

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

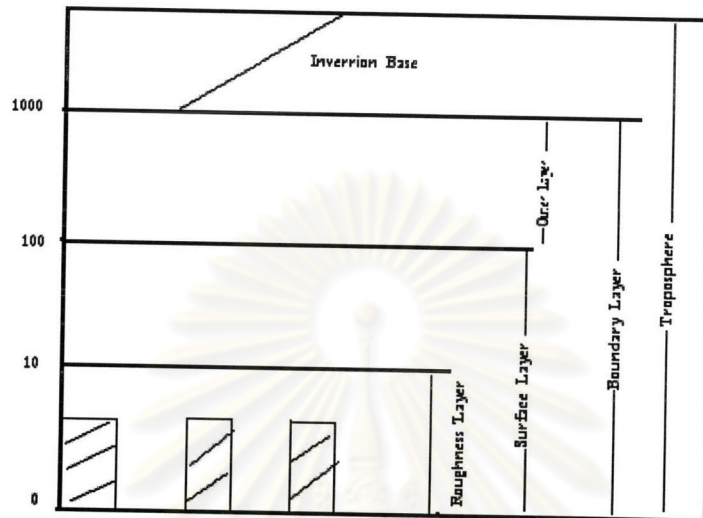
มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) เป็นปัญหาสำคัญที่ยังเกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน องค์ประกอบในการเกิดมลพิษทางอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญได้แก่ 1. แหล่งกำเนิดสารมลพิษ (Source) เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากการจราจร 2. ผู้รับผลกระทบ (Receptor) เช่น ตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบ หรือลักษณะและความแตกต่างของผู้ที่ได้รับผลกระทบ และส่วนสุดท้ายที่สำคัญได้แก่ บรรยากาศ (Atmosphere) ซึ่งจะบอกถึงลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ (นพภาพร พานิช และ แสงสันต์ พานิช, 2544) โดยที่ลักษณะหรือรูปแบบบรรยากาศมีส่วนสำคัญในการอธิบายถึงลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษ และยังเป็นตัวกลางในการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศอีกด้วย

#### 2.2 Atmospheric Boundary Layer

ในการศึกษาสภาพอุตุนิยมวิทยาบนพื้นผิวจะเป็นการศึกษาในส่วนของชั้น Atmospheric Boundary Layer หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Planetary Boundary Layer ซึ่งอยู่ภายใต้บรรยากาศของชั้น Troposphere ภายในชั้นบรรยากาศของ Atmospheric Boundary Layer แบ่งออกได้อีกเป็นหลายชั้นบรรยากาศ ชั้นบรรยากาศที่อยู่ต่ำสุดได้แก่ชั้นบรรยากาศของ Roughness Layer มีความสูงจากพื้นดินจนถึงประมาณ 10 เมตร ลักษณะการเคลื่อนตัวของอากาศในระดับชั้นนี้มีอิทธิพลมาจากสิ่งกีดขวางต่างๆที่อยู่บนพื้นดิน เช่น อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางที่มีอยู่ระดับชั้นนี้มีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อการเคลื่อนที่ของลมในแนวนอน (Advection) ชั้นบรรยากาศถัดมาเรียกว่าชั้นของ Surface Layer ชั้นบรรยากาศชั้นนี้มีความสูงจากพื้นดินจนถึงประมาณ 100 เมตร (Arya, 2001) โดยบรรยากาศในชั้นนี้นอกจากมีอิทธิพลของสิ่งกีดขวางต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลมแล้ว อิทธิพลจากเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง (Convection) ก็มีส่วนสำคัญด้วย โดยการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งจะมีอิทธิพลมากจากความร้อนที่เกิดซึ่งส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ โดยลักษณะความแตกต่างของพื้นที่ เช่นเป็นพื้นที่เขตป่าไม้ พื้นที่เขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีวัสดุต่างๆในพื้นที่ต่างกันส่งผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นๆ และส่งผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งที่แตกต่างกัน

เนื่องจากบรรยากาศชั้น Atmospheric Boundary Layer มีอิทธิพลจากสองส่วนดังกล่าวข้างต้น ความสูงของบรรยากาศชั้นนี้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะปัจจัยต่างๆในพื้นที่ เช่น ระดับความร้อนหรือความชื้นของพื้นผิว ความเร็วของลม ลักษณะภูมิประเทศหรือความขรุขระของพื้นผิว การเคลื่อนที่ของลมในแนวนอนและแนวตั้ง และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ความสูงหรือต่ำของชั้น

Atmospheric Boundary Layer เป็นชั้นความสูงเดียวกันกับชั้นของความสูงผสม (Mixing Height) โดยเป็นชั้นความสูงที่เมื่อมีมลพิษอากาศถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด จะเกิดการผสมและรวมตัวกันในบริเวณชั้นบรรยากาศภายในชั้นนี้ (Arya, 1999)



รูปที่ 2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศภายในชั้นของ Troposphere  
ที่มา : Arya, 2001

### 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ

ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะได้แก่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งและการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอน โดยการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งเกิดจากกระบวนการของ Adiabatic Cooling Process โดยเมื่อมวลอากาศมวลหนึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก มวลอากาศนั้นพยายามลอยตัวสูงขึ้นเนื่องจากมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความดันต่ำกว่า (สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547) เมื่อมวลอากาศลอยตัวสูงขึ้น มวลอากาศนั้นไม่มีการถ่ายเทอุณหภูมิให้กับมวลอากาศบริเวณข้างเคียง แต่อุณหภูมิของมวลอากาศนั้นลดลง เนื่องจากในการลอยตัวสูงขึ้นมวลอากาศจะใช้พลังงานในการขยายตัว เพราะเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความกดดันลดลงส่งผลให้เกิดการขยายตัวของมวลอากาศ เมื่อพลังงานถูกใช้เพื่อการขยายตัวจึงส่งผลให้อุณหภูมิของมวลอากาศลดลง การลดลงของอุณหภูมิของมวลอากาศต่อความสูงนี้เรียกว่า Adiabatic Lapse Rate โดยเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 100 เมตร อุณหภูมิลดลงประมาณ 1 องศาเซลเซียส (เกษม จันทรแก้ว, 2522)

เมื่อการเคลื่อนที่ขึ้นของมวลอากาศเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกแล้ว มวลอากาศก็จะหยุดนิ่ง เมื่อมวลอากาศเคลื่อนที่ขึ้น มวลอากาศที่อยู่บริเวณด้านล่างไหลเข้ามาแทนที่เกิดเป็นการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอนเกิดขึ้น

## 2.4 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence)

ความปั่นป่วนหมายถึงการไหลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) โดยเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของมวลอากาศในลักษณะขึ้นลง โดยความปั่นป่วนมีความสำคัญในการก่อให้เกิดการเจือจางของมลสาร (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ชีระ เกรอด, 2543) ในความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศจะเห็นได้อย่างชัดเจนของความรุนแรงในการเคลื่อนที่ของลม การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ของลมในชั้นของ Atmospheric Boundary Layer จะเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความปั่นป่วนเกิดขึ้น ในบริเวณที่ใกล้พื้นผิวความปั่นป่วนจะเห็นได้ชัดจากการสั่นไหวของกิ่งไม้และใบไม้ การเคลื่อนตัวของควันหรือฝุ่นและระลอกคลื่นที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำ (Arya, 1999) การปั่นป่วนของบรรยากาศส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ โดยพบว่าเมื่อมีการปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดในบริเวณใดบริเวณหนึ่งจะมีค่าความเข้มข้นสูง แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของสารมลพิษในบริเวณหนึ่งๆจะมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะความปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุหลักๆ ได้แก่ เกิดจากความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence) โดยเกิดจากการที่พื้นผิวโลกหรือวัตถุต่างๆที่อยู่บนพื้นผิวได้รับความร้อนและส่งผลต่อมวลอากาศ และอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence) ซึ่งเกิดจากลักษณะทางกายภาพที่เกิดจากตำแหน่งของสิ่งก่อสร้างและความเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิว (วราวุธ เสือดี, 2542)

### 2.4.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence)

ปัจจัยทางด้านความร้อนเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยรังสีที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์สู่โลกมีทั้งรังสีคลื่นสั้น (Shortwave Radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 4 ไมครอน เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมาเรย์ เป็นต้น และรังสีคลื่นยาว (Longwave Radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 4 ไมครอน เช่น คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น โดยรังสีคลื่นสั้นสามารถสะท้อนกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกได้ แต่รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปได้แต่เป็นการแผ่รังสีกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นรังสีที่เหลืออยู่ของโลกหรือรังสีสุทธิที่โลกได้รับสามารถคำนวณได้จากรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวและรังสีที่โลกสะท้อนหรือแผ่กลับออกไปจากโลก (วิชา นิยม, 2535) ดังนั้นความสัมพันธ์ของรังสีสุทธิ (Net Radiation) ที่เหลืออยู่บนผิวโลกจากรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R_n = R_{sd} - R_{su} + R_{ld} - R_{lu} \quad \text{----- (1)}$$

โดยที่  $R_n$  = รังสีสุทธิ

$R_{sd}$  = รังสีคลื่นสั้นที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ( $< 4 \mu\text{m}$ )

$R_{su}$  = รังสีคลื่นสั้นที่ได้รับจากการสะท้อนของวัตถุ (10-25% of  $R_{sd}$ )

$R_{ld}$  = รังสีคลื่นยาวที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ( $> 4 \mu\text{m}$ )

$R_{lu}$  = รังสีคลื่นยาวที่แผ่รังสีออกไปจากการสะท้อนของวัตถุ

โดยความร้อนที่เหลืออยู่ที่ผิวโลกถูกนำไปใช้ในหลายกระบวนการ ได้แก่ ใช้เพื่อการระเหย (LE) ไหลลงสู่ดิน (G) ใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงของพืช (Ph) ใช้เพื่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (M) เก็บไว้ในวัตถุ (S) และใช้ในกระบวนการพาผลาญอากาศ (Sensible heat flux) (H) โดยมีสมการคือ

$$R_n = -LE - H - G - Ph - S - M \quad \text{----- (2)}$$

แต่ในกระบวนการที่เกิดขึ้นพบว่ากระบวนการที่นำความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ไปใช้ในการสังเคราะห์แสง เมตาบอลิซึม และเก็บไว้ในสิ่งต่างๆมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับที่ใช้กับลักษณะที่เหลือ ดังนั้นสมการที่เกิดขึ้นจะได้แก่

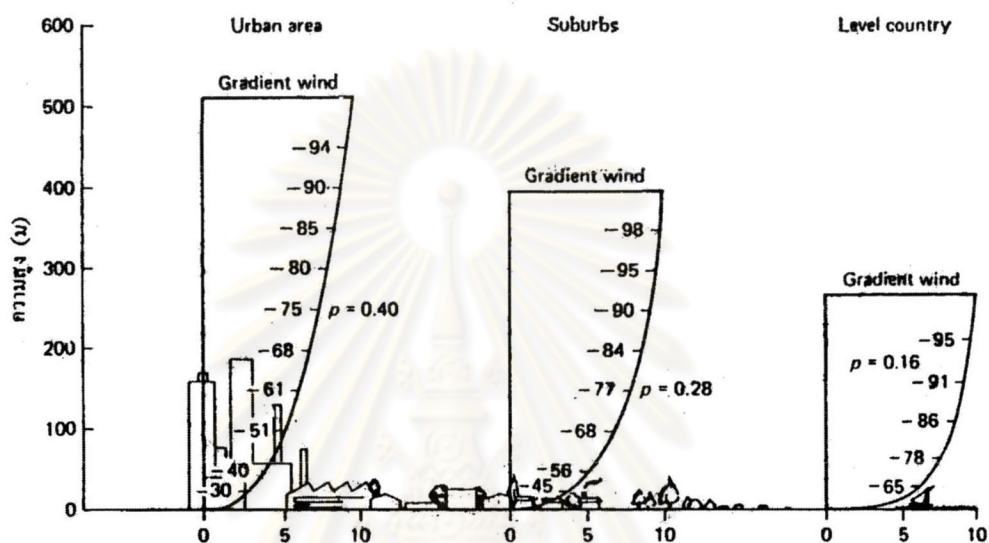
$$R_n = -LE - H - G \quad \text{----- (3)}$$

โดยที่ลักษณะของความร้อนที่ถูกนำไปใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ เช่น หากพื้นที่เป็นพื้นที่ในป่า หรือเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ค่าของปริมาณรังสีสุทธิ จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำมากกว่าลงสู่ดินหรือพาผลาญอากาศ แต่หากเป็นพื้นที่ในบริเวณเขตเมือง ปริมาณรังสีสุทธิที่เกิดขึ้นถูกนำไปใช้ในการพาผลาญอากาศ หรือลงสู่ดินมากกว่าที่จะถูกนำไปใช้ในการพาผลาญน้ำ ส่งผลให้อากาศในบริเวณเขตเมืองมีความร้อนสูง และส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศและลักษณะการคงตัวของบรรยากาศต่อไป (เกษม จันทร์แก้ว, 2522) ผลอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์เกี่ยวเนื่องกับการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศในแนวตั้งตามลักษณะการเคลื่อนที่ในหัวข้อที่ 2.3

#### 2.4.2 ความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence)

ความปั่นป่วนทางด้านกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านวัตถุต่างๆที่อยู่บนพื้นผิวส่งผลให้เกิดลักษณะของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) (Jacobson, 1999) โดยลักษณะของลมถูกทำให้ช้าลงเนื่องจากความเสียดทานซึ่งมีผลมาจากลักษณะความเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิว หรือมีผลจากปัจจัยทางด้านกายภาพของภูมิประเทศที่มีอยู่ เช่น ชนิดของ

พื้นผิว ลักษณะพื้นที่ที่เป็นภูเขา พื้นน้ำ ป่าไม้ ตำแหน่งและความหนาแน่นของพืช และเขตเมือง เป็นต้นดังรูปที่ 2.2 ลักษณะเหล่านี้ก่อให้เกิดความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของลมที่ความสูงแตกต่างกัน ซึ่งมีผลมาจากความเสียดทานส่งผลให้การกระจายตัวของมลสารแตกต่างกันออกไป ลักษณะของความแตกต่างของพื้นที่ รวมถึงวัสดุหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่นี้เรียกว่าค่าความขรุขระพื้นผิว (Surface Roughness)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง  
ที่มา Tunner, 1994 อ้างถึงใน Bualert, 2001

ในการประเมินถึงค่าความขรุขระพื้นผิว การจัดแบ่งหมวดหมู่ของการการใช้ประโยชน์ที่ดินช่วยให้การประเมินค่านี้ง่ายขึ้น เช่น การแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม พื้นที่ชนบททั่วไป และพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง เป็นต้น (Hansen, 1994)

#### 2.4.2.1 ความขรุขระพื้นผิวในเขตเมือง

ในพื้นที่ที่เป็นเขตเมืองค่าความขรุขระพื้นผิวจะเป็นที่สนใจและมีอิทธิพลกับการเกิดมลพิษทางอากาศในปัจจุบัน ชนิดและพื้นที่ในเขตเมืองมีหลากหลายประเภทซึ่งมีค่าของความขรุขระพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป เช่นพื้นที่สนามบิน พื้นที่ที่เป็นคอนกรีต หรือพื้นที่ถนนทั่วไปซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระพื้นผิวทั่วไปในเขตเมือง

ลักษณะพื้นที่	ความขรุขระพื้นผิว (ซม.)
1. พื้นที่คอนกรีต	0.002
2. สนามหญ้า	0.1
3. สนามหญ้ามีต้นไม้เล็กน้อย	1
4. ลานบิน	3
5. หมู่บ้าน	40
6. ทางหลวง หรือ ทางรถไฟ	50
7. เขตรอบนอกเมือง	55
8. พื้นที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย	110
9. สวนสาธารณะในเขตเมือง	130
10. อาคารสำนักงาน	175
11. เขตเมือง	260
12. เขตใจกลางธุรกิจ	330
13. เขตอาคารพักอาศัยหนาแน่นสูง	370

ที่มา : Hansen, 1994

#### 2.4.2.2 วิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิว

การคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวสามารถคำนวณได้จาก 2 วิธีหลักๆ คือ คำนวณจากการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา และวิธีที่ 2 คำนวณจากการตรวจวัดลักษณะสิ่งกีดขวางในบริเวณพื้นที่ศึกษา

##### 1) ค่าความขรุขระพื้นผิวจากการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา

ค่าความขรุขระพื้นผิวที่ได้มาจากการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 วิธีย่อยๆด้วยกัน โดยที่ค่าความขรุขระพื้นผิวที่ได้จากในวิธีนี้จะให้ค่าที่มีความถูกต้องที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากการตรวจวัดจากความเร็วลมและทิศทางของลมที่เคลื่อนที่ (Sempreviva, 1990)

##### (1) ค่าความขรุขระพื้นผิวจากองค์ประกอบของลม (Wind

Component Method)

ค่าความขรุขระพื้นผิวในวิธีนี้ได้จากการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาโดยใช้เครื่องมือการตรวจวัดที่สามารถให้ค่าองค์ประกอบของลมได้ออกมาเป็นแนวแกนทั้งหมด 3 แนว ได้แก่แกน x, y และ z ซึ่งค่าองค์ประกอบของลมในแนวทั้ง 3 แกนนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณค่าของความเร็วเสียดทาน (Friction Velocity) ซึ่งผลจากการคำนวณนี้จะ

นำไปใช้ในการคำนวณถึงค่าของความขรุขระพื้นผิวต่อไป โดยที่สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความเร็วเสียดทานจากองค์ประกอบของลมได้แก่

$$u_* = \left( \overline{u'w'}^2 + \overline{v'w'}^2 \right)^{1/4} \text{-----(4)}$$

โดยที่  $u'$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงของลมในแนวแกน x ในช่วงเวลาสั้น  
 $v'$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงของลมในแนวแกน y ในช่วงเวลาสั้น  
 $w'$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงของลมในแนวแกน z ในช่วงเวลาสั้น

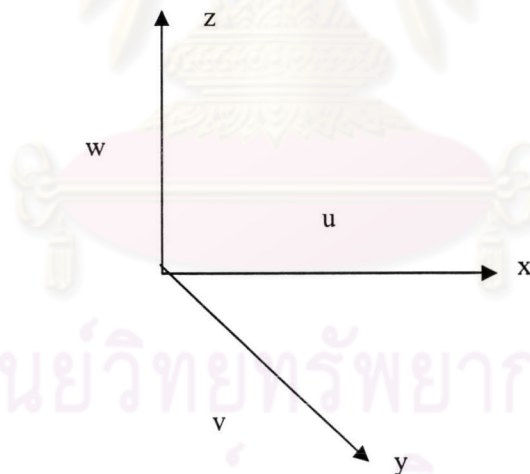
โดยค่า  $u' v' w'$  จะสามารถคำนวณได้จาก

$$u' = u - \bar{u}$$

$$v' = v - \bar{v}$$

$$w' = w - \bar{w}$$

โดยค่า  $u v w$  คือค่าความเร็วลมตามแนวแกน x, y และ z ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (Ellis and Middleton, 2002)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในแนว 3 ทิศทาง

ที่มา : เกษม จันทร์แก้ว , 2522

หลังจากนั้นเมื่อได้ค่าความเร็วลมเสียดทานที่คำนวณได้แล้วจะนำข้อมูลความเร็วลมเสียดทานมาคำนวณถึงค่าความขรุขระพื้นผิวจากสมการ

$$u_{(z)} = u_* / k (\ln(z/z_0)) \quad \text{-----}(5)$$

- โดยที่  $u_{(z)}$  คือความเร็วลมที่ระดับความสูงใดๆ  
 $u_*$  คือค่าความเร็วลมเสียดทาน  
 $k$  คือค่า Von Karman Constant (0.4)  
 $z$  คือระดับความสูงที่ทำการตรวจวัด  
 $z_0$  คือค่าความขรุขระพื้นผิว

ซึ่งจากการคำนวณวิธีนี้ก็จะสามารถหาค่าของความขรุขระพื้นผิวได้ (U.S.EPA, 2000)

(2) ค่าความขรุขระพื้นผิวคำนวณจากความเร็วลม 2 ระดับ

(Wind Profile Method)

การคำนวณจากการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาวิธีที่ 2 ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่มีมากกว่า 2 ระดับขึ้นไปเพื่อนำข้อมูลจากความเร็วลมทั้ง 2 ระดับมาคำนวณหาค่าความขรุขระพื้นผิวโดยมีวิธีการคำนวณได้แก่

$$\ln(z_0) = \frac{u_1 \ln(z_2) - u_2 \ln(z_1)}{u_1 - u_2} \quad \text{-----}(6)$$

- โดยที่  $z_0$  คือค่าความขรุขระพื้นผิว  
 $u_1$  คือค่าความเร็วลมที่ระดับที่ 1  
 $z_1$  คือค่าความสูงของระดับที่ 1  
 $u_2$  คือค่าความเร็วลมที่ระดับที่ 2  
 $z_2$  คือค่าความสูงของระดับที่ 2

ซึ่งจากการคำนวณ โดยความเร็วลม 2 ระดับนี้ให้ค่าที่ถูกต้องค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน (Sempreviva, 1990)

2) วิธีการคำนวณโดยใช้ลักษณะของสิ่งกีดขวางในพื้นที่

วิธีการในการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวสำหรับในพื้นที่ที่ไม่มีการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาในลักษณะ 3 ทิศทางหรือไม่มีการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา 2 ระดับ ค่าความขรุขระพื้นผิวสามารถคำนวณได้โดยใช้ลักษณะของสิ่งกีดขวางต่างๆในพื้นที่เป็นปัจจัยในการคำนวณ โดยวิธีการคำนวณในลักษณะนี้มีอยู่หลายวิธีได้แก่



(1) Nikavadas, 1933 อ้างถึงใน Hansen (1994) ศึกษาในลักษณะพื้นที่ที่ไม่เป็นระเบียบ และเป็นพื้นที่บริเวณพื้นที่ทราย จะใช้วิธีการคำนวณคือ

$$z_0 = h/30 \quad \text{-----}(7)$$

(2) Tanner and Pelton, 1960 อ้างถึงใน Kim (2000) ศึกษาในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นพื้นที่เพาะปลูกที่มีลักษณะค่อนข้างสูงโดยใช้วิธีการคำนวณคือ

$$\log z_0 = -0.883 + 0.997 \log h \quad \text{-----}(8)$$

(3) Kung, 1961 อ้างถึงใน Hansen (1994) ศึกษาและพัฒนาในบริเวณพื้นที่ลักษณะเดียวกับ Tanner and Pelton โดยจะได้วิธีการคำนวณคือ

$$\log z_0 = -1.24 + 1.19 \log h \quad \text{-----}(9)$$

(4) Sellers, 1965 อ้างถึงใน Hansen (1994) พัฒนาการศึกษามาจาก Tanner และ Pelton ในปี 1960 โดยมีวิธีการคำนวณคือ

$$\log z_0 = -1.385 + 1.417 \log h \quad \text{-----}(10)$$

(5) Lettau, 1969 อ้างถึงใน Macdonald (1998) ทำการศึกษาทดลองจากอุโมงค์ลม

$$z_0 = 0.5h\lambda_f \quad \text{-----}(11)$$

(6) Counihan, 1971 อ้างถึงใน Macdonald (1998) ทำการศึกษาทดลองจากอุโมงค์ลม

$$z_0/h = 1.08\lambda_p - 0.08 \quad \text{-----}(12)$$

(7) Raupach, 1991 อ้างถึงใน Rotach (2000) ทำการศึกษาทดลองจากอุโมงค์ลม

$$z_0 = 2h \quad \text{-----}(13)$$

โดยที่  $h$  = ความสูงเฉลี่ยของสิ่งกีดขวางในพื้นที่ (เมตร)

$\lambda_p$  = สัดส่วนระหว่างพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างกับพื้นที่ทั้งหมดที่ศึกษา

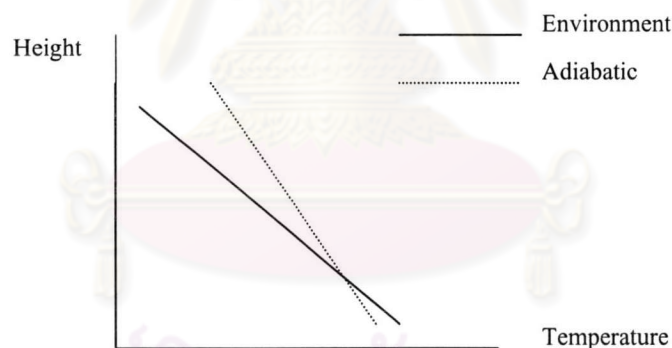
$\lambda_f = 0.60 \lambda_p$

## 2.5 ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ

จากลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบอะเดียบาติกในหัวข้อที่ 2.3 และผลของการปั่นป่วนที่เกิดขึ้นทั้งความปั่นป่วนจากความร้อนที่ส่งผลต่อการยกตัวขึ้นของอากาศในแนวตั้งและความปั่นป่วนจากทางกายภาพซึ่งเกี่ยวเนื่องถึงการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวนอน จะเกี่ยวเนื่องถึงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศซึ่งก็คือกำลังด้านของอากาศในอันที่จะไม่ยอมให้เกิดมีการเคลื่อนไหวทางตั้งขึ้นตามอนุภาคต่างๆในมวลอากาศนั้น และเป็นความสามารถในการต้านทานความแปรปรวน (Turbulence) ซึ่งแนวโน้มนี้มีผลต่อความสามารถของบรรยากาศที่จะรับเอาสารมลพิษได้เพียงใด โดยหากต้องการทราบถึงความสามารถในการกระจายสารมลพิษทางอากาศ ต้องศึกษาถึงลักษณะการคงตัวของอากาศที่เกิดขึ้นด้วย (วราวุธ เสือดี, 2542) โดยแบ่งการคงตัวของอากาศออกเป็น 3 ลักษณะได้แก่

### 1) บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว (Unstable)

ลักษณะการคงตัวของอากาศแบบ Superadiabatic Lapse Rate คือการลดลงของอุณหภูมิต่อความสูงจริงจะลดลงเร็วกว่าการลดลงของ Adiabatic ส่งผลให้มวลอากาศนี้เบากว่าอากาศรอบนอก ที่ความกดอากาศเท่ากันแต่อุณหภูมิสูงกว่ามวลอากาศจึงสามารถลอยสูงขึ้นไปได้ อีก ซึ่งเป็นลักษณะอากาศที่ไม่คงตัว

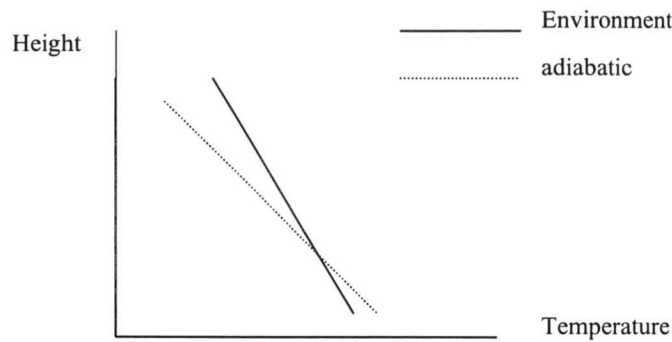


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Unstable

ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2543

### 2) บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว (Stable)

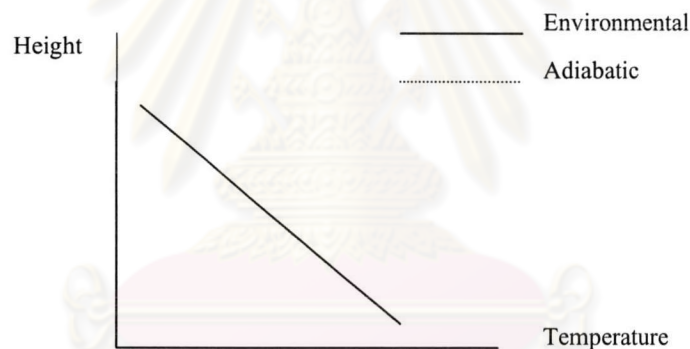
ลักษณะของอากาศแบบ Subadiabatic Lapse Rate คือมีการลดลงของอุณหภูมิต่อความสูงจริงจะลดลงช้ากว่าการลดลงของ Adiabatic เมื่อมวลอากาศลอยขึ้นสูงจนถึงจุดๆหนึ่งมวลอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อมภายนอกแต่มีความกดอากาศเท่ากัน ส่งผลให้มวลอากาศหนักกว่าจึงพยายามตกลงกลับลงไป เป็นลักษณะของอากาศที่มีการคงตัว



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Stable  
ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2543

### 3) บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน (Neutral)

มีลักษณะการลดลงของอุณหภูมิต่อความสูงจริงเท่ากับลักษณะการเคลื่อนที่ของ  
Adiabatic คืออุณหภูมิลดลงตามความสูง 1 องศาต่อ 100 เมตร



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Neutral  
ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2543

## 2.6 วิธีการคำนวณลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ

### 2.6.1 การคำนวณด้วยวิธีของ Pasquill Gifford

ในการจัดแบ่งถึงลักษณะการคงตัวของอากาศได้มีการพัฒนาโดย Pasquill โดยมีการแบ่งลักษณะของบรรยากาศออกเป็น 6 แบบ ตั้งแต่ A-F โดยปัจจัยที่ใช้ในการแบ่งลักษณะนี้ได้แก่ ความเข้มของแสงที่ส่องมายังโลก ค่าการปกคลุมของเมฆ ความเร็วลมบริเวณผิวพื้น โดยสามารถแบ่งบรรยากาศได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชั้นบรรยากาศด้วยวิธีของ Pasguill Gifford

Surface wind speed (m/s)	Day			Night	
	Insolation			Cloudiness	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly overcast or > 4/8	Clear or < 3/8
< 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	C	D	D	D	D

ที่มา : Tunner, 1994 อ้างถึงใน Bualert, 2001

ในการจัดแบ่งลักษณะของบรรยากาศ A หมายถึงลักษณะอากาศที่เป็น Unstable มากๆ B หมายถึงลักษณะบรรยากาศที่เป็น Unstable ปานกลาง C หมายถึงลักษณะ Unstable ค่อนข้างน้อย D หมายถึงลักษณะอากาศที่เป็น Neutral E หมายถึงลักษณะอากาศที่เป็น Stable น้อย และ F หมายถึงลักษณะบรรยากาศแบบ Stable มาก (สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547)

### 2.6.2 การคำนวณของ Monin - Obukhov Length

ในวิธีการจัดแบ่งลักษณะบรรยากาศในรูปแบบของ Pasguill ไม่ได้มีการนำความแตกต่างในเรื่องของความขรุขระพื้นผิวมาใช้เป็นปัจจัยในการประเมินถึงลักษณะบรรยากาศด้วย แต่สำหรับค่าของ Monin-Obukhov length จะใช้ลักษณะทั้งทางด้านของความร้อน (Thermal) และลักษณะความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ (Mechanical Turbulence) มาใช้ในการประเมิน (Srinuan Sunthi, 2001) โดยมีวิธีการคำนวณคือ

$$L = \frac{-\rho C_p T u_*^3}{k g h} \text{-----(14)}$$

โดยที่

L = Monin-Obukhov length

$\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนอากาศ ( $1004 \text{ J Kg}^{-1} \text{ deg}^{-1}$ )

T = อุณหภูมิ (K)

$u_*$  = ความเร็วลมเสียดทาน ( $\text{ms}^{-1}$ )

- $k$  = ค่าคงที่ Von Karman  
 $g$  = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก ( $\text{ms}^{-1}$ )  
 $H$  = ค่าความร้อนใช้ในการเผาผลาญอากาศ ( $\text{Wm}^{-2}$ )

โดยที่ค่าความเร็วลมเสียดทานที่นำมาคำนวณเพื่อหาค่าของ Monin-Obukhov Length นั้นสามารถคำนวณได้จาก 2 วิธี ได้แก่

### 1) การคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดจากอุตุนิยมวิทยา

ค่าความเร็วลมเสียดทานที่นำมาใช้ในการคำนวณถึงค่าของ Monin-Obukhov Length มีวิธีการที่ได้มาโดยการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวจากข้อมูลขององค์ประกอบของลมในแนว 3 แกนในหัวข้อที่ 2.4.2.4 สมการที่ 4

### 2) การคำนวณโดยใช้ค่าความขรุขระพื้นผิว

ค่าความขรุขระพื้นผิวสามารถนำมาใช้ในการคำนวณถึงค่าของความเร็วลมเสียดทานได้เช่นเดียวกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดองค์ประกอบของลมในแนว 3 แกน โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในแนว 3 ทิศทางอยู่เพียง 7 สถานีทั่วประเทศ ดังนั้นค่าความขรุขระพื้นผิวจึงถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าของความเร็วลมเสียดทานแทนค่าจากการตรวจวัดองค์ประกอบของลมในแนว 3 แกน โดยวิธีที่ใช้ในการคำนวณเป็นวิธีเดียวกับที่แสดงในสมการที่ 5

สำหรับผลของ Monin-Obukhov Length ที่ได้ จะนำมาเปรียบเทียบเป็นลักษณะการคงตัวของบรรยากาศได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลลักษณะการคงตัวของบรรยากาศของ Monin-Obukhov Length

	Monin-Obukhov Length	ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ
Small Negative	$-100 \text{ m} < L < 0 \text{ m}$	Very unstable
Large Negative	$-10^5 \text{ m.} \leq L \leq -100 \text{ m.}$	Unstable
Very Large	$L > 10^5 \text{ m.}$	Neutral
Large Positive	$10 \text{ m.} \leq L \leq 10^5 \text{ m.}$	Stable
Small Positive	$0 \text{ m.} < L < 10$	Very Stable

ที่มา : สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547

## 2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 2.7.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET

เป็นแบบจำลองทางด้านอุตุนิยมวิทยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการเตรียมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาในการใช้คำนวณถึงลักษณะการกระจายตัวของมลสารที่เกิดขึ้นต่อไปในแบบจำลอง ISCT3

ข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่แบบจำลองได้แก่ ค่าชั้นความสูงผสม ซึ่งใช้ข้อมูลในสองช่วงเวลาของแต่ละวันได้แก่ ตอนเช้าและตอนเที่ยง และข้อมูลที่เป็นรายชั่วโมงของ การปกคลุมเมฆ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความสูงเมฆ ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสง แต่แบบจำลอง RAMMET จะมีข้อจำกัดคือสามารถที่จะนำเข้าค่าความขรุขระพื้นผิวได้สูงสุดแค่ 1.3 เมตร (U.S.EPA, 1998)

สำหรับผลที่ได้จาก RAMMET ที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้คือค่าความเร็วเสียดทาน ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงผลที่เกิดขึ้นโดยมีอิทธิพลมาจากสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่ และค่าของ Monin - Obukhov Length ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศโดยมีการนำค่าในเรื่องของความชื้นเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย

### 2.7.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMET

แบบจำลอง AERMET เป็นแบบจำลองที่ใช้การตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาตามจำนวนหาปัจจัยต่างๆในขอบเขตของชั้น Boundary Layer เช่น ประเมินถึงการเคลื่อนที่ของลม (Wind Profile) และความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ได้ไปคำนวณถึงการแพร่กระจายตัวของมลสารในแบบจำลอง AERMOD ต่อไป โดยโครงสร้างจากแบบจำลอง AERMET จะมาจากพื้นฐานของแบบจำลอง The Meteorological Processor for Regulatory Model (MPRM)

ข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่แบบจำลอง AERMET เหมือนกับแบบจำลอง RAMMET โดยมีข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ และข้อมูลที่เป็นรายชั่วโมงของ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ค่าการปกคลุมของเมฆ และความสูงของเมฆ และค่าชั้นความสูงผสม และสำหรับแบบจำลอง AERMET จะสามารถนำเข้าค่าความขรุขระพื้นผิวสูงสุดได้มากกว่าแบบจำลอง RAMMET คือ 9 เมตร (U.S.EPA, 1998)

### 2.7.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อุตุนิยมวิทยา GAMMA-MET

GAMMA-MET เป็นแบบจำลองทางด้านอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในแบบจำลอง GAMMA Model โดย GAMMA-MET ใช้ในการคำนวณถึงลักษณะการคงตัวของ

อากาศและใช้ในการเตรียมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณถึงการกระจายตัวของมลสารในส่วนอื่นๆของแบบจำลอง GAMMA Model ต่อไป

ข้อมูลที่ต้องใส่ในแบบจำลอง GAMMA-MET จะประกอบไปด้วย ปี เดือน วัน ชั่วโมง การปกคลุมของเมฆ ความเข้มแสง ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความสูงของฐานเมฆ (Bualert, 2001)

#### 2.7.4 หลักการคำนวณค่าของความเร็วเสียดทาน และ Monin-Obukhov Length ของแบบจำลอง

แบบจำลอง RAMMET AETMET และ GAMMA-MET จะทำการแบ่งลักษณะการคงตัวบรรยากาศเป็น 2 ช่วงด้วยกันในแต่ละวัน คือ Stable และ Unstable โดยลักษณะอากาศจะเป็นแบบ Stable ในช่วงเวลากลางคืนคือระหว่างช่วงพระอาทิตย์ตกจนถึงพระอาทิตย์ขึ้น และลักษณะอากาศจะเป็นแบบ Unstable ในช่วงเวลากลางวันคือในช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก โดยหลักการที่ใช้ในการคำนวณความเร็วเสียดทานและ Monin-Obukhov Length จะแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา (U.S.EPA, 1998)

##### 1) การคำนวณในช่วง Unstable

ในช่วงเวลากลางวัน ลักษณะของพื้นผิวโลกร้อนเนื่องจากมีผลจากการส่งผ่านความร้อนซึ่งลักษณะดังกล่าวก่อให้เกิดลักษณะบรรยากาศแบบ Unstable ซึ่งค่า L ที่ได้จาก Monin-Obukhov Length มีค่าน้อยกว่า 0 โดยมีหลักการคำนวณคือ

หลักการคำนวณค่าความเร็วเสียดทาน

$$u_* = \frac{k u}{\ln(z_{\text{ref}} / z_0) - \psi + \psi_0} \quad \text{-----(15)}$$

โดยที่  $u_*$  = ความเร็วเสียดทาน ( $\text{ms}^{-1}$ )

k = ค่าคงที่ Von Karman

u = ค่าความเร็วลม ( $\text{ms}^{-1}$ )

$z_{\text{ref}}$  = ค่าความสูงของ Anemometer (m)

$z_0$  = ความขรุขระพื้นผิว (m)

$$\psi = 2 \ln\left(\frac{1+\mu}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+\mu^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(\mu) + \frac{\pi}{2} \quad \text{-----(16)}$$

$$\Psi_0 = 2 \ln\left(\frac{1+\mu_0}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+\mu_0^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(\mu_0) + \frac{\pi}{2} \quad \text{-----(17)}$$

$$\mu = (1-16z_{\text{ref}}/L)^{1/4} \quad \text{-----(18)}$$

$$\mu_0 = (1-16z_0/L)^{1/4} \quad \text{-----(19)}$$

และจากการคำนวณค่าความเร็วเสียดทานแล้ว จะนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าของ Monin-Obukhov Length ต่อไปโดยหลักการคำนวณตามสมการที่ 14 โดยค่าของความร้อนที่แผ่ผลจากอากาศคำนวณจากสมการ

$$H = \frac{(1.0 - C_p) R_n^*}{1 + 1/B_0} \quad \text{-----(20)}$$

โดยที่

$B_0$  = Bowen ratio

$R_n^*$  = Net radiation + Anthropogenic Heat Flux ( $Q_p$ )

## 2) การคำนวณในช่วง Stable

ในการคำนวณค่าของความเร็วเสียดทาน และค่าของ Monin-Obukhov Length สำหรับในช่วงของ Stable แบบจำลองไม่ต้องใช้การคำนวณซ้ำไปเรื่อยๆ แต่ในการประมาณค่าของความเร็วเสียดทาน และค่าของ  $\Theta$ . (Temperature Scale) จะใช้การคำนวณจากการปกคลุมของเมฆ ความเร็วลม และค่าของอุณหภูมิ

หลักการคำนวณค่าความเร็วเสียดทาน

$$u_* = C_D U/2 \left( 1 + \left( 1 - \left( 2u_0 / (CU) \right)^2 \right) \right) \quad \text{-----(21)}$$

โดยที่

$$C_D = \frac{k}{\ln(z_{\text{ref}}/z_0)} \quad \text{-----(22)}$$

และ

$$u_0 = \frac{\sqrt{\beta_m z_{\text{ref}} g \Theta}}{T} \quad \text{-----(23)}$$

และ  $\beta_m$  = Dimensionless Constant = 4.7



$$\Theta_* = 0.09(1 - 0.5 N^2) \quad \text{-----}(24)$$

โดยที่  $N =$  ค่าการปกคลุมเมฆ

และค่าที่ได้จากสมการข้างต้นจะนำมาคำนวณค่าความร้อนที่เผาผลาญอากาศ เพื่อนำไปคำนวณค่าของ Monin-Obukhov Length ต่อไปโดยมีวิธีการคำนวณแบบเดียวกับลักษณะอากาศแบบ Unstable แต่จะมีข้อแตกต่างในวิธีการคำนวณค่าของความร้อนที่เผาผลาญอากาศ โดยในลักษณะอากาศแบบ Stable คำนวณโดย

$$H = -\rho C_p u_* \Theta_* \quad \text{-----}(25)$$

### 2.7.5 ความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET

จากหลักการวิธีการคำนวณค่าของ Monin-Obukhov Length และ ค่าความเร็วเสียดทาน พบว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองมีวิธีการและหลักการคำนวณที่ไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับในรายละเอียดอื่น ๆ พบว่าจะมีข้อแตกต่างของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง โดยสำหรับข้อมูลที่น่าเข้าสู่แบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองนั้นเป็นข้อมูลรายชั่วโมง โดย GAMMA-MET ไม่มีค่าของ ปริมาณน้ำฝน และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองของ RAMMET และ AERMET เนื่องจากในแบบจำลองทั้งสองสามารถประมวลผลออกมาเป็นค่า Dry Deposition หรือ Wet Deposition นอกจากนั้นค่าชั้นความสูงผสมของแบบจำลองก็แตกต่างกัน โดยแบบจำลอง RAMMET ค่าชั้นความสูงผสมที่คำนวณได้ออกมาเป็นในลักษณะที่เป็นของพื้นที่ที่เป็นชนบทกับพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง แต่สำหรับแบบจำลอง AERMET ค่าชั้นความสูงผสมที่คำนวณได้จะถูกแบ่งออกเป็นชั้นความสูงอันเนื่องมาจากความปั่นป่วนทางกล และชั้นความสูงผสมอันเนื่องมาจากความปั่นป่วนทั้งทางด้านของความร้อนและความปั่นป่วนทางกล

และสำหรับปัจจัยอื่นที่นำเข้าสู่แบบจำลองที่ไม่ได้เป็นข้อมูลรายชั่วโมงพบว่ามี ความแตกต่างกันทั้ง 3 แบบจำลอง เนื่องจากในการคำนวณ แบบจำลอง RAMMET และ GAMMA-MET จะนำค่าของ ค่าความร้อนจากกิจกรรมในพื้นที่ (Antropogenic Heat) มาคิดด้วย แต่ในแบบจำลองของ AERMET จะไม่ได้นำค่าของ 2 ปัจจัยนี้มาคิดในสมการ โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.5

สำหรับผลที่ได้จากแบบจำลองแต่ละแบบจำลองจะพบว่าปัจจัยที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่นำไปใช้ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายตัวของมลสารต่อไป โดยแบบจำลอง RAMMET จะใช้สำหรับแบบจำลอง ISCT3 แบบจำลอง AERMET จะใช้สำหรับแบบจำลอง AERMOD และแบบจำลอง GAMMA-MET จะใช้สำหรับ

แบบจำลอง GAMMA-MODEL โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องนำเข้าและที่ได้ผลจากแบบจำลองดังตารางที่ 2.4-2.6

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลที่นำเข้าไปในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET, AERMET และ GAMMA-MET

ปัจจัยที่นำเข้า	RAMMET	AERMET	GAMMA-MET
- Cloud Cover	✓	✓	✓
- Temperature	✓	✓	✓
- Relative Humidity	✓	✓	
- Pressure	✓	✓	
- Wind Speed	✓	✓	✓
- Wind Direction	✓	✓	✓
- Celing Height	✓	✓	✓
- Precipitation	✓	✓	
- Global Radiation	✓	✓	✓
- Mixing Height	✓	✓	

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ที่นำเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET

ปัจจัยคงที่	RAMMET	AERMET	GAMMA-MET
- Anemometer Height	✓		
- Minimum Monin-Obukhov Length	✓		
- Surface Roughness	✓	✓	✓
- Noon-time Albedo	✓	✓	
- Bowen Ratio	✓	✓	
- Anthropogenic Heat	✓		✓
- Fraction of Net Radiation at the Ground	✓		

ตารางที่ 2.6 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET, AERMET และ GAMMA-MET

ปัจจัยที่ได้จากแบบจำลอง	RAMMET	AERMET	GAMMA-MET
- Sensible Heat flux		✓	
- Surface Friction Velocity	✓	✓	✓
- Convection Velocity Scale		✓	
- Vertical Potential Temperature Gradient above PBL		✓	
- Height of Convectively Generated Boundary Layer PBL		✓	
- Height of Mechanically Generated Boundary Layer SBL		✓	
- Monin Obukhov	✓	✓	✓
- Surface Roughness	✓	✓	
- Bowen Ratio		✓	
- Albedo		✓	
- Wind Speed	✓	✓	✓
- Wind Direction		✓	✓
- Reference Height for Wind Speed & Wind Direct		✓	
- Temperature	✓	✓	✓
- Reference Height for Temperature		✓	
- Random Flow Vector	✓		

ตารางที่ 2.6 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET (ต่อ)

พารามิเตอร์	RAMMET	AERMET	GAMMA-MET
- Pasquill Gifford Stability Class	✓		✓
- Rural Mixing Height	✓		
- Urban Mixing Height	✓		✓
- Global Radiation	✓		
- Relative Humidity	✓		
- Day			✓
- Photolysis Rate			✓

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Borrego และคณะ (2003) ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ ได้แก่ Disperse city คือมีความหนาแน่นต่ำ พื้นที่กว้าง มีการแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างชัดเจน แต่มีการคมนาคมมาก Corridor city มีความเจริญออกเป็นแนวเส้นจากจุดศูนย์กลาง มีความเจริญและมีการคมนาคมที่สะดวก Compact city มีพื้นที่น้อยกว่าทั้ง 2 ลักษณะข้างต้น มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ต่างๆรวมกันและแต่ละอย่างใกล้กัน มีการคมนาคมน้อยกว่า ซึ่งในการศึกษาจะใช้ความเข้มข้นของเป็นตัวบอกถึงลักษณะคุณภาพอากาศของแต่ละเขตเมือง ซึ่งผลพบว่าลักษณะเมืองแบบ Disperse city มีลักษณะคุณภาพอากาศแย่ที่สุด โดยมีความเข้มข้นของโอโซนที่ 40 เปอร์เซ็นต์ อยู่ที่รัศมีถึง 32 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่ Corridor city และ Compact city มีเพียง 8 ตารางกิโลเมตร

Petersen (2003) ได้ศึกษาถึงการประเมินค่าความขรุขระพื้นผิวสำหรับพื้นที่ในเขตอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในเขตโรงงานประเภทโรงกลั่นน้ำมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ถึงวิธีการในการประเมินค่าความขรุขระพื้นผิวในบริเวณนั้น ซึ่งในการศึกษาอ้างอิงถึงวิธีการศึกษาค่าความขรุขระพื้นผิวของ Lettau , Counihan นำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาโดยใช้การตรวจวัดถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูง (Wind Profile) โดยได้ผลการศึกษาว่าวิธีการของ Lettau และ Counihan สามารถใช้ได้ดีสำหรับค่าความขรุขระของพื้นที่ในเขตโรงกลั่น

Bualert และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการแพร่กระจายของมลพิษ โดยทำการศึกษาการใช้ทฤษฎีของ Pasguill-Gifford เปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Monin-Obukhov Length โดยทฤษฎีของ Monin-Obukhov Length จะใช้ลักษณะของสมบัติทางกายภาพบริเวณผิวพื้น เช่น ความขรุขระของพื้นผิว ความร้อนที่แผ่กระจายออกจากพื้นผิว ฯลฯ ซึ่งใน Pasguill-Gifford ไม่ใช้คุณสมบัติเหล่านี้ โดยพื้นที่ที่ใช้ศึกษาได้แก่พื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครโดยใช้ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาจากกรมควบคุมมลพิษบริเวณสถานีตรวจวัดจตุจักร ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การแบ่งค่าความเสถียรของบรรยากาศโดยใช้ทฤษฎีของ Monin-Obukhov Length ลักษณะของบรรยากาศแบบ unstable neutral และ stable มีค่าความถี่ที่เกิดอยู่ในช่วง 57 เปอร์เซ็นต์ 19 เปอร์เซ็นต์ และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อใช้ทฤษฎีของ Pasguill-Gifford พบว่า ลักษณะของบรรยากาศแบบ unstable neutral และ stable มีค่าความถี่ที่เกิดอยู่ในช่วง 44 เปอร์เซ็นต์ 32 เปอร์เซ็นต์ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าทฤษฎีทั้ง 2 ทฤษฎี จะให้ค่าใกล้เคียงกันในลักษณะของบรรยากาศแบบ stable แต่ในลักษณะของ neutral ค่าของ Pasguill-Gifford จะมีค่ามากกว่า และลักษณะของบรรยากาศแบบ unstable ค่าของ Monin-Obukhov Length จะให้ค่าที่สูงกว่า

Srinuan Sunthi (2001) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทำการศึกษาแบบจำลอง ADMs (Atmospheric Dispersion Model) โดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา พารามิเตอร์ที่ใช้ได้แก่ 1. อุณหภูมิผิวพื้น 2. ความชื้นสัมพัทธ์ 3. การคายระเหย 4. ปริมาณเมฆที่ปกคลุมทั้งหมด 5. ความเร็วลมระดับผิวพื้น 6. ปริมาณน้ำฝน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ADMs Model มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมบนพื้นผิวมากกว่าปัจจัยตัวอื่น โดยจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากในช่วง 1-20 เมตร/วินาที ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความสูงของชั้น Boundary layer และหากความเร็วลมมากกว่า 1-20 เมตร/วินาที ค่าความสูงของชั้น Boundary layer จะมีค่าคงที่ที่ 4000 เมตร และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง RAMMET ซึ่งเป็นแบบจำลองทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในแบบจำลองของ ISC พบว่า ADMs Model จะให้ค่าของความสูงของชั้น Boundary layer ที่ต่ำกว่า RAMMET และความเข้มข้นของมลพิษจาก ADMs Model มีผลต่ำกว่าที่ได้จาก ISC Model และในการทำนายถึงเสถียรภาพของบรรยากาศโดยใช้ค่าของ Monin-Obukhov Length จาก ADMs Model พบว่าลักษณะอากาศในประเทศไทย 50 เปอร์เซ็นต์อยู่ในช่วง ที่มีความคงตัวมาก (Stable) แต่ในการเปรียบเทียบกับ RAMMET พบว่าจะทำนายค่าของเสถียรภาพของบรรยากาศในลักษณะของ Neutral และ Stable สูงกว่า

Hogrefe และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงการประเมินทางด้านอุณหภูมิจากของแบบจำลอง 2 แบบจำลอง ได้แก่แบบจำลอง MM5 และ แบบจำลอง RAMS โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดได้และข้อมูลที่คำนวณได้ของอุณหภูมิ การระเหยเป็นไอของน้ำ (Water Vapor) และความเร็วม โดยจะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวัน การเปลี่ยนแปลงในช่วงวัน และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะยาว โดยผลที่ได้พบว่าแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลองให้ผลการคำนวณได้ที่ดีสำหรับการศึกษาที่เป็นช่วงระยะเวลาที่ยาวนานและได้ผลที่ไม่ดีสำหรับการศึกษาในช่วงของแต่ละชั่วโมงของแต่ละวัน

Duijm (1999) ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการประเมินถึงค่าความขรุขระพื้นผิวสำหรับสิ่งกีดขวางที่มีการจัดวางตัวอย่างเป็นระเบียบและตามชนิดของอาคาร โดยพบว่าวิธีการของ Bottama ดีมากสำหรับพื้นที่ที่มีการขยายตัวและมีความหนาแน่นต่ำ และวิธีการนี้ยังมีการประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางและไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสามารถใช้ได้ดี และยังมีวิธีการเสนอวิธีของ Lettau ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความขรุขระพื้นผิวอีกด้วย

Peterson (1997) ได้ศึกษาถึงการประเมินค่าของความขรุขระพื้นผิว โดยจะใช้ลักษณะของสิ่งก่อสร้างในการคำนวณ โดยมี 3 วิธีที่อ้างถึงได้แก่วิธีของ Lettua Method , Counihan Method และ Simplified Counihan Method โดย 3 วิธีนี้จะถูกทดสอบในอุโมงค์ลม 5 ลักษณะ โดย 3 ลักษณะแรกจะเป็นแบบจำลองที่ใช้ทดสอบในบริเวณโรงกลั่นน้ำมัน และ แบบจำลองอีก 2 แบบจำลองเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะการจัดวางตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยการทดสอบทั้ง 5 ลักษณะนี้ จะมีการตรวจวัดองค์ประกอบที่เคลื่อนที่ของลมและนำมาใช้ในการหาค่าความขรุขระพื้นผิวและนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณจากการก่อสร้าง 3 แบบจำลองด้านบนโดยใช้การคำนวณสถิติจาก The American Petroleum Institute พบว่าในพื้นที่ที่เป็นเขตโรงกลั่นและพื้นที่ที่มีการจัดวางตัวอย่างเป็นระเบียบวิธีของ Lettua Method จะให้ผลที่ได้ดีที่สุดจากทั้ง 3 วิธี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย