บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Emission Inventory) [1, 2]

2.1.1 หลักการทั่วไปของการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ

มลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาสำคัญที่มักพบในพื้นที่เมืองหรือเขตอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาและเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว และไม่มีการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสม โดยส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชุมชนเป็นอย่างมาก ซึ่งในสมัยก่อนเขตพื้นที่ชนบทส่วนใหญ่นานๆ ครั้งจะพบปัญหาการเพิ่มขึ้นของมลพิษในบรรยากาศ แต่ปัจจุบันกับพบปัญหาเรื่องดังกล่าวมากขึ้น และมีความซับซ้อน ยุ่งยากมาก เนื่องจากมีการพัฒนาขยายเขตอุตสาหกรรมและเมืองออกไปสู่ชนบทมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมากขึ้น

ดังนั้น ด้วยกลไกอันซับซ้อนของมลพิษทางอากาศ จึงต้องการรายละเอียดสาเหตุของปัญหามลพิษทางอากาศ และต้องมีการทำบัญชีข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศของแหล่งกำเนิดต่างๆ และวิธีการลดผลกระทบต่อสุขภาพของชุมชนที่สัมพันธ์กับสภาพร่างกายและปริมาณสารมลพิษในอากาศด้วย ซึ่งหลักการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศโดยทั่วไปประกอบด้วย

- การตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดของแหล่งปล่อยมลพิษเพื่อหาปัจจัยและข้อจำกัดในการควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ
- การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการประเมินคุณภาพอากาศ
- พัฒนาและวางแผนโครงการลดการปล่อยมลพิษทางอากาศที่เป็นไปได้ในอนาคตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในบริเวณที่เกิดปัญหา
- การวิเคราะห์หาแนวทางการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศให้เหมาะสม และ
- การวิเคราะห์หารายละเอียดของลักษณะแพร่กระจายของมลพิษจากบริเวณพื้นที่หนึ่งไปยังขอบเขตอีกพื้นที่อื่น

ดังนั้น เห็นได้ว่าการทำบัญชีข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศของแหล่งกำเนิดต่างๆ เป็นรากฐานสำคัญของระบบการจัดการมลพิษทางอากาศและการวางแผนลดมลพิษในอนาคต

การประเมินการปล่อยมลพิษทางอากาศ ต้องพัฒนาไปพร้อมกับการวางแบบแผนการจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสม ซึ่งการจัดทำบัญชีข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศเป็น

เครื่องมือที่สำคัญในการกำหนดนโยบายและแผนการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้การประเมินการปล่อยมลพิษทางอากาศที่แม่นยำ และการวางแผนที่เหมาะสม และรวมถึงกระบวนการติดตามตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

บัญชีข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศ (Emission Inventory) หมายถึง ปริมาณของสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ ซึ่งแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดได้ 3 แบบ คือ

- แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่หรือแบบเส้นตรง (Mobile and line sources) เช่น ยานพาหนะต่าง ๆ รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ และถนน เป็นต้น

- แหล่งกำเนิดแบบขนาดพื้นที่ (Area sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นแบบพื้นที่บริเวณกว้าง ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจะไม่สูงมาก เช่น พื้นที่การเกษตรกรรม และลานกองเก็บวัตถุดิบในโรงงาน เป็นต้น

- แหล่งกำเนิดแบบจุด (Point sources) เช่น ปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรม (stack) หรือทางช่องระบายอากาศ (vent) เป็นต้น

ขั้นตอนการจัดทำบัญชีข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศประกอบด้วยขั้นตอนการประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ ขั้นตอนการวางแผน การจัดการฐานข้อมูล การตรวจสอบข้อมูล และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปเป็นรายละเอียดขั้นตอนในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษซึ่งอธิบายในหัวข้อต่อไป

2.1.2 รายละเอียดขั้นตอนในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ

สำหรับรายละเอียดขั้นตอนในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษจากระบบของ AP-42 สามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงานได้ตามรูปที่ 2.1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 กำหนดจุดมุ่งหมาย หรือวัตถุประสงค์ของการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Identify purpose of emissions inventory)

การกำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดทำบัญชีการปล่อยของสารมลพิษนั้นเป็นขั้นตอนเริ่มแรกของการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ ซึ่งวัตถุประสงค์ทั้งหมดจะช่วยในการพิจารณาขั้นตอนอื่น ๆ ที่จะตามมาต่อไป หากการกำหนดวัตถุประสงค์ไม่แน่นอนและไม่เด่นชัดในการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ จะเป็นการยากที่จะทำให้สำเร็จตรงตามเงื่อนไขที่ต้องการได้ เช่น หากต้องการข้อมูลจากการจัดทำบัญชีมลพิษเพื่อใช้ในแบบจำลอง รูปแบบของการจัดทำก็จะแตกต่างจากแบบอื่น ซึ่งต้องใช้ข้อมูลมากกว่าอาจเป็นข้อมูลทางภูมิศาสตร์มาเกี่ยวข้อง เป็นต้น

2.1.2.2 กำหนดคุณลักษณะที่จำเป็นในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Define needed emissions inventory characteristics)

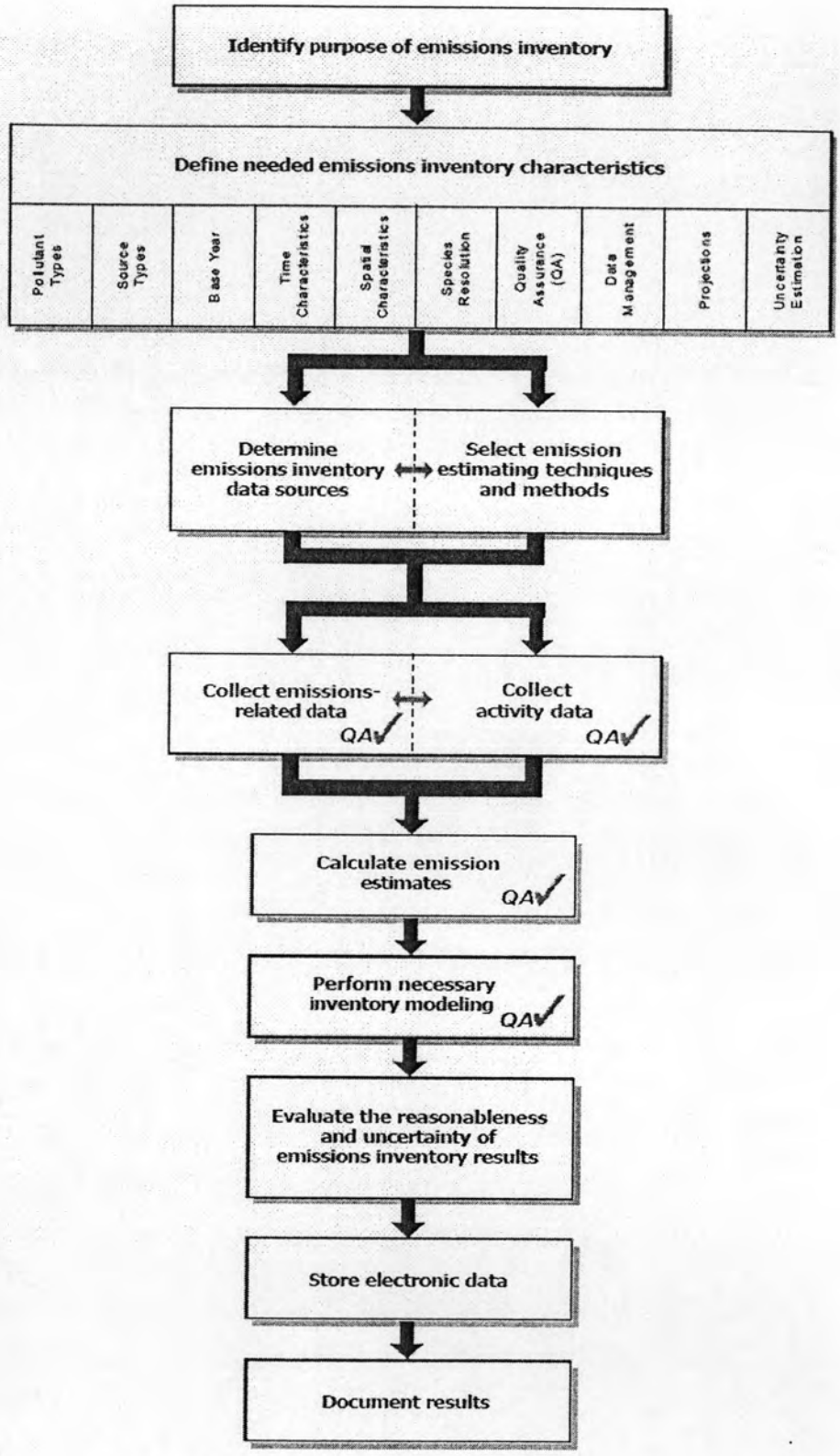
คุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ เช่น ชนิดของสารมลพิษที่พิจารณา (Pollution type), ลักษณะของแหล่งกำเนิดสารมลพิษที่พิจารณา (source type) ปีที่พิจารณา (base year) เป็นต้น ในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษแต่ละครั้ง ขอบเขตการพิจารณาอาจเหมือนหรือไม่เหมือนกันก็ได้ ทั้งนี้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษ เช่น ในการจัดทำบัญชีของก๊าซโอโซน (O_3) เราต้องพิจารณา TOG (Total Organic Gases) CO (Carbon monoxide) และ NO_x (Nitrogen Oxide) ร่วมด้วยในการทำบัญชีของสารมลพิษ เป็นต้น

2.1.2.3 พิจารณาแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ/เลือกเทคนิคและวิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษ (Determine emissions inventory data sources/Select emission estimating techniques and methods)

เมื่อเรากำหนดขอบเขตในการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การพิจารณาแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษและการเลือกเทคนิคและวิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษ ทั้งสองดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน ในบางสถานการณ์ข้อมูลจะเป็นตัวบ่งชี้หรือตัดสินใจว่าวิธีการประเมินการปล่อยสารมลพิษวิธีการไหนที่สามารถดำเนินการได้จริง ในกรณีอื่น เช่น การเลือกเทคนิคในการประเมินมลพิษทำให้เลือกแบบของข้อมูลที่ต้องมีการเก็บเพิ่มเติมหรือรวบรวมไว้ได้ เป็นต้น

2.1.2.4 เก็บข้อมูลกิจกรรมต่างๆ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยสารมลพิษ (Collect emissions-related data/Collect activity data)

หลังจากการพิจารณาแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ และการเลือกเทคนิคและวิธีประเมินการปล่อยสารมลพิษ ขั้นตอนต่อไปคือการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Emission related data) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินการปล่อยสารมลพิษโดยวิธีต่างๆ เช่น Emission Factor Source tests data หรือข้อมูลที่จะต้องใช้ในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเมินปริมาณการปล่อยสารมลพิษ เป็นต้น ในส่วนของข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) เช่น ข้อมูลของกระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือกิจกรรมต่างๆ ระยะเวลาในการดำเนินการ ชนิดและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการจะมีความแตกต่างกัน ตามแหล่งกำเนิดของมลพิษที่พิจารณา



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Technical of Emission Inventory Development) [1]

2.1.2.5 การคำนวณค่าการปล่อยสารมลพิษ (Calculate emission estimates)

หลังจากเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแล้วขั้นตอนต่อไปคือ การคำนวณการปล่อยสารมลพิษซึ่งวิธีการคำนวณหลายวิธี ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของสารมลพิษที่เราพิจารณา เช่น การคำนวณการปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดแบบจุด (Point Source) และ แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area Source) การคำนวณและวิธีการคำนวณมีความแตกต่างกันออกไป การคำนวณการปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดแบบจุด มักจะพิจารณาทุกจุดหรือทุกกระบวนการที่ก่อให้เกิดมลพิษ แต่การคำนวณแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่จะพิจารณาเป็นพื้นที่รวมบริเวณกว้างซึ่งค่าการคำนวณที่ได้มักเป็นข้อมูลที่หยาบ เป็นต้น

2.1.2.6 การใช้แบบจำลองร่วมในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Perform necessary modeling)

ในบางครั้งการคำนวณหรือการประมาณค่าการปล่อยสารมลพิษ อาจเกิดปัญหาในเรื่องของค่าใช้จ่ายหรือสถานที่ ในกรณีของการจัดทำบัญชีสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่มีความยุ่งยากในการตรวจวัดจริงที่มีความลำบาก การใช้แบบจำลองช่วยในการคำนวณหรือการประมาณการปล่อยสารมลพิษก็เป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์อย่างมาก เช่น การหาค่าการปล่อยตะกั่ว HAP Toluene paraffin จากระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังเก็บน้ำเสียอาจต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ WATER8, TANKS หรือ CHEMDAT8 เป็นต้น

2.1.2.7 การรับรองคุณภาพในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Quality assurance)

การรับรองคุณภาพ Quality assurance (QA) เป็นขั้นตอนสำคัญซึ่งทำให้การจัดทำบัญชีนั้นมีความเชื่อถือในเรื่องของข้อมูลจากรูปที่ข้างบน จะเห็นได้ว่าการรับรองคุณภาพจะกระทำร่วมกับขั้นตอนอื่นๆ เกือบทั้งหมดทุกขั้นตอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการเก็บข้อมูลของแหล่งกำเนิดสารมลพิษและข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ที่มีการปล่อยสารมลพิษ การประมาณค่าการปล่อยสารมลพิษ ตลอดจนการใช้แบบจำลองช่วยในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ ซึ่งการทำ QA อาจประกอบด้วยอุปกรณ์ตามตัวอย่างต่อไปนี้

- ใช้ checklist แยกตามรายชื่อหมวดแหล่งข้อมูล เพื่อให้มั่นใจว่าแหล่งข้อมูลจำเป็นทั้งหมดนั้นถูกเก็บไว้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ เช่น การใช้ checklist ตรวจสอบประเภทชนิดแหล่งกำเนิดมลพิษ

- การสุ่มเอาผลลัพธ์บางส่วนและข้อมูลผลการคำนวณการปล่อยมลพิษออกจากกิจกรรมต่างๆ มาเป็นตัวอย่างในการตรวจสอบ

- ยืนยันการผลคำนวณการปล่อยมลพิษออกมาทั้งหมดนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม

- เปรียบเทียบผลลัพธ์ในรายการต่างๆ กับการปล่อยมลพิษออกมาในพื้นที่ขอบเขตและแหล่งมลพิษที่เหมือนกัน

2.1.2.8 ประเมินความสมเหตุสมผล และความไม่แน่นอนของผลจากการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Evaluate the reasonableness and uncertainty of emissions inventory results)

หลังจากการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษเสร็จสิ้นลงแล้ว การพิจารณาความสมเหตุสมผลและความไม่แน่นอนของผลจากการปล่อยสารมลพิษเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจะช่วยให้ผลจากการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับการปล่อยสารมลพิษครั้งก่อน ๆ ซึ่งมีลักษณะของแหล่งกำเนิดสารมลพิษที่คล้ายกัน กิจกรรมที่มีการปล่อยสารมลพิษที่คล้ายกันหรือพื้นที่ศึกษาเดียวกัน เป็นต้น

2.1.2.9 การจัดเก็บข้อมูลจากการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษในฐานข้อมูล (Store electronic data)

การจัดเก็บข้อมูลจากการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษนั้น เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ เพราะข้อมูลที่จัดเก็บไว้สามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับงานในการพัฒนาการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษในอนาคตต่อไป ดังนั้นการจัดเก็บในลักษณะที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย ซึ่งอาจเก็บในคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นหลักฐานและสามารถเก็บรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหายได้

2.1.2.10 การจัดทำเอกสารรายงานการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ (Document results)

การจัดทำเอกสารรายงานการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษ ซึ่งในเนื้อหาของเอกสารควรประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ของแหล่งกำเนิดมลพิษ กิจกรรมต่างๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา วิธีการต่างๆ ในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษและสมมุติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำบัญชี การปล่อยสารมลพิษ และที่สำคัญควรมีเอกสารอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของข้อมูลเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ เป็นต้น

2.1.3 หลักวิธีการประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ (Emission Estimation techniques)

หลักวิธีการประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ (Emission Estimation techniques) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแหล่งกำเนิดมลพิษแบบจุด (Point source) และแบบที่มีลักษณะเป็นบริเวณพื้นที่ (Area source) มี 6 ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 Source Test

Source Test คือ การตรวดวัดปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษโดยตรง ในรูปแบบที่รู้ปริมาณของก๊าซและของอัตราความเร็วของการไหลก๊าซในปล่องควัน ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจริงจากแหล่งกำเนิดแบบจุด เช่น ปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรม การใช้เชื้อเพลิงตามบ้านเรือน ยานพาหนะเครื่องยนต์ ก๊าซโซลีนและดีเซล เครื่องบินและเรือยนต์ เพื่อนำมาคำนวณประเมินหา Emission ที่เกิดขึ้น

การวัดคุณภาพอากาศจากปล่องของแหล่งกำเนิด (Source Test) เราสามารถใช้ข้อมูลเพื่อศึกษาอัตราปล่อยสารมลพิษในอากาศแต่ละชนิดจากแหล่งกำเนิดหนึ่งๆ รวมถึงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการของแหล่งกำเนิดนั้น อีกทั้งยังเป็นการหาข้อมูลเพื่อใช้ในการทำบัญชีแหล่งกำเนิดอากาศเสีย วางแผนอนุรักษ์คุณภาพอากาศ การควบคุมตามกฎหมาย รวมไปถึงการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมสารมลพิษอากาศ

ในการประเมินปริมาณการปลดปล่อยสารมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม เรามักเก็บ ตัวอย่างอากาศจากปล่องควัน (Stack) หรือช่องระบายอากาศ (Vent) โดยในการเก็บตัวอย่างอากาศจำเป็นต้องทำในช่วงเวลายาวดังนั้นจึงควรวางแผนอย่างรอบคอบ ในการรายงานผลของการเก็บตัวอย่างโดยส่วนใหญ่หน่วยของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาแสดงอยู่ในเทอมของมวลของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาต่อเวลา (emission rate) และความเข้มข้นของสารมลพิษต่อหน่วยของกระบวนการผลิต

ในกรณีของสารมลพิษที่ปล่อยจากแหล่งกำเนิดก๊าซเชื้อเพลิง หน่วยของ Source test จะอยู่ในเทอมของมวลของสารมลพิษต่อปริมาตร มวลของก๊าซเชื้อเพลิง

2.1.3.2 Emissions Models

Emissions Models คือ การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาประมาณการปล่อยมลพิษ โดยมีความซับซ้อนมากจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ เช่น การใช้โปรแกรมขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ที่มีชื่อว่า TANKS สำหรับประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศจากถังเก็บสารเคมีขนาดใหญ่

2.1.3.3 Surveying

Surveying คือ การสำรวจพื้นที่โดยการการประดิษฐ์แบบสอบถามเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการปล่อยมลพิษทางอากาศให้มีมากขึ้น วิธีการนี้มักใช้เพื่อเพิ่มข้อมูลรายละเอียดแหล่งกำเนิดแบบจุด และแบบที่มีลักษณะเป็นบริเวณพื้นที่ ให้มีระดับข้อมูลมากขึ้น เช่น คุณสมบัติพิเศษของเครื่องจักร หรือการบริการต่างๆ เพื่อนำมาจัดเป็นหมวดหมู่แหล่งข้อมูล

2.1.3.4 Emission Factor

ค่า Emission Factor เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมลพิษที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศกับกิจกรรมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษ ค่า Factor นี้ แสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของสารมลพิษกับปริมาตร(Volume) ระยะทาง(Distance) หน่วยน้ำหนัก(Unit weight) หรือ ช่วงเวลา(Duration) ของกิจกรรมที่ปล่อยสารมลพิษออกมา ตัวอย่างเช่น กิโลกรัมของสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาต่อเมกกะกรัมของถ่านหิน (Kg of particulate emitted per mega gram of coal) ค่า Emission Factor แบ่งตามประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ อุตสาหกรรมต่างๆ และกิจกรรมต่างๆ ปลดปล่อยสารมลพิษสู่บรรยากาศ โดยถูกรวบรวมไว้ในเอกสารที่ชื่อว่า AP-42 ซึ่งเป็นเอกสารของ EPA สหรัฐอเมริกา (U.S.A Environmental Protection Agency)

สมการ (2.1) ที่ใช้สำหรับการประมาณค่าการปลดปล่อยสารมลพิษ คือ

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad (2.1)$$

เมื่อ

E = Emission

A = Activity rate

EF = Emission Factor

ER = Overall Emission Reduction Efficiency , %

ในกรณีที่กิจกรรมนั้นมีการควบคุมสารมลพิษโดยการใช้เครื่องมือควบคุมมลพิษ ค่า ER เป็นค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมสารมลพิษ

2.1.3.5 Material Balance

สมดุลมวล (Material Balance หรือ Mass Balance) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาปริมาณการปลดปล่อยของสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดหลายประเภท โดยใช้สมมติฐานง่ายๆ ในการทำ Material Balance คือปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจะมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างจำนวนของวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการผลิตกับปริมาณของวัตถุดิบที่เหลือจากกระบวนการผลิต

สมการ (2.2) ที่ใช้สำหรับการประมาณค่าการปล่อยสารมลพิษ คือ

$$E_t = (Q_{in} - Q_{out}) \times C_x \quad (2.2)$$

เมื่อ

E_t = Total emission สำหรับสารมลพิษ x

Q_{in} = ปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้ากระบวนการผลิต

Q_{out} = ปริมาณวัตถุดิบที่ออกจากกระบวนการผลิต

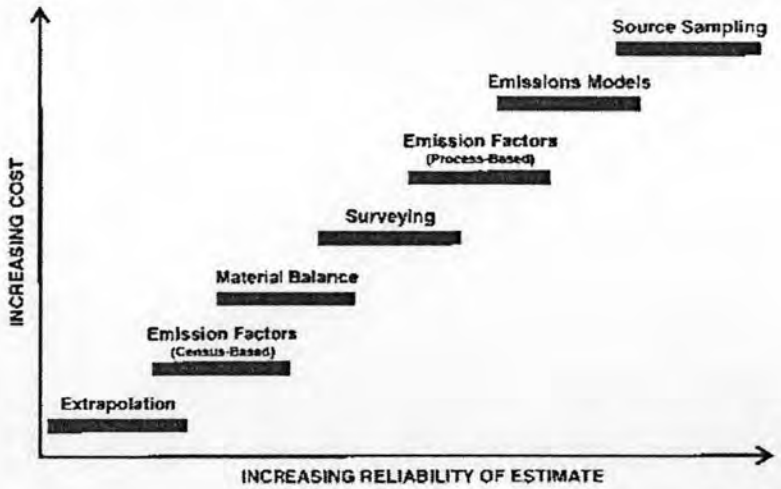
C_x = ความเข้มข้นของสารมลพิษ x ในวัตถุดิบนั้น

ในการใช้วิธี Material Balance นั้น เราต้องพิจารณาว่าสารมลพิษที่เราสนใจในกระบวนการผลิตต้องไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์หรือกับกระบวนการผลิต อีกทั้งวิธีการนี้ยังเหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือผลต่างของปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้าและปริมาณของวัตถุดิบที่ออกจากกระบวนการผลิตในปริมาณที่มากอีกด้วย

2.1.3.6 Extrapolation

Extrapolation คือ วิธีการประมาณการปล่อยมลพิษ โดยยึดพื้นฐานตัวแปรจากแหล่งข้อมูลทั้งสองที่มีลักษณะคล้ายกัน จากแหล่งข้อมูลที่รู้ค่าไปสู่แหล่งข้อมูลอื่นๆ มีลักษณะพื้นฐานกับตัวแปรเดียว เช่น ปริมาณการผลิต จำนวนคนงาน หรือ ขนาดพื้นที่แหล่งกำเนิด เป็นต้น

การพัฒนาขั้นตอนการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษที่เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคหลักวิธีการพื้นฐานในการประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศหลายแบบร่วมกัน เนื่องจากเทคนิคต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ยังมีข้อจำกัดที่ต่างๆ กัน โดยเฉพาะในด้านค่าใช้จ่ายในการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษจะแปรตามเทคนิคที่ใช้ โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายกับความเหมาะสมของเทคนิคที่ใช้ในการประเมินการปล่อยมลพิษทางอากาศ ในกรณีที่บางพื้นที่มีวิกฤตทางด้านผลกระทบจากมลพิษทางอากาศสูง จำเป็นต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดมาก ดังนั้นค่าใช้จ่ายก็จะสูงตามไปด้วย และในทางตรงข้าม ในพื้นที่ที่มีปัญหาสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด วิธีการประเมินก็จะมีค่าใช้จ่ายที่แพงน้อยกว่า และผลประเมินการปล่อยมลพิษอาจเป็นที่ยอมรับได้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิรูปภาพแสดงเทคนิคการประเมินการปล่อยมลพิษทางอากาศกับการเพิ่มค่าใช้จ่าย [2]

2.2 รายละเอียดทั่วไปของ Emission factor

Emission Factor หมายถึง เครื่องมือในการประมาณค่าปริมาณสารมลพิษ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมลพิษที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศกับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการปล่อยมลพิษ โดยค่า Factor จะแสดงในรูปของสัดส่วนระหว่างปริมาณโดยน้ำหนักของสารมลพิษกับปริมาตร (Volume) หรือระยะทาง (Distance) หรือหน่วยน้ำหนัก (Unit weight) หรือช่วงเวลา (Duration) ของกิจกรรมที่ปล่อยสารมลพิษออกมา เช่น กิโลกรัมของสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาต่อตันของถ่านหิน (Kg of particulate emitted per tons of coal)

Emission Factor ถูกนำมาใช้ในการประมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศมากที่สุด และในกรณีหากไม่สามารถทำการตรวจวัดจริงได้ ค่า Emission Factor ที่นิยมใช้ในการประเมินการปล่อยมลพิษทั้งแบบแหล่งกำเนิดแบบจุด (Point Source) และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area Source) คือ "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources" (AP-42) โดยวิธีการจัดทำ Emission Factor ตามข้อกำหนดของ AP-42 แบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอนตามที่สรุปได้ดังรูปที่ 2.3 โดยมีขั้นตอนการจัดทำค่า emission factor ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการเก็บข้อมูลการตรวจวัดจริงและรายละเอียดกระบวนการผลิตต่างๆ ให้ครบถ้วนตามที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่งข้อมูลต่างๆ ให้กับหน่วยงานที่รับผิดชอบในรูปแบบที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) กำหนด คือ The Electronic Reporting Tool (ERT)

ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการให้หน่วยงานกลางที่เป็นอิสระ (Independent third party) ที่ไม่ใช่หน่วยงานขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) มาทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูล (Quality Assurance)

ขั้นตอนที่ 4 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับความไม่มั่นใจของวิธีที่ใช้ในการทดสอบแหล่งข้อมูล สามารถใช้วิธีการประเมินมลพิษแบบอื่นๆ มาช่วยให้ข้อมูลผ่านขั้นตอนการตรวจสอบความเชื่อมั่นของคุณภาพข้อมูล (Quality Assurance)

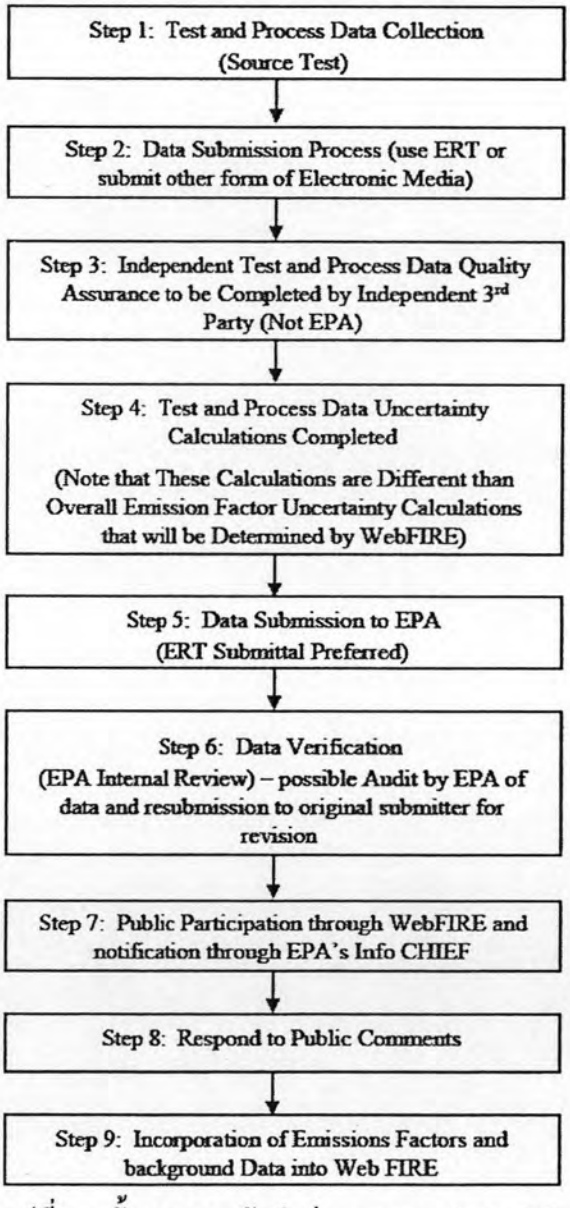
ขั้นตอนที่ 5 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบแล้วในรูปแบบฟอร์ม The Electronic Reporting Tool (ERT)

ขั้นตอนที่ 6 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบภายในระบบฐานข้อมูล หากยังขาดรายละเอียดก็จะส่งกลับไปยังหน่วยงานต้นทาง

ขั้นตอนที่ 7 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลการจัดทำ emission factor ไปเสนอต่อสาธารณะชนเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและเสนอแนะอาจจะใช้ระยะเวลาในการรับข้อเสนอตั้งแต่ 6 เดือน ถึง 1 ปี

ขั้นตอนที่ 8 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อคิดเห็นและเสนอแนะนำมาปรับปรุงค่า emission factor หากพบว่าค่าที่ได้ศึกษาไว้ยังไม่เหมาะสมก็จะนำไปเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่

ขั้นตอนที่ 9 คือ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการนำค่า emission factor ที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ แล้วมาเก็บรวมไว้ในโปรแกรมที่เรียกว่า "WebFIRE"



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการจัดทำค่า emission factor [3]

2.3 การจัดทำค่า emission factor สำหรับอุตสาหกรรมประเภทโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ [3]

การจัดทำค่า emission factor สำหรับอุตสาหกรรมประเภทโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ จะพิจารณาตามวิธีการของ "Compilation of Air Pollutant Emissions Factors" (AP-42) ซึ่งได้มีการศึกษาวิธีการไว้โดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (EPA) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 โดยค่า emission factor มีความสัมพันธ์ตามจำนวนน้ำหนักของสารพิษปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยของกิจกรรมของแหล่งปล่อยมลพิษ

2.3.1 รายละเอียดกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทย

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยปัจจุบันอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย มีผู้ผลิตรายใหญ่รวมจำนวน 12 ราย มีกำลังการผลิต (ปูนซีเมนต์ผง) รวม 55.36 ล้านตัน/ปี ได้แก่

1. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด โรงงานท่าหลวง กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 3,072,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 8,000 ตันต่อวัน
2. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด โรงงานเขาวง กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 3,840,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 10,000 ตันต่อวัน
3. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 7,296,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 19,000 ตันต่อวัน
4. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ทุ่งสง) จำกัด กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 6,912,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 18,000 ตันต่อวัน
5. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 2,112,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 5,500 ตันต่อวัน
6. บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 14,784,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 38,500 ตันต่อวัน
7. บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 9,024,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 23,500 ตันต่อวัน
8. บริษัท ปูนซีเมนต์เอเซีย จำกัด (มหาชน) กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 4,992,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 13,000 ตันต่อวัน
9. บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด (มหาชน) โรงงานตาคลี กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 1,152,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 3,000 ตันต่อวัน

10. บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด (มหาชน) โรงงานชะอำ กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 1,190,400 ตันต่อปี ปูนเม็ด 3,100 ตันต่อวัน
11. บริษัท ภูมิใจไทยซีเมนต์ จำกัด กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 960,000 ตันต่อปี ปูนเม็ด 2,500 ตันต่อวัน
12. บริษัท เซเม็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด กำลังการผลิตปูนซีเมนต์ 844,800 ตันต่อปี ปูนเม็ด 2,200 ตันต่อวัน

2.3.1.1 รายละเอียดกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 กรรมวิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

- กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มลงไปในอัตราส่วนที่พอเหมาะเพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 30-40% มีลักษณะเหลวและไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีแบบเปียกจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้นใน Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

- กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone) หินดินดาน (Shale) ดินลูกรัง (Laterite) และทราย (Sand) มาบดผสมกันในสภาพที่แห้งและในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผาช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเรียกว่า "วัตถุดิบสำเร็จ (Meal)" หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผา ในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียกถือว่าเป็นวิธีที่ล้าสมัย เพราะต้องใช้พลังงานความร้อนสูงจึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอย่างมาก

ในปัจจุบัน โรงงานปูนซีเมนต์ไทยทุกโรง จึงใช้กรรมวิธีการผลิตแบบแห้งซึ่งเป็นวิธีที่ทันสมัยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่า จึงช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาได้ดีกว่า และยังสามารถควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้ยังมีระบบการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนของกระบวนการ

ผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อความมั่นใจว่าจะสามารถผลิตปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดี สม่ำเสมอ และได้มาตรฐาน

2.3.1.2 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก (รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และรูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์) ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ :

จัดหาและคัดเลือกวัตถุดิบชนิดต่างๆ ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ต้องการ ทำเหมืองหิน ขนส่งวัตถุดิบจากเหมืองมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง และกองเก็บไว้ในยุ้งเก็บวัตถุดิบเพื่อรอการนำไปใช้งาน

ขั้นตอนที่ 2 การบดวัตถุดิบ :

ป้อนวัตถุดิบต่างๆ เข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ แล้วบดวัตถุดิบจนได้วัตถุดิบสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 3 การเผาปูนเม็ด :

ป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่ Preheater เพื่ออุ่นวัตถุดิบให้ร้อน แล้วลำเลียงเข้าสู่เตาเผาต่อไป โดยเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,450° C ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของวัตถุดิบต่างๆ จนได้ ปูนเม็ดที่มีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมสีเทาเข้มขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร จากนั้นปูนเม็ดจะถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 4 การบดปูนซีเมนต์ :

ลำเลียงปูนเม็ดเข้าหม้อบดปูนซีเมนต์ ในระหว่างกระบวนการบดนั้น จะมีการเติมยิปซั่มในปริมาณเล็กน้อย (เพื่อช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัว ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัว และพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์) บดจนได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุและการขนส่งปูนซีเมนต์ :

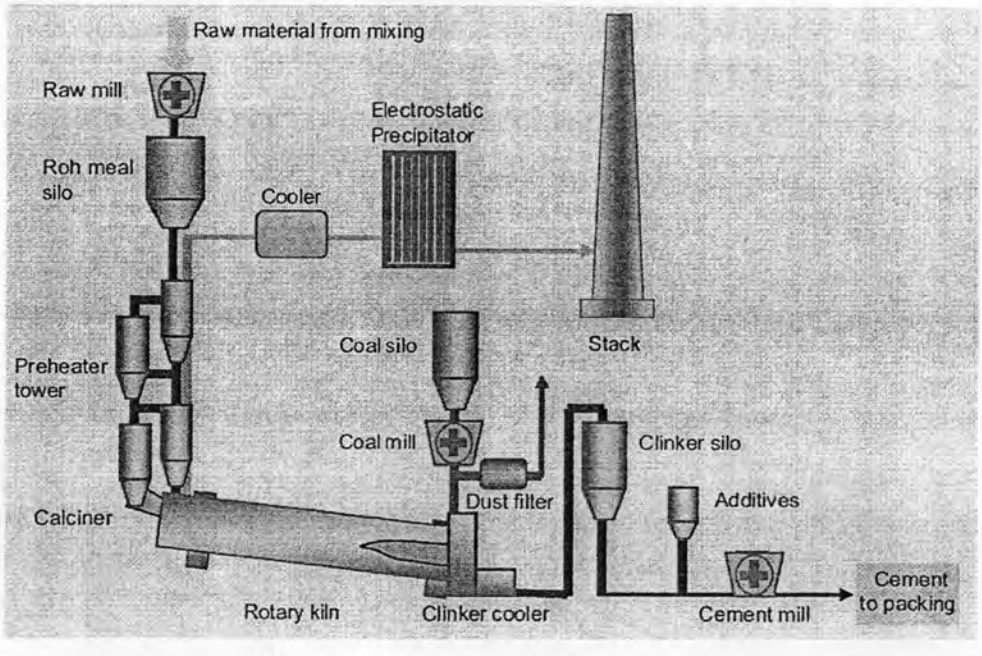
ลำเลียงปูนซีเมนต์เก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการบรรจุและการขนส่งต่อไปนี้ ซึ่งมีทั้งการเป่าลงเต้าของรถขนส่งในรูปของปูนซีเมนต์ผงและการบรรจุถุงในรูปของปูนซีเมนต์ถุง แล้วทำการขนส่งปูนซีเมนต์ไปยังร้านค้า โรงงานอุตสาหกรรมคอนกรีต หรือหน่วยงานก่อสร้างต่างๆ โดยการขนส่งด้วยรถปูนซีเมนต์ รถไฟ หรือเรือ เพื่อนำปูนซีเมนต์ไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ ต่อไป

2.3.1.3 วัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

- วัตถุดิบ (Raw Materials) ที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภท ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

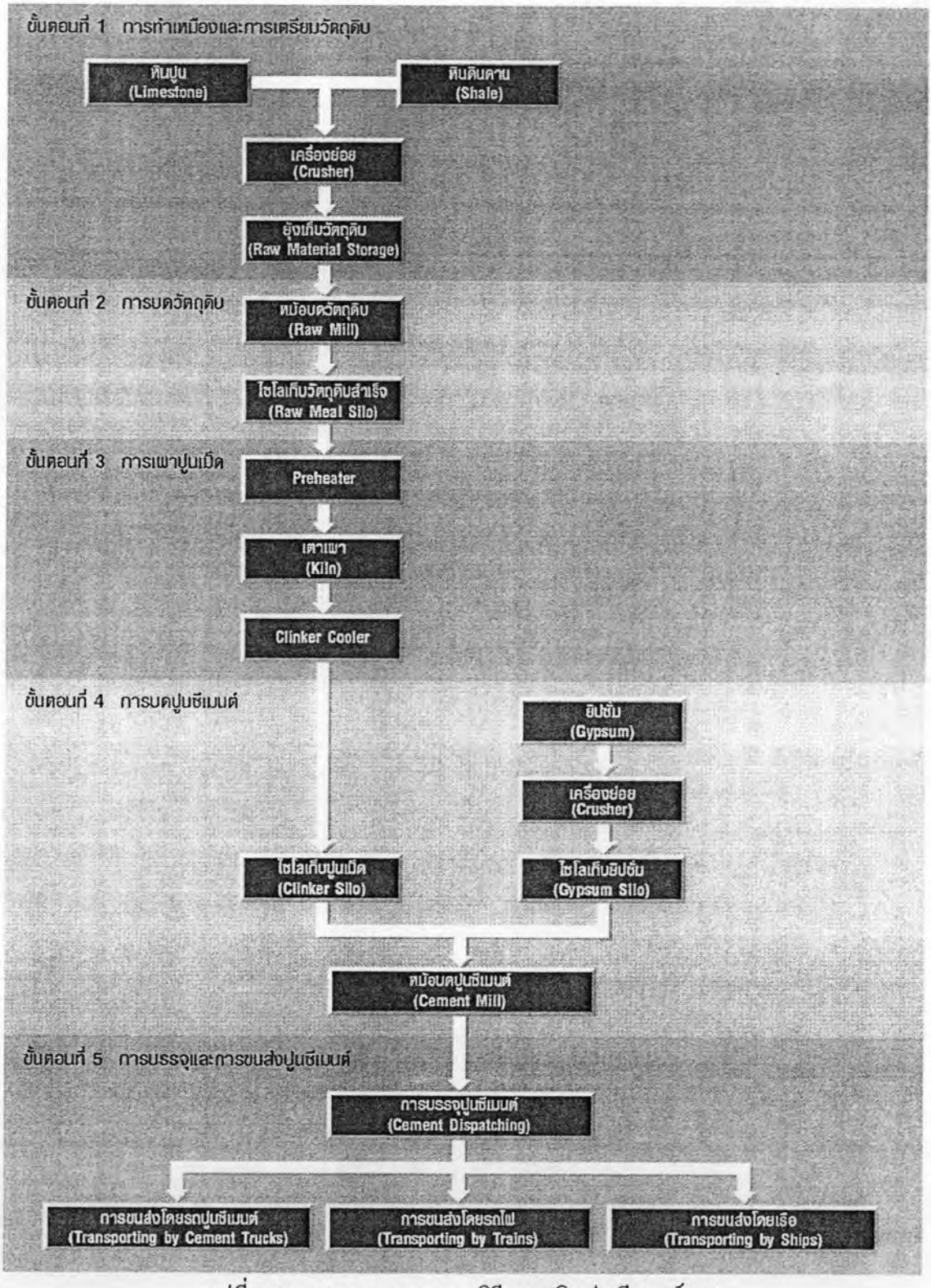
ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ [4]

ประเภทของวัตถุดิบ	รายละเอียด
1. Calcareous Materials	เป็นวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต(Calcium Carbonate หรือ $CaCO_3$) ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป เช่น หินปูน (Limestone), ดินขาว (Marl), และดินสอพอง (Chalk) เป็นต้น
2. Argillaceous Materials	เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิก้า (Silicon Dioxide หรือ SiO_2), อลูมิน่า (Aluminium Oxide หรือ Al_2O_3), และเหล็ก (Iron Oxide หรือ Fe_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ เช่น หินดินดาน (Shale), และดินดำหรือดินเหนียว (Clay) เป็นต้น
3. Corrective Materials	เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมองค์ประกอบทางเคมีบางตัวซึ่งในหินดินดานหรือดินดำ มีปริมาณไม่เพียงพอ เช่น • เพิ่ม SiO_2 : ทราย (Sand) • เพิ่ม Al_2O_3 : ดินแดง (High Alumina Clay) • เพิ่ม Fe_2O_3 : แร่เหล็ก (Iron Ore), และดินลูกรัง (Laterite)
4. Additive Materials	เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่สำคัญคือ การเติมยิปซั่มเพื่อช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัว, ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัว, และพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ กรณีปูนซีเมนต์ผสม มีการเติมหินปูน เพื่อช่วยลดการหดตัว ซึ่งจะช่วยลดการแตกร้าว นอกจากนี้ ยังอาจมีการผสมสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ เช่น สารปอซโซลาน, GGBS, สารลดน้ำ, และสารกระจายกักฟองอากาศ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [4]

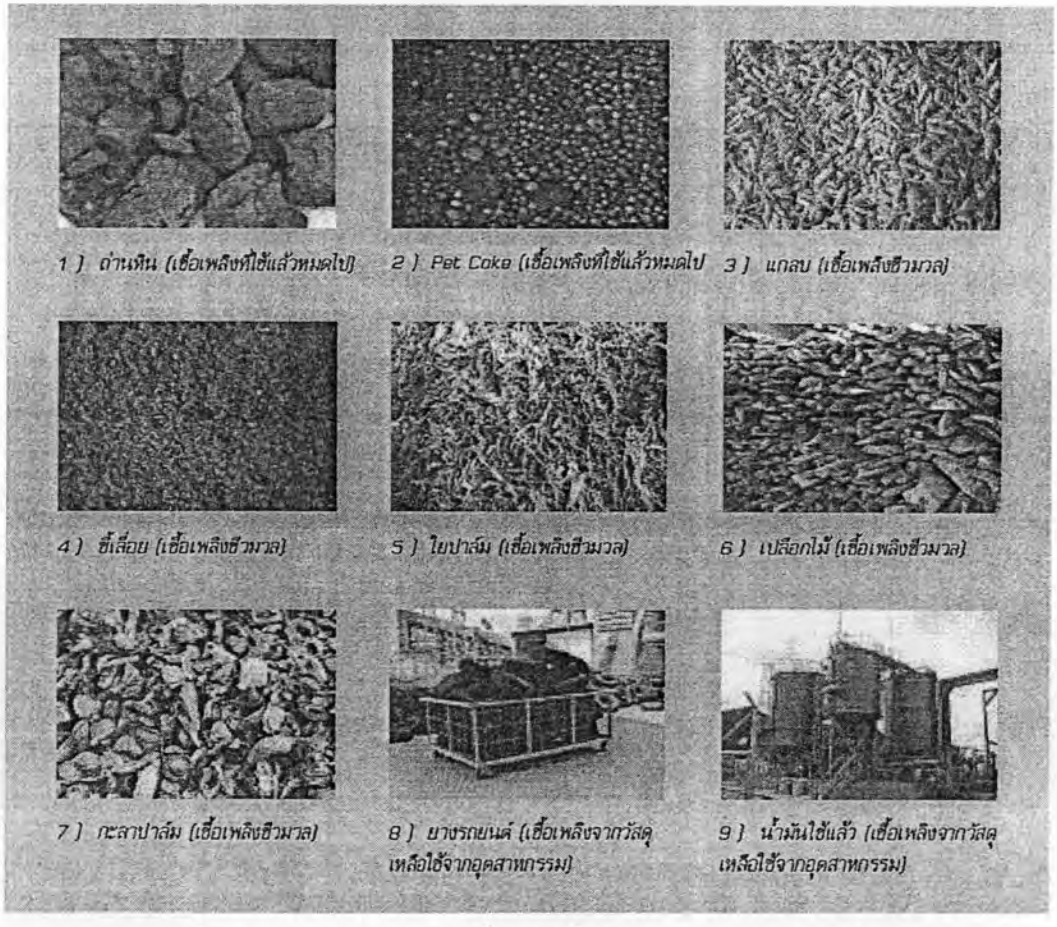
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ [4]

- เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ สามารถแสดงลักษณะของชนิดเชื้อเพลิงได้ตามรูปที่ 2.6 โดยสามารถแบ่งประเภทของเชื้อเพลิงตามการให้พลังงานความร้อนในการเผาปูนเม็ดได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

- เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable Fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา และ Pet Coke เป็นต้น
- เชื้อเพลิงทดแทน (Secondary Fuel) ช่วยลดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมและประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป ยังสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่
  - เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมที่ เกี่ยวกับเกษตร เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ใยปาล์ม เปลือกไม้ และกะลาปาล์ม เป็นต้น
  - เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม (Industrial Waste) เช่น ยางรถยนต์ และน้ำมันใช้แล้ว เป็นต้น

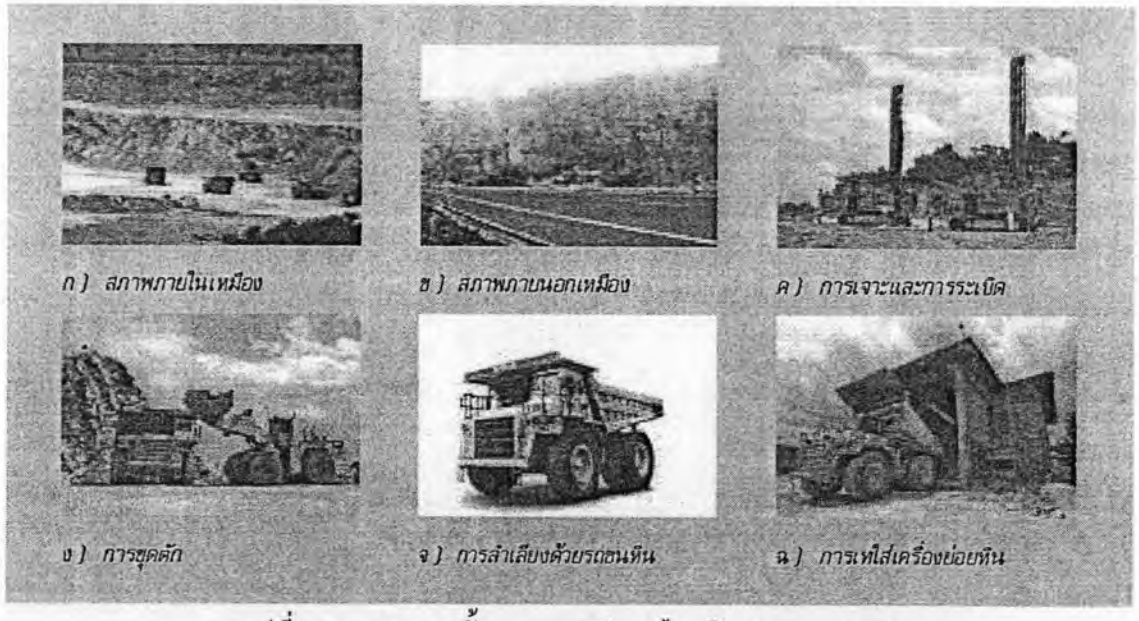


รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ [4]

2.3.1.4 รายละเอียดการทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Materials Preparation) สำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้งนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่ใช้หินปูน (Limestone) และหินดินดาน (Shale) จากเหมืองหิน (Quarry) โดยทำการเจาะและการระเบิดหิน จากนั้นลำเลียงหินไปยังเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหลือประมาณ 2.5 เซนติเมตร การย่อยวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงใกล้เคียงกัน จะทำให้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ หินปูนและดินดานที่ถูกย่อยจนได้ขนาดแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในยุ้งเก็บวัตถุดิบ (Raw Materials Storage) ต่อไป

กรณีวัตถุดิบจากเหมืองมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงหรือมีวัตถุดิบชนิดอื่นเจือปน ส่งผลให้คุณภาพวัตถุดิบไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ยุ้งวัตถุดิบจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพให้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น โดยใช้ Stacker สำหรับการลำเลียงและการทำกองวัตถุดิบ ซึ่งทำให้วัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกัน กระจัดกระจายกันอยู่ตามจุดต่างๆ ในกองวัตถุดิบภายในยุ้ง รวมทั้งใช้ Reclaimer สำหรับการตักและการลำเลียงวัตถุดิบออกจากกอง ซึ่งช่วยให้เกิดการผสมกันของวัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ทำให้มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น รูปที่ 2.7 แสดงภาพขั้นตอนการทำเหมืองหิน (Quarry)

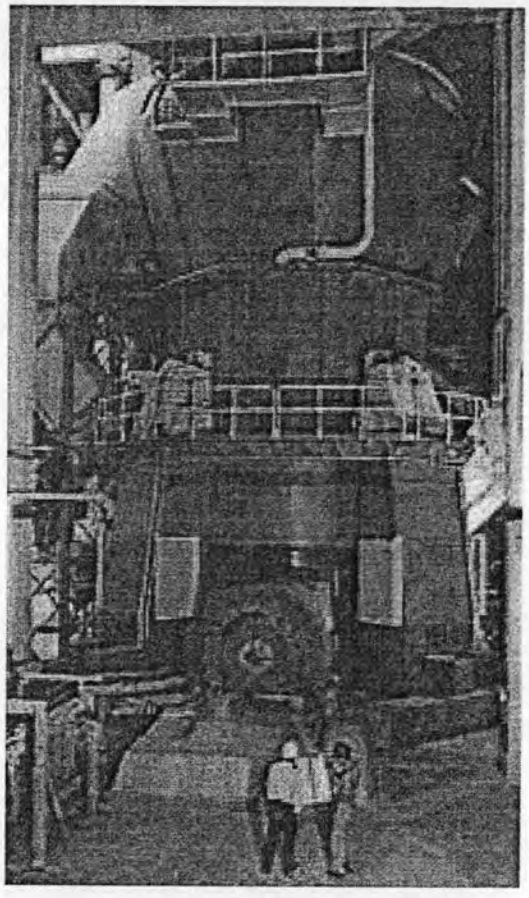


รูปที่ 2.7 แสดงภาพขั้นตอนการทำเหมืองหิน (Quarry) [4]

2.3.1.5 รายละเอียดการบดวัตถุดิบ

การบดวัตถุดิบ (Raw Materials Grinding) เริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบชนิดต่างๆ เข้าถังเก็บวัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อลำเลียงเข้าสู่ หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) โดยมีลักษณะดังในรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) ซึ่งต้องควบคุมส่วนผสมของวัตถุดิบทุกชนิดให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด หม้อบดวัตถุดิบจะบดวัตถุดิบทั้งหมดให้ละเอียด โดยในระหว่างการบดจะใช้

ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผา ช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ ส่งผลให้วัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วมีความชื้นต่ำลงมาก วัตถุดิบที่ถูกบดละเอียดแล้วจะถูกคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยก วัตถุดิบที่ผ่านการบดและการคัดแยกจนได้ขนาดตามต้องการจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง เรียกว่า "วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)" จากนั้นลำเลียงวัตถุดิบสำเร็จไปเก็บในไซโล เพื่อป้อนเข้าหม้อเผาต่อไป ส่วนวัตถุดิบที่หยาบจะถูกป้อนกลับไปยังสายพาน เพื่อป้อนเข้าหม้อบดอีกครั้งจนได้ขนาดตามที่ต้องการ

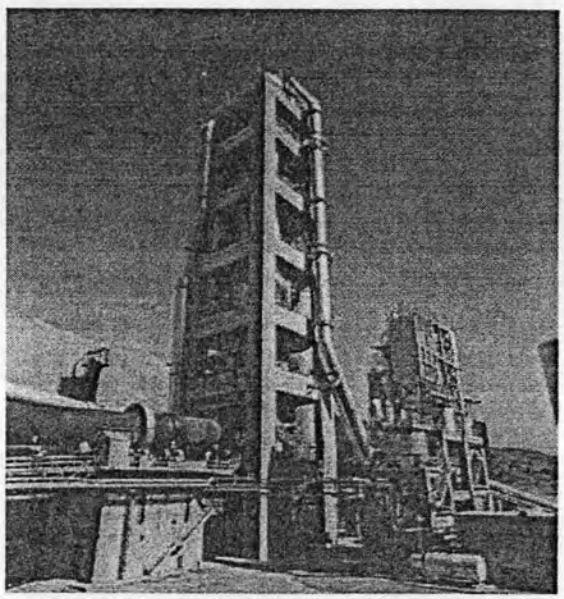


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) [4]

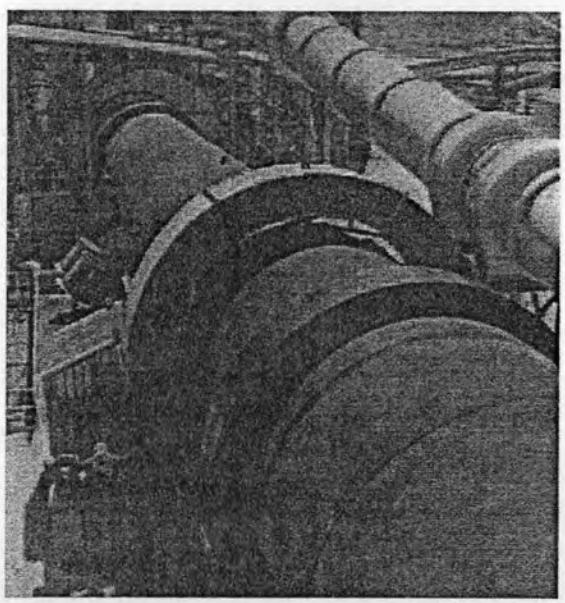
2.3.1.6 รายละเอียดการเผาปูนเม็ด

การเผาปูนเม็ด (Clinker Burning) มีขั้นตอนรายละเอียด คือ เริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบสำเร็จที่ได้เข้าสู่ระบบหม้อเผา ซึ่งในปัจจุบันก่อนจะป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่หม้อเผาจะต้องป้อนวัตถุดิบสำเร็จผ่าน Preheater โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนป้อนเข้าสู่ "Burning Zone" ภายในหม้อเผา (Kiln) โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.10 นอกจากนี้ระบบหม้อเผาสมัยใหม่ยังสามารถลดความยาวของหม้อเผาให้สั้นลงอีก ซึ่งสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน (Heat Consumption) ได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยการเผาปูน

เม็ดต้องควบคุมปริมาณวัตถุดิบสำเร็จที่ป้อนเข้าหม้อเผาให้พอเหมาะกับกำลังการผลิตของหม้อเผา และเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,450 °C โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ในการเผาปูนเม็ดมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.11

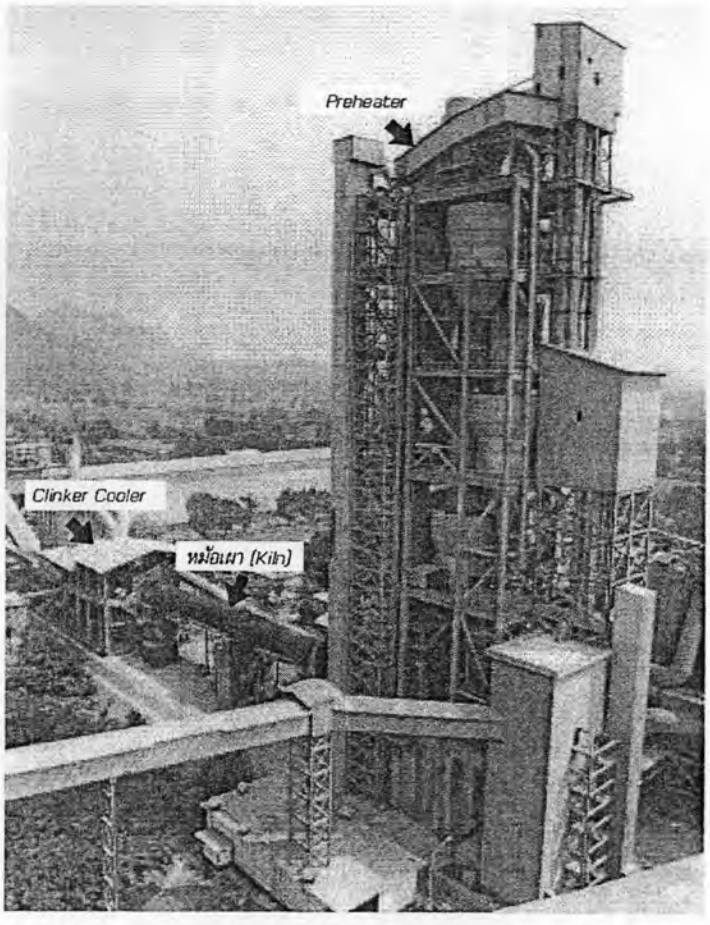


รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ Preheater [4]



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของหม้อเผา (Kiln) [4]

หลังจากวัตถุดิบสำเร็จที่ถูกเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เกิดเป็นปูนเม็ด (Clinker) และถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในบริเวณที่เรียกว่า "Cooling Zone" โดยการเป่าผ่านปูนเม็ดที่ร้อนจัดเพื่อดึงความร้อนดังกล่าวออกไป ปูนเม็ดที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมและสีเทาดำ

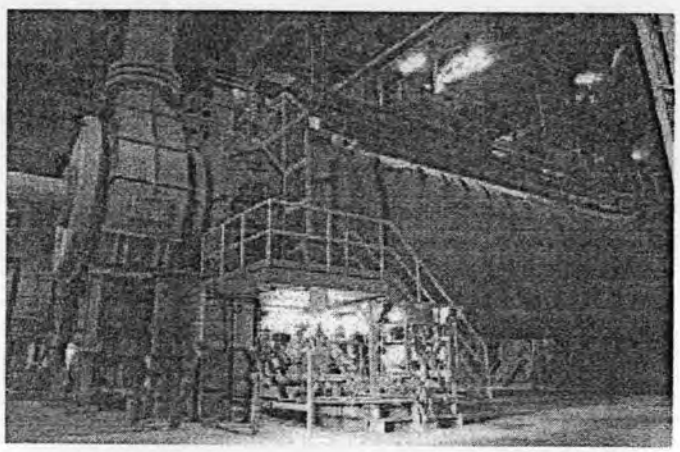


รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ในการเผาปูนเม็ด [4]

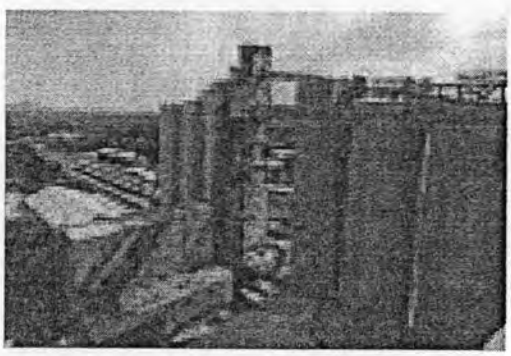
2.3.1.7 รายละเอียดการบดปูนซีเมนต์

ปูนเม็ดที่ผ่านการเผาและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วแล้ว จะถูกลำเลียงผ่านเครื่องย่อย เพื่อย่อยปูนเม็ดให้มีขนาดเล็กลงและอยู่ในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร ด้วยอุปกรณ์หม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) ซึ่งมีลักษณะดังในรูปที่ 2.12 การบดปูนซีเมนต์ (Cement Grinding) เริ่มจากการลำเลียงปูนเม็ด และยิปซั่ม (กรณีผลิตปูนซีเมนต์ผสม จะมีการลำเลียงหินปูนเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งด้วย) จากไซโลมาเก็บไว้ใน Hopper จากนั้นทำการป้อนวัตถุดิบทั้งหมดผ่าน Roller Press เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนจะป้อนเข้าสู่ หม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) ในหม้อบดปูนซีเมนต์ประกอบด้วยห้องบด 2 ห้อง ได้แก่ ห้องบดที่ 1 (Chamber 1) ทำหน้าที่บดวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปให้มีขนาดเล็กลงโดยการกระแทกหรือเป็นการบดหยาบ ลูกบด (Grinding Ball) ที่ใช้ในห้องบดที่ 1 จะมีขนาดใหญ่กว่าห้องที่ 2 สำหรับห้องบดที่ 2 (Chamber 2) ทำหน้าที่บดละเอียดโดยมีลูกบอลขนาดเล็กทำหน้าที่ขัดสีให้มีขนาดละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้ ในขณะทำการบดอาจมีการฉีดน้ำสำหรับหล่อเย็นภายในหม้อบดเพื่อไม่ให้มีอุณหภูมิภายในหม้อบดสูงเกินไป ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดในห้องบดที่ 2 จะถูกลมดูดเข้าเครื่องคัดแยกซึ่งทำหน้าที่คัดแยกขนาดปูนซีเมนต์ให้ได้ความ

ละเอียดตามที่ต้องการ สำหรับปูนซีเมนต์ (Cement) ที่มีความละเอียดตามต้องการแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บยัง ไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) ต่อไป ส่วนปูนซีเมนต์ที่มีขนาดหยาบจะถูกป้อนกลับไปยังหม้อบดปูนซีเมนต์เพื่อทำการบดซ้ำให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจนได้ขนาดที่ต้องการ จากนั้นจะถูกลำเลียงไปเก็บยังไซโลเก็บปูนเม็ด ดังแสดงตามรูปที่ 2.13 แสดงลักษณะไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo)



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) [4]



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะไซโลเก็บปูนซีเมนต์ (Cement Silo) [4]

2.3.1.8 การบรรจุและการขนส่งปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บยังไซโลเก็บปูนซีเมนต์เพื่อรอการบรรจุปูนซีเมนต์ (Cement Dispatching) และการขนส่งปูนซีเมนต์ (Cement Transporting) ต่อไป โดยการบรรจุปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

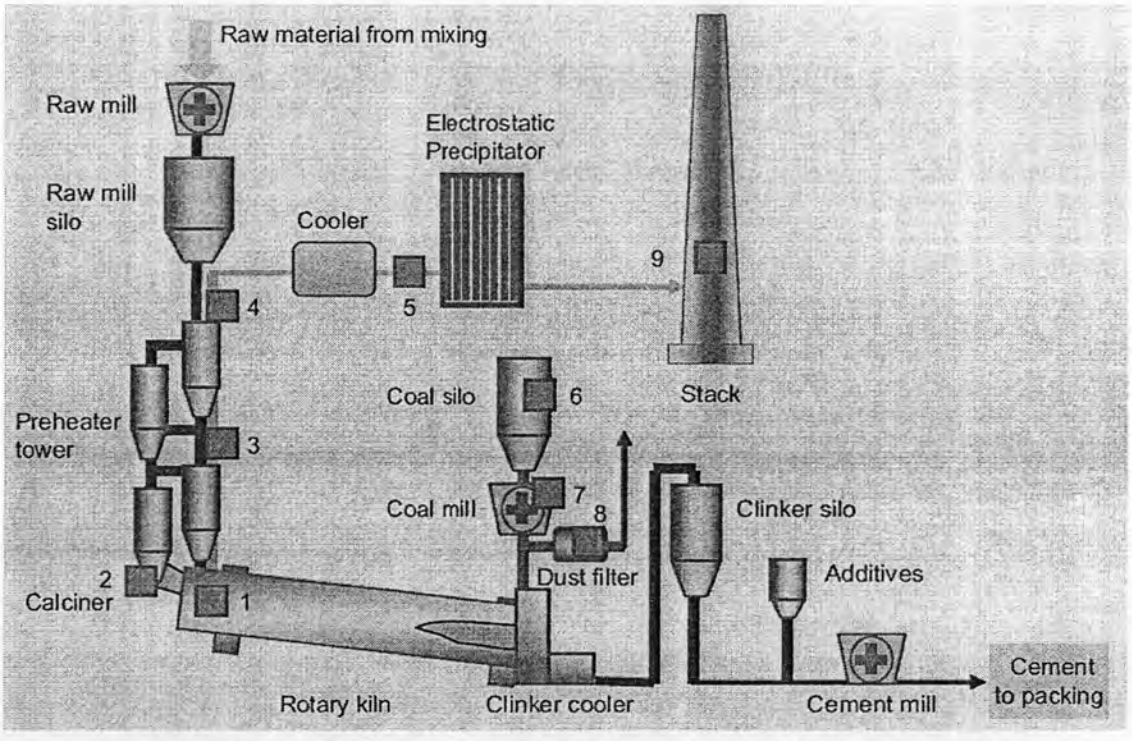
- ปูนซีเมนต์ผง : ปูนซีเมนต์จากไซโลจะถูกลำเลียงและเป่าลงสู่เต้าปูนของรถปูนซีเมนต์ หรือของรถไฟโดยตรง
- ปูนซีเมนต์ถุง : ปูนซีเมนต์จะถูกลำเลียงเข้าเครื่องบรรจุปูนซีเมนต์ถุง (Cement Packer) ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกในการขนส่งและเพื่อใช้สำหรับงานขนาดเล็กได้

สะดวกขึ้น โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ที่บรรจุใส่ถุงมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม หรืออาจมีค่าอื่นๆ ได้ตามที่บริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์กำหนด)

2.3.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตปูนซีเมนต์และระบบอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ

ในตลอดระยะ 10 ปี ที่ผ่านมานี้ มาตรฐานการควบคุมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยได้มุ่งเน้นไปที่การปล่อยมลพิษที่เป็นอนุภาคเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เมื่อปี พ.ศ. 2549 มาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้มีการปรับปรุงและเพิ่มชนิดมลพิษที่ต้องควบคุมเพิ่มเติม คือ NO_x, SO_x, CO, CO_2, HCl, HF, Hg, โลหะหนัก และสารพิษอื่นๆ ที่เป็นอันตราย เนื่องจากปัจจุบันได้มีการนำของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ใช้มาเป็นเชื้อเพลิงผสมในเตาเผาปูนซีเมนต์ เช่น ยางรถยนต์ น้ำมันเครื่องใช้แล้ว เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว การปล่อยมลพิษทางอากาศโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จะเกิดจากกระบวนการผลิตในหน่วยต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ตามรูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของหน่วยต่างๆ ที่มีสารมลพิษทางอากาศเกิดขึ้น และตารางที่ 2.2 สรุปมลพิษที่เกิดขึ้นจากหน่วยการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



รูปที่ 2.14 แสดงตำแหน่งของหน่วยต่างๆ ที่มีสารมลพิษทางอากาศเกิดขึ้น [5]

ตารางที่ 2.2 สรุปมลพิษที่เกิดขึ้นจากหน่วยการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ตำแหน่ง	หน่วยการผลิต	ชนิดมลพิษทางอากาศ	อุปกรณ์ควบคุมมลพิษ
1	Rotary kiln inlet	CO, PM, NO, SO_2	Electrostatic precipitator
2	Calciner	CO, PM	Electrostatic precipitator
3	Cyclone preheater	CO, PM, NO	Fabric filter
4	Preheater exit	CO, CO_2	Electrostatic precipitator
5	Upstream electrostatic filter	CO, PM	Fabric filter
6	Coal silo	CO	Fabric filter
7	Coal mill	PM	Electrostatic precipitator
8	Dust filter after coal mill	CO, PM	Fabric filter
9	Stack	CO, CO_2, NO_x, SO_2, THC, HCl, HF, Hg, PM	Electrostatic precipitator Fabric filter

จากตารางตารางที่ 2.2 เห็นได้ว่าการปล่อยมลพิษทางอากาศมาจากหน่วยการผลิตในหลายส่วนของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีกิจกรรมที่มาจากการเผาไหม้ก๊าซ การบำบัดน้ำเสีย ขยะจากการบำรุงรักษาเครื่องจักร และจากห้องปฏิบัติการในโรงงาน ซึ่งฝุ่นละอองเป็นมลพิษหลักที่เกิดขึ้นมากที่สุด โดยเฉพาะจากปล่องเตาเผาซีเมนต์ที่เป็นแหล่งระบายหลักของโรงงาน อย่างไรก็ตาม ในส่วนนี้ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับและรวบรวมฝุ่นเข้าสู่ระบบกระบวนใหม่อีกครั้ง

ฝุ่นละอองจากโรงงานผลิตปูนซีเมนต์มีขนาดเล็กน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร และยังมีมลพิษอื่นๆ เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น

2.3.2.1 ฝุ่นละออง (Particulate Matter : PM)

แหล่งที่เป็นจุดระบายฝุ่นละออง ประกอบด้วย

- quarrying and crushing
- raw material storage
- grinding and blending (in the dry process only)
- clinker production
- finish grinding
- packaging and loading

แหล่งที่มาของฝุ่นที่ใหญ่ที่สุดภายในเครื่องผลิตปูนซีเมนต์ คือ ระบบ Pyroprocessing ซึ่งประกอบด้วยเตาเผาปูน และปล่องเครื่องบดวัตถุดิบ และจุดอื่นๆ เช่น ไซโลเก็บวัตถุดิบ ระบบขนส่ง ฉางเก็บวัตถุดิบ และจุดที่เป็นเครื่องบรรจุและส่งขนสินค้าออก

โดยส่วนใหญ่ฝุ่นปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย alumina, silica, calcium carbonate และดินเหนียว ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตปูนนั้นเอง

2.3.2.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of Nitrogen : NO_x)

ออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารประกอบไนโตรเจนในเชื้อเพลิง และโดยขบวนการเผาไหม้ก๊าซในกระแสลมร้อนที่พัดก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศเปลี่ยนไปเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน ในขณะที่กระแสลมร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิของเปลวไฟมากขึ้นก็จะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย และบางส่วนเพิ่มขึ้นจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นและปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง

ในเครื่องเตาเผาปูนซีเมนต์ ออกไซด์ของไนโตรเจนถูกสร้างขึ้นในพื้นที่ที่กำลังถูกเผาของเตาเผาและบริเวณเขตของ precalcining โดยชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้จะมีกระทบต่อปริมาณของ ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้น เช่น ในเตาเผา กระบวนการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติกับอุณหภูมิเปลวไฟที่สูงแต่มีไนโตรเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยอาจมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นมากกว่าการใช้น้ำมันเตาหรือถ่านหินได้ อาจกล่าวได้ว่า หากมีองค์ประกอบไนโตรเจนในเชื้อเพลิงที่สูงแต่หากใช้อุณหภูมิเปลวไฟที่ต่ำกว่าก็อาจให้ผลการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่น้อยกว่าได้

2.3.2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide : SO_2)

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาขึ้นกับส่วนประกอบและปริมาณซัลเฟอร์ในวัตถุดิบและมาจากจำนวนองค์ประกอบของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์จะพบว่ามีอยู่ทั้งในวัตถุดิบและในเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน และยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของกระบวนการผลิตและแหล่งของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตาม ความเป็นด่าง (alkaline) ตามธรรมชาติของปูนซีเมนต์อาจทำให้เกิดการดูดซึมโดยตรงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไปในผลิตผลของปูนซีเมนต์ได้ ทำให้ปริมาณการปล่อยออกมาของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปล่องอากาศเสียมีแนวโน้มลดน้อยลงด้วยวิธีนี้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตและองค์ประกอบของซัลเฟอร์ในวัตถุดิบ ซึ่งอาจมีการดูดซึมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ถึงประมาณมากกว่า 70 ไปถึง 95 %

2.3.3 การควบคุมมลพิษทางอากาศจากปล่องระบายอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ที่ปล่องระบายอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ส่วนใหญ่มีการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นชนิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) และแบบถุงกรองฝุ่น (Fabric filter) โดย

อุปกรณ์แต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพมากกว่า 95.0 – 99.8 % นอกจากนี้ ยังได้มีการดำเนินการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นที่แหล่งกำเนิดอื่นๆ ของโรงงาน เช่น การติดตั้งเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองฝุ่น และเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต ในบริเวณที่ขนถ่ายวัตถุดิบ และตรงจุดถ่ายเทระหว่างสายพานที่อาจเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายได้ โดยสามารถสรุปอุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่โรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้ติดตั้งไว้ในส่วนต่างๆ ของหน่วยการผลิตตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงจำนวนและบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์กำจัดมลพิษ [5]

หน่วยการผลิต	เครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองฝุ่น		เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต	
	จำนวน(ชุด)	ประสิทธิภาพ	จำนวน(ชุด)	ประสิทธิภาพ
1. Limestone transport to pile	2-4	98.0	-	-
2. Shale transport to pile	2	98.0	-	-
3. Limestone transport to bin	5	98.0	-	-
4. Shale transport to bin	3-5	98.0	-	-
5. Raw materials grinding plant	6-14	98.0	-	-
6. Kiln feed plant	2-3	98.0	-	-
7. Kiln Plant	2-3	98.0	1	99.8
8. Clinker cooler	4-6	98.0	1	99.8
9. Clinker transport to bin	3-6	98.0	-	-
10. Cement transport to bin	23-24	98.0	1-3	99.8
11. Packing plant	10-18	98.0	-	-
12. Lignite/Cool transport to pile	2	98.0	-	-
13. Lignite/Cool transport to bin	3	98.0	-	-
14. Lignite/Cool grinding plant	6	98.0	3	99.8

2.4 รายละเอียดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา [6]

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการประเมินคุณภาพอากาศในบรรยากาศนั้น เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่มีต่อผู้รับมลพิษ ซึ่งการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด คือ การตรวจวัดมลพิษทางอากาศโดยตรง แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดมากในทางปฏิบัติและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น สามารถประเมินค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง หรือ 1 ปี ได้โดยทันที แต่จำเป็นต้องมีข้อมูลของแหล่งกำเนิด และสภาพอุตุนิยมวิทยาอย่างถูกต้องมากที่สุด เพราะผลที่ได้

ออกมาจะมีความถูกต้องไม่มากไปกว่าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปเท่านั้น ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำในการประเมินได้ไม่เกิน ± 50 เปอร์เซ็นต์ ของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นจริง

โดยปกติแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้พัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gaussian ที่พัฒนาโดย Sutton และ Pasquill ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีสูตรชัดเจนและมีข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับการแพร่กระจายตัวอยู่ด้วยทำให้ใช้งานง่าย แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้อยู่ เช่น

- กำหนดให้ความเร็วลมและทิศทางลมคงที่
- ใช้ได้ในช่วงระยะทาง 100 – 2,000 เมตรเท่านั้น จากแหล่งกำเนิด
- เมื่อมลพิษทางอากาศออกจากแหล่งกำเนิด ต้องลอยถึงจุดสมดุลแล้วพัดไปตามทิศทางลมโดยรักษาความสูงที่จุดสมดุลคงที่ตลอดเวลา
- ช่วงเวลาที่ใช้แบบจำลองต้องมากกว่า 10 นาทีขึ้นไป
- มลพิษต้องไม่เปลี่ยนสภาพ หรือตกลงสู่พื้นดิน หากตกกระทบพื้นดินต้องสะท้อนกลับหมด
- แหล่งกำเนิดมลพิษและข้อมูลสภาพทางอุตุนอยมวิทยาต้องคงที่เสมอ เพราะแบบจำลองนี้เป็นแบบ Steady State ในช่วงเวลาที่คำนวณ
- การคำนวณทำได้แต่ละครั้งในทิศทางลมเพียงทิศเดียว โดยให้ทิศทางลมไปในแกน X เสมอ

ดังนั้นเห็นได้ว่าการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gaussian มาใช้งานจริงยังมีข้อจำกัดอยู่มาก จึงมีการปรับปรุงจนถึงระดับปัจจุบันให้มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้ใช้เป็นแบบจำลองในการใช้งานแบบทางราชการ (Regulatory Model) คือ "Industrial Source Complex Short term Model : ISCST3" ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.4.1 รายละเอียดการใช้แบบจำลอง ISCST3 (Industrial Source Complex Short term Model)

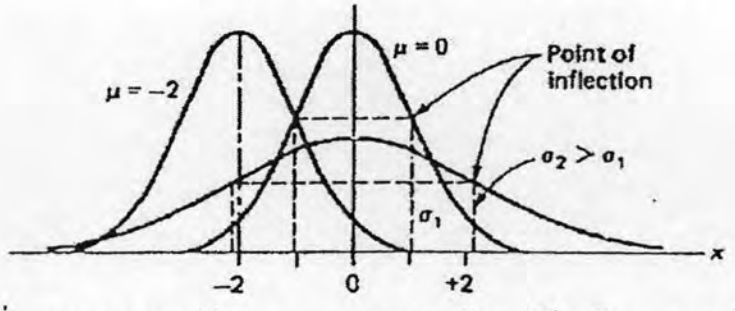
Industrial Source Complex (ISC) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ถือได้ว่าเป็นแบบจำลองมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรม แบบจำลองนี้สามารถใช้กับแหล่งกำเนิดได้หลายแห่ง และหลายแบบพร้อมกัน ใช้กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจริง โดยจะต้องมีข้อมูลข้อมูลทิศทางลม ความเร็วลม ความคงตัวของบรรยากาศ และอุณหภูมิ รายชั่วโมง ในช่วงเวลา 1 ปี โดยแบบจำลอง ISC มีการใช้งานอยู่ 2 รูปแบบ คือ short term (ISCST) และ long term (ISCLT) แบบจำลองทั้งสองใช้หลักการเช่นเดียวกัน แต่ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาแตกต่างกัน สำหรับ ISCLT ใช้ข้อมูลอุตุนิยมเฉลี่ย 1 ปี ในรูปของตารางจำแนกความ

คงตัวของอากาศ แต่สำหรับ ISCST จะใช้ข้อมูลรายชั่วโมง ซึ่งแบบจำลองทั้งสองสามารถดาวน์โหลดได้ที่ของ "Air Pollution Model Clearing House" หรือที่จากเว็บไซด์ขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา คือ http://www.epa.gov/scram001 โดยมีทั้งเป็นแบบ Fortran Code และแบบที่สามารถนำมาใช้งานได้เลย

ลักษณะโดยทั่วไปของแบบจำลอง ISCST3 เป็น steady - state Gaussian plume model ที่สามารถใช้คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษในลักษณะระยะสั้น (Short-term) และระยะยาว (Long-term) จากแหล่งกำเนิดที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม คุณลักษณะต่างๆ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการแพร่กระจายสารมลพิษในอากาศ ISC แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้มีการสมมติฐานหลายๆ อย่าง เพื่อให้ได้ผลในการแก้สมการ หรือทำให้สมการอยู่ในรูปที่ใช้งานได้ Gaussian distribution นี้ก็เช่นกัน เพื่อที่ให้เข้าใจถึงลักษณะโดยทั่วไปของการใช้การกระจายแบบนี้สำหรับการศึกษามลพิษทางอากาศจึงได้ทบทวนลักษณะพื้นฐานของ Gaussian หรือ normal distribution x จะมีการกระจายแบบ normal ถ้าฟังก์ชันของความถี่ f(x) จะเป็นไปตามสมการ (2.3)

$$f(x) = \frac{1\sigma}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \qquad (2.3)$$

เมื่อ μ เป็นค่าจริง และ x เป็นค่าจริงมากกว่า 0 แสดงให้เห็นว่าจะเป็นตำแหน่งสูงสุดของ f(x) โดย f(x) คือความสูงใดๆ เหนือแกนระดับ ลักษณะจะเป็น curve ที่ symmetry โดย μ จะอยู่ตรงกลาง ถ้า $\mu = 0$ curve จะ symmetry อยู่บนแกน x ที่ $x = 0$ ดังนั้น μ จะเป็นค่าที่ทำให้ตำแหน่งต่างๆ บน curve ย้ายไปจากจุดที่ $x = 0$ สำหรับสมการข้างบนนั้น ได้ถูกทำให้ง่ายเข้าโดยเมื่ออินทิเกรตพื้นที่ใต้ curve จะได้ = 1 อิทธิพลของ σ, standard deviation ยังเป็นค่าที่ใช้บอกระยะห่างจากเส้นกึ่งกลางกราฟกับจุดโค้งกลับของกราฟดังแสดงตามรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงกราฟค่า standard deviation กับจุดโค้งกลับของกราฟ [7]

เมื่อ σ เพิ่ม ค่าสูงสุดของ f(x) จะลดลง แต่ f(x) จะมีค่าที่ยังต้องคำนึงถึงที่ระดับพอๆกันเป็นระยะทางกว้างบนแนวแกน โดยปกติ 68% ของพื้นที่ใต้ curve จะอยู่ภายในเขต +σ และ -σ และ 95% อยู่ภายในเส้น $\pm 2\sigma$ นั่นคือการเพิ่มการกระจายของสมการนี้ก็เมื่อเพิ่ม σ ซึ่งในประเด็นนี้สำคัญอย่างยิ่งในความเข้าใจเรื่องการแพร่ของสารมลพิษในบรรยากาศ

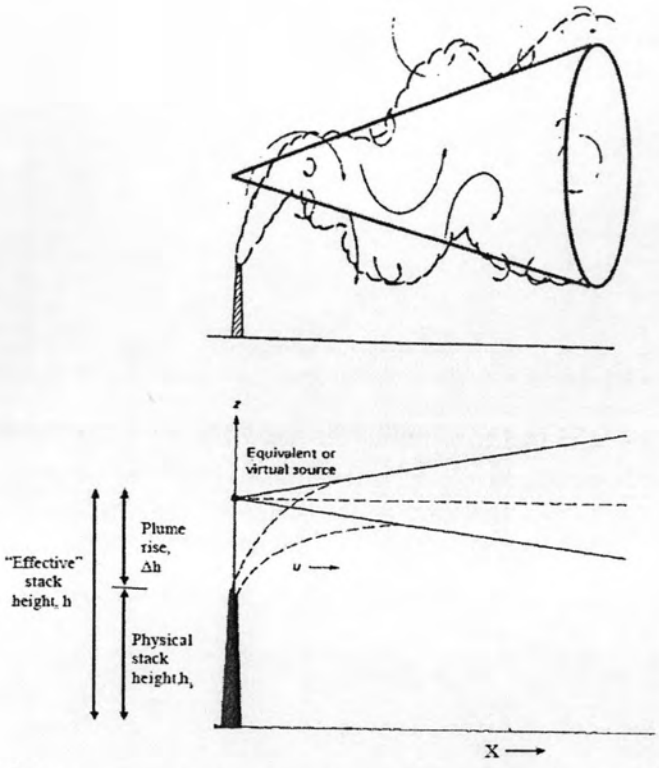
อิทธิพลของ μ และ σ ว่ามีผลต่อลักษณะของ curve อย่างไร เพราะได้พัฒนาสมการนี้ขึ้นมาตามสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่ต่างกัน โดยเขียนอยู่ในรูปของ "double Gaussian distribution" ซึ่งหมายถึง เขียนอยู่ในรูปการกระจายใน 2 ทิศทาง คือ y กับ z ซึ่งจะเป็นผลคูณของการกระจายของแต่ละทิศทางดังสมการ (2.4)

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\exp\left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma_y{}^2}\right]+\left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma_z{}^2}\right] \qquad (2.4)$$

เมื่อ σ_y, σ_z และ u_y, u_z อยู่ในความหมายเดียวกันกับการกระจายในทิศทางเดียว โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกระจายตัวของสารมลพิษทางอากาศจะต้องจำลองลักษณะของพลูมซึ่งออกจากพื้นที่หรือปล่อง ถ้าออกจากปล่องอาจจะแสดงได้ในรูปที่ 2.16 ทั้งๆที่ความสูงของปล่องมีเพียง h เนื่องจากแรงลอยตัวของฟลูมและโมเมนตัมของฟลูมซึ่งออกจากปล่องด้วยความเร็ว V_s ผลก็คือ จะได้ equivalent stack height H = ΔH ซึ่งจุดกำเนิด (point source) คล้ายกับว่าเลื่อนกลับไปทางด้านหลังที่ตำแหน่ง x = 0 การแก้สมการเพื่อให้ได้แบบจำลองนี้ซับซ้อนมาก โดยเริ่มจากสมการการฟุ้งกระจายของมวลสารในแนว y, z ขณะที่เดินทางในแนว x โดยความเร็วลม u โดยถือว่าระบบเป็น steady state การแพร่ในแกน x มีผลน้อยเมื่อเทียบกับอิทธิพลของลม มีความเร็วลมคงที่ในทุกตำแหน่งและ mass diffusivity D_x, D_y, D_z มีค่าคงที่และมักจะไม่คำนึงถึงตำแหน่งปล่องที่จะเปลี่ยนไปในแนวแกน x คือ จะให้ x = 0 ที่ความสูง H ซึ่งโดย Boundary ดังกล่าวจะได้ตามสมการ (2.5)

$$C = Kx^{-1}\exp\left[-\left(\frac{y^2}{D_y}+\frac{z^2}{D_z}\right)\frac{u}{4x}\right] \qquad (2.5)$$

ซึ่งค่า K จะต้องได้มาจาก boundary ต่างๆ ซึ่งแล้วแต่สภาพทางอุตุนิยมวิทยาและสภาพของปล่อง แล้วแต่กรณี ดังนี้



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะพลูมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [7]

1. สำหรับแหล่งกำเนิดระดับพื้นดิน (Point source at ground level)

สำหรับแหล่งกำเนิดระดับพื้นดินได้ค่า K ตามสมการ (2.6)

$$K = \frac{Q}{2\pi\left(D_y D_z\right)^{1/2}} \tag{2.6}$$

Q คือ อัตราการปล่อยสารมลพิษจากปล่อง มวลสาร/หน่วยเวลา เรียกว่า "strength of emission source" จะได้ตามสมการ (2.7)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi x\left(D_y D_z\right)^{1/2}} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z}\right)\frac{u}{4x}\right] \tag{2.7}$$

ซึ่งสมการที่ได้คล้ายกับสมการ โดยความเข้มข้นสูงสุดควรจะอยู่บน Center line ที่ระดับพื้น ซึ่งทำให้ u_y และ u_z เป็น 0 สำหรับสถานการณ์จริง จึงทำให้สมการ (2.7) เหลือเป็นสมการ (2.8) และ (2.9)

I23561005

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_z^{\,2}} + \frac{-z^2}{2\sigma_y^{\,2}}\right) \tag{2.8}$$

ถ้า $\sigma_y^{\,2} = \frac{2D_y x}{u}$ และ $\sigma_z^{\,2} = \frac{2D_z x}{u}$ จะได้ตามสมการ (2.9)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^{\,2}} + \frac{z^2}{\sigma_z^{\,2}}\right)\right] \tag{2.9}$$

หน่วยของความเข้มข้นที่ได้ขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้ใน Q, u, σ_y และ σ_z โดยปกติ σ_y และ σ_z มีหน่วยเป็นเมตร u เป็น เมตร/วินาที ถ้า C ต้องการในรูปไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงต้องใช้หน่วยของ Q เป็นไมโครกรัมต่อวินาที

เมื่อให้ y กับ z เป็น 0 จะได้ตามสมการ (2.10)

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z} \tag{2.10}$$

ซึ่งสมการนี้จะใช้กับการหาความเข้มข้นระดับพื้นดิน Center line จาก point source ที่ระดับผิวพื้น

2. สำหรับแหล่งกำเนิดอยู่สูงกว่าระดับพื้นดิน (Point source at elevation above ground with reflection)

การที่มีความสูงของปล่อง H เพิ่มขึ้น ทำให้สมการเปลี่ยนไป คือ z จะกลายเป็น z – H แต่การเปลี่ยนนี้ไม่สามารถแทนค่า z – H เข้าไปได้โดยตรง เนื่องจาก K จะต้องหามาจากอีกวิธีหนึ่ง โดย K จะเป็นครึ่งหนึ่งของที่พบในสมการและทำให้ตัวคูณหน้า exp จะเหลือครึ่งหนึ่งของครั้งก่อน ผลก็คือได้สมการ (2.11) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่แหล่งกำเนิดจะมีระดับความสูง แต่ไม่มีการสะท้อน (without reflection)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^{\,2}} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^{\,2}}\right)\right] \tag{2.11}$$

การที่กำหนดว่า Without reflection สำคัญมาก เนื่องจากสมการข้างบนจะใช้ได้จนกระทั่งตำแหน่งที่ z = 0 แต่หลังจากที่ z = 0 ถ้ามีการ "reflection" ก็จะทำให้สารมลพิษกลับเข้าสู่บรรยากาศถ้าสมมติว่าผิวโลกไม่สามารถรับมลพิษได้เลย

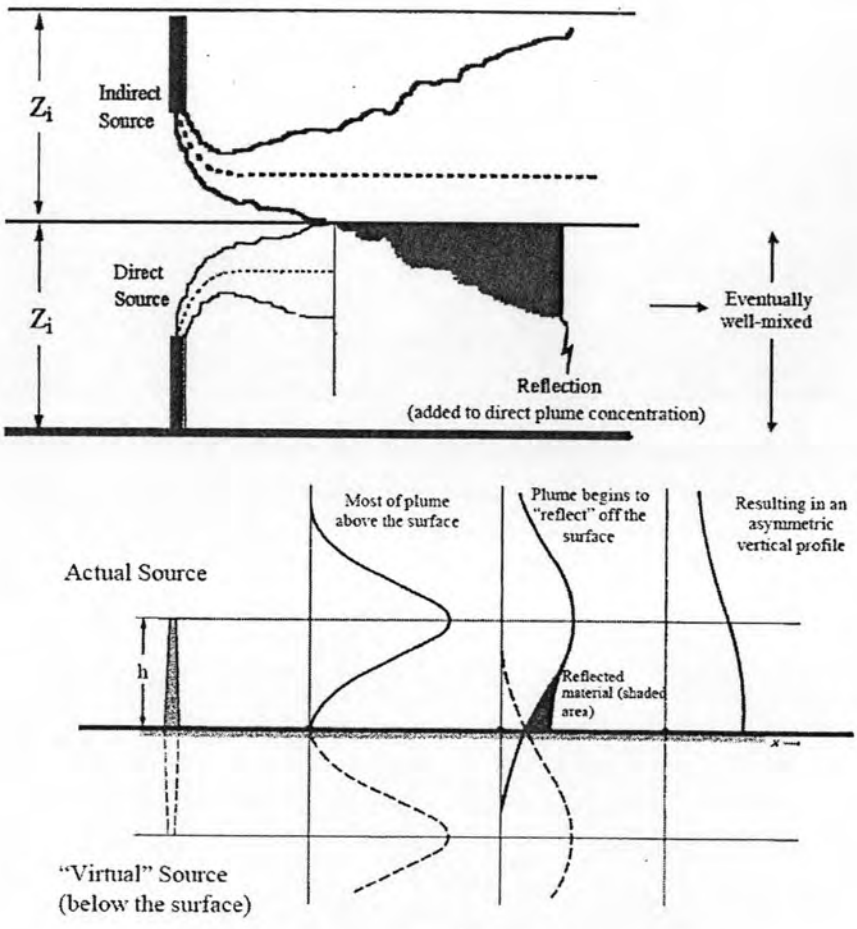
การสมมติดังกล่าวสมมติว่าผิวโลกทำหน้าที่คล้ายกระจกเงาสะท้อนพลูมกลับขึ้นสู่บรรยากาศซึ่งจะเห็นว่าที่ตำแหน่ง x ใดๆ หลังจากที่พลูมตกลงถึงพื้น จะเห็นว่าฟลูมเป็นผลบวกของผลจากแหล่งกำเนิดเดิมกับ "mirror image of source" คือ แหล่งกำเนิดที่ -H ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะได้จากการบวกกันอย่างเลขคณิตระหว่าง 2 Gaussian – type curves ซึ่งการผสมกันนี้ จะได้ตามสมการ (12)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}\left[\exp-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^{\,2}}\right)\right]\exp\left\{\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right]+\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right]\right\} \qquad (2.12)$$

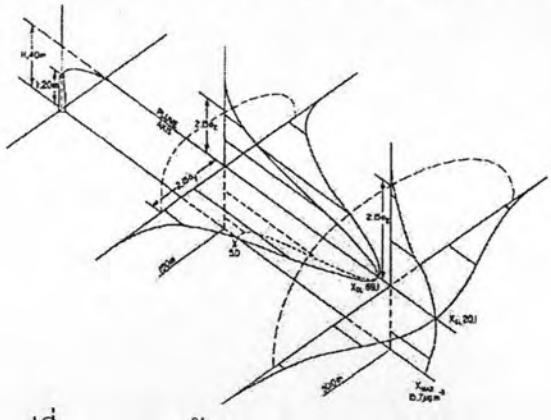
ดังแสดงก่อนตำแหน่งที่พลูมตกลงถึงพื้นใต้ลมจะไม่มีการรวมกันระหว่าง 2 curve แต่เมื่อหลังที่พลูมตกลงถึงพื้นการรวมกันจะมากขึ้นเรื่อยๆ โดยการบวกกัน โดยรูปแบบของ normal distribution จะผิดไปตามรูปที่ 2.17 และมีผลทำให้ความเข้มข้นที่พื้นสูงขึ้นมากกว่าการไม่มี reflection มีสมการที่ใช้เฉพาะการหาความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน ซึ่งในกรณีนี้คือ z = 0 จึงได้ตามสมการ (2.13)

$$C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right)\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^{\,2}}\right) \qquad (2.13)$$

และถ้ายิ่งต้องการทราบความเข้มข้นที่ระดับพื้นที่ Center line term สุดท้ายจะกลายเป็นค่า 1 โดยปกติความเข้มข้นในแนวตั้งจะเป็น normal distribution โดยเริ่มตั้งแต่ความสูง H (effective stack height) และความเข้มข้นในแนว center line ใต้ลมจะมีค่าสูงสุดที่ค่าหนึ่งของ x และลดลงอีกจนใกล้ 0 ส่วนการกระจายในแนว y จะคล้ายกับในแนว z แต่รูปร่างจะต่างกันไป เพราะว่า σ_y และ σ_z ที่ตำแหน่ง x ต่างๆ จะแตกต่างกันมาก ตามรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะพลูมที่ไม่มี reflection [7]



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะ normal distribution [7]

2.4.2 คุณลักษณะต่างๆ ของแบบจำลอง ISCST 3

- ระบบของตำแหน่งผู้รับมลพิษเป็นไปได้ทั้งระบบ Polar และระบบ Cartesian หรือ UTM Coordinate

- สมการในการคำนวณหาความสูงของพลูมที่มาจากแรงลอยตัวและโมเมนตัมของกระแสก๊าซและที่ออกจากแหล่งกำเนิดมีความสัมพันธ์กับระยะทางในทิศใต้ลม

- มีเทคนิคในการศึกษาผลของแอโรไดนามิคต่อการแพร่กระจายของก๊าซที่ออกจากแหล่งกำเนิด ผลการไหลของอากาศหลังสิ่งกีดขวาง (Building wake)

- มีการแยกลักษณะทางกายภาพของแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง

- สามารถใช้กับแหล่งกำเนิดของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นได้ทั้งแบบจุด (Point source) เช่น ปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรม) แหล่งกำเนิดแบบเส้น (Line source) แหล่งกำเนิดแบบปริมาตร (Volume Source) และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source)

- มีเทคนิคในการพิจารณาผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศที่ตกโดยแรงโน้มถ่วงและการตกแบบแห้ง (สัมพันธ์กับภูมิประเทศที่ราบเท่านั้น)

- สามารถคำนวณการตกสู่พื้นแบบแห้ง (Dry deposition) (สัมพันธ์กับภูมิประเทศที่ราบเท่านั้น)

- สามารถใช้กับความเร็วลมที่ตำแหน่งสูงได้

- สามารถใช้กับเทือกเขาที่มีความซับซ้อนได้ (ใช้สำหรับภูมิประเทศที่มีความสูงน้อยกว่าปล่องควันสูงที่สุด)

- อาจเลือกพิจารณาเป็นช่วงฤดูกาลได้ (ขึ้นกับอัตราการย่อยสลายของมลพิษทางอากาศ)

- สามารถใช้สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและความลึกของการผสมได้ทั้งพื้นที่ชนบทและเมือง

2.4.3 ข้อมูลที่ต้องการสำหรับ ISCST 3 Model

ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าในโปรแกรม (Input Data) ของ ISCST นั้น ประกอบด้วย 3 กลุ่มดังนี้

- ข้อมูลแหล่งกำเนิด (Source Data)
- ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data)
- ข้อมูลผู้รับสารมลพิษ (Receptor Data)

2.4.3.1. ข้อมูลแหล่งกำเนิด (Source Data)

สำหรับโปรแกรม ISCST จะใช้ข้อมูลจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดเป็นแบบจุด (point source เช่น ปล่องควันโรงงานอุตสาหกรรม) แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (area source) และแหล่งกำเนิดแบบเส้น (line source)

- แหล่งกำเนิดแบบจุด (Point source)

- สถานที่ตั้ง มีการระบุตำแหน่งที่แน่นอน (อาจจะใช้ระบบ UTM Coordinate)

- อัตราการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด (กรัม/วินาที)
- ความเร็วของก๊าซที่ปล่องออกจากปล่อง (เมตร/วินาที)
- อุณหภูมิของก๊าซที่ปล่อยออกจากปล่อง (องศาเคลวิล)
- ความสูงของปล่อง (เมตร)
- เส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง (เมตร)
- ระดับความสูงเหนือพื้นที่ (เหนือระดับน้ำทะเล) ในตำแหน่งที่ตั้งของปล่อง (เมตร)

• แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source)

- สถานที่ตั้ง มีการระบุตำแหน่งที่แน่นอน อาจจะใช้ระบบ UTM Coordinate
- อัตราการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่เป็นแบบพื้นที่ (กรัม/วินาที-ตารางเมตร)
- ความกว้าง (เมตร) และความยาว (เมตร) ของพื้นที่ที่เป็นแหล่งกำเนิด
- ความสูงของแหล่งกำเนิด (เมตร)
- มุม (องศา) ที่วัดอ้างอิงทิศเหนือ
- ระดับความสูงเหนือพื้นที่ (เหนือระดับน้ำทะเล) ในตำแหน่งที่ตั้งของปล่อง (เมตร)

• แหล่งกำเนิดแบบเส้น (Line source)

- อัตราการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด (กรัม/วินาที)
- ระดับความสูงเหนือพื้นที่ (เหนือระดับน้ำทะเล) ในตำแหน่งที่ตั้งของปล่อง (เมตร)
- ความสูงของแหล่งกำเนิด (เมตร) เนื่องจากอัตราการปล่อยของมลพิษในแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้องยึดถืออัตราการปล่อยที่คงที่ดังต่อไปนี้
- โดยชั่วโมงของวัน (By hour of the day)
- โดยฤดูหรือเดือน (By season or month)
- โดยชั่วโมงของวันและฤดู (By hour of the day and season)
- โดยค่าความเสถียรและความเร็วลม (By stability and wind speed)

2.4.3.2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ((Meteorology)

สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยานั้น ISCST จะยอมรับข้อมูลจากแถบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาขั้นต้น (Preprocessed meteorological data tape) ซึ่งผลิตโดย RAMMET Preprocessor ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลอุตุนิยมวิทยาได้ 2 กลุ่มดังนี้

- ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ระดับพื้น (Surface data)

ข้อมูลที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงเช่นความเร็วลม (เมตร/วินาที) และทิศทางลม (องศา) อุณหภูมิ (องศาเคลวิล)

- ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ระดับสูง (Upper air data)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ระดับสูง คือ ค่าชั้นความสูงของการผสม (Mixing height) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ลดตามความสูง แบ่งเป็นค่าในเวลากลางวัน และกลางคืน นอกจากนี้ ข้อมูลที่ต้องใช้ในโปรแกรม PCRAMMET จะต้องทราบชื่อ รหัส ของสถานีตรวจวัดข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งวัน เดือน ปี และชั่วโมงที่แสดงผลอุตุนิยมวิทยา โปรแกรม PCRAMMET จะนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาค่าความเสถียรของชั้นบรรยากาศต่อไป

2.4.3.3 ข้อมูลผู้รับสารมลพิษ (Receptor Data)

โปรแกรม ISCST ใช้ทั้งพิกัดโปลาร์ (r, θ) หรือพิกัดคาร์ติเซียน (x, y) สำหรับพิกัดแบบโปลาร์นั้น ประกอบด้วย 36 เรเดียล (1 เรเดียล = 10°C) โดยจุดกึ่งกลางของโบลาร์จะอยู่ที่จุด x = 0 และ y = 0 สำหรับตัวรับพิกัดคาร์ติเซียนนั้น แกน x แทนทิศตะวันออก-ตะวันตก แกน y แทนทิศเหนือ-ใต้ ถ้าลักษณะของภูมิประเทศหรือที่ตั้งของผู้รับสารมลพิษมีผลต่อการคำนวณจะต้องบอกตำแหน่งของผู้รับสารมลพิษในโปรแกรมของ ISCST ด้วย สำหรับข้อมูลผู้รับสารมลพิษนั้นประกอบด้วย

- ตำแหน่งผู้รับสารมลพิษ
- ความสูงเหนือพื้นดินของผู้รับสารมลพิษ (เมตร)
- ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (เมตร)

2.4.4 ผลที่ได้จากแบบจำลอง ISCST 3

การใช้แบบจำลอง ISCST จะให้ผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่จุดรับต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รายวัน รายปี ค่าสูงสุดรายชั่วโมง รายวัน รายปี หรือค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่สนใจ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้เพื่อให้เหมาะสมกับการศึกษา ผลที่ได้จะรายงานอยู่ในรูปที่สัมพันธ์กับ Coordinate x, y ซึ่งจะสามารถนำไปเขียนเป็นเส้นความเข้มข้นที่เท่ากัน (Contour) ได้

2.4.5 ประโยชน์จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISCST 3

2.4.5.1 การใช้ประกอบการพิจารณาให้อนุญาตโรงงานประกอบการ

ใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เสนอให้คณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณารายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมพิจารณาให้ความเห็นชอบ โดยโรงงานงานดังกล่าวต้องมีผลการประเมินผลกระทบด้านคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หากพบว่า มีแนวโน้มจะทำให้เกิดผลกระทบเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ให้กำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม

2.4.5.2 การใช้แบบจำลองสำหรับควบคุมการประกอบการของโรงงาน

ในการใช้เพื่อแก้ไขปัญหาร้องเรียน หรือต้องการตรวจสอบบริเวณพื้นที่ที่ได้รับความเดือดร้อนจากการประกอบการของโรงงาน เช่น กรณีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศไม่ทำงาน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีแบบนี้จะพบว่า ข้อมูลที่ได้รับอาจไม่เพียงพอจึงยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้มากนัก

2.4.5.3 ใช้ในการวางแผนระยะยาวสำหรับพื้นที่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ในปัจจุบันพื้นที่อุตสาหกรรมบางแห่ง เช่น บริเวณนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และพื้นที่บางส่วนของจังหวัดสมุทรปราการมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก และบางแห่งมีปัญหาคุณภาพอากาศเกิดขึ้นกับชุมชน และบริเวณใกล้เคียงทำให้การพิจารณาให้ตั้งโรงงานใหม่ขึ้นมีปัญหา เนื่องจากอาจทำให้คุณภาพอากาศบริเวณนั้นเลวร้ายลงไปอีก จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศสำหรับพื้นที่อุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย

- การกำหนดมาตรการระยะสั้นและระยะยาว สำหรับควบคุมมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดที่มีอยู่แล้วในพื้นที่
- การกำหนดมาตรการสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่จะเข้ามาใหม่ในพื้นที่ดังกล่าว

แนวทางเหล่านี้หากได้นำมาจัดทำขึ้นจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ประกอบการที่จะเข้ามาตั้งโรงงานในพื้นที่ เพราะจะทราบมาตรการและข้อกำหนดต่างๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายได้ล่วงหน้า

2.5 ลักษณะของข้อมูลนำเข้าทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับ ISCST3

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ได้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต้องมีองค์ประกอบดังนี้

- วัน/เดือน/ปี และชั่วโมง

- ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
- ทิศทางลม (องศาในรูปของเวกเตอร์)
- อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
- ความเสถียรของบรรยากาศในรูปแบบของ Pasquill Classification
- ปริมาณเมฆ (ส่วนของสิบส่วน)
- ความสูงของชั้นบรรยากาศ Mixing Height

เนื่องจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เก็บไว้ยังไม่อยู่ในรูปแบบที่เป็นแบบมาตรฐานสำหรับนำเข้าแบบจำลอง และไม่มีการจัดความเป็นเสถียรของบรรยากาศ จึงต้องใช้วิธีของ Pasquill Classification เพื่อวัดความเป็นเสถียรของบรรยากาศซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆในท้องฟ้า และความเร็วลม และช่วงเวลาของวัน (กลางวันและกลางคืน) ดังแสดงตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความเสถียรของบรรยากาศตามแบบของ Pasquill Classification [8]

ความเร็วลมเฉลี่ย(เมตร/วินาที) ที่ความสูง 10 เมตร	ช่วงเวลา				
	กลางวัน (มีแสงอาทิตย์)			กลางคืน (ปริมาณเมฆในท้องฟ้า)	
	มาก	ปานกลาง	น้อย	มากกว่าครึ่ง	น้อยกว่าครึ่ง
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	D	D	D	D	D

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Devkota, Koirala และ Gautum [9] ได้จัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศ และทางน้ำ จากนิคมอุตสาหกรรมของเนปาล โดยพิจารณาภาคอุตสาหกรรมในเมือง Kathmandu และภาคอุตสาหกรรมในเนปาล โดยสารมลพิษในการศึกษาครั้งนี้คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์(NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์(SO_2) และ ฝุ่นละออง (PM) แต่ได้รายงานผลการศึกษาของสารมลพิษ 2 สารคือ PM และ SO_2 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการประเมินปริมาณสารมลพิษ 3 วิธี คือ Source Test , Material balance และการใช้ค่า Emission factor โดยอ้างอิงจาก US.EPA และ WHO พบว่า ภาคอุตสาหกรรมก่อให้เกิดปริมาณสารมลพิษ PM 97% ของ PM ทั้งหมด และปริมาณ SO_2 39% ของ SO_2 ทั้งหมด

Gargava และ Aggarwal [10] ได้จัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษทางอากาศในเมือง Coehin ประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมหนาแน่น โดยแบ่งการศึกษาของมลพิษทางอากาศเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่เคลื่อนที่หรือแบบจุด(stationary source or point source) แหล่งกำเนิดมลพิษที่เกิดจากยานยนต์ (Line source) และแหล่งกำเนิดสารมลพิษบนพื้นที่บริเวณกว้าง (Area source) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ค่า Emission factor ในการประเมินปริมาณสารมลพิษทางอากาศ พบว่า ภาคอุตสาหกรรมก่อให้เกิด PM ร้อยละ 85 ของ PM ทั้งหมด และ SO_x ร้อยละ 95 ของ SO_x ทั้งหมด ในขณะที่การคมนาคมขนส่ง ก่อให้เกิดสารมลพิษที่สำคัญคือ HC NO_x และ SO_x ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 95 ร้อยละ 77 และร้อยละ 70 ของทั้งหมด ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่า กิจกรรมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงจากบ้านเรือน ก่อให้เกิดสารมลพิษในปริมาณที่น้อยมาก

Patum [11] ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษในอากาศ ISC3 สำหรับสภาพสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งการศึกษาประกอบไปด้วยการประเมินความไวของแบบจำลอง(Model Sensitivity Evaluation) การทำนายผลระยะสั้น (Short-term Run) ภายใต้เงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาที่เป็นตัวแทนและเงื่อนไขวิกฤต การเปรียบเทียบข้อมูลความสูงผสมของ 5 สถานีตรวจวัดอากาศชั้นสูง และการทำนายระยะยาว(Long - term) ในการประเมินความไวของแบบจำลองนั้น ใช้การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรคือ ความเร็วลมผิวพื้น ปริมาณเมฆ อุณหภูมิ ละติจูด ความขรุขระของพื้นดินและการเปลี่ยนแปลงเวลาของวัน สำหรับการทำนายผลระยะสั้นนั้นวิเคราะห์ที่ 7 สถานีตรวจวัดคือ เชียงราย สกลนคร นครสวรรค์ กรุงเทพมหานคร พัทยา ภูเก็ตและสงขลา ส่วนการทำนายผลระยะยาวดำเนินการประเมินที่แหลมฉบัง หลักจากการทำนายด้วยแบบจำลอง ISC แล้วทำการศึกษาการเปรียบเทียบผลการทำนายจากแบบจำลอง ADMS ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษทั้งสองแบบจำลองไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมพื้นดินมากกว่าตัวแปรอื่น และแบบจำลองทั้งสองทำนายสภาพบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบเสถียร(49.9% และ 51.3% ตามลำดับ) แบบจำลอง ISC3 ทำนายความสูงผสมใกล้เคียงกับข้อมูลอากาศชั้นสูงมากกว่าแบบจำลอง ADMS และแบบจำลอง ISC3 ให้ความเข้มข้นของมลพิษในระดับพื้นดินสูงกว่า ส่วนปริมาณการตกตะกอนของอนุภาคต่ำกว่าแบบจำลอง ADMS แบบจำลอง ISC3 ทำนายความเข้มข้นในระดับพื้นดินได้สูงในสภาพความเร็วลมต่ำและที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในเวลากลางคืนและให้ปริมาณการตกสะสมแบบแห้งสูงเมื่อความเร็วลมสูง(มากกว่า 20 เมตร/วินาที) และความขรุขระของพื้นดิน

Pongpan [12] ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองคณิตศาสตร์ ISC3 ทำนายการปล่อยมลสารทางอากาศจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลการจัดทำบัญชีการปล่อยมลสารทางอากาศจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

(Source Testing) ระหว่างปี 2541-2542 จำนวน 44 โรงงาน พบว่า ปริมาณการปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีการปลดปล่อยปริมาณฝุ่นละออง(PM) จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมโลหะ คิดเป็นสัดส่วน 64.1% 28.0% และ 7.9% ตามลำดับ สำหรับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2) จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมโลหะ คิดเป็นสัดส่วน 60.6% 15.2% และ 24.2% ตามลำดับ ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะและอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า คิดเป็นสัดส่วน 43.6% 34.3% 21.0% และ 1.2% ตามลำดับ สำหรับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISCST3 เพื่อประเมินความเข้มข้นของมลสารทางอากาศ พบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดมลสารทางอากาศพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุด 24 ชั่วโมงของปริมาณฝุ่นแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่า 124 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 385 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยสูงสุด 1 ชั่วโมง ของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่า 744 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองโดยใช้วิธีทางสถิติ พบว่า ที่ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่า fractional bias และ NMSE มีค่า -0.1 และ 0.0 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนค่า Factor of Two มีค่า 0.5 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ส่วนผลการทดสอบทางสถิติของออกไซด์ของไนโตรเจน พบว่า ทั้งค่า Fractional Bias ค่า NMSE และค่า Factor of Two มีค่า 1.2 3.0 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

Sivacoumar และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาและประเมินระดับของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของอุตสาหกรรมโดยใช้แบบจำลอง ISC3 ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณการกระจายของสารมลพิษ ของออกไซด์ของไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม จากยานพาหนะและจากชุมชน มีค่า 53% 40% และ 7% ตามลำดับ และเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติโดย index of agreement method เปรียบเทียบผลจากการทำนายความเข้มข้นของออกไซด์ของไนโตรเจนระหว่างการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISC3 กับการตรวจวัดจริงพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ระดับผลการประเมินที่มีความแม่นยำประมาณ 68%

Kumar และคณะ [14] ได้ศึกษาเปรียบเทียบและหาค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISC3 โดยทำนายผลความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระยะสั้น (ISC3) และระยะยาว(ISCST3) โดยใช้ข้อมูลการจัดทำบัญชีการปล่อยสารมลพิษปี 1990 ของเมือง Lucas รัฐ Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองทั้งสองผ่านเกณฑ์การประเมินค่าทางสถิติโดยวิธี fractional bias มีค่าเท่ากับ 0.26-0.55 และวิธี NMSE ให้ค่า 0.12-0.44 แบบจำลองทั้งสองสามารถทำนายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำกว่าการตรวจวัดจริงโดยค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ISCST3 มีค่าใกล้เคียงมากกว่า จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า

การทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษในระยะสั้นจะให้ผลดีกว่าการทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษในระยะยาว

กรมควบคุมมลพิษ [15] ได้ทำการศึกษาการจัดทำระบบบัญชีการปลดปล่อยสารมลพิษในพื้นที่ 10 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ชลบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ลำพูน นครราชสีมา ราชบุรี ระยอง สระบุรี สงขลา และอีกเขตพื้นที่ควบคุมมลพิษ คือ จังหวัดภูเก็ต พัทยา และหาดใหญ่ โดยบัญชีการปลดปล่อยสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมที่ได้จัดทำจะประกอบด้วยรายละเอียดของโรงงาน เตาเผา โรงผลิตไฟฟ้า โรงแยกก๊าซธรรมชาติและโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ทำการสำรวจจะใช้เชื้อเพลิงน้อย ยกเว้นโรงงานปูนซิเมนต์และโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยมลพิษหลักที่เป็นปัญหา คือ ฝุ่นละอองและกลิ่นเหม็น ส่วนมลพิษที่เป็นมาตรฐาน เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไม่มีปัญหา แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาดังกล่าวก็ยังไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลกลิ่นเหม็นดังกล่าว ปัญหาจากการศึกษา พบว่า ปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ ฝุ่นละอองแขวนลอย (TSP) คิดเป็นร้อยละ 68 ของปริมาณสารมลพิษทั้งหมด โดยอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองแขวนลอยมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ เครื่องจักรและอะไหล่ (ร้อยละ 40 ของปริมาณฝุ่นละอองแขวนลอยทั้งหมด) อุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ เครื่องจักรและอะไหล่ (ร้อยละ 42 ของปริมาณก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ทั้งหมด) และอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมแก้วกระจก และเครื่องปั้นดินเผา (ร้อยละ 64 ของปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมด)