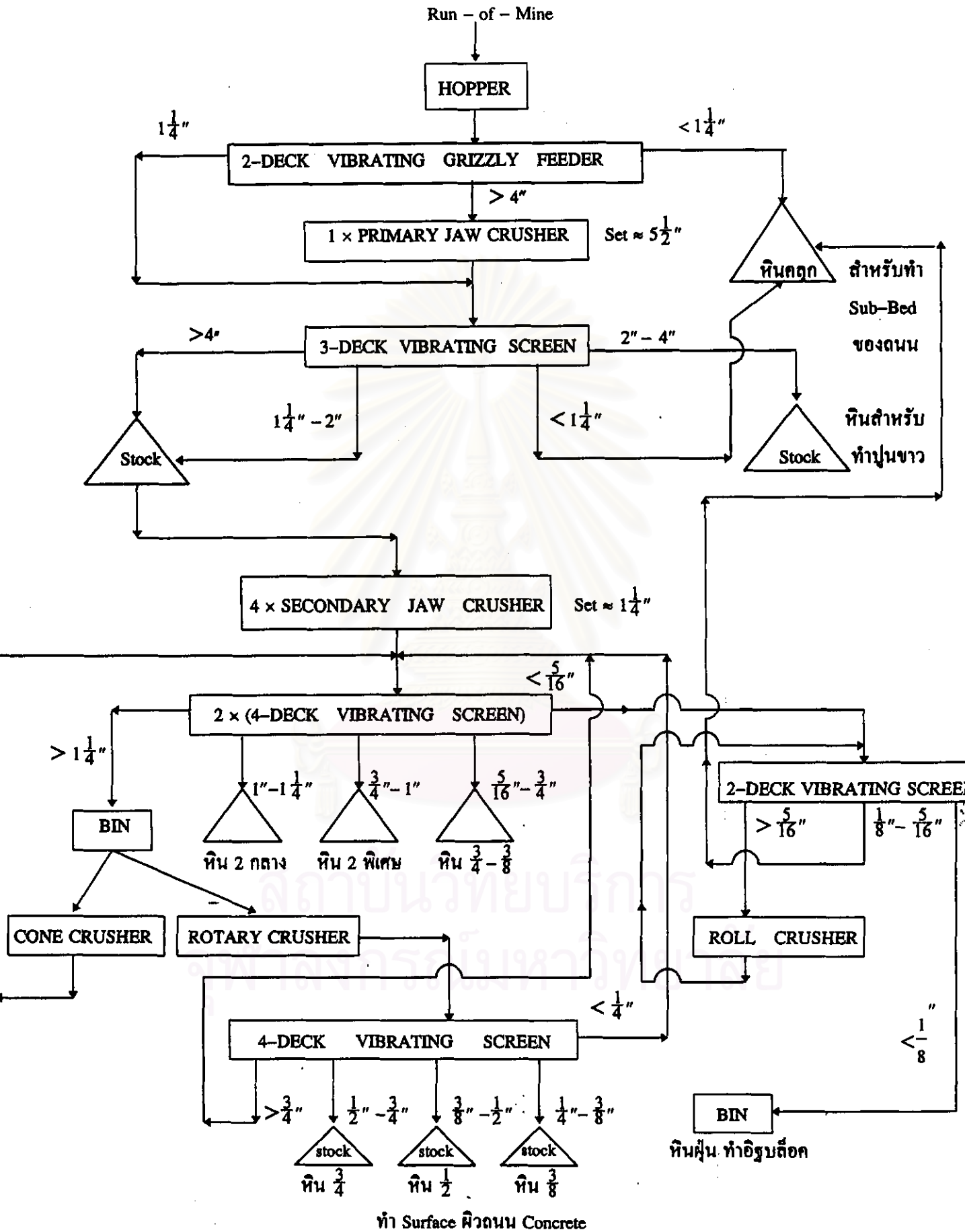
รูปที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตทั่วๆ ไปในโรงโม่หิน (US. EPA. , 1995)



ขบวนการผลิตหินย่อยเพื่อการก่อสร้าง

รูปที่ 3.3 แผนผังโรงโม่หินที่นิยมใช้ในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ , 2540)

Flow Sheet ของโรงโม่ทั่วไป



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการผลิตของโรงโม่หินที่มีกระบวนการผลิตซับซ้อน (กรมควบคุมมลพิษ , 2540)

เหมือง และจะถูกรถตัก (front-end loader) ตักหินใส่รถบรรทุก ฝุ่นฟุ้งกระจายจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของซิลท์ (silt content คือ สัดส่วนของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน) ในหินและความสูงของหน้าผาที่ตกลงมา หลังจากนั้นหินจะถูกบรรทุกมายังโรงโม่หินซึ่งช่วงนี้ก็จะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายจากหินที่บรรทุกในท้ายรถและจากล้อรถที่บดและสัมผัสกับหิน ดินและฝุ่นที่ตกอยู่บนพื้นถนน โรงโม่หินควรจะอยู่ใกล้เหมืองหินเพื่อประหยัดค่าขนส่งและเพื่อฝุ่นที่จะเกิดขึ้นน้อยที่สุด

หินซึ่งผ่านการระเบิดจะถูกลำเลียงจากหน้าเหมืองเพื่อเข้ามาย่อยในโรงโม่ หินซึ่งปกติมักจะถูกลำเลียงมาโดยรถเทท้าย เพื่อป้อนเข้ายุ้งรับหิน หินก็จะถูกส่งผ่านไปย่อยด้วยเครื่องย่อยขั้นต้นซึ่งมักจะเป็นเครื่องย่อยชนิดจอว์ เครื่องป้อนหินจากยุ้งเข้าสู่เครื่องโม่จอว์ โดยทั่วไปมักนิยมใช้เครื่องป้อนแบบ plate feeder หรือ vibrating grizzly feeder ดังมีรายละเอียดดังนี้ (ภิญโญ มีชำนะ , 2539)

- เครื่องป้อนแบบ Grizzly จะเป็นเครื่องป้อนที่มีกลไกทำให้มีการสั่น ประกอบด้วยแท่งเหล็กขนานกันโดยมีช่องว่างให้หินขนาดเล็กลอดผ่านออกไป โดยไม่ต้องผ่านเครื่องโม่ขั้นต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณหิน ที่จะผ่านเครื่องโม่ และ เพื่อลดความเสี่ยงที่หินขนาดเล็กจะเข้าตามช่องว่างทำให้เกิดการอัดแน่น (packing) และเครื่องโม่เกิดความเสียหายได้
- เครื่องป้อนแบบแผ่น (plate feeder) เครื่องป้อนนี้จะติดตั้งอยู่ข้างใต้ยุ้งปากโม่ การปรับอัตราการป้อนหินสามารถควบคุมได้โดยมีการเคลื่อนไหวชักไป-มา (ปรับความเร็วและช่วงชักได้) มักขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เหมาะสำหรับใช้ป้อนหินที่ไม่แข็งมากนัก เช่น หินปูน
- เครื่องป้อนแบบโซ่ (chain feeder) ประกอบด้วยชุดของโซ่ขนาดใหญ่ต่อเป็นวง พันอยู่รอบๆ รอก และพาดวางอยู่บนหินที่จะป้อน ตัวหินเองจะอยู่บนยุ้งที่มีความเอียง เมื่อรอกหมุน โซ่ก็จะเคลื่อนที่ หินก็จะเคลื่อนไหลไปตามโซ่ การควบคุมอัตราไหลสามารถทำได้โดยการควบคุมการหมุนของรอกที่โซ่พันอยู่

เมื่อหินถูกป้อนเข้าสู่เครื่องโม่จอว์ก็จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงซึ่งถูกควบคุมขนาดด้วยปากทางออก (set หรือ discharge) หินจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะถูกลำเลียงด้วยสายพานลำเลียงไปคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นซึ่งจะทำหน้าที่คัดหินออกให้มีขนาดต่างๆ กัน หินหรือดินที่ลอดผ่านตะแกรงสั่นขั้นต้นก็จะมารวมกันกลายเป็นกองหินคลุก ส่วนหินอื่นๆ จะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการขั้นต่อไป

อย่างไรก็ตามหินที่ผ่านเครื่องย่อยจอว์จะยังคงมีขนาดโตเกินกว่าที่จะนำมาใช้เป็นหินก่อสร้างได้ หินขนาดโตเหล่านี้จะถูกย่อยซ้ำให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องย่อยขั้นที่สองซึ่งมักจะเป็นเครื่องย่อยชนิดโคนหรือจอว์ที่มีขนาดปากเล็กและรูปร่างค่อนข้างแบนซึ่งมักเรียกว่า ปากซอย ซึ่งหลังจากย่อยแล้วก็จะนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นอีกชุดหนึ่ง เพื่อทำหน้าที่คัดขนาดหินที่ผ่านการย่อยมาแล้วด้วยเครื่องย่อยขั้นที่สองให้มีขนาดต่างๆ กันก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตามอาจมีหินขนาดโตเกินกว่าที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้าง หินเหล่านี้จะถูกตะแกรงสั่นคัดออกมา ซึ่งมักจะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยขั้นที่สามซึ่งมักใช้ชนิด impact mill หรือ hammer mill ซึ่งมักเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า rotary crusher หินที่ถูกย่อยด้วยเครื่องย่อยขั้นที่สามมักจะถูกนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นชุดเดิม

หินที่ผ่านจากตะแกรงสั่นขั้นที่สองก็จะถูกลำเลียงโดยสายพานและตกลงสู่กองหินซึ่งกองตามขนาดหินต่างๆ และจะถูกรถตักตักใส่รถบรรทุกเพื่อลำเลียงออกขายต่อไป หินขนาดเล็ก เช่น หินฝุ่นซึ่งก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายมากจึงนิยมลำเลียงใส่ยุ้ง และให้รถบรรทุกมารับหินจากก้นยุ้ง

เครื่องจักรที่สำคัญภายในโรงโม่หินแสดงในรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ภิญโญ มีชำนะ , 2540)

3.3.1.1 เครื่องย่อยขั้นต้น (primary crusher)

เครื่องย่อยขั้นต้นที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ เครื่องย่อยจอว์ ลักษณะสำคัญคือ ประกอบด้วยแผ่นย่อย 2 แผ่น แผ่นหนึ่งอยู่กับที่ (fixed jaw) แต่อีกแผ่นหนึ่งเคลื่อนที่เข้าและออกจากแผ่นแรก (swing jaw) โดยทำงานคล้ายๆ กับขากรรไกรเคี้ยวอาหาร แผ่นย่อยทั้งสองจะทำมุมแหลมซึ่งกันและกัน เมื่อหินที่ต้องการนำมาย่อยผ่านแผ่นทั้งสองก็จะถูกกดหรือหนีบ แล้วปล่อยออกมา หินก็จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วเคลื่อนที่ลงไปข้างล่างด้วยแรงโน้มถ่วงแล้วก็จะถูกกดซ้ำอีกจนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากปากทางออกไป หินที่ถูกย่อยโดยเครื่องโม่ขั้นต้นจะถูกย่อยให้มีขนาดประมาณ 7.5 - 30 เซนติเมตร

3.3.1.2 เครื่องย่อยขั้นที่สอง (secondary crusher)

เครื่องย่อยขั้นที่สองนี้มักมีน้ำหนักเบา และทำงานเบากว่าเครื่องย่อยขั้นต้น หินที่ป้อนเข้ามามักมีขนาดต่ำกว่า 15 เซ็นติเมตร นอกจากนั้นแล้วระบบการลำเลียงขนส่ง ตลอดจนระบบป้อนหินเข้าย่อยก็ไม่จำเป็นต้องเป็นระบบที่แข็งแรงมากเท่ากับที่ใช้ในการย่อยขั้นต้น เครื่องย่อยที่นิยมใช้มากได้แก่ เครื่องย่อยจอว์ เครื่องย่อยโคน และ เครื่องย่อยแบบลูกกลิ้ง

3.3.1.3 เครื่องย่อยขั้นที่สาม (tertiary crusher)

เครื่องย่อยขั้นที่สามที่นิยมใช้ในโรงโม่หิน คือ เครื่องย่อยแบบแรงกระแทก (impact crusher) ซึ่งอาจเรียกทั่วๆ ไปว่า rotary crusher เครื่องย่อยแบบแรงกระแทกจะใช้หลักการของแรงกระแทกในการทำให้เกิดการแตกหัก แรงกระแทกจะมาจากวัสดุแข็งมากกระแทกหินที่ปล่อยให้หล่นลงมาโดยมีความเร็วสูง วัสดุแข็งหรือตัวตีจะส่งผ่านพลังงานจลน์ไปยังวัตถุที่ต้องการย่อยโดยการกระทบ ความเครียดภายในของวัตถุจะมากพอที่จะทำให้วัตถุเกิดการแตกกระจาย แรงกระแทกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อวัตถุไปกระทบแผ่นแข็งอีกข้างหนึ่ง

3.3.1.4 เครื่องคัดขนาด

เครื่องคัดขนาดที่นิยมใช้ในโรงโม่ ได้แก่ ตะแกรงสั่น (vibrating screen) สามารถคัดหินได้ใหญ่ที่สุด 25 เซ็นติเมตร และเล็กลงไปถึง 250 ไมครอน การสั่นจะอยู่ในแนวนอนโดยการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวไป - มา (reciprocating device) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า แรงสั่นจะส่งผ่านไปยังโครงของตะแกรง หรือบางแบบอาจใช้การสั่นที่มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหินลอดผ่านตะแกรงในชั้นที่มีขนาดของรูต่างๆ กัน ตะแกรงสั่นสามารถทำงานที่ความชันต่ำโดยใช้ความสูงน้อย ตะแกรงสั่นหลายชั้น (multi-deck vibrating screen) จะมีการป้อนเข้ามาคัดขนาดโดยตะแกรงรูใหญ่จะอยู่ข้างบน ส่วนตะแกรงถัดมาจะมีขนาดรูเล็กลงตามลำดับ สามารถคัดหินออกมาได้หลายขนาด

3.4 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นละออง

3.4.1 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศทั่วไป

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

1) ฝุ่นละอองรวม ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชม. ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม. โดยใช้วิธี gravimetric ในการวัด
2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชม. ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม. โดยใช้วิธี gravimetric ในการวัด

3.4.2 มาตรฐานความเข้มข้นฝุ่นจากโรงโม่ บด และย่อยหิน

คณะอนุกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องอากาศ ในการประชุมครั้งที่ 3/2538 มีมติกำหนดมาตรฐานมลพิษทางอากาศจากโรงโม่บดและย่อยหิน ดังนี้

(1) มาตรฐานสารมลพิษทางอากาศจากโรงโม่ บด และย่อยหิน

(1.1) มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ใช้ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 10 (2538) โดยมีรายละเอียด คือ

- ฝุ่นละอองรวม (TSP) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม และค่าเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.
- ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM-!0) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.

จุดตรวจวัดให้ทำการตรวจวัดที่คนอยู่หรืออาศัยอยู่ วิธีการตรวจวัดแบบ Gravimetric High Volume

(1.2) มาตรฐานมลพิษทางอากาศแหล่งกำเนิด

(1.2.1) กรณีโรงโม่ บด และย่อยหิน ไม่มีการติดตั้งระบบดูดฝุ่นละออง

- มาตรฐานความทึบแสง (Opacity) ที่กระบวนการผลิตของโม่ บดและย่อยหิน เช่น เครื่องโม่ย่อยหิน สายพาน ตะแกรงร่อน ฯลฯ ต้องมีความเข้มข้นฝุ่นละอองในรูปของความทึบแสง ไม่เกิน 20 %
- จุดตรวจวัด ที่ระยะห่าง 1 เมตร โดยรอบ จากขอบจุดกำเนิดฝุ่น วิธีการตรวจวัดแบบ Smoke Opacity meter

(1.2.2) กรณีโรงโม่ บด หรือย่อยหิน มีการติดตั้งระบบดูดฝุ่นละอองระบายอากาศออกทางปล่อง

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

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

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การปล่อยฝุ่นละอองจากโรงโม่หิน

โรงโม่หินเป็นแหล่งที่ปล่อยฝุ่นออกมาเป็นจำนวนมาก สามารถเห็นได้ชัดด้วยสายตาซึ่งสามารถชี้ชัดได้ว่าฝุ่นจากโรงโม่หินส่วนใหญ่ส่วนหนึ่งเป็นฝุ่นฟุ้งกระจายจากจุดต่างๆ บางจุดเพียงจุดเดียวในกระบวนการผลิตสามารถปล่อยฝุ่นออกมามากถึง 15 - 17 ปอนด์ (6.8 - 7.7 กก.) ต่อตันของหินที่ถูกผลิตออกมา ความยากในการเก็บตัวอย่างจากกระบวนผลิต ทำให้การประเมินการปล่อยฝุ่นจากโรงโม่หินยังคงมีความไม่แน่นอนสูง (Sussman , 1977)

ฝุ่นที่เกิดจากโรงโม่หินมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดความรำคาญมากกว่าเป็นผลร้ายต่อสุขภาพอย่างเห็นได้ชัด นอกจากว่าหินที่เป็นวัตถุดิบจะเป็นหินที่มีส่วนประกอบของซิลิกาเป็นเปอร์เซนต์สูงซึ่งจะส่งผลร้ายแรงต่อสุขภาพอย่างเห็นได้ชัด (Yocom , 1982) ฝุ่นส่วนใหญ่ที่เกิดจากอุตสาหกรรมโม่หินจะเป็นฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ มีความเข้มข้นของฝุ่นที่หายใจเข้าไปได้ต่ำ

ฝุ่นละอองเกิดจากขั้นตอนต่างๆของกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ส่วนใหญ่จะตกในพื้นโรงงาน ฝุ่นจากโรงโม่หินอาจจำแนกได้เป็น (US EPA , 1992)

1) ฝุ่นจากกระบวนการ (process source) หมายถึง ฝุ่นที่สามารถดักจับและควบคุมได้
2) ฝุ่นฟุ้งกระจาย (fugitive dust) หมายถึง ฝุ่นจากพื้นหรือที่เกาะอยู่ตามเครื่องจักรแล้วถูกทำให้ฟุ้งกระจายในอากาศ โดยลมหรือการเคลื่อนไหวหรือสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

สิ่งที่มีผลกระทบต่อการปล่อยฝุ่นละออง ได้แก่

1) ชนิดและองค์ประกอบของหิน
2) ขนาดและการกระจายขนาดของหิน
3) ความชื้นของหิน
4) อัตราการผลิต
5) ชนิดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
6) ลักษณะและวิธีการทำงาน
7) สภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ

ในด้านสภาพพื้นที่และสภาพอากาศ ตัวแปรอันดับแรกที่มีผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยฝุ่นคือ ลมและความชื้นของหิน ลักษณะลมเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาค ฤดูกาลและสภาพอากาศ เรา

สามารถคาดเดาได้ว่าแหล่งกำเนิดที่ไม่ได้ถูกปิดล้อม (แหล่งฝุ่นฟุ้งกระจาย) จะปล่อยฝุ่นเป็นจำนวนมากเวลาลมแรง ความชื้นเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาค ที่ตั้ง ฤดูกาล และสภาพอากาศเช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณการปล่อยฝุ่นในพื้นที่แห้งแล้งจะมากกว่าในพื้นที่ฝนตกชุก และในฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน

ความชื้นของหินมีผลอย่างมากต่อปริมาณการปล่อยฝุ่น ผลกระทบนี้เห็นได้ชัดเจนในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ผิวที่เปียกน้ำจะทำให้ฝุ่นรวมตัวกัน หรือจับเกาะกับหินเป็นการลดฝุ่นอย่างไรก็ดี เมื่อหินถูกย่อยหรือกระแทกทำให้เกิดฝุ่นใหม่ขึ้น หรือเมื่อความชื้นระเหยไป ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะน้อยลงหรือหายไป โรงโม่หินซึ่งใช้การฉีดน้ำรักษาความชื้นไว้สูงตลอดจะสามารถควบคุมฝุ่นไว้ได้ตลอดกระบวนการ ความชื้นของหินจากเหมืองอาจมีค่าศูนย์หรือหลายเปอร์เซนต์ขึ้นกับสภาพพื้นที่และสภาพอากาศ เนื่องจากเราจะระบุความชื้นเป็นหน่วยน้ำหนักปริมาณความชื้นจริงต่อพื้นที่ผิวจะแปรผกผันกับขนาดของหิน ดังนั้นผลจากความชื้นจะขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้จริงและขนาดของหิน โดยทั่วไปหินที่เปียกจะมีน้ำ 1.5 - 4 % หรือมากกว่า

องค์ประกอบของวัสดุ เครื่องจักร และการทำงานหลายประการมีผลต่อการปล่อยฝุ่นละอองจากการโม่หิน องค์ประกอบเหล่านี้ได้แก่

1) ชนิดของหิน

2) ขนาดและการกระจายขนาดของหิน

3) ความชื้น

4) อัตราการผลิต

5) ชนิดเครื่องย่อย

6) สัดส่วนการลดขนาดหิน

7) ปริมาณหินฝุ่น

ข้อมูลที่ได้แสดงว่า ปริมาณฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน ใกล้เคียงกันระหว่างการโม่หินปูนและหินแกรนิต

3.5.1 จุดที่เป็นแหล่งปล่อยฝุ่นในกระบวนการโม่ บด และย่อยหิน

บริเวณหรือกระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองจากกระบวนการผลิตหิน กิจกรรมตั้งแต่การนำหินก้อนใหญ่จากสู่หน้าผาเหมืองเข้าสู่กระบวนการโม่หิน จนกระทั่งส่งหินที่ย่อยแล้วออกไปจำหน่ายจะก่อให้เกิดฝุ่นละอองได้ในทุกขั้นตอน ดังนี้ (พงษ์เทพ จารุอำพรพรรณ และ สุเมธ แสนประเสริฐ , 2539)

1) การขนส่งบรรทุกหินเข้าสู่โรงโม่

2) การเทหินลงสู่ hopper

3) การบดย่อยหินของเครื่องโม่ชนิดต่างๆ

4) จุดที่หินซึ่งย่อยแล้วตกกระทบลงบนสายพานลำเลียงหิน

5) บริเวณตระแกรงสั่นคัดขนาด

6) บริเวณกองหิน

7) การขนย้ายและการขนส่งหินไปจำหน่าย ซึ่งการปล่อยฝุ่นฟุ้งกระจาย ได้แก่

- การตักหินโดยรถตักเพื่อใส่รถบรรทุก หรือการเปลี่ยนสถานที่กองหินต่างๆ
- รถบรรทุกหินและรถตักที่วิ่งไปมาภายในโรงโม่หินโดยเฉพาะยิ่งถ้าวิ่งบนพื้นผิวที่ไม่มีวัสดุเช่น คอนกรีตหรือยางมะตอยคลุมผิวถนน (unpaved road)
- ฝุ่นฟุ้งกระจายที่เกิดจากการบรรทุกหินในรถบรรทุกที่ไม่มีวัสดุคลุมหรือรถตัก

8) ลมที่พัดผ่านโรงโม่หิน ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายในหลายจุด เช่น

- สายพานที่ไม่มีวัสดุคลุม
- กองหินต่างๆ
- ตะแกรงและเครื่องโม่ที่มีช่องเปิด
- พื้นโรงงานหรือถนนที่มีฝุ่นตกอยู่ เป็นต้น

ตำแหน่งปล่อยฝุ่นที่สำคัญภายในโรงโม่หิน (US EPA ,1991)

1) เครื่องโม่

ฝุ่นที่เกิดขึ้นและปล่อยออกจุดนี้มากที่สุดคือ บริเวณช่องป้อนหินเพื่อทำการโม่และทางออกของหินที่โม่แล้ว ความชื้นและชนิดของเครื่องโม่ที่ใช้จะมีผลต่อการปล่อยฝุ่นออกมาอย่างมาก สัดส่วนการลดขนาดของเครื่องจักร การกระจายขนาดของหินที่โม่แล้ว สัดส่วนของอนุภาคละเอียดและพลังงานที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในอนุภาคละเอียดเหล่านั้นจะมีผลต่อการปล่อยฝุ่นออกมาโดยตรง

เครื่องโม่ที่ใช้การตีหรือการกระแทกจะทำให้เกิดสัดส่วนอนุภาคละเอียดมากกว่าการใช้การอัด นอกจากนั้นเครื่องโม่แบบกระแทกยังมีตัวหมุนกระแทกหินที่มีลักษณะคล้ายใบพัด ทำให้เกิดลมภายในที่พัดให้ฝุ่นออกมามาก ด้วยเหตุผลเหล่านี้เครื่องโม่แบบกระแทกที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นจะก่อให้เกิดการปล่อยฝุ่นออกมาต่อจำนวนตันวัตถุดิบที่ป้อนเข้ามามากกว่าเครื่องโม่ชนิดอื่นๆ

การปล่อยฝุ่นออกมาจากเครื่องโม่จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากเครื่องโม่ขั้นต้น เครื่องโม่ขั้นที่สอง และเครื่องโม่ขั้นที่สาม และเครื่องโม่แบบโคนจะก่อให้เกิดฝุ่นมากกว่าเครื่องโม่จอว์ เพราะจะก่อให้เกิดอนุภาคละเอียดมากกว่า

2) ตะแกรงคัดขนาด

ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากการทำงานของตะแกรงเป็นผลเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของหินที่แห้ง ระดับของการปล่อยฝุ่นในกรณีที่ไม่มีการควบคุมจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนอนุภาคละเอียดที่อยู่ในหินที่ป้อน สัดส่วนความชื้นของหิน และประเภทของตะแกรง โดยทั่วไป ตะแกรงที่ใช้คัดขนาดหินที่มีขนาดเล็กกว่าจะปล่อยฝุ่นออกมามากกว่าตะแกรงที่ใช้คัดขนาดหินที่ใหญ่กว่า เช่นเดียวกัน ตะแกรงที่มีการสั่นที่มีแอมพลิจูดหรือความถี่สูงกว่าจะปล่อยฝุ่นออกมามากกว่าตะแกรงที่มีการสั่นที่มีแอมพลิจูดหรือความถี่ต่ำกว่า

3) จุดถ่ายโอนสายพาน

ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากจุดถ่ายโอนสายพานจะขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดของหินบนสายพาน สัดส่วนความชื้น อัตราเร็วของสายพาน ความเร็วลมและระยะการตกอิสระของหินระหว่างสายพานนั้น

US EPA (1995) ได้ทำการศึกษาการปล่อยปริมาณฝุ่นจากกระบวนการต่างในโรงโม่หิน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

จุดที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นจำนวนมากและลักษณะการเกิดฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงโม่หินดังแสดงในรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.4 ลักษณะโรงโม่หินที่แสดงในรูปนี้ เป็นรูปแบบสายการผลิตที่นิยมใช้ทั่วๆ ไปในประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ตัวคูณปริมาณการปล่อยฝุ่นจากแหล่งกำเนิดที่จุดต่างๆ ของกระบวนการผลิตภายในโรงโม่หิน (หน่วย kg/ Mg) (US. EPA. , 1995)

แหล่งปล่อยอนุภาคมลสาร (b)	อนุภาคมลสารทั้งหมด (TSP)	Emission Factor Rating	PM - 10 (c)	emission factor rating
ตะแกรง	-		0.0076	C
ตะแกรง (ควบคุม)	-		0.00042	C
เครื่องโม่ขั้นต้น	0.00035	E	ND (d)	
เครื่องโม่ขั้นที่สอง	ND		ND (d)	
เครื่องโม่ขั้นที่สาม	-		0.0012	C
เครื่องโม่ขั้นต้น (ควบคุม)	ND		ND (d)	
เครื่องโม่ขั้นที่สอง (ควบคุม)	ND		ND (d)	
เครื่องโม่ขั้นที่สาม (ควบคุม)	-		0.00029	C
เครื่องโม่ละเอียด	-		0.0075	E
เครื่องโม่ละเอียด (ควบคุม)	-		0.0010	E
ตะแกรงละเอียด	-		0.036	E
ตะแกรงละเอียด (ควบคุม)	-		0.0011	E
จุดถ่ายโอนหินบริเวณสายพาน	-		0.00072	D
จุดถ่ายโอนหินบริเวณสายพาน (ควบคุม)	-		0.000024	E
รถบรรทุก (ขณะไม่บรรทุกหิน)	-		0.00008	E
รถบรรทุก (ขณะบรรทุกหิน)	-		0.00005	E

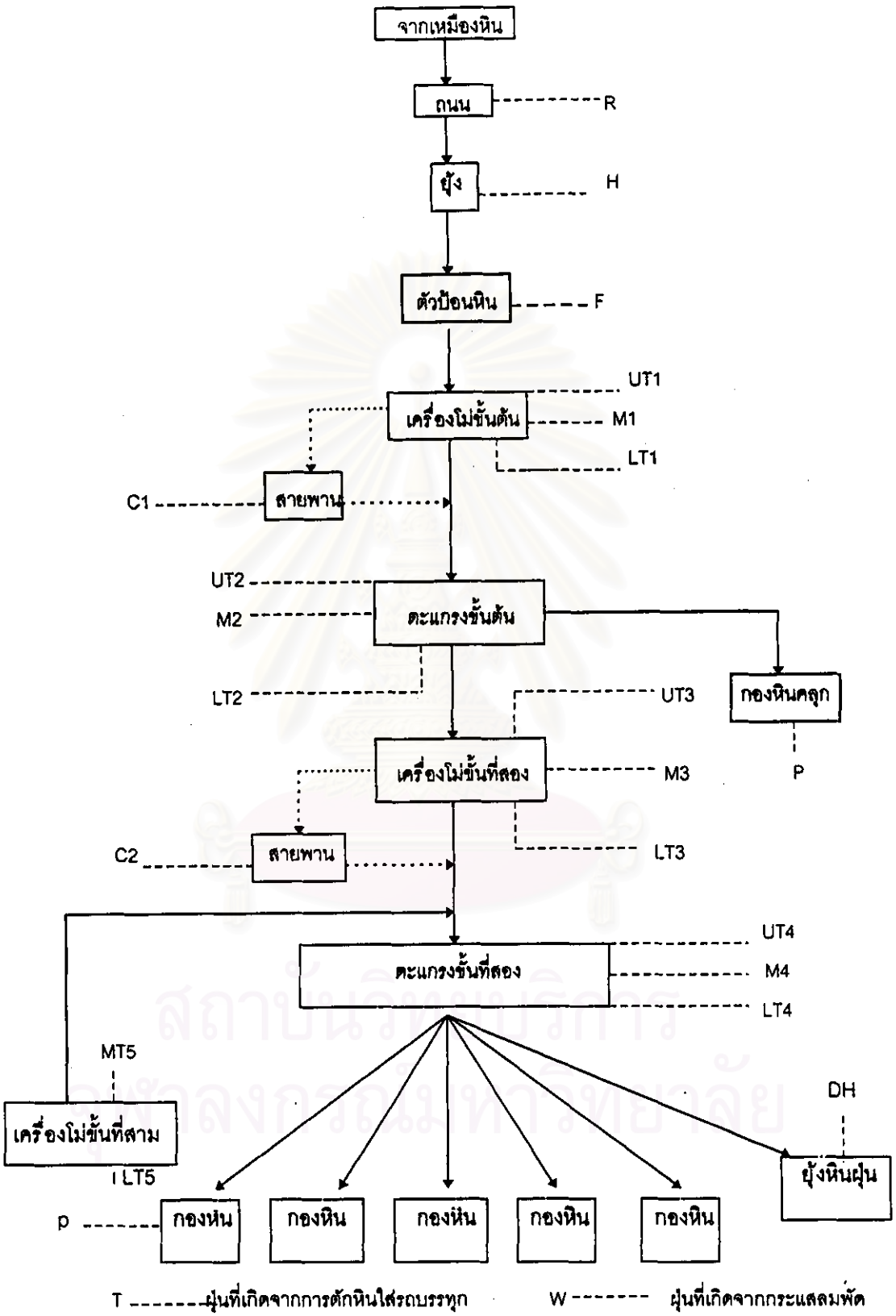
ND = ไม่มีข้อมูล

(b) แหล่งกำเนิดฝุ่นที่ถูกควบคุมเป็นการควบคุมแบบเปียก สัดส่วนความชื้น (moisture content)ของการศึกษาที่ไม่ได้มีการควบคุม (การควบคุมแบบเปียก) มีค่าระหว่าง 0.21 - 1.3 % อัตราความชื้นของระบบที่มีการควบคุมมีค่า 0.55 - 2.88 %

(c) ปริมาณฝุ่นทั้งหมดยังไม่สามารถประเมินได้ อย่างไรก็ตามเราสามารถประเมินค่า (TSP) ได้โดยนำค่า PM - 10 คูณด้วย 2.1

(d) ไม่มีข้อมูลในขณะนี้ แต่เราสามารถใช้ค่าที่ศึกษาจากเครื่องโม่ขั้นที่สามเป็นขีดจำกัดบนได้

emission factor rating เป็นค่าที่ชี้ถึงความคลาดเคลื่อนและความน่าเชื่อถือได้ของค่าตัวคูณ อัตราการปล่อยฝุ่นละอองที่ได้ โดยที่ A จะเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุดและความคลาดเคลื่อนต่ำสุด และตัวอักษรที่ห่างจาก A มากเท่าไรก็จะมีความน่าเชื่อถือลดลงและคลาดเคลื่อนมากขึ้น



รูปที่ 3.5 จุดกำเนิดและลักษณะการเกิดฝุ่นภายในโรงโม่หิน

ตารางที่ 3.4 จุดกำเนิดฝุ่นสำคัญและลักษณะการเกิดฝุ่นในกระบวนการผลิตของโรงโม่หิน

ตำแหน่ง	จุด	ลักษณะการเกิดฝุ่น
1. ถนน (road)	R	เกิดจากการวิ่งบนถนนของรถบรรทุกหินทั้งขาเข้าและขาออก ฝุ่นเกิดจากสามกรณี กรณีแรกเกิดจากฝุ่นฟุ้งกระจายออกจากรถบรรทุก กรณีที่สองเกิดจากล้อรถสัมผัสกับพื้นถนนที่ไม่มีวัสดุคลุม และมีเศษหิน ดินและฝุ่นตกหรือฟุ้งออกจากรถบรรทุก กรณีที่สามเกิดจากกระแสลมที่พัดให้ฝุ่นหรือดินที่ตกอยู่บนถนนฟุ้งกระจายขึ้นมา
2. ยุ้งเทหิน (hopper)	H	เกิดจากการเทหินออกจากท้ายรถบรรทุกลงยังยุ้ง จะเกิดเป็นช่วงแต่จำนวนมาก โดยเฉพาะหากไม่มีวัสดุปกคลุมเหนือยุ้ง แต่จะเป็นระยะช่วงเวลาไม่นานนักหลังจากการเทหิน
3. ตัวป้อนหิน (feeder)	F	เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวป้อนหินที่ค่อยผลักดันหินหรือสั่นเพื่อให้หินตกลงสู่ปากโม่ใหญ่ ทำให้หินเกิดการเคลื่อนที่ สั่นสะเทือน และเสียดสีกันระหว่างหินกับหิน และระหว่างหินกับเครื่องจักร
4. จุดถ่ายโอนหินด้านบนของเครื่องจักร (upper transfer)	UT	ฝุ่นที่บริเวณด้านบนของเครื่องโม่ จะเกิดจากสองกรณี กรณีแรกเกิดจากการที่หินตกกระทบลงบนเครื่องโม่ กรณีที่สองฝุ่นที่เกิดจากการโม่บางส่วนจะฟุ้งกระจายออกทางด้านเหนือปากโม่ เครื่องโม่ขั้นที่สองจะเกิดฝุ่นมากกว่าเครื่องโม่ขั้นต้น เนื่องจากมีฝุ่นขนาดเล็กซึ่งฟุ้งกระจาย ได้ ง่ายเป็นจำนวนมาก และด้านบนของเครื่องโม่ขั้นต้นจะเกิดฝุ่นเป็นจำนวนมากจากการเทหินทั้งหมดลงจากรถบรรทุก หินบางส่วนจะตกลงสู่เครื่องโม่ทันที แต่เกิดฝุ่นเป็นระยะเวลาสั้นๆ ส่วนฝุ่นที่บริเวณด้านบนของตะแกรงเกิดจากการที่หินตกกระทบกับตะแกรง และจากการที่ฝุ่นที่เกิดภายในตะแกรงฟุ้งกระจายออกด้านบน ตะแกรงขั้นที่สองจะเกิดฝุ่นจำนวนมากกว่าตะแกรงขั้นที่หนึ่ง
5. จุดถ่ายโอนหินบริเวณด้านล่างของเครื่องจักร (lower transfer)	LT	เป็นฝุ่นที่เกิดจากสองกรณีคือ กรณีแรกเกิดจากฝุ่นบางส่วนที่เกิดจากการโม่ภายในเครื่องโม่หรือเกิดจากการสั่นและคัดขนาดของตะแกรงคัดขนาด ฟุ้งออกมาทางช่องทางออกที่อยู่ใต้เครื่องโม่หรือตะแกรง กรณีที่สองเกิดจากหินตกกระทบลงยังสายพานลำเลียงที่คอยรับหินอยู่ด้านล่างทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นออกมา

ตำแหน่ง	จุด	ลักษณะการเกิดฝุ่น
6.ระหว่างจุดถ่ายโอนทั้งสอง (middle)	M	ในกรณีของเครื่องโม่ คือ ฝุ่นที่เกิดจากการโม่ภายในเครื่องโม่ที่ฟุ้งออกมาจากตามรอยชำรุด รอยต่อหรือขอบต่างๆของตัวเครื่องโม่ ถ้าเครื่องโม่มีสภาพที่สมบูรณ์จะเกิดฝุ่นในกรณีนี้ต่ำหรือต่ำมาก ส่วนตะแกรงคัดขนาดฝุ่นที่เกิดบริเวณด้านหลังหรือด้านข้างของตะแกรง เกิดจากการกระทบกันของหินกับตะแกรงชั้นต่างๆ และความสั่นสะเทือนทำให้เกิดฝุ่นภายในตะแกรงและบางส่วนฟุ้งกระจายออกด้านข้างของตะแกรง บริเวณจุดนี้ตะแกรงขั้นที่สองจะเกิดฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงและปริมาณมากตะแกรงขั้นต้นมาก เนื่องจากมีตะแกรงหลายชั้นและเกิดฝุ่นตกค้างจำนวนมากจากการโม่ในเครื่องโม่ขั้นที่สอง บางครั้งอาจจะเห็นเป็นกลุ่มหมอกฟุ้งกระจายอย่างต่อเนื่อง
7. สายพาน (conveyor)	C	เฉพาะกรณีที่มีสายพานไม่ได้ถ่ายเลียงโดยวิ่งเป็นเส้นเดียวกัน จะเกิดการถ่านโอนหิน ความสั่นสะเทือนทำให้เกิดฝุ่น
8. กองหินคลุก และกองหิน (pile)	P	เกิดฝุ่นในสามกรณีคือ กรณีแรกเกิดในช่วงเวลาที่หิน ดิน และฝุ่นตกจากสายพานและลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของซิลท์ ความเร็วของลม ความชื้น และความสูงที่ลอยอยู่ในอากาศ กรณีที่สองเกิดจากการที่หิน ดิน และฝุ่นตกกระทบกับกองหิน ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและฟุ้งกระจาย กรณีสุดท้าย เกิดจากกระแสลมที่พัดกองหินทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายขึ้นมา
9. ยุ้งหินฝุ่น (dust hopper)	DH	หินที่โม่จากเครื่องโม่จะตกลงยุ้งปิด จะเกิดฝุ่นในขณะที่เปิดด้านล่างของยุ้งออกเพื่อให้หินฝุ่นตกลงยังกระบะท้ายของรถบรรทุก ฝุ่นจะฟุ้งกระจายออกมา
10. การตักหินใส่รถบรรทุก (truck)	T	หินที่กองไว้จะถูกตักโดยรถตักใส่รถบรรทุก จะเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายจำนวนมากจากจุดนี้
12. ลม (wind)	W	กระแสลมจะพัดให้ฝุ่นที่ติดค้างอยู่ตามสายการผลิตต่างๆ รวมทั้งพื้นโรงงานภายในโรงโม่ฟุ้งกระจายไปทั่ว ถ้าหากมีการจัดการไม่ให้เกิดฝุ่นภายในโรงโม่ ก็จะเกิดฝุ่นตกสะสมจำนวนน้อย ฝุ่นที่เกิดจากกรณีนี้ก็จะน้อยลง

3.5.2 การปล่อยฝุ่นละอองและผลกระทบของฝุ่นละอองจากการเหมืองหิน

การทำเหมืองหินก่อให้เกิดการปล่อยฝุ่นละอองออกมาเป็นจำนวนมาก กิจกรรมหลักในเหมืองหินคือการทำให้หินแตกออกจากกัน (loosening) โดยการเจาะและการระเบิด (Yocom ,1992) ฝุ่นฟุ้งกระจายจะถูกปล่อยออกมาจำนวนมากเมื่อมีการระเบิด และเมื่อผนังของหินแยกตัวออกและถล่มลงมาที่พื้นเหมือง หินที่แตกแยกออกมาแล้วจะถูกลำเลียงใส่รถบรรทุกโดยรถตัก ปริมาณฝุ่นฟุ้งกระจายที่ปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของซิลท์และระยะของความสูงที่หินตกใส่รถบรรทุก หลังจากนั้นรถบรรทุกก็จะลำเลียงหินไปยังโรงโม่ ระหว่างการขนส่งฝุ่นจากหินในรถบรรทุกอาจจะปล่อยออกมาตามถนนหรือตกลงยังพื้นถนนได้

ผลกระทบของการทำเหมืองหินที่มีต่อคุณภาพอากาศส่วนใหญ่จะเกิดจากการแพร่กระจายของฝุ่นโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (พงษ์เทพ จารุอำพรพรรณ และ สุเมธ แสนประเสริฐ , 2539) แหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองจากการทำเหมืองหิน ได้แก่ บริเวณหน้าเหมืองซึ่งมีการทำงานของเครื่องจักรกลและการใช้วัตถุระเบิด บริเวณที่เก็บกองเปลือกดินและเศษหินมูลดินทราย และบริเวณลานเก็บกองหน ซึ่งมีการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ รวมถึงการขนส่งหินสู่โรงโม่ แม้ว่าปัจจุบันจะยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองจากการทำเหมือง แต่ก็ได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในสิ่งแวดล้อมซึ่งปกติจะตรวจวัดที่จุดที่ตั้งของผู้ได้รับผลกระทบ และมาตราฐานฝุ่นในที่ทำงาน (ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม. ในระยะเวลา 24 ชม. และ 15 มก./ลบ.ม. เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน)

3.6 การควบคุมฝุ่นละออง

แนวทางทั่วไปในการควบคุมอนุภาคมลสารหรือฝุ่นอาจจะแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง

- ควบคุมไม่ให้เกิดฝุ่นละอองหรือให้เกิดฝุ่นละอองน้อยที่สุด รวมถึงการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นแล้วนั้นไม่ให้ฟุ้งกระจายออกจากแหล่งกำเนิด อันได้แก่การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เกิดฝุ่นน้อยที่สุด การสเปรย์น้ำ การสร้างระบบรวบรวมและกำจัดฝุ่น
- ควบคุมไม่ให้ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดออกไปสู่ชุมชนหรือภายนอกโรงงาน เช่น การหาวัสดุมาคลุมบริเวณที่เกิดฝุ่น การสร้างอาคารโรงงานที่ปิดมิดชิด การล้อมรั้วสูงทึบรอบโรงงาน และการปลูกต้นไม้รอบโรงงาน เป็นต้น

- ควบคุมเพื่อลดโอกาสที่ฝุ่นละอองจะสัมผัสกับหรือเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของคนงานหรือประชาชนใกล้เคียง การสร้างห้องทำงานปิดมิดชิดที่คนงานไม่ต้องเข้าไปทำงานสัมผัสกับฝุ่น การสวมหน้ากากป้องกัน เป็นต้น

แนวทางที่จะใช้ในการป้องกันฝุ่นจากโรงโม่หินจากการพิจารณาควรจะใช้แนวทางแรกร่วมกับแนวทางที่สองเป็นหลัก เพราะฝุ่นจากโรงโม่หินทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญกับชุมชนและประชาชนที่สัญจรผ่านโรงโม่หินอย่างมาก

3.7 การกำจัดฝุ่นจากโรงโม่หิน

การกำจัด การควบคุม การลดการปล่อยฝุ่นจากกระบวนการผลิตต่างภายในโรงโม่หินนอกจากจะต้องติดตั้งระบบการกำจัดฝุ่นแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการ เปลี่ยนแปลง และดัดแปลงหลายด้านจึงจะสามารถกำจัดฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งควรจะมีระบบการประเมิน (monitor) ปริมาณฝุ่นที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ในกระบวนการผลิตและประเมินคุณภาพอากาศในบรรยากาศรอบๆโรงงานเป็นระยะๆ

เพราะว่าความยากในการประเมินฝุ่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มาจากกระบวนการผลิตและฝุ่นฟุ้งกระจายที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน มาตรฐานการควบคุมฝุ่นจากโรงโม่หินควรจะอยู่บนพื้นฐานของความทึบแสง (opacity) (Sussman , 1977) ด้วยมาตรฐานนี้สามารถให้การประเมินผลอย่างมีประสิทธิภาพต่อระบบควบคุมฝุ่นและการจัดการในโรงงานเพื่อกำจัดฝุ่น

การควบคุมสำหรับการลดและกำจัดการปล่อยฝุ่นจากโรงโม่หินควรจะประกอบด้วย (Yocom , 1982)

- การทำให้วัสดุหรือพื้นผิวเปียก (wetting of material or surface) ด้วยน้ำหรือน้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวหรือสารทำให้เกิดฟอง (surfactant or foaming agent)
- ปกคลุมส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของหินที่ยังเปิดอยู่เพื่อป้องกันลม
- ลดความสูงในการตกของวัตถุดิบที่ก่อให้เกิดฝุ่น (dusty material)
- ใช้ระบบดูด ระบบท่อส่ง และระบบรวบรวมกำจัดฝุ่นในกระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่นและไม่สามารถใช้วัสดุปกปิดได้

ข้อแนะนำในการกำจัดฝุ่นในบางจุด (Yocom , 1982)

- จุดเทหิน เพราะจุดเทหินมีขนาดใหญ่มาก มีรถขนาดใหญ่เข้าออกและจะต้องเปิดเข้าสู่ปากโม่ขั้นต้น จึงไม่สามารถปกคลุมทั้งหมดหรือใช้ระบบดูดและรวบรวมฝุ่นได้ ในกรณีนี้จะใช้น้ำทำให้หินเปียกเพื่อควบคุมฝุ่น
- เครื่องโม่ขั้นที่สอง โดยทั่วไปสามารถที่จะปิดคลุม (enclosure) ทั้งหมดและระบายอากาศโดยผ่านระบบดูดและรวบรวมฝุ่นเช่น ระบบถุงกรอง สามารถใช้ได้จะรวมทั้งจุดที่หินตกสู่สายพานด้วย
- ตะแกรงและการถ่านโอนหิน โดยทั่วไปฝุ่นที่ปล่อยออกจากทั้งสองจุดนี้สามารถถูกปิดคลุมทั้งหมดและดูดไปยังถุงกรองได้
- กองหิน ฝุ่นจากกองหินโดยทั่วไปไม่สามารถปิดคลุมได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีทำให้หินเปียก การพิจารณาว่าหินมีความชื้นเพียงพอหรือไม่ อาจมองได้โดยใช้สายตาที่จุดที่หินตกกระทบลงบนกองหิน ถ้าวัสดุแห้งและประกอบด้วยซิลท์ (silt) ถูกปล่อยลงสู่กองหิน ฝุ่นจำนวนมากจะถูกปล่อยออกไป มากกว่านั้น ฝุ่นฟุ้งกระจายอาจจะถูกปล่อยออกจากกองหินที่แห้งระหว่างที่มีลมพัด วิธีอื่นในการลดฝุ่นในจุดนี้คือการลดความสูงของจุดปล่อยหินให้ใกล้กองหินที่สุด หรือใช้บันไดหิน

รายละเอียดแหล่งปล่อยฝุ่นและการควบคุมฝุ่นดังแสดงในตารางที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แหล่งปล่อยฝุ่นและการควบคุมฝุ่นของโรงโม่หิน (Yocom , 1982)

แหล่งปล่อยฝุ่น	การควบคุม
รถบรรทุกหินมายังโรงโม่ (hauling)	การทำให้ถนนเปียกด้วยน้ำ
	การราดถนนด้วยสารลดแรงตึงผิว
	การปรับสภาพดินให้มั่นคง (soil stabilization)
	การราดด้วยวัสดุคลุมผิวหน้าถนน
	การควบคุมการจราจร
การโม่	การกำจัดฝุ่นแบบเปียก
	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
ตะแกรง	การกำจัดฝุ่นแบบเปียก
	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
สายพานลำเลียง (จุดถ่ายโอน)	การกำจัดฝุ่นแบบเปียก
	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
กองหิน	บันไดหิน (stone ladder)
	สายพานกองหิน (stacker conveyor)
	สเปรย์น้ำที่จุดปล่อยหินจากสายพาน
ยุ้งเก็บ (storage bin)	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น
สายพานจุดอื่นๆ	วัสดุปิดคลุม
	การกำจัดฝุ่นแบบเปียก
ลมพัดกองหิน	การทำให้เปียกด้วยน้ำ
	สารลดแรงตึงผิว
	การปิดคลุม (ไซโล , ยุ้ง อื่นๆ)
	ตัวกันลม
ลมพัดฝุ่นบนถนนและพื้นที่โรงงาน	การทำให้เปียกด้วยน้ำ
	การใช้น้ำมัน (oiling)
	สารลดแรงตึงผิว
	การทำให้ดินมั่นคง
	การราดด้วยวัสดุคลุมผิวหน้าถนน
	การกวาด
การบรรทุกใส่รถ	การทำให้เปียก
	การดูดจับและรวบรวมฝุ่น

มีหลายวิธีที่ประยุกต์ใช้ในการควบคุมฝุ่นจากโรงโม่หินซึ่งก็มีข้อดีข้อเสียในแต่ละวิธี แต่ระบบที่มีการใช้กันอยู่มากและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สามารถจำแนกใหญ่ๆ ได้ 2 วิธี

- ระบบการกำจัดฝุ่นแบบเปียก โดยการใช้สเปรย์น้ำ
- ระบบดูด ท่อส่งฝุ่นและรวบรวมฝุ่น ซึ่งระบบกำจัดฝุ่นในระบบนี้ยังสามารถจำแนกตามระบบรวบรวมฝุ่นออกได้เป็น 2 วิธี
    1) ระบบการรวบรวมฝุ่นโดยใช้ถุงกรอง
    2) ระบบการรวบรวมฝุ่นโดยใช้หอสเปรย์

ระบบควบคุมฝุ่นแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียเมื่อประยุกต์ใช้กับโรงโม่หิน ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ , 2539)

1. ระบบควบคุมฝุ่นโดยการฉีดละอองน้ำ

<u>ข้อดี</u>

1) ระบบง่ายๆ ใช้เงินลงทุนน้อย
2) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ
3) การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก

<u>ข้อเสีย</u>

1) ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นแปรเปลี่ยนได้มาก ขึ้นกับปริมาณและขนาดฝุ่นละอองและสเปรย์ตลอดจนรูปร่างของสเปรย์
2) ประสิทธิภาพในการจับฝุ่นละเอียดไม่สูงนัก เนื่องจากเป็นระบบเปิด และได้ผลกระทบจากกระแสลม
3) มีปัญหาการอุดตันของหัวฉีด ถ้าน้ำมีคุณภาพต่ำ
4) อาจก่อให้เกิดการเกาะติดของผงหินบนตะแกรงร่อน และการอุดตันในบางส่วน
5) การสึกหรอของตะแกรงร่อนอาจรุนแรงขึ้นกว่าในกรณีที่ไม่ได้ฉีดน้ำ
6) ละอองน้ำและอากาศที่มีความชื้นสูงอาจนำไปสู่ปัญหาการผุกร่อนของเครื่องจักรและการรั่วของไฟฟ้า
7) ไม่เหมาะกับโรงงานที่ขาดแคลนน้ำหรือคุณภาพน้ำบาดาลต่ำมาก

2. ระบบควบคุมฝุ่นแบบถุงกรอง

ข้อดี

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

ข้อเสีย

1) มักต้องใช้ร่วมกับระบบดูดและรวบรวมฝุ่น
2) ต้องการเงินลงทุนค่อนข้างสูง
3) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบดูดรวบรวมฝุ่นค่อนข้างสูง
4) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง
5) ต้องติดตามการทำงานของถุงกรอง โดยสังเกตจากผลต่างความดันคร่อมสองฝั่งของระบบกรอง เพื่อทราบปัญหาการรั่วเสียหายของถุง
6) ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งพอสมควร

3. 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 หรือคุณภาพน้ำบาดาลต่ำมาก
5) ลมที่ปล่อยออกมามีความชื้นสูง อาจก่อให้เกิดปัญหาการผุกร่อนของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

3.7.1 ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก

ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียกนี้เป็นวิธีนี้ที่มีความประหยัดและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สูง และยังเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงพอสมควร

การกำจัดฝุ่นแบบเปียกเป็นการใช้ของเหลวในการควบคุม ลด และกำจัด (elimination) ฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ (airborne dust) หรือกำจัด (suppression) ฝุ่นที่แหล่งกำเนิดของมัน การควบคุมฝุ่นเกี่ยวข้องกับกระบวนการดังนี้ (Natale , 1973)

1) การกักขัง (confinement) ฝุ่นที่พื้นที่ที่เกิดฝุ่นด้วยม่านความชื้น (curtain of moisture)
2) การทำให้ฝุ่นเปียกโดยการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคและหยดของความชื้น
3) การเกิดการจับเป็นกลุ่มก้อน (formation of agglomerate) ที่หนักเกินกว่าที่จะลอยในอากาศหรือหนักเกินไปที่จะกลายเป็นฝุ่นที่ลอยในอากาศ โดยการผสมกันระหว่างอนุภาคฝุ่นด้วยกันเองและอนุภาคหยดของเหลว

การกำจัดฝุ่นแบบเปียกเป็นวิธีที่ใช้ความชื้นโดยใช้น้ำหรือสารประกอบควบคุมฝุ่น (dust control compound) (Natale , 1973) วิธีนี้ใช้กับหินหรือแร่ต่างๆ เพื่อปรับสภาพให้วัสดุที่ผลิตอยู่ในสภาพที่ไม่เกิดฝุ่น (dust free)

ความมุ่งหมายหลักของระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียกไม่ใช่การทำให้เกิดหมอกที่ละเอียดที่บริเวณแหล่งกำเนิดฝุ่น แต่เป็นการทำให้ฝุ่นเปียกเพื่อทำให้อนุภาคฝุ่นหลังจากเปียกรวมตัวกัน ดังนั้นวัตถุประสงค์ขั้นต้นของระบบการกำจัดฝุ่นแบบเปียก คือ การป้องกันฝุ่นจากการกลายเป็นฝุ่นล่องลอยในอากาศ (airborne dust) มากกว่าการกำจัดฝุ่นออกจากอากาศ หรือเพื่อเป็นเหตุให้เกิดการจับตัวและตกลง (precipitate) หลังจากที่กลายเป็นฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศแล้ว

วิธีการนี้เหมาะสมอย่างยิ่งต่อโรงโม่หินหรือโรงโม่แร่ต่างๆ เพราะว่าเราไม่สามารถปิดคลุมในกระบวนการการผลิตทั้งหมดเพื่อสร้างระบบรวบรวมฝุ่น จำเป็นต้องเปิดโล่งในบางจุดเพื่อเข้าไปบำรุงรักษา

ความชื้นที่ให้แก่วัตถุดิบในกระบวนการผลิตต่างๆ จะยังคงมีผลต่อการควบคุมฝุ่นในจุดถัดไปหลังจากผ่านจุดที่สเปรย์น้ำไปแล้ว

ระบบควบคุมและกำจัดฝุ่นนี้สามารถใช้ได้กับทุกๆ จุดในกระบวนการผลิตซึ่งระบบกำจัดที่ต้องมีการรวบรวมฝุ่นไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ เช่น ในจุดที่หินตกสู่สายพาน กองหิน หรือรถบรรทุก

I17928990

โดยทั่วไปสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือปริมาณความชื้นที่ให้แก่หินหรือแร่ได้อย่างเพียงพอและเหมาะสม สิ่งนี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบจะประสบความสำเร็จหรือไม่ โดยปกติการให้ความชื้นจะเริ่มที่รถบรรทุกที่จุดเทหิน ซึ่งจะนำความชื้นสู่วัตถุดิบและกำจัดฝุ่นที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการเทหินลงสู่ปากโม่ ในการโม่จะทำให้เกิดพื้นผิวแห้งใหม่ที่ถูกเปิดออกของหินขึ้น จำเป็นต้องมีการให้ความชื้นอย่างพอเพียงที่จะปิดพื้นผิวแห้งใหม่ที่ก่อให้เกิดฝุ่นนี้ ซึ่งภายในเครื่องโม่เป็นจุดที่มีการเคลื่อนที่ของหินโดยเครื่องโม่เป็นการช่วยผสมความชื้นสู่พื้นผิวแห้งใหม่ของหิน

เป็นสิ่งที่ดีต่อประสิทธิภาพและการควบคุมระบบกำจัดฝุ่น ถ้าการป้อนหินสู่กระบวนการผลิตมีอัตราที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ

การให้ความชื้นที่สายพานจุดถ่ายโอนหิน ตะแกรงคัดขนาด ไม่จำเป็นถ้าการให้ความชื้นในจุดก่อนหน้านี้เหมาะสมและเพียงพอที่จะทำให้กจุดเหล่านี้ไม่เกิดฝุ่น

วิธีการกำจัดฝุ่นแบบเปียกถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพกับหินและแร่หลายชนิด เช่น หินปูน หินแกรนิต หินชั้น แร่ทองแดง แร่เหล็ก ทาโคไนต์(taconite) นิเกิล โดโลไมต์ แอสเบสตอส กรวดและทราย เป็นต้น

โดยผ่านการควบคุมความชื้นที่เหมาะสม หินขนาดเล็กจะถูกคัดออกจากหินขนาดใหญ่โดยไม่เกิดผลเสียจากการให้ความชื้น เช่น ตะแกรงอุดตัน

ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเกิดจากวัตถุดิบที่ประกอบด้วยอนุภาคละเอียด เช่น ดิน โคลน ทรายละเอียด พื้นที่ผิวจะสูงมากและทำให้ต้องใช้ความชื้นสูงในการกำจัด การให้ความชื้นแก่วัตถุดิบในสถานการณ์นี้จำเป็นต้องมีการควบคุมอัตราไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตให้ช้าลงหรือไม่ก็ต้องมีการปรับลักษณะและอัตราของการฉีดพ่นน้ำ เพราะหยดน้ำจำเป็นจะต้องสัมผัสกับพื้นผิวของอนุภาคจำนวนมากซึ่งจะต้องเพียงพอและเหมาะสมกัน ซึ่งความชื้นที่ให้จะต้องมากกว่าการโม่หินทั่วๆไป ถ้ามีอนุภาคละเอียดเช่นนี้มากอาจจะต้องใช้ความชื้นสูงถึง 4 - 5 %

ในบางโอกาสการกำจัดฝุ่นแบบเปียกจะทำให้เกิดการเคลือบของอนุภาคขนาดเล็กหรือฝุ่นขนาดเล็กรอบๆ หินที่เป็นผลิตภัณฑ์ (coating of stone) ซึ่งจะเป็นผลให้หินนี้ขายไม่ได้ราคาและไม่สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างหลายชนิดได้ ในสถานการณ์เช่นนี้การใช้ระบบกำจัดฝุ่นที่ผสมผสานกันระหว่างระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียกและแบบแห้งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ระบบเปียกที่ตะแกรง จุดถ่ายโอนหิน กองหิน และการบรรทุกหินขึ้นรถ ส่วนระบบรวบรวมและกำจัดฝุ่นแบบแห้งใช้กับเครื่องโม่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละเอียด เนื่องจากฝุ่นละเอียดนี้จะสามารถเกาะติดหินได้เมื่อโดนความชื้น

จากประสบการณ์ที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าระบบการกำจัดฝุ่นแบบที่ต้องมีการรวบรวมฝุ่นไม่สามารถออกแบบให้การควบคุมฝุ่นในทุกๆ จุดได้ในราคาที่เหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันโครงการส่วนใหญ่จะมุ่งใช้ประโยชน์จากระบบเปียก และระบบรวบรวมและกำจัดฝุ่นแบบแห้งรวมกัน

ตามที่กล่าวมาข้างต้น ระบบควบคุมฝุ่นแบบเปียกสามารถควบคุมฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพในระบบและกระบวนการผลิตที่ต่างๆ กัน ที่จุดต่างๆ กัน ส่วนระบบรวมระหว่างระบบการกำจัดฝุ่นแบบเปียกและระบบรวบรวมฝุ่นแบบแห้งจะสามารถควบคุมและกำจัดฝุ่นได้ดีกว่าการใช้ระบบใดระบบหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด

ตัวอย่างเช่นเครื่องโม่ขั้นที่สองที่เป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละเอียด ถ้าหินถูกให้ความชื้นที่ทางเข้าปากโม่ เราจะสามารถการควบคุมฝุ่นบริเวณทางเข้าปากโม่ ในเวลาเดียวกัน ระบบดูดฝุ่นจะดูดบริเวณภายในเครื่องโม่ ทำให้อนุภาคละเอียดที่จะเกิดขึ้นที่ด้านออกของเครื่องโม่ถูกรวบรวมทั้งหมด หลังจากผ่านกระบวนการนี้ การให้ความชื้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เกิดสภาวะที่ปราศจากฝุ่นที่จุดถ่ายโอน ตะแกรง ยุ้ง กองหิน และจุดจ่ายหินอื่นๆ และหินที่ได้ก็จะไม่มีปัญหาการเคลือบของฝุ่น สิ่งสำคัญที่ยังต้องคำนึงคือพบว่าถึงแม้จะมีระบบรวบรวมฝุ่นดูดฝุ่นที่เกิดจากเครื่องโม่ออกแล้ว แต่พบว่ายังสามารถเกิดฝุ่นที่ตะแกรง กองหิน และอื่นๆ ได้

การรวมระหว่างระบบการกำจัดฝุ่นแบบเปียกและระบบรวบรวมฝุ่นเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในงานดังนี้

1. ในท้องที่ที่ซึ่งอนุภาคฝุ่นละเอียดมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ สามารถนำไปขายได้ นอกจากที่จะต้องควบคุมความเป็นมลพิษให้ได้ตามที่ท้องถิ่นนั้นๆ กำหนด
2. ถ้าการผลิตมีการใช้ตะแกรงขั้นที่สองที่ละเอียดมาก ระบบรวมรวมฝุ่นจะป้องกันการอุดตันของตะแกรง (blind of the screen) ได้

โรงโม่หินทั่วไปสร้างปัญหามลภาวะเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดทางกายภาพ จำนวนเครื่องโม่ ตะแกรง จุดถ่ายโอน ตัวป้อน กองหิน เป็นต้น แหล่งกำเนิดฝุ่นบางจุดยากที่จะครอบคลุมบวกกับจุดที่เกิดฝุ่นมีปริมาณฝุ่นมาก ทำให้เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติที่จะใช้ระบบรวมฝุ่นอย่างเดียว

การใช้ระบบดูดและรวบรวมฝุ่นอย่างเดียวจะต้องใช้ระบบรวบรวมกลาง เช่น ถุงกรองขนาดใหญ่มาก หรือต้องใช้เป็นจำนวนมาก ใช้ระบบท่อรวบรวมขนาดใหญ่ซึ่งจะต้องเดินไปตามสายการผลิตที่ซับซ้อน แต่จะไม่มีผลตกทอดในการควบคุมหรือลดปริมาณการเกิดฝุ่นในจุดถัดไปเช่นเดียวกับระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก ซึ่งถ้าใช้ระบบนี้อย่างเดียวจะเกิดปัญหาฝุ่นที่รุนแรงที่กองหิน การตักหินใส่รถบรรทุก สายพาน หรือจุดที่เปิดให้ลมพัดผ่านได้

ข้อดีของการใช้ระบบผสมมีดังนี้

1.ภาระของระบบดูดและรวบรวมฝุ่นลดลงอย่างมาก เป็นการลดขนาดตัวรวบรวมและลดขนาดของมอเตอร์ของระบบดูดฝุ่นให้มีขนาดเล็กลง เช่น ถุงกรองก็มีขนาดลดลงมาก

2.ปัญหาของการเคลือบหินของฝุ่นละเอียดจะหมดไป

3. สามารถควบคุมฝุ่นได้ประสิทธิภาพสูงสุดทุกพื้นที่การผลิต

4.ฝุ่นที่รวบรวมสามารถนำไปขาย นำผลกำไรกลับคืนมา ซึ่งสามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาระบบ

ไม่มีสูตรอย่างง่ายหรือรวดเร็วซึ่งสามารถอธิบายปัญหามลภาวะอากาศจากโรงโม่หิน องค์ประกอบของการกำจัดฝุ่นแต่ละโรงงานสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้
2. ชนิดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้
3. แผนผังและขนาดโรงงาน
4. กำลังการผลิต
5. สภาพท้องถิ่น
6. กฎหมายและการบังคับควบคุมมลภาวะอากาศ

องค์ประกอบเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องถูกวิเคราะห์อย่างระมัดระวังเพื่อที่จะให้ระบบการกำจัดฝุ่นมีประสิทธิภาพสูงสุดและมีต้นทุนต่ำสุด

3.7.2 การออกแบบระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก (Natale , 1973)

ก่อนการออกแบบระบบการกำจัดฝุ่นแบบเปียก จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของความต้องการของโรงงาน สิ่งแรกที่ต้องสำรวจคือ รายละเอียดของสภาพการทำงานทั่วๆไปและธรรมชาติของปัญหาที่เกิดขึ้น ปัจจัยบางปัจจัยที่ต้องพิจารณามีดังนี้

1. ชนิดของวัตถุดิบ
2. การเคลื่อนไปของวัตถุดิบภายในโรงงาน
3. แผนผังโรงงานรวมถึงขนาด
4. ขนาดและชนิดของเครื่องโม่ สายพาน ตะแกรง ยุ้ง ตัวป้อน และอุปกรณ์ต่างๆ
5. เวลากักของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่ยุ้งหรือกองหิน
6. ปริมาณการไหลของวัตถุดิบที่จุดต่างๆ
7. อุณหภูมิของวัตถุดิบในจุดต่างๆ

8. ชนิดและคุณภาพของน้ำที่หาได้

9. ไฟฟ้าที่หาได้

10. จุดที่เกิดฝุ่นหลักและสภาพที่เกิดขึ้น ณ จุดเหล่านี้ในระหว่างการทำงานปกติ

ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของการกำจัดฝุ่นแบบเปียกนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและความซับซ้อนของระบบการผลิต ไฟฟ้าและน้ำที่สามารถหาได้และระยะทางที่เกี่ยวข้อง ค่าแรงงานท้องถิ่น ด้วยเหตุผลนี้จึงสามารถหาสูตรค่าใช้จ่ายมาตรฐานซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินต่อตันการผลิตได้ เช่น โรงไม่หินที่มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 500 ตัน / ชม. สามารถประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นเป็นจำนวนเงิน 20,000 ดอลลาร์สหรัฐ (1973) ราคานี้รวมถึงค่าอุปกรณ์ต่างๆ วิศวกรรม การก่อสร้าง การติดตั้งระบบไฟฟ้า และน้ำที่ใช้ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงการระเหยของความชื้นจะมีสูง จะต้องคำนวณเผื่อจุดนี้ในการออกแบบระบบซึ่งจะต้องปรับปริมาณความชื้นให้สูงขึ้น

3.8 การกระจายขนาดของอนุภาค

พฤติกรรมของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค กลไกการทับถมด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก การแพร่ผ่าน แรงเฉื่อย และกลไกทางไฟฟ้าสถิตย์ ผลกระทบของการกระจายแสงและผลกระทบต่อสุขภาพมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคด้วย (Cooper , 1993) โดยทั่วไปการแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคมักจะแสดงอยู่ในรูปของความถี่ฮิสโตแกรม หรือการกระจายความถี่สะสม ซึ่งสามารถที่จะทำการแยกขนาดของอนุภาคได้ว่ามีปริมาณของอนุภาคขนาดต่างๆ กันเท่าไร วิธีการวัดการกระจายขนาดของอนุภาคมีหลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับสุขภาพ คือการวัดขนาดแบบปะทะ โดยใช้ความเฉื่อยของอนุภาคในการเก็บตัวอย่าง ความสำคัญจึงอยู่ที่มวลและความเร็วของอนุภาค

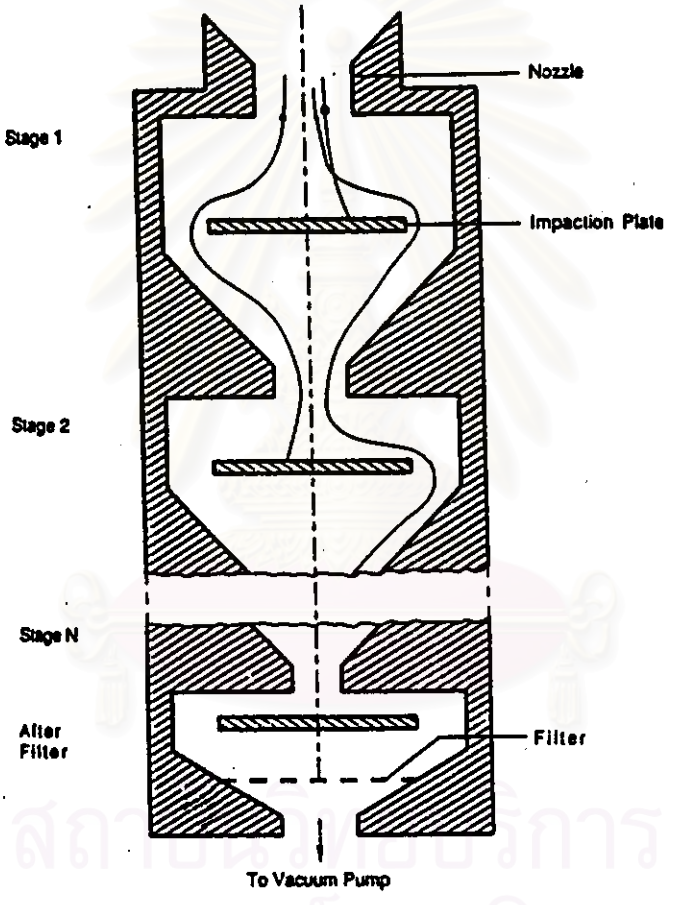
เครื่องวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้ตัวกระทบนี้ (impactor) ใช้หลักที่ว่าอนุภาคที่มีมวลต่างๆ กัน จะมีความเฉื่อยที่ความเร็วที่กำหนดให้ต่างๆ กัน (APHA intersociety committee , 1977) ความเร็วของกระแสอากาศที่ไหลอยู่ในแต่ละชั้นของตัวดกกระทบนี้จะไม่เท่ากัน เนื่องจากรูพ่นที่อยู่ด้านล่างของแต่ละชั้นมีจำนวนและขนาดไม่เท่ากัน ชั้นบนจะมีความเร็วของกระแสอากาศต่ำกว่าด้านล่าง อนุภาคที่มีความเฉื่อยมากกว่าค่าความเร็ววิกฤติจะออกไปจากกระแสอากาศและตกลงบนแต่ละชั้นของตัวกระทบที่ซ้อนกันอยู่หลายชั้นนี้ อนุภาคขนาดใหญ่ที่มีความเฉื่อยสูงกว่าจึงถูกแยกออกที่ชั้นบน อนุภาคที่เล็กกว่าจะถูกแยกออกในชั้นต่อๆ ไป เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โดยทั่วไปจะเรียกว่า cascade impactor ซึ่งมีการสร้างโดยใช้หลักการดังที่กล่าวมาแล้ว

ดังรูปที่ 3.6 ข้อมูลของขนาดต่างๆ ของอนุภาคที่ได้จากตัวกระทบหลายชั้นนี้จะถูกแสดงผลในรูปของ ขนาดเทียบเท่า (equivalent size) หรือ ขนาดอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic size) ของอนุภาคต่างๆ โดยไม่คำนึงรูปร่างหรือความหนาแน่นของอนุภาค ขนาดอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคเป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินผลของอนุภาคมลพิษที่มีสุขภาพ สำหรับการเลือกและออกแบบอุปกรณ์ควบคุม และสำหรับการสร้างแบบจำลองอากาศของอนุภาคมลพิษ

3.9 ตัวคูณอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษจากแหล่งกำเนิด

การหาค่านี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการประเมินความเป็นมลพิษที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดการเลือกและออกแบบระบบควบคุมอนุภาคมลพิษ การประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมอนุภาคมลพิษ การสร้างแบบจำลองอากาศของอนุภาคมลพิษ รวมทั้งเป็นแนวทางในการวางแผนและจัดการควบคุมหรือลดผลกระทบอนุภาคมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีหน่วยซึ่งเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

โดยทั่วไปแล้วมีอุตสาหกรรมน้อยชนิดมากที่ไม่มีการปล่อยฝุ่นละอองออกจากกระบวนการผลิต ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาขึ้นกับกระบวนการผลิตที่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ และลักษณะการทำงานที่ต่างๆ กันในกระบวนการผลิตนั้นๆ การหาสูตรคำนวณเพื่อหาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษจากแหล่งกำเนิดหรือแหล่งปล่อยที่ถูกปิดล้อมไว้ เช่น ปล่องไฟ สามารถทำได้ง่ายและมีความแม่นยำสูง แต่การหาการค่าตัวคูณปริมาณอนุภาคมลพิษที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่มีการฟุ้งกระจาย เช่น กองถ่านหิน หรือจากกระบวนการผลิตที่มีการทำงานของคนหรือเครื่องจักร เช่น การตัก การขุด การบด หรือสายพานลำเลียง เป็นต้น จะทำได้ยาก และจะต้องมีการออกแบบวิธีการหาค่านี้เป็นในแต่ละกรณีไป (Harrison and Perry , 1986) ซึ่งการประเมินอาจจะมีความไม่แน่นอนสูงเมื่อเทียบกับการหาในแหล่งกำเนิดที่ถูกปิดล้อมไว้ แต่ก็เป็นค่าที่สำคัญที่จำเป็นในการที่จะต้องวิเคราะห์ ค่าการปล่อยฝุ่นหรืออนุภาคมลพิษออกจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการแสดงผลที่ดีที่สุด คือ อยู่ในรูปของ กิโลกรัมของฝุ่นหรืออนุภาคมลพิษต่อตันของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้



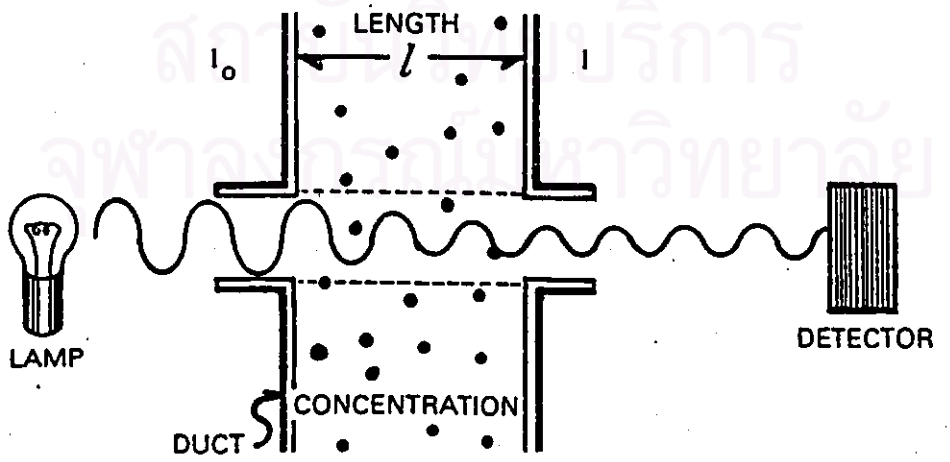
รูปที่ 3.6 ภาพจำลองเครื่องเก็บตัวอย่างแบบ cascade impactor (Gebhart , 1993)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.10 การใช้ความทึบแสงในการประเมินความเป็นมลพิษของอนุภาคมลสาร

การใช้หลักของการกระจายของแสง (light scattering) และการดูดซับของแสง (light absorption) ในการประเมินค่าการความทึบแสงเพื่อวิเคราะห์หาระดับความเป็นมลพิษของอนุภาคมลพิษ ในปัจจุบันถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในการประเมินต่อเนื่อง (continuous monitors for opacity measurement) เพราะสามารถรู้ผลได้ทันทีอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตั้งตามปล่องหรือปล่องไฟที่จะมีการปล่อยอนุภาคมลพิษ เช่น โรงงานไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานหลอมโลหะ เป็นต้น ในขณะเดียวกันก็มีการนำมาดัดแปลงให้สามารถเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายสะดวก เพื่อนำไปใช้ในการวัดปริมาณอนุภาคมลพิษที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์เช่นกัน ในการประเมินความเป็นมลพิษจากแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมไม่ บด และย่อยหิน ก็มีการแนะนำให้ใช้การประเมินในรูปของความทึบแสงเพื่อใช้ในการควบคุมการกำจัดฝุ่นจากอุตสาหกรรมนี้ (Sussman , 1977) เนื่องจากเพราะว่าความยากและความไม่สะดวกในการประเมินอนุภาคมลพิษที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มาจากกระบวนการผลิตภายในโรงไม่หินโดยใช้วิธีวัดความเข้มข้นโดยตรง และการประเมินโดยวิธีนี้สามารถรู้ผลได้ในทันทีทันใด เหมาะสมกับสภาพการทำงานในโรงไม่หินที่ปริมาณฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดจะมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

การทำงานของเครื่องมือชนิดนี้อาศัยการส่งผ่านของแสงไปยังกระแสของอนุภาคมลพิษหรือฝุ่น แสงจะถูกทำให้เบาบางลงโดยการดูดกลืนหรือกระจัดกระจายเนื่องจากอนุภาคมลสาร และจะมีตัวรับแสง (detector) วัดแสงที่ตกลงบนอีกด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7



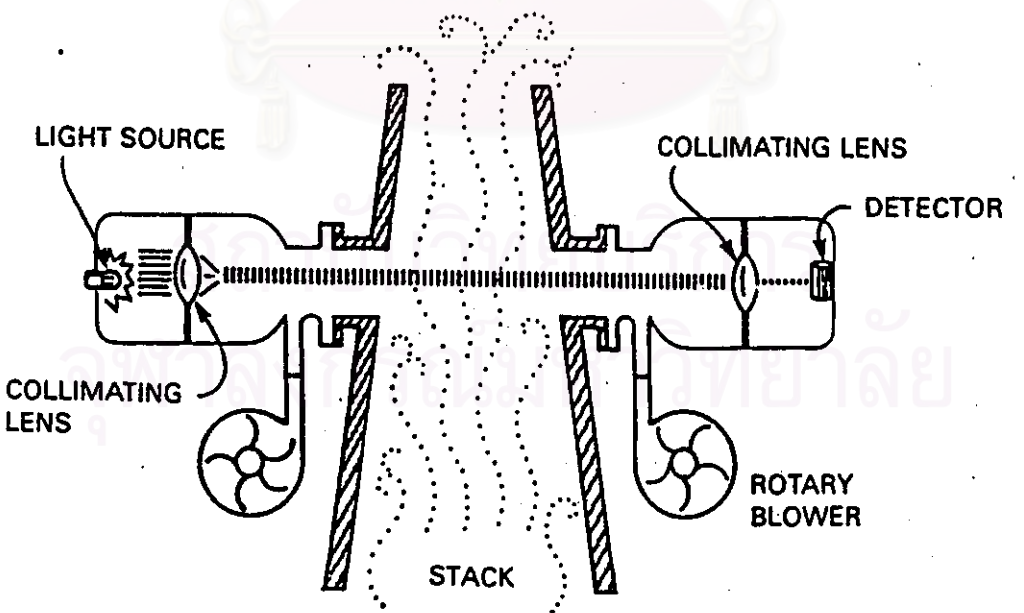
รูปที่ 3.7 หลักการทำงานของ opacity meter (US. EPA. , 1979)

ค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับแสงที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิด เรียกว่า ค่าการส่งผ่านของแสง (transmittance value) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่านี้เรียกว่า transmissometer (U.S. EPA , 1979) ค่าเปอร์เซนต์ความทึบแสงก็คำนวณได้จากค่าการส่งผ่านของแสง โดยมีสมการดังนี้

เปอร์เซนต์ความทึบแสง = 100 - เปอร์เซนต์การส่งผ่านของแสง

ถ้าแสงไม่สามารถส่องผ่านอนุภาคมลสารหรืออนุภาคฝุ่นได้เลยก็แสดงว่ามีค่าเปอร์เซนต์ความทึบแสงเท่ากับ 100 % แต่ถ้ากระแสของอนุภาคมลสารไม่ได้ทำให้แสงเบาบางลงเลย แสดงว่ามีค่า เปอร์เซนต์ความทึบแสง 0 %

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านเลนส์ ตัวทำความสะอาดเลนส์ซึ่งโดยมากจะใช้ชุดของปั๊มลม ผ่านกระแสอนุภาคมลพิษหรือฝุ่นในระยะทางที่กำหนด (path lenght) ในแต่ละระบบหรือเครื่องมือ และไปตกกระทบยังเลนส์ที่อยู่ฝั่งตรงกันข้าม และผ่านไปยังตัวรับแสง ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงรูปของชุด opacity meter ที่ใช้ประยุกต์ในการวัดความทึบแสงจากปล่อง ระบบจะเปรียบเทียบแสงที่ปล่อยออกมากับแสงที่ตัวรับแสงรับได้ และแสดงผลค่าความทึบแสงออกมา



รูปที่ 3.8 ชุดของ opacity meter ที่ใช้ในการประยุกต์วัดความทึบแสงจากปล่อง (US. EPA., 1979)

transmissometer เป็นเครื่องมือที่วัดค่าการส่องผ่านของแสงโดยตรง โดยแสงที่ปล่อยออกมาจะถูกทำให้เบาบางลงโดยกระแสอนุภาคมลพิษที่มองเห็นได้ (visible emission) โดยการดูดกลืนและถูกทำให้กระจัดกระจาย transmissometer เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาวัดความเข้มข้นของอนุภาคมลสารในกระแสอากาศหรือพลูม ถ้าขนาด รูปร่าง และส่วนประกอบของอนุภาคมลสารไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมวลและการส่งผ่านของแสงผ่านอนุภาคมลพิษในหลายๆ แหล่งกำเนิดสามารถทำได้ (APHA intersociety committee , 1977) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำมาหาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษหรือฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดต่อไป

3.11 ฝุ่นที่เกิดจากกองหิน

กองหินในอุตสาหกรรมโรงโม่หินส่วนใหญ่จะถูกกองไว้กลางแจ้งโดยไม่มีวัสดุปกคลุม เพราะว่าปริมาณและน้ำหนักของหินมีมาก และความถี่ในการถ่ายเทหินเข้าหรือออกจากกองหินนั้นยกเว้นหินขนาดเล็ก เช่น หินฝุ่นซึ่งมีปริมาณและน้ำหนักไม่มากจะนิยมใส่ไว้ในยุ้งที่มีช่องเปิดด้านล่างสำหรับถ่ายเทลงรถบรรทุก

การปล่อยฝุ่นออกมาเกิดขึ้นในหลายๆ จุดของกระบวนการกองและถ่ายเทหิน ระหว่างการถ่ายหินลงสู่กองหิน การรบกวนของกระแสลม การถ่ายเทหินออกจากกองหิน

ปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองออกจากกระบวนการกองและถ่ายเทหินจะแปรผันตามปริมาณของหินที่เข้าสู่กองหิน และการปล่อยฝุ่นยังขึ้นกับพารามิเตอร์สำคัญ 3 ตัว คือ ความเร็วลม ความชื้นของหิน และส่วนประกอบของหินละเอียดหรือฝุ่นที่ปนอยู่ในหิน (US EPA , 1985)

เมื่อมีการเทหินลงสู่กองหิน หินละเอียดหรือฝุ่นจะง่ายที่จะไม่ตกลงสู่กองหิน แต่จะถูกลอยออกสู่บรรยากาศจากการสัมผัสกับกระแสอากาศที่ปั่นป่วน อย่างไรก็ตาม ความชื้นสามารถลดการปล่อยฝุ่นออกมาได้อย่างมาก ความชื้นจะส่งผลให้เกิดการรวมตัวและการจับตัวกัน (aggregation and cementation) ของอนุภาคละเอียดกับพื้นผิวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า การทดสอบในภาคสนามได้แสดงให้เห็นว่าการปล่อยฝุ่นจากการกองและถ่ายเทหินแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเปอร์เซนต์ซิลท์ (อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน) ของหิน

ในการศึกษานี้ ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากกองหินเกือบทั้งหมดมาจากการที่หินตกลงจากสายพาน ลอยอยู่ในอากาศและตกกระทบลงบนกองหินที่อยู่เบื้องล่าง สมการการประเมินตัวคูณปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากหินที่ตกจากสายพานลงสู่กองหิน ปริมาณของอนุภาคที่ปล่อยออกมาที่เกิด

จากการลำเลียงต่อเนื่อง ต่อจำนวนตันที่ลำเลียง อาจจะประเมินได้จากสมการที่มีค่า emission factor rating เท่ากับ C ดังนี้ (US EPA , 1985)

$$E = k(0.0009)\ \frac{(s/5)(U/2.2)(H/3.0)}{(M/2)^2} \qquad (kg/Mg)$$

โดยที่ E = ตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด

k = ตัวคูณขนาดอนุภาค (ไม่มีหน่วย)

s = สัดส่วนของซิลท์ (%)

U = ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

H = ความสูงของการเท (m)

M = สัดส่วนความชื้นของหิน (m)

ตัวคูณขนาดอนุภาค (k) สำหรับสมการนี้แปรผันกับ aerodymic particle size ดังที่แสดงในตาราง 3.4 ดังนี้

ตารางที่ 3.6 aerodynamic particle size multipler (k)

สมการ	<30 ไมครอน	<15 ไมครอน	<10 ไมครอน	<5 ไมครอน	<2.5 ไมครอน
batch drop	0.73	0.48	0.36	0.23	0.13
continuous drop	0.77	0.49	0.37	0.21	0.11

3.12 emission factor rating

ในการตีพิมพ์เผยแพร่ค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองของ US EPA จะมีการกำกับค่า emission factor rating เพื่อแสดงระดับของความคลาดเคลื่อนหรือความน่าเชื่อถือของเทคนิควิธีที่นำมาหาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละออง หรือนำมาสร้างเป็นสมการที่ใช้หาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยอนุภาคมลพิษ โดยกำหนดเกรดเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ A , B , C, ... ไล่ไปตามลำดับของตัวอักษร โดย A จะมีระดับความคลาดเคลื่อนต่ำสุดและความน่าเชื่อถือสูงที่สุด ส่วนเกรดที่ยิ่งห่าง

จากตัวอักษร A มากเพียงไร ความคลาดเคลื่อนก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น และความน่าเชื่อถือก็จะลดลง ซึ่งหาก emission factor rating มีค่าต่ำกว่า C ความน่าเชื่อถือของค่าที่ได้จะอยู่เกณฑ์ค่อนข้างต่ำ

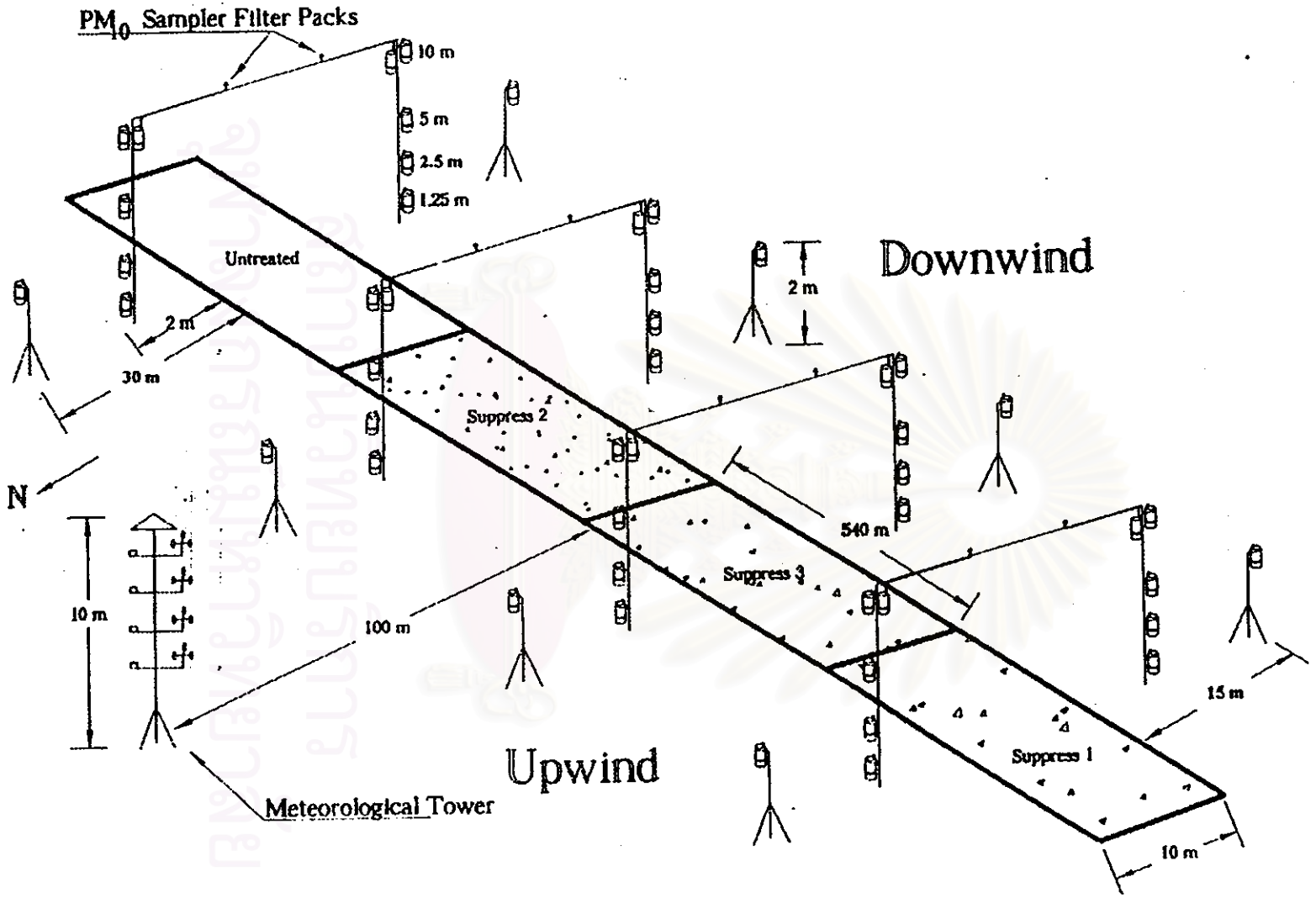
3.13 การศึกษาการหาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองที่ผ่านมา

การหาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดที่เช่น อุตสาหกรรมต่างๆ มีการศึกษาอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่ที่มีการตีพิมพ์ออกเผยแพร่ในเอกสารทางวิชาการจะแสดงเพียงแค่สมการที่ใช้หาค่าหรือค่าของมันเท่านั้น ไม่มีการอธิบายถึงวิธีการ เทคนิค และอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่านี้ ส่วนใหญ่สิ่งเหล่านี้จะพบในรายงานการวิจัยหรือเอกสารการนำเสนอผลงานซึ่งในประเทศไทยไม่มีเอกสารเหล่านี้

Gillies et al. (1997) ได้หาค่าตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากถนนที่ไม่มีวัสดุปูผิวหน้า และจากถนนที่ไม่มีวัสดุปูผิวหน้าที่มีการควบคุมฝุ่นโดยใช้สารเคมีกำจัดฝุ่น 4 ชนิดราดที่ผิวหน้า โดยมีการประเมินค่าอัตราการปล่อยฝุ่นละอองโดยใช้วิธี profile method หาค่าฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากพลูมของฝุ่น เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่าง PM-10 คือ tower-mounted portable PM-10 samplers (AIRMETRICS , Sringfield , OR) โดยมีการออกแบบการทดลองใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง 4 ตัวจะติดตั้งที่ความสูง 1.25 , 2.5 , 5 และ 9 เมตรตามลำดับ เพื่อหา profile ของ PM-10 ที่เกิดจากถนน ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอีกตัวห่างจากถนนที่ตรวจวัด 30 เมตรในทิศทางเหนือลมเพื่ออ้างอิง รูปการติดตั้งเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 3.9

สารเคมีที่ใช้ในการปูผิวหน้าเพื่อควบคุมฝุ่นทั้ง 4 ชนิด คือ biocatalyst stabilizer (BS), polymer emulsion (PE) , petroleum emulsion with polymer (PEP), non-hazardous crude-oil containing materials (NHCO) ฝุ่นที่เกิดจากพื้นผิวถนนควบคุมให้เกิดโดยใช้รถปิคอัพขนาด 0.75 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 40 และ 50 กม./ชม. เป็นระยะทาง 50 กม. ต่อหนึ่งการทดลอง

การหาค่าความเข้มข้นของ PM-10 โดย profile method เพื่อหาค่าตัวแทนของฝุ่นที่เกิดจากถนน ทำโดยการสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของ PM-10 กับความสูง หาพื้นที่ได้กราฟ นำค่าที่ได้มาหาความเข้มข้นที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ควบคุม



รูปที่ 3.9 การจัดวางเครื่องมือเพื่อหาตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากถนนที่มีไม่มีการควบคุมฝุ่นและมีการควบคุมฝุ่นต่างกัน 3 แบบ

ฟลักซ์ของอนุภาคที่ปล่อยออกมาจากการสัญจรของยานพาหนะหาโดยใช้สูตร

$$F = CVhL$$

โดย F = ฟลักซ์ของ PM-10 (กรัม/วินาที)

C = ความเข้มข้นที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ควบคุม (กรัม/ลบ.ม.)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่ควบคุม (เมตร/วินาที)

h = ความสูงของพื้นที่ควบคุม (เมตร)

L = ความยาวของพื้นที่ควบคุม (540 เมตร)

หาค่าฟลักซ์ต่อหนึ่งคันของรถที่สัญจรหรือตัวคูณอัตราการปล่อย PM-10 ได้โดยการคำนวณดังนี้

$$E = (FxT) / D$$

โดย E = ฟลักซ์ต่อหนึ่งคันของรถที่สัญจรหนึ่งกิโลเมตร (g- PM-10 / VKT)

(กรัม-PM-10 ต่อกิโลเมตรที่ยานพาหนะสัญจร)

F = ฟลักซ์ของ PM-10 (กรัม/วินาที)

T = ระยะเวลาที่ตรวจวัด (วินาที)

D = ระยะทางทั้งหมดที่รถสัญจรในช่วงเวลาที่ตรวจวัด

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองระหว่างเดือนกรกฎาคม 1995 ,ตุลาคม 1995 และมิถุนายน 1996 ตัวคูณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองที่ประเมินได้จากกรณีไม่มีการควบคุมฝุ่นและควบคุมฝุ่นโดยสารเคมีมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 800 กรัม-PM-10/ VKT ที่ความเร็วของรถ 40 กม./ชม. และ 0 ถึง 1361 กรัม-PM-10/ VKT ที่ความเร็วของรถ 55 กม./ชม.

ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ควบคุมฝุ่นมีค่าแปรผันกว้างมาก polymer emulsion มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพสูงกว่า 80 % มีความทนทานและให้การยึดติดกับผิวถนนดี non-hazardous crude oil มีประสิทธิภาพ 95 % หลังจากที่ผ่านไป 8 เดือน ประสิทธิภาพของ petroleum emulsion และ polymer mixture อยู่ที่ 73 % หลังจากผ่านไป 3 เดือน และ 49 % หลังจากผ่านไป 12 เดือน ส่วน biocatalyst stabilizer มีประสิทธิภาพเพียง 33 % เท่านั้น