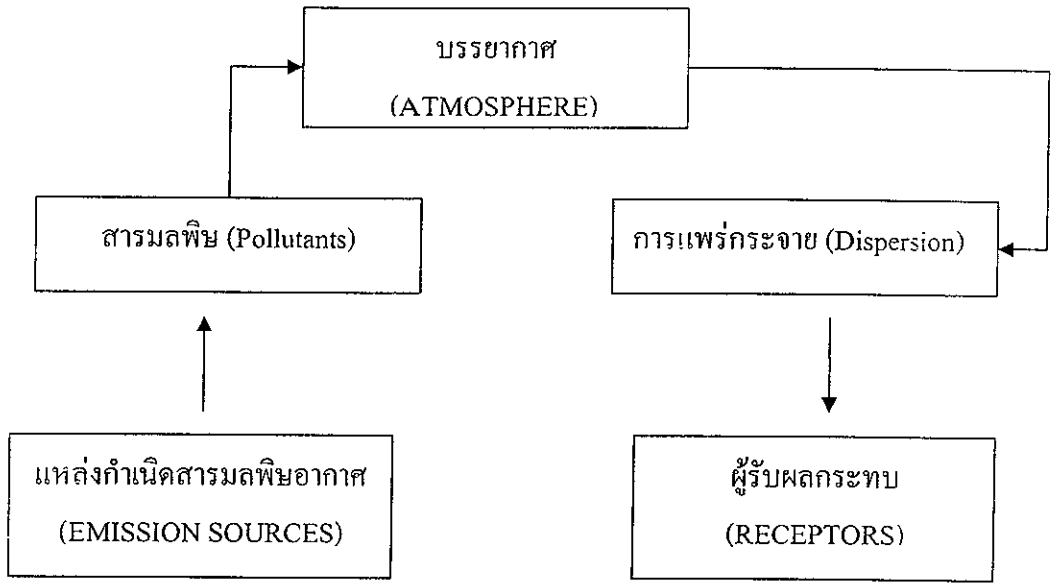
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศ ที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานาน ที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ หรืออาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งได้ สารมลพิษอากาศหลักที่สำคัญคือ ฝุ่นละออง(SPM) ตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) และก๊าซโอโซน(O_3)

ระบบภาวะมลพิษอากาศ มีส่วนประกอบ 3 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษ(Emission Sources) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และผู้ที่ได้รับผลเสียหรือผลกระทบ (Receptors) แสดงเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1ระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air Pollution System)

1. แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ(Emission Sources)

เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศและระบายออกไปสู่อากาศภายนอก โดยที่ชนิดและปริมาณของสารมลพาอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และวิธีการควบคุมการระบายสารมลพิษอากาศ

2. อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere)

เป็นส่วนของระบบที่รับรองสารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดต่างๆ และเป็นตัวกลาง(Medium) ให้สารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศ มีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็ว และทิศทางกระแสลม รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา และอาคารบ้านเรือน เป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ

3. ผู้รับผลเสียหรือผลกระทบ (Receptors)

เป็นส่วนประกอบของระบบที่สัมผัสกับสารมลพิษอากาศ ทำให้ได้รับความเสียหาย หรืออันตราย โดยผู้ได้รับเสียอาจเป็นสิ่งมีชีวิต เช่น คน พืช สัตว์ หรือเป็นสิ่งไม่มีชีวิต เช่น เสื้อผ้า อาคารบ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ความเสียหายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและระยะเวลาที่สัมผัส

ส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษอากาศที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณและชนิดของสารมลพิษที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิด(Emission Sources) สภาวะทางอุตุนิยมวิทยา(Meteorology) และสภาพภูมิประเทศ(Topography) จะเป็นตัวกำหนดชนิด ปริมาณ และความเข้มของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศที่อยู่ห่างไกลออกไป ส่วนคุณภาพอากาศจะเป็นตัวกำหนดถึงลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นอีก

1.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ(Sources of Air Pollutants)

แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.2.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources) เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า ทะเล มหาสมุทร เป็นต้น

1.2.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์(Man – Made Sources) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.2.2.1 แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Sources) ได้แก่ ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

1.2.2.2 แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) หมายถึงแหล่งกำเนิดไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารมลพิษอากาศเกิดจากการใช้

1.2.2.3 เชื้อเพลิงและเกิดจากกระบวนการการผลิตต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.1 โดยสรุปได้ดังนี้

ก. กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เตาเผาซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการก่อให้เกิดพลังงานความร้อน เตาเผากำจัดของเสีย นอกจากจะทำให้เกิด SO_2 NO_x เขม่าและCO แล้วบางครั้งยังมีไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และไดออกซินขึ้นอีกด้วย

ข. การถลุงและแปรรูปโลหะ ในกระบวนการถลุงแร่ เช่น การเผาและอบ จะเกิดการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี

ค. การทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผง เช่น การบดวัตถุดิบ การคัดแยก การผสม แปรรูปและการขนส่งที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง

ง. การกลั่นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการใช้สารละลายและสีจะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

จ. การแพร่กระจายของก๊าซพิษเกิดจากการจัดการที่ขาดความระมัดระวัง การกระจายของสารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า เป็นต้น

ฉ. การก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละออง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างมลพิษอากาศกับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ประเภทอุตสาหกรรม	ชื่อสารมลพิษอากาศ
อุตสาหกรรม ปุ๋ย,เซรามิก,อลูมิเนียม	ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ : HF
โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมก๊าซ แอมโมเนีย และเยื่อกระดาษ	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ : H_2S
โรงถลุงโลหะ อุตสาหกรรมเคมี	เซเลเนียมไดออกไซด์ : SeO_2
อุตสาหกรรมโซดาไฟ กระบวนการผลิตพลาสติก	ไฮโดรเจนคลอไรด์ : HCl
การผลิตกรดดินประสิว อุตสาหกรรมต่างๆที่มีการสันดาป	ไนโตรเจนไดออกไซด์ : NO_2
การผลิตกรดกำมะถัน อุตสาหกรรมใช้น้ำมันเตา – ถ่านหิน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ : SO_2
อุตสาหกรรมปุ๋ย	ซิลิคอนฟลูออไรด์ : SiF_4 แอมโมเนีย : NH_3 กำมะถัน : H_2SO_4
อุตสาหกรรมย้อมสี การสังเคราะห์สารอินทรีย์	ฟอสจีน (PHOSGENE) : $COCl_2$
การผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ ตัวทำละลาย การฆ่าเชื้อของพืช	คาร์บอนไดซัลไฟด์ : CS_2
การผลิตกรดHydrocyanicการผลิตเหล็ก อุตสาหกรรมก๊าซ	ไฮโดรเจนไซยาไนด์ : HCN
โรงกลั่นน้ำมัน การผลิตฟอร์มาลีน ตัวทำละลายอินทรีย์	เบนซีน : C_6H_6
อุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเลียม	Mercaptan : $C_2H_5CHCH_2$

ที่มา: รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2540 สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม

1.3 ประเภทของสารมลพิษอากาศ (Types of Air Pollutants)

สารมลพิษอากาศแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ

1. สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants)

เป็นสารมลพิษอากาศที่เกิดขึ้น และถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ขี้เถ้า และเขม่าควันที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงใน ยานพาหนะ และเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. สารมลพิษอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants)

เป็นสารมลพิษอากาศที่ไม่ได้เกิดขึ้น และถูกระบายจากแหล่งกำเนิดใดๆ แต่เกิดขึ้นในบรรยากาศทั่วๆไป จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิด้วยกันเอง หรือปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนกับสารประกอบคาร์บอนอื่นๆและสารมลพิษอากาศที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic) เช่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และฝุ่นตะกั่ว เป็นต้น

ในประเทศไทยได้มีการประกาศค่าปริมาณสารมลพิษที่ยอมให้ปล่อยสู่บรรยากาศ เพื่อควบคุมสารมลพิษหลัก จำนวน 7 ชนิด ซึ่งเป็นสารมลพิษโอกาสปฐมภูมิเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวม (Total Suspended Particulate) กำมะถัน ฝุ่นขนาดเล็ก (PM10) และโอโซน ซึ่งเป็นสารมลพิษอากาศทุติยภูมินอกจากนี้แล้ว ยังมีสารมลพิษอากาศที่เป็นอันตราย (Hazardous Air Pollutants: Haps หรือ Toxic Air Pollutants หรือ Air toxic) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งและทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว โดยจะทำลายภูมิคุ้มกันระบบประสาทและทำให้เกิดความผิดปรกติของระบบสืบพันธุ์และต่อมไร้ท่อ เป็นต้น

1.4 ผลกระทบจากมลพิษอากาศ (Air pollution Effects)

มลพิษอากาศททำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งต่างๆ ได้มากมาย เช่น เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ ทำลายพืช ทำให้วัสดุและสิ่งของเสียหาย ทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศวิทยา โดยลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มของสารมลพิษอากาศรวมทั้งระยะเวลาของการสัมผัสกับสารมลพิษอากาศ นอกจากนี้สารมลพิษอากาศบางชนิดยังอาจมีผลที่เสริมฤทธิ์กัน(Synergism) ทำให้ผลที่เกิดขึ้นทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าผลที่เกิดขึ้นหากมีเพียงสารมลพิษอากาศเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้นหรืออาจมีผลหักล้างซึ่งกันและกัน (Antagonism) ทำให้ผลที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยลง

1.4.4 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับชีวิตและความแข็งแรงสมบูรณ์ของมนุษย์ อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเริ่มตั้งแต่การก่อให้เกิดความรำคาญ ระคายเคือง เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกายโดยไม่แสดงอาการจนกระทั่งมีอาการชัดเจน และถึงขั้นเสียชีวิตในที่สุด นอกจากนี้อันตรายต่อสุขภาพอาจจะไม่เกิดขึ้นโดยตรงเนื่องจากสารมลพิษอากาศเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดโดยทางอ้อมจากโรคแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เมื่อร่างกายอ่อนแอจากการได้รับหรือสัมผัสกับสารมลพิษอากาศ โดยปรกติแล้วมนุษย์จะรับสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจและการสัมผัสผิวหนังและนัยน์ตา ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของสารมลพิษอากาศหลักที่ประเทศไทยได้มีการประกาศเป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ สรุปได้ดังนี้

1. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี มีมีรสและกลิ่น เบากว่าอากาศทั่วไปเล็กน้อย เมื่อหายใจเข้าไปก๊าซนี้จะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงได้มากกว่าออกซิเจนถึง 200 - 250 เท่า เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (COHb) ซึ่งลดความสามารถของเลือดในการเป็นตัวนำออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ โดยทั่วไปองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดคาร์บอกซีฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศที่สูดหายใจเข้าไป และระยะเวลาที่อยู่ในสภาวะนั้น สำหรับอาการสนองตอบของมนุษย์ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์คาร์บอกซีฮีโมลโกลบิน และความไวรับของแต่ละบุคคล (Individual Susceptibility) เป็นสำคัญ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับของคาร์บอมอนอกไซด์ในอากาศกับปริมาณคาร์บอกซีฮีโมโกบินในเลือดในคนที่สูดเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ เข้าไป ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอาการสนองตอบและระดับคาร์บอกซีฮีโมโกบินอิ่มตัวในเลือด

ร้อยละของคาร์บอกซีฮีโมโกบินอิ่มตัวในเลือด	อาการสนองตอบของคน (ผู้ใหญ่)	อาการสนองตอบของผู้ป่วยโรคหัวใจ
0.3-0.7	ยังไม่ปรากฏอาการใดๆ(No Effect)	-
1-5	กระตุ้นให้หัวใจสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะสำคัญบางส่วนเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นการชดเชย	หัวใจไม่สามารถสูบฉีดเลือดชดเชยได้ สำหรับผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจตีบจะมีความสามารถในการออกกำลังกายลดลงเมื่อมีจำนวนคาร์บอกซีฮีโมโกบินอิ่มตัวร้อยละ 2.5-3 การออกกำลังกายเพียงเล็กน้อย จะทำให้ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจตีบเกิดอาการผิดปรกติ เช่น เจ็บหน้าอก อาจเป็นอันตรายถึงตายได้
5-9	การมองเห็นต้องใช้แสงไฟมากกว่าปรกติ	
16-20		
20-30	ปวดศีรษะ การมองเห็นพร่ามัว ปวดศีรษะ คลื่นไส้ ลดความสามารถในการทำงานประณีต	-
30-40	ปวดศีรษะรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเปลี้ย เป็นลม หมดสติ (Syncope)	-
50	หมดสติ(Coma) ชัก	-
60-70	ถึงตายหากไม่ได้รับการรักษาทันที	-

หมายเหตุ : ถ้าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศสูงมาก ผู้ที่ได้รับจะมีอาการรุนแรง หมดสติ และถึงตายได้ทันที โดยไม่มีอาการนำ

ได้มีการทดลองจำนวนมาก เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการสนองตอบของมนุษย์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จำนวนร้อยละของคาร์บอกซีฮีโมโกบิน และระยะเวลาที่อยู่ในสภาวะนั้น ซึ่งผลการทดลอง Lindgren (1961) และ Stewart (1970) กล่าวสอดคล้องกันว่า อาการอ่อนเพลียและปวดศีรษะจะไม่เกิดขึ้นจนกว่า คาร์บอกซีฮีโมโกบินอิ่มตัวเกินร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองของMcFarlandและคณะ (1944) ได้รายงานว่า การมองเห็นจะผิดปรกติเมื่อคาร์บอกซีฮีโมโกบินเพิ่มจากร้อยละ 5 ร้อยละ 20 นอกจากนี้ยังมีผลการทดลองของ Smith (1968) รายงานว่าเมื่อคาร์บอกซีฮีโมโกบินมีระดับร้อยละ 5ขึ้นไป จะเป็นเหตุให้ผู้ที่เป็นโรคหัวใจได้รับอันตรายมากที่สุด แต่การพิจารณาโดยถือเอาผู้ป่วยเป็นเกณฑ์ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการควบคุมดูแล ให้เป็นไปตามมาตรฐานจากรายงานผลการทดลองดังกล่าว การกำหนดมาตรฐานครั้งแรก ในปี 2524 จึงมีความเห็นว่าให้กำหนดระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทำให้เกิดคาร์บอกซีฮีโมโกบินร้อยละ 4 โดยพิจารณาข้อมูลของ Cobum(1965)Peterson(1969) และStewart(1970) ซึ่งสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่2.4

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอมอนอกไซด์ในอากาศกับปริมาณคาร์บอกซีฮีโมโกบินในเลือดของคนที่ได้สูดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป

ความเข้มข้นของ CO ในอากาศ		คาร์บอกซีฮีโมโกบิน(ร้อยละ)		
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน (ppm)	หลังจาก 1 ชั่วโมง	หลังจาก 8ชั่วโมง	ที่ภาวะสมดุล
117	100	3.6	12.9	15
70	60	2.5	8.7	10
35	30	1.3	4.5	5
23	20	0.8	2.8	3.3
12	10	0.4	1.4	1.7

ที่มา : องค์การอนามัยโลก, พ.ศ. 2515

ตารางที่ 2.4 ความเข้มเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศที่ทำให้เกิดคาร์บอกซีฮีโมโกบินในเลือดร้อยละ4

ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์		เวลา (ชั่วโมง)
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน(ppm)	
29	**25**	**24**
35	**35**	**8**
117	**100**	**1**

ในการพิจารณามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศในปี พ.ศ. 2524 นั้น ได้อัตราความปลอดภัย (Safety Factor) เป็น 2 ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 ได้ประกาศปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศใหม่ โดยกำหนดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ ให้มีอัตราส่วนความปลอดภัย เพิ่มขึ้นเป็น 3 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศ

ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์				เวลา (ชั่วโมง)
ปี 2524		ปี 2538		
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน (ppm)	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน (ppm)	
20	17	10.3	9	8
50	43	34.2	30	1

2. ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

ออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วย ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนไตรออกไซด์(N_2O_3) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไดไนโตรเจนไดออกไซด์ (N_2O_2) ไดไนโตรเจนเตตราออกไซด์ (N_2O_4) และไดไนโตรเจนเพนต๊อกไซด์ (N_2O_5) ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างๆเช่น ก๊าซถ่านหิน ฟืน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของออกไซด์ของไนโตรเจนซับซ้อนมาก และขึ้นอยู่กับสารมลพิษอื่นๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอน โอโซน สารประกอบซัลเฟอร์ เป็นต้น รวมทั้งสภาวะทางธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ก็เป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งเช่นกัน ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2)

ไนตริกออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสีและกลิ่น ซึ่งส่วนมากเมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศจะเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ และมีผลต่อมนุษย์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.6 ซึ่งพบว่าค่าต่ำสุดที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยโรคหืด คือ 190 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(0.1 ส่วนในล้านส่วน๗ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อวันที่หายใจเอาก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เข้าไป มีผลทำให้เกิดหลอดลมตีบตันมากขึ้นแต่ก็ยังไม่ระบุได้แน่ชัดควรมีการทดสอบต่อไปอีก

3. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่ไวไฟ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และจะรวมตัวกันเป็นกรดซัลฟุริกเมื่อมีความชื้นเพียงพอ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซซัลฟุริก อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง เป็นต้น ส่วนฝุ่นละออง อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองเท่านั้น ยกเว้น ฝุ่นละอองบางประเภท ที่มีพิษอยู่ในตัวของมันเองเช่น ซิลิกา ฝุ่นละอองของโลหะหนักต่างๆ.

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยมากขึ้นเมื่ออยู่รวมกับฝุ่นละออง เนื่องจากทำให้เพิ่มความละคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจ (ดังแสดงในตารางที่ 2.7) นอกจากนั้น ฝุ่นละอองบางชนิดเป็นสารมีพิษ และบางชนิดทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นกรดซัลฟุริกได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น ละอองไอของเฟอรัส แมงกานีส วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อปอดอย่างรุนแรง ตลอกจนเพิ่มความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศภายในระบบทางเดินหายใจ

ตารางที่ 2.6 ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์

ความเข้มข้น		ระยะเวลาที่ได้รับก๊าซ	เหตุผล	เอกสารอ้างอิง
มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน (ppm)			
			กลิ่น	
230	0.12	-	ชายปรกติแข็งแรง จำนวน 3 คนใน 9 คน จะได้กลิ่น	Henschlerและคณะ (1967)
230	0.12	-	ส่วนใหญ่ของจำนวน 14 คน ได้กลิ่นทันทีที่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง	Salamberidze(1965)
200	0.11	-	26 คน ในจำนวน 28 คนได้กลิ่นทันทีเมื่อเริ่มต้นการทดลอง	Feldman(1974)

			ผลต่อการทำงานของปอด	
1,300- 3,800 190		10 นาที 1 ชม./วัน	เพิ่มความต้านทานของระบบทางเดินหายใจทั้งการหายใจเข้าและการหายใจออก เพิ่มความต้านทานของระบบทางเดินหายใจและเพิ่มอาการตีบตันของทางเดินหายใจในผู้ป่วย	Suzuki&Ishikawa (1965) Orchekและคณะ (1976)
			โรคหืด 13 คน จากจำนวน 20 คน เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตด้วยโรคจากอาการบวมน้ำ(Pulmonary Edema)หรือสลบเนื่องจากสมองขาดออกซิเจน	Grayson(1956)
			ผลต่อชุมชน	
94			เปรียบผลซึ่งเกิดต่อชนสองกลุ่มนับถือศาสนาเดียวกัน อยู่ต่างเมือง ซึ่งมีความเข้มข้นของมลพิษไม่เท่ากัน ไม่ปรากฏผลต่อการทำงานของปอด และอัตราผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ต่างกันอย่างไร เมื่อใช้ความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็น 43 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชุมชนในเมือง ซึ่งถือเป็นกลุ่มเปรียบเทียบ(Control Group)	Cohen และคณะ (1972)
น้อยกว่า, เท่ากับ 940	0.50	1 ชม.	ไม่ปรากฏว่าเกิดโรคทางเดินหายใจ	U.S.EPA (1976b)
			เฉียบพลันต่อแม่บ้านซึ่งประกอบอาหารด้วยเตาอบก๊าซ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เตาอบไฟฟ้า	

ตารางที่ 2.7 ผลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และควันหรือฝุ่นละอองต่อมนุษย์

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ส่วนในล้าน)	ควันหรือฝุ่นละออง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ผลที่เกิดขึ้น	เอกสารอ้างอิง
1500(0.52) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	เท่ากับหรือมากกว่า 6	เพิ่มอัตราการตาย	MC carroll and Bradley (1966)
เท่ากับหรือมากกว่า 715 (0.25) (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	750	อาจเพิ่มอัตราการตายต่อวัน	Lawther (1963)
500(0.19) (ค่าเฉลี่ย24 ชั่วโมง)	ต่ำ	อาจเพิ่มอัตราการตาย	Brasser และคณะ (1966)
300-500(0.11-0.19) (ค่าเฉลี่ย24 ชั่วโมง)	ต่ำ	เพิ่มอัตราป่วยเข้ารับรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคทางเดินหายใจ เพิ่มอัตราการขาดงาน	Brasserและคณะ (1966)
715(0.25) (ค่าเฉลี่ย24 ชั่วโมง)	มี	อัตราการป่วยของผู้ที่มีอายุเกิน 54 ปี เพิ่มขึ้นโดยฉับพลัน	Carnowและคณะ (1968)
600(0.21) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	300	ผู้ป่วยด้วยโรคปอดเรื้อรังอาจมีอาการรุนแรง	Lawther(1958)
105-265(0.037-0.092) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	185	มีอาการโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้นและอาจเกิดโรคปอด	Pertrilli(1966)
120(0.046) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	100	มีอาการโรคทางเดินหายใจบ่อยครั้งขึ้นและอาการร้ายแรงขึ้น	Lunnและคณะ (1966) (1967)
115(0.040) (ค่าเฉลี่ย 1 ปี)	160	เพิ่มอัตราการตายด้วยโรคหลอดลมอักเสบและมะเร็งปอด	Buck and Wicken(1964)

ผลต่อการมองเห็น 285(0.10)	ใกล้เคียงกับค่าของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และความชื้นร้อยละ	การมองเห็นไกลลดลงประมาณ 5 ไมล์	Bushtueva(1957 &1960)

ที่มา : USHEW, Division of Air pollution, Washington, 1962

4.ฝุ่นละออง (Particulate Matter)

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือนร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนะวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา US. EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไประบบทางเดินหายใจส่วนในและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$

PM_{10} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางจากการขนส่งวัสดุ ฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน

$PM_{2.5}$ ตามคำจำกัดความของ US. EPA หมายถึง ฝุ่นละออง (fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนินจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารที่ใช้ฟืน นอกจากนี้ ก๊าซ SO_2 NO_X และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละอองได้

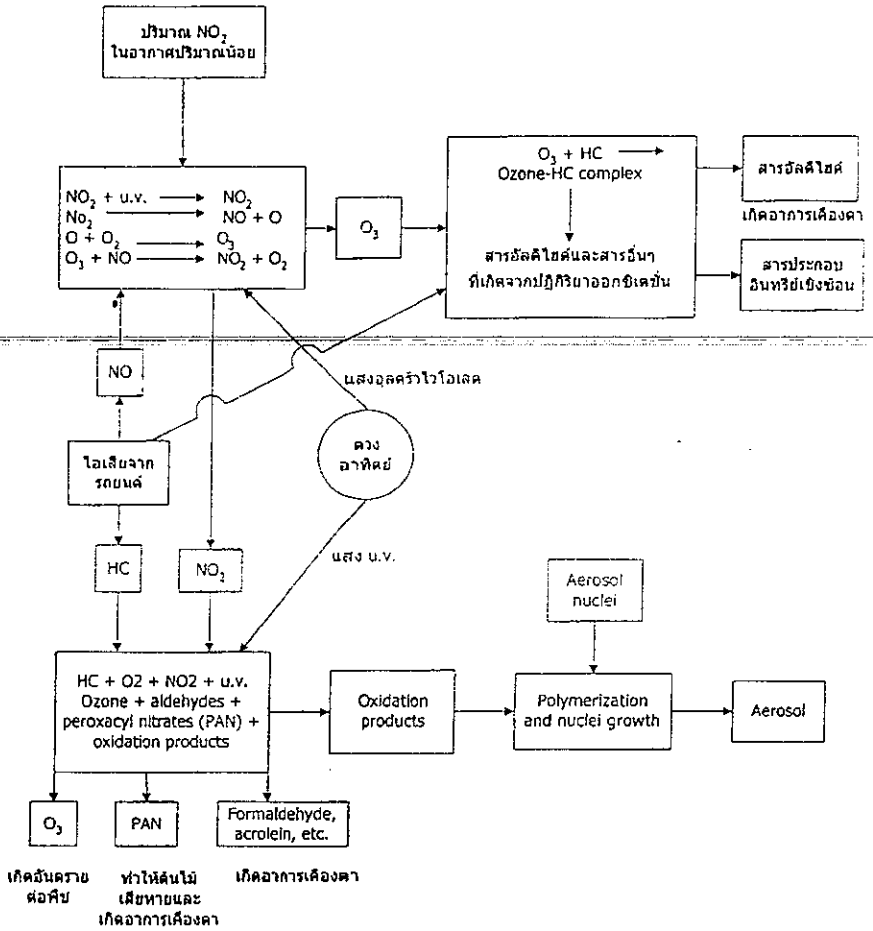
ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปใจปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่น PM_{10} ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรค Asthma และฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอดที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉินเพิ่มอาการของโรคทางเดินหายใจลด

ประสิทธิภาพการทำงานของปอด และเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหืดหอบ และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติด้วย

ในประเทศไทยได้มีการให้ความหมายของคำว่าฝุ่นละอองไว้ดังนี้ ฝุ่นละอองหมายถึง ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ในปีพ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร และพบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยโดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่างๆ ทั่วโลก โดยระดับฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจทำให้คนในเขตกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000 -5,000 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าถ้าสามารถลดปริมาณ PM_{10} ในบรรยากาศลงได้ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000-88,000 ล้านบาทต่อปี

5. โฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ (Photochemical Oxidants)

ก๊าซโอโซนเป็นสารโตเคมีคัลออกซิแดนท์ประเภทหนึ่ง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์อื่นๆ ได้แก่ สารประกอบพวกอัลดีไฮด์ (Aldehydes) คีโตน (Ketones) และ Peroxyacetyl Nitrate (PAN) (ดังแสดงในรูปที่ 1.2) ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Photochemecal Smog ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวๆ ปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ โดยทั่วไปแล้วก๊าซโอโซนจะก่อให้เกิดการระคายเคืองตา และระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่เป็นโรคปอดเรื้อรัง



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์

ที่มา : Elsonm D, (1987)

ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยานั้นขั้นแรก NO_2 จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตลิซิส (Photolysis) ทำให้เกิดอะตอมออกซิเจน (O) ซึ่งต่อมาอะตอมออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) ทำให้เกิดโอโซน (O_3) และ O_3 ก็จะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ทำให้เกิดจาก NO_2 แล้วกลับไปเริ่มต้นปฏิกิริยาโฟโตลิซิสอีก ดังแสดงในสมการ

$$NO_2 + hv \longrightarrow NO + O$$

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

Stephen (1968) แสดงให้เห็นว่า หากมีไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.1 ส่วนในล้านส่วน จะทำให้เกิดโอโซนประมาณ 0.027 ล้านในล้านส่วน แต่ในสภาพความเป็นจริงระดับของโอโซน อาจขึ้นไปสง

ถึง 0.5 ส่วนในล้านส่วนได้ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดโอโซนจะต้องมีกระบวนการอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาโฟโตลิซิสของไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มมากขึ้น

สารที่ผลต่อการเกิด O_3 คือ สารเอกทีฟไฮโดรคาร์บอน โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลเกิดจากปฏิกิริยาที่ไอน้ำในอากาศทำปฏิกิริยากับอะตอมของสารออกซิเจนดังสมการ

$$O_3 + UV \longrightarrow O_2 + O^0$$

$$O^0 + \text{ไอน้ำ} \longrightarrow 2\,OH^0$$

นอกจากนี้ Formaldehyde (HCHO) ยังเกิดการแตกตัวโดยแสงอาทิตย์เกิดเป็น H และ HCO เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิด HO_2 (เปอร์ออกซีไฮดรอกซิลราดิคัล) เมื่อทำปฏิกิริยากับ NO จะเปลี่ยนเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล (OH^0) ดังสมการ

$$HO_2 + NO \longrightarrow OH^0 + NO_2$$

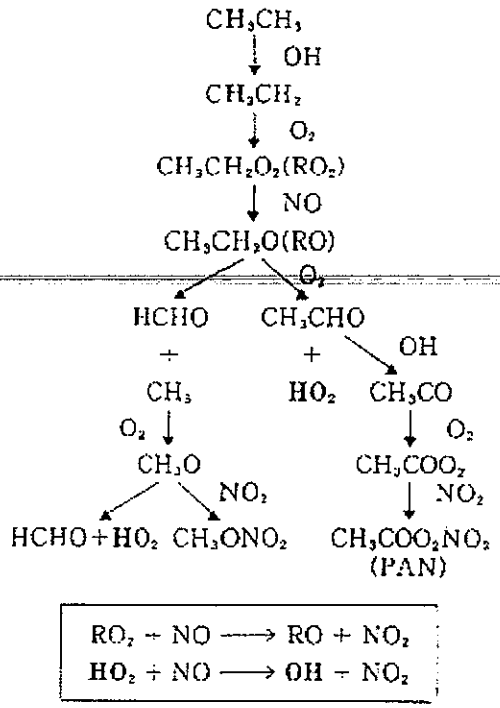
ในบรรยากาศที่มีสารรีเอคทีฟไฮโดรคาร์บอน (RH) จะทำปฏิกิริยากับ OH^0 จะได้สาร R^0 ซึ่ง R^0 จะทำปฏิกิริยากับ O_2 ในอากาศ ถ้าเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (Pexoxy Radical, RO_2) ทำปฏิกิริยากับ NO ทำให้เกิดเป็น NO_2 สามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตลิซีสเกิดเป็นโอโซนได้ ดังสมการ

$$RH + OH^0 \longrightarrow R^0 + H_2O$$

$$R^0 + O_2 \longrightarrow RO_2$$

$$RO_2 + NO \longrightarrow NO_2 + RO^0$$

NO_2 ทำให้เกิด O_3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการแยกตัวของไฮโดรคาร์บอนในอากาศและการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่กับ HO

OH ที่เกิดขึ้นในอากาศเป็นสารออกซิแดนท์รุนแรงที่ทำให้สารประกอบหลายชนิดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ ในกรณีที่ไฮโดรคาร์บอนเป็นอีเธนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 1.3 การเกิดปฏิกิริยาอาจดูเหมือนซับซ้อนมาก โดยจะเริ่มจากการที่ OH ดึงไฮโดรเจนไปจากอีเธน จากนั้นปฏิกิริยาก็จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องโดยมี O_2 และ NO เข้ามาเกี่ยวข้อง จุดสำคัญอยู่ที่การเกิด Aldehyde และ HO_2 จากไฮโดรคาร์บอน และการเกิด OH ขึ้นอีก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของ HO_2 และ NO กล่าวคือปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรคาร์บอนและ OH ในขณะที่มี NO อยู่ในปริมาณหนึ่ง จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลสารประกอบ (Radical Chain Reaction) ซึ่งมี OH และ HO_2 เป็นลูกโซ่ ปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลของสารประกอบนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อมี Nitric Ester และ Peroxy Acetyl Nitrate (PAN) เกิดขึ้น

การเกิด Photochemical Smog หรือเรียกอีกอย่างคือการเกิดโอโซนนั้นความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาของทั้ง (RO_2 + NO) และ (HO_2 + NO) ดังนั้นในรูปที่ 1.3 RO_2 และ HO_2 ที่เกิดขึ้นเมื่อมีไฮโดรคาร์บอนจะทำให้ NO เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกลายเป็น NO_2 ตามสมการที่ (1.1) ถึง (1.3) การใช้ O_3 โดย NO จึงถูกจำกัดทำให้ O_3 สะสมแสดงให้เห็นได้ว่าในมาตรการจัดการ Photochemical Smog โดยการลดความเข้มข้นของ NO_X และไฮโดรคาร์บอนมีความสำคัญอย่างยิ่ง

จากรายงานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) (1978) ได้ระบุว่า ความเข้มข้นของโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ มีค่าระหว่าง 200-500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.1-0.25 ส่วนในล้านส่วน) อาจมีผลกระทบต่อปอดของเด็ก ระบบทางเดินหายใจ เกิดการระคายเคืองตา ถึงระดับความเข้มข้นของโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์อยู่ระหว่าง 200-294 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.1-0.15 ส่วนในล้านส่วน) จะลดความสามารถในการออกกำลังกาย และปอดของผู้ป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจเรื้อรังจะลดการทำงานลง เนื่องจากโอโซนมีความเข้มข้นตามธรรมชาติสูงอยู่แล้ว จึงไม่สามารถนำอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) มาใช้ได้ประกอบกับโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ในช่วงระยะเวลาสั้นมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยในเวลา 8 หรือ 24 ชั่วโมง ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ จึงให้กำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดของโฟโตเคมีคัลออกซิแดนท์ในรูปโอโซน ใน 1 ชั่วโมง ไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.10 ส่วนในล้านส่วน

6. ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะอ่อนสีเทาเงิน หรือแกมน้ำเงิน อยู่ในรูปของ

1) สารประกอบอนินทรีย์ เช่น ออกไซด์ซัลไฟด์ ไนเตรด คลอเรท คลอไรด์ เป็นต้น

2) สารประกอบอินทรีย์ เช่น เตตราเอทิลเลด เตตราเมทิลเลด ซึ่งใช้สำหรับเป็นสารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง (Antiknock Compound) เช่น เบนซิน เป็นต้น

สารตะกั่ว ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนเราได้หลายประการ เช่น

1) ก่อให้เกิดโรคเลือดจาง ซึ่งอาการจะปรากฏรวดเร็วในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่

2) เม็ดเลือดแดงอายุสั้นลง

3) อาจเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ เนื่องจากตะกั่วถูกถ่ายทอดผ่านรกในร่างกายมารดาเข้าสู่ทารกในครรภ์โดยฉับไว

4) เป็นอันตรายต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการชัก หมดสติ และยังเป็นอันตรายต่อไตทางเดินอาหาร ตับ หัวใจ ระบบสืบพันธุ์ได้

จากรายงานการค้นคว้าของ Burde และคณะ (1972) ได้นำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดว่า ระดับตะกั่วสูงสุดในเลือดที่มีได้ในบุคคลทั่วไป ไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร และตะกั่วที่มีระดับดังกล่าว ทำให้เกิดโรคเลือดจางในเด็ก

ในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของตะกั่วในบรรยากาศเป็นครั้งแรก โดยได้ตั้งข้อสมมติฐานในการกำหนดมาตรฐาน ดังนี้

1) ปริมาณตะกั่วในอาหารและน้ำของคนไทยเป็น 100 ไมโครกรัมต่อวัน (จากรายงานขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ. 1977)

2) ตะกั่วในอาหารและน้ำที่บริโภค 100 ไมโครกรัม จะทำให้ปริมาณตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้น 6-18 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร หรือมีค่าเฉลี่ย 12 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

3) ตะกั่วในอากาศ 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำให้ตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้น 1-2 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (จากรายงานการค้นคว้าของ Goldsmith & Hexter (1967), Azar และคณะ (1973) Coulston และคณะ (1972), Rabinowitz (1974) ซึ่งในการคำนวณถือว่า ตะกั่วในอากาศ 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีผลให้เกิดตะกั่วในเลือด 1.4 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผลจากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.8 ดังนี้

ตารางที่ 2.8 การคำนวณปริมาณตะกั่วในบรรยากาศที่ยอมรับได้

ตะกั่วในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ตะกั่วในเลือดจากอาหารและน้ำ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ตะกั่วในเลือดจากอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	รวม
5	12	7	19
10	12	14	26
15	12	21	33
20	12	28	40
25	12	35	47

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2527

ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ระดับตะกั่วในเลือดของบุคคลทั่วไป ไม่ควรเกิน 40 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร มาตรฐานตะกั่วในอาหารต้องไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คณะกรรมการกำหนดค่ามาตรฐานเห็นสมควรให้กำหนดอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety Factor) เป็น 2 ดังนั้นมาตรฐานตะกั่วในอากาศที่ยอมให้มิได้มิต้องเกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในเวลา 24 ชั่วโมงต่อมา ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีการปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศใหม่ และได้กำหนดมาตรฐานตะกั่วในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 เดือน ไม่เกิน 1.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ประเทศไทยได้มีการยกเลิกการใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่วตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2538 ทำให้ปริมาณตะกั่วในบรรยากาศลดลงเป็นอย่างมากจนเกือบถึงระดับศูนย์ไม่เป็นปัญหาสำหรับประเทศไทยแล้วในปัจจุบัน

1.4.2 ผลกระทบต่อพืช

สารมลพิษอากาศ ที่ส่งผลกระทบต่อพืช ได้แก่ SO_X (SO_2, SO_3, และออองกรดซัลฟูริก), สารประกอบฟลูออไรด์ (ไฮโดรเจนฟลูออไรด์, Silicon Tetrafluoride), โฟโตเคมิคัลออกซิแดนท์ (โอโซน, PAN และสารในตระกูลเดียวกัน), ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่มีเธน (โดยเฉพาะเอธิลีน), คลอรีน, ไฮโดรเจนคลอไรด์, NO_X Formaldehyde, แอมโมเนีย, ไฮโดรเจนซัลไฟด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, เขม่า (เช่น คราบควันไฟ) และฝุ่นละออง

ความเสียหายของพืชเนื่องจากโอโซน หรือ PAN เกิดเป็นปัญหาขึ้นมาครั้งแรกที่เมืองลอสแองเจลิส ในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งในเขตเมืองใหญ่ของประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีการขยายตัวทางคมนาคมและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีปัญหาเกิดขึ้นบ่อยในฤดูร้อนหลังจากปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา

นอกจากนี้ในยุโรปและอเมริกามีรายงานเกี่ยวกับการเสื่อมโทรมของป่าเนื่องจากฝนกรดที่เกิดจากกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกในบรรยากาศ ซึ่งเป็นสภาพของการเกิดมลพิษอากาศแบบเปียก (Wet Deposition)

CO_2 เป็นก๊าซสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ทำให้ต้องคำนึงถึงเรื่องผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวและธัญพืช การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพืชในป่า และสิ่งที่จะเป็นผลตามมาคือความเปลี่ยนแปลงโดยรวมของระบบสิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์ เป็นต้น

นอกจากนี้ Chlorofluorocarbon (ซึ่งเป็น Freon ชนิดหนึ่ง), Halon, Carton Tetrachloride Methyl Bromide เป็นสารที่ทำให้ชั้นโอโซนในบรรยาศชั้นสตราโทสเฟียร์ถูกทำลาย รังสีอุลตราไวโอเล็ตเป็นอันตรายจึงลงมาสู่พื้นโลกได้มากขึ้น จึงไม่เพียงแต่จะทำให้มนุษย์เกิดปัญหาสุขภาพเท่านั้น ยังมีผลในเรื่องของการทำให้เจริญเติบโตของพืชและแพลงตอนช้าลงอีกด้วย

ผลกระทบของสารมลพิษอากาศที่มีต่อพืชแตกต่างกันไปตามประเภทของสาร ระดับความรุนแรงที่มีต่อพืชและมนุษย์ไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น NO_X หรือ CO มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างรุนแรงแต่ผลกระทบต่อพืชน้อย สำหรับไฮโดรเจนฟลูออไรด์หรือเอธิลีน ถ้ามีความเข้มข้นต่ำจะมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์น้อยมาก แต่มีผลกระทบต่อพืชเป็นอย่างมาก

ความรุนแรงของสารมลพิษอากาศที่มีต่อพืชแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

ก. มีพิษรุนแรง หมายถึง ถ้ามีความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศจำนวนน้อยในระดับหลักสิบส่วนในพันล้านล้านส่วน (ppb) ก่อให้เกิดความเสียหายได้ สารมลพิษในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์, Silicon Tetrafluoride, เอธิลีน, คลอรีน, โอโซน, PAN และสารในตระกูลเดียวกัน

ข. มีพิษปานกลาง หมายถึง ถ้ามีความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศในระดับหลายร้อยส่วนพันล้านส่วน (ppb) ถึงระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) จะทำให้เกิดความเสียหายได้ตัวอย่างของสารมลพิษในกลุ่มนี้ได้แก่ SO_2, SO_3, กรดซัลฟูริก, NO_2, และ NO เป็นต้น

ผลกระทบต่อพืช

สารมลพิษอากาศ ที่ส่งผลกระทบต่อพืช ได้แก่ SO_x (SO_2 , SO_3 , ละอองกรดซัลฟูริก), สารประกอบฟลูออไรด์ (ไอโดดรเจนฟลูออไรด์, Silicon Tetrafluoride) , โฟโตเคมิคัลออกซิแดนท์ (โอโซน, PAN และสารในตระกูลเดียวกัน) , ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่มีเธน (โดยเฉพาะเอธิลีน), คลอรีน, ไฮโดรเจนคลอไรด์, NO_x Formaldehyde , แอมโมเนีย, ไฮโดรเจนซัลไฟด์, เขม่า (เช่น ควันไฟ) และฝุ่นละออง

ความเสียหายของพืชเนื่องจากโอโซน หรือ PAN เกิดปัญหาขึ้นมาครั้งแรกที่เมืองลอสแองเจลิส ในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งในเขตเมืองใหญ่ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการขยายตัวทางคมนาคมและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีปัญหาเกิดขึ้นบ่อยครั้งในฤดูร้อนหลังจากปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา

นอกจากนี้ ในยุโรปและอเมริกามีรายงานเกี่ยวกับการเสื่อมโทรมของป่าเนื่องจากฝนกรดที่เกิดจากกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกในบรรยากาศ ซึ่งเป็นสภาพของการเกิดมลพิษอากาศแบบเปียก (Wet Deposition)

CO_2 เป็นก๊าซสำคัญที่มีผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ทำให้ต้องคำนึงถึงเรื่องผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวและธัญญาพืช การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพืชในป่า และสิ่งที่จะเป็นผลตามมา คือ ความเปลี่ยนแปลงโดยรวมของระบบสิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์ เป็นต้น

นอกจากนี้ Chlorofluorocarbon (ซึ่งเป็น Freon ชนิดหนึ่ง) , Halon , Carbon Tetrachloride, Methyl Bromide เป็นสารที่ทำให้ชั้นโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ถูกทำลาย รังสีอุลตร้าไวโอเลตที่เป็นอันตรายจึงลงมาสู่พื้นโลกได้มากขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้มนุษย์เกิดปัญหาสุขภาพเท่านั้น ยังมีผลในเรื่องของการทำให้การเจริญเติบโตของพืชและแพลงตอนช้าลงด้วย

ผลกระทบของสารมลพิษอากาศที่มีต่อพืชแตกต่างกันไปตามประเภทของสาร ระดับความรุนแรงที่มีต่อมนุษย์และพืชไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น NO_x หรือ CO มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างรุนแรงแต่กระทบต่อพืชน้อย สำหรับไฮโดรเจนฟลูออไรด์หรือเอธิลีน ถ้ามีความเข้มข้นต่ำ จะมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์น้อยมาก แต่มีผลกระทบต่อพืชเป็นอย่างมาก

ความรุนแรงของสารพิษอากาศที่มีต่อพืชแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

ก. มลพิษรุนแรง หมายถึง ถ้ามีความเข้มข้นของสารมลพาอากาศจำนวนน้อยในระดับหลักสิบส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ก็ก่อให้เกิดความเสียหายได้ สารมลพิษในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ , Silicon Tetrafluoride , เอธิลีน , คลอรีน , โอโซน , PAN และสารในตระกูลเดียวกัน

ข. มีพิษปลานกลาง หมายถึง ถ้ามีความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศในระดับหลายร้อยส่วนในพันล้านส่วน (ppb) ถึงระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) จะทำให้เกิดความเสียหายได้ ตัวอย่างของสารมลพาในกลุ่มนี้ ได้แก่ SO_2, SO_3 , กรดซัลฟูริก , NO_2 และ NO เป็นต้น

ค. มีพิษน้อย หมายถึง ต้องมีความเข้มข้นในอากาศในระดับหลายสิบส่วนในล้านส่วน (ppm) ถึงหลายพันล้านส่วน จึงจะเกิดความเสียหาย ตัวอย่างของสารมลพิษในกลุ่มนี้ ได้แก่ Formaldehyde , ไฮโดรเจนคลอไรด์ , แอมโมเนีย , ไฮโดรเจนซัลไฟด์ , และ CO เป็นต้น

1. สาเหตุการเกิดความเสียหาย

การเกิดความเสียหายของพืช เนื่องจากมวลสารอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ที่สำคัญคือ ประเภทและความเข้มข้นของสารมลพิษ ระยะเวลาและจำนวนครั้งที่ได้รับสารมลพิษ ระยะที่พืชเจริญเติบโตขณะที่ได้รับสารมลพา ประเภทและชนิดของพืช คุณสมบัติของดิน วิธีควบคุมการเพาะปลูก การให้ปุ๋ยและปริมาณการให้ ลักษณะพื้นที่ และสภาพอากาศ เป็นต้น โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันว่า ระดับความเสียหายของพืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับสารมลพิษ สภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ทิศทางลม ความเร็วลม และอื่นๆ จะมีผลทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก โดยทั่วไปความเสียหายจะเกิดขึ้นในตอนกลางวันมากกว่าตอนกลางคืน ซึ่งเป็นเวลาที่พืชมีการสังเคราะห์แสงเพราะเป็นเวลาที่มีความชื้นสูง และในเวลาที่ปากใบเปิดกว้างพอ

2. รูปแบบของความเสียหาย

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพืช เนื่องจากภาวะมลพิษอากาศ แบ่งออกได้เป็นความเสียหายที่มองเห็นได้ด้วยตาและมองไม่เห็นด้วยตา ดังนี้

ป TD
ส๙ป
ร
ท๒๙น๗
๒๕๔๘

สำนักหอสมุด
10 ต.ค. 2548
เลขทะเบียน 0840085

2.1 ความเสียหายที่มองเห็นด้วยตา สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ได้แก่

ก) ความเสียหายแบบเฉียบพลัน หมายถึง การที่มีสารมลพิษที่มีความเข้มข้นสูง โดยทั่วไป คือ ความเข้มข้นที่สูงกว่าระดับส่วนในล้านส่วน) ซึ่งถูกระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดตกค้างอยู่ตามพื้นที่การเกษตรหรือป่าภายในระยะเวลาอันสั้น ทำให้พืชที่เจริญอยู่ในพื้นที่ นั้นๆเกิดความเสียหาย จนต้องเก็บทำลายทั้งหมด เนื่องจากหากทิ้งให้มีการเจริญเติบโตหลังจากนั้น ก็ไม่สามารถช่วยให้ฟื้นสภาพได้ตามปกติ โดยใบไม้จะแสดงอาการ Chlorosis (เปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีด) หรือ Nechlosis (กรที่เซลล์และเนื้อเยื่อตาย) อย่างรุนแรง

ข) ความเสียหายแบบเรื้อรัง หมายถึง กรณีที่พืชซึ่งกำลังเจริญเติบโตรับสารมลพิษที่มีความเข้มข้นน้อย โดยทั่วไป คือ ความเข้มข้นที่น้อยกว่าระดับส่วนในล้านส่วนอยู่เสมอ จนทำให้สภาพการเจริญเติบโตผิดปกติ แสดงอาการใบเหลืองเล็กน้อย แต่ถ้าทิ้งไว้ก็อาจทำให้เสียหายทั้งหมดได้ ความเสียหายเนื่องจากมลพิษอากาศในเขตชานเมืองใหญ่ ส่วนมากมักเป็นกรณีนี้

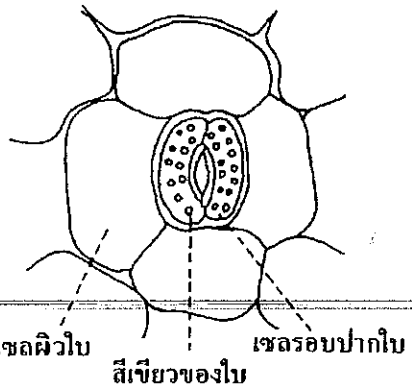
ค) ความเสียหายแบบผสม หมายถึง กรณีที่มีทั้งความเสียหายแบบฉับพลันและแบบเรื้อรังตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

2.2 ความเสียหายที่มองไม่เห็นด้วยตา

หมายถึง กรณีที่พืชดูดซึมสารมลพิษที่มีความเข้มข้นต่ำมาก โดยทั่วไป คือ ความเข้มข้นในระดับส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เข้าไป อาการความเสียหาย เช่น ที่ใบ จึงไม่ปรากฏให้เห็น แต่จะเกิดความเสียหายทางกายภาพและทางชีวเคมีในลักษณะที่ทำให้การเติบโตช้า จนอาจมีผลกระทบต่อปริมาณการเก็บเกี่ยวได้ ยังไม่มีทฤษฎีที่จะใช้บอกได้ว่ามีความเสียหายที่มองไม่เห็นอยู่หรือไม่ แต่ปรากฏการณ์ เช่น การที่วงปีของต้นไม้ในเขตชานเมืองใหญ่แคบลง ก็น่าจะเป็นสิ่งที่บอกให้เห็นถึงความเสียหายที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าได้

3. การแทรกซึมของสารมลพิษเข้าสู่พืช

การที่สารมลพิษจะแทรกซึมเข้าสู่ต้นพืชจนก่อให้เกิดผลกระทบขั้นนั้นมีอยู่ 2 เส้นทางด้วยกัน กล่าวคือ กรณีที่เป็นการเกาะติดบนผิวใบพืชโดยตรง หรือเป็นการดูดซึมผ่านใบ (การดูดซึมเข้าสู่ภายในลำต้นผ่านทางผิวใบ) และกรณีที่เป็นการดูดซึมทางอ้อมผ่านทางรากเนื่องจากดินหรือน้ำปนเปื้อน (การดูดซึมทางราก) ตามปกติการปนเปื้อนทางใบโดยตรง จะทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่าการดูดซึมทางอ้อม



รูปที่ 2.4 ปากใบและเซลล์โดยรอบ

มีการเสนอทฤษฎีไว้ว่า เส้นทางการแทรกซึมเข้าสู่ต้นพืชของสารมลพิษอากาศ หลักคือ ทางปากใบ ที่ด้านหน้าหรือด้านหลังของปากใบสีเขียวของพืชชั้นสูง จะมีปากใบลักษณะที่แสดงไว้ในรูปที่ กระจายอยู่จำนวนมาก (ตามปกติจะมีประมาณ 50 – 300 อันต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร) โครงสร้างของปากใบคือ ช่องว่างเล็กๆที่เกิดจากเซลล์ 2 อันรอบปากใบ ปริมาณการเปิดหรือปิดของเซลล์คู่นี้จะเปลี่ยนแปลงตามความดันภายในของต้นไม้ ตอนกลางคืนปากใบจะปิดเกือบสนิท ตอนกลางวันจะเปิดเนื่องจากแสงสว่างและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ นอกจากนี้การเปิดปิดก็ขึ้นอยู่กับปริมารน้ำภายในลำต้น เพื่อปรับปริมาณการคายน้ำอีกด้วย พืชจะดูด CO_2 ในอากาศเข้าไปในปากใบ แล้วทำการสังเคราะห์แสงโดยอาศัยน้ำที่ดูดซึมขึ้นมาทางรากและแสงอาทิตย์ เกิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ถ้าปากใบเปิดในขณะที่มีสารมลพิษที่เป็นก๊าซหรือเป็นอนุภาคของหมอกหรือละอองไอที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าไมครอน (μm) ก็จะสามารถเข้าสู่ภายในใบพืชได้อย่างง่ายดาย นอกจากการแทรกซึมเข้าไปทางปากใบเช่นที่กล่าวมาแล้ว เขม่า ฝุ่นละอองทั่วไป ก็จะก่อให้เกิดผลเสียด้วยการเกาะติดที่ผิวใบอีกด้วย

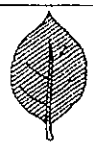
4. ลักษณะพิเศษของความเสียหายที่เกิดจากสารมลพิษทางอากาศ

ตารางที่ 2.9 แสดงถึงลักษณะเด่นของความเสียหายของพืชเนื่องจากสารมลพิษอากาศที่สำคัญ นอกจากนี้ตารางที่ 2.10 ยังแสดงถึงลักษณะเด่นของอาการผิดปกติบนใบพืชแยกประเภทของสารมลพิษอากาศ การสังเกตว่าความเสียหายแบบไหนปรากฏขึ้นที่ส่วนใดของพืช หรือพืชจะแสดงอาการอย่างไรออกมานั้น สามารถนำไปใช้ในการบ่งชี้ประเภทของสารมลพิษอากาศได้ ลักษณะเด่นของความเสียหายที่เกิดจากสารมลพิษอากาศที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9 ลักษณะเด่นของความเสียหายของพืชแยกตามประเภทของสารมลพิษอากาศ

สารมลพิษอากาศ	ความเข้มข้น / เวลา	บริเวณที่เกิดความเสียหาย	ลักษณะความเสียหาย	แหล่งกำเนิด
โอโซน	0.03 ppm 4 ช.ม.	เนื้อเยื่อมีลักษณะเป็นริ้ว	จุดด่างเล็กๆ, จุดด่างซีด, ลักษณะของเม็ดสี, ชะงักการเจริญเติบโต, ใบร่วงเร็ว	NO_x และน้ำมันที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ทุกรูปแบบ, สารที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอล เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนที่แพร่กระจายมาจากตัวทำละลายอินทรีย์
PAN	0.01 ppm 6 ช.ม.	เนื้อเยื่อมีลักษณะเป็นฟองน้ำ	เกิดความมันวาวสีโลหะขึ้นที่ด้านหลังใบ	
NO_2	2.5 ppm 4 ช.ม.	ส่วนเนื้อใบ	สีขาวและสีน้ำตาลระหว่างใบ, จุดด่างที่มีรูปร่างไม่แน่นอน	อุปกรณ์เผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง และเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน
SO_2	0.3 ppm 8 ช.ม.	ส่วนเนื้อใบ	จุดด่างที่มีรูปร่างไม่แน่นอนระหว่างเส้นใบ, ใบเหลืองซีด, ชะงักการเจริญเติบโต, ใบร่วงเร็ว	การเผาไหม้น้ำมันขี้โล้, การถลุงแร่
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	ppb 5 สัปดาห์	ส่วนผิวและเนื้อใบ	ปลายและขอบใบแห้งเหี่ยว, ใบเหลืองซีด,ใบร่วง	อุตสาหกรรมแร่ฟอสฟอรัส, การผลิตเหล็ก, การถลุงอลูมิเนียม, อุตสาหกรรมเซรามิคส์
คลอรีน	0.1 ppm 2 ช.ม.	ส่วนผิวและเนื้อใบ	จุดด่างขาวระหว่างเส้นใบ, ใบร่วง	การรั่วไหลจากอุตสาหกรรมเคมี, การเผาไหม้ของเศษไวนิลคลอไรด์

ตารางที่ 2.10 ลักษณะเด่นของอาการผิดปกติของใบไม้เนื่องจากสารมลพิษอากาศแต่ละชนิด

อาการของความเสียหายสารมลพิษ	(ปลายใบและขอบใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง~สีน้ำตาล)	(จุดด่างระหว่างเส้นใบ)	(จุดเล็กๆบนผิวใบด้านหน้า)	 (เกิดความมันวาวที่ด้านหลังของใบเปลี่ยนเป็นสีเทาเงิน ~สีบรอนซ์)
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	#	+		
คลอรีน	#	+	+	
โอโซน		+	#	
PAN		+		#
SO_2		#	+	
ละอองกรดซัลฟูริก	+	+	#	
NO_2		#	+	

หมายเหตุ : # พบได้บ่อย + พบเป็นบางครั้ง

ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อม กระทรวงการค้าและอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น, 2545

4.1 SO_2

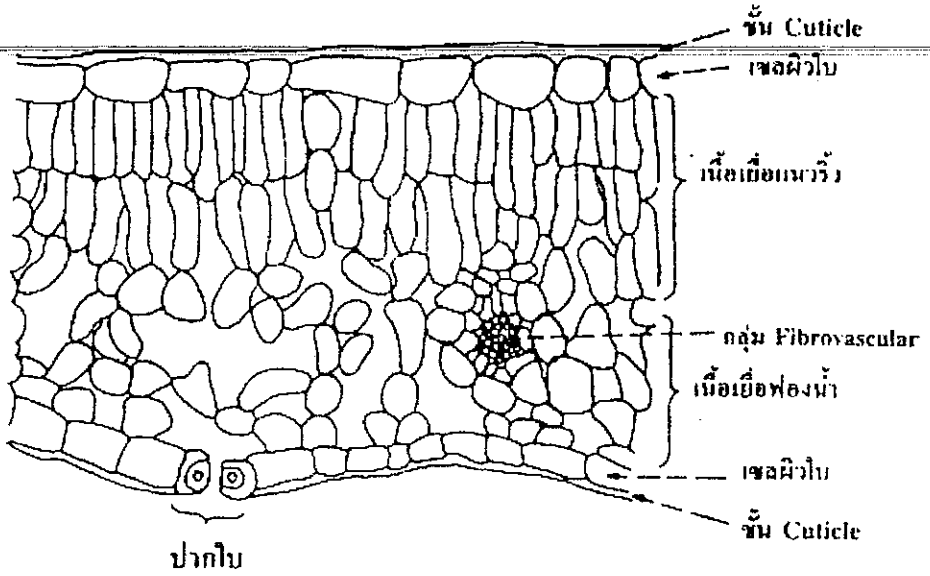
ในกรณีของ SO_2 ตามปกติแล้วจะเกิด Chlorosis หรือ Nechlosis ในลักษณะเป็นจุดสีเทา (Spot) ขึ้นกับใบไม้ที่มีอายุยาวๆ และมีการเกิด Anabolism มาก

4.2 ไฮโดรเจนฟลูออไรด์

ใบพืชที่ดูดซึมไฮโดรเจนฟลูออไรด์เข้าไป เมื่อปริมาณที่ดูดซึมเกินขีดจำกัดระดับหนึ่ง ปลายใบและขอบใบจะมีอาการเหมือนนำไปจุ่มน้ำมัน จากนั้นจะเริ่มเปลี่ยนเป็นเหลืองซีด (Chlorosis) แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยเฉพาะในกรณีของก๊าซชนิดนี้จะมีลักษณะเด่นคือ ที่บริเวณขอบของส่วนที่เสียหายและส่วนที่ปกติ จะเป็นสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม เมื่อความเสียหายรุนแรงขึ้น เซลล์และเนื้อเยื่อในส่วนต่างๆจะแห้งตายและแสดงอาการ Nechlosis

4.3 โอโซน

ในกรณีที่ความเสียหายจากโอโซนมีน้อย ที่ผิวของใบไม้จะเกิดอาการด่าง มีจุดสีขาวขนาดเล็กอยู่กระจัดกระจาย เมื่อความเสียหายมากขึ้น โดยทั่วไปเนื้อเยื่อที่ลักษณะเหมือนรั้วในใบ (ดูรูปที่ 2.5) จะถูกทำลาย ทำให้เกิดรอยด่างเหมือนกระสีเหลืองถึงสีน้ำตาลขึ้นอย่างไม่มีระเบียบ



รูปที่ 2.5 ภาพด้านตัดขวางของใบไม้

4.4 PAN

พืชที่สัมผัสกับ PAN ส่วนมากด้านใต้ใบจะเกิดการมันวาวและกลายเป็นสีเทาเงินหรือสีบรอนซ์ ถ้านำใบไม้ที่เสียหายมาตัดขวางแล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ในขณะที่โอโซนซึมเข้าไปทางเนื้อเยื่อที่มีลักษณะเหมือนรั้วที่อยู่ติดใต้ผิวใบด้านบนได้ง่าย แต่ในกรณีของ PAN โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่าจะซึมเข้าไปทางเนื้อเยื่อที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำใกล้ผิวใต้ใบได้ง่าย (ดูรูปที่ 2.5) ทำให้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจึงเห็นว่าอาการที่เป็นลักษณะเฉพาะของโอโซนปรากฏขึ้นที่ด้านบนของใบ ส่วน PAN เกิดขึ้นที่ด้านล่าง แต่ยังไม่ทราบกลไกการเกิดอาการเหล่านั้นอย่างชัดเจน

4.5 คลอรีน

ในกรณีที่ใบพืชสัมผัสถูกคลอรีน โดยทั่วไปเริ่มแรกปลายใบและขอบใบจะเกิดอาการ Chlorosis ได้ง่าย แล้วค่อยๆกระจายไปจนทั่ว จนมีอาการคล้ายกับความเสียหายที่เกิดจาก SO_2 หรือโอโซน ปรากฏการณ์เช่นนี้ เชื่อว่าเกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของคลอโรฟิล เนื่องจากการเกิดออกซิเดชั่นอย่างรุนแรงของคลอรีนที่ถูกดูดซึมเข้าไปทางปากใบ ในกรณีที่เกิดอาการเฉียบพลัน จะมีการเกิด Nechlosis เป็นบางส่วนด้วย

4.6 NO_2

สภาพความเสียหายของใบพืชเนื่องจาก NO_2 นั้น จะคล้ายกับกรณีของ SO_2 และโอโซน แต่ความเป็นพิษจะน้อยกว่าก๊าซเหล่านี้ NO ก็ทำความเสียหายให้พืชได้ในระดับเดียวกับ NO_2

4.7 เอทธิลีน

เอทธิลีนซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวชนิดหนึ่งซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งของพืชด้วย จึงแตกต่างกับสารมลพิษชนิดอื่นโดยก่อให้เกิดผลกระทบที่มีลักษณะเฉพาะหลายอย่างกับพืช สำหรับผลทางกายภาพก็ได้แก่เช่น กระตุ้นให้ผลไม้สุกงอมหรือดอกไม้บานเร็วขึ้น ทำให้ผลร่วง ใบร่วง กลีบดอกเหี่ยวเฉา สีซีดจาง เกิดความเสื่อมสภาพของส่วนต่างๆ ใบไม้เจริญเติบโตมากในแนวยาว (การเจริญเติบโตของทั้ง 2 ด้านของส่วนใดส่วนหนึ่ง จะเกิดขึ้นตามแนวยาวมากกว่า) ทำให้พืชออกจากระยะพักตัว ขัดขวางการเจริญเติบโตของราก เป็นต้น โดยความเสียหายจะเกิดขึ้นในช่วงกว้าง

ตัวอย่าง เช่น ถ้าคาร์เนชันสัมผัสกับเอทธิลีนความเข้มข้น 0.05 ppm เป็นเวลา 6 ช.ม. จะทำให้ไม่บานตามปกติ ดอกกล้วยไม้แคทลียา ถ้าสัมผัสกับเอทธิลีนด้วยเงื่อนไขเดียวกัน จะทำให้กลีบเกิดความปกติและเหี่ยวเฉาไป สำหรับมะเขือเทศที่ได้รับความเข้มข้น 0.01 ppm เป็นเวลา 2 วัน ใบจะเรียวยาว แผ่นใบและลายของใบจะม้วนงอลงด้านล่าง

5. ความไวของพืชที่มีต่อสารมลพิษอากาศ

ความไวของพืชที่มีต่อสารมลพิษอากาศ ไม่เพียงแตกต่างกันตามชนิดของพืชเหล่านั้น แต่ยังแตกต่างกันตามลักษณะและช่วงของการเจริญเติบโตด้วย นอกจากนี้ ลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับใบ เช่น การเกิดเป็นจุดกับอัตราการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรก็ไม่จำเป็นต้องมีสัดส่วนเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะข้าวนาปรัง ธัญพืช และผลไม้ซึ่งต้องการเก็บเกี่ยวผล ความเสียหายเพียงเล็กน้อยในช่วงที่ดอกบานก็อาจทำให้ปริมาณการเก็บเกี่ยวลดลงได้อย่างมาก

5.1 SO_2

ความไวต่อ SO_2 ของพืชนั้น ดัชนีสัมพัทธ์ที่จัดทำ โดย O'gara ในอเมริกาเป็นที่รู้จักมาตั้งแต่ในอดีต โดยได้ทำการทดลองการดูดซึม SO_2 ของพืชมากกว่า 100 ชนิด และตรวจสอบความเข้มข้นแต่ละระดับที่ทำให้เกิดความเสียหายปรากฏขึ้นที่ใบ เมื่อได้รับก๊าซ 1 ช.ม. แล้วนำมาคำนวณแปลงเป็นค่าดัชนีสัมพัทธ์ที่ 100 % (ซึ่งเกิดความเสียหายได้ง่ายที่สุด) จากนั้นก็หาดรรชนีของพืชแต่ละชนิดออกมาโดยใช้อัลฟัลฟา (พืชตระกูลถั่วเป็นหญ้าชนิดหนึ่ง) ซึ่งมีความไวที่สุดเป็น พืชที่ใช้อ้างอิง มีความเข้มข้นที่ทำให้พืชแสดงความเสียหายออกมาเป็นครั้งแรกอยู่ที่ 1.25 ppm ตารางที่ 2.11 เป็นตารางที่แสดงความไวของพืชแต่ละชนิด โดยพืชที่มีความไวน้อยเป็นพืชที่มีค่าดัชนีสูง จะเป็นพืชที่ทนต่อ SO_2 ได้ดี

5.2 ไฮโดรเจนฟลูออไรด์

Thomas และคณะจากอเมริกาได้จำแนกพืชที่ไวต่อไฮโดรเจนฟลูออไรด์ไปจนถึงพืชที่ทนทานเอาไว้จำนวน 6 ระดับด้วยกันตามตารางที่ 2.12 ในตารางนี้ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพืชแต่ละชนิดจะปรากฏให้เห็นเล็กน้อยในเวลา 7 – 9 ชั่วโมง ตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ดังนี้

- พืชประเภทที่ 1 และ 2 ความเข้มข้นไฮโดรเจนฟลูออไรด์ต่ำกว่า 5 ppb
- พืชประเภทที่ 3 ความเข้มข้นไฮโดรเจนฟลูออไรด์มีค่า 5 - 10 ppb
- พืชประเภทที่ 4, 5 และ 6 ความเข้มข้นของ SO_2 สูงกว่า 10 ppb

ตารางที่ 2.11 ความไวของพืชต่อ SO_2

มาก		ปานกลาง		น้อย	
อัลฟัลฟา	1.0	ดอกกะหล่ำ	1.6	แกลดิโอลัส	1.1 ~ 4.0
บาร์เลย์	1.0	พาร์สลีย์	1.6	พุทธรักษา	2.6
ฝ้าย	1.0	ผักบีท	1.6	กุหลาบ	2.8 ~ 4.3
Rye	1.0	แดนดิไลอัน	1.6	มันฝรั่ง	3.0
คอสมอส	1.1	มะเขือเทศ	1.3 ~ 1.7	เมเปิ้ล	3.3
สวีทพี	1.1	มะเขือยาว	1.7	หัวหอม	3.8
หัวไชเท้า	1.2	แอปเปิ้ล	1.8	ไลแล็ค	4.0
ผักกาดหอม	1.2	กะหล่ำปลี	2.0	ข้าวโพด	4.0
มันฝรั่งหวาน	1.2	Snow Pea	2.1	แตงกวา	4.2
ผักโขม	1.2	ไฮเดรนเยีย	2.2	น้ำเต้า	5.2
ถั่วแขก	1.1 ~ 1.5	กุ้ยช่าย	2.2	เบญจมาศ	5.3 ~ 7.3
บร็อคโคลี	1.2	บีโกเนีย	2.2	Celery	6.4
Plantaginaceae	1.3	องุ่น	2.2 ~ 3.0	ไม้จำพวกมะนาว (ส้ม)	6.5 ~ 6.9
ฟักทอง	1.1~ 1.4	ท้อ	2.3		
ข้าวโอ๊ตป่า	1.3	แอพริคอท	2.3	Masque Melon	7.7
ทานตะวัน	1.3 ~ 1.4	Elm	2.4		
โคลเวอร์	1.4	ไอริส	2.4		
ซิลเวอร์บีท	1.3 ~ 1.5	พลัม	2.5		
แครอท	1.5	ป๊อปล่าร์	2.5		
เทอร์นิพ	1.5				
ข้าวสาลี	1.5				

หมายเหตุ : แสดงให้เห็นค่าดัชนีที่ใช้อัลฟัลฟาเป็นเกณฑ์

ตารางที่ 2.12 ความไวของพืชต่อไฮโดรเจนฟลูออไรด์

มาก	ปานกลาง		น้อย	
(ประเภทที่ 1)	(ประเภทที่ 3)	(ประเภทที่ 4)	(ประเภทที่ 5)	
แกลดิโอลัส	ข้าวโพด	อาซาเลีย	Canterbary Bell	
แอพริคอส	พริกไทย	กุหลาบ	ต้นโอ๊ค	
Buckwheat	Raspberry	ไลแล็ค	สน (ใบแก่)	
Cowberry	Aster	อัลฟัลฟา	มะเขือเทศ	
ทิวลิป	Dahlia	ถั่วแขก		
ซากุระ	พิทูเนีย	แดรอท	(ประเภทที่ 6)	
สนจีน	โคลเวอร์	ผักกาดหอม	ฝ้าย	Snap Dragon
	บาร์เลย์	ผักโขม	ยาสูบ	สวีทพี
(ประเภทที่ 2)	Flax	ข้าวสาลี	Celery	โรสแมรี่ป่า
ข้างฟ่าง	ข้าวโอ๊ต	Piantaginaceae	แตงกวา	บานชื่น
มันฝรั่งหวาน	Rye		ฟักทอง	ไม้จำพวกมะนาว (ส้ม)
ท้อ	แอปเปิ้ล		กะหล่ำปลี	False Acacia
สตรอเบอรี่	เมเปิ้ล		ดอกกะหล่ำ	แดนดิไลอัน
องุ่น	หม่อน		มะเขือยาว	เฟอร์
ไอริส	หลิว		หัวหอม	
ข้าว	บีโกเนีย		ถั่วเหลือง	
สน (ใบอ่อน)	Chickweed		เบญจมาศ	

5.3 โอโซน

การจำแนกความไวต่อโอโซนของพืชแสดงไว้ในตารางที่ 2.13 ได้จัดทำขึ้นมาจากเอกสารของอเมริกา ผลการทดลองและตัวอย่างจากการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ 2.13 ความไวของพืชต่อโอโซน

มาก	ปานกลาง	น้อย
ยาสูบ, อัลฟัลฟา, บาร์เลย์, ถั่วแขก, โคลเวอร์, ข้าวโพด, ข้าวโอ๊ต, หัวหอม, ถั่วลิสง, มันฝรั่ง, หัวไชเท้า, Rye ,ผักโขม,	Scotch Pine ซากุระ สาลี่ ท้อ	Oliennder, Tall Golden-Rod, Annual Fleabane, Fleabane, Umbrella Sedge, Satsuma Mandarin
มะเขือเทศ, ข้าวสาลี, องุ่น , ต้นหอม, เผือก ,Morning Glory, ไลแล็ค ,พิทูเนีย, zelkova, ป๊อปลาร์, Cowpea, ถั่วแดง,ถั่วเหลือง ซิลเวอร์บีท	กุหลาบ แป้งท้าวยายม่อม ต้นหงอนไก่ Lobelia Sessilifolla Calenduta ผักกาดหอม	

6. การจำแนกสารมลพิษโดยอาศัยพืช

ในกรณีที่เกิดความเสียหายขึ้นกับผลผลิตทางการเกษตร สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคืออะไรเป็นสาเหตุของความเสียหายนั้น ถ้ามีความสงสัยว่าจะเป็นความเสียหายเนื่องจากมลพิษอากาศก็ต้องพิจารณาว่าสารนั้นคืออะไร โดยต้องตรวจสอบแหล่งกำเนิด ตรวจสอบเงื่อนไขทางภูมิภาค เช่น ทิศทางและความเร็วลม สภาพอากาศ ตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษอากาศ นอกจากนี้ควรตรวจสอบความเสียหายจากสาเหตุอื่นๆ เช่น จากโรคหรือแมลง ทำการสังเกตที่เสียหายและวิเคราะห์ทางเคมีประกอบการพิจารณาด้วย

(6.1) การสังเกตพืชที่เสียหาย

ใช้ลักษณะพิเศษของความเสียหายของพืชเนื่องจากสารมลพิษหลักที่ได้กล่าวถึงไปแล้วเป็นข้อมูลอ้างอิง โดยตรวจสอบใบที่เสียหายของพืชซึ่งขึ้นอยู่ในสถานที่นั้นๆ เป็นหลัก การสังเกตด้วยตาเปล่าเป็นวิธีการหลัก แต่บางครั้งก็จะตรวจสอบด้วยแว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์ด้วย แต่ผลกระทบอันเกิดจากมลพิษอากาศในระยะหลังแตกต่างจากความเสียหายเนื่องจากควันในสมัยก่อน เพราะสารมลพิษอากาศไม่ได้จำกัดอยู่แค่สารชนิดเดียวที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดอย่างใดอย่างหนึ่ง สารมลพิษมากกว่า 2 ชนิดจะถูกระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่งหรือแหล่งเดียว โดยทั่วไปมักจะเป็นกรณีของผลกระทบที่เกิดจากสารมลพิษมากกว่าชนิดเดียว ดังนั้นลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อพืชจึงไม่ใช่ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสารมลพิษชนิดเดียวจึงทำให้การวินิจฉัยยากขึ้น

(6.2) การใช้พืชบ่งชี้

โดยทั่วไปเราเรียกสิ่งมีชีวิตที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมบางประเภทเป็นพิเศษว่าเป็นสิ่งที่มีชีวิตบ่งชี้ ในสิ่งแวดล้อมเช่นแม่น้ำหรือทะเล ส่วนใหญ่จะนำสัตว์ เช่น ปลา มาใช้ แต่สำหรับสิ่งแวดล้อมบนบก การใช้พืชซึ่งอยู่กับที่จะเป็นการสะดวกกว่าการใช้สัตว์ที่มีการเคลื่อนที่มาก ในกรณีมลพิษอากาศก็เช่นกัน สำหรับการตรวจวัดสารมลพิษในอากาศ เริ่มมีการทดลองที่จะใช้พืชบ่งชี้ในการตรวจวัดสารมลพิษร่วมกับวิธีการอื่นมากขึ้น การอธิบายถึงระดับความปนเปื้อนโดยวิธีนี้จะเป็นแบบเชิงคุณภาพ (Qualitative-Semi Quantitative) ไม่สามารถแสดงผลเชิงปริมาณ (Quantitative) อย่างเช่นเครื่องตรวจวัดตามหลักการทางฟิสิกส์และเคมีได้ แต่สามารถให้เก็บภาพของการเพิ่มขึ้นของภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่กว้างอย่างต่อเนื่องในระยะยาวได้ นอกจากนี้ยังตรวจวัดภาวะมลพิษเชิงซ้อนในภาพรวมได้ในการเลือกใช้พืชเป็นตัวดัชนียังมีประโยชน์นำมาใช้จำแนกประเภทของสารมลพิษได้อีกด้วย

การใช้พืชบ่งชี้เพื่อแสดงภาวะมลพิษอากาศนี้ ต้องสังเกตภาพความเสียหายของพืชซึ่งไม่เป็นดัชนีที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ซึ่งมีภาวะมลพิษเช่นเดียวกับที่ระบุไว้ในข้อ 1) ซึ่งจะช่วยให้รู้ถึงระดับมลพิษได้จากการเปรียบเทียบกับพืชชนิดเดียวกันที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ซึ่งไม่มีมลพิษ หรือด้วยการนำพืชดัชนีที่เหมาะสมซึ่งมีความไวต่อสารก่อมลพิษตามที่ต้องการเข้าไปปลูกโดยตรงหรือใส่กระถางนำไปวางในพื้นที่ที่มีปัญหา เพื่อทำการสังเกต ตรวจวัดและประเมินผล พืชที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีได้ด้วยคุณสมบัติที่มีความไวสูง หรือมีความต้านทานต่ำต่อสารมลพิษแต่ละชนิด มีดังนี้

ก. SO_x : ในยุโรปและอเมริกาใช้อัลฟัลฟาซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีมาตั้งแต่ในอดีต (ดูตารางที่ 2.11) ในประเทศญี่ปุ่นพืชบ่งชี้นำมาใช้งานได้ดีก็มี Buckwheat งา และสนแดง เป็นต้น

ข. สารประกอบฟลูออไรด์ แกลดิโอลัสเป็นพืชที่มีชื่อเสียงในระดับโลกและถูกนำมาใช้บ่อยครั้ง นอกจากนี้ก็มีองุ่นและ Buckwheat (ดูตารางที่ 2.12)

ค. โอโซน : ในอเมริกาพืชที่รู้จักกันดีคือยาสูบ แต่ในญี่ปุ่นเนื่องจากยาสูบเป็นพืชพิเศษที่มีเอกสิทธิ์ในการผลิต จึงได้เลือกใช้ พืชชนิดอื่น ดังนี้ Morning Glory ผักโขม เผือก pakkasei ถั่วแขก ข้าวโพด หัวไชเท้า (ดูตารางที่ 2.13)

ง. PAN : พิทูเนีย (โดยเฉพาะประเภทดอกขาว) เป็นที่รู้จักกันดี ด้านใต้ใบของหญ้า Fudan จะกลายเป็นสีเทาเงินเนื่องจากเป็นพืชที่ไวต่อ PAN จึงนิยมนำมาใช้เป็นพืชบ่งชี้

จ. เอทธิลีน : การเหี่ยวเฉาของกลีบแคทลียา การร่วงของตาดอกของต้นงา ความเปลี่ยนแปลงของดอกแตงกวาเป็นสภาพความเสียหายที่มีการนำมาใช้บ่งชี้

ฉ. ภาวะมลพิษเชิงซ้อนที่มีSO_2 อยู่ด้วย : ใช้การตรวจสอบการกระจายและสภาพการเจริญเติบโตของพืชชั้นต่ำ เช่นพืชคลุมดินหรือพืชตระกูลมอส เพื่อจัดทำแผนที่การปนเปื้อนเพื่อนำมาใช้ในการประเมินระดับของภาวะมลพิษอากาศเชิงซ้อน

(6.3) การตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ใบไม้

พืชไม่มีระบบขับถ่ายในลักษณะเดียวกับสัตว์ เกือบไม่มีการขับสารมลพิษที่ดูดซึมเข้าไปภายในลำต้นออกทางรากเลย โดยทั่วไปสารพิษส่วนใหญ่จะคงสะสมอยู่ในจุดที่ดูดซึมเข้าไปหรือจุดใกล้เคียงการนำลักษณะเช่นนี้ของพืชมาใช้ประโยชน์ก็คือการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบไม้ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบสารมลพิษได้จากความเกี่ยวข้องเชิงปริมาณขององค์ประกอบเป้าหมาย แต่วิธีนี้ไม่อาจนำมาใช้กับสารมลพิษได้ทุกชนิด โดยทั่วไปถ้าองค์ประกอบของสารที่ต้องการตรวจหาเป็นสิ่งแปลกปลอมสำหรับพืชก็จะยิ่งทำให้ตรวจหาได้ง่ายและเป็นวิธีที่ใช้ได้ดี

ตามปกติในพื้นที่ซึ่งมีภาวะมลพิษอากาศ จะมีการเก็บตัวอย่างใบพืชที่แสดงอาการของความเสียหาย โดยใช้พืชชนิดเดียวกันในตระกูลเดียวกัน จากหลายๆ จุดเป็นจำนวนหลายร้อยกรัมโดยให้ครอบคลุมทั้งอายุของใบ และตำแหน่งของใบบนต้น และในขณะเดียวกันก็จะต้องมีการเก็บใบไม้ปกติจากพื้นที่ซึ่งมีภาวะมลพิษ จำนวน 2-3 แห่งจากตำแหน่งเดียวกันบนต้นมาเป็นตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบด้วย จากนั้นก็นำตัวอย่างเหล่านี้ไปทำให้แห้งและบดเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่ต้องการ

ตารางที่ 2.14 อัตราการดูดซึมไฮโดรเจนฟลูออไรด์แยกตามส่วนต่างๆ ของพืช

(หน่วย : wt%)

พืช	ใบ			กิ่งก้าน	ราก
	ส่วนปลาย	ส่วนกลาง	ส่วนโคน		
ข้าว	48.6	23.0	11.9	16.1	0.4
แตงกวา	45.7	26.9	24.2	3.0	0.2

ตัวอย่างเช่น ฟลูออไรด์ซึ่งมีการสะสมอยู่ในใบพืชเพียงเล็กน้อย ตามปกติจะมีค่าน้อยกว่าหลักสิบส่วนในล้านส่วน (ppm) สำหรับใบไม้แห้ง และมีลักษณะพิเศษคือจะไปสะสมอยู่ที่ปลายใบและขอบใบดังแสดงในตารางที่ 2.14 ในการตรวจหาสภาพภาวะมลพิษอากาศเนื่องจากสารประกอบฟลูออไรด์โดยการนำใบไม้มาวิเคราะห์องค์ประกอบสารฟลูออไรด์จึงมีประโยชน์มาก และการวิเคราะห์ใบไม้สำหรับกำมะถันซึ่งถึงแม้จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ดีเท่าฟลูออไรด์ แต่ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาภาวะมลพิษอากาศที่เกิดจาก SO_x คลอรีนและก๊าซคลอรีนหรือไฮโดรเจนคลอไรด์ได้ นอกจากนี้การวิเคราะห์ใบไม้สำหรับกรณีที่สารมลพิษเป็นอนุภาคซึ่งรวมถึงโลหะหนักเช่น แคดเมียม แมงกานีส ตะกั่ว มีการเกาะติดที่ผิวใบหรือถูกดูดซึมเข้าไปในใบการวิเคราะห์ใบไม้เพื่อตรวจหาสารโลหะหนักเหล่านี้ก็ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(6.4) การลดความเสียหายจากปัญหามลพิษอากาศโดยใช้พืช

ในการป้องกันปัญหาภาวะมลพิษอากาศ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการดำเนินมาตรการกับแหล่งกำเนิด การดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้พืชก็สามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การเพาะปลูกโดยการเลือกพืชที่มีความทนทานสูงมาปลูกในพื้นที่ซึ่งมีมลพิษอากาศ การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการเพาะปลูก การปรับปรุงเรื่องการให้ปุ๋ย การกำหนดแนวพื้นที่สีเขียวในเขตอุตสาหกรรมหรือแนวพื้นที่กันชนสีเขียว เป็นต้น

ตารางที่ 2.15 ชนิดของต้นไม้ที่เหมาะสำหรับนำไปปลูกในเมืองและเขตอุตสาหกรรม

ไม้ต้นสูง (ต้นไม้ที่ในอนาคตอาจสูงได้มากกว่า 10 เมตร)		Juniperus Chinensis	ไม้ใบรูปเข็ม
		Juniper	,,
Bull Bay	ไม้ใบกว้างไม่ผลัดใบ	Japanese Pogoda Tree	ไม้ใบกว้างผลัดใบ
Laurel	,,	Ooshimazakura	,,
Holly	,,	Satozakura	,,
Dwarf Chinese holly	,,	Pomegranate	,,
Camphor Tree	,,	ไม้ต้นเตี้ย (สูงไม่ถึง 5 เมตร)	
	,,		
Japanese Photinia	,,	Eurya emarginata	ไม้ใบกว้างไม่ผลัดใบ
Pasania Tree	,,	Common Camella	,,
Camella	,,	Osmanthus Fortunel Carr	,,
Neolitsea soricea	,,	Oleander	,,
Cinnamomum Japoinicum	,,	Big Purple Azaleas	,,
Pasnia edulis	,,	Fatsia	,,
Cleyera Japonica	,,	Elaeagnus Pungens	,,
Ternstroemia Japonica	,,	Holly	,,
Japanese Nutmeg	ไม้ใบรูปเข็ม	Eurya	,,
Podocarpus Macrophylius	,,	Llex Crenata	,,
Chamaecyparis Obtuse	,,	Tea	,,

ไม้ต้นสูง (ต้นไม้ที่ในอนาคตอาจสูงได้มากกว่า 10 เมตร)		Juniperus Chinensis	ไม้ใบรูปเข็ม
		Juniper	,,
German Spruce	,,	Glod Dust Tree	,,
Japanese Cypress	,,	Winter daphne	,,
Poplar	ไม้ใบกว้างผลัดใบ	Glossy Abelia	,,
Gingko Tree	,,	Lily of The Valley Bush	,,
Platanus	,,	Pittosporum Tobira	,,
Parasol Tree	,,	Shore Juniper	ไม้ใบรูปเข็ม
Salix Babylonica	,,	Korean Golden Bells	ไม้ใบกว้างผลัดใบ
Maple	,,	Kori - Willow	,,
ไม้ต้นขนาดกลาง (สูงเกิน 5 เมตรแต่ไม่เกิน 10 เมตร)		Ligustrum Obtusifolium	,,
Evergreen Oak	ไม้ใบกว้างใบตลอดปี	Windmill Palm	ต้นไม้ชนิดพิเศษ
Japanese Privet	,,	Chinese Windmill Palm	,,
Ligustrum Lucidum	,,	Spineless yucca	,,
Vibumum Awabukl	,,	Japanese Sago Palm	,,
Dendropanax Trifidus	,,	Dracaena	,,
Camellia Sasanqua	,,	Roebelen Date	,,

ตารางที่ 2.15 เป็นตารางแสดงชนิดของพืชที่เหมาะจะนำมาปลูกในเมืองใหญ่และเขตอุตสาหกรรม เพื่อช่วยลดปัญหามลพิษ แต่การเชื่อมั่นในประสิทธิผลของต้นไม้ในลักษณะนี้มากเกินไปก็เป็นเรื่องต้องพึงระวัง เพียงพืชสีเขียวเท่านั้น ไม่อาจกำจัดหรือดูดซับเอา CO_2 หรือสารมลพิษที่มีมากขึ้นในอากาศเนื่องจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ได้หมด อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของป่าและต้นไม้ก็ยังแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่อากาศสะอาดขึ้น นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ไม่อาจมองข้ามได้ก็คือผลจากการเป็นตัวดูดซับของป่าและผลลัพธ์ทางด้านจิตวิทยา มาตรการสีเขียวที่รณรงค์ให้มีการปลูกพืชที่เหมาะกับลักษณะของพื้นที่จึงสมควรที่จะได้รับการส่งเสริมให้มาก

1.4.3 ผลกระทบต่อสัตว์

(1) ความเสียหายของหนอนไหม

ความเสียหายต่ออุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงหมอนไหมเนื่องจากมลพิษอากาศนั้น มีทั้งในกรณีที่หนอนไหมเกิดอาการผิดปกติเนื่องจากกินใบหม่อนซึ่งมีสารมลพิษ และกรณีที่สารมลพิษสัมผัสถูกกับตัวของหนอนไหมโดยตรงและก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น ตัวอย่างของความเสียหายที่พบแบบแรกจะมีมากส่วนแบบหลัง สารมลพิษที่ก่อปัญหานี้ได้แก่ สารประกอบฟลูออไรด์ SO_2 คลอรีน ไอโอดีน โลหะหนัก ฝุ่นซีเมนต์ เป็นต้น

หนอนไหมมีความไวต่อฟลูออรีนค่อนข้างมาก หนอนไหมซึ่งกินใบหม่อนปนเปื้อนที่มีฟลูออรีนเกินกว่า 30 ppm ในใบแห้งจะมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ทำให้มีการพัฒนาไปเป็นดักแด้จึงทำให้ผลผลิตของผู้ประกอบการเพาะเลี้ยงหมอนไหมลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ผลกระทบของ SO_2 ต่อหนอนไหม ถ้าในใบหม่อนแห้งมีความเข้มข้นของกำมะถันสูงกว่า 0.3% จะถือว่ามีพิษ แม้ว่าพิษจะน้อยกว่าฟลูออรีนแต่ก็จะทำให้หนอนไหมเกิดอาการไม่อยากอาหาร มีกิจกรรมน้อยลง การเจริญเติบโตผิดปกติ เป็นต้น

(2) ความเสียหายต่อปศุสัตว์

ในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อให้อาหารปนเปื้อนที่มีฟลูออรีน 30 – 50 ppm เป็นระยะเวลานาน สัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น วัวจะเกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้นกับกระดูกและฟัน และจะเกิดอาการฟลูออรีนเป็นพิษ

1.4.4 ผลกระทบที่มีต่อวัสดุต่างๆ

มลพิษอากาศจะทำให้เกิดความเสียหายต่อวัสดุต่างๆ ดังนี้

(1) อาคารและสิ่งก่อสร้าง

สีของอาคารจะได้รับกระทบจากปัญหามลพิษอากาศ ในพื้นที่มีปัญหามลพิษอากาศ มากจะทำให้อาคารสิ่งก่อสร้างมีสีซีดลง เกิดการสึกกร่อน ทำให้ต้องมีการทาสีบ่อยขึ้น มลพิษอากาศที่มีผลกระทบต่อสีได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โอโซนไฮโดรเจนซัลไฟด์ไนโตรเจนไดออกไซด์

กรณีที่เกิดขึ้นในประเทศไทย มลพิษอากาศมีผลต่อโบราณสถานในบริเวณเกาะกรุงรัตนโกสินทร์ เกิดเขม่าสีดำจับตัวบนพื้นผิวให้ความสง่างามลดลง และทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศกลายเป็นกรด เช่นที่วัดพระแก้วและพระที่นั่งอนันตสมาคม

(2) โลหะ

มลพิษอากาศมีผลทำลายหรือทำความเสียหายแก่โลหะ ทำให้โลหะเป็นสนิม สึกและผุกร่อนได้ เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ทำให้ลวดสปริงเสียรูปทรง หรือซัลเฟอร์ไดอกไซด์ที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 จะกัดกร่อนวัสดุที่ทำด้วยเหล็ก สังกะสี ทองแดง

(3) ยาง(Rubber)

ในบริเวณที่มีโอโซนสูง จะมีผลต่อการเปราะหรือแตกหักของยาง เช่น ผิวนอกของยางรถยนต์ฉนวนหุ้ม โดยเฉพาะถ้ามีความชื้นในอากาศสูงด้วยปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ของโอโซนจะเร็วขึ้นโดยไปทำลานพันธะคู่ (Double Bond) ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของโพลีเมอร์ที่มีอยู่ในยาง ในบางพื้นที่ เช่น ลอสแอนเจลิส ในสหรัฐอเมริกา โรงงานผลิตยางจะต้องเติมสารยับยั้งโอโซน(Anti – Ozone) ในยางที่ผลิตออกจำหน่าย นอกจากนี้โอโซนยังมีผลต่อฉนวนหุ้มที่ใช้ในสถานีย่อยไฟฟ้าและชุมสายโทรศัพท์

(4) เส้นใยและสีย้อม

สารมลพิษที่สำคัญ ซึ่งทำลายหรือทำความเสียหายแก่เสื้อผ้า ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำความเสียหายให้แก่เสื้อผ้าด้วยการทำให้เนื้อผ้าอ่อนยุ่ยหรือผ้าเปื่อยขาดหรือเปรอะเปื้อนหรือเกิดการเปลี่ยนสี

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะมีผลทำให้เกิดการเสียหายต่อเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติโดยเฉพาะผ้าฝ้าย ในพื้นที่มีปัญหามลพิษอากาศ เช่นฝุ่นละออง และอนุภาคต่างๆ ฟุ้งกระจายจะเห็นว่าผ้าม่านจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ

นอกจากนี้ออกไซด์ของไนโตรเจนและโอโซนยังทำให้สีของผ้าซีดเร็วขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณที่มีโอโซนและมีความชื้นอากาศสูงจุเกิดการออกซิไดซ์ได้ดีทำผ้าฝ้ายและ เรย่อนมีสีซีดจางลง

(5) แก้วและเซรามิก

ไฮโดรเจนฟลูโอไรด์สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบซิลิกอนที่มีอยู่ในเซรามิคและแก้วได้ถึงแม้ว่าแก้วและเซรามิกจะมีความคงทนต่อปฏิกิริยาที่เกิดจากมลพิษอากาศ แต่หากมีการสัมผัสกับมลพิษเป็นเวลานานพบว่าจะทำให้ผิวของแก้วและเซรามิคมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ผิววัสดุด้านและลดความมันเงา โดยเฉพาะบริเวณที่มีความชื้นและมีมลพิษที่มีสภาพเป็นกรด

1.4.5 ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบนิเวศวิทยา

ผลเสียที่เกิดกับระบบนิเวศวิทยาเป็นผลที่เกิดจากฝนกรด โดยธรรมชาติน้ำฝนจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางทฤษฎีแล้ว น้ำฝนตามธรรมชาติจะมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยอยู่แล้ว คือมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 5.6 (ค่าความเป็นกรดเป็นค่าที่ 7.0 จัดว่ามีสภาพเป็นกลาง)

สารมลพิษอากาศที่เป็นสาเหตุหลักของฝนกรดคือกรดซัลฟูริกและกรดไนตริก แต่แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและจากพฤติกรรมมนุษย์ที่ปล่อยกรดเหล่านี้ออกมาในอากาศมีไม่มากนัก กรดเหล่านี้จะเกิดขึ้นโดยมี SO_2 และ NO_x เป็นสารตั้งต้น โดยกลไกการเกิดขึ้นก็คือการทำปฏิกิริยากับ OH ในสถานะก๊าซ การทำปฏิกิริยาในเมฆหรือหมอก หรือการทำปฏิกิริยาบนสารที่เป็นอนุภาค โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในสถานก๊าซจะมีความสำคัญมาก ความเร็วในการเกิดออกซิเดชั่นของ SO_4 ไปเป็นกรดซัลฟูริกจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของ OH แต่โดยประมาณในฤดูร้อน คือ 3% ต่อ 1 ช.ม. และต่ำกว่า 1% ในฤดูหนาว ในขณะที่ความเร็วในการเกิดออกซิเดชั่นของ NO_x คาดว่ามากกว่านี้เกือบ 10 เท่า

$$SO_2 + OH \longrightarrow HSO_3 - (H_2O) \longrightarrow H_2SO_4 \qquad (1.10)$$

$$NO_2 + OH \longrightarrow HNO_3 \qquad (1.11)$$

กรดซัลฟูริกและกรดไนตริกที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับเอาไว้ด้วยเมฆหรือน้ำฝนแล้วตกลงสู่พื้นโลกในลักษณะของฝนกรด (ตกลงมาในลักษณะเปียก) หรือตกลงสู่พื้นโลกในลักษณะของละอองที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในอากาศ(ซัลเฟต, ไนเตรต) หรือเกาะติดกับอนุภาคของสารอื่น (ตกลงมาในลักษณะแห้ง) การที่ SO_2 และ NO_x ซึ่งถูกระบายออกมาจากแหล่งกำเนิดจะตกลงสู่พื้นโลกในสภาพฝนกรดหรือสารที่เป็นกรดที่ไหน เมื่อไหร่ ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการเกิดออกซิเดชั่นไปเป็นกรดซัลฟูริกและกรดไนตริก ความเร็วในการเกิด และเงื่อนไขทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ปริมาณแสงแดด ปริมาณเมฆ ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม ความเร็วลม เป็นต้น

2.2.1 แผนที่ (Map)

2.2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผนที่

แผนที่ (Map)หมายถึง รูปจำลองพื้นผิวโลกหรือบางส่วนของพื้นผิวโลกหรือท้องฟ้าลงบนระนาบตามมาตราส่วนและทิศทางตามความต้องการ บนแผนที่จะแสดงทั้งลักษณะตามธรรมชาติของพื้นผิวโลก และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ยังมีแผนที่ซึ่งเรียกว่า แผนที่เฉพาะเรื่อง ซึ่งมีข้อมูลอื่นที่จะต้องศึกษา เพื่อการวางแผนและออกแบบโครงการต่างๆให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การใช้แผนที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แผนที่ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ

แผนที่ภูมิประเทศ คือ แผนที่ที่แสดงให้เห็นรูปลักษณะของพื้นที่โดยการใช้สัญลักษณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะของแผนที่ภูมิประเทศ คือแผนที่จะแสดงส่วนสูงต่ำบนผิวโลก ซึ่งแสดงโดยแบบจำลอง การแรเงา เส้นลายขวานสับ เส้นรูปลักษณะหรือเส้นชั้นความสูง โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และมาตราส่วนในการทำแผนที่ และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ด้วย

แผนที่ภูมิประเทศได้ถูกนำมาใช้งานหลายอย่าง เช่นในการออกแบบโครงการด้านวิศวกรรม ซึ่งต้องพิจารณารูปแบบของพื้นที่ และยังให้ข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการศึกษาของนักธรณีวิทยา นักเศรษฐศาสตร์ และผู้ที่สนใจทางด้านการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

การร่างแผนที่โดยปกติเป็นแบบลายเส้นขีดดินสอดำบนกระดาษไขที่มีคุณภาพดี ซึ่งทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น ในแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่รูปร่างที่ปรากฏของรายละเอียดเป็นผังรูปแบบเหมือนกับวัตถุโดยธรรมชาติหรือสิ่งประดิษฐ์ และแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กลงอาจจะตองใช้สัญลักษณ์แทนรายละเอียดบางอย่าง มีการกำหนดแบบเส้นสำหรับจำแนกประเภทรายละเอียดเป็นเส้นเต็ม เส้นประชนิดต่างๆ เส้นเรียบอิสระ หรือเส้นบรรทัด แนวรั้วแบบต่างๆ จะมีสัญลักษณ์แบบใช้ตัวอักษรบรรยายลักษณะ ข้อตกลงแบบลายเส้นเหล่านี้ถือเป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตแผนที่จะแปลความหมายออก มาตราส่วนมีข้อกำหนด

หลายอย่างที่ใช้เป็นข้อกำหนดในการเลือกขนาดของแผนที่ มาตราส่วนแผนที่โดยทั่วไปจะต้องเลือกมาตราส่วนขนาดพอเหมาะ ซึ่งต้องใหญ่พอที่จะแสดงลักษณะต่างๆอย่างชัดเจนและขนาดของสิ่งต่างๆจะถูกย่อลงบนแผนที่ด้วยความถูกต้องตามที่กำหนด

การรังวัดแผนที่ภูมิประเทศจัดตามมาตราส่วนที่ใช้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

แผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ 1 : 2500 หรือใหญ่กว่านั้น

แผนที่มาตราส่วนขนาดกลาง 1 : 5000 ถึง 1 : 2500

แผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก 1 : 50000 หรือเล็กกว่านั้น

การผลิตแผนที่อาจผลิตด้วยมาตราส่วนขนาดเดียวกันกับต้นฉบับ เช่น การทำพิมพ์เขียวหรือโดยมาตราส่วนขนาดต่างกัน (ด้วยการย่อหรือขยายมาตราส่วน) จากร่างแผนที่โดยการถ่ายรูปแบบต่างๆ เช่นการถ่ายสำเนา (xerography) และวิธีการอื่นๆ ข้อดีอย่างหนึ่งของการผลิตโดยลดขนาดมาตราส่วนก็คือ สะดวกต่อการนำไปใช้ในสนาม เช่นในงานก่อสร้าง แผนที่ส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้เครื่องพิมพ์ ซึ่งจะให้แผนที่สีเดียวหรือหลายสีที่มีคุณภาพ

2.2.1.2 รายละเอียดที่จะต้องแสดงในแผนที่

รายละเอียดที่จะต้องแสดงในแผนที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปแผนที่ไปใช้และขนาดของมาตราส่วนแผนที่ รายละเอียดที่ควรแสดงในแผนที่มีดังต่อไปนี้

ก. ลักษณะของพื้นที่ เช่น ทุ่งหญ้า ป่าละเมาะ ฯลฯ ซึ่งควรจะแสดงโดยสัญลักษณ์แผนที่

ข. ทิศทางการไหลของแม่น้ำและลำธาร

ค. ชนิดของเส้นกั้นอาณาเขต เช่น รั้วต้นไม้ รั้วลวดหนาม

ง. ต้นไม้ชนิดต่างๆที่มีขนาดใหญ่

จ. ชนิดของอาคาร เช่น ทำด้วยอิฐ ไม้ เหล็กลูกฟูก และประโยชน์ที่ใช้ เช่น เป็นที่อยู่อาศัย เป็นที่เก็บของหรือเป็นโรงรถ

ฉ. หมุดระดับ และหลักกิโลเมตร

ช. ชื่อและตำบลที่อยู่ของเจ้าของสถานที่ ซึ่งทำการรังวัดทิศทางที่จะไปยังเมือง และหมู่บ้านข้างเคียง ทางเดินเท้าและทางรถไฟ

ซ. เสาโทรเลข โทรศัพท์ เสาไฟฟ้า และลักษณะเด่นที่น่าสนใจในบริเวณนั้น

2.2.1.3 การเขียนแผนที่

หลังจากได้เลือกขนาดมาตราส่วนที่จะใช้ในการเขียนแผนที่แล้ว ก็พิจารณาถึงการวางรูปงานลงบนกระดาษ ลากแนวโซ่ที่ยาวที่สุดลงก่อน แล้วสร้างสามเหลี่ยม ถ้าสามเหลี่ยมมีขนาดใหญ่ใช้วงเวียนก้านยาวช่วย ลากแนวโซ่ทุกๆเส้น และตรวจสอบความถูกต้องของรูปโครงด้วยเส้นตรวจสอบ ก่อนที่จะลงรายละเอียดแผนที่

ในกรณีที่ใช้หมุดควบคุมจากงานข่ายสามเหลี่ยมหรือจากการรังวัดโยเครื่องมืออื่นและมีค่าพิกัดฉาก ให้ใช้กระดาษเขียนแบบตีเป็นตารางจัตุรัสที่เหมาะสมกับขนาดมาตราส่วนที่ใช้เขียนหมุดควบคุมจากค่าพิกัดเหล่านั้น

หมายตำแหน่งของระยะฉากลงบนแนวโซ่ สร้างเส้นตั้งฉากโดยใช้ชุดบรรทัดสามเหลี่ยม (Set square) หรือโดยมาตราระยะฉาก (offset square) ซึ่งเป็นมาตรขนาดสั้นวางตั้งฉากอยู่บนมาตรอันยาว เลื่อนไปตามขอบของมาตรอันยาวได้ การวัดระยะฉากโดยมาตรชนิดนี้จะอ่านระยะบนแนวโซ่และระยะฉากได้พร้อมกัน

ผู้เขียนแผนที่ควรระวังค่าผิดที่จะเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ก. เขียนระยะฉากผิดตำแหน่งหรือผิดด้านของแนวโซ่

ข. ลืมเขียนระยะฉากบางเส้น

การเขียนแผนที่ใช้หมึกดำเขียนส่วนที่เป็นรายละเอียดแผนที่ทั้งหมดด้วยปากกาเขียนแบบสำหรับลักษณะที่แตกต่างกัน อาจให้ความหนาของเส้นไม่เท่ากัน รวมทั้งการใช้เส้นประและเส้นแนวเขต การเน้นลักษณะพิเศษ เช่น อาคารสร้างใหม่อาจใช้หมึกแดง แนวโซ่อาจปล่อยไว้เป็นดินสอหรือลงหมึกสีฟ้าจางเพื่อจำแนกสิ่งที่ทำการรังวัด นำสัญลักษณ์แผนที่มาใช้เพื่อแสดงลักษณะต่างๆด้วย

การใช้สีและตัวอักษร ไม่ควรใช้สีมากเกินไป ถ้าใช้สีน้ำในบริเวณใหญ่จะทำให้กระดาษหดตัว บริเวณที่แคบ เช่น ถนนและลำธาร อาจใช้สีน้ำตาลหรือสีฟ้าไดตามลำดับ บริเวณที่เป็นน้ำอาจให้ขอบเป็นสีน้ำเงิน เส้นแนวเขตใช้สีตัดเป็นเส้นขอบเพื่อเน้นให้ชัดเจน

การเขียนตัวอักษรและตัวเลขให้เขียนอย่างประณีต แผนที่จะต้องมีชื่อระวาง ขนาด มาตราส่วน และแนวเมริเดียนแสดงไว้ด้วย และให้ทิศเหนืออยู่ทางขอบบนของแผนที่

การย่อแผนที่ จะต้องพิจารณาความหนาที่สมควรของเส้นและขนาดสัญลักษณ์ที่ใช้ การแสดงมาตราส่วนแผนที่ควรใช้มาตราส่วนเชิงเส้น ไม่ควรบอกขนาดของมาตราส่วนเพียงแต่ตัวเลขเท่านั้น

2.2.1.4 การใช้โต๊ะแผนที่

โต๊ะแผนที่แตกต่างจากเครื่องมือรังวัดชนิดอื่นในข้อที่ว่าสามารถจะนำไปใช้ทำแผนที่ใจสนาม โดยการสร้างโครงงานของหมุดควบคุมและเก็บรายละเอียดของแต่ละสถานี โดยไม่ตองวัดมุมและไม่ต้องมีการคำนวณ แผนที่ที่ได้เสร็จเรียบร้อยในสนาม ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการสะดวกที่จะใช้โต๊ะแผนที่ในงานบุกเบิกที่ต้องการความรวดเร็ว ในกรณีที่มีหมุดควบคุมจากงานที่มีความถูกต้องสูงกว่า เช่น งานวงรอบ ก็จะใช้โต๊ะแผนที่ในการเก็บรายละเอียด หรือทำการปรับปรุงแก้ไขแผนที่ให้ทันสมัยได้ ในบริเวณชุมชน การทำงานสนามนิยมใช้โต๊ะแผนที่เมื่อเทียบกับงานรังวัดด้วยโซ่ นอกจากนี้โต๊ะแผนที่ยังใช้ในการรังวัดเพื่อเขียนเส้นชั้นความสูง

อีกด้วย อย่างไรก็ดี งานรังวัดด้วยโต๊ะแผนที่เหมาะสำหรับการเก็บรายละเอียดแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนขนาดเล็ก แต่เมื่อนำมาใช้ในการทำแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ที่มีแนวเล็งระยะสั้น ก็จะใช้อุปกรณ์หมายแนวดิ่งเพื่อช่วยกำหนดตำแหน่งตั้งโต๊ะบนกระดาษ

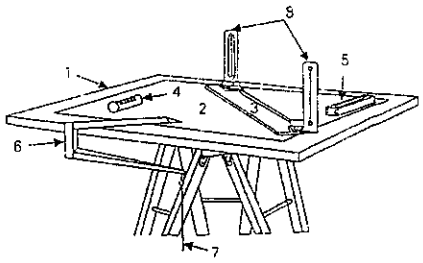
โต๊ะแผนที่และอุปกรณ์ประกอบ

กระดานเขียนแบบตั้งบนสามขาในลักษณะที่สามารถจัดระดับ และหันโต๊ะในแนวราบได้โดยที่ขาไม่ขยับเขยื้อน การตรึงกระดาษกับโต๊ะจะต้องไม่ใช้กาว เพราะการหดและการขยายตัวของไม้และกระดาษไม่เท่ากัน กระดาษที่ใช้ทำแผนที่ควรจะเป็นกระดาษที่มีคุณภาพดีที่สุด

บรรทัดเล็ง (alidade) มีทั้งแบบติดกล้องโทรทัศน์ (telescopic alidade) และแบบ peep sight alidade แบบที่ง่ายที่สุดคือแบบ peep sight ซึ่งมีที่หมายเล็งติดตั้งในแนวยืนที่ปลายทั้งสองของบรรทัดเล็ง ระยะห่างกันประมาณ 20 ถึง 30 ซม. ที่หมายเล็งแต่ละอันเจาะเป็นช่องยาวในแนวยืนและมีสายใยขึงที่กึ่งกลางของที่หมายเล็งอันที่อยู่ไกลตา ที่หมายเล็งติดกับแท่งด้วยบานพับเพื่อพับเก็บได้ บรรทัดเล็งชนิด peep sight ในปัจจุบันมีมาตรสำหรับวัดความสูงในลักษณะเดียวกับ indianclinometer ซึ่งจะใช้ในการทำแผนที่ภูมิประเทศด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบโต๊ะแผนที่ได้แก่ หลอดระดับ เข็มทิศกล่อง (Trough compass) อุปกรณ์หมายแนวดิ่ง (plumbing fork) บรรทัดมาตราส่วน และที่สำคัญควรจะมีผ้าคลุมโต๊ะชนิดกันน้ำรูปที่ 2.6เป็นรูปโต๊ะแผนที่พร้อมอุปกรณ์ในการใช้โต๊ะแผนที่ดังกล่าว

การตั้งโต๊ะและจัดโต๊ะ โต๊ะแผนที่จะตั้งสูงเสมอเอว เพื่อผู้ทำแผนที่จะก้มลงทำงานได้โดยไม่ต้องพิงหรือท้าวโต๊ะ กางสามขาออกและปักให้แน่นบนพื้นดิน การจัดระดับทำโดยอุปกรณ์ระดับ



รูปที่ 2.6

1. กระดานเขียนแบบ
2. กระดาษเขียนแบบ
3. บรรทัดเล็ง
4. หลอดระดับ
5. เข็มทิศกล่อง
6. อุปกรณ์หมายแนวดิ่ง
7. สายดิ่ง
8. ที่หมายเล็ง

กำหนดแนวเมริเดียนให้ทิศเหนือหันไปทางหัวกระดาษ หันให้แนวเมริเดียนชี้ไปทางเหนือโดย

ก. ใช้เข็มทิศแม่เหล็ก จะได้แนวเหนือแม่เหล็ก

ข. การเล็งแนวเล็งหลัก (back sighting) โต๊ะจะอยู่ในทิศทางสัมพันธ์กับเส้นรังวัดในสนาม

ค. วิธีเล็งสกัดย้อน (โดย three-point problems)

ทันทีที่จัดโต๊ะเสร็จจะต้องตรึงให้แน่นและทำการเขียนแผนที่ของบริเวณสถานีตั้งโต๊ะ โดยไม่ทำให้โต๊ะแผนที่เคลื่อน

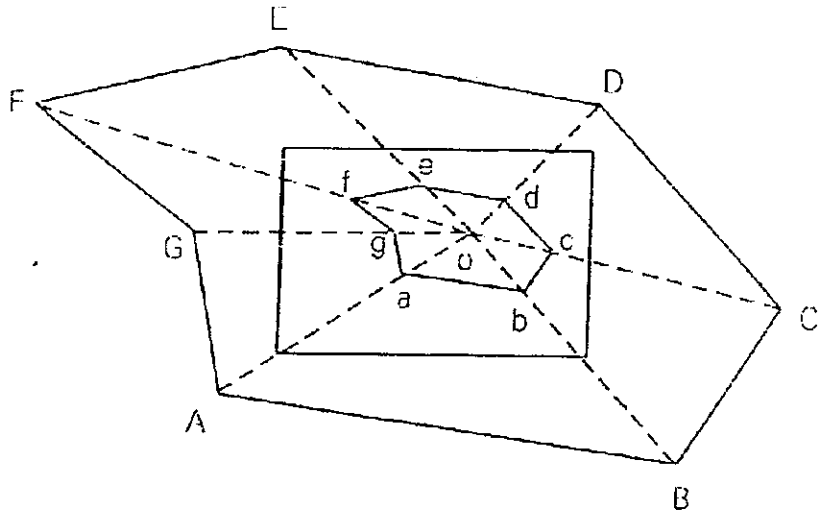
การจัดโต๊ะทั้งสามวิธีดังกล่าวข้างต้น วิธี ก. จะได้ทิศทางอย่างคร่าวๆ เพราะที่ตำแหน่งต่างๆในพื้นที่อาจจะมีการรบกวนท้องถิ่นอยู่ ซึ่งวิธี ข. และวิธี ค. จะให้ทิศทางและตำแหน่งแผนที่ได้ดีกว่าการใช้เข็มทิศ

ระบบของการใช้โต๊ะแผนที่ วิธีการรังวัดด้วยโต๊ะแผนที่อาจจำแนกออกเป็น 4 หัวข้อดังต่อไปนี้

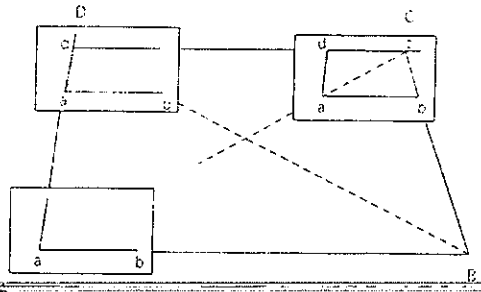
1) การเล็งรอบจุด (radiation) เลือกสถานีตั้งโต๊ะ O ซึ่งมองเห็นทุกจุดที่ทำการวัด ปรับระดับโต๊ะและจัดโต๊ะโดยใช้เข็มทิศด้วยการวางเข็มทิศบนโต๊ะให้อยู่มุมซ้ายบน หันโต๊ะจนกระทั่งเข็มทิศชี้แนวเหนือใต้ ขันโต๊ะให้แน่น ใช้ดินสอปลายแหลมลากเส้นตามขอบด้านยาวของกล่องเข็มทิศ จะได้แนวเหนือของแผนที่ไปในทิศเหนือแม่เหล็ก

หมายจุด o บนกระดาษแทนสถานีตั้งโต๊ะ นำบรรทัดเหล็กทาบกับจุด o เล็งและลากเส้นไปยังจุดต่างๆ เช่น A B C ... วัดระยะ OA OB OC ... เขียนแนว oa ob oc ... บนกระดาษตามมาตราส่วนที่กำหนด ได้จุดรายละเอียดแผนที่

วิธีนี้มีขอบเขตการใช้งานจำกัดมาก คือจะต้องร่วมกับการรังวัดวิธีอื่นเพื่อเก็บรายละเอียดไม่เกินระยะ 20 เมตร เหมาะกับงานมาตราส่วนขนาดใหญ่ เป็นการเสริมให้งานรังวัดสมบูรณ์ขึ้น การเล็งรอบจุดจะใช้ได้กว้างขวางขึ้นถ้าวัดระยะทางโดยวิธีสเตเดีย



รูป 2.6 การเล็งรอบจุด



รูปที่ 2.7 การเล็งสกัดย้อน

ความคลาดเคลื่อนของการตั้งโต๊ะตรงจุดเป็นสิ่งที่ไม่สามรถจะหลีกเลี่ยงได้แต่เนื่องจากการเล็งสกัดย้อนมีขอบเขตจำกัดสำหรับงานมาตราส่วนขนาดเล็ก จึงไม่มีผลต่อความถูกต้องของการเขียนมากนัก

กรณีทั่วไปของการเล็งสกัดย้อนกระทำโดย

. ใช้ปัญหา 3 จุด (Three-point problems)

. ใช้ปัญหา 2 จุด (Two-point problems)

ปัญหา 3 จุด ต้องการหมายตำแหน่งของจุดๆหนึ่งบนพื้นดิน ซึ่งยังไม่ได้เขียนลงบนแผนที่จากจุด 3 จุด ซึ่งได้เขียนตำแหน่งไว้แล้ว การแก้ปัญหาทำโดยวิธีเขียนรูปบนโต๊ะแผนที่

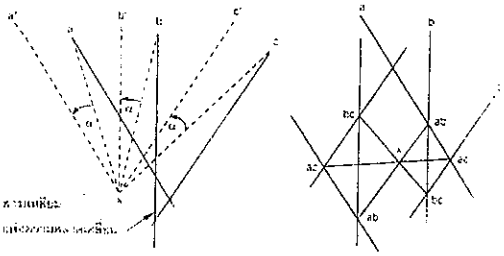
a b และ c เป็นตำแหน่งบนแผนที่ของจุด A B และ C ตามลำดับ ต้องการจะเขียนตำแหน่งของจุด x ซึ่งเป็นจุดตั้งโต๊ะ

จัดโต๊ะโดยประมาณให้ตำแหน่ง a b และ c บนโต๊ะสัมพันธ์กับ A B และ C บนพื้นดิน ลากแนว Aa Bb และ Cc ย้อนเข้าหาจุด x ที่ต้องการ ถ้าแนวทั้งสามนี้ตัดกันที่จุดเดียว จุดนั้นคือตำแหน่งตั้งโต๊ะที่ต้องการ โดยปกติแนวทั้งสามจะไม่ตัดกันที่จะจุดเดียว ความคลาดเคลื่อนในการจัดโต๊ะจะทำให้แนวเล็งเบนออกไปเล็กน้อยและตัดกันเป็น 3 จุด เกิดเป็นสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อน การหาตำแหน่งของจุด x ทำโดย

. ถ้าสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนอยู่ภายนอกรูปสามเหลี่ยม abc จุด x จะอยู่ภายในสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อน

. ถ้าสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนอยู่ภายนอกรูปสามเหลี่ยม abc จุด x จะอยู่ทางซีกเดียวกันของเส้นทั้งสาม

. ในกรณีทั้ง ก. และ ข. ที่กล่าวข้างบนนี้ ตำแหน่งของ x จะอยู่ห่างจากแนวทั้งสามเป็นปฏิภาคตรงกับความยาวของแนวนั้นๆ

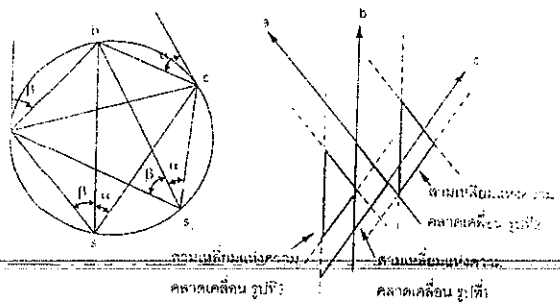


รูปที่ 2.8 สามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อน

จากรูป 2.6 (ก) จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนของทิศทางเนื่องจากการจัดโต๊ะเป็นมุมนาดเล็ก ทิศทางของแนวเล็งสกัดย้อนจะหันไปจากทิศทางที่ควรจะเป็นด้วยขนาดของมุมที่เท่ากันทุกเส้น ด้วยหลักการที่กล่าวมาแล้ว เลือกตำแหน่งของจุด x อยู่ทางซีกใดซีกหนึ่งของแนวเล็งทั้งสาม ลากเส้นขนานกับแนวเล็งทั้งสามให้แนวที่ลากใหม่อยู่ห่างจากแนวเล็งเดิมเป็นปฏิภาคตรงกับความยาวของแนวเล็ง จะพบว่าแนวเล็งทั้งสามจะยังคงตัดกันเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ แต่สามเหลี่ยมนั้นจะเป็นสามเหลี่ยมขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนของเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจเลือกจุด x ว่าควรจะอยู่ทางซีกไหนของเส้น จากการสังเกตจะเห็นว่ารูปสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนโดยการประมาณตำแหน่งเช่นนี้ จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมคล้ายๆกันและด้านต่อด้านที่ตรงกันค่อนข้างขนานกัน ฉะนั้นเมื่อได้รูปสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนคู่หนึ่งก็อาจจะโยงจุดสกัดระหว่างแนวเล็งคู่เดียวกันเป็นแนวเส้นตรง ผลการกระทำนี้จะให้เส้นตรงสามเส้นที่ผ่านจุดยอดของสามเหลี่ยมตัดกันได้ที่จุดเดียว นั่นคือจุดตั้งโต๊ะที่ต้องการ ดังรูป 2.6 (ข)

ในทางปฏิบัติ ตำแหน่งที่แท้จริงของจุด x จะหาได้โดยการประมาณตำแหน่งครั้งที่สองและครั้งที่สาม การทำเช่นนี้จะได้รูปสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนมีขนาดต่างๆกัน เมื่อเกิดรูปสามเหลี่ยมขนาดเล็กที่สุดหรือเล็กจนกระทั่งเป็นจุด นั่นคือตำแหน่งของจุด x

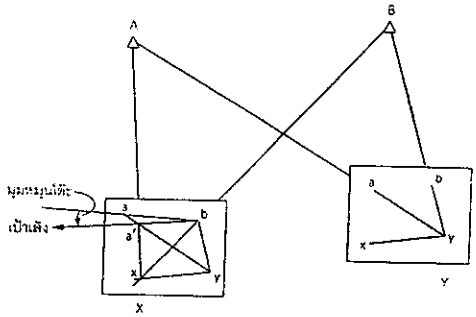
ถ้าตำแหน่งตั้งโต๊ะอยู่บนหรือใกล้วงกลมที่ผ่าน A B และ C จะมีปัญหาเกี่ยวกับการเล็งสกัดย้อน คือ จะเกิดสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนขนาดเดียวกันโดยที่ไม่สามารถที่จะลดขนาดลงเป็นจุดได้ ดังรูป 2.7 จุด x จะอยู่บนหรือใกล้วงกลมดังกล่าว วงกลมนี้เรียกว่า วงกลมอันตราย (dangerous circle) การหลีกเลี่ยงอุปสรรคเช่นนี้จะทำได้โดยใช้ปัญหา 2 จุด



รูปที่ 2.9 วงกลมอันตราย

ปัญหา 2 จุด ถ้ามีแต่เพียง A และ B เป็นจุดที่เขียนตำแหน่งไว้บนแผนที่แล้ว และต้องการลงตำแหน่งของจุด x ซึ่งเป็นจุดตั้งโต๊ะ ในกรณีนี้จะต้องเลือกจุด y บนพื้นดินเพื่อใช้เป็นจุดช่วยในการเล็งสกัดย้อนหาตำแหน่งของจุด x

ตั้งโต๊ะที่จุด y และจัดโต๊ะให้แนว ab ขนานกับแนว AB บนพื้นดินโดยประมาณ เขียนแนว Aa และ Bb ตัดกันที่จุด y บนกระดาษ เขียนแนว yX ย้ายโต๊ะไปตั้งที่จุด X และจัดโต๊ะให้อยู่ในแนว XY ลากแนว Bb ตัดแนว yx ที่จุด x จากจุด x เล็งไปที่ A ลากแนว xA ตัด ya ที่ a' รูป a'byx คือรูปที่ถูกต้องของ ABYX มุม aba' คือความคลาดเคลื่อนของการจัดโต๊ะ จะต้องทำการจัดโต๊ะให้แนว ab อยู่ใจแนว a'b โดยปักเป้าเล็งในแนว ba' ห่างจากโต๊ะประมาณ 30 ถึง 50 เมตร วางบรรทัดเล็งในแนว ab และหันโต๊ะจนกระทั่งแนวเล็งตัดกับเป้าเล็ง ทำให้โต๊ะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง หมายตำแหน่งของจุด x ใหม่โดยการเล็งสกัดย้อนจาก A และ B



รูปที่ 2.10 ปัญหา 2จุด

งานสนาม การใช้โต๊ะแผนที่โดยปกติจะปฏิบัติงานเพียงคนเดียว อาศัยหมุดควบคุมที่มีอยู่หรือได้เตรียมเพิ่มเติมในพื้นที่เพื่อการจัดโต๊ะ อุปกรณ์นอกเหนือจากโต๊ะพร้อมสามขาก็มีเพียงบรรทัดเล็งที่มีมาตรวัดมุมดิ่ง ซึ่งผู้รังวัดเป็นผู้เลือกจุดตั้งโต๊ะที่สมควร หรืออาจจะสร้างหมุดควบคุมเพิ่มเติมเพื่อเก็บรายละเอียดและหาความสูงของพื้นดิน การวัดระยะทำโดยวิธีนับ

ก้าวเดิน ห่างจากโต๊ะไม่เกิน 20 เมตร ซึ่งผู้รังวัดจะใช้วิธีเล็งแบบต่างๆ เพื่อหมายตำแหน่งจุดรายละเอียดตรวจสอบความถูกต้อง และร่างแผนที่ลายเส้นสำเร็จในสนาม

การสำรวจระดับทำบนโต๊ะแผนที่หลังจากได้แผนที่อาณาเจตแล้ว เลือกจุดระดับในพื้นที่ตามลักษณะภูมิประเทศ การหมายตำแหน่งของจุดระดับส่วนใหญ่จะใช้การเล็งสกัดย้อนจาก 3 จุด ซึ่งเลือกใช้หมุดควบคุมผสมกับจุดรายละเอียดที่ลงไว้ในแผนที่ได้ บันทึกหมายเลขของจุดระดับบนโต๊ะแผนที่และบันทึกข้อมูลระยะเล็ง (วัดตามมาตราส่วนแผนที่) กับค่า tangent ของแนวเล็ง (อ่านจากบรรทัดเล็ง)

โต๊ะแผนที่ที่ใช้บรรทัดเล็งมีกล้องโทรทัศน์พร้อมด้วยสายใยสเตเดีย มีไม้ระดับที่ทอนระยะและค่าระดับได้เลยในสนามเหมาะสำหรับช่างรังวัดอาชีพที่จะทำงานเสร็จในสนาม เครื่องมือมากชิ้นพร้อมทั้งหีบบรรจุ งานโต๊ะแผนที่จึงต้องการผู้ช่วยบันทึก คำนวณและแบกหามเพิ่มเติมอีกอย่างน้อย 3 คน

ข้อแนะนำ หัวข้อต่อไปนี้จะช่วยแนะการทำงานที่เหมาะสมเฉพาะงานแต่ละอย่าง

มาตราส่วนใหญ่กว่า 1 : 2500

การควบคุมทางราบ โดยงานวงรอบ การเล็งรอบจุด และการเล็งสกัด การเก็บรายละเอียดโดยการรังวัดด้วยโซ่และโดยการเล็งรอบจุด การวัดระยะใช้แถบวัดระยะ

การควบคุมทางดิ่ง โดยวิธีทำระดับโดยตรง วิธีสเตเดีย หรือ Indian clinometers สำหรับช่วงชั้นความสูง 0.5 เมตร จะต้องทำการหมายจุดบนเส้นชั้นความสูงโดยวิธีทำระดับวิธีตรง สำหรับเส้นชั้นความสูงเพื่อการวางแนว ควรใช้วิธีสเตเดีย

มาตราส่วน 1 : 2500 ถึง 1 : 10000

การควบคุมทางราบ โดยการเล็งสกัด การเล็งสกัดย้อนและงานวงรอบ การใช้สถานีรังวัดควบคุมจะใช้ได้ใน 4 แบบ คือ

ก. ตั้งโต๊ะแผนที่บางจุดหรือทุกจุด

ข. ใช้ในการตรวจสอบการจัดโต๊ะที่จุดใดๆ และใช้ในการหมายสถานีโดยการเล็งสกัดย้อน

ค. ระยะทางระหว่างสถานีใช้เป็นเส้นฐานได้เท่าที่ต้องการ เพื่อระบบการเล็งสกัด

ง. จากค่าความสูง ช่วยให้หาค่าระดับของจุดอื่นๆ ได้ทั้งหมด

การเก็บรายละเอียดในมาตราส่วนขนาดใหญ่ โดยการเล็งรอบจุดด้วยวิธีสเตเดีย สำหรับมาตรราส่วนขนาดเล็กก็จะใช้การร่างรายละเอียดแผนที่มากขึ้น

การควบคุมทางดิ่ง โดยวิธีสเตเดีย Indian clinometers หรืออาจจะใช้ระดับตรีโกณมิติในการเขียนเส้นชั้นความสูงสำหรับพื้นที่ค่อนข้างราบ หากระยะทางยาวเกินกว่าที่จะใช้วิธีสเตเดียก็จะหาค่าระดับของจุดเล็งสกัดโดยใช้เครื่องมือวัดความลาดเอียง

มาตราส่วน 1 : 10000 ถึง 1 : 50000

การควบคุมทางราบ เช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวข้างบน การเขียนสถานีตั้งโต๊ะในทางปฏิบัตินิยมใช้วิธีเล็งสกัดย้อนมากกว่าวิธีเล็งสกัด และใช้จุดเล็งสกัดย้อนนี้ในการร่างรายละเอียดแผนที่ เนื่องจากระยะ 0.2 มม. บนกระดาษเท่ากับ 2 ถึง 10 ม. ตามมาตราส่วน ดังนั้นการเก็บรายละเอียดส่วนใหญ่ใช้วิธีร่างโดยประมาณ

การควบคุมทางดิ่ง โดย Indian clinometers หรือโดยการวัดมุมดิ่ง ผู้เขียนแผนที่ควรจะประมาณความลาดเอียงของผิวดินเช่นเดียวกับการเขียนเส้นชั้นความสูง

มาตราส่วนเล็กกว่า 1 : 50000

การควบคุมทางราบ โดยการเล็งสกัดย้อนและการเล็งสกัด การเก็บรายละเอียดใช้วิธีร่างโดยประมาณ

การควบคุมทางดิ่ง โดยการวัดมุมดิ่ง โดยบารอมิเตอร์ หรือโดย Indian clinometers

ความคลาดเคลื่อนในการใช้โต๊ะแผนที่ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนแบ่งออกเป็น

ก. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือ ซึ่งผลจากความคลาดเคลื่อนนี้มีส่วนเพียงเล็กน้อยในการทำแผนที่

ข. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้เครื่องมือและการเล็งรวมถึงการตั้งโต๊ะไม่อยู่ในแนวราบ การตั้งโต๊ะไม่ตรงจุด ความคลาดเคลื่อนของแนวเล็ง การขยับเขยื้อนของโต๊ะระหว่างการเล็งและการจัดโต๊ะไม่สมบูรณ์

ค. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเขียนจะลดน้อยลง ถ้าผู้เขียนใช้ความระมัดระวังในการใช้เครื่องมือและวิธีเขียนแบบได้ถูกต้อง

หลักทั่วไปในการใช้บรรทัดเล็งติดกล้องโทรทัศน์

ก. ไม่หมายตำแหน่งของสถานีใหม่โดยใช้แนวเล็งกับระยะทางเพียงชุดเดียว การหมายตำแหน่งของสถานีใหม่จะต้องมีการยืนยันโดยแนวเล็งจากสถานีอื่นด้วย

ข. เก็บรายละเอียดจากโต๊ะแผนที่เป็นบริเวณกว้างพอสมควร เพื่อควบคุมความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

ค.ในการรังวัดแนวทางคดเคี้ยวให้ตั้งโต๊ะที่จุดสกัดของเส้นสัมผัสส่วนโค้งทั้งสองข้าง

ง.การจัดโต๊ะให้เล็งกลับไปยังที่หมายอันสุดท้าย

ข้อดีและข้อเสียของการใช้โต๊ะแผนที่

ข้อดี

ก. สามารถที่จะเขียนแผนที่เสร็จในสนาม

ข. สามารถตรวจทานความถูกต้องของงานได้ในสนาม

ค. มีการจดข้อมูลงานสนามจำนวนน้อย ซึ่งจะไม่มีปัญหาของการจดค่าผิด

ง. การร่างรายละเอียดกระทำได้โดยที่ช่างรังวัดยังอยู่ในสนาม

จ. งานสำนักงานมีเพียงการเขียนแผนที่สมบูรณ์ ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

ข้อเสีย

ก. ไม่เหมาะสำหรับการทำงานในวันที่มีอากาศชื้นหรือลมแรง

ข. การเขียนแผนที่กลางแสงแดดทำให้เคืองตา อาจต้องการร่มหรือใช้กระดาษสีทึมหรือใช้แว่นกันแดด

ค. เครื่องมือมีน้ำหนักและใหญ่เกะกะรวมทั้งมีอุปกรณ์หลายชิ้นซึ่งอาจจะตกหายได้ง่าย

ง. การไม่บันทึกในสมุดสนาม เป็นการไม่สะดวกในกรณีที่จะต้องมีการคำนวณและเป็นการยากที่จะเปลี่ยนขนาดมาตราส่วนแผนที่

2.2.1.5 **แผนที่ภูมิประเทศ**

แผนที่ภูมิประเทศคือแผนที่แสดงให้เห็นรูปลักษณะของพื้นที่โดยการใช้สัญลักษณ์ที่เหมาะสม รูปลักษณะดังกล่าวได้แก่ ความสูงต่ำของผิวโลก ซึ่งรวมถึงลักษณะของภูเขาและหุบเขา ลักษณะทางธรรมชาติอย่างอื่นๆ เช่น ต้นไม้ ลำธาร และการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติบนผิวโลกโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น อาคาร ถนน คลอง ลักษณะของแผนที่ภูมิประเทศเมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่อื่นก็คือ แผนที่ภูมิประเทศแสดงส่วนสูงต่ำบนผิวโลกซึ่งแสดงโดยแบบจะลอง การแรเงา เส้นลายขวานสับ เส้นรูปลักษณะ หรือเส้นชั้นความสูง ซึ่งแสดงค่าระดับและบอกเป็นจำนวนเลข มีช่วงชั้นความสูงหรือระยะดิ่งระหว่างเส้นชั้นความสูงที่เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และมาตราส่วนแผนที่และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ด้วย

แผนที่ภูมิประเทศได้ถูกนำมาใช้งานหลายอย่าง เช่น ในการออกแบบโครงการวิศวกรรมซึ่งต้องพิจารณารูปแบบของพื้นที่ ค่าต่างระดับหรืออัตราการลาดเอียง และยังให้ข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการศึกษาของนักธรณีวิทยา นักเศรษฐศาสตร์ และผู้ที่สนใจทางด้านการพัฒนาทัพยากรธรรมชาติ

การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศส่วนใหญ่กระทำโดยหน่วยงานของรัฐ ในกรณีที่ใช้แผนที่ภูมิประเทศเพื่อช่วยในงานรังวัดอย่างอื่น ผู้ทำการรังวัดควรมีแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณ ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ลักษณะเฉพาะหรือมาตราส่วนที่ต้องการ

การวางแผนงานรังวัด การเลือกวิธีการในสนามเพื่อการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศควรพิจารณาดังนี้

- **ความต้องการในการใช้แผนที่** งานรังวัดเพื่อทำแผนที่แสดงรายละเอียดควรจะทำด้วยวิธีที่ประณีตกว่างานรังวัดสำหรับแผนที่แสดงลักษณะทั่วไป เช่น การประมาณงานดินจากแผนที่ภูมิประเทศโดยภูมิสถาปนิก จะต้องหาจากแผนที่ซึ่งแสดงผิวดินที่มีขนาดทั้งทางราบและทางดิ่งถูกต้องกว่าแผนที่ที่ใช้ในการประมาณความจุในการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ ในทำนองเดียวกันการรังวัดบริเวณที่จะก่อสร้างสะพาน ควรมีรายละเอียดและความถูกต้องของบริเวณที่จะสร้างมากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลออกไป

- **พื้นที่ของอาณาบริเวณ** การที่จะให้จุดที่สัมพันธ์กันบนพื้นที่ขนาดใหญ่คงความละเอียดที่ต้องการเป็นการยากกว่าบนพื้นที่ขนาดเล็ก ดังนั้นการวัดสำหรับงานควบคุมบนพื้นที่ขนาดใหญ่ควรทำอย่างละเอียดกว่าบนพื้นที่ขนาดเล็ก

- **มาตราส่วน** มีข้อพิจารณาหลายอย่างที่ใช้เป็นข้อกำหนดในการเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่ โดยทั่วไปจะต้องเลือกมาตราส่วนขนาดพอเหมาะ ซึ่งจะต้องใหญ่พอที่จะแสดงลักษณะต่างๆอย่างชัดเจน และขนาดของสิ่งต่างๆจะถูกย่อลงบนแผนที่ด้วยความถูกต้องที่

กำหนด วิศวกรที่คุ้นเคยกับแบบโครงสร้างที่มรมาตราส่วนขนาดใหญ่ จะมีความโน้มเอียงในการเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่ใหญ่กว่าที่จำเป็น ซึ่งจะไม่มีผลเสียจากการกระทำนั้น แต่บางครั้งจะพบว่าขนาดที่วัดอย่างระเอียดจากแผนที่เหล่านั้นไม่ถูกต้องเท่าที่ควร

การเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่มีข้อพิจารณาดังนี้

ก. ความชัดเจนของลักษณะที่จะแสดงในแผนที่

ข. ราคาหรือค่าใช้จ่ายในการทำแผนที่ ถ้ามาตราส่วนขนาดใหญ่ค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้น

ค. ความสัมพันธ์ของข้อมูลกับแผนที่

ง. ขนาดของกระดาษแผนที่ที่ต้องการ

จ. องค์ประกอบธรรมชาติ เช่น จำนวน และลักษณะสมบัติที่จะแสดงในแผนที่ ลักษณะของผิวดินและช่วงชั้นความสูง

การรังวัดแผนที่ภูมิประเทศจัดตามมาตราส่วนที่ใช้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

แผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ 1 : 2500 หรือใหญ่กว่า

แผนที่มาตราส่วนขนาดกลาง 1 : 5000 ถึง 1 : 25000

แผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก 1 : 50000 หรือเล็กกว่า

- ช่วงชั้นความสูง ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กจะต้องทำการวัดระดับในสนามละเอียดกว่าช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่กว่า การเลือกช่วงชั้นความสูงที่เหมาะสมสำหรับการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศขึ้นอยู่กับการพิจารณาที่สำคัญ 4 ประการ คือ

ก. ความถูกต้องของค่าระดับที่อ่านจากแผนที่ สมมุติว่าแผนที่ 2 แผ่น มีความถูกต้องเท่ากัน ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าระดับที่อ่านจากจุดซึ่งเลือกโดยการสุ่มบนแผนที่เปรียบเทียบกันไม่เกินค่าจริงครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูง ถ้าแผนที่ทั้งสองมีช่วงชั้นความสูงเป็น 1 ม. และ 0.25 ม. ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่า ถ้าช่วงชั้นความสูงมีขนาดเล็กลง จะให้ค่าระดับที่ละเอียดกว่า ฉะนั้นการวัดค่าระดับก็ต้องละเอียดขึ้น

ข. ลักษณะภูมิประเทศ สภาพพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงชั้นความสูง ถ้าต้องการแสดงลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่เล็กๆที่มีความแตกต่างของพื้นที่น้อย จะต้องใช้ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กเพื่อจะได้เห็นได้ชัดเจน แต่ถ้าความแตกต่างของพื้นที่มีมาก ก็ควรใช้ช่วงชั้นความสูงใหญ่ขึ้น

ค. ความชัดเจนอ่านง่าย แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงหนาแน่นเกินไปจะทำให้ไม่เห็นลักษณะที่สำคัญอย่างอื่น ถึงแม้ว่าความชัดเจนอ่านง่ายของแผนที่จะขึ้นอยู่กับความละเอียดจากเส้นที่ลากขึ้นก็ตาม

ง. ค่าใช้จ่าย ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่ โดยเฉพาะถ้าจะให้ได้ความถูกต้องเกินครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูง

ช่วงชั้นความสูงและมาตราส่วนแผนที่มีความสัมพันธ์กัน โดยทั่วไปถ้าแผนที่มีมาตราส่วนขนาดเล็กใช้ช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่ ความสัมพันธ์นี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และมาตราส่วนของแผนที่ ลักษณะของพื้นดินและลำดับของการพัฒนาที่ดินในพื้นที่ที่จะทำแผนที่

ขนาดช่วงชั้นความสูงที่เหมาะสมกับมาตราส่วนแผนที่ ได้แก่

มาตราส่วน 1 : 100 ถึง 1 : 2000 ช่วงชั้นความสูง 0.5 ถึง 2 ม.

มาตราส่วน 1 : 2500 ถึง 1 : 10000 ช่วงชั้นความสูง 1 ถึง 5 ม.

มาตราส่วน 1 : 10000 ถึง 1 : 250000 ช่วงชั้นความสูง 10 ถึง 50 ม.

งานสนาม เป็นงานรังวัดเพื่อการกำหนดตำแหน่งทางราบและหาค่าระดับของจุดที่เลือกบนผิวดินเพื่อใช้ในการเขียนเส้นชั้นความสูงและสร้างแผนที่ภูมิประเทศ เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดได้แก่ กล้องวัดมุม โต๊ะแผนที่ กล้องระดับ ระดับมือถือ และเครื่องวัดความลาดเอียง การใช้กล้องวัดมุมมีข้อดีกว่าการใช้โต๊ะแผนที่ในบริเวณที่มีการลงจุดเป็นจำนวนมาก สภาวะที่เหมาะสมกับการใช้โต๊ะแผนที่คือที่โล่ง นอกจากนี้ยังเหมาะกับการทำแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก บางครั้งก็ใช้ร่วมกันทั้งกล้องวัดมุมและโต๊ะแผนที่ หรือกล้องวัดมุมและกล้องระดับ ในป่าทึบการหาค่าระดับของจุดรายละเอียดทำโดยระดับมือถือ หรือโดยเครื่องวัดความลาดเอียง ระยะทางวัดออกจากสถานีโดยแถบวัดระยะ

งานควบคุม งานควบคุมประกอบด้วยงานควบคุมทางราบ และงานควบคุมทางดิ่ง งานควบคุมจะให้โครงร่างของงานรังวัด ซึ่งในภายหลังจะประกอบด้วยรายละเอียดหรือการกำหนดตำแหน่งของสิ่งต่างๆ ได้แก่ ถนน อาคาร ต้นไม้ ลำธาร จุดซึ่งทราบค่าระดับ และเส้นชั้นความสูง

ในงานรังวัดพื้นที่กว้างๆ จะต้องจัดข่ายควบคุมหลัก (Primary control) โดยเลือกสถานีรังวัดเป็นระยะ ทำการวัดอย่างละเอียด และแทรกสถานีควบคุมที่วัดด้วยความละเอียดที่น้อยกว่าเป็นข่ายควบคุมรอง (secondary control) สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กใช้ข่ายควบคุมเพียงระบบเดียว วัดด้วยความละเอียดเท่ากับข่ายควบคุมรองของพื้นที่ที่ใหญ่กว่า

งานควบคุมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. **งานควบคุมทางราบ** ได้แก่ งานวงรอบ งานข่ายสามเหลี่ยม หรือทั้งสองอย่างรวมกัน สำหรับงานรังวัดทั่วไป ขั้นแรกจะสร้างข่ายควบคุมหลักและติดตามด้วยข่ายควบคุมรอง ในงานรังวัดบนพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้ข่ายควบคุมหลักแต่เพียงอย่างเดียวซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับข่ายควบคุมรองของพื้นที่ใหญ่ งานแผนที่ภูมิประเทศโดยทั่วไปทำงานควบคุมทางราบโดยงานวงรอบชั้นสามหรือชั้นสี่

งานวงรอบ โครงรังวัดควบคุมโดยการจัดวางเส้นรังวัดเรียงต่อกัน ทำการวัดทิศทางและความยาวของทุกเส้น จากพิกัดแผนที่ของสถานีหนึ่งจะคำนวณพิกัดแหนที่ของสถานีวงรอบโดยใช้ข้อมูลทิศทางกับความยาววัดได้เป็นรายเส้น งานแผนที่ภูมิประเทศส่วนใหญ่จะใช้วงรอบปิดเป็นข่ายควบคุม

การวัดมุมให้ได้ความถูกต้องสูงทำได้ง่ายกว่าการวัดระยะ ระยะหนึ่งๆต้องทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อยืนยันว่าไม่มีค่าผิด และเป็นการตรวจสอบขนาดของค่าแย้งที่ไม่เกินเกณฑ์ความถูกต้องของงานที่ได้กำหนดไว้

การตรวจสอบค่ามุมของวงรอบรูปปิด ทำได้โดยใช้ผลรวมของมุมภายในรูปตามที่จะคำนวณได้ในวิธีเลขาคณิตสำหรับจำนวนสถานีวงรอบต่างๆ การวัดมุมราบของสถานีส่วนใหญ่จะวัดเป็นมุมเวียนทางขวามือที่เรียกว่ามุมสนาม ซึ่งในบางรูปมุมวัดได้ปรากฏว่าเป็นมุมภายนอกรูป ดังนั้นการตรวจสอบขนาดมุมทำได้ง่ายกว่าโดยการคำนวณแอซิมัธ ความรู้เบื้องต้นของการวัดแอซิมัธ ดาราศาสตร์ให้ทิศทางเพื่อการวัดรูปและเป็นข้อมูลสำคัญของการคำนวณพิกัดแผนที่ ในงานรังวัดควบคุมมีการกำหนดให้วัดแอซิมัธเป็นรายทางระยะห่างกัน 10 ถึง 20 สถานี จำเป็นต้องรู้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นที่ดีพอสมควร ค่าแลติจูดและลองกิจูดของพื้นที่หาได้จากหน้าแผนที่ได้ถูกต้องดีกว่า 1 ลิปดา หรือในกรณีที่ไม่สามารถหาแผนที่ของบริเวณนั้นได้ จะใช้วิธีการวัดมุมสูงของดวงอาทิตย์ตรงเวลา 12 นาฬิกา หรือใช้เส้นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามศาสตร์การเดินเรือ วิธีการทั้งสองที่กล่าวมานี้ ต้องการปฏิทินดวงอาทิตย์ประกอบสำหรับคำนวณพิกัดภูมิศาสตร์

เมื่อวัดด้วยกล้องวัดมุม 01 ลิปดา โดยใช้กล้องทั้งสองหน้า และมีค่าแย้งของมุมที่ทอนในหน้าซ้ายและขวาไม่เกิน 01 ลิปดา ถือว่าค่าเฉลี่ยจากมุมวัดได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 ลิปดา ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นประมาณ 1 ใจ 6900 หลักการง่ายๆที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้คือ แขนมุมเบนไป 0.5 ลิปดา หรือ 0.00015 เรเดียน ปลายของแขนมุมขนาดยาว 1 หน่วย กวาดออกไปเป็นระยะ 0.00015 x 1 หน่วย ความถูกต้องของการวัดมุมขนาดนี้สูงกว่าอัตราความถูกต้อง 1 ใน 2500 ที่ต้องการในงานแผนที่โครงการ แต่ก็ยังมีความ

คลาดเคลื่อนของการวัดระยะที่เป็นตัวทอนให้อัตราความถูกต้องรวมลดต่ำลง ควรที่จะรักษาเกณฑ์ความถูกต้องของการวัดมุมไว้คงเดิม

เส้นวงรอบรองออกจากสถานีวงรอบใช้วิธีสเตเดีย ซึ่งความยาวของเส้นขนาดไม่เกิน 100 เมตร ให้ความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นประมาณ 1.5 มม. เมื่อบรรจบงานที่สถานีวงรอบอีกสถานีหนึ่งในช่วงขนาด 4 หรือ 5 สถานี ความคลาดเคลื่อนสะสมเพิ่มขึ้นเป็น 3 มม. ความคลาดเคลื่อนขนาดนี้ไม่มีความหมายต่อการเขียนแผนที่ตามมาตราส่วน โดยที่ความคลาดเคลื่อนของการเขียนแนวจะมีมากกว่า ฉะนั้นการปรับแก้วงรอบรองจะทำได้โดยวิธีเขียนรูป จำเป็นต้องปรับแก้ตำแหน่งของสถานีเหล่านี้ก่อนจะลงรายละเอียดแผนที่ ความคลาดเคลื่อนของงานวงรอบรองและของตำแหน่งรายละเอียดจะไม่คิดเป็นตัวเลข อัตราส่วนเหมือนงานรังวัดควบคุม แต่จะกำหนดระยะวัดเป็น มม. ในเกณฑ์ของแผนที่ภูมิประเทศ

ตารางที่ 2.14 .1

แสดงความถูกต้องสำหรับงานวงรอบ

	ชั้น หนึ่ง	ชั้นสอง	ชั้นสาม
จำนวนสถานีหลักระหว่างแอซิมัธดาราศาสตร์	10-15	15-25	25-35
ค่าแย้งแอซิมัธเฉลี่ยต่อสถานีไม่เกิน	1.0 ฟิลิปดา	2.0 ฟิลิปดา	5.0 ฟิลิปดา
ค่าคลาดเคลื่อนน่าจะเป็นสูงสุดของแอซิมัธดาราศาสตร์	0.5 ฟิลิปดา	2.0 ฟิลิปดา	5.0 ฟิลิปดา
ค่าคลาดเคลื่อนบรรจบสูงสุดไม่เกิน	1:25,000	1:10,000	1:5,000

ข. **งานควบคุมทางดิ่ง** เป็นการสร้างหมุดระดับเป็นระยะเพื่อการถ่ายระดับหรือเข้าบรรจบวงระดับในการเก็บรายละเอียด และเพื่อเป็นหมุดระดับอ้างอิงระหว่างงานก่อสร้างในภายหลังงานควบคุมทางดิ่งทำโดยการทำระดับวิธีตรง แต่สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กหรือพื้นที่ไม่เรียบมักจะทำโดยงานระดับตรีโกณมิติ ค่าระดับของแผนที่ภูมิประเทศควรจะโยงเข้ากับหมุดระดับจากค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง การทำระดับเพื่องานควบคุมทางดิ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ งานระดับชั้นหนึ่ง ชั้นสอง ชั้นสาม ซึ่งแต่ละชั้นของงานระดับมีความแตกต่างกันทั้งความละเอียดของการวัดและวิธีการทำระดับ งานระดับชั้นหนึ่งเป็นงานระดับที่มีความละเอียดสูงสุด ในทางปฏิบัติความละเอียดที่ได้ขึ้นอยู่กับความไวของเครื่องมือ ความระมัดระวังในการทำระดับ และความละเอียดในการคำนวณ

งานระดับชั้นหนึ่ง เป็นงานระดับที่มีความละเอียดสูงสุด เส้นระดับควรจะเริ่มจากหมุดระดับที่มีอยู่เดิม และจบลงที่หมุดระดับลักษณะเดียวกันอีกหมุดหนึ่ง การวัดต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดค่าผิด และจะต้องทำระดับตรวจสอบจากหมุดระดับเริ่มต้น และจากหมุดระดับเข้าบรรจบไปยังหมุดระดับที่มีอยู่เดิมอย่างน้อยอีกหนึ่งหมุด เพื่อเป็นการยืนยันค่าระดับของหมุดระดับเริ่มต้นและหมุดระดับเข้าบรรจบ ค่าต่างระดับของหมุดระดับเริ่มต้นกับหมุดระดับข้างเคียงที่ได้จากการตรวจสอบระดับจะต้องอยู่ใจเกณฑ์การเข้าบรรจบของงานระดับชั้นหนึ่ง สำหรับหมุดระดับเข้าบรรจบก็เช่นเดียวกัน

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แบ่งเส้นระดับเป็นตอนๆ ทำระดับไป-กลับในแต่ละตอน ความถูกต้องแสดงโดยค่าแย้งของการทำระดับไป-กลับไม่เกิน 4 มม.$\sqrt{K}$ ซึ่ง K คือความยาวของแต่ละช่วงของการทำระดับ มี

หน่วยเป็นกิโลเมตร เครื่องมือใช้กล้องระดับชั้นดี (precise level) และไม้ระดับ geodetic leveling rod

งานระดับชั้นสอง ทำเหมือนงานระดับชั้นหนึ่ง เป็นการทำระดับทางเดียวในกรณีที่โยงหมุดระดับในงานชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า หรืออาจเดินเส้นระดับเป็นลักษณะของวงระดับโดยเริ่มต้นและจบลงที่หมุดระดับเดียวกัน การตรวจสอบความถูกต้องของหมุดระดับเริ่มต้นและหมุดระดับเข้าบรรจบทำเช่เดียวกับงานระดับชั้นหนึ่ง

ความละเอียดของงาน แสดงโดยค่าแย้งที่ได้จากการทำระดับจากหมุดระดับหนึ่งไปยังหมุดระดับอีกหมุดหนึ่ง หรือจากค่าคลาดเคลื่อนบรรจบของวงระดับซึ่งเริ่มต้นและจบลงที่หมุดระดับเดียวกัน ค่าแย้งสูงสุดหรือค่าคลาดเคลื่อนบรรจบไม่เกิน 8 มม. $\sqrt{K}$ ซึ่ง K คือความยาวของเส้นระดับเป็นกิโลเมตร

งานระดับชั้นสาม เป็นการซอยงานชั้นหนึ่งและชั้นสองลงมาเพื่อเพิ่มหมุดควบคุมทางดิ่ง เส้นระดับทำระหว่างหมุดระดับชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า โดยเดินเส้นระดับทางเดียว แต่จะต้องมีการบรรจบหรือปิดวงระดับ เครื่องมือใช้กล้องระดับและไม้ระดับธรรมดา ค่าตรวจสอบของการบรรจบวงระดับไม่เกิน 12 มม. $\sqrt{K}$ ซึ่ง K คือความยาวของวงระดับเป็นกิโลเมตร

งานระดับที่ต่ำกว่างานชั้นสาม เป็นพวกงานระดับซึ่งให้ค่าตรวจสอบในการเข้าบรรจบเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ในงานระดับชั้นสาม เช่น งานระดับตรีโกณมิติ งานระดับบารอมิเตอร์ และงานระดับทั่วไป ตาราง (2.14.2) เป็นการสรุปสิ่งสำคัญในการกำหนดชั้นของงาน เช่น ความยาวของเส้นระดับในการสร้างหมุดควบคุมทางดิ่ง บริเวณที่อยู่ใกลซึ่งเส้นระดับของงานชั้นสอง

ตารางที่ 2.14.2 เกณฑ์ชั้นของงานระดับ

	งานชั้นหนึ่ง	งานชั้นสอง		งานชั้นสาม
		ประเภท 1	ประเภท 2	
ระยะห่างของเส้นระดับประมาณ	100 กม.	50 กม.	10กม.	ไม่กำหนด
วางหมุดบนเส้นระดับเป็นระยะทางประมาณ	2 กม.	2 กม.	2 กม.	5 กม.
ความยาวของระดับ	1-2 กม.	1-2 กม.	1-2 กม.	ไม่กำหนด
ค่าแย้งของการทำระดับไป-กลับระหว่างจุดที่มีค่าระดับกำกับไว้หรือค่าคลาดเคลื่อนของการบรรจบวงระดับไม่เกิน	4 มม.$\sqrt{K}$	8 มม.$\sqrt{K}$	8 มม. $\sqrt{K}$	12 มม. $\sqrt{K}$

ยาวเกินกว่า 40 กิโลเมตร จะต้องทำระดับไป-กลับจะจัดไว้ในประเภท 1 ของงานระดับชั้นสอง และบริเวณที่เดินเส้นระดับทางเดินจัดไว้ในประเภท 2 ของงานระดับชั้นสอง

งานเก็บรายละเอียด งานควบคุมและงานเก็บรายละเอียดสามารถดำเนินไปพร้อมๆกัน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ในกรณีที่มีคนและเครื่องมือเพียงพอ แต่ถ้ามีกลุ่มทำงานเพียงกลุ่มเดียว ให้ทำงานควบคุมให้เสร็จก่อนแล้วจึงทำการเก็บรายละเอียด สิ่งที่จะกล่าวต่อไปเป็นการกระทำหลังจากได้ทำงานควบคุมเสร็จแล้ว ดังนั้นกลุ่มทำงานสนามก็จะทำการเก็บรายละเอียดแต่เพียงอย่างเดียว

ระบบของจุดรายละเอียด ระบบของจุดรายละเอียดที่ใช้ในการเก็บรายละเอียดแผนที่มี 4 อย่างดังนี้

1) ระบบหมุดควบคุม จุดรายละเอียดจะกระจายอยู่ตามแนวสันเขาและร่องน้ำ และบริเวณที่มีการเปลี่ยนระดับ การกำหนดจุดในแนวราบทำโดยการวัดออกจากสถานีในลักษณะของการเล็งรอบจุดหรือโดยการเล็งสกัดด้วยกล้องวัดมุมหรือโต๊ะแผนที่ ค่าระดับของจุดวัดโดยงานระดับตรีโกณมิติหรือโดยการทำระดับวิธีตรง
2) ระบบรูปตัดแนวขวาง จุดรายละเอียดอยู่บนแนวตัดขวางซึ่งตัดกับเส้นวงรอบ ระยะจากเส้นวงรอบถึงจุดรายละเอียดวัดด้วยแถบวัดระยะและค่าระดับวัดโดยการทำระดับวิธีตรง
3) วิธีตาราง ใช้กับแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่และบริเวณค่อนข้างราบ แบ่งบริเวณเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตอกหมุดที่มุมของรูปสี่เหลี่ยม วัดค่าระดับของจุดมุมรูปเหลี่ยมและจุดเปลี่ยนระดับด้วยการทำระดับวิธีตรง
4) วิธีจุดชั้นความสูง จากสถานีกล้องวัดมุมหรือโต๊ะแผนที่ วัดค่าระดับของจุดซึ่งมีค่า

ระดับเท่ากับเส้นชั้นความสูงที่ต้องการ โดยปกติใช้กล้องระดับธรรมดา

การใช้ระบบจุดรายละเอียด พอจะสรุปได้ดังนี้

1) งานรังวัดมาตราส่วนขนาดใหญ่ ในกรณีที่ต้องการความละเอียดสูงและพื้นดินไม่เรียบ ใช้ระบบจุดชั้นความสูงและวิธีตารางบนพื้นดินเรียบ
2) งานรังวัดมาตราส่วนขนาดกลาง ใช้ระบบหมุดควบคุมบนเนินเขาหรือบนพื้นที่สูงต่ำ และใช้ระบบรูปตัดแนวขวางบนพื้นที่ราบหรือในงานรังวัดแนวทาง
3) งานรังวัดมาตราส่วนขนาดเล็ก ใช้ระบบหมุดควบคุม จุดบนพื้นดินมีจำนวนน้อย มักจะทำบนโต๊ะแผนที่โดยวิธีเล็งสกัด ค่าระดับของจุดเหล่านี้วัดโดยงานระดับตรีโกณมิติ ระยะราบที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างระดับวัดจากแผนที่

สำหรับงานรังวัดงานหนึ่งอาจใช้หลายวิธีรวมกัน เช่น ระยะทางไปยังจุดซึ่งอยู่ใกล้เครื่องมืออาจวัดโดยการนับก้าวหรือโดยแถบวัดระยะ ระยะทางที่ยาวขึ้นอาจวัดด้วยวิธีสเตเดีย วิธีตารางใช้ในการเก็บรายละเอียดในพื้นที่โล่งหรือสูงต่ำเล็กน้อย ระบบหมุดควบคุมใช้ในการเก็บข้อมูลในพื้นที่ขรุขระและบริเวณที่เป็นป่า วัตถุประสงค์ก็คือเก็บรายละเอียดโดยใช้เวลาน้อยที่สุดและสะดวกที่สุด

ความละเอียด การกำหนดจุดรายละเอียดจำพวก อาคาร สะพาน และแนวเขต ควรให้มีความละเอียดพอเหมาะกับความละเอียดในการเขียน จุดรายละเอียดในการรังวัดมาตราส่วน

ขนาดใหญ่ ควรจะมีมากกว่าในงานรังวัดมาตราส่วนขนาดกลาง ดังนั้นการเก็บรายละเอียดในงานรังวัดมาตราส่วนขนาดใหญ่ จึงมีความสำคัญมากกว่า

- **เส้นชั้นความสูง ความถูกต้องของเส้นชั้นความสูงขึ้นอยู่กับ**
  - ก. ความถูกต้องและความละเอียดของการวัด
  - ข. จำนวนจุดที่ทำการวัด
  - ค. การกระจายของจุด

จุดบนพื้นดินจะมีจำนวนจำกัด แต่เส้นชั้นความสูงจะต้องเขียนต่อออกไปบางส่วน ควรเก็บรายละเอียดด้วยความละเอียดที่เหมาะสมให้มากจุด ดีกว่าเก็บด้วยความละเอียดสูงแต่น้อยจุด การเลือกจุดบนพื้นดินมีข้อสังเกตได้ เช่น กำหนดให้ทำการรังวัดเพื่อทำแผนที่ซึ่งมีความถูกตองจนถึงว่า ถ้าเลือกจุดที่กระจายอยู่อย่างเหมาะสมบนแผนที่โดยการสุ่ม ค่าต่างระดับของจุดเดียวกันบนแผนที่และพื้นดินไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูง

- **มุม** ความละเอียดในการวัดมุมของจุดรายละเอียดพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับความละเอียดของระยะดิ่งและระยะราบ ดังนั้นถ้าระยะเล็งเป็น 100 ม. ค่าคลาดเคลื่อนของค่าระดับ 0.003 ม. จะมีค่าคลาดเคลื่อนของมุมดิ่ง 01 ลิปดา ในทำนองเดียวกันค่าคลาดเคลื่อนของทิศทางราบ 01 ลิปดา ในระยะเล็ง 100 ม. จะทำให้จุดที่เคลื่อนไป 0.03 ม. เนื่องจากค่าความละเอียดในการวัดมุมดิ่งมีความสำคัญมากกว่าความละเอียดในการวัดทิศทางราบ จึงอาจจะถือเป็นข้อกำหนดได้ว่า การวัดทิศทางราบของจุดชั้นความสูง ไม่จำเป็นต้องอ่านค่ามุมละเอียดเกินกว่า 05 ลิปดา

งานเก็บรายละเอียดทำโดยวิธีการรังวัดดังต่อไปนี้

ก.**การเก็บรายละเอียดโดยการรังวัดด้วยโซ่** วัดระยะฉากจากเส้นรังวัด เหมาะสำหรับพื้นที่ค่อนข้างราบและไม่ค่อยมีสิ่งกีดขวาง รายละเอียดที่ได้เป็นรายละเอียดทางราบ วิธีนี้จะเก็บรายละเอียดเป็นแถบคร่อมเส้นรังวัดมีความกว้างไม่เกิน 1 ช่วงโซ่เท่านั้น

ข. **การเก็บรายละเอียดโดยวิธีสเตเดีย** วิธีนี้ได้ทั้งรายละเอียดทางราบและทางดิ่ง กลุ่มทำงานประกอบด้วย ผู้เล็งกล้อง ผู้บันทึก และผู้ถือไม้ระดับ 1 หรือ 2 คน

ในการเก็บรายละเอียด การอ่านจานองศาดิ่งจะต้องอ่าด้วยความละเอียดสูงกว่าการอ่านจานองศาราบ คืออ่านจานองศาดิ่งละเอียดถึง 01 ลิปดา และอ่านจานองศาราบละเอียดถึง 05 ลิปดา วิธีการทำงาน ตั้งกล้องบนหมุดควบคุมของข่ายควบคุมหลักหรือข่ายควบคุมรอง ซึ่งทราบค่าระดับและตำแหน่งแล้ว วัดความสูงของแกนราบเหนือสถานีด้วยไม้ระดับหรือแถบวัดระยะ ตรวจสอบค่าดัชนีจานองศาดิ่ง จัดกล้องโดยแนวเล็งหลังไปตามแนวที่ทราบค่าในทิศทางราบแล้วทำการเก็บรายละเอียดด้วยวิธีที่ได้อธิบายไว้ในเรื่องการรังวัดด้วยวิธีสเตเดีย ผู้ถือไม้ระดับจะเลือกจุดตามแนวร่องน้ำ สันเขา เนินและแอ่ง จุดเปลี่ยนความลาดเอียง และจุดรายละเอียดต่างๆ การเลือกจุดเป็นสิ่งสำคัญ จะต้องทำให้เป็นระบบ เพื่อที่จะได้รายละเอียดทั้งหมดและต้องทำการตรวจสอบบริเวณอย่างรอบคอบโดยใช้ระดับมือถือช่วยและบันทึกลักษณะสำคัญซึ่งมองไม่เห็นจากสถานีตั้งกล้อง

ค. **การเก็บรายละเอียดโดยโต๊ะแผนที่** เก็บรายละเอียดโดยวิธีเล็งรอบจุด ได้ทั้งรายละเอียดทางราบและทางดิ่ง กลุ่มทำงานประกอบด้วย ผู้ทำการรังวัด และผู้ถือไม้ระดับ 1 ถึง 2 คน เครื่องมือประกอบด้วยโต๊ะแผนที่ บรรทัดเล็งติดกล้องโทรทัศน์ บรรทัดมาตราส่วน ชุดบรรทัดสามเหลี่ยมดินสอ ก่อนที่กลุ่มทำงานจะปฏิบัติงานสนาม จะต้องมีโครงร่างแผนที่ซึ่งประกอบด้วยหมุดควบคุมทางราบ ระบบพิกัดซึ่งปรับแก้แล้ว ค่าระดับของหมุดระดับทุกหมุดพร้อมทั้งระยะและแนวควบคุมแต่ละแนวด้วย

ตั้งโต๊ะเหนือสถานี จัดโต๊ะโดยแนวเล็งหลังไปยังสถานีข้างเคียง วัดความสูงของแนวเล็งเหนือสถานี เล็งไปยังไม้ระดับ วัดข้อมูลที่จะใช้ในการหาระยะราบและค่าระดับของจุดรายละเอียด เช่นเดียวกับการวัดโดยวิธีสเตเดีย ลากเส้นจากสถานีไปยังจุดรายละเอียดและกำหนดจุดตามมาตราส่วนแผนที่ เขียนตำแหน่งของจุดพร้อมค่าระดับ ถ้าข้อมูลมีมากพอ ก็ร่างเส้นชั้นความสูงได้ กำหนดตำแหน่งของจุดรายละเอียดต่างๆอย่างคร่าวๆ แล้วนำมาทำให้สมบูรณ์ในสำนักงานภายหลัง

ผู้วัดจะต้องพิจารณาลักษณะของพื้นดิน และแสดงลงบนแผนที่ด้วยความละเอียดที่ต้องการ โดยใช้เวลาน้อยที่สุด เนื่องจากการเขียนกระทำในสนาม ค่าผิดหรือตกหล่นจะปรากฏและสามารถตรวจแก้ได้ทันที รายละเอียดบางอย่างอาจต้องเก็บโดยวิธีเล็งสกัด ค่าระดับวัดโดยงานตรีโกณมิติ

งานสำนักงาน เมื่อข้อมูลสนามถูกส่งเข้าสำนักงาน ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกแยกว่าเป็นงานควบคุมทางราบหรืองานควบคุมทางดิ่ง หรืองานเก็บรายละเอียด การคำนวณข้อมูลสนามแยกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1

คำนวณและปรับแก้พิกัดแผนที่ของสถานีรังวัดควบคุม ตรวจสอบความคลาดเคลื่อน ถ้าเกินเกณฑ์ ทำการตรวจหาข้อมูลที่ผิดพลาด แล้วทำการวัดข้อมูลสนามส่วนนั้นใหม่ เมื่อความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการแล้ว จึงทำการปรับแก้

ตอนที่ 2

คำนวณและปรับแก้ค่าระดับหรือความสูงของสถานีวงรอบรอง เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับลงรายละเอียดแผนที่และการเขียนเส้นชั้นความสูง ทำได้พร้อมๆกับการคำนวณงานควบคุม นอกจากค่าจุดระดับบนพื้นดินซึ่งต้องรอค่าปรับแก้ของหมุดควบคุมทางดิ่ง

พิกัดแผนที่ แผนที่ภูมิศาสตร์ใช้ระบบพิกัดฉาก UTM การทำแผนที่โครงการอาจใช้พิกัดมาตรฐานแบบเดียวกัน หรือจะใช้พิกัดสมมุติโดยการกำหนดจุดกำเนิดและทิศทางอ้างอิงอะไรก็ได้ให้เกิดความสมจริง โดยกำหนดค่าพิกัดราบที่ไม่เกิดค่าติดลบที่จุดใดๆในพื้นที่ และใช้แอซิมัธดาราศาสตร์ช่วยให้ทำการคำนวณได้ง่ายและทิศทางแผนที่สมจริง

งานวงรอบควบคุมจัดทำเส้นหลักฐานโดยใช้หมุดคู่ มีค่าพิกัดราบของหมุดทั้งสองและค่าแอซิมัธแผนที่ของแนวโยงหมุดคู่นั้น นำมาใช้อ้างอิงในการทำแผนที่ภูมิประเทศได้โดยตรง ในโครงงานขนาดเล็กที่ไม่มีข้อมูลแผนที่ก็อาจจะหาข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์จากแผนที่ใจสมุดแผนที่ สำหรับโครงงานที่ไม่ใหญ่นักอาจจะสมมุติแนวเมริเดียน และคำนวณพิกัดแผนที่ตามทิศทางสมมุติได้

การหมายตำแหน่งบนแผนที่ สถานีรังวัดควบคุมหลัก สถานีรังวัดควบคุมรอง และจุดรายละเอียดแผนที่ ต้องการความถูกต้องของการหมายตำแหน่งเป็นอัตราที่ลดหลั่นกัน ข่ายควบคุมหลักมีอัตราความถูกต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 2500 ลดลงเป็น 1 ใน 1000 สำหรับข่ายควบคุมรอง การหมายตำแหน่งสำหรับทิศทางที่วัดละเอียดกว่า 01 ลิปดา จำเป็นต้องใช้วิธีพิกัดฉาก ส่วนวงรอบรองที่วัดทิศทางละเอียดถึง 01 ลิปดา การเขียนทิศทางใช้การสร้างมุมด้วยวิธีคอร์ดหรือวิธีเส้นสัมผัส

จากเกณฑ์ที่กล่าวข้างบนนี้ นำมากำหนดค่าละเอียดของการวัดมุม

ก. งานวงรอบหลัก วัดมุมราบละเอียดถึง 00.1 ลิปดา ทำการวัดมุมหนึ่งชุด (ด้วยกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา) ให้มีค่าแย้งไม่เกิน 01 ลิปดา

ข. งานวงรอบรองใช้วิธีสเตเดีย อ่านจานองศาราบละเอียดถึง 01 ลิปดา และอ่านจานองศาดิ่งละเอียดถึง 01 ลิปดา

ค. วัดจุดรายละเอียดโดยวิธีสเตเดียควบไปกับการวางแนววงรอบรอง อ่านจานองศาราบละเอียดถึง 05 ลิปดา และอ่านจานองศาดิ่งละเอียดถึง 01 ลิปดา

ง.

การเขียนรายละเอียดแผนที่และเส้นชั้นความสูงมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) การประกอบรอบและการปรับแก้งานวงรอบสเตเดีย ใช้สูตรคำนวณสเตเดียอย่างง่ายปรับแก้ตำแหน่งของสถานีสเตเดียโดยวิธีเขียนรูปก่อนที่จะหมายตำแหน่งสัมพันธ์ของจุดรายละเอียด
2) หมายตำแหน่งจุดรายละเอียดโดยใช้มาตรวงกลมกับระยะทางวัดแผ่ (radiation) ออกจากสถานี
3) รายละเอียดของ อาคาร ถนน และสิ่งปลูกสร้างอื่น จำเป็นต้องทำร่างรูปประกอบกับการวัดขนาดกว้างยาวโดยวิธีรังวัดด้วยโซ่
4) ประมาณตำแหน่งเพื่อลากเส้นชั้นความสูงระหว่างคู่จุดความสูงวิธีสเตเดีย

ร่างแผนที่ โดยปกติร่างแผนที่เป็นแบบลายเส้นเขียนด้วยดินสอดำบนกระดาษไขที่มีคุณภาพดีซึ่งทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น ในแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่รูปร่างปรากฏรายละเอียดเป็นผังรูปเหมือนกับวัตถุโดยธรรมชาติหรือสิ่งประดิษฐ์

และแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กลง อาจจะต้องใช้สัญลักษณ์แทนรายละเอียดบางอย่าง มีการกำหนดแบบเส้นสำหรับจำแนกประเภทรายละเอียดเป็นเส้นเต็ม เส้นประชนิดต่างๆ เส้นเรียบอิสระ หรือเส้นบรรทัด แนวรั้วแบบต่างๆ จะมีสัญลักษณ์ควบหรือใช้ตัวอักษรบรรยายลักษณะของรั้ว ข้อตกลงแบบลายเส้นเหล่านี้ถือเป็นแบบมาตรฐานที่ผู้ผลิตแผนที่จะแปลความหมายออกในการแยกสีแม่พิมพ์ต่อไป

เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศ อัตราส่วนความถูกต้องที่กล่าวมาในตอนต้นเกี่ยวกับงานรังวัดควบคุม ซึ่งเป็นตัวเลขใช้สำหรับวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัด ความถูกต้องของการเขียนแบบลายเส้นมีปัญหาแตกต่างออกไป การกำหนดช่วงชั้นความสูงในหน่วยเมตริก โดยทั่วไปให้หารตัวเลขมาตราส่วนด้วย 1000 เช่น มาตราส่วน 1 ใน 1000 ใช้

ช่วงชั้นความสูงเท่ากับ 1000/1000 = 1 เมตร หรือมาตราส่วน 1 ใน 10000 ใช้ช่วงชั้นความสูงเท่ากับ 10000/1000 = 10 เมตร โดยข้อกำหนดนี้ แผนที่ภูมิประเทศจะมีเส้นชั้นความสูงจำนวนพอเหมาะที่จะแสดงความลุ่มดอนของพื้นดิน

ข้อกำหนดเพื่อเลือกใช้ช่วงชั้นความสูงอาจเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น กรณีของพื้นที่ค่อนข้างราบจะลดขนาดของช่วงชั้นความสูงลง ในมาตราเมตริกช่วงชั้นความสูงเล็กที่สุดควรเป็น 1 เมตร เมื่อการทำแผนผังโครงการต้องการแสดงความสูงละเอียดกว่า 1 เมตร ก็อาจจะเขียนเป็นเส้นประแทรกระหว่างเส้นชั้นความสูงที่เป็นเลขลงตัวของเมตร ลองพิจารณาแผนที่ภูมิศาสตร์มาตราส่วน 1 ใน 50000 ซึ่งตามข้อกำหนดน่าจะใช้ช่วงชั้นความสูง 50 เมตร ช่วง 20 เมตรที่เลือกใช้ในการผลิตแผนที่จะให้เส้นชั้นความสูงหนาแน่นมากในบริเวณภูเขา ซึ่งในการเขียนเส้นเหล่านี้ลำบาก กรรมวิธีผลิตแผนที่ทำได้โดยเขียนร่างแผนที่ในมาตราส่วน 1 ใน 25000 หรือใหญ่กว่า แล้วถ่ายรูปย่อส่วนเป็นมาตราส่วนแผนที่ที่ต้องการ เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่จัดแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานดังนี้

ตารางที่ 2.14.3 เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศ

	แผนผังโครงการ	แผนที่ภูมิประเทศ
มาตราส่วนแผนที่	1:25,000หรือใหญ่กว่า	1:50,000ถึง 1:10,000
ช่วงชั้นความสูง	1 เมตร หรือ 0.5 เมตร	5 ถึง 10 เมตร
ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรายละเอียดเด่นชัด	0.5 มม.	1 มม.
ความคลาดเคลื่อนของความสูงประมาณจากเส้นชั้นความสูง	0.5 ช่วงของชั้นความสูง	1 ช่วงของชั้นความสูง
ความคลาดเคลื่อนของจุดระดับ	2 ซม.	0.25 ของช่วงชั้นความสูง
ความถูกต้องของข้อมูลรอบจุด	ร้อยละ 90	ร้อยละ 90
การใช้ประโยชน์	การวางแผนงานวิศวกรรม	ศึกษาภูมิประเทศ

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ ทำได้ทั้งในทางราบและทางดิ่ง

ก. นาดทางราบ การตรวจสอบทางราบทำโดยการเปรียบเทียบระยะวัดจากแผนที่กับระยะวัดได้บนพื้นดินระหว่างจุดในตำแหน่งเดียวกัน ความละเอียดของระยะซึ่งวัดจากแผนที่ขึ้นอยู่กับมาตราส่วนแผนที่และขนาดของค่าคลาดเคลื่อนในการเขียนแผนที่ ถ้ามาตราส่วนแผนที่เป็น 1 : 1000 ค่าคลาดเคลื่อนในการกำหนดจุดเป็น 0.5 มม. ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนบนพื้นดินจะเป็น 0.5 ม.

ข. ค่าระดับ การตรวจสอบค่าระดับวิธีหนึ่ง ทำโดยเลือกจุดบนพื้นดินจำนวนหนึ่ง หาค่าระดับแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับของจุดเดียวกันบนแผนที่ โดยปกติจุดที่เลือกจะอยู่ห่างกันราว 1 ช่วงแถบวัดระยะตามแนววงรอบ

การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งทำโดยการสุ่มเลือกแนวทดสอบ เพื่อที่จะยืนยันบนแนวเดียวกันบนแผนที่ ทำการรังวัดและเขียนรูปตัดแนวดิ่งของผิวดิน นำมาเปรียบเทียบกับรูปตัดแนวดิ่งที่เขียนโดยใช้ข้อมูลจากหน้าแผนที่ ซึ่งรูปตัดทั้งสองใช้มาตราส่วนขนาดเดียวกัน โดยนำรูปตัดทั้งสองมาซ้อนกัน ถ้ามีค่าแย้งจะเห็นได้โดยการที่รูปตัดทั้งสองแยกจากกัน ถ้าค่าแย้งปรากฏไม่เกินเกณฑ์เป็นอันใช้ได้

การผลิตแผนที่ อาจผลิตด้วยมาตราส่วนเดียวกับต้นฉบับ เช่น การทำพิมพ์เขียวหรือโดยมาตราส่วนขนาดต่างกัน (ด้วยการย่อหรือขยายมาตราส่วน) จากร่างแผนที่โดยขบวนการถ่ายรูปแบบต่างๆ เช่น การถ่ายสำเนา (Photostat process) การใช้เครื่องพิมพ์ (photo offset method) หรือโดยการถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสาร (xerography) และวิธีการอื่นๆ ข้อดีอย่างหนึ่งของการผลิตโดยการลดขนาดของมาตราส่วนก็คือ ง่ายต่อการนำไปใช้ในสนาม เช่น ในงานก่อสร้าง แผนที่ส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้เครื่องพิมพ์ ซึ่งจะให้แผนที่สีเดียวหรือหลายสีที่มีคุณภาพดี

2.2.1.6 การใช้ประโยชน์ของแผนที่

เนื่องจากแผนที่มีหลายประเภท เช่นแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งแสดงสภาพพื้นผิวโลกตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ยังมีแผนที่ซึ่งเรียกว่า แผนที่เฉพาะเรื่อง ซึ่งมีข้อมูลอื่นที่จะต้องศึกษาเพื่อการวางแผนและออกแบบโครงการต่างๆ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น แผนที่แสดงลักษณะของป่า ความหนาแน่นของต้นไม้ ประเภทของพืชผล ลักษณะการระบายน้ำโดยธรรมชาติ ลักษณะของหิน ดิน ความหนาแน่นของประชากร แลอื่นๆ การใช้แผนที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แผนที่ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ เช่น ในการออกแบบก่อสร้างเขื่อน จำเป็นต้องใช้แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนต่อปีมาพิจารณาร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ เป็นต้น

คำนิยามเกี่ยวกับแผนที่

- แผนที่ (Map) รูปจำลองพื้นผิวโลกหรือท้องฟ้าลงบนระนาบราบตามมาตราส่วนและทิศทางตามที่ต้องการ บนแผนที่จะแสดงทั้งลักษณะตามธรรมชาติของพื้นผิวโลก และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น รวมไปถึงที่เป็นนามธรรมด้วย เช่น ชื่อต่างๆ
- แผนภูมิ (Chart) รูปจำลองสิ่งต่างๆลงบนระนาบราบ โดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับพื้นผิวโลก ถ้าเป็นการทำแผนภูมิเฉพาะ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับพื้นผิวโลกใน

ภาษาอังกฤษก็อาจจะเรียกว่า Chart เช่น Navigation chart แต่ในภาษาไทยยังคงเรียก "แผนที่เดินเรือ"

ทิศทาง ในแผนที่โดยมากกำหนดให้ทิศเหนืออยู่ทางด้านบน ทิศใต้อยู่ด้านล่าง ทิศตะวันออกอยู่ข้างขวา และทิศตะวันตกอยู่ข้างซ้าย

องศา วงกลมทุกวงแบ่งออกเป็นส่วนย่อย 360 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า องศา ทุกๆองศาแบ่งออกเป็น 60 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า ลิปดา และทุกๆลิปดา แบ่งออกเป็น 60 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า ฟิลิบดา เช่น $30^{\circ}\ 14'10''$ หมายถึง 30 องศา 14 ลิปดา 10 ฟิลิบดา

- **เส้นศูนย์สูตร** เส้นสมมุติบนผิวโลกที่ลากตรงกึ่งกลางระหว่างจุดขั้วเหนือ-ใต้ของโลก แบ่งโลกออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน คือ ซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้
- **เส้นรุ้ง หรือเส้นขนานแลติจูด** เส้นสมมุติผิวโลกที่ขนานกับเส้นศูนย์สูตร ในซีกโลกเหนือเรียกว่า เส้นรุ้งเหนือ ในซีกโลกใต้เรียกว่าเส้นรุ้งใต้ ทุกๆเส้นมีกำหนดค่าแลติจูด เส้นรุ้งขนานที่อยู่ใกล้ขั้วโลกมีขนาดสั้นลงเป็นลำดับ เส้นรุ้ง 0° คือ เส้นศูนย์สูตร และเส้นรุ้ง 90° อยู่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เส้นรุ้งขนานที่สำคัญมี 4 เส้น

เส้นรุ้งขนานที่ 23 ครึ่ง องศาเหนือ เรียกชื่อว่า Tropic of Cancer เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่างย่านอากาศร้อนกับย่านอากาศอบอุ่นในซีกโลกเหนือ

เส้นรุ้งขนานที่ 23 ครึ่ง องศาใต้ เรียกชื่อว่า เส้น Tropic of Capricorn เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่างย่านอากาศร้อนกับย่านอากาศอบอุ่นในซีกโลกใต้

เส้นรุ้งขนานที่ 66 ครึ่ง องศาเหนือ เรียกชื่อว่า Arctic Circle เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่างย่านอากาศอบอุ่นและย่านอากาศหนาวในซีกโลกเหนือ

เส้นรุ้งขนานที่ 66 ครึ่ง องศาใต้ เรียกชื่อว่า Antarctic Circle เป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างย่านอากาศอบอุ่นและย่านอากาศหนาวในซีกโลกใต้

- เส้นแวง หรือแนวเมริเดียน วงกลมใหญ่บนผิวโลกผ่านขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เส้นแวงตัดกับเส้นศูนย์สูตรเป็นมุมฉาก ทุกๆเส้นมีความยาวเท่ากัน ใช้เป็นทิศทางอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ เรียกว่า เส้นเมริเดียน กำหนดเส้นเมริเดียนมาตรฐานที่ลองกิ

จุดศูนย์องศา ซึ่งลากผ่านเมืองกรีนิชในประเทศอังกฤษ เส้นแวงทางทิศตะวันออกและเส้นแวงทางทิศตะวันตก มีค่าลองกิจูดสูงสุดถึง 180 องศาตะวันออก และ 180 องศาตะวันตก ตามลำดับ เส้นแวงที่ 180 องศาตะวันออกและองศาตะวันตก เป็นเส้นเดียวกันและอยู่ตรงข้ามกับเส้นแวงที่ศูนย์องศาพอดี ตรงเส้นศูนย์สูตร เส้นแวงเส้นหนึ่งๆจะห่างกันราว 69 ไมล์ แต่ถ้าใกล้ไปทางขั้วโลก ระยะห่างของเส้นแวงเส้นหนึ่งๆจะแคบเข้า เพราะโลกมีสัณฐานกลม เช่น ตรงเส้น

รุ้งขนานที่ 60 องศา เส้นแวงเส้นหนึ่งๆ จะห่างกันประมาณ 30 ไมล์ เส้นแวงเหล่านี้จะไปบรรจบกันที่ขั้วโลกทั้งสองข้าง

การแบ่งประเภทของแผนที่ (Classification of maps) แผนที่อาจแบ่งประเภทตามเนื้อหาและมาตราส่วนได้ดังนี้

แผนที่ทั่วไป (General map) แผนที่ที่มุ่งแสดงให้เห็นลักษณะของพื้นผิวโลกรวมไปถึงทุกสิ่งที่ปรากฏบนผิวโลกด้วย จำแนกเป็น

ก. **แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map)** แสดงสภาพพื้นผิวโลก รูปร่างทั่วไป รวมทั้งความสูงต่ำของพื้นดิน มาตราส่วนที่ใช้ตั้งแต่ 1 : 25000 ถึง 1 : 1000000

ข. **แผนที่อาณาเขต (Plan metric map)** เป็นแผนที่แสดงลักษณะเช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ แต่ไม่แสดงความสูงต่ำของพื้นดิน

ค. **แผนที่ภูมิศาสตร์ (Geographic map)** แผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก ตั้งแต่ 1 : 50000 ลงไป ซึ่งจะแสดงบริเวณใหญ่ เช่น ประเทศหรือทวีป และแสดงให้เห็นเป็นบริเวณผืนแผ่นดินบริเวณทะเลหรือน้ำ และอาจแสดงแนวเขาและลำน้ำพร้อมทั้งทิศทางอยู่ด้วยเสมอ

แผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) แผนที่ที่มุ่งแสดงข้อมูลเฉพาะเรื่องนั้นๆ แต่จำเป็นต้องอาศัยแผนที่ฐาน (base map) เพื่อแสดงตำแหน่งภูมิประเทศอยู่เสมอ แผนที่เฉพาะเรื่องอาจแบ่งออกเป็น

ก. **แผนที่แสดงคุณค่า (Qualitative map)** แผนที่ที่มุ่งแสดงคุณลักษณะและการกระจายของสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น แผนที่แสดงการปลูกยาง แผนที่แสดงคุณค่าผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา เป็นต้น แผนที่ประเภทนี้จะแสดงหรือแจกแจงสิ่งที่มีคุณลักษณะต่างๆกัน ซึ่งกระจายอยู่ทั่วบริเวณ โดยการแบ่งลักษณะด้วยสีหรือสัญลักษณ์ก็ได้

ข. **แผนที่ทางสถิติ (Statistical map or Quantitative map)** แผนที่ที่มุ่งแสดงปริมาณและการกระจายของสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝน แผนที่แสดงความหนาแน่นของประชากร แผนที่แสดงความหนาแน่นของจราจร เป็นต้น

ค. **แผนที่ Isopleths** แผนที่แสดงจำนวนหรือปริมาณของสิ่งต่างๆที่เท่าๆกัน แผนที่ชนิดนี้ประกอบด้วยเส้นที่เกิดจากการโยงจุดที่มีปริมาณอันหนึ่งเท่ากัน เช่น

Isogonics chart แผนที่แสดงจุดเส้นโยงที่มีมุมเบี่ยงเบนแม่เหล็กเท่ากัน

Isobar แผนที่แสดงเส้นโยงจุดที่มีความกดดันของบรรยากาศเท่ากัน ในช่วงเวลาที่กำหนด

Isobaths แผนที่แสดงเส้นโยงจุดที่มีความลึกของท้องน้ำหรือท้องทะเลเท่าๆกัน

Isohyets แผนที่แสดงเส้นโยงจุดที่มีปริมาณฝนตกเท่าๆกัน

Contour map แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง

ง. **แผนที่จุด (Dot map)** โดยกำหนดให้หนึ่งจุดแทนปริมาณที่แน่นอนอันหนึ่ง เมื่อพื้นที่ใดมีปริมาณที่กำหนดก็ใส่จุดที่บริเวณนั้นในแผนที่ เมื่อกระทำดังนี้ทั่วทั้งแผ่นแล้ว ก็จะมองเห็นการกระจายของข้อมูลอย่างชัดเจน และทราบปริมาณของข้อมูลที่บริเวณใดๆ ได้จากจำนวนจุดบนบริเวณนั้น

กรณีที่การกระจายข้อมูลไม่สม่ำเสมอ บางบริเวณมีจำนวนข้อมูลหนาแน่นเกินไป และบางบริเวณมีจำนวนข้อมูลเบาบางเกินไป ไม่เหมาะที่จะทำแผนที่จุด ฉะนั้นแผนที่จุดจึงเหมาะเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (หรือไม่แตกต่างกันมากเกินไป) การเลือกขนาดของจุดและการกำหนดให้แต่ละจุดแทนปริมาณเท่าใดก็มีความสำคัญมาก

จ. **แผนที่แถบสี (Choropleth)** โดยกำหนดให้ความเข้มของสีแทนสัดส่วนของความหนาแน่นของข้อมูล เช่น แผนที่แสดงความชื้นในพื้นดิน โดยแบ่งระดับความชื้นจากแห้งถึงน้ำขัง อาจแทนได้ด้วยสี จากสีขาวถึงสีน้ำเงิน แล้วให้สีตามระดับความชื้นของพื้นที่ แต่วิธีนี้มีข้อเสียตรงที่สีจะแบ่งระดับข้อมูลออกเป็นชั้นๆทั้งๆที่ตามความเป็นจริงแล้วข้อมูลมีการแปรแบบต่อเนื่อง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนตามขอบของแต่ละชั้น

ประโยชน์ของแผนที่ ในการออกแบบเพื่อการก่อสร้าง อาคาร ถนน ทางรถไฟ ระบบระบายน้ำ ฯลฯ ผู้ออกแบบจะต้องมุ่งเพื่อให้สิ่งต่างๆที่จะก่อสร้างมีความกลมกลืนและกระทบกระเทือนกับสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติน้อยที่สุด และต้องให้เข้ากับสมัยนิยมและความพอใจของผู้เป็นเจ้าของด้วย ซึ่งจะต้องร่วมมือกันทั้งวิศวกรและสถาปนิกผู้ออกแบบทางด้านงานวิศวกรรมจะต้องอาศัยแผนที่ เพื่อศึกษาตำแหน่งที่สัมพันธ์กัน และค่าระดับของสิ่งที่มีอยู่เดิม เพื่อกำหนดตำแหน่งและค่าระดับของสิ่งที่จะก่อสร้างขึ้นใหม่

แผนที่ภูมิประเทศทำให้เกิดความคิด และมองเห็นสภาพของภูมิประเทศว่ามีลักษณะสูงต่ำอย่างไร ผืนดิน ผืนน้ำอยู่ส่วนไหน ภูเขา และลำธารอยู่ในลักษณะใด ซึ่งจะให้ผลในการจัดสิ่งต่างๆตามหลักของภูมิสถาปัตยกรรม เช่น การจัดบริเวณ (site) การจัดรูปบริเวณ (organization of spaces) เกณฑ์ที่จะมองเห็นจากผังที่จัดไว้ (visual aspect of plan arrangement) เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย แผนที่ภูมิประเทศได้จัดทำไว้โยกรมแผนที่ทหาร มีมาตราส่วน 1 : 50000 ครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศ และมาตราส่วน 1 : 250000 แบ่งเป็นแผนที่ของแต่ละจังหวัด แต่เมื่อเป็นโครงการเฉพาะส่วนและต้องการความละเอียดเพื่อออกแบบโครงการ ก็ต้องดำเนินการสำรวจและทำแผนที่ด้วยตัวเอง สำหรับโครงการที่ยังไม่แน่นอนก็ต้องศึกษาความเป็นไปได้ โดยเริ่มจากแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กและแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ขึ้นเป็นลำดับดังต่อไปนี้

มาตราส่วน 1 : 250000 ศึกษาบริเวณรอบๆ

1 : 50000 ศึกษาความสูงต่ำและลักษณะภูมิประเทศ

1 : 5000 ศึกษาในรายละเอียดของโครงการ

1 : 1000 ศึกษาและวางแผนการจัดรูปและการระบายน้ำ