

บทที่ 2

ทฤษฎี

โอโซนในระดับชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่อยู่ติดกับพื้นผิวโลก หรือโทรโพสเฟียร์โอโซน ส่วนมากเกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดด (photochemical reaction) โอโซนดังกล่าวจัดเป็นมลภาวะ (pollutant) ในอากาศ มักเกิดพร้อมกับก๊าซพิษชนิดอื่น อาทิเช่น PAN (Peroxyacetyl nitrate) ซึ่งเป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ใน NO และ NO₂ เป็นสารที่ทำให้เกิดการเคืองตาและแสบตา และก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศขึ้น

ตามปกติ อากาศประกอบด้วยก๊าซต่างๆ โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ ไนโตรเจน, ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของมลภาวะที่เกิดตามวิธีการทางธรรมชาติ เช่น ก๊าซและอนุภาคที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ, อนุภาคของเกลือที่เกิดจากคลื่นในมหาสมุทร, ละอองเกสรดอกไม้, ฝุ่นผง และเขม่าควันไฟจากภูเขาไฟระเบิดและไฟป่า

ตารางที่ 2.1 : ส่วนประกอบของบรรยากาศแห้งเฉลี่ยในระดับ 20 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก

	สัญลักษณ์	ปริมาณ (%ของอากาศแห้ง โดยปริมาตร)	น้ำหนักโมเลกุล
Dry air	-	100	28.966
Nitrogen	N ₂	78.09	28.013
Oxygen	O ₂	20.95	31.999
Argon	Ar	0.93	39.948
Carbon dioxide	CO ₂	0.03	44.010
Neon	Ne	0.0018	20.183
Helium	He	0.0005	4.003
Ozone	O ₃	0.000001	47.998
Hydrogen	H ₂	0.00005	2.016
Krypton	Kr	0.0001	83.800
Xenon	Xe	0.000008	131.300

ที่มาของข้อมูล : D.H. McIntoch, M.A., D.Sc. Meteorological Glossary, Meteorological Office, U.K., p 12, 1972.

จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก มนุษย์มีกิจกรรมต่างๆ ในการเพิ่มความถี่และความเข้มในการปล่อยสารพิษเข้าสู่บรรยากาศ อาทิเช่น กรรมวิธีต่างๆ ทางเกษตร การใช้น้ำมันซึ่งเพิ่มก๊าซไนโตรสออกไซด์ การเลี้ยงสัตว์และการปลูกข้าว เป็นการเพิ่มก๊าซมีเทน, การเผาและเผ้วถางป่า เป็นการเพิ่มผงฝุ่น, การเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เป็นการเพิ่มกลุ่มสารไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอนุภาคอื่น ๆ จากการศึกษาของ Alex Pszenny and Guy Brasseur, IGBP Newsletter 30. พบว่าสารพิษที่ถูกปล่อยใน boundary layer ซึ่งเป็นบรรยากาศในช่วงระยะความสูงจากพื้นดินประมาณ 0.5 - 2.0 กิโลเมตร เป็นบรรยากาศที่มีการคลุกเคล้าของอากาศขึ้น - ลง ในแนวตั้ง (vertical) มากที่สุด ทำให้เกิดมลภาวะท้องถิ่น (Local air pollution) ขึ้น หากสารพิษเหล่านี้กระจายเข้าสู่ในบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่สูงขึ้นไป จัดเป็นมลภาวะระดับภูมิภาค (Regional pollution) และหากบรรยากาศทั่วโลกได้รับผลกระทบด้วย เช่นกรณีการเพิ่มของ CO_2 ในระยะยาว ถูกจัดเป็นมลภาวะระดับโลก (Global pollution)

2.1 ชนิดของสารพิษ

สารพิษในอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

ประเภทแรก สารพิษปฐมภูมิ (Primary Pollutants) เป็นสารพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงเข้าสู่บรรยากาศ เช่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), NO_x , CO, ตะกั่ว, สารอินทรีย์ (organics) และอนุภาคแขวนลอยต่าง ๆ ฯลฯ เมื่ออยู่ในอากาศจะมีการเคลื่อนที่กระจายออก และมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ

ประเภทที่สอง สารพิษทุติยภูมิ (Secondary Pollutants) เป็นสารพิษที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของสารพิษปฐมภูมิในอากาศ แต่ให้ผลเสียมากกว่าสารพิษปฐมภูมิ เช่น SO_2 เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับไอน้ำในอากาศ เกิดเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งเป็นสารพิษทุติยภูมิ เป็นผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมมากกว่า SO_2 หรือการเปลี่ยนแปลงของ NO และ NO_2 ในอากาศ เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับไอน้ำในอากาศกลายเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดไนตริก (nitric acid, HNO_3) ก็จัดเป็นสารพิษทุติยภูมิเช่นเดียวกัน

โอโซนจัดเป็นสารพิษทุติยภูมิ เกิดขึ้นในขณะเดียวกับการเกิด photochemical smog เกิดในบริเวณย่านอุตสาหกรรม นอกจากนี้โอโซนยังถูกจัดเป็นหนึ่งในจำนวนสารพิษ (criteria pollutants) ซึ่งกำหนดช่วงความเข้มข้นแต่ละชนิดจากเขตชนบทถึงในเมืองตามมาตรฐานของ NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ตามตารางที่ 2.2 และสำหรับในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในประเทศไทย ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์มลภาวะวิกฤติ (Criteria Pollutants) และช่วงของความเข้มข้นจากเขตชนบท
ถึงในเมืองที่มีมลภาวะอากาศในประเทศสหรัฐอเมริกา

ชนิดของมลภาวะ	ช่วงความเข้มข้น ^ก
CO	$\leq 0.2 - 50$ ppm.
SO ₂	≤ 1 ppb. - 2 ppm ^ข
O ₃	$0.01 - 0.5$ ppm.
NO ₂	≤ 1 ppb. - 0.5 ppm.
MMHC	≤ 65 ppbC - 1.5 ppmC
Total suspended particulates (TSP) ^ค	$5 - 1500$ μgm^{-3}
Lead ^ก	$0.0001 - 10$ μgm^{-3}

ก หมายถึง ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง

ข หมายถึง ค่าเฉลี่ยต่อ 24 ชั่วโมง

ค หมายถึง ค่าสูงสุด ตามปกติวัดจากบริเวณแหล่งกำเนิด

ที่มาของข้อมูล : Criteria pollutants and National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

โดย รัฐบาลกลางประเทศสหรัฐอเมริกา (the United States Federal Government)
เริ่มใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1984.

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ของกรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารมลพิษ	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง	
	มก./ลบ.ม.	ส่วนในล้านส่วน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	34.2	30
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	0.32	0.17
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) /a	0.78	0.3
โอโซน (O ₃)	0.2	0.1

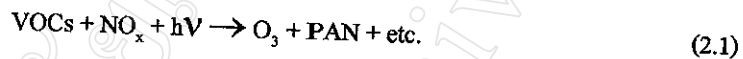
หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นของก๊าซ คำนวณที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

/a : ค่ามาตรฐาน SO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง

- 1,300 มก./ลบ.ม. สำหรับพื้นที่แม่เมาะ
- 780 มก./ลบ.ม. สำหรับบริเวณทั่วไป

2.2 แหล่งกำเนิดของทรอโพลีฟิสิกส์ไอโซน

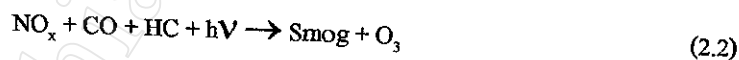
ทรอโพลีฟิสิกส์ไอโซนเป็นไอโซนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดด (Photochemical Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแหล่งชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม ซึ่งมีการปล่อยก๊าซ NO_x , ก๊าซ CO และกลุ่มไฮโดรคาร์บอน จัดเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดไอโซนที่สำคัญที่สุด ซึ่งได้จากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง, สารให้ความเย็นหรือควันต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมรวมถึงการเผาไหม้ของป่าไม้และการระเบิดของภูเขาไฟ เรียกโดยรวมเป็นสารอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds, หรือ VOCs) โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลไกการเกิดออกซิไดซ์ระหว่างสารปฏิกิริยาที่ถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศโดยตรงได้ O_3 เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยานี้ Atkinson, 1990:1994, Lightfoot และคณะ, 1992 และ Jenkin และคณะ, 1997 เขียนโดยรวมได้เป็น



VOCs หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds) ได้แก่กลุ่มสารไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สี กาว และหมึกแห้งต่างๆ

PAN หมายถึง Peroxyacetyl Nitrate ซึ่งเป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนในอากาศที่เกิดจากขบวนการเคมีแสงแดด ถูกออกซิไดซ์ใน NO และ NO_2 และเป็นสารพิษต่อระบบทางเดินหายใจและระคายเคืองต่อมนุษย์และสัตว์ หากมีมากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของปอดด้วย

ในปี ค.ศ. 1998 ได้มีรายงานจาก Scientific Assessment of Ozone Depletion 1998., WMO Ozone Project Report No. 44 ว่า การปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ เช่น CO , HC และ NO_x โดยเฉพาะในเขตตัวเมืองที่มีโรงงานอุตสาหกรรม และการจราจรหนาแน่น ทำให้เกิดหมอกควันพิษและไอโซนเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของซีกโลกเหนือและใต้



ในบรรยากาศทั่ว ๆ ไปไอโซนจะอยู่ในสภาพสมดุล มีทั้งถูกสร้างขึ้นและถูกทำลาย โดยปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง (Photolysis) ของก๊าซ NO_2

ก๊าซ NO_x ในอากาศซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของ NO (มี NO_2 อยู่เป็นจำนวนน้อย) ถูกออกซิไดซ์ให้เป็น NO_2 โดยปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง โดยออกซิเจนโมเลกุลที่มีอยู่ในอากาศ



หาก NO_2 ได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตขนาดความยาวคลื่นต่ำกว่า 395 นาโนเมตร จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยแสง ทำให้เกิดอะตอมของออกซิเจนและไอโซนขึ้น



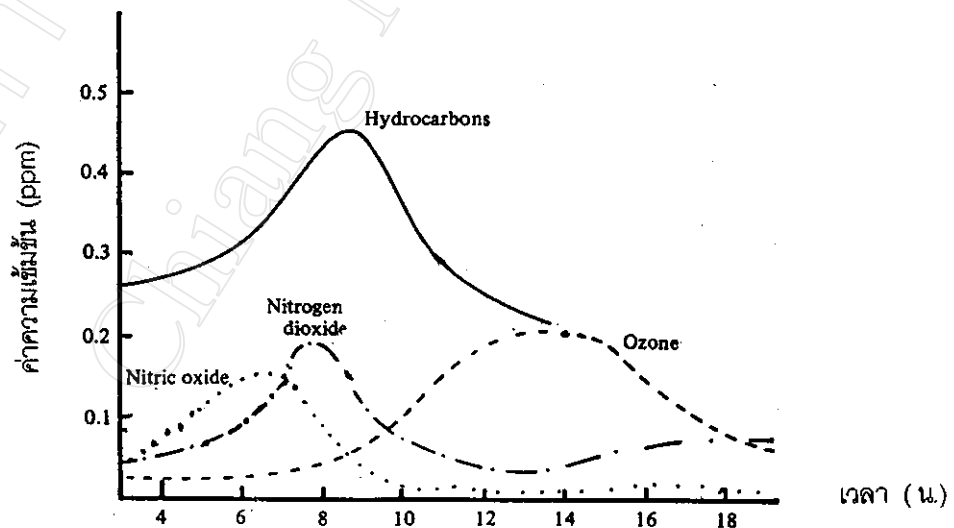
ในขณะที่เดียวกันเมื่อ O_3 ทำปฏิกิริยากับ NO ที่มีอยู่ในบรรยากาศ จะให้ O_2 และ NO_2 อีกครั้งดังสมการ (2.6)



ผลของปฏิกิริยาดังกล่าว ระดับความเข้มข้นของ O_3 จะอยู่ในสภาพสมดุลกับ NO และ NO_2 โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ ในแหล่งอุตสาหกรรมและชุมชนที่มีโอโซนปริมาณมากเกินกว่าที่มีอยู่ในธรรมชาติ แต่ความเข้มข้นของโอโซนในเขตชุมชนมักมีค่าต่ำกว่ารอบนอกเมืองออกไป เนื่องจากปฏิกิริยาของโอโซนกับไนตริกออกไซด์ (NO) ทำให้เกิดไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และออกซิเจนโมเลกุล ดังสมการ (2.6)

แหล่งกำเนิดหลักของ NO ในบริเวณชุมชน เกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง, การให้ความร้อน รวมทั้งควันจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ และการเผาไหม้ของป่าไม้

การเปลี่ยนแปลงประจำวันของ NO , NO_2 และ O_3 จากปฏิกิริยาเคมีแสงแดดในช่วงเช้า ค่า NO และ NO_2 มีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน การจราจรคับคั่ง ขณะที่ O_3 เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดด เริ่มมีค่าสูงขึ้นหลังชั่วโมงเร่งด่วน โดยมีค่าสูงที่สุดหลังเที่ยงวัน และโอโซนเริ่มมีค่าลดลงในตอนเย็น ค่า NO และ NO_2 จะมีค่าลดลงในขณะที่ O_3 มีค่าสูงที่สุด ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นไปตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีแสงแดดในสมการ (2.4) และ (2.5) ซึ่งค่าสูงที่สุดของ O_3 เกิดหลังค่าสูงที่สุดของ NO_2 เนื่องจากปฏิกิริยาการสร้าง O_3 จาก NO_2 นั้นเอง



ที่มาของข้อมูล : Peter Brimblecombe, Air Composition and Chemistry, Cambridge

Environmental Chemistry Series, Cambridge University Press., p 108, 1986.

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงประจำวันของ NO , NO_2 และ O_3 ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาเคมีแสงแดด

2.3 ปัจจัยที่ควบคุมการเคลื่อนที่และการฟุ้งกระจายของสารพิษในบรรยากาศ

2.3.1. สภาพทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Conditions)

ความเข้มข้นของสารพิษ และผลกระทบของสารพิษ พิจารณาได้จากอัตราการปล่อยสารพิษ , การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดดในอากาศ และประการที่สำคัญ ได้แก่ สภาพของบรรยากาศ เช่นกรณีการเกิดหมอกควัน (smog) ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ บรรยากาศอยู่ในสภาวะที่ทำให้สารพิษกระจายและเคลื่อนที่ในบริเวณที่จำกัด หากสารพิษถูกปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความเข้มข้นของสารพิษเพิ่มมากขึ้น ทำให้เป็นการเพิ่มอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากขึ้น

บรรยากาศที่หุ้มห่อโลกประกอบด้วยไอน้ำและก๊าซชนิดต่างๆ ตลอดจนอนุภาคแขวนลอยต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง ผลึกเกลือ สารอินทรีย์ อนินทรีย์ ควัน และไอระเหย บรรยากาศที่หุ้มห่อโลก แบ่งเป็นชั้นๆ โดยใช้ความหนาแน่น (อุณหภูมิ) และความสูงเป็นเกณฑ์ ตามรูปที่ 2.2 ได้แก่

2.3.1.1. บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่อยู่ติดกับพื้นผิวโลก เฉลี่ยประมาณ 16 กิโลเมตร ที่ระดับเส้นศูนย์สูตร และ 8-10 กิโลเมตร ไปทางขั้วโลกเป็นชั้นบรรยากาศที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ พบว่าร้อยละ 75 ของมวลอากาศในบรรยากาศที่หุ้มห่อโลกและไอน้ำอยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นี้

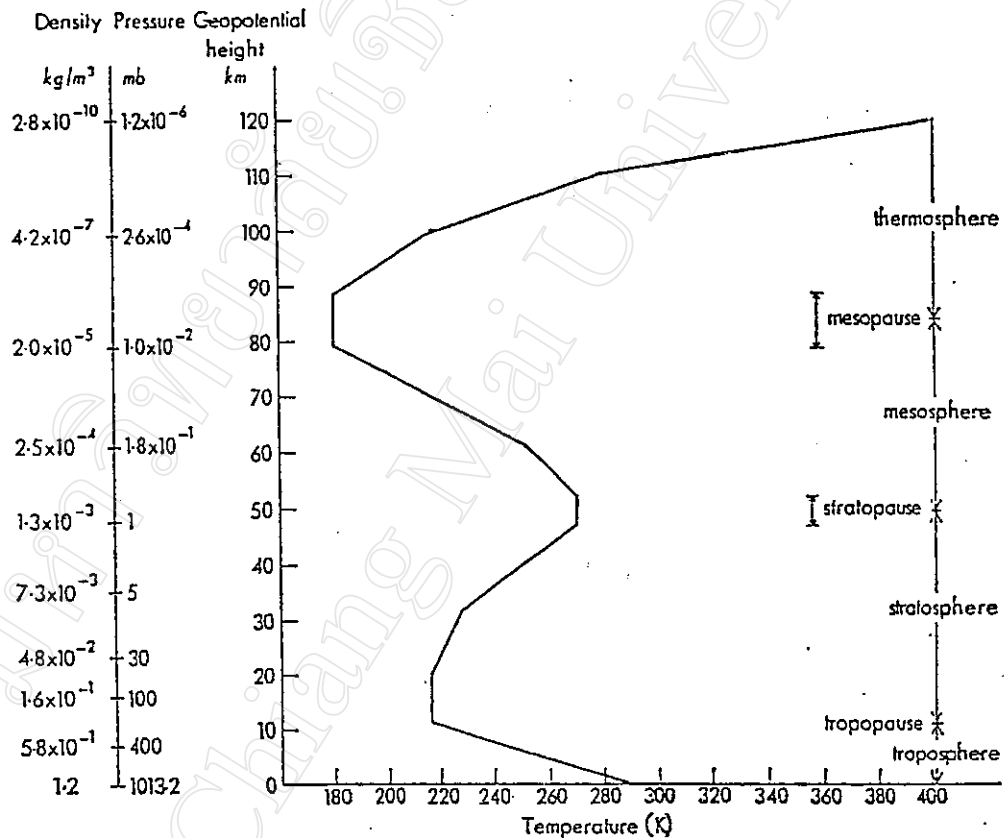
ระยะจากพื้นผิวโลกสูงขึ้นไป 10 กิโลเมตร อุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามความสูงในอัตราเฉลี่ย 6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร เรียกว่าเป็น positive lapse rate อากาศใกล้พื้นดินที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ขึ้นไป ในขณะที่เดียวกันอากาศที่เย็นกว่าในระดับที่สูงขึ้นไป และมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนลงมา ทำให้เกิดการคลุกเคล้าของอากาศ (mixing) ในระดับโทรโพสเฟียร์ที่ติดกับพื้นผิวโลกในบางสภาวะ อุณหภูมิของอากาศบางระดับของโทรโพสเฟียร์กลับเพิ่มขึ้นตามความสูง จากนั้นอุณหภูมิของอากาศลดลงตามความสูงอีก นั่นคือค่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิ (lapse rate) เปลี่ยนจากค่าบวกเป็นลบ และเปลี่ยนกลับเป็นค่าบวก เรียกบริเวณที่ lapse rate มีค่าลบว่า ชั้นผกผัน (inversion layer) ที่กระทำหน้าที่เสมือนฉนวนกั้นมวลอากาศเย็นซึ่งหนักกว่าอยู่ข้างล่าง ไม่สามารถเคลื่อนขึ้นสู่เบื้องบนได้ ส่งผลทำให้สารพิษต่างๆ ที่พื้นผิวโลก ถูกกักขังบริเวณใต้ชั้นอุณหภูมิผกผัน ไม่สามารถกระจายออกไปสู่บรรยากาศชั้นบนได้ ทำให้โอกาสการสะสมสารพิษมีมากขึ้น ตามรูปที่ 2.3

การเกิดอุณหภูมิผกผัน จึงเป็นสภาวะอากาศที่สำคัญต่อปัญหาหมอกภาวะอากาศในแหล่งชุมชนที่มีอุตสาหกรรมและการใช้รถยนต์หนาแน่น

ชั้นของอุณหภูมิผกผันที่เกี่ยวกับมลภาวะอากาศจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดด เกิดจากมีการเคลื่อนที่ลงมาของมวลอากาศในระดับสูง ทำให้มีการอัดตัวของอากาศและเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในชั้นล่างถัดไป โดยมีการเปลี่ยนแปลง lapse rate จากค่าบวกเป็นค่าลบในระยะหนึ่ง ตามรูปที่ 2.3 เกิดเป็นชั้นอุณหภูมิผกผันหากมีมลภาวะอากาศจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดดได้ชั้นอุณหภูมิผกผันนี้ โอกาสที่สารพิษจะกระจายและเคลื่อนที่ออกจากบริเวณแหล่งกำเนิดจะลดลง และหากลมสงบการกระจายของสารพิษตามแนวราบก็จะเป็นไปได้น้อยทำให้สารพิษวน

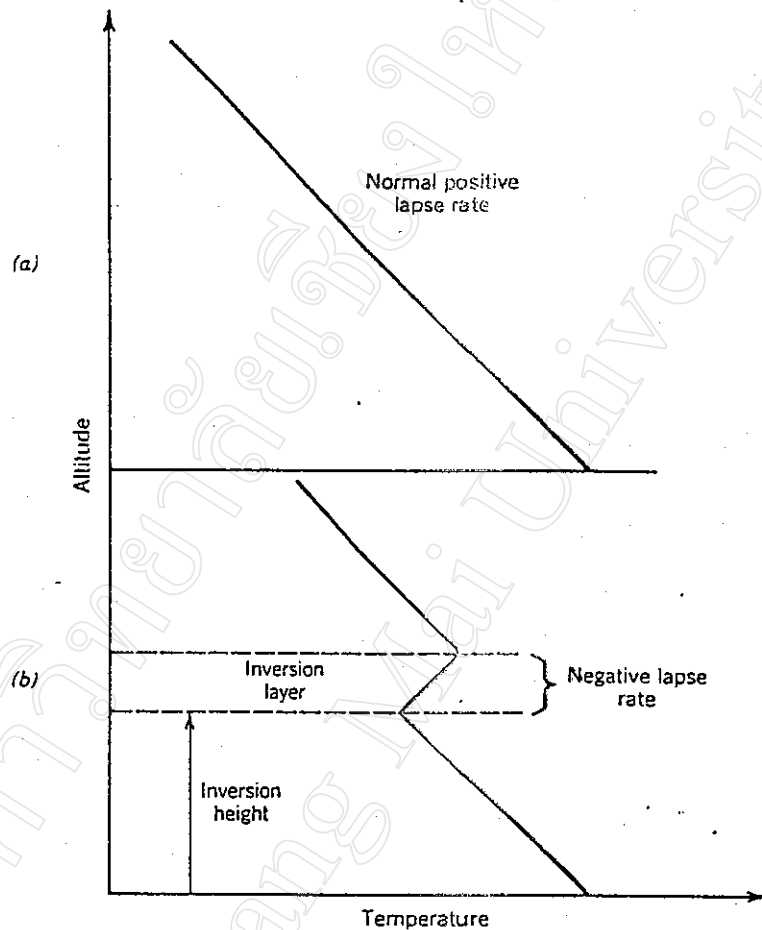
เวียนสะสมใกล้แหล่งกำเนิด และบริเวณที่อยู่ใต้ลม จะเป็นบริเวณที่มีการสะสมของสารพิษมากกว่าบริเวณแหล่งกำเนิด

นอกเหนือจากบทบาทของสภาพอากาศที่มีต่อการกระจายและการเคลื่อนที่ของสารพิษแล้ว ตัวแปรอากาศอื่น เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง หมอก และไอน้ำ ก็อาจมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาเคมีของสารพิษในอากาศได้เช่นกัน



Average temperature structure of the atmosphere from 0 to 120 km.
Data are taken from the *U.S. Standard Atmosphere, 1962*, which depicts idealized middle-latitude year-round mean conditions. From 0 to 32 km this corresponds with the ICAO STANDARD ATMOSPHERE as adopted by WMO.

รูปที่ 2.2 การแบ่งชั้นของบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามความสูง



ที่มาของข้อมูล : Atmospheric Chemistry : Fundamental and Experimental Techniques.

โดย Barbara J. Finlayson - Pitts และ James N. Pitts, Jr. หน้า 26

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามความสูง (a) normal lapse rate, (b) ช่วงการเปลี่ยน lapse rate จากบวกเป็นลบ

2.3.1.2. **บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)** เป็นชั้นของบรรยากาศที่อยู่เหนือจากบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ขึ้นไปประมาณ 50 กิโลเมตรจากพื้นโลก อุณหภูมิของอากาศในชั้นนี้จะเพิ่มสูงขึ้นตามความสูงมวลอากาศก่อนข้างร้อนเนื่องจากการดูดซับรังสีอุลตราไวโอเล็ตของ โอโซนที่มีอยู่มากที่สุดถึง 90 % ของโอโซนทั้งหมดที่มีอยู่ในบรรยากาศที่หุ้มห่อโลก (รูปที่ 1.1) นอกจากนี้บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ยังเป็นบรรยากาศที่สงบเงียบ ไม่ได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศใกล้พื้นผิวโลก จึงเป็นบริเวณที่นับว่าเหมาะสมกับการบินมากที่สุด

2.3.1.3. **บรรยากาศชั้นมิโซสเฟียร์ (Mesosphere)** เป็นบรรยากาศชั้นที่อยู่ถัดจากชั้นสตราโตสเฟียร์ขึ้นไปจนถึงระดับความสูง 85 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก อุณหภูมิของอากาศในชั้นนี้จะลดลงตามความสูงเช่นเดียวกับบรรยากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์และในบรรยากาศชั้นนี้เริ่มพบโมเลกุลของก๊าซในรูปของไอออน (ion) เช่น ไอออนของ NO และไอออนของ O_2

2.3.1.4. **บรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere)** เป็นบรรยากาศชั้นที่อยู่เหนือชั้นมิโซสเฟียร์ขึ้นไปจนถึงความสูงประมาณ 200 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก อุณหภูมิของอากาศในชั้นนี้จะสูงขึ้นตามความสูง ส่วนประกอบของบรรยากาศในชั้นนี้ ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน บางครั้งเรียกชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์ว่า บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เนื่องจากเกิดการแตกตัวของก๊าซเป็นอิเล็กตรอนและไอออนจากรังสีคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์ ก๊าซในชั้นนี้จึงเป็นสื่อไฟฟ้า หรือบริเวณที่มี Ionization ซึ่งมนุษย์ใช้ประโยชน์อย่างมากในระบบสื่อสารวิทยุคลื่นยาว (long wave)

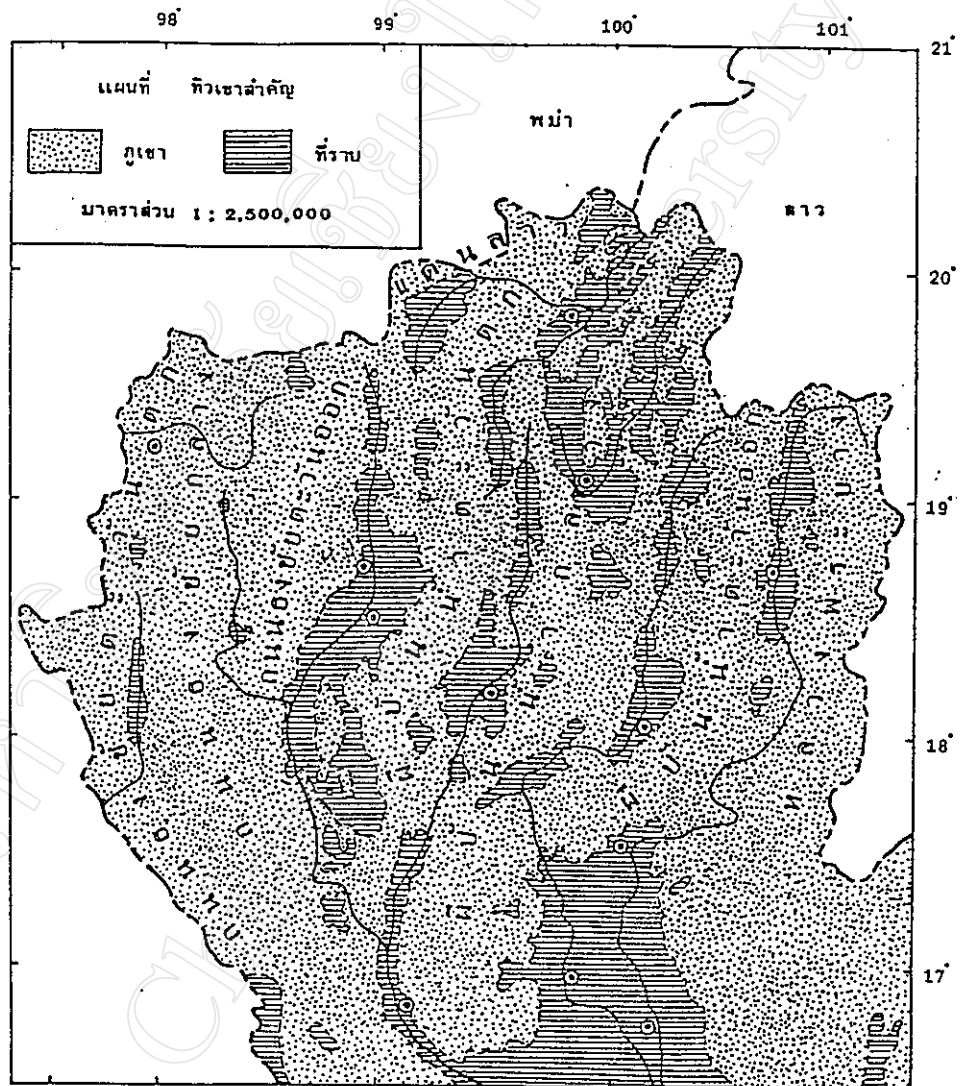
2.3.1.5. **บรรยากาศชั้นเอกโซสเฟียร์ (Exosphere)** เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดที่หุ้มห่อโลก มีอากาศเบาบาง ไม่สามารถกำหนดขอบเขตได้ อากาศส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซที่เบา เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซฮีเลียม (He)

สำหรับระดับความสูงประมาณ 10-20 กิโลเมตร, 45-52 กิโลเมตร และ 80-90 กิโลเมตร เป็นช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูง (อุณหภูมิคงที่) เรียกว่า ระดับโทรโพพอส, สตราโตพอส และมิโซพอสตามลำดับ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นของบรรยากาศโทรโพสเฟียร์, สตราโตสเฟียร์ และมิโทรสเฟียร์

2.3.2. ลักษณะของภูมิประเทศ (Topography)

บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วยทิวเขาน้อยใหญ่ โดยมีทิวเขาที่สำคัญได้แก่ ทิวเขาถนนธงชัย และทิวเขาผีปันน้ำ มียอดเขาที่สูงที่สุดของประเทศไทย คือยอดดอยอินทนนท์ อยู่ในเขตอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 2,601.65 เมตร ลักษณะภูมิประเทศของภาคเหนือเป็นทิวเขาน้อยใหญ่ (รูปที่ 2.4) มีส่วนที่เป็นที่ราบลุ่มตามแนวลำน้ำแม่ปิงในแนวเหนือ - ใต้ ทำให้ลมส่วนใหญ่ที่พัดเข้าสู่จังหวัดเชียงใหม่และลำปางในช่วงฤดูฝน (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) เป็นลมใต้ หรือลมตะวันตกเฉียงใต้ (ตามรูปที่ 2.7) ซึ่งเป็นลมที่พัดผ่านย่านน้ำมหาสมุทรอินเดีย ทำให้มวลอากาศที่พัดผ่านย่านน้ำมหาสมุทรดังกล่าว

อากาศที่สะอาดปราศจากมลภาวะ ต่างกับในช่วงฤดูแล้งที่ลมส่วนใหญ่มาจากย่านอุตสาหกรรมและบริเวณที่มีประชากรหนาแน่นจากประเทศจีน ซึ่งจัดเป็นลมที่มีมลภาวะปนอยู่



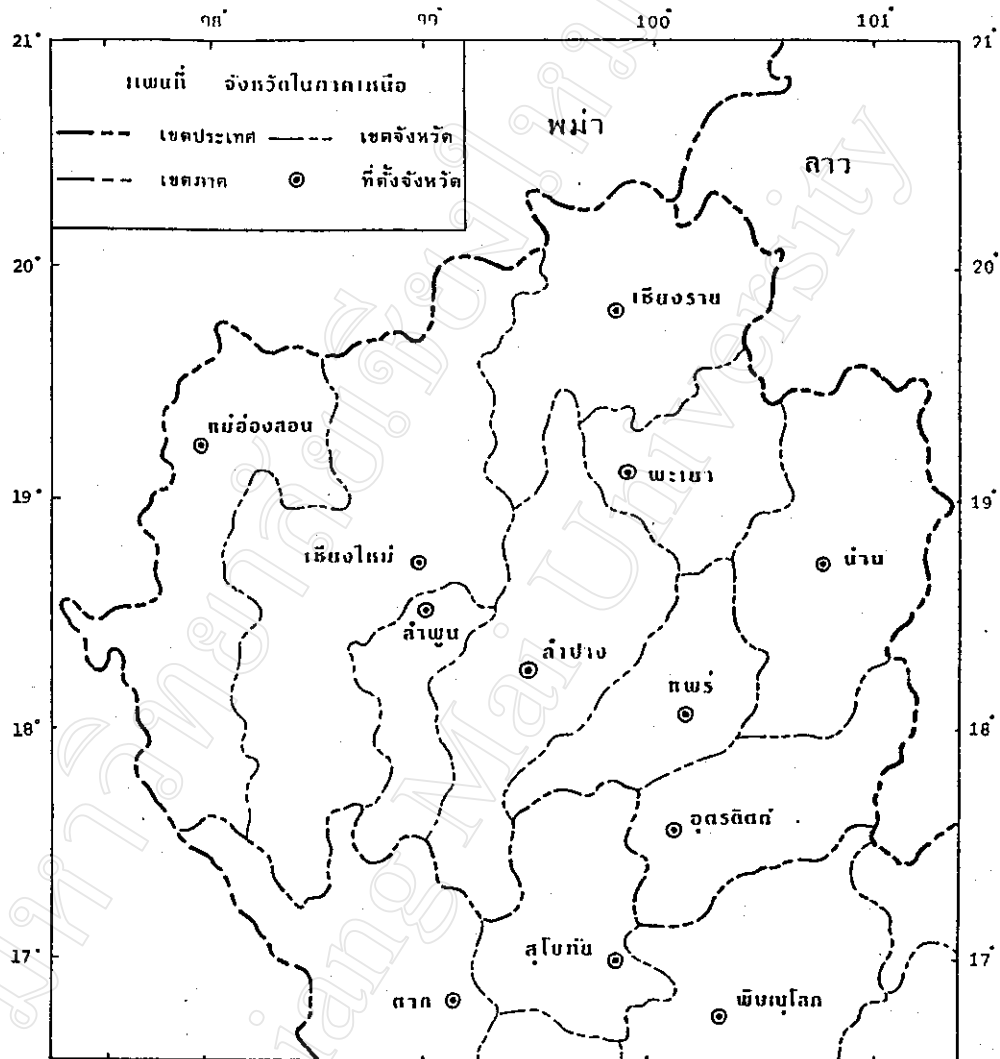
ข้อมูลจาก แผนที่เล่มแสดงทรัพยากรของประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร พ.ศ. 2515

อักษรานุกรมภูมิศาสตร์ไทย 2520 และแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

ข้อมูลจาก แผนที่เล่มแสดงทรัพยากรของประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร พ.ศ. 2515

อักษรานุกรมภูมิศาสตร์ไทย 2520 และแผนที่ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

รูปที่ 2.4 ลักษณะภูมิประเทศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

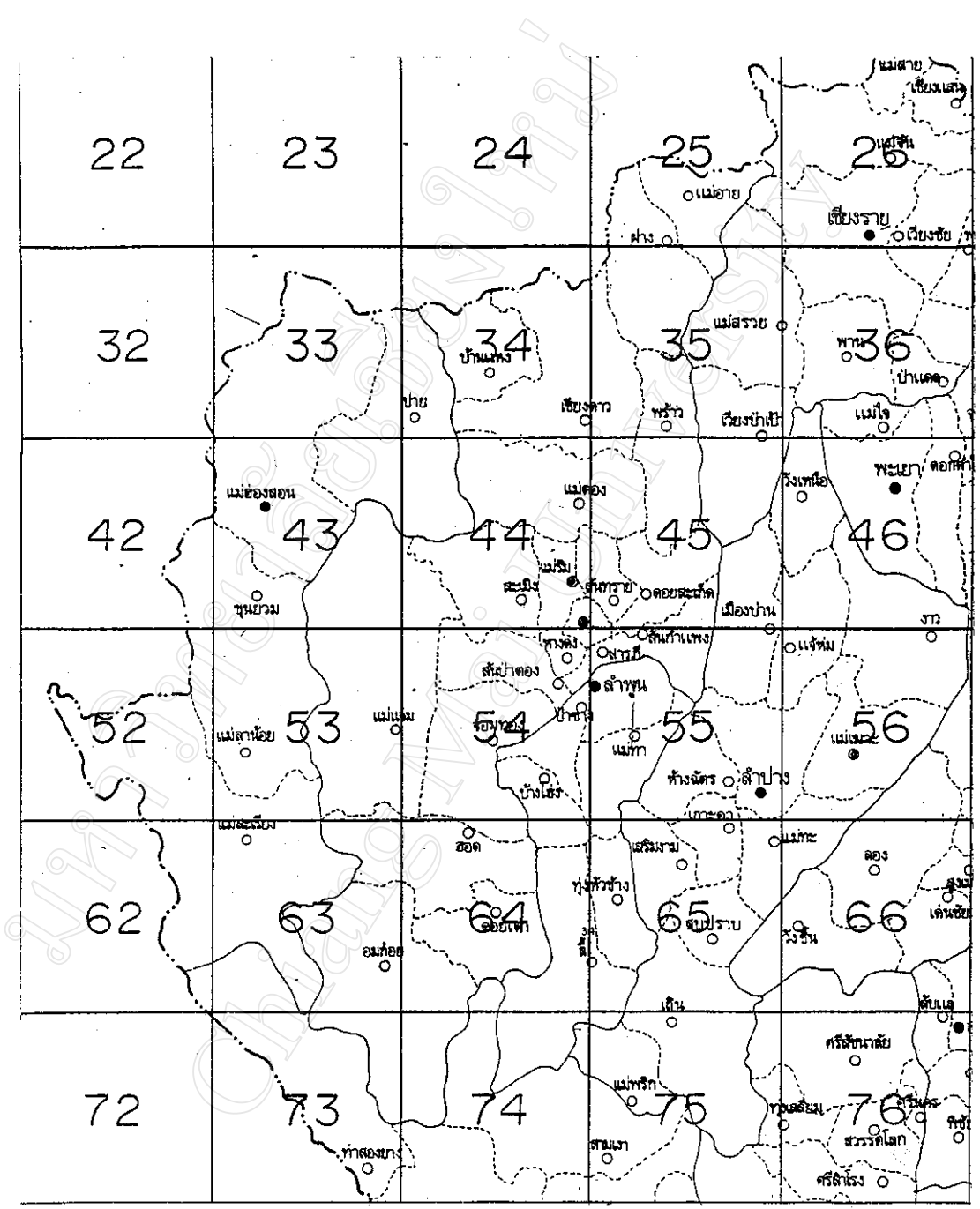


ข้อมูลจาก แผนที่เล่มแสดงทรัพยากรของประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร พ.ศ. 2515

มาตราส่วน 1: 2,500,000

ข้อมูลจาก แผนที่เล่มแสดงทรัพยากรของประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร พ.ศ. 2515

รูปที่ 2.5 แสดงอาณาเขตจังหวัดในภาคเหนือ



ข้อมูลจากภาพเรดาร์ตรวจอากาศรัศมี 300 กิโลเมตร ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยา
รูปที่ 2.6 แสดงอาณาเขตของอำเภอในจังหวัดภาคเหนือตอนบน

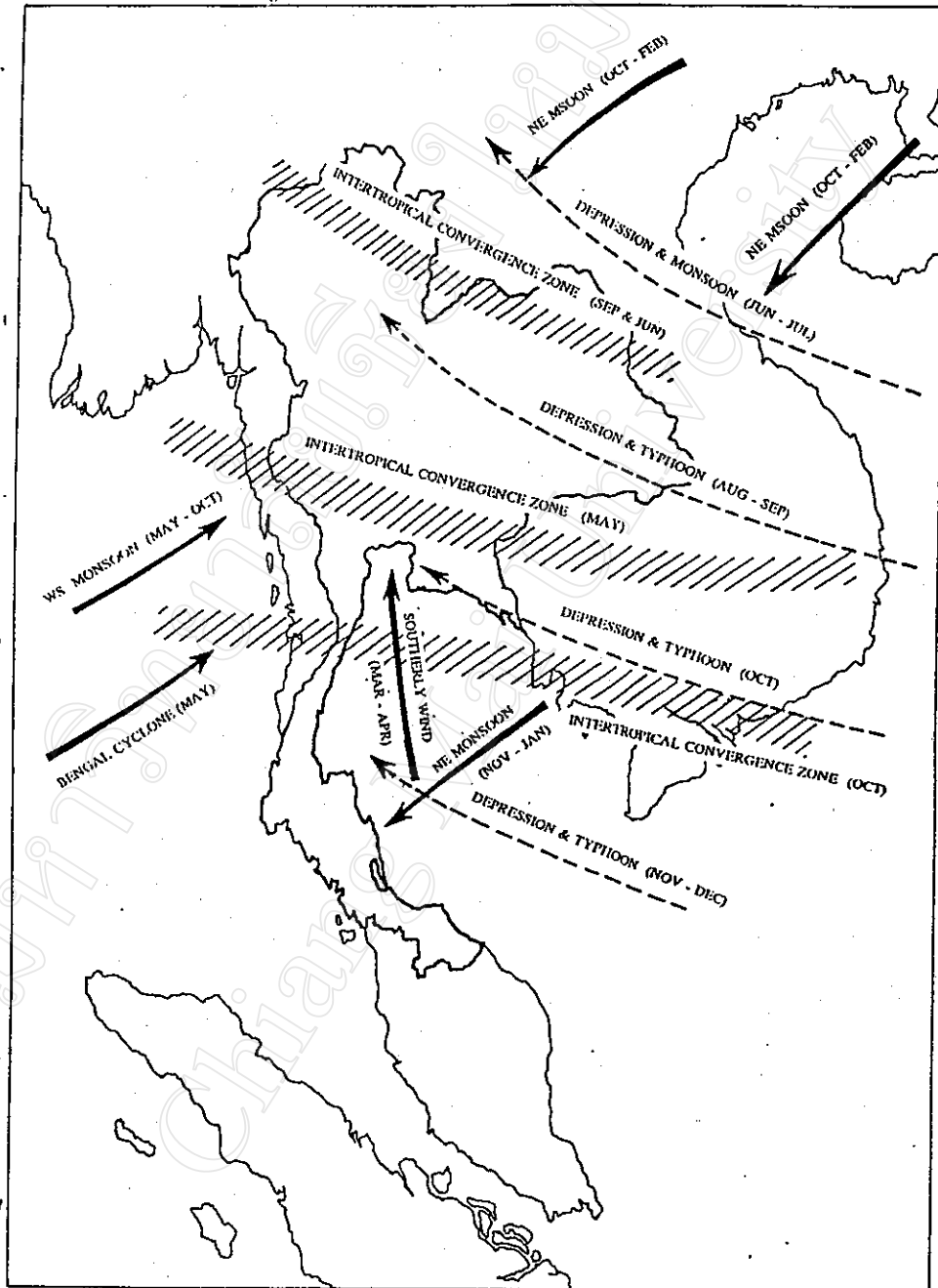
2.3.3. ลมประจำที่พัดผ่าน

ลมประจำที่พัดผ่านยังเป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ในการเคลื่อนที่ของสารพิษต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของสารพิษสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวของแต่ละท้องถิ่น โดยความเข้มข้นของโอโซนในเขตเมืองที่มีแหล่งอุตสาหกรรมและการใช้รถยนต์หนาแน่นถูกพัดพาออกไปนอกเมืองที่อยู่ได้ลม

ความเข้มข้นของโอโซนในตัวเมืองหรือในแหล่งอุตสาหกรรมจะถูกทำลายลงไปบ้าง เนื่องจาก NO ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์หรือควันต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม ทำปฏิกิริยากับ O_3 ตามสมการ (2.6) มีผลทำให้ความเข้มข้นของโอโซนในตัวเมืองหรือในแหล่งอุตสาหกรรมน้อยกว่าโอโซนในเขตชนบทที่อยู่ใกล้เคียง อย่างไรก็ตามในช่วงวิกฤติของมลภาวะอากาศจากปฏิกิริยาเคมีแสงแดด ระดับความเข้มข้นของโอโซนในเขตเมืองอาจจะมีมากในระดับที่ใกล้เคียงกับโอโซนในเขตชนบทได้

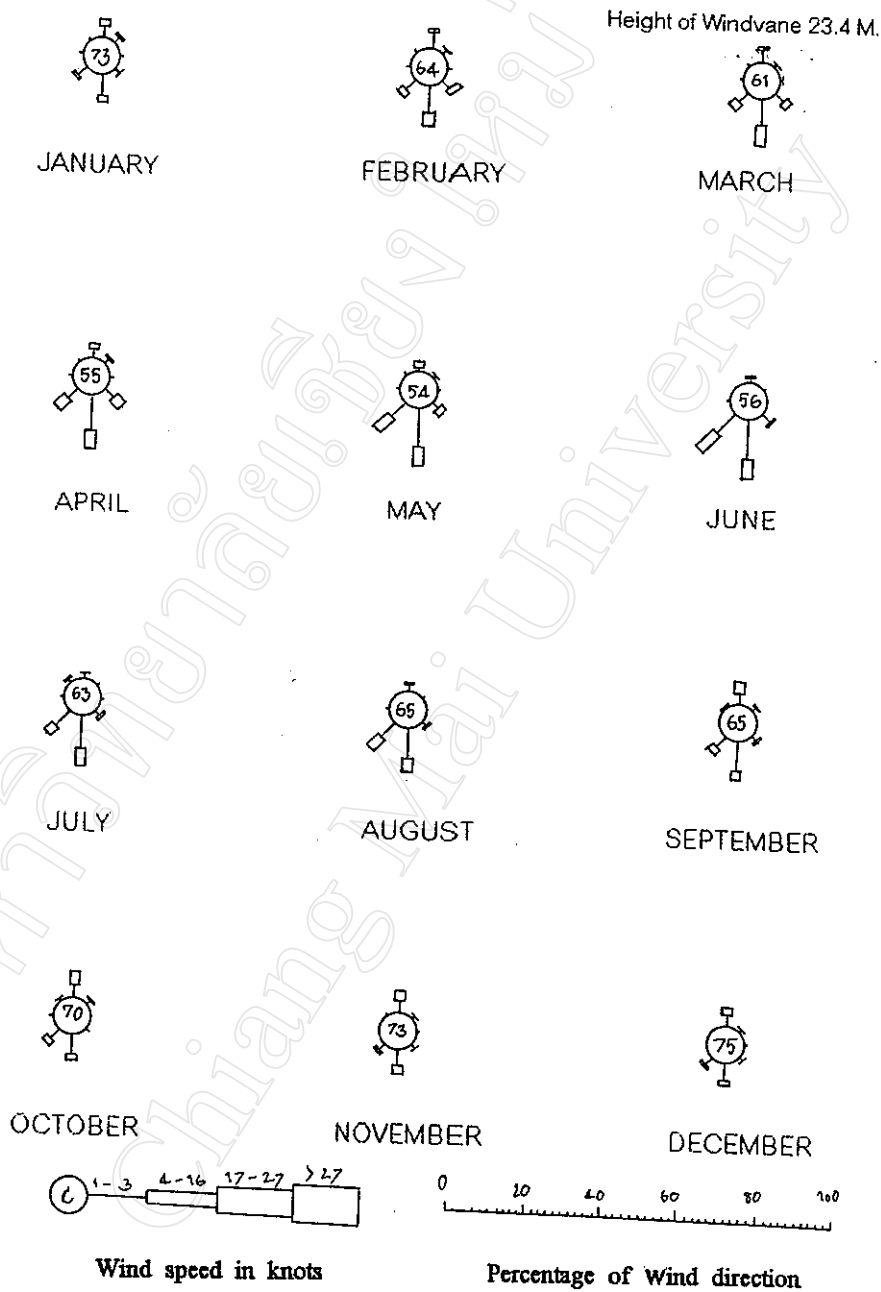
สำหรับภูมิอากาศของประเทศไทยนั้น นับว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด ได้แก่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดปกคลุมในช่วงฤดูหนาว (จากประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์) ลมดังกล่าวพัดผ่านประเทศจีนตอนใต้ก่อนจะมาถึงประเทศไทย จัดเป็นอากาศที่มีมลภาวะ เนื่องจากพัดผ่านเมืองต่าง ๆ ที่เป็นเขตอุตสาหกรรม และมีประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ตรงข้ามกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ที่พัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูฝน (จากประมาณกลางเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม) พัดผ่านน่านน้ำมหาสมุทรอินเดียและอ่าวเบงกอล จัดเป็นอากาศที่สะอาด ลักษณะดังกล่าวทำให้มลภาวะในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน (จากประมาณกลางเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม) พัดผ่านน่านน้ำมหาสมุทรอินเดียและอ่าวเบงกอล จัดเป็นอากาศที่สะอาด ตามรูปที่ 2.7 ลักษณะดังกล่าวทำให้มลภาวะในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน และจากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความถี่ของลมในแต่ละช่วงความเร็วและทิศทางของลมที่พัดเข้าสู่จังหวัดเชียงใหม่พบว่า ลมส่วนใหญ่ที่พัดเข้าสู่พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่เป็นลมใต้ และลมตะวันตกเฉียงใต้ ตามรูปที่ 2.8 เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ราบตามแนวลุ่มแม่น้ำปิงในแนวเหนือใต้ ตามรูปที่ 2.4

Monsoon & Tropical Storms Track Over Thailand



รูปที่ 2.7 แสดงทิศทางของลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย และแนวการเคลื่อนตัวของพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทย

The mean Percentage Frequency of Wind in each speed and Direction
in Chiang Mai



รูปที่ 2.8 แสดงค่าเฉลี่ยของความถี่ของลมในแต่ละความเร็วและทิศทางเป็นเปอร์เซ็นต์
ของจังหวัดเชียงใหม่

ที่มาของข้อมูล : กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา