บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำศัพท์และความหมาย

มีศัพท์หลายคำที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ และเกี่ยวกับอนุภาคฝุ่น รวมถึงมลพิษทางอากาศที่สมควรอธิบายความหมายเพื่อให้มีความเข้าใจตรงกัน คำศัพท์เหล่านี้ในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีความหมายใกล้เคียงกัน Howard E. Hesketh (1974) ได้ให้ความหมายของศัพท์เหล่านี้ไว้ดังนี้

- **วัสดุอนุภาค** (Particulate Matter) คือ วัตถุหรือสสารที่เป็นของเหลวหรือของแข็งใดๆ ที่อยู่ในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.2 นาโนเมตร – 500 ไมโครเมตร

- **ฝุ่น** (Dust) คือ อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการแตกตัว การถูกบดอัด หรือการสลายตัวที่เกิดจากกระบวนการทางกล โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึงหลายร้อยไมโครเมตร อนุภาคฝุ่นโดยทั่วไปมีรูปร่างของอนุภาคที่ไม่แน่นอน

- **มลพิษอากาศ** (Air Pollution) คือ การดำรงอยู่ของสสารหรือวัตถุผิดปกติ (Abnormal) ในอากาศหรือบรรยากาศที่เป็นผลให้เกิดอันตรายหรือผลร้ายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของสิ่งมีชีวิต

องค์การป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (U.S. Environment Protection Agency,1995) ได้ให้ความหมายของศัพท์ที่อธิบายถึงขนาดของอนุภาคต่างๆ ที่นิยมเขียนเป็นสัญลักษณ์ในภาษาอังกฤษ ดังนี้

- TSP (จำนวนอนุภาคทั้งหมดที่แขวนลอยในบรรยากาศ, Total Suspended Particulate) คือ จำนวน (ปริมาณ) ของอนุภาคที่สามารถถูกเก็บตัวอย่าง และตรวจวัดได้โดยเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูง TSP มีช่วงของขนาดอนุภาคค่อนข้างกว้าง จากการทดสอบในอุโมงค์ลม เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ได้ตั้งแต่เกือบ 100 % จนกระทั่งสามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับ 100

ไมโครเมตรได้เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เพราะว่าเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงมิได้มีการบ่งชี้ถึงช่วงของขนาดอนุภาคที่เก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม U.S.EPA ได้ระบุถึงค่าจุดตัดประสิทธิผลของขนาดอนุภาค (Effective Cut Point) ที่สามารถเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ได้เท่ากับ 30 ไมโครเมตร

- PM_{10} คือ อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์เล็กกว่า 10 ไมโครเมตร

U.S. EPA (1992) ได้ให้ความหมายของศัพท์ที่เกี่ยวข้องถึงการจำแนกฝุ่นจากโรงโม่หินดังนี้

- **ฝุ่นจากแหล่งกระบวนการ** (Process Source) คือ ฝุ่นที่สามารถดักจับและควบคุมได้โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

- **ฝุ่นเล็ดลอด** (Fugitive Dust) คือ ฝุ่นบนพื้นหรือที่เกาะติดอยู่ตามเครื่องจักร ซึ่งถูกทำให้ฟุ้งกระจายในอากาศโดยลม การเคลื่อนไหว หรือการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

2.2 อันตรายของฝุ่น (Dust Hazard)

ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตก่อให้เกิดอันตรายและผลเสียต่างๆ ต่อคนและสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถจำแนกอันตรายของฝุ่นได้เป็น 2 ประเภท ตามผลที่เกิดตามมา ดังนี้

2.2.1 อันตรายของฝุ่นต่อสุขภาพ

อันตรายนี้จะมีผลทั้งคนงานที่อยู่ภายในสถานประกอบการ ชุมชนที่อาศัยอยู่บริเวณโดยรอบโรงงาน และรวมถึงผู้ที่เดินทางสัญจรไปมาผ่านโรงงาน ฝุ่นละเอียดที่ฟุ้งกระจายและแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ จะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อดวงตา และที่สำคัญที่สุดคือ เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและปอดเมื่อเกิดการสะสมอย่างต่อเนื่อง

2.2.1.1 กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจโดยการหายใจ อากาศที่หายใจจะเข้าสู่จมูก คอ ผ่านสู่หลอดลม ขั้วปอด และจากขั้วปอดจะแยกออกสู่ปอดทั้งสองข้างและกระจายออกเป็นท่อเล็ก ท่อฝอย และถุงลมปอดในที่สุด ที่ถุงลมปอดจะมีเส้นเลือดฝอยและท่อน้ำเหลืองอยู่รอบ ๆ ด้วย

แต่ละส่วนของระบบทางเดินหายใจจะมีกลไกในการป้องกันที่จะดักจับสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามากับอากาศที่เราหายใจอยู่ อนุภาคของฝุ่นขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร) ส่วนใหญ่จะถูกดักจับภายในช่องจมูกและคอ ฝุ่นที่สามารถลอดผ่านไปได้บางส่วนจะถูกจับโดยการคัดหลั่งน้ำเมือกออกจากผิวของหลอดลมและท่อลมสาขา เมือกและอนุภาคที่ถูกจับเหล่านี้จะถูกดันขึ้นมาโดยขนขนาดเล็ก (Hairs or Cilia) จำนวนมากที่ทำให้เมือกหรือเสมหะเหล่านี้เคลื่อนที่ออกมาจากหลอดลม ด้วยอัตราความเร็วครึ่งนิ้วต่อนาที และจะถูกขับออกในที่สุด อนุภาคที่เหลือที่เล็กกว่านี้ซึ่งส่วนใหญ่จะเล็กกว่า 5 ไมโครเมตรอาจจะผ่านเข้าสู่ถุงลมปอดในที่สุด ที่นี่จะมีเซลล์ชนิดหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้เก็บกวาดอนุภาคที่หลุดเข้ามา (Mobile Scavenger Cell) เรียกว่า Phagocyte ซึ่งจะดูดกลืนอนุภาคเหล่านี้และนำอนุภาคเหล่านี้ออกไปยังหลอดลมฝอยซึ่งจะถูกผลักดันออกไปโดยขนขนาดเล็กในที่สุด แต่อนุภาคบางส่วนที่เหลืออยู่จะผ่านทะลุถุงลมปอดและฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อปอด และจะทะลุเข้าท่อน้ำเหลืองไปยังต่อมน้ำเหลืองซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวกรองซึ่งฝุ่นจำนวนหนึ่งจะติดอยู่ที่นั่น อนุภาคอีกบางส่วนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเส้นใยหรือการเกิดขึ้นของเยื่อเหนียวหรือ เยื่อพังผืดที่ปอดซึ่งจะเกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อที่ฝุ่นฝังตัวหรือติดอยู่ ส่วนอนุภาคที่เหลือซึ่งโดยมากมีขนาดเล็กมากจะออกมากับลมหายใจออก

2.2.1.2 ผลร้ายของฝุ่นละอองต่อระบบทางเดินหายใจ

ฝุ่นละอองโดยทั่วไปจะมีผลต่อร่างกายมากน้อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของฝุ่น ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่สัมผัส ความแข็งแรงของสุขภาพ หรือภูมิต้านทานของผู้ที่สูดเข้าไป

- โรคภูมิแพ้ (Allergic Reaction) โรคภูมิแพ้เกิดขึ้นโดยการหายใจเอาฝุ่นบางชนิดเข้าไปแล้ว เกิดการกระตุ้นที่เนื้อเยื่อ ทำให้ปล่อยเยื่อเมือกออกมาห่อหุ้ม และค่อยๆ ขับออกมาโดยขนเล็ก ๆ การสะสมของฝุ่นอยู่ที่ผิวของระบบทางเดินหายใจจะทำให้ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการภูมิแพ้ขึ้นชั่วครั้งชั่วคราวแต่เป็นอาการที่ไม่รุนแรงมาก

- นิวโมโคนิโอซีส (Pneumoconiosis) หมายถึง ปอดที่มีอาการผิดปกติหรือโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นอนินทรีย์ (Inorganic Dust) จากบรรยากาศเข้าไปสะสมในปอด ลักษณะของอนุภาคที่ทำให้เกิดนิวโมโคนิโอซีสนั้นจะเป็นเส้นใยค่อนข้างแข็งที่ติดอยู่กับปอด ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ปอดจึงสร้างเยื่อเหนียวหรือเส้นใยมาห่อ ดังนั้นยิ่งหายใจเอาฝุ่นเข้าปอดมากเท่าไร โอกาสที่จะเป็นโรคปอดแข็งหรือนิวโมโคนิโอซีสจะมากขึ้นเท่านั้น อนึ่ง ถ้าเป็นโรคปอดแข็ง ประสิทธิภาพการทำงานของปอดจะลดลง อาการขั้นแรกของโรค คือ หายใจลำบาก ฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรคนี้มีหลายชนิด โรคที่เกิดขึ้นจะมีชื่อเรียกตามชนิดของฝุ่นที่ก่อให้เกิดโรค เช่น ซิลิโคซีส แอสเบสโทซีส เบอริลลิโอซีส เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงฝุ่นที่มีมากในเหมืองหิน และโรงโม่หิน คือ ซิลิโคซีส

- ซิลิโคซีส (Silicosis) เป็นโรคปอดที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นทราย หรือฝุ่นซิลิกาเข้าไป เมื่อหายใจเอาฝุ่นซิลิกาที่เป็นผลึกแหลมคมเข้าไปสะสมอยู่ในปอด ปอดจะสร้างเยื่อพังผืดมาห่อหุ้มผลึกเหล่านั้นไว้ อาการของโรคนี้คือ หายใจลำบาก ต้องหายใจลึก ๆ สั้น ๆ ปริมาตรปอดลดลง เหนื่อยง่าย ทำงานได้น้อยลง อ่อนเพลีย ซึ่งอาจจะนำมาสู่การติดเชื้อวัณโรคได้ง่าย อย่างไรก็ตามอุตสากรรมโม่หินส่วนใหญ่จะมีซิลิกาในหินที่เป็นวัตถุดิบต่ำมากหรือไม่มีเลย

2.2.2 ผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของฝุ่น

ขนาดของฝุ่นจะแปรผกผันกับผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจมนุษย์ โดยจะแบ่งตามขนาดเป็น 3 ขนาด (กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี , 2541) ดังนี้

2.2.2.1 ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร

ฝุ่นในช่วงขนาดนี้ส่วนใหญ่เมื่อแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ไม่นานก็จะตกสู่พื้นดิน ถ้าเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ จะทำให้เกิดอาการ เช่น หายใจไม่สะดวก จาม คัดจมูก แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจมากนัก ยกเว้นได้รับในปริมาณมากๆ และเป็นระยะเวลานาน แต่ฝุ่นขนาดนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่อการมองเห็นอย่างมากอันนำมาสู่ปัญหาของการทำงาน การสัญจรและการทำงานของเครื่องจักร และจะทำให้ผู้ที่สัมผัสเดือดร้อนรำคาญอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อผิวหนัง หู และดวงตา

2.2.2.2 **ฝุ่นที่มีขนาด 0.1 ถึง 10 ไมโครเมตร**

ฝุ่นในช่วงขนาดนี้สามารถเข้าไปถึงส่วนลึกต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจอันจะส่งผลต่ออวัยวะต่าง ๆ ภายในระบบ นอกจากนี้ฝุ่นขนาดนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ที่ความเข้มข้นเจือจางด้วยตาเปล่า จึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าฝุ่นเหล่านี้ฟุ้งกระจายอยู่ในบริเวณใดบ้าง เป็นผลให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงฝุ่นเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (แต่ละเม็ด) จะมีน้ำหนักน้อยมาก จึงสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานมาก และมีโอกาสที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ตลอดเวลา หากไปอยู่ในบริเวณที่มีฝุ่นเหล่านี้

ฝุ่นขนาดเล็กบางชนิดที่สามารถเคลื่อนตัวไปถึงปลายสุดของถุงลมปอด อาจจะก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง ประเภทของฝุ่นที่อันตราย ที่มีโอกาสพบในอุตสาหกรรมโม่บด และย่อยหิน ได้แก่ ฝุ่นจากซิลิกาซึ่งส่วนใหญ่มาจากหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) ซึ่งจะก่อให้เกิดโรคซิลิโคซีส ซึ่งทำให้เจ็บป่วยเรื้อรังจนถึงตายได้หรืออาจก่อให้เกิดโรคแทรกซ้อนอื่นๆ เช่น วัณโรค มะเร็ง เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการเหมืองหินและโรงโม่หินจะพยายามหลีกเลี่ยงหินที่มีแร่ซิลิกาอยู่แล้ว เนื่องจากหินที่มีแร่ซิลิกาหรือควอทซ์จะเป็นหินที่แข็งมาก ทำให้เครื่องโม่หินสึกหรอมาก อายุการใช้งานสั้นลง

2.2.2.3 **ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร**

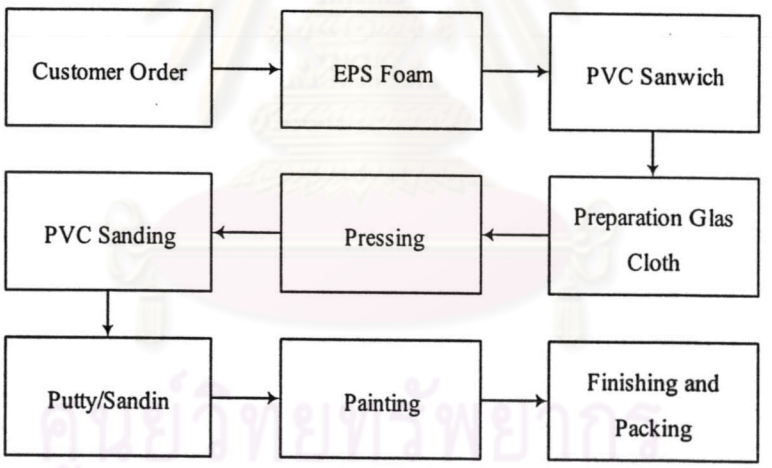
ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตรนี้จะเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก จึงสามารถเคลื่อนตัวได้คล้ายก๊าซ (Mean Free Path = 0.1 ไมโครเมตร) ดังนั้นฝุ่นขนาดนี้จะเข้าหรือออกจากระบบทางเดินหายใจได้คล้ายก๊าซ และส่วนมากมักถือว่าเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจน้อยมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 กระบวนการผลิตของโรงงานผลิตกระดานโต้คลื่น

กระบวนการผลิตและขึ้นรูปกระดานโต้คลื่นของโรงงานคอบบร้า แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตจะเริ่มจากการฉีดโฟมเพื่อให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งโฟมนี้มีส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิดซึ่งเป็นสัดส่วนของทางโรงงาน จากนั้นจึงนำไปเคลือบด้วย สารเคลือบ PVC (Poly Vinyl Chloride) และห่อด้วยผ้าสังเคราะห์ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการตบผ้า นำตัวกระดานและ/หรือตัวเรือไปอัดด้วยสูญญากาศซึ่งใช้เวลาระยะหนึ่ง แล้วนำไปขัดแต่งด้วยกระดาษทราย ซึ่งกระบวนการตรงส่วนนี้จะก่อให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายภายในอาคารประกอบการ กระดานและ/หรือตัวเรือจะถูกนำไปโป๊ว (Putty/Sanding) ซึ่งเป็นการขัดแต่งแบบลงรายละเอียด เสร็จแล้วก็พ่นสีและทำการตกแต่งบรรจุหีบห่อ เพื่อนำไปขายต่อไป

สำหรับกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาการฟุ้งกระจายของอนุภาคฝุ่นมากที่สุดคือแผนกโป๊ว (Putty/Sanding) และขัดแต่งผิวมัน โดยฝุ่นจะประกอบไปด้วยฝุ่นจากเศษผ้าใยแก้ว (Fiber glass) ฝุ่น Epoxy Resin และฝุ่น EVA (Ethyl Vinyl Acetate)



รูปที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตของโรงงานคอบบร้า

2.3.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดและวิธีการควบคุมของโรงงานผลิตและขึ้นรูปกระดานโต้คลื่น

โรงงานคอบบร้าเป็นโรงงานและขึ้นรูปกระดานโต้คลื่นที่ส่งออกไปยังต่างประเทศ เนื่องจากความนิยมกีฬาทางทะเลประเภท กระดานโต้คลื่น เรือใบ ฯลฯ เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นความต้องการอุปกรณ์กีฬาประเภทนี้จึงสูงขึ้นตาม ทำให้ทางโรงงานมีกำลังการผลิตที่สูงขึ้นในแต่ละปี

2.3.1.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดฝุ่น

เนื่องจากในการผลิตกระดานโต้คลื่น และเรือใบ ก่อให้เกิดการปล่อยฝุ่นจำนวนมากออกมาระหว่างกระบวนการผลิตในหลายๆ จุด เช่น แผนกขัดแต่ง EVA เป็นต้น แม้ว่าทางโรงงานจะมีการสร้างเป็นโรงอาคารปิดล้อมและมีการบำบัด แต่ก็ยังมีฝุ่นเล็ดลอด (Fugitive Dust) ออกมาสร้างปัญหาให้กับผู้ประกอบการภายในโรงงาน ในหลายๆ อาคาร

สำหรับแหล่งกำเนิดของฝุ่นสารมารถจำแนกแบ่งได้จากกระบวนการผลิตภายในอาคารต่างๆ ของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นและประเภทของฝุ่นหลักในโรงงานคอบบร้า

อาคาร	แผนก	ชนิดของฝุ่นและลักษณะการเกิดฝุ่น
1	ซ่อมเรือ	ฝุ่นโฟม และฝุ่นจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) ซึ่งเกิดจากการเจียร
	ขัดแต่ง PVC	ฝุ่น PVC, ฝุ่นผงจากสีโป้ว และฝุ่น Epoxy Resin ซึ่งเกิดจาการขัดแต่งเรือและกระดานโต้คลื่น
	ขัดและเจาะโฟม	ฝุ่นโฟม ซึ่งเกิดจากการขัดและเจาะแผ่นโฟมเพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวเรือใบและตัวกระดานโต้คลื่น
2	ขัดแต่งเคิร์ฟ	ผงฝุ่น Epoxy Resin และผงไมโครบอลลูน ซึ่งเกิดจากขัดแต่งบริเวณผิวขอบของตัวเรือ
	ขัดหลังทาเคลือบและจุดซ่อม	ผงฝุ่น Epoxy Resin และผงทัลคัม ซึ่งเกิดจากการขัดเรือเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานและความต้องการของผู้ซื้อ
	ตัดขอบและขัดสีโป้ว	ฝุ่นผงสีโป้ว และฝุ่นจากผ้าใยแก้ว
	ขัดแต่งพื้นยาง	ฝุ่นผงสี Epoxy

ตารางที่ 2.1(ต่อ) อาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นและประเภทของฝุ่นหลักในโรงงานคอบบร้า

อาคาร	แผนก	ชนิดของฝุ่นและลักษณะการเกิดฝุ่น
2	เซาะร่องแผ่น EVA	ผงฝุ่น EVA
3	Cutting Springer	ฝุ่นไม้ ซึ่งเกิดจากการตัดแผ่นไม้
	ขัดหยาบ	ฝุ่นไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) ซึ่งเกิดจากการขัดตัวกระดาน
	เจียรขอบ	ฝุ่นไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) ซึ่งเกิดจากการขัดและเจียรบริเวณขอบกระดาน
	เจาะโฟม	ฝุ่นโฟม ซึ่งเกิดจากการขัดและเจาะแผ่นโฟมเพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวกระดาน
4	ขึ้นรูป (Moulding)	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) จากการเจียร ฝุ่นผงสีโป้ว จากการขัดแต่งผิว ผงฝุ่น Epoxy Resin และผงไมโครบอลลูน
	ขัดฐาน	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) และ ผงฝุ่น Epoxy Resin
	ตัดแต่ง	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) และ ผงฝุ่น Carbon
	ขัดผิวก่อนอัดผิว	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass) และ ผงฝุ่น Carbon
	ขัดฝุ่นและปรับขอบ	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass), ผงฝุ่น Carbon และฝุ่นสีโป้ว
	ขัดฐานและตัดขอบ	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass), ผงฝุ่น Carbon, ฝุ่น Epoxy และฝุ่น Polyester
	ขัดและแต่ง Binding	ฝุ่นผงจากไฟเบอร์กลาส (Fiber glass), ผงฝุ่น Carbon และฝุ่นสีโป้ว
	ขัดและแต่งไม้มาลิบู	ฝุ่นเส้นใย

2.3.1.2 การควบคุมฝุ่น EVA ในโรงงานและขึ้นรูปกระดานโต้คลื่น

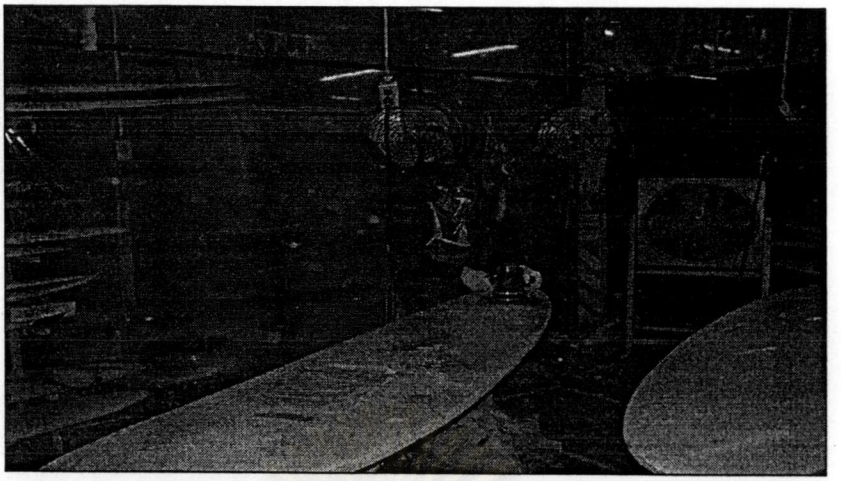
แนวทางการควบคุมปริมาณฝุ่นที่เกิดจารกระบวนการผลิตต่างๆ ของโรงงานคอบบร้า แบ่งได้เป็น 2 แนวทาง คือ

- ควบคุมไม่ให้เกิดฝุ่นหรือให้เกิดฝุ่นน้อยที่สุด รวมไปถึงการกำจัดฝุ่นที่เกิดขึ้น ไม่ให้ฟุ้งกระจาย อันได้แก่ การสร้างระบบรวบรวมฝุ่นและส่งผ่านฝุ่นไปยังอุปกรณ์บำบัดควบคุมเพื่อลดโอกาสที่ฝุ่นจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของคนงานหรือผู้ประกอบการ และสาธารณชนในบริเวณใกล้เคียง เช่น การสร้างอาคารหรือห้องทำงานที่ปิดมิดชิด การสวมหน้ากากและถุงมือป้องกัน เป็นต้น สำหรับการควบคุมหรือการลดการปล่อยฝุ่นจากกระบวนการผลิตต่างๆ ภายในโรงงานคอบบร้า ประกอบด้วย การทำให้วัสดุหรือพื้นผิวเปียก (Wetting of Material or Surface) ด้วยน้ำ ใช้ระบบดูด ระบบท่อส่ง และระบบรวบรวมฝุ่นในกระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่น และไม่สามารถใช้วัสดุปกคลุมได้ ส่วนรายละเอียดของแหล่งกำเนิดฝุ่นและการควบคุมฝุ่น แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดฝุ่นและการควบคุมฝุ่นในโรงงานคอบบร้า

แหล่งกำเนิดฝุ่นหลัก	การควบคุม
แผนกขัดแต่งวัสดุ	- สร้างพื้นน้ำบริเวณที่ทำงาน - ดูดจับฝุ่นเบาและรวบรวมฝุ่น โดยใช้ตู้ดูดฝุ่น
แผนกซ่อม	- ดูดจับฝุ่นเบาและรวบรวมฝุ่น โดยใช้ตู้ดูดฝุ่น - ใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อถ่ายเทฝุ่นไปยังบริเวณตู้ดูดฝุ่น
แผนกขัดและเจาะ	- ใช้การรวบรวมฝุ่น (กวาดด้วยไม้กวาด) - ใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อถ่ายเทฝุ่นไปยังบริเวณตู้ดูดฝุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 กระบวนการขัดแต่งผิวมัน

รูปที่ 2.3 กระบวนการโป๊ว (Putty/Sanding)

2.4 การประเมินสมบัติการไหลของฝุ่น

ในการออกแบบอุปกรณ์จำพวกเครื่องป้อน (Feeder), ฮอบเปอร์ หรือ ถังบรรจุ (Bin) ที่ใช้ภายในโรงงาน มักประสบปัญหาเกี่ยวกับการไหลตัวของวัสดุ ดังนั้นจึงมีการตั้งค่ามาตรฐานต่างๆ เพื่อบ่งบอกถึงลักษณะสมบัติของการไหล (Flow Characteristics) ทำให้สามารถจำแนกและแก้ปัญหาการไหลของวัสดุได้ โดยสามารถแบ่งชนิดการไหลของของแข็งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (จักรกฤษณ์ แย้มเกตุ, 2541)

1. **การไหลอย่างอิสระ** (Free Flow) : เป็นการไหลที่ค่อนข้างคงที่ สม่ำเสมอ สามารถควบคุมได้โดยง่าย อนุภาคที่มีลักษณะการไหลแบบนี้ ได้แก่ อนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีแอกติวิทีของผิว (Surface Activity) ต่ำ รูปร่างไม่ใช่ทรงกลมและการกระจายขนาดไม่สม่ำเสมอ มีความแข็งสูง ไม่มีผลของไฟฟ้าสถิต ไม่เกิดการจับตัวเนื่องจากความชื้นในอากาศ และอนุภาคมีความหนาแน่นสูง

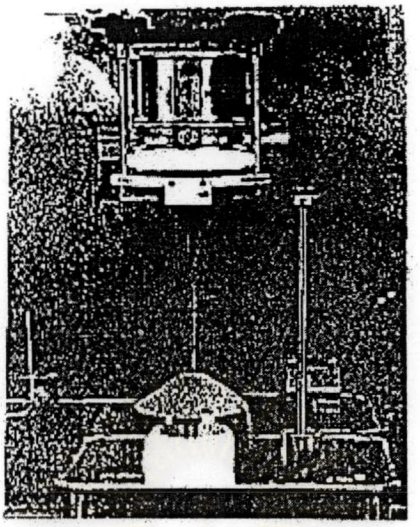
2. **การไหลแบบบ่าทะลัก** (Floodable Flow) : เป็นการไหลที่ไม่นิ่ง ไม่สม่ำเสมอ ค่อนข้างคล้ายกับของเหลวเมื่อเริ่มไหล มีการฟุ้งกระจายและควบคุมการไหลให้สม่ำเสมอได้ยาก อนุภาคที่มีลักษณะการไหลแบบนี้ ได้แก่ อนุภาคที่มีพื้นที่ผิวค่อนข้างมาก (แต่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคค่อนข้างน้อย) มีสมบัติดูดซับอากาศได้ดี ลักษณะเป็นทรงกลมและมีการกระจายขนาดแบบเท่ากัน ไม่เกาะรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ ไม่เกิดการจับตัวเนื่องจากความชื้นในอากาศ และ มีรูพรุนภายในอนุภาคค่อนข้างมาก

Carr's Flowability Index

R. L. Carr Jr. (1965) ได้พัฒนาระบบในการประเมินสมบัติการไหลของวัสดุผง โดยการวัดลักษณะสมบัติต่างๆของผงมาตรฐานหลายชนิด แล้วนำมาประเมินเป็นค่าดัชนี ดังนี้

1. **การประเมินค่าดัชนีการไหล** (Flowability Index) : จะประเมินจากสมบัติ 4 อย่างของวัสดุ ได้แก่ ค่ามุมขณะสงบ (Angle of Repose), มุมบนพายตัก (Angle of Spatula), ความอัดตัว (Compressibility) และ ค่าความเกาะกัน (Cohesiveness) หรือ ความสม่ำเสมอ (Uniformity)

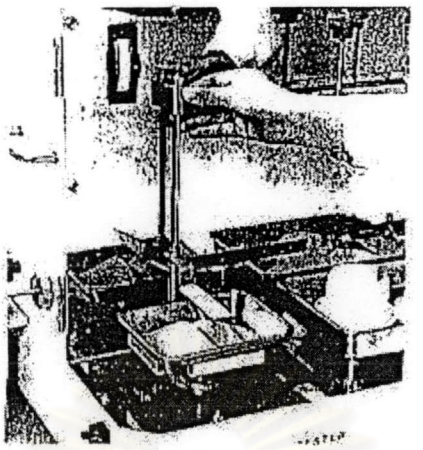
1.1) **มุมขณะสงบ** (Angle of Repose) : เป็นมุมที่ผิวด้านข้างของกองอนุภาคของแข็งที่ก่อตัวบนจานรองรับ ทำกับแนวระดับ หลังจากปล่อยอนุภาคให้ตกจากตะแกรงสั่น (Vibrating Screen) ผ่านกรวยแก้วแล้วตกอย่างอิสระลงบนจานรองรับ อนุภาคที่มีค่านี้ยิ่งต่ำ จะแสดงถึงความสามารถในการไหลที่สูงขึ้น (คล้ายของเหลวมากขึ้น) และแสดงถึงความสามารถในการฟุ้งที่สูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 Measurement of angle of repose

1.2) **มุมบนพายตัก** (Angle of Spatula) : เป็นมุมระหว่างผิวด้านข้างของกองอนุภาคกับแนวระดับ โดยในการวัด จะสอดพายโลหะ (Spatula) ขนาด 5 x 7/8 นิ้ว เข้าไปใต้กองวัสดุแล้วยกขึ้นมาตรงๆในแนวดิ่งอย่างนิ่มนวล แล้วทำการวัดมุมระหว่างแนวระดับกับผิวด้านข้างของกองอนุภาคที่อยู่บนพายโลหะ จากนั้นเคาะพายโลหะเบาๆแล้วทำการวัดมุมอีกครั้งหนึ่ง ค่าเฉลี่ยของมุมที่วัดได้ทั้ง 2 ครั้ง คือ ค่ามุมบนพายตัก (Angle of Spatula) วัสดุโดยทั่วไปจะมีค่ามุมบนพายตักสูงกว่าค่ามุมขณะสงบ ยกเว้นวัสดุที่มีสมบัติการไหลอย่างอิสระสูงๆ วัสดุที่มีค่ามุมบนพายตักสูง จะมีสมบัติการไหลที่ต่ำ สำหรับวัสดุที่มีลักษณะการไหลอย่างอิสระ ค่ามุมบนพายตักจะมีค่าไม่เกิน 40°

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 Measurement of angle of spatula

1.3) **ความอัดตัว** (Compressibility) : สามารถคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Compressibility} = 100 \times (P - A) / A \qquad (2.6)$$

โดยที่

A = Aerated Bulk Density (ความหนาแน่นปรากฏขณะหลวม) เป็นความหนาแน่นที่ได้จากน้ำหนักของอนุภาคที่ถูกปล่อย ให้ตกลงมาอย่างอิสระภายในถ้วยบรรจุที่มีขนาดตามที่กำหนด (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร)

P = Packed Bulk Density (ความหนาแน่นปรากฏขณะอัด) เป็นความหนาแน่นของอนุภาคที่ได้จากการกระแทกถ้วยบรรจุที่มีอนุภาคอยู่ภายในด้วยจำนวนครั้งที่คงที่และความสูงตามที่กำหนด (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร)

ค่าความอัดตัวที่มากขึ้น บอกถึงความสามารถในการไหลที่ลดลง

1.4) **ความเกาะกัน** (Cohesiveness) **และ ความสม่ำเสมอ** (Uniformity) : ปกติแล้วจะเลือกใช้เพียงค่าเดียวในการคำนวณหาค่าดัชนีการไหล โดยค่าความเกาะกัน (Cohesiveness) จะใช้กับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ส่วนค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) มักใช้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ หรือ แกรนูล

- ความเกาะกัน (Cohesiveness) เป็นสิ่งบอกแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่กระทำต่อกันในเชิงกายภาพที่บริเวณผิวของอนุภาค ในการทดลองสามารถหาค่านี้ได้จากอนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาดต่างๆ หลังผ่านการให้ความสั่นสะเทือนด้วยแอมพลิจูดที่กำหนดในช่วงระยะเวลาคงที่หนึ่งๆ ซึ่งเป็นการหาปริมาณของพลังงานที่จำเป็นในการแยกกลุ่มอนุภาคออกจากกัน วัสดุที่มีค่านี้สูง จะมีสมบัติการไหลที่ต่ำ

- ความสม่ำเสมอ (Uniformity) สามารถหาได้จาก

$$\text{ความสม่ำเสมอ} = \frac{\text{ขนาดของอนุภาคที่ 60\% ของมวลอนุภาคที่ลอดผ่านตะแกรงได้}}{\text{ขนาดของอนุภาคที่ 10\% ของมวลอนุภาคที่ลอดผ่านตะแกรงได้}}$$

วัสดุที่มีค่านี้สูง จะมีสมบัติการไหลที่ต่ำ

การหาค่าดัชนีการไหล สามารถประเมินได้จากปัจจัยต่างๆข้างต้นที่วัดได้ โดยนำมาเทียบเป็นค่าดัชนีจากตาราง แล้วนำเอาค่าดัชนีเหล่านี้มารวมกัน (ดูตารางที่ 2.3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 Evaluation of flowability index

Degree of Flowability	Flowability Index	Necessity of Bridge-breaking measure	Angle of Repose		Compressibility		Angle of Spatula		Uniformity		Cohesion	
			Degree	Index	%	Index	Degree	Index	No.	Index	%	Index
Very Good	90 – 100	Not required	≤ 25	25	≤ 5	25	≤ 25	25	1	25		
			26 – 29	24	6 – 9	23	26 – 30	24	2 – 4	23		
			30	22.5	10	22.5	31	22.5	5	22.5		
Fairly Good	80 – 89	Not required	31	22	11	22	32	22	6	22		
			32 – 34	21	12 – 14	21	33 – 37	21	7	21		
			35	20	15	20	38	20	8	20		
Good	70 – 79	Sometimes Vibrator is required	36	19.5	16	19.5	39	19.5	9	19.5		
			37 – 39	18	17 – 19	18	40 – 44	18	10 – 11	18		
			40	17.5	20	17.5	45	17.5	12	17.5		
Normal	60 – 69	Bridging will take place at the Marginal point	41	17	21	17	46	17	13	17		
			42 – 44	16	22 – 24	16	47 – 59	16	14 – 16	16		
			45	15	25	15	60	15	17	15	≤ 6	15
Not Good	40 – 59	Required	46	14.5	26	14.5	61	14.5	18	14.5	6 – 9	14.5
			47 – 54	12	27 – 30	12	62 – 74	12	19 – 21	12	10 – 29	12
			55	10	31	10	75	10	22	10	30	10
Bad	20 – 39	Powerful measure should be provided	56	9.5	32	9.5	76	9.5	23	9.5	31	9.5
			57 – 64	7	33 – 36	7	77 – 89	7	24 – 26	7	32 – 54	7
			65	5	37	5	90	5	27	5	55	5
Very Bad	0 – 19	Special apparatus and techniques are required	66	4.5	38	4.5	91	4.5	28	4.5	56	4.5
			67 – 89	2	39 – 45	2	92 – 99	2	29 – 35	2	57 – 79	2
			90	0	≥ 45	0	≥ 99	0	≥ 35	0	≥ 79	0

2) **การประเมินค่าดัชนีการไหลทะลัก** (floodability Index) : ค่านี้บอกถึงแนวโน้มการไหลทะลักที่คล้ายกับของไหล และยังบ่งบอกถึงความสามารถในการฟลูอิไดซ์ในอากาศ โดยสามารถประเมินค่านี้ได้จากลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ค่าดัชนีการไหล (Flowability Index), มุมหลังตก (Angle of Fall), มุมผลต่าง (Angle of Difference) และค่าการแผ่กระจาย (Dispersibility)

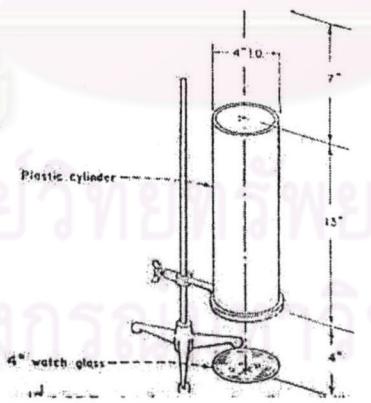
2.1) **ค่าดัชนีการไหล** (Flowability Index) : หาได้จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยถ้าอนุภาคมีค่าดัชนีการไหลมาก จะทำให้มีค่าดัชนีการไหลทะลักสูงขึ้นตามไปด้วย

2.2) **มุมหลังตก** (Angle of Fall) : เป็นมุมของผิวด้านข้างของกองอนุภาคของแข็งที่ก่อตัวได้บนจานรองรับ หลังจากได้รับแรงสั่นสะเทือนตามขนาดแรงที่กำหนด อนุภาคที่มีค่านี้ต่ำ จะมีค่าดัชนีการไหลทะลักสูง

2.3) **มุมผลต่าง** (Angle of Difference) : เป็นผลต่างระหว่างค่ามุมขณะสงบ (Angle of Repose) กับ ค่ามุมหลังตก (Angle of Fall) อนุภาคที่มีค่านี้สูง จะมีค่าดัชนีการไหลทะลักสูง

2.4) **ค่าการแผ่กระจาย** (Dispersibility) : เป็นการวัดค่าความสามารถของวัสดุที่จะทำการฟลูอิไดซ์ หรือมีสมบัติการไหลแบบบ่าทะลัก (Floodable Flow) โดยสามารถหาได้จากการปล่อยอนุภาคที่มีมวลคงที่จำนวนหนึ่ง จากความสูงที่กำหนดลงบนแผ่นกระจกนาฬิกา (Watch Glass) ผ่านกระบอกแก้ว ดังรูปที่ 2.25

การประเมินค่าดัชนีการไหลทะลัก สามารถหาได้จากตารางเช่นเดียวกัน (ดูตารางที่ 2.4)

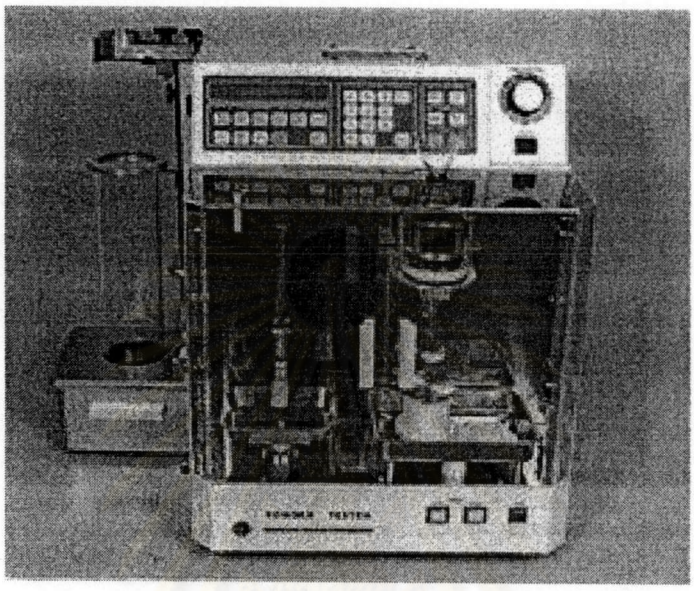


รูปที่ 2.6 Device for measuring dispersibility

ตารางที่ 2.4 Evaluation of floodability index

Degree of Floodability	Floodability Index	Measure for Flushing Prevention	Flowability		Angle of fall		Angle of Difference		Dispersibility	
			Index from (Table 2.5)	Index	Degree	Index	Degree	Index	%	Index
Very High	80 – 100	Rotary seal must be used	≥60	25	≤ 10	25	≥ 30	25	≥ 50	25
			59 – 56	24	11 – 19	24	29 – 28	24	49 – 44	24
			55	22.5	20	22.5	27	22.5	43	22.5
			54	22	21	22	26	22	42	22
			53 – 50	21	22 – 24	21	25	21	41 – 36	21
			49	20	25	20	24	20	35	20
Fairly High	60 – 79	Rotary seal is required	48	19.5	26	19.5	23	19.5	34	19.5
			47 – 45	18	27 – 29	18	22 – 20	18	33 – 29	18
			44	17.5	30	17.5	19	17.5	28	17.5
			43	17	31	17	18	17	27	17
			42 – 40	16	32 – 39	16	17 – 16	16	26 – 21	16
			39	15	40	15	15	15	20	15
Tends to flush	40 – 59	Sometimes rotary seal is required	38	14.5	41	14.5	14	14.5	19	14.5
			37 – 34	12	42 – 49	12	13 – 11	12	18 – 11	12
			33	10	50	10	10	10	10	10
May flush	25 – 39	Rotary seal is necessary depending on flow speed and feeding conditions	32	9.5	51	9.5	9	9.5	9	9.5
			31 – 29	8	52 – 56	8	8	8	8	8
			28	6.25	57	6.25	7	6.25	7	6.25
Won't flush	0 – 24	Not required	27	6	58	6	6	6	6	6
			26 – 23	3	59 – 64	3	5 – 1	3	5 – 1	3
			> 23	0	< 64	0	0	0	0	0

ในรูปที่ 2.7 เป็นรูปของเครื่องทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุผง (Powder Characteristic Tester) ซึ่งใช้หาค่าดัชนีการไหลและดัชนีการไหลทะลักของอนุภาค ซึ่งสร้างและพัฒนาขึ้นมาตามวิธีการประเมินการไหลตัวของคาร์ โดยสามารถวัดและคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในการประเมินการไหลตัว ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.7 Powder characteristic tester

2.5 การระบายอากาศ

การระบายอากาศ หมายถึง การจัดการเคลื่อนย้ายอากาศด้วยปริมาณที่กำหนดให้ไหลไปในทิศทางและด้วยความเร็วที่ต้องการ สามารถกำจัดมลพิษ ความร้อน ความชื้น กลิ่นรบกวน ควันและอื่นๆให้ออกไปจากที่ปฏิบัติงานและให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาแทนที่ [สุทิน อยู่สุข, 2533]

ประสิทธิภาพการระบายอากาศ คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของอากาศที่ปล่อยออก(exhaust air)กับความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนในที่ว่าง (Occupied spaces) [Industrial Ventilation Design Guidebook]

การระบายอากาศจะเกี่ยวข้องกับสมบัติของอากาศต่างๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาร่วมกับวิธีการระบายอากาศมีดังต่อไปนี้

1 ลักษณะสมบัติของอากาศบริสุทธิ์ [สุทิน อยู่สุข,2533]

คำว่าอากาศบริสุทธิ์ที่ใช้ในเรื่องของการระบายอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง (dilution ventilation) นั้น หมายความถึงอากาศภายนอกอาคารโดยทั่วไป และแม้ว่าตามความเป็นจริงแล้วสมบัติของอากาศภายนอกอาคารนั้นจะแตกต่างกันไปบ้างตามสถานที่ เช่น ในเมือง ในย่านอุตสาหกรรม หรือนอกเมืองในชนบทต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในชุมชนที่มีลักษณะเป็นย่านอุตสาหกรรมหรือในเมืองใหญ่ อากาศภายนอกอาคารมักจะมีมลพิษทางอากาศปะปนอยู่ด้วยเสมอไม่มากก็น้อย มลพิษทางอากาศเหล่านี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ พวกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น อนุภาคก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามโดยหลักการแล้วมลพิษในบรรยากาศเหล่านี้จะต้องถูกควบคุมให้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายนอกอาคารที่กำหนดไว้เพื่อความปลอดภัยของประชาชนโดยทั่วไป ซึ่งหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบในการพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศนี้ ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของอากาศตามธรรมชาติซึ่งถือว่าเป็นอากาศบริสุทธิ์

องค์ประกอบ	ปริมาณในอากาศ (ppm)
ไนโตรเจน	780,900
ออกซิเจน	209,400
อาร์กอน	9,300
คาร์บอนไดออกไซด์	315
นีออน	28
ฮีเลียม	5.2
มีเทน	1.0-1.2
คริปตอน	1.0
ไนตรัสออกไซด์	0.5
ไฮโดรเจน	0.5
เซนอน	0.08
ไนโตรเจนไดออกไซด์	0.02
โอโซน	0.01-0.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 การเลือกใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศตามวัตถุประสงค์

2.1) **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ** มุ่งหวังเพื่อป้องกันอันตรายจากมลพิษทางอากาศให้กับประชาชน โดยทั่วไปในชุมชน ซึ่งมีทั้งผู้ที่สุขภาพร่างกายแข็งแรง อ่อนแอ คนเจ็บ คนชรา และเด็กซึ่งเป็นกลุ่มคนที่ไวต่อการเกิดอันตรายจากมลพิษทางอากาศ และระยะเวลาสัมผัสกับมลพิษในกรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ตลอด 24 ชั่วโมง และอาจจะทุกๆวัน หากมีมลพิษนั้นอยู่ในอากาศ

2.2) **มาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการ** กลุ่มเป้าหมายที่จะป้องกันอันตรายให้ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในวัยทำงาน โดยมีโอกาสสัมผัสกับมลพิษเฉพาะในช่วงเวลาทำงาน คือ 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 5 วันใน 1 สัปดาห์

3 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในสถานประกอบการ

อากาศในสถานประกอบการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ย่อมจะต้องมีมลพิษที่เกิดขึ้นและถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศจากขั้นตอนต่างๆของการดำเนินงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่เป็นเรื่องที่ควบคุมได้ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการขึ้น

4 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของอากาศที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของอากาศที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับระบบระบายอากาศมีดังนี้

4.1) ถือว่า อากาศที่ไหลในท่อลมของระบบระบายอากาศเป็น incompressible fluid

4.2) อากาศมาตรฐาน (standard air) คือ อากาศที่อุณหภูมิ 75 องศาฟาเรนไฮต์ (23.89 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ที่ความดัน 29.29 นิ้วปรอท (1 atm) ที่สภาวะดังกล่าวนี้อากาศมีความหนาแน่น 0.075 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต (1.2 kg/m^3)

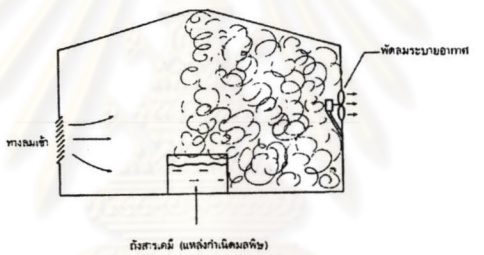
4.3) ในกรณีที่อากาศจริงในระบบระบายอากาศมีอุณหภูมิระหว่าง 40 องศาฟาเรนไฮต์ (4.44องศาเซลเซียส) ถึง 100 องศาฟาเรนไฮต์ (37.78องศาเซลเซียส) ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง –1000 (305 เมตร) ถึง +100 ฟุต (30.5เมตร)แล้ว ให้ใช้ค่าความหนาแน่นของอากาศมาตรฐานคือ 0.075 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต (1.2 kg/m^3) นอกเหนือจากนี้แล้วจะต้องคำนวณความหนาแน่นอากาศใหม่และใช้ตามความเป็นจริง [สุทิน อยู่สุข,2533]

การระบายอากาศที่ใช้เพื่อป้องกันอันตรายและ/หรือความเดือดร้อนรำคาญ ซึ่งอาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น จำแนกออกเป็น 2 ชนิด ทั้งนี้โดยพิจารณาจากหลักการที่ใช้ในการดำเนินการ การระบายอากาศทั้งสองชนิดดังกล่าว ได้แก่

2.5.1 การระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง (Dilution Ventilation)

เป็นการระบายอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของมลพิษซึ่งปนเปื้อนอยู่ในอากาศภายในสถานประกอบการ โดยการทำให้เจือจางด้วยอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก จนกระทั่งมลพิษดังกล่าวมีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือไม่ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ (เช่น กลิ่นอันไม่พึงประสงค์)

นอกจากนั้นอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากมลพิษทางอากาศแล้ว การระบายอากาศแบบนี้ยังใช้ได้ดีในการป้องกันและควบคุมปัญหาเกี่ยวกับความร้อน ความชื้นและอันตรายจากการระเบิดเนื่องจากสารเคมีบางประเภทอีกด้วย



รูปที่ 2.8 การระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง

ข้อจำกัดของการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง การระบายอากาศแบบนี้มีข้อจำกัดที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้ คือ

1 ปริมาณมลพิษที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่อากาศในสถานประกอบการจะต้องมีไม่มากนัก มิฉะนั้นจะต้องใช้อากาศบริสุทธิ์ด้วยปริมาณที่มากเกินความเหมาะสม เพื่อทำให้มลพิษเจือจางจนมีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ปี 2515 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.7

2 มลพิษที่จะควบคุมนั้นควรจะมีความเป็นพิษต่ำหรือค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ข้างต้นในข้อ 1

3 อัตราการเกิดและเข้าปนเปื้อนกับอากาศของมลพิษควรจะคงที่หรือมีความแปรเปลี่ยนไม่มากนัก

4 ผู้ปฏิบัติงานจะต้องอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษในระยะที่เพียงพอที่จะทำให้มลพิษนั้นเจือจางลงจนถึงระดับที่ปรับได้ ก่อนที่จะเคลื่อนมาถึงตัวผู้ปฏิบัติงานนั้น

ข้อดีของการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง

1 เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศแบบเฉพาะแห่งแล้ว การระบายอากาศแบบทำให้เจือจางนี้จัดทำได้ง่ายกว่า อาศัยความรู้น้อยกว่า

2 เป็นวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในกรณีที่สถานการณ์เอื้ออำนวยให้สามารถใช้การระบายอากาศแบบนี้ได้

3 ใช้ได้ผลดีในการควบคุมมลพิษประเภทที่มีสถานะเป็นไอและก๊าซ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไอที่เกิดจากการระเหยของสารละลายอินทรีย์เคมี

4 ไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ เพื่อลดระดับความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากสถานประกอบการสู่บรรยากาศภายนอก

ข้อเสียของการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง

1 การระบายอากาศแบบนี้มิได้เป็นการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งหมดออกไปจากบริเวณปฏิบัติงาน หากเป็นแต่เพียงลดปริมาณความเข้มข้นของมลพิษให้อยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ซึ่งกำหนดไว้เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น ถ้าการจัดการเกี่ยวกับ (1) ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่ต้องใช้เพื่อทำให้มลพิษเจือจางลง และ (2) ทางเข้าของอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก ทางออกของอากาศที่ปนเปื้อนด้วยมลพิษจากภายใน ตลอดจนการเคลื่อนไหวของอากาศภายในสถานประกอบการนั้นไม่ถูกต้องและเหมาะสมตามที่ควรจะเป็นแล้ว อันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานจะยังคงไม่หมดไป

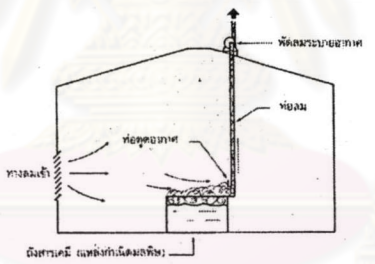
2 การระบายอากาศแบบนี้มักจะใช้ไม่ค่อยได้ผลกับมลพิษประเภทฟูมและฝุ่น ทั้งนี้เพราะมลพิษเหล่านี้มักมีอัตราการเกิดและเข้าปนเปื้อนกับอากาศด้วยปริมาณค่อนข้างสูง และมี

ความแปรเปลี่ยนมาก รวมทั้งเหตุที่ว่ามลพิษที่อยู่ในสถานะดังกล่าวมักมีระดับความเป็นพิษสูงด้วย

3 การระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง จะต้องเคลื่อนย้ายอากาศเข้าและออกจากอาคารสถานประกอบการ ด้วยปริมาณที่มากกว่าการระบายอากาศแบบเฉพาะแห่ง ดังนั้นในกรณีที่ต้องมีการปรับอากาศ (อุณหภูมิและความชื้น) ในสถานที่นั้นด้วยแล้ว การระบายอากาศแบบนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงกว่า

2.5.2 การระบายอากาศแบบเฉพาะแห่ง (Local Exhaust Ventilation)

เป็นการระบายอากาศเพื่อที่จะป้องกันอันตรายต่อสุขภาพ และควบคุมปัญหาเดือดร้อนรำคาญสถานประกอบการ เช่นเดียวกันกับการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง แต่มีหลักการและวิธีการแตกต่างออกไป กล่าวคือการระบายอากาศแบบเฉพาะที่อาศัยหลักการดูดระบายมลพิษ พร้อมทั้งอากาศที่ถูกปนเปื้อนออกจากบริเวณที่เป็นจุดกำเนิดโดยตรง ก่อนที่มลพิษนั้นจะเข้าปนเปื้อนกับอากาศส่วนใหญ่ของห้อง ทั้งนี้ด้วยการทำงานของ ระบบระบายอากาศ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ท่อดูดอากาศ(hoods) ท่อลม (ducts) และพัดลมระบายอากาศ(exhaust fan)(รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 การระบายอากาศแบบเฉพาะแห่ง

ข้อดีของการระบายอากาศแบบเฉพาะแห่ง

1 เป็นวิธีการที่มุ่งกำจัดเอามลพิษที่เกิดขึ้นออกไปจากบริเวณทำงาน จึงให้ผลในด้านการควบคุมได้ดีและปลอดภัย

2 ใช้ได้ผลดีกับมลพิษในทุกสถานะไม่ว่าจะเป็นไอ ก๊าซ ฝุ่น หรือฟูม และไม่ว่ามลพิษนั้นจะมีอัตราการเกิดและระดับความเป็นพิษมากน้อยประการใด

ข้อเสียของการระบายอากาศแบบเฉพาะแห่ง

1 ต้องการพื้นฐานความรู้และประสบการณ์สูงในการออกแบบระบบระบายอากาศแบบนี้ ต้องการบุคลากรที่ได้รับการศึกษา ฝึกอบรมมาดีพอสมควรในการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบระบายอากาศแบบนี้

2 โดยทั่วไปแล้วสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดสร้าง และดำเนินการมากกว่าการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง

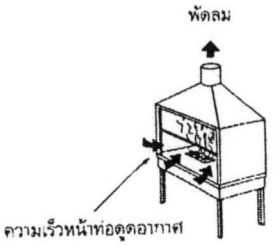
3 ข้อจำกัดเนื่องจากการปรับแก้เครื่องจักรหรือสถานที่สำหรับติดตั้งระบบระบายอากาศ

2.5.3 ท่อดูดในระบบระบายอากาศ (Hood)

ท่อดูดอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของระบบระบายอากาศ ท่อดูดอากาศอาจมีรูปร่าง ลักษณะและการทำงานที่แตกต่างกันออกไปได้มากมาย แต่ก็สามารถรวมกลุ่มและจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ด้วยกันคือ

1. **เอนโคลสเซอร์** (Enclosure)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกมานั้นถูกจัดให้อยู่ภายในตัวท่อดูดอากาศ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าท่อดูดอากาศชนิดนี้ครอบคลุมงานหรือขั้นตอนของงานซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศเอาไว้ภายในตัวท่อดูดอากาศทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ตู้ควันในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นต้น (รูปที่ 2.10) โดยการเปรียบเทียบแล้วท่อดูดอากาศชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดีที่สุด และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของระบบระบายอากาศน้อยที่สุด เพราะต้องการปริมาณลมที่จะพาเอามลพิษจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ระบบระบายอากาศไม่มากนัก เนื่องจากมลพิษอยู่ภายในตัวท่อดูดอากาศอยู่แล้ว จึงสมควรได้รับการพิจารณาเลือกใช้เป็นอันดับแรกสำหรับระบบระบายอากาศ อย่างไรก็ตาม ในหลายกรณีไม่สามารถใช้ท่อดูดอากาศประเภทนี้ได้ เพราะข้อจำกัดเกี่ยวกับกรรมวิธีและการปฏิบัติงาน

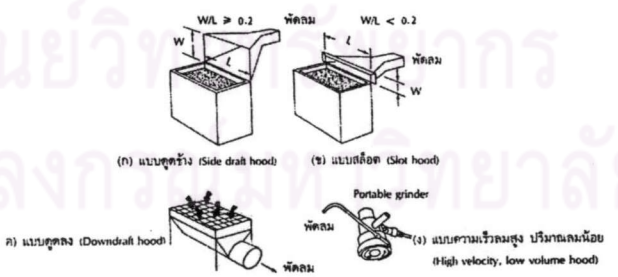


รูปที่ 2.10 ท่อดูดอากาศประเภทเอนโคลสเซอร์

สำหรับท่อดูดอากาศแบบเอนโคลสเซอร์นี้ สิ่งที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการพิจารณาออกแบบก็คือ ความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิดของท่อดูดอากาศเข้าสู่ตัวท่อดูดอากาศซึ่งเรียกว่าความเร็วหน้าท่อดูดอากาศ (face velocity) หากความเร็วหน้าท่อดูดอากาศต่ำเกินไปลมมลพิษที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศจะทะลักออกมาจากช่องเปิดของท่อดูดอากาศนั้น และเข้าสู่อากาศภายในสถานประกอบการได้

2. ท่อดูดอากาศแบบแคปเจอริ่ง (Capturing hoods)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศนั้นอยู่ห่างออกไปนอกตัวท่อดูดอากาศ ดังนั้นเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการควบคุมมลพิษท่อดูดอากาศดังกล่าวจะต้องสามารถสร้างแรงดูด ซึ่งมากพอที่จะทำให้อากาศและมลพิษตรงบริเวณที่ต้องการควบคุมเกิดความเร็วขึ้น จนกระทั่งได้เป็นความเร็วที่ต้องการในทิศทางที่เคลื่อนเข้าสู่ท่อดูดอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 ท่อดูดอากาศแบบแคปเจอริงแบบต่างๆ

ความเร็วของอากาศและมลพิษซึ่งเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อดูดอากาศ ณ จุดควบคุมซึ่งอยู่ไกลจากท่อดูดอากาศมากที่สุดนี้ เรียกว่า ความเร็วจับ หรือ แคปเจอร์เวโลซิตี (capture velocity) ตารางที่2.6 แสดงตัวอย่างความเร็วจับที่แนะนำให้ใช้เพื่อควบคุมมลพิษจากกรรมวิธีต่างๆในงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.6 ความเร็วจับที่แนะนำให้ใช้เพื่อควบคุมมลพิษจากกิจกรรมประเภทต่างๆ

ภาวะการเกิดมลพิษและการเคลื่อนที่ของอากาศในห้อง	ตัวอย่าง	ความเร็วจับ(ฟุต/นาที)*
1มลพิษเกิดโดยไม่มีความเร็วต้น อากาศในห้องสงบ	การระเหยของไอเคมีจากถัง	50-100
2 มลพิษเกิดด้วยความเร็วต้นต่ำ อากาศในห้องเคลื่อนไหวบ้างปานกลาง	การพ่นสี การบรรจุสารลงภาชนะ การขนถ่ายด้วยสายพาน การทำความสะอาดผิวโลหะในถังสารเคมี	100-200
3 มลพิษเกิดโดยมีความเร็วต้นสูง อากาศในห้องเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง	การพ่นสีในบูธตื้นๆการบรรจุสารลงถัง การขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานความเร็วสูง การบดวัสดุ	200-500
4 มลพิษเกิดด้วยความเร็วต้นสูง อากาศในห้องมีความเร็วสูงมากด้วย	การเจียร การพ่นทรายทำความสะอาดผิวโลหะ	100-200

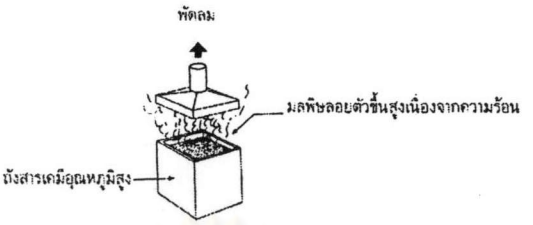
หมายเหตุ *การพิจารณาเลือกใช้ความเร็วจับในช่วงที่ต่ำหรือสูงตามข้อแนะนำนั้นขึ้นอยู่กับ

1. ความเร็วลมในห้อง
2. ความเป็นพิษของมลพิษที่ควบคุม
3. อัตราการเกิดของมลพิษและ
4. ขนาดท่อดูดอากาศ

3. ท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิง (Receiving hoods)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศอยู่ภายนอกท่อดูดอากาศเช่นกัน ต่างกันในประเด็นที่ว่าออกแบบมาเพื่อใช้ในกรณีที่มลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด โดยมีความเร็วต้นสูงไปในทิศทางใดทางหนึ่ง ท่อดูดอากาศชนิดนี้จะถูกติดตั้งไว้ในทิศทางการเคลื่อนที่ของมลพิษจากแหล่งกำเนิดนั้น โดยหันปากท่อดูดอากาศให้เปิดรับ

การไหลของมลพิษเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (รูปที่2.12) ด้วยการติดตั้งท่อดูดอากาศในลักษณะนี้จะทำให้มลพิษที่เกิดขึ้นถูกดูดรวบรวมเข้าสู่ระบบระบายอากาศได้ดีกว่าและประหยัดกว่าอีกด้วย



รูปที่ 2.12 ท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิง

2.6 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ระบุไว้ว่าห้ามมิให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่ปริมาณฝุ่นแร่ในบรรยากาศของการทำงานตลอดระยะเวลาการทำงานปกติโดยเฉลี่ยเกินกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 ปริมาณฝุ่นแร่ในบรรยากาศของการทำงานตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ

ลำดับที่	ชื่อสารเคมี	ปริมาณฝุ่นแร่,เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ	
		ส่วนอนุภาคต่อปริมาตรของอากาศ 1 ลูกบาศก์ฟุต (Mppcf)	มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (mg/M^3)
1	ซิลิกา (Silica) คริสตัลลีน (Crystalline) -ควอร์ซ (Quartz) ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้ (Respirable dust)	$\frac{250}{\%SiO_2+5}$	$\frac{10\ mg/M^3}{\%SiO_2+2}$
	-ควอร์ซ (Quartz) ฝุ่นทุกขนาด (Total dust)	-	$\frac{30\ mg/M^3}{\%SiO_2+2}$
	-คริสโตบาไลท์ (Cristobalite)	$\frac{1}{2}\left[\frac{250}{\%SiO_2+5}\right]$	$\frac{1}{2}\left[\frac{10\ mg/M^3}{\%SiO_2+2}\right]$
2	เอมอร์ฟัส รวมทั้งแร่ธรรมชาติ (Amorphus)	20	$\frac{80\ mg/M^3}{\%SiO_2}$
3	ซิลิเกต (ที่มีผสมซิลิกาต่ำกว่า1%) (Silicates)		
	-แอสเบสตอส (Asbestos)	5*	-
	-ทรีโมไลท์ (Tremolite)	5*	-
	-ทอล์ค(Talc)พวกที่เป็นเส้นใย(Asbestos form)	5*	-
	-ทอล์ค (Talc)พวกที่ไม่เป็นเส้นใย(non-asbestos form)	20	-
	-ไมกา(Mica)	20	-
	-โซปสโตน(Soapstone)	20	-
	-ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์(Portland cement)	50	-
	-แกรไฟท์ (Graphite)	15	-
	-ฝุ่นถ่านหิน (Coal dust) ที่มี SiO_2น้อยกว่า 5%	-	$2.4mg/M^3$
	-ฝุ่นถ่านหิน (Coal dust) ที่มี SiO_2มากกว่า 5 %	-	$\frac{10\ mg/M^3}{\%SiO_2+2}$
4	ฝุ่นที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (Inert or Nuisance dust)		
	-ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้ (Respirable dust)	15	$5\ mg/M^3$
	-ฝุ่นทุกขนาด (Total dust)	50	$15\ mg/M^3$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kim **และคณะ** [1992] ได้เสนอวิธีการระบายอากาศ เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศ โดยใช้ห้องทดลองขนาดเล็ก ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบการระบายอากาศส่วนบน (upward ventilation) กับการระบายอากาศส่วนล่าง (downward ventilation) ผลการทดลองจะสรุปได้ดังนี้ คือ ในการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนบนมีประสิทธิภาพดีกว่าการระบายส่วนล่าง เพราะว่าความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างส่วนบนกับส่วนล่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศส่วนบน ประสิทธิภาพในการระบายอากาศส่วนบนเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 เท่าของส่วนระบายอากาศที่ผสมกันเป็นอย่างดี และเนื่องจากการระบายอากาศส่วนบนจะดึงอากาศที่มีความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์สูงได้ดีกว่าอากาศที่อยู่ในระดับที่หายใจ

Krames **และคณะ** [1994] รายงานว่าเนื่องจากการกระทำซึ่งกันและกันระหว่างอนุภาคที่ถูกแยกกับละอองของเหลวซึ่งเป็นสครับ ทำให้ประสิทธิภาพการจัดเก็บรวบรวมอนุภาคได้ดีถึงระดับซับไมครอน โดยสมมุติฐานสภาวะการไหลเหมาะสม เรซิเดนไทม์ยาวนาน และทราบการกระจายขนาดของหยดของเหลวที่แน่นอน ไซโคลนสรับเบอร์นี้ช่วยเพิ่มการสัมผัสระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดของเหลว ดังนั้นภายใต้สภาวะปกติจะมีละอองน้ำเต็ม แต่ที่ทางออกก็มีเฉพาะก๊าซสะอาดเท่านั้น ทฤษฎีที่อธิบายการไหลแบบปั่นป่วนที่สภาวะไม่คงตัว 3 มิติและ 3 เฟสในไซโคลนสครับเบอร์ยังไม่มีทฤษฎีที่อธิบายได้อย่างชัดเจน ประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 99.22% ซึ่งหาได้โดยการวิเคราะห์แบบกราวิเมตริก(gravimetric analysis) ของภาระฝุ่น (dust load)

Yamamoto **และคณะ** [1994] รายงานว่าการระบายอากาศขึ้นอยู่กับรูปทรงของห้อง วิธีการระบายอากาศ เงื่อนไขของสภาวะ ตำแหน่ง ความรุนแรงของแหล่งกำเนิดและชนิดของสิ่งปนเปื้อน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics(CFD))ได้พัฒนาให้สามารถหาบริเวณของการไหลแบบปั่นป่วนและการกระจายความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนที่สภาวะคงตัวภายในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ บริเวณการไหลสามารถคำนวณแบบ 2 มิติได้จากซอฟต์แวร์Fluent การระบายอากาศสามารถประเมินได้จากดัชนีปฏิบัติการระบายอากาศ (ventilation performance index(VPI)) ซึ่งค่า VPI มากแสดงว่ามีการระบายอากาศได้ดี นอกจากนี้ยังศึกษาผลของรูปทรงของห้อง เงื่อนไขการปฏิบัติการและสัมประสิทธิ์การแพร่(หรือเลขเพ็คเล่ย์) ที่มีต่อการระบายอากาศ

Marshall [1996] ได้ทดสอบหาความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนในห้องที่มีผู้ป่วยของโรงพยาบาล โดยตั้งสมมุติฐานบนความไม่ผันแปร ซึ่งใช้ห้องของคนไข้ในโรงพยาบาลที่แตกต่างกันและอัตราการระบายของสิ่งปนเปื้อนที่เท่ากัน ผลได้ดังตารางที่2.8

ตารางที่ 2.8 ระดับความสกปรกที่มาตรฐานการระบายอากาศต่างๆ

	Room # 1 (ACH Standard)	Room # 2 (ACH Standard)	Room # 3 (ACH Standard)
Room Dimensions (m)	3.6x3.6x3	3x3x2.4	3x3x2.4
Ventilation Rate	10 ACH (407 m^3/s)	10 ACH (226 m^3/s)	407 m^3/s
Contamination Concentration (units/m^3/s)	14.84	26.50	14.84

จากผลการทดลอง ขนาดของห้องไม่ได้มีอิทธิพลมากนักต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนภายในห้อง แต่สาเหตุหลักมีผลมาจากการระบาย ผู้ที่มาเยี่ยมผู้ป่วย

K.C.Chung [1997] ได้ทำการศึกษาการกระจายของสิ่งปนเปื้อนภายในห้อง ดังรูปที่ 2.1 มีขนาดของห้อง 3.2 x 4 x 2.5 เมตร มีทางเข้า 1 ทาง และทางออก 2 ทาง มี 3 บริเวณ คือ บริเวณ A B และ C โดยใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คือ EXACT3 ถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบสำหรับการไหลที่สถานะคงตัวในสามมิติ ภายใต้หลักการไฟไนต์ดิพเฟอเรนซ์ และทำการเปรียบเทียบกับการทดลอง ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้กำหนดให้มีความเร็วลมสม่ำเสมอที่ทางเข้า 1.5 เมตรต่อวินาที จำนวนกริด 21x23x19 และแหล่งกำเนิดอนุภาค มี 3 ขนาด คือ 0.1 0.5 และ 1 ไมครอน ผลการคำนวณความเร็วลมเปรียบเทียบกับข้อมูลของความเร็วลมภายในห้อง (วัดความเร็วลมโดยใช้ hot-wire) ที่ได้จากการทดลอง โดยมีค่าประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของอนุภาคนั้นคือ เมื่อสิ่งปนเปื้อนมีขนาดน้อยกว่า 1 ไมครอน แรงลากมีผลต่อการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคกับของไหล อย่างไรก็ตามอนุภาคที่อยู่ใกล้กับผนังหรือเพดาน การแพร่และแรงโน้มถ่วงของโลกมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค

Buchanan **และคณะ** [1998] ศึกษาเปรียบเทียบระบบระบายอากาศแบบ cross-flow และแบบ impinging-flow ในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาล โดยใช้ซอฟต์แวร์ Fluent สำหรับพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(Computational Fluid Dynamics (CFD)) ในการจำลองความปั่นป่วนของการไหลอากาศ(airflow) ใน 3 มิติ ซึ่งในห้องที่1 ระบบระบายอากาศเป็นแบบ cross-flow กระแสการไหลของอากาศจะเคลื่อนไปในแนวระดับเหนือโต๊ะปฏิบัติการ จากนั้นก็จะลอยไปยังเพดานและพาอนุภาคออกสู่ห้องปฏิบัติการ ส่วนห้องที่2 ระบบระบายอากาศเป็น impinging-flow ซึ่งการไหลจะปะทะกับโต๊ะปฏิบัติการ จึงทำให้อนุภาคยังคงเหลืออยู่ภายในห้อง ดังนั้นการไหลแบบ cross-flow ระบายอากาศได้ดีกว่าแบบ impinging-flow

ธนัญชัย [2001] ได้เสนอวิธีการหาการระบายอากาศจากความต้องการจริง โดยเปลี่ยนจากการใช้ตัวเลขจำนวนคนมากที่สุดในห้องมาใช้การหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มาคำนวณอัตราการระบายอากาศ ซึ่งสามารถนำความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการทำนายจำนวนคนภายในอาคาร โดยตั้งสมมุติฐานที่ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่จะถูกขับถ่ายโดยคนภายในอาคาร ดังนั้นจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกันจำนวนของคนภายในอาคาร อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารมีผลมาจากจำนวนคนที่เข้าออกภายในอาคาร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนั้นจึงสามารถที่จะทำนายจำนวนคนสมมูลที่ใช้ในการระบายอากาศ จากนั้นจึงหาอัตราการระบายอากาศที่ต้องการจริงได้ เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายในระบบการปรับสภาวะที่เหมาะสม

Bartak M. **และคณะ** [2001] ในงานวิจัยนี้แสดงผลจากการทดลองและจากการจำลองโดยใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) ซึ่งสนใจศึกษาอายุเฉลี่ยของอากาศ (local mean age of air, LMA) ภายในห้องทดลองที่มีขนาด 3.6 x4.2 x 3 เมตร ทดลองโดยการฉีดเทรเซอร์ เข้าไปในห้อง โดยมีปริมาณผลัดเปลี่ยนลมเท่ากับ 8 ach อุณหภูมิของอากาศที่ป้อนเท่ากับ 23 +/-0.3 องศาเซลเซียล ส่วนแบบจำลองคณิตศาสตร์ใช้ โมเดล $k-\varepsilon$ ซึ่งแบ่งกริดเป็น 2 แบบ คือ กริดหยาบเท่ากับ 11x9x11=1089 จุด และ กริดละเอียดเท่ากับ 30x27x30=24300 จุด (มีจำนวนกริดเป็น 3 เท่าของแบบแรก) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าทั้งกริดหยาบและกริดละเอียดให้ค่าที่สอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งกริดหยาบให้ค่า LMA ที่มากกว่ากริดละเอียด 4 %

สันติ , ปิยลาภ และ เกรียงไกร [2002] ศึกษาวิจัยการจัดการมลพิษทางอากาศที่เป็นอนุภาค เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษจากฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตกระดานโต้คลื่นของบริษัท คอบบร้า อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี โดยศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบระบายอากาศแนวดิ่ง (Vertical Downflow Ventilation System) การตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาค แผนกขัดแต่งผิวมันในอาคาร 1 A6 ที่บริษัท พบว่า ความเข้มข้นของอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (Respirable dust) เท่ากับ 7.9 mg/m^3(ค่ามาตรฐาน 5 mg/m^3) และความเข้มข้นของอนุภาคทั้งหมด (Total dust) เท่ากับ 15.85 mg/m^3 (ค่ามาตรฐาน 15 mg/m^3) ซึ่งความเข้มข้นของทั้งสองแบบเกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด จากนั้นได้ทำการทดลองโดยใช้ระบบระบายอากาศในแนวดิ่ง(ที่มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี) ที่สภาวะการทดลองต่างๆมีแหล่งกำเนิดอนุภาค 15 g/m^3 พบว่าในสภาวะความเร็วลมภายในห้องเท่ากับ 0.3 เมตร/วินาที โดยปิดพัดลม (เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว กำลังไฟฟ้า 40 วัตต์) ที่เป่ารบกวนกระแสอากาศภายในห้อง ความเข้มข้นของอนุภาคทั้งหมดที่วัดได้บริเวณกลางห้อง (ระดับความสูง 1.5 เมตรจากพื้นตะแกรง) มีค่าเท่ากับ 3.9 mg/m^3 ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่ในสภาวะเดียวกันแต่เปิดพัดลมที่เป่ารบกวนกระแสอากาศภายในห้อง พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคทั้งหมดที่วัด ณ ตำแหน่งเดียวกันภายในห้องมีค่าเท่ากับ 38.3 mg/m^3 ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากพัดลมที่เป่าภายในห้องจะรบกวนกระแสอากาศในแนวดิ่งนั่นเอง

K.Papakonstantinou **และคณะ** [2003] ได้เสนอการทำนายความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในโรงจอดรถ โดยใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โปรแกรมที่ใช้คือ PHOENICS ถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบสำหรับการไหลที่สถานะไม่คงตัวในสามมิติ โรงรถมีความกว้างเท่ากับ 23 เมตร ความยาวเท่ากับ 35 เมตรและความสูงเท่ากับ 4.3 เมตร มีจำนวนกริด 26 , 38 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เวลา 5 , 15 , 30 , 60 และ 480 นาที ผลจากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Bin Zhao และคณะ [2004] ได้ทำการเปรียบเทียบระบบระบายอากาศ 2 แบบคือ การระบายอากาศแบบแทนที่ (displacement ventilation) กับการระบายอากาศแบบผสม (mixing ventilation) ในการระบายอนุภาคออกจากห้องที่มีขนาด 5.16 x 2.43 x3.65 เมตร งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยใช้โมเดลการไหลแบบปั่นป่วน $RNG\ k-\varepsilon$ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่อนุภาคในกรณีที่ปริมาตรอากาศที่ป้อน (air supply volume) และคุณสมบัติอนุภาคเหมือนกัน การระบายอากาศแบบแทนที่มีอัตราสะสม (deposition rate) ต่ำกว่าและจำนวนอนุภาคที่หนีออกจากมากกว่าการระบายอากาศแบบผสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย