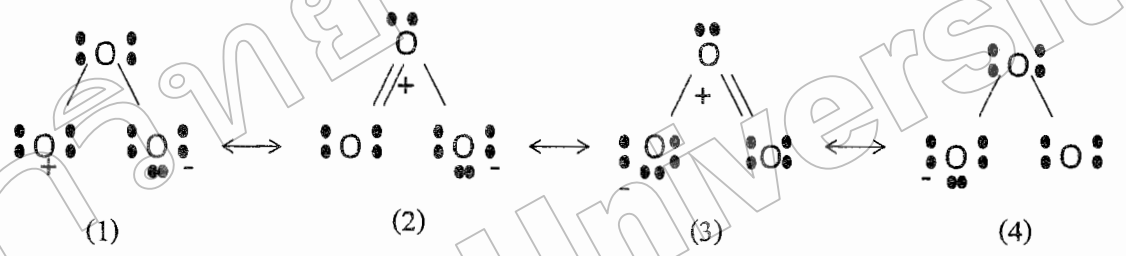
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นฐานของโอโซน

ในปี ค.ศ. 1840 ดร.คริสเตียน ฟรีดริช เชินไบน์ นักเคมีชาวเยอรมันเป็นผู้ค้นพบก๊าซโอโซนในห้องทดลองและตั้งชื่อโอโซนซึ่งมาจากภาษากรีกคือ “ozein” ที่แปลว่า “กลิ่น”

โอโซน (O_3) ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน 3 อะตอม น้ำหนักโมเลกุลเป็น 48 มีการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลโอโซนเป็นรูปสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโมเลกุลโอโซนทั้ง 4 แบบ (สุรพล รักปทุม, 2543)

อะตอมแต่ละอะตอมของโอโซนเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวอย่างเดียวหรือเกาะกันด้วยพันธะคู่ร่วมกับพันธะเดี่ยว โครงสร้างแต่ละแบบมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงกันไปมาอยู่ตลอดเวลา ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบจึงมีการปรับเปลี่ยนที่ไปด้วย โดยถ้าวัดด้วยวิธีไมโครเวฟแต่ละเรโซแนนท์มีมุมพันธะหรือมุมระหว่างอะตอมเป็น 116° 49′ หรือถ้าวัดด้วยวิธีการกระจายอิเลคตรอน จะมีมุมระหว่างพันธะเป็น 127° และมีความยาวพันธะหรือระยะห่างระหว่างอะตอมโดยเฉลี่ยเป็น 1.278 A° โมเลกุลของโอโซนทุกเรโซแนนซ์ไม่มีอิเลคตรอนที่ขาดคู่ ไม่มีคุณสมบัติที่เป็นสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก (Paramagnetic) จึงไม่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอื่น โอโซนจึงเป็นก๊าซสีฟ้า (Bluish) ทำให้ท้องฟ้ามีสีฟ้า เมื่อละลายน้ำก็จะทำให้น้ำมีสีฟ้า เมื่ออยู่ในบรรยากาศทั่วไปที่มีค่าความเข้มข้นต่ำมักไม่มีสี โอโซนจึงมีอยู่ 3 สถานะคือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. ของเหลว (Liquid) มีสีน้ำเงินเข้ม (Dark blue) สามารถดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเลต ระหว่างช่วงความยาวคลื่น 220-330 นาโนเมตร และดูดซึมแสงที่มองเห็นได้เล็กน้อยในช่วงความยาวคลื่น 435-475 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ –183°C จะมีความหนาแน่น 1.574 กรัมต่อมิลลิลิตร (g/ml) จุดเดือด –112°C

2. ก๊าซ (Gas) ที่อุณหภูมิและความดันปกติจะมีความหนาแน่น 2.144 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ซึ่งหนักกว่าอากาศ 1.65 เท่า และหนักกว่าก๊าซออกซิเจน 1.5 เท่า

3. ของแข็ง (Solid) มีความหนาแน่น 1.728 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และจุดหลอมเหลว –196°C (สุรพล รักปทุม, 2543)

โอโซนในสถานะก๊าซนั้นจะปรากฏอยู่ในชั้นบรรยากาศซึ่งมีคุณสมบัติ ประโยชน์ และลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นบรรยากาศ ซึ่งอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ก๊าซโอโซนและชั้นบรรยากาศ

ในการจำแนกชั้นบรรยากาศโดยใช้ระดับอุณหภูมิเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งชั้นบรรยากาศได้เป็น 4 ชั้นคือ

2.1.1 โทรโพสเฟียร์ (Troposphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่มีลักษณะดังนี้

1. เป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์อาศัยอยู่ มีความสูงจากพื้นผิวโลกขึ้นไปประมาณ 10 กิโลเมตร มวลของบรรยากาศในชั้นนี้มีประมาณร้อยละ 85 ของมวลบรรยากาศทั้งหมด

2. มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือยิ่งสูงขึ้นไปอุณหภูมิจะยิ่งลดลงในอัตราประมาณ 6.5°C ต่อ 1 กิโลเมตร และที่ระดับความสูง 15 กิโลเมตร จะมีอุณหภูมิคงที่คือ –60° C ซึ่งถือว่าเป็นเขตสิ้นสุดของบรรยากาศในชั้นนี้

3. มีฤดูกาล เนื่องจากปริมาณไอน้ำเกือบทั้งหมดของบรรยากาศจะปรากฏอยู่ในชั้นนี้ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศเป็นฤดูกาลต่างๆ และยังทำให้เกิดกระแสลมแปรปรวนจนเกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศ เช่น หมอก ฝน หิมะ ฟ้าแลบ ฟ้าร้องและ พายุต่างๆ เป็นต้น

4. มีก๊าซโอโซนเกิดขึ้น โดยก๊าซโอโซนในชั้นนี้เรียกว่าก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลก (Ground level zone) ซึ่งจัดเป็นก๊าซโอโซนที่ไม่ดี (Bad ozone) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีและ

ออกซิเดชันกับมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศจึงก่อให้เกิดก๊าซพิษซึ่งเป็นโทษต่อสิ่งมีชีวิตทั้ง มนุษย์ พืช และสัตว์ ดังนั้นหากไม่ต้องการให้เกิดก๊าซพิษซึ่งเป็นโทษต่อสิ่งมีชีวิตแล้วก็ไม่ควรมีก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

2.1.2 สตราโทสเฟียร์ (Stratosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่สูงถัดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ขึ้นไปอีก 50 กิโลเมตร ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. ในส่วนที่ติดอยู่กับชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สูงขึ้นไปอีก 20 กิโลเมตร จะมีอุณหภูมิคงที่คือ –60° C และในส่วนที่ถัดจากความสูง 20 กิโลเมตรนี้ขึ้นไปอีก 10-15 กิโลเมตร จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยอัตรา 0.5 °C ต่อความสูง 1 กิโลเมตร

2. มวลอากาศในชั้นนี้เป็นร้อยละ 19.9 ของมวลอากาศทั้งหมด

3. เป็นชั้นบรรยากาศที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงมากคือประมาณ 1-5 ส่วนในล้านส่วน (Part per million: ppm) เรียกว่าชั้นโอโซน (Ozone layer) ก๊าซโอโซนในชั้นนี้เป็นก๊าซโอโซนที่ดี และเป็นประโยชน์จึงมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตเพราะช่วยกรองรังสีอัตราไวโอเลตที่เป็นอันตรายจากดวงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 99 ทำให้มนุษย์รอดพ้นจากการเป็นมะเร็งที่ผิวหนังและต้อกระจก

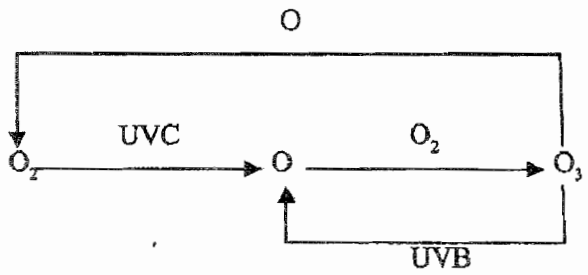
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ระดับความสูงต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2-2

ภาพที่ 2-2 ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ระดับความสูงต่าง ๆ (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

ก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์จะดูดกลืนคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดซี (C-ultraviolet) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 200-240 นาโนเมตร ทำให้เกิดเป็นก๊าซโอโซน และการทำลายก๊าซโอโซนตามธรรมชาติเกิดจากการที่ก๊าซโอโซนดูดกลืนคลื่นรังสีอัตราไวโอเลตชนิดบี (B-ultraviolet) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 280-320 นาโนเมตร ให้สลายตัวกลับกลายเป็นก๊าซออกซิเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซโอโซนด้วยคลื่นรังสีอัตราไวโอเลตเป็นไปตามปฏิกิริยาเคมีของวัฏจักรชาบแมน (Chapman reaction cycle) แสดงดังภาพที่ 2-3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-3 วัฏจักรชาบแมน (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

2.1.3 เมโซสเฟียร์ (Mesosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ตรงกลางของชั้นบรรยากาศทั้ง 4 ชั้น โดยอยู่ต่อจากชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ และที่ความสูงที่อยู่สูงถัดขึ้นไปอีก 40 กิโลเมตร จะเป็นชั้นบรรยากาศที่มีก๊าซโอโซนอยู่น้อยมากทำให้ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตของแสงอาทิตย์ได้น้อย บรรยากาศในชั้นนี้จึงมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งที่ระดับความสูงประมาณ 85 กิโลเมตร อุณหภูมิจะลดลงถึง –98 °C มวลอากาศในชั้นนี้มีไม่ถึงร้อยละ 0.1 ของมวลอากาศทั้งหมด

2.1.4 เทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) หรือไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ระหว่างความสูง 90-800 กิโลเมตรจากพื้นดิน อุณหภูมิของบรรยากาศชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง โดยที่ระดับความสูง 200 กิโลเมตร จะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 700 ° C และที่ระดับความสูง 300 กิโลเมตร จะมีอุณหภูมิมากกว่า 1,000 °C

2.2 การเกิดของก๊าซโอโซน

สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกซึ่งเป็นก๊าซโอโซนที่ไม่ดี โดยศึกษาถึงการเกิดของก๊าซโอโซนและผลกระทบของการเกิดก๊าซโอโซนดังนี้

ก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกเกิดจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆดังนี้

2.2.1 ปฏิกิริยาเคมีของก๊าซออกซิเจน

เกิดจากโมเลกุลก๊าซออกซิเจนดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตแล้วแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมที่มีพลังงานสูงดังปฏิกิริยาเคมีที่ (1)

$$O_2 + h\nu\ (lamda < 242nm) \longrightarrow O + O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากนั้นออกซิเจนอะตอมที่มีพลังงานสูงจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดพลังงานขึ้นจากการชนกันแล้วถ่ายเทพลังงานนี้ให้กับโมเลกุล M ทำให้เกิดเป็นก๊าซโอโซนดังปฏิกิริยาเคมีที่ (2) (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ M คือโมเลกุลใด ๆ ที่มาดูดซับพลังงานที่มากเกินพอ (ซึ่งโดยทั่วไปแล้วส่วนใหญ่ในบรรยากาศจะเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน)

2.2.2 ปฏิกิริยาเคมีของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาแสงของออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน (NO_x) จะเป็นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่น 300-400 นาโนเมตร ทำให้กลายเป็นออกซิเจนอะตอมและก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ดังปฏิกิริยาเคมีที่ (3) (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

$$NO_x + h\nu \longrightarrow NO + O \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจนเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีจะสลายตัวเป็นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์และออกซิเจนอะตอม ซึ่งการสลายตัวของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ออกซิเจนอะตอมที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับโมเลกุลก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดเป็นก๊าซโอโซนดังปฏิกิริยาเคมีที่ (4)

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M \quad \text{.....(4)}$$

ในทางตรงกันข้ามปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวสามารถเกิดย้อนกลับได้เช่นกัน กล่าวคือก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์จะรวมตัวกับอะตอมออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดก๊าซโอโซนได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2.3 ปฏิกิริยาเคมีของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

ประกอบด้วยก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน ก๊าซมีเทน และอัลดีไฮด์ ซึ่งมีคุณลักษณะคล้ายก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (Abdul-Wahab & Alawi, 2002) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเป็นอนุมูลเปอรอกซิลแรดดิคัล ($RO_2^{\cdot}$) ดังปฏิกิริยาเคมีที่ (5) เมื่อไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้นของก๊าซโอโซนดังปฏิกิริยาเคมีที่ (7) (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

$$VOC + HO^{\cdot} \longrightarrow RO_2^{\cdot} + H_2O \quad \text{.....(5)}$$

$$CO + HO^{\cdot} \longrightarrow HO_2^{\cdot} + CO_2 \quad \text{.....(6)}$$

สำหรับปฏิกิริยาเคมีที่ (6) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนคือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล ($HO^{\cdot}$) เกิดเป็นอนุมูลเปอไฮดรอกซิลแรดดิคัล ($HO_2^{\cdot}$) และคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นอนุมูลเปอรอกซิลแรดดิคัลจะไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ เกิดเป็นสารตั้งต้นของก๊าซโอโซนดังปฏิกิริยาเคมีที่ (8) ทั้งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะได้สารตั้งต้นของการเกิดก๊าซโอโซนคือก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และเกิดเป็นก๊าซโอโซนได้ดังปฏิกิริยาเคมีที่ (9) และปฏิกิริยาเคมีที่ (10)

$$RO_2^{\cdot} + NO \longrightarrow VOC + HO_2^{\cdot} + NO_2 \quad \text{.....(7)}$$

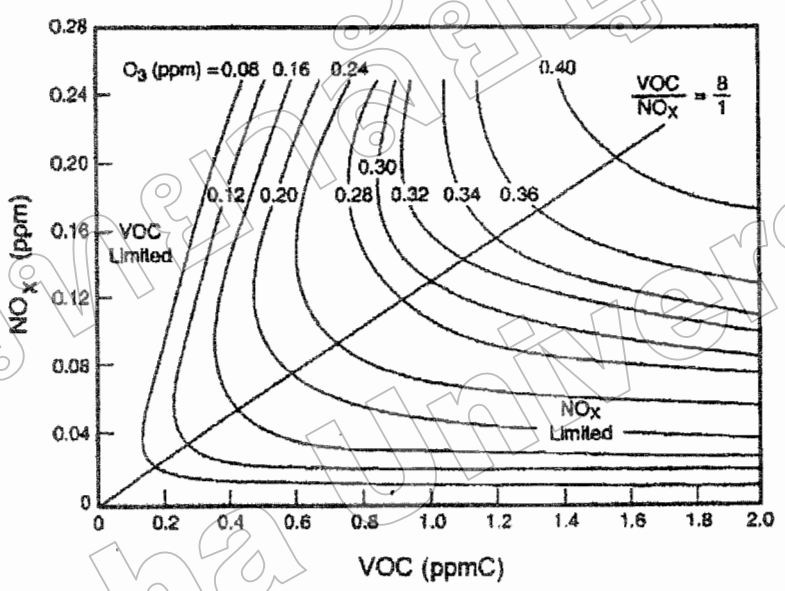
$$HO_2^{\cdot} + NO \longrightarrow HO^{\cdot} + NO_2 \quad \text{.....(8)}$$

$$NO_2 + hv\ (lamda < 420nm) \longrightarrow NO + O \quad \text{.....(9)}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M \quad \text{..... (10)}$$

บริเวณขีดจำกัด VOC เป็นขีดจำกัดที่แสดงอัตราการเกิดก๊าซโอโซนซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย และอนุมูลไฮดรอกซิล โดยปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย จะมีความสัมพันธ์กับออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน แสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 บริเวณขีดจำกัด VOC (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

2.2.4 ปฏิกิริยาเคมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซนซึ่งแสดงได้ดังปฏิกิริยาเคมีที่ (11) - (13)

$$SO_2 + h\nu \longrightarrow SO_2^{\cdot} \quad \text{..... (11)}$$

$$SO_2^{\cdot} + O_2 \longrightarrow SO_4 \quad \text{..... (12)}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$SO_4 + O_3 \longrightarrow SO_3 + O_3 \quad \text{..... (13)}$$

เมื่อ SO_2 คือโมเลกุลของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น ปฏิกิริยาเคมีนี้จะเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากประสิทธิภาพของควอนตัม (Quantum efficiency) ต่ำ (Gerhard & Johnstone, 1955)

2.2.5 ปฏิกิริยาโฟโตเคมีจากไฟฟ้าในธรรมชาติ

การเกิดประกายไฟของกระแสไฟฟ้าในเครื่องยนต์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือแม้แต่การเกิดฟ้าผ่า ฟ้าแลบ จัดเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งในการเกิดโฟโตเคมีของก๊าซโอโซน

2.3 ก๊าซโอโซนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

ก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นผิวโลกซึ่งเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นอกจากจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของปัจจัยมลพิษทางอากาศแล้ว ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยายังเป็นสาเหตุสำคัญอีกสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดของก๊าซโอโซนดังนี้

2.3.1 ความดัน (Pressure)

การเพิ่มความดันหมายถึงการเพิ่มปริมาตรของก๊าซ ดังนั้นถ้าความดันยิ่งมากขึ้นจะทำให้ก๊าซต่างๆที่เป็นสารตั้งต้นของก๊าซโอโซนมีค่าปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้น จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน

2.3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิสูงจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เร็วขึ้นกว่าปกติ อีกทั้งยังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารตั้งต้นของการเกิดก๊าซโอโซนด้วย

2.3.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศ ยิ่งความชื้นสูงไอน้ำในอากาศยิ่งมาก ซึ่งไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศจะช่วยยืดอนุภาคของก๊าซให้ลอยอยู่ในบรรยากาศได้ยาวนานขึ้น ทำให้สารตั้งต้นของการเกิดก๊าซโอโซน เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ไม่สลายไปและลอยอยู่ในอากาศได้นานจึงทำปฏิกิริยาเคมีจนเกิดเป็นก๊าซโอโซนได้มากขึ้นกว่าปกติ

2.3.4 ความเร็วลม (Wind velocity)

เป็นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการเคลื่อนย้ายก๊าซโอโซนและสารตั้งต้นของการเกิดก๊าซโอโซน ถ้ามีความเร็วลมน้อยจะทำให้เกิดการสะสมของก๊าซเหล่านี้เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3.5 ทิศทางลม (Wind direction)

สำหรับทิศทางลมนั้นถ้าลมที่พัดมาอยู่ในบริเวณที่เก็บก๊าซโอโซนจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่ามากขึ้น แต่ถ้าทิศทางลมที่พัดไม่ได้พัดมายังบริเวณที่เก็บก๊าซโอโซนจะส่งผลให้มีค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนน้อยลง

2.3.6 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

รังสีดวงอาทิตย์เป็นคลื่นรังสีที่มีพลังงานสูงซึ่งมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีของการเกิดก๊าซโอโซนได้

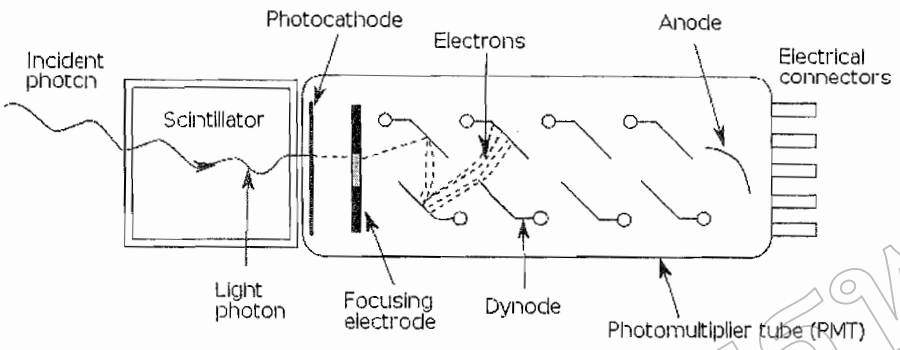
2.3.7 ปริมาณน้ำฝน (Rain)

เนื่องจากอนุภาคของน้ำสามารถช่วยยึดอนุภาคของก๊าซให้ลอยอยู่ในบรรยากาศได้ยาวนานขึ้นเช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ ทำให้ไนโตรเจนออกไซด์ไม่สลายไปและลอยอยู่ในอากาศได้นานจึงทำปฏิกิริยาเคมีจนเกิดเป็นก๊าซโอโซนได้มากขึ้นกว่าปกติ

2.4 การตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซนรวม

การตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซนตรวจวัดด้วยวิธีเคมีลูมิเนสเซน (Chemiluminescence) โดยมีหลักการคือเก็บก๊าซโอโซนผ่านอากาศในบรรยากาศพร้อมกับก๊าซเอทิลีน (Ethylene) เข้าสู่บริเวณผสม (Mixing zone) พร้อมกัน บริเวณดังกล่าวนี้ก๊าซโอโซนในบรรยากาศจะทำปฏิกิริยากับก๊าซเอทิลีนแล้วปลดปล่อยแสงออกมาและสามารถวัดแสงนี้ได้ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2-5 โดยที่กระแสของแสง (Photocurrent) ที่ได้นี้จะถูกขยายแสงและอ่านค่าโดยตรงหรือแสดงค่าบนเครื่องบันทึกโดยมีหน่วยในการวัดเป็นส่วนในล้านส่วน (Part per million: ppm)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-5 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Engstrom, 1980)

2.5 ก๊าซโอโซนและการเกิดหมอกควัน

หมอกควันหรือ Smog เป็นการผสมคำระหว่างคำ 2 คำคือ smoke และ fog หมอกควันจึงเป็นมลพิษทางอากาศอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ตลอดจนฝุ่นละอองและสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นละอองเล็ก ๆ เป็นต้น และสิ่งเหล่านี้จะถูกกักเก็บไว้ในอากาศเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นหมอกควันจึงเป็นมลพิษที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างมลพิษต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอากาศและแสงอาทิตย์ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสภาพอากาศที่มักเกิดขึ้นในแหล่งชุมชน

ลักษณะของหมอกควัน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. หมอกควันแบบซัลฟิวรัส (Sulfurous smog) หรือที่เรียกว่าหมอกเทา (Gray-air smog) เป็นหมอกควันที่พบมากในเมืองอุตสาหกรรมที่มีสภาพอากาศหนาวและมีความชื้นสูง เช่น นิวยอร์ก และลอนดอน เป็นต้น เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการใช้ถ่านหินหรือซากดึกดำบรรพ์อื่น ๆ เป็นเชื้อเพลิงจึงมีการปล่อยของเสียทั้งพวกอนุภาคและก๊าซต่าง ๆ ออกมา โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หมอกควันประเภทนี้จะเห็นได้ชัดเจนมากในช่วงฤดูหนาว เพราะมีการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นและเป็นช่วงที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง

2. หมอกควันแบบโฟโตเคมี (Photochemical smog) หรือที่เรียกว่าหมอกน้ำตาล (Brown air smog) เป็นหมอกควันที่เกิดจากการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ต่าง ๆ หรือโรงไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ เมื่อก๊าซเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับแสงอาทิตย์ จะก่อให้เกิดมลพิษเป็นก๊าซโอโซน หมอกควันลักษณะนี้มักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศอบอุ่นถึงแห้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ถ้าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศถูกแสงอาทิตย์จะสลายตัวเป็นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์และออกซิเจนอะตอม ซึ่งสามารถรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซโอโซนได้ หรือถ้าหากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศถูกแสงอาทิตย์อาจจะสลายตัวเป็นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์และออกซิเจนอะตอม ซึ่งสามารถรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซโอโซนได้เช่นกัน

2.6 ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต (2536) กล่าวถึงผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อร่างกายและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของก๊าซโอโซนไว้ดังนี้

2.6.1 ผลกระทบของก๊าซโอโซนต่อร่างกาย

1. ก๊าซโอโซนจะเร่งปฏิกิริยาของเม็ดโลหิตแดงที่มีต่อการรับรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ทำให้ร่างกายรับรังสีได้มากขึ้น และทำลายโครโมโซมได้ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการเอ็กซเรย์ สำหรับเม็ดโลหิตขาวในทอนซิลเมื่อได้รับก๊าซโอโซนจะลดการผลิตอินเทอร์เฟอร์รอน (Interferon) ซึ่งเป็นแอนติบอดีชนิดหนึ่งที่ร่างกายผลิตขึ้นมาต่อต้านเชื้อโรค

2. เมื่อมีก๊าซโอโซนกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำให้เกิดความผิดปกติของโลหิตทั้งทางกายภาพและทางชีวเคมี โดยจะเป็นตัวเร่งให้เกิดเมธิโมโกลบินซึ่งเป็นภาวะบกพร่องของเอนไซม์เป็นผลเนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และถ้าอยู่ในบรรยากาศที่มีก๊าซโอโซน 980 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 2.75 ชั่วโมง จะทำให้ผนังเม็ดเลือดแดงเปราะและเกิดผลร้ายต่อระบบเอนไซม์ในเซลล์

3. ก๊าซโอโซนหรือออกซิแดนท์ต่าง ๆ เช่น เปอร์ออกซีเอซิลไนเตรท (Peroxy acylnitrate) ก๊าซอะโครลีน (Acrolein) เป็นต้น มีผลทำให้ระคายเคืองตา เมื่อมีก๊าซโอโซนประมาณ 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4. เมื่อร่างกายได้รับก๊าซโอโซนตั้งแต่ 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้การทำงานของปอดผิดปกติเนื่องจากก๊าซโอโซนจะกระตุ้นให้ช่องจมูก (Nasopharynx) บีบรัดตัวและทำปฏิกิริยาเคมีโดยตรงกับทางเดินหายใจส่วนปลาย ผู้ที่ออกกำลังกายจะได้รับอันตรายจากก๊าซนี้มากกว่าผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย จึงอาจกล่าวได้ว่าการออกกำลังกายทำให้ร่างกายได้รับก๊าซโอโซนเร็วขึ้น หรืออาจเป็นเพราะมีการหายใจทางปากในขณะออกกำลังจนเหนื่อยหอบ ซึ่งการหายใจทางปากนี้ทำให้ก๊าซโอโซนเข้าสู่ระบบหายใจได้มากขึ้น

5. การมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ 960 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และก๊าซโอโซนที่ 740 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีผลทำให้เสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน กล่าวคือทำให้ปอด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทำงานอย่างผิดปกติมากขึ้นกว่าในขณะรับก๊าซแต่ละชนิดโดยลำพัง ซึ่งคาดว่าอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมี 2 ส่วนคือ ทางเดินหายใจส่วนบนตอบสนองต่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเนื้อเยื่อของระบบหายใจส่วนลึกทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซโอโซนโดยตรง

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของก๊าซโอโซน

1. มีการศึกษาในสัตว์พบว่าก๊าซโอโซนเป็นก๊าซพิษที่ทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้เนื่องจากปอดบวม

2. มีการศึกษาในนักศึกษาพยาบาลที่เมืองลอสแองเจลลิส รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเมื่อรับก๊าซโอโซนเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา ปวดศีรษะ ไอ แน่นหน้าอก ซึ่งอาการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันกับระดับออกซิแดนท์สูงสุดในหนึ่งชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในนักวิ่งทนของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่เมืองเดียวกันซึ่งพบว่านักวิ่งทนไม่สามารถทำเวลาในการวิ่งให้ดีขึ้นจึงอาจคาดคะเนได้ว่าเกิดจากความผิดปกติของระบบหายใจของนักวิ่งทนเมื่อสูดหายใจเอาอากาศที่มีออกซิแดนท์เจือปนอยู่เข้าไป

3. มีการศึกษาผลของออกซิแดนท์ที่มีต่อชุมชนตามลักษณะสภาพความเป็นจริง พบว่าก๊าซโอโซนเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดปกติต่าง ๆได้อย่างชัดเจนมากกว่าออกซิแดนซ์อื่น ๆ เช่น ก๊าซโอโซนมีผลต่อคนอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

4. พบว่าอาการหอบหืดมีความสัมพันธ์กันกับอุณหภูมิ ความชื้นและไอน้ำมากกว่าระดับของออกซิแดนท์ และอัตราการตายของผู้สูงอายุในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกามีความสัมพันธ์กันกับคลื่นความร้อน (Heat wave) มากกว่าระดับของออกซิแดนท์ แสดงดังตารางที่ 2-1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-1 ผลของออกซิแดนท์ที่มีต่อมนุษย์

ระดับของโอโซน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ผลกระทบต่อร่างกาย
10	0.05	ลดจังหวะการเต้นของไฟฟ้าในสมองมนุษย์ (Rhythm)
15 - 40	-	ผู้ที่จมูกไวสามารถได้กลิ่น
100 - 460	24	มีผลต่อระบบหายใจของผู้ป่วยโรคปอดเรื้อรัง
200	1	ระคายเคืองตา
200	2	ระบบหายใจผิดปกติระหว่างมีการออกกำลังกายเบาๆเป็นระยะๆ
>240	2	นักวิ่งทนไม่สามารถทำเวลาได้ดีขึ้น
$\geq$ 500	1	กลุ่มผู้ป่วยโรคหอบหืดจะมีอาการหอบหืดบ่อยขึ้น
600 – 1,600	1	ช่างเชื่อมโลหะมีอาการแน่นหน้าอกระคายคอ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

ระดับของโอโซน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ผลกระทบต่อร่างกาย
740	2	ระบบหายใจผิดปกติ
1,000	-	- เกิดอาการแน่นหน้าอกที่ 58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร - นักศึกษาพยาบาลจะมีอาการปวดศีรษะเมื่อมีก๊าซ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร - เกิดอาการระคายเคืองตาที่ 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร - เกิดอาการไอที่ 530 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
1,600 - 3,400	1	ช่างเชื่อมโลหะมีระบบหายใจผิดปกติ

(วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต , 2536)

2.7 มาตรฐานสำหรับค่าของก๊าซโอโซน

ประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 28 ปีพ.ศ. 2550 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพในบรรยากาศ โดยทั่วไปได้กำหนดมาตรฐานสำหรับค่าก๊าซโอโซนให้สอดคล้องกับความก้าวหน้าในทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนต่อวันจะต้องไม่เกิน 0.10 ส่วนในล้านส่วน หรือไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) และในช่วงเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.07 ส่วนในล้านส่วน หรือไม่เกิน 0.14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550) ในขณะที่ NAAQS (National

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Ambient Air Quality Standard) กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนต่อวันต้องไม่เกิน 0.12 ส่วนในล้านส่วน และไม่เกิน 0.08 ส่วนในล้านส่วน ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง (Abdul-Wahab & Alawi, 2002)

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศของแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งค่าดัชนีคุณภาพอากาศในแต่ละระดับจะแสดงถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
0 - 50	คุณภาพดี	ฟ้า	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51 - 100	คุณภาพปานกลาง	เขียว	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
101 - 200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	เหลือง	- ผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร - บุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคาร
201 – 300	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ส้ม	- ผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร - บุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุควรจำกัดการออกกำลังกายภายนอกอาคาร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	แนวทางการป้องกันผลกระทบ
> 300	อันตราย	แดง	- บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร - ผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจควรอยู่ภายในอาคาร

(นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

สำหรับการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท คำนวณได้จากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยแต่ละระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศเทียบเท่ากับค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่ระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-3 และมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$I_i = \frac{I_{ij+1} - I_{ij}}{X_{ij+1} - X_{ij}}(X_i - X_{ij}) + I_{ij}$$

โดยที่

I_i คือค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

I_{ij} คือค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า I_i นั้น

I_{ij+1} คือค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า I_i นั้น

X_i คือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากผลการตรวจวัด

X_{ij} คือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า X_i นั้น

X_{ij+1} คือค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า X_i นั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-3 ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

AQI	PM_{10} (24ชม.)	O_3 (1ชม.)		SO_2 (24ชม.)		NO_2 (1ชม.)		CO (8ชม.)	
	มคก./ลบม.	มคก./ลบม.	ส่วนในพันล้านส่วน	มคก./ลบม.	ส่วนในพันล้านส่วน	มคก./ลบม.	ส่วนในพันล้านส่วน	มคก./ลบม.	ส่วนในพันล้านส่วน
50	40	100	51	65	25	160	85	5.13	4.48
100	120	200	100	300	120	320	170	10.26	9.00
200	350	400	203	800	305	1,130	600	17.00	14.84
300	420	800	405	1,600	610	2,260	1,202	34.00	29.69
400	500	1,000	509	2,100	802	3,000	1,594	46.00	40.17
500	600	1,200	611	2,620	1,000	3,750	1,993	57.50	50.21

(นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2552)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศของก๊าซโอโซนที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงเท่ากับ 250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ (ในที่นี้คือก๊าซโอโซน) จากผลการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คือ $X_i = 250$ และจะได้ว่า

ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า I_i นั้น คือ $I_{ij+1} = 200$

ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า I_i นั้น คือ $I_{ij} = 100$

ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าสูงสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า X_i นั้น คือ

$X_{ij+1} = 400$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เป็นค่าต่ำสุดของช่วงพิสัยที่มีค่า X_i นั้น คือ

$X_{ij} = 200$

ดังนั้นค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศของก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงเท่ากับ 250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจึงมีค่าเท่ากับ

$$I_i = \left[\frac{200-100}{400-200}\right](250-200)+100$$

$$=125$$

เมื่อนำค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย (ตารางที่ 2-2) เพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและหาแนวทางการป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้นพบว่าค่า AQI อยู่ในช่วง 101-200 จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของ 1) ผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจ โดยมีแนวทางในการป้องกันสำหรับผู้ป่วยระบบทางเดินหายใจคือควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายภายนอกอาคาร และ 2) บุคคลทั่วไปโดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ โดยมีแนวทางในการป้องกันคือเด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยในต่างประเทศ

Comrie (1997) ศึกษาการทำนายค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนในปี ค.ศ. 1991 ถึงปี ค.ศ.1995 โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบข่ายงานระบบประสาท (Neural networks model) และตัวแบบการถดถอย (Regression model) ซึ่งเก็บข้อมูลจากสถานี 8 สถานีในเมืองต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน ได้แก่ แอตแลนตา (Atlanta) บอสตัน (Boston) ชาร์ลอต (Charlotte) ชิคาโก (Chicago) ฟีนิกซ์ (Phoenix) พิทสเบอร์ก (Pittsburgh) ซีแอทเทิล (Seattle) และทูซอน (Tucson) พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of agreement: d_α)ในแต่ละเมืองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ดัชนีความสอดคล้องของตัวแบบการถดถอยมีค่าสูงกว่าดัชนีความสอดคล้องของตัวแบบข่ายงานระบบประสาท

Abdul-Wahab and Alawi (2002) สร้างตัวแบบทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในบรรยากาศด้วยข่ายงานระบบประสาท โดยใช้ตัวแปรเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาและพารามิเตอร์ที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ซึ่งเก็บข้อมูลที่ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยคูเวต ในเมืองคัลดิยา (Khaldiya) สำหรับการเก็บข้อมูลจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที โดยมีการวัดตัวแปรมลพิษทางอากาศ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน (NMHC) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) รวมถึงปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาคือ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่าเปอร์เซนต์ contribution ของการทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีความผันแปรอยู่ระหว่าง 31.5-40.64 % และมีตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดของก๊าซโอโซนเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ คือก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในขณะที่การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นั้นมีผลต่อการเกิดของก๊าซโอโซนน้อยกว่าที่คาดหมายไว้

Wang, Lu, Wang, and Leung (2003) สร้างตัวแบบข่ายงานระบบประสาทเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงสุดรายวัน ซึ่งเก็บข้อมูลจากสถานี 3 สถานี ที่ประเทศฮ่องกง ในปี ค.ศ. 1999 และปี ค.ศ. 2000 โดยตัวแบบที่ได้เป็นดังนี้

สำหรับปี ค.ศ. 1999: $O_3 = 12.989\left(\frac{NO_2}{NO}\right) + 2.0513$

$R^2 = 0.739$

สำหรับปี ค.ศ. 2000: $O_3 = 12.958\left(\frac{NO_2}{NO}\right) + 1.2185$

$R^2 = 0.7616$

นอกจากนี้ยังได้สร้างตัวแบบข่ายงานระบบประสาทแบบ ARBF (Adaptive Radial Basis Function) และข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF (Radial Basis Function) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงที่เก็บของข้อมูลบริเวณเมืองชวนวัน (Tsuen Wan) ในปี ค.ศ. 2000 โดยแบ่งเป็นช่วงฤดูกาลได้แก่ ช่วงที่1 คือ เดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงที่ 2 คือเดือนมีนาคม เดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม ช่วงที่ 3 คือเดือนมิถุนายน เดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม ช่วงที่ 4 คือเดือนกันยายน เดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน และช่วงที่ 5 คือเดือนธันวาคม พบว่าตัวแบบข่ายงานระบบประสาท

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบ ARBF สามารถทำนายได้ถูกต้องกว่าตัวแบบข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริงในทุกช่วงเวลา

Zhang and Kim Oanh (2002) ศึกษามลพิษของการเกิดหมอกควันในกรุงเทพมหานครที่เกิดจากก๊าซโอโซนซึ่งเป็นสารตั้งต้น โดยเก็บข้อมูลจากสถานี 11 สถานีในกรุงเทพมหานครและจาก 5 สถานีในเขตปริมณฑล เป็นเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 ถึงปี ค.ศ. 2000 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เมฆ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝน และจำนวนชั่วโมงที่แสงแดดส่องถึง พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงสุดในปี ค.ศ. 1997 มีจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานทั้งหมด 314 ชั่วโมง และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงที่สุดในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน (ฤดูหนาวและฤดูร้อน) ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าต่ำที่สุดคือเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.15 ส่วนความผันแปรของอัตราส่วนระหว่างออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอนกับก๊าซโอโซนมีความผันแปรในช่วงฤดูร้อนเท่ากับ 0.07 ในช่วงฤดูหนาวเท่ากับ 0.05 และในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 0.03

Lengyel, Héberger, Paksy, Bánhidi, and Rajkó (2004) ศึกษาและทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในบรรยากาศที่เมืองมิสคอค (Miskolc) ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีการจราจรหนาแน่นของประเทศฮังการี โดยเก็บข้อมูลรายชั่วโมงตลอดทั้งวันด้วยวิธีหลายตัวแปร (Multivariate method) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis: PCA) เพื่อจำแนกและรวมตัวแปรมลพิษทางอากาศ (ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์) และตัวแปรเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา (ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และทิศทางลม) ที่มีความสัมพันธ์กัน แล้วนำไปสร้างตัวแบบ 3 ตัวแบบคือ 1) ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression: MLR) 2) ตัวแบบกำลังสองน้อยสุดบางส่วน (Partial Least Square: PLS) และ 3) ตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลัก (Principal component regression: PCR) ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูงและมีอิทธิพล

ต่อการเกิดก๊าซโอโซนสูงทั้งสามตัวแบบ และการแยกส่วนประกอบหลักยังเป็นประโยชน์ในการช่วยลดจำนวนตัวแปรในการวิเคราะห์ได้อีกด้วย

Sousa, Martins, Alvim-Ferraz, and Pereira (2007) สร้างตัวแบบทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 3 ตัวแบบ คือ ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลัก และตัวแบบข่ายงานระบบประสาทเทียมแบบเชื่อมโยงไปข้างหน้า (Feedforward artificial neural networks) โดยใช้ส่วนประกอบหลักเป็นอินพุท (FANN) สำหรับการเก็บตัวอย่างจัดเก็บจากสถานที่ที่มีการจราจรหนาแน่นบริเวณมหาวิทยาลัยออพอร์โท (Oporto) ประเทศโปรตุเกส มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ไนโตรเจนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ผลการศึกษาพบว่าการใช้ส่วนประกอบหลักเป็นอินพุทช่วยปรับปรุงการทำนายของตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลักและตัวแบบข่ายงานระบบประสาทเทียมแบบเชื่อมโยงไปข้างหน้าให้ดีขึ้น เนื่องจากช่วยลดความซับซ้อนของตัวแบบอีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาการมีพหุสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอีกด้วย

Pelliccioni, Pungi, Ianni, and Bellina (2009) ศึกษาสารตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดของก๊าซโอโซนและทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซน 24 ชั่วโมงข้างหน้า ที่สถานีกลางเมืองโรม ประเทศอิตาลี ด้วยข่ายงานระบบประสาท โดยใช้ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและตัวแปรมลพิษทางอากาศ และเปรียบเทียบค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในแต่ละวัน พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมากที่สุดคืออุณหภูมิ รองลงมาคือการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม

2.2 งานวิจัยในประเทศไทย

สพโชค ตัณฑุลารักษ์ (2523) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจรและค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนคือสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่าสหสัมพันธ์ของปริมาณการจราจรและปริมาณก๊าซโอโซนในเวลา 8.30-9.00 น. เวลา 12.00-12.30 น. และเวลา 15.00-15.30 น. เป็น 0.5473, 0.5173 และ 0.5929 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, 0.05 และ 0.02 ตามลำดับ สหสัมพันธ์ของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เข้มข้นของก๊าซโอโซนเป็น 0.7482 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.001 สำหรับค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นนั้นจะมีค่ามากกว่าบริเวณที่พักอาศัย นอกจากนี้จากสมการการทำนายยังสรุปได้อีกว่าเมื่อปริมาณการจราจรมีรถมากกว่า 1,372 คันต่อหนึ่งช่องทางถนนในช่วงเวลา 30 นาที จะมีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งจะทำให้มีค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในระดับที่เป็นอันตรายได้

ศิรพงศ์ สุขทวี (2546) ศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาสหสัมพันธ์ของการทำนายค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงในบรรยากาศ ที่มหาวิทยาลัยรามคำแหง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษของสถานีตรวจวัดคุณภาพทางอากาศในปี พ.ศ. 2539 ถึงปี พ.ศ.2545 ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ ค่าความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายชั่วโมงในวันที่ผ่านมา ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมง ความเร็วลม อุณหภูมิ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ณ เวลา 10.00 น. ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมง ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมง และความเร็วลม ณ เวลา 9.00 น ผลการทำนายพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และเมื่อค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนมีค่ามากขึ้นจะทำให้ความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่ได้จากการตรวจวัดและค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

ธนิกานต์ ลาภาพิพัฒน์ (2549) ศึกษาการหาค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ณ.ปัจจุบันและค่าย้อนหลังในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่เกิดจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ในเขตกรุงเทพมหานคร และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซโอโซนกับสารตั้งต้นและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ถึงปี ค.ศ. 2005 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งหมด 11 แห่งจากที่ต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งเป็น 3 สถานี ได้แก่ สถานีริมถนน 3 สถานี สถานีในเมือง 5 สถานี และสถานีชานเมือง 3 สถานี ผลการศึกษาพบว่า

1. ค่าเฉลี่ยของก๊าซโอโซนในรอบปีมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูหนาว แล้วจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อถึงฤดูร้อน และจะมีค่าต่ำสุดในช่วงฤดูฝน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. การเกิดของก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับแสงอาทิตย์และปริมาณสารตั้งต้นที่เกิดจากการทำกิจกรรมของมนุษย์

3. ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ฝนและลมจากสภาพอากาศแบบมรสุม เป็นปัจจัยสำคัญต่อลักษณะเฉพาะของก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดก๊าซโอโซนจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงซ้อนในช่วงเวลากลางวันได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงอาทิตย์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ และผลการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณพบว่าก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน ก๊าซเทรตตะไฮโดคานาบินอล (THC) ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์กันมากกับการเกิดของก๊าซโอโซน

ศุภาพร เสียงสูง, สามัคคี บุณยะวัฒน์ และปิยพงษ์ ทองดีนอก (2550) ศึกษาความผันแปรของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและความสัมพันธ์ของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยากับค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ เพื่อสร้างสมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการประเมินค่าความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศของพื้นที่สวนป่าแม่จาง จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2550 ผลการศึกษาพบว่าความผันแปรของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน มีค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 0.0007, 0.004, 0.034 และ 0.0163 ส่วนในล้านส่วนต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความผันแปรของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพียงอย่างเดียวที่มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวแปรจากปัจจัย 2 ปัจจัยคือปัจจัยมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรคาร์บอน ก๊าซนอนมีเทนไฮโดรคาร์บอน ก๊าซมีเทน และ PM_{10} และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณน้ำฝน เพื่อใช้ทำนายค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนต่อวัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สถิติที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลัก

การถดถอยส่วนประกอบหลัก (Principal component regression: PCR) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ได้จากการรวมตัวแปรอิสระซึ่งมีอยู่หลายตัวและมีความสัมพันธ์กันเข้าไว้ด้วยกันเพื่อสร้างเป็นตัวแปรตัวใหม่ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) โดยใช้การดึงปัจจัย (Factor extraction) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal component analysis: PCA) ดังนั้นตัวแบบการถดถอยส่วนประกอบหลักจึงอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และการวิเคราะห์ปัจจัย ซึ่งมีหลักการดังนี้

2.1 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์ถดถอยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variable: Y) และตัวแปรอิสระ (Independent variable: X) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์การถดถอยเป็นเทคนิคเชิงสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนาย โดยที่ถ้าทราบค่าตัวแปรหนึ่งก็สามารถทำนายค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่งได้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการการทำนาย โดยทั่วไปสามารถเขียนตัวแบบการถดถอยได้ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + ... + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

โดยที่

Y_i เป็นตัวแปรตาม

β_0 เป็นค่าคงตัว (constant)

$\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย

$X_1, X_2, ..., X_k$ เป็นตัวแปรอิสระ k ตัว

และ $i = 1, 2, 3, ..., n$ โดยที่ n เป็นจำนวนข้อมูล

สำหรับข้อสมมุติ (Assumption) ของการถดถอยคือ $\varepsilon_i \sim NID\left(0, \sigma^2\right)$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 การวิเคราะห์ปัจจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรอย่างหนึ่งที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อจัดกลุ่มของตัวแปรขึ้นใหม่โดยมีการรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันให้อยู่เป็นปัจจัยเดียวกัน จึงเป็นการลดจำนวนตัวแปรที่จะใช้ในการวิเคราะห์ให้น้อยลง อีกทั้งยังเป็นการขจัดปัญหาการเกิดพหุสัมพันธ์ (Multicollinearity) ระหว่างตัวแปรอีกด้วย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยเป็นดังนี้

2.2.1 การดึงปัจจัย เป็นการดึงตัวแปรที่สำคัญออกจากข้อมูลเพื่อหาจำนวนส่วนประกอบหลักหรือจำนวนปัจจัย และหาค่าการให้น้ำหนัก (factor loading) จึงได้ตัวแปรตัวใหม่ซึ่งมีจำนวนตัวแปรที่น้อยลง วิธีการดึงปัจจัยมี 2 วิธี คือวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก และวิธีความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้ได้ตัวแปรใหม่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน

2.2.2 การหมุนปัจจัย เป็นการแปลงปัจจัยที่ได้เพื่อหาปัจจัยใหม่ซึ่งง่ายต่อการอธิบายความหมาย วิธีการหมุนปัจจัยมี 2 วิธีคือ

2.2.2.1 การหมุนปัจจัยเชิงตั้งฉาก (Orthogonal factor rotation) เป็นวิธีที่จะได้ปัจจัยใหม่ที่สร้างขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งมีอยู่ 4 วิธีคือ

1. อิควิแมกซ์ (Equimax) จะได้ค่าความแปรปรวนของค่าการให้น้ำหนักที่อยู่ภายในปัจจัยและภายในตัวแปรมีค่ามากที่สุด

2. แวริแมกซ์ (Varimax) จะได้ค่าความแปรปรวนของค่าการให้น้ำหนักภายในปัจจัยมีค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากเนื่องจากอยู่บนพื้นฐานของแนวความคิดที่ว่าอาจทำให้ค่าการให้น้ำหนักมีค่ามากไปเลยหรือมีค่าน้อยไปเลยเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายความหมาย

3. ควอร์ทิแมกซ์ (Quartimax) จะได้ค่าความแปรปรวนของการค่าให้น้ำหนักภายในตัวแปรมีค่ามากที่สุด

4. ออร์โทแมกซ์ (Orthomax) เป็นการหมุนปัจจัยซึ่งเป็นการรวมทั้ง 3 วิธีข้างต้นเข้าไว้ด้วยกันโดยมีค่าพารามิเตอร์ของ Gamma (0,1)

2.2.2.2 การหมุนปัจจัยเป็นมุมแหลม (Oblique factor rotation) เป็นวิธีที่จะได้ปัจจัยใหม่ที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์กัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าในการสร้างตัวแบบเพื่อทำนายค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนต่อวันนั้นจะใช้ตัวแบบข่ายงานระบบประสาท และตัวแบบการถดถอยระหว่างค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดของก๊าซโอโซนต่อวันและปัจจัยมลพิษทางอากาศกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวแบบที่สร้างขึ้นจากการถดถอย เนื่องจากมีข้อสมมุติอยู่บนพื้นฐานเชิงสถิติ ในขณะที่ตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีข่ายงานระบบประสาทไม่จำเป็นต้องมีข้อสมมุติเชิงสถิติใด ๆ สำหรับตัวแบบการถดถอยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นจะมีตัวแปรอิสระเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งส่วนประกอบหลักนี้ได้จากการรวมตัวแปรของปัจจัยมลพิษทางอากาศและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นจึงเป็นการลดจำนวนตัวแปรอิสระที่มีอยู่หลายตัวและขจัดปัญหาการมีพหุสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระซึ่งเป็นข้อสมมุติของการถดถอยอีกด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University