



บทที่ 2

การศึกษาด้านเอกสาร

2.1 แหล่งหรือสาเหตุการเกิด O_3 ในชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere)

O_3 เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ในบรรยากาศของโทรโปสเฟียร์ (อากาศปกติ) มีปริมาณน้อยมาก กล่าวคือ มีเพียง 0.02 ppm (8) แหล่งหรือสาเหตุการเกิด O_3 ในโทรโปสเฟียร์ที่สำคัญ (9) มีดังนี้

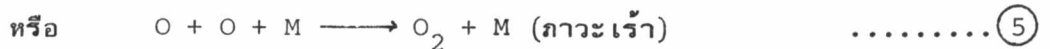
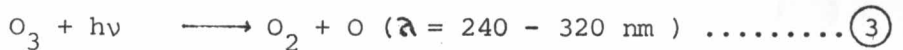
2.1.1 จากชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)

เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่า ชั้นสตราโตสเฟียร์ เป็นแหล่งของ O_3 ขนาดใหญ่มีความเข้มข้นประมาณ 10 ppm หรือมากกว่า ในชั้นนี้ปกติจะมีความสูง 20 - 50 กิโลเมตร O_3 ที่เกิดในชั้นนี้ จะเกิดจากปฏิกิริยาของ O_2 และแสง UV (2) (3) ดังสมการ



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ซึ่งอาจเป็นก๊าซ เช่น N_2 , O_2 ทำหน้าที่ดูดความร้อนที่มีมากเกินไปเพื่อไม่ให้ผลผลิต (O_3) สลายตัวไปเป็น O และ O_2

ในขณะที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 320 nm O_3 จะสลายตัวได้ดังนี้



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ทำหน้าที่ดูดความร้อนส่วนเกินดังกล่าวมาแล้ว

ถ้าพิจารณาสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (1) - (5) จะพบว่า O_3 เกิดขึ้นและถูกทำลายไป ในขณะเดียวกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาเหล่านี้นำไปสู่ภาวะสมดุล เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของ O_3 ในชั้นสตราโตสเฟียร์มีค่าคงที่

2.1.1.1 โดยกระบวนการแพร่กระจาย (Diffusion Process)

การแลกเปลี่ยน O_3 ระหว่างชั้นโทรโปสเฟียร์ และสตราโตสเฟียร์ เนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้น O_3 จากชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า จะแพร่กระจายเข้าสู่ชั้นโทรโปสเฟียร์อย่างช้า ๆ โดยกระบวนการแพร่กระจาย (diffusion process) จะเห็นได้จากการตรวจวัดในแนวตั้ง ในพื้นที่ห่างไกลเมือง เช่น บรรยากาศเหนือมหาสมุทร ระดับ O_3 ในชั้นโทรโปสเฟียร์ที่เกิดจากกระบวนการแพร่กระจายนี้จะมีค่าระหว่าง 0.02 - 0.05 ppm

2.1.1.2 โดยการรบกวนของชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheric Intrusions)

ผลจากการรบกวนของอากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ทำให้ O_3 ที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไปในชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยการกระทำทันทีทันใดต่อชั้น tropopause (ชั้นระหว่างชั้น สตราโตสเฟียร์และโทรโปสเฟียร์) จากพายุและฟ้าคะนอง ระดับ O_3 ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ชนบทจะมีค่ามากกว่า 0.15 ppm ในเวลา 2 - 3 นาที หรือมากกว่านั้น ด้วยสาเหตุนี้

2.1.2 จากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical reaction)

ขั้นตอนการเกิด O_3 ยังไม่เป็นที่เข้าใจชัดเจนจากการวิจัยที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามยังมีหลักกว้าง ๆ ที่เข้าใจได้ โดยสังเขป (10), (11) ดังนี้

ก. NO เกิดจากขบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดส์ (oxidise) เป็น NO_2 ในบรรยากาศ การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) จะเกิดได้ดีและรวดเร็ว ถ้ามี HC อยู่ด้วย (9) ดังสมการ

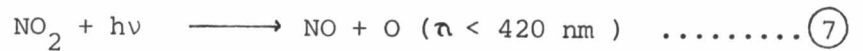


ที่อุณหภูมิปกติ อัตราของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ NO และ O_2 เพิ่มขึ้น (3) โดยทั่วไปอากาศจากการเผาไหม้ที่ปล่อยออกมาจะมีความเข้มข้นของ O_2 น้อย เป็นเหตุให้อัตราของ

ปฏิกิริยามีค่าต่ำไปด้วย ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ NO จะมียาก และเมื่อผสมกับอากาศในบรรยากาศ จะทำให้ความเข้มข้นของ O_2 เพิ่มขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันความเข้มข้นของ NO จะลดลง เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้ามาก

ในบรรยากาศของพื้นที่ในเมืองที่มีการระบายอากาศไม่ดี ความเข้มข้นของ NO_2 ที่เกิดจาก NO จะมีค่าประมาณ 0.1 ppm หรือมากกว่า

ข. NO_2 ที่เกิดขึ้น จะถูกรีดิวส์ (reduce) เป็น NO และออกซิเจนอะตอม (O) โดยแสง UV (photolysis)



ค. O จากข้อ ข. จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็น O_3



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ทำหน้าที่ดูดความร้อนส่วนเกิน ดังได้กล่าวมาแล้ว และ O_3 สามารถทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็น NO_2 และ O_2 ดังสมการ



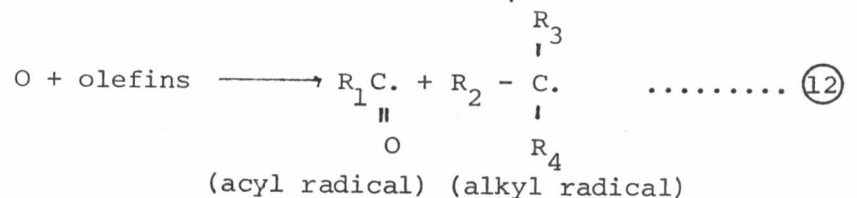
หรืออาจสรุปปฏิกิริยาการเกิด O_3 โดยแสงอาทิตย์ตั้งแต่ (7) - (9) ได้ดังสมการ



$$[O_3] = \frac{K_1 [NO_2]}{K_2 [NO]} \quad \dots\dots\dots (11)$$

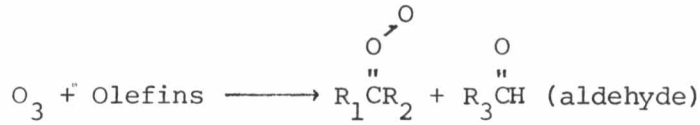
จากสมการ (10) - (11) ถ้า NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ O_3 มากขึ้นด้วยในทางตรงข้ามกัน ถ้า NO สูงจะทำให้ O_3 น้อยลง

ง. O, O_3 ที่เกิดจากข้อ ข, ค จะทำปฏิกิริยากับ HC(olefins ซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยา) เกิดเป็น free radicals และสารอื่น ๆ



R แทน H หรือ alkyl groups

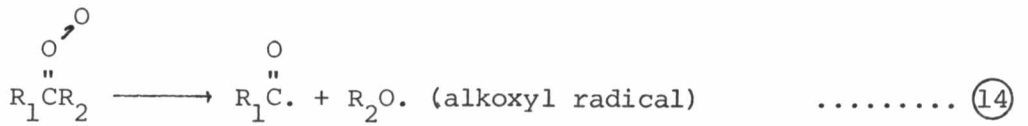
และ



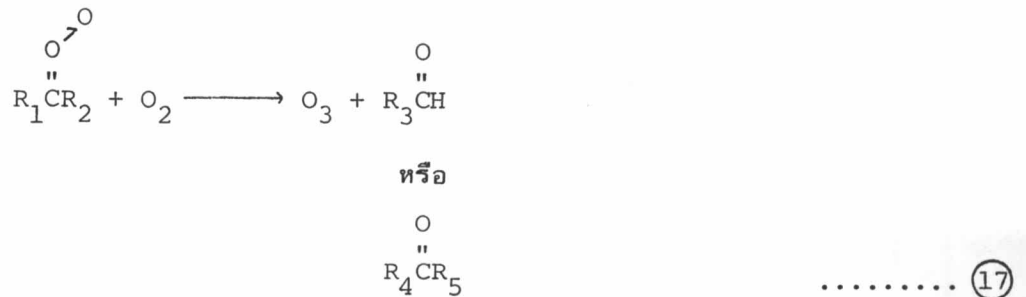
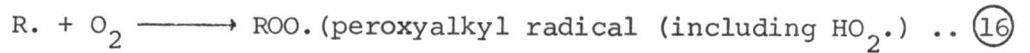
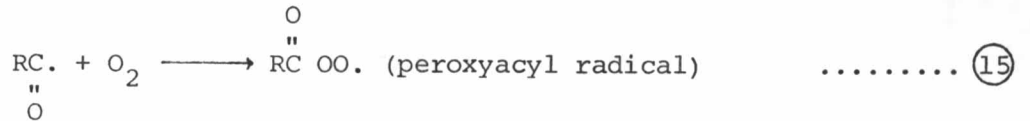
หรือ



$R_1 \overset{\text{O}}{\parallel} CR_2$ เป็นโมเลกุลไม่คงตัว (Zwitterion) จะแตกตัวตั้งสมการ

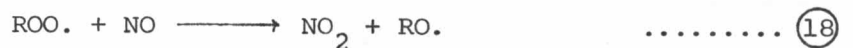


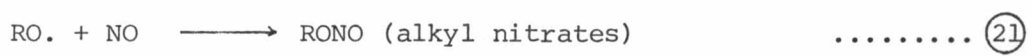
$RC \cdot$, $R \cdot$ และ $R_1 \overset{\text{O}}{\parallel} CR_2$ จากสมการ (12) - (14) ทำปฏิกิริยากับ O_2



จากสมการ (17) จะได้ aldehydes , ketones และ O_3 (ไม่เสียไปในปฏิกิริยา) เป็นผลิตภัณฑ์ peroxy radicals ($ROO \cdot$ และ $RCOO \cdot$) ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยา เปลี่ยน NO ไปเป็น NO_2 ต่อไปอีก

จ. free radical จากข้อ ง. จะทำปฏิกิริยากับ NO ที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้ได้ NO_2 และสารอื่นเป็นผลิตภัณฑ์ ตั้งสมการ



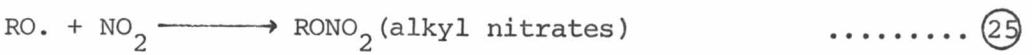
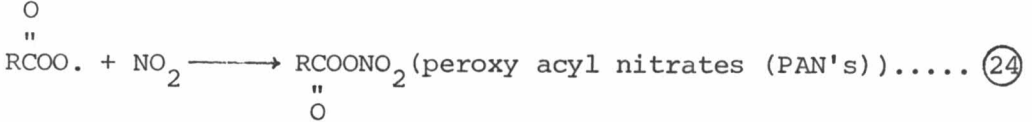
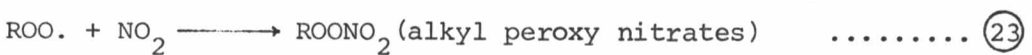


$\overset{\text{O}}{\parallel} \text{RCO} \cdot$ จากสมการ (19) ซึ่งไม่คงตัว จะแตกตัว ดังสมการ



ซึ่ง R. จากปฏิกิริยานี้จะทำปฏิกิริยาต่อไป ดังสมการ (16) , (18) และ (21) ได้สารคงตัวในที่สุด

- ฉ. NO_2 ที่เกิดจากข้อ จ. จะเกิดปฏิกิริยา
 - โฟโตเคมีคัล ได้ O_3 เป็นผลผลิต ดังข้อ ข. , ค.
 - กับ free radical เกิดเป็นออกซิแดนท์ (oxidants)

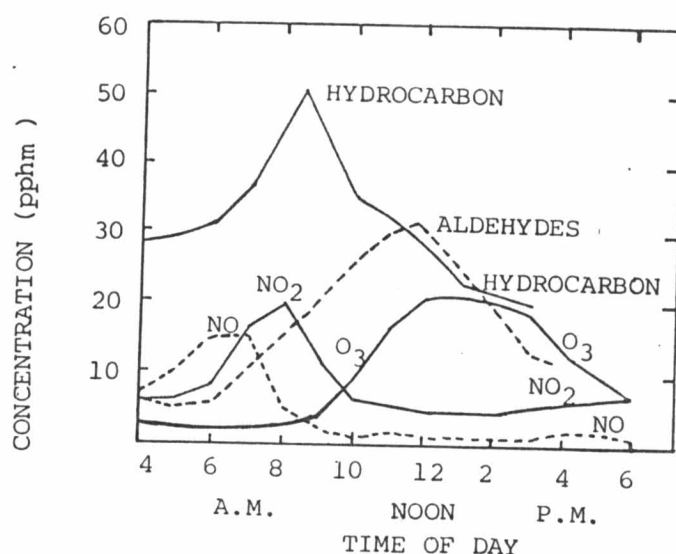


จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของ NO และ HC มีค่าลดลง ส่วนระดับของ NO_2 , O_3 และออกซิแดนท์ จะมียค่ามากขึ้นในเวลาต่อมา

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ตั้งแต่ข้อ ก - ฉ สามารถใช้อธิบายการเกิด O_3 ในบรรยากาศ ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าในตอนเช้าบรรยากาศเริ่มสะสม NO_x และ HC เนื่องมาจากการจราจรคับคั่ง เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ NO จะถูกออกซิไดส์เป็น NO_2 โดย O_2 ดังสมการที่ (6) และเมื่อแสงอาทิตย์เริ่มจางขึ้น NO_2 จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น NO และ O ดังสมการ (7) NO ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ NO ที่ปล่อยออกมาจากบรรยากาศเสีย ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในบรรยากาศ และ O ที่เกิดจากปฏิกิริยา จะรวมตัวกับ O_2 เป็น O_3 ดังสมการ (8) ทั้ง O และ O_3 ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับ HC ที่มีความเข้มข้นมากให้ลดลง ดังสมการที่ (12), (13)

โดยมี aldehyde, ketone และ free radical เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งทั้ง free radical และ O_3 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ NO ให้มีความเข้มข้นลดลง ดังสมการ (9), (18) - (21) เป็นเหตุให้ NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ O_3 มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังสมการ (10) และ จะมีค่าสูงสุดในตอนกลางวัน ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้ม ของแสง UV สูงสุด (12)

ในตอนบ่าย NO_2 ที่เกิดขึ้น จะรวมตัวกับ radical ดังสมการ (23)-(25) ทำให้ระดับตัวออกซิไดส์ ได้แก่ PAN'S จะมากที่สุด ส่วนระดับของ NO, NO_2 และ HC จะมี ค่าต่ำสุด จนกระทั่งถึงตอนเย็น ซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ ระดับของตัวออกซิไดส์จะลดลง ส่วนระดับของ NO_x และ HC จะเพิ่มขึ้นอีก และเพิ่มถึงค่าสูงสุดในตอนเช้า เป็นเช่นนี้เรื่อยไปทุกวัน



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของส่วนประกอบโฟโตเคมีคัลสม็อก กับเวลาในลอสแอนเจลิส

ที่มา : Leighton (12)

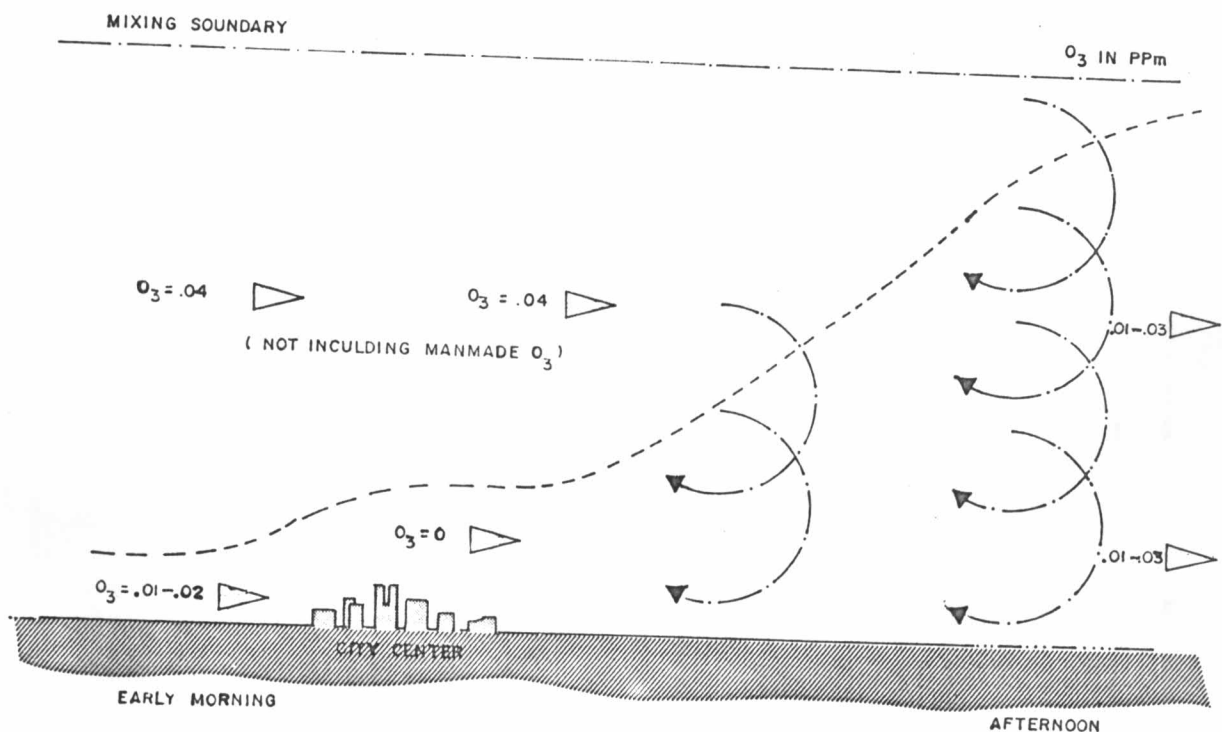
2.1.3 จากแหล่งธรรมชาติ

ในพื้นที่ไม่มีปัญหามลพิษทางอากาศ (อากาศปกติ) O_3 จะเกิดจากแหล่งธรรมชาติ ของปฏิกิริยาระหว่าง NO_x และ NMHC โดยมีแสงอาทิตย์ (9) ตัวอย่าง NMHC ที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ สารพวกเทอร์พีน (Terpenes) และไอโซพีน (Isopene) จากต้นไม้ ซึ่งมีค่าน้อยมากหรือ ตรวจวัดไม่พบ ส่วน NO_x ในธรรมชาติมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจะมีค่าประมาณ 0.005 ppm O_3 ที่เกิดขึ้น มีปริมาณน้อยมาก ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสภาวะแวดล้อม

2.2 การกระจายของ O_3 ตามลม

2.2.1 การกระจายของ O_3 ที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติ

พื้นที่ในเมือง ในเวลาเช้า ความเข้มข้นของ O_3 ที่ใกล้พื้นผิวจะมีค่าต่ำมาก (ใกล้ศูนย์) เป็นผลมาจาก การทำปฏิกิริยากับ NO ในเวลากลางคืน และถูกกั้นด้วยชั้นของอากาศ อย่างไรก็ตาม O_3 จะยังคงมีอยู่ในอากาศชั้นบนซึ่งไม่ถูกทำลายไป ในพื้นที่ชนบท O_3 ที่เข้ามาจากชั้นสตราโตสเฟียร์เป็นแหล่งธรรมชาติที่สำคัญที่สุด จะทำให้ความเข้มข้นในบรรยากาศมีค่าประมาณ 0.04 ppm เมื่ออากาศเคลื่อนตัว เข้าสู่พื้นที่ในเมืองโดยกระแสลม O_3 ในบรรยากาศชั้นล่าง จะทำปฏิกิริยากับ NO หรือสารอื่น ทำให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.02 ppm ดังรูปที่ 2.2 เมื่ออากาศเคลื่อนตัวผ่านพื้นที่ในเมือง จะเกิดการผสมกันระหว่างชั้นของอากาศ O_3 ในชั้นบนจะถูกเจือจางและในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสงอาทิตย์ด้วย (มีผลน้อยมาก) ทำให้ระดับสูงสุดของ O_3 ในตอนกลางวันมีค่าประมาณ 0.01 - 0.03 ppm ในตำบลใกล้เคียง ดังมีผลการทดสอบสนับสนุน (9)

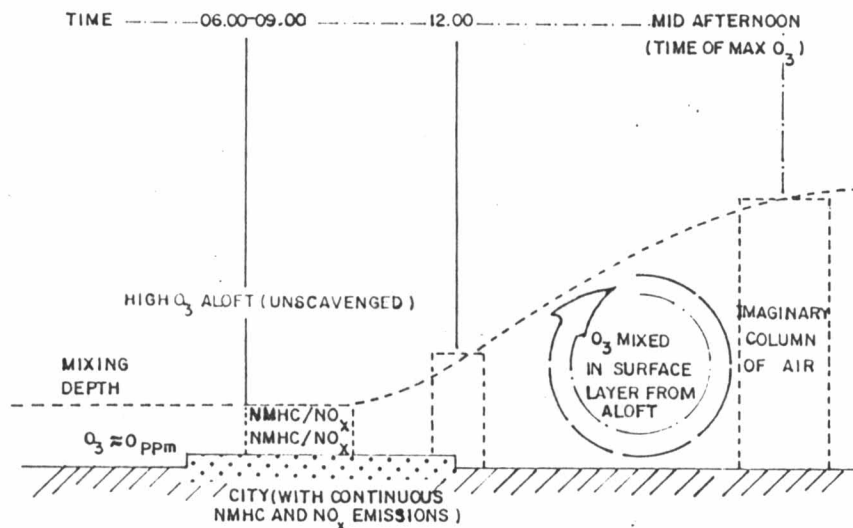


รูปที่ 2.2 การขนย้าย การผสม และการเจือจางของ O_3 จากธรรมชาติในเขตเมืองหลวง

ที่มา : US. Environmental Protection Agency 1978 (9)

2.2.2 การกระจายของ O_3 ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

การกระจายของ O_3 ที่เกิดจากพื้นที่เหนือลมเข้าสู่ในเมือง จำเป็นต้องพิจารณา O_3 ในรูปของชั้นอากาศ 2 ชั้น (9) เพราะ O_3 ในชั้นบนจะมีระดับสูงกว่าในชั้นล่าง สาเหตุจากระดับ NO ในชั้นบนมีระดับต่ำจึงทำปฏิกิริยาเพื่อลดระดับของ O_3 น้อยกว่าชั้นล่าง ในเวลาเช้าเมื่อชั้นของอากาศนี้เข้าสู่ใจกลางเมือง จะเกิดการผสมกับอากาศซึ่งมีความเข้มข้นของ precursor สูงภายในชั้นพื้นผิวและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ขณะเดียวกันปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจะเกิดขึ้น อากาศส่วนนี้จะเคลื่อนตัวไปในทิศทางใต้ลมของเมือง ระดับของ O_3 จะมีค่าต่ำ ครอบคลุมใตที่ยังมีการปล่อย precursor เข้าสู่อากาศนี้ เนื่องจากอิทธิพลของ NO เมื่อถึงขอบเมืองซึ่งมีการปล่อย precursor น้อย และเกิดการผสมกับ O_3 ในชั้นบน จนกระทั่ง O_3 ในชั้นพื้นผิวมีค่าสูงสุด

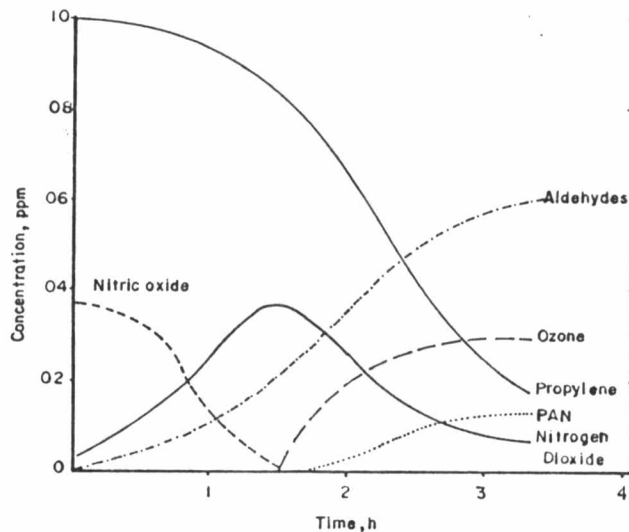


รูปที่ 2.3 บทบาทของ O_3 ในบรรยากาศชั้นบนต่อระดับสูงสุดของ O_3 ในบรรยากาศพื้นผิว

ที่มา : US. Environmental Protection Agency (9)

2.3 ผลการทดลองใน smog chamber (13)

กระบวนการที่เกิดขึ้นโดยการควบคุมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่แน่ว่าจะเกิดขึ้น และเปลี่ยนแปลงเหมือนจริงในบรรยากาศ แสดงในรูปที่ 2.4 โดย Groblicki และ Nebel, 1969 (14) เพื่อพิสูจน์ว่า NO มีผลขัดขวางการเกิด O_3



รูปที่ 2.4 การเกิด O_3 ใน smog chamber

ที่มา : Groblicki and Nebel 1969 (14)

จากการทดลองจะเห็นว่า O_3 จะไม่เกิดขึ้น จนกว่า NO ทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็น NO_2 และความเข้มข้นของ O_3 ที่เกิดขึ้นมีระดับสูงสุด ต้องใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง การทดลองนี้มีขีดจำกัดในการนำไปใช้ทำนายขบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ตัวอย่างผลที่สอดคล้องกับการทดลอง เช่น ค่าที่วัดได้ของ NO จะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้า และจะเปลี่ยนเป็น NO_2 (ซึ่งใช้เวลา 1 - 2 ชั่วโมง) หลังจากนั้น O_3 จะเกิดขึ้น (Chass R.L., Hamming W.J., Dickinson J.E. and MacBeth W.G., 1972) (15) ค่าความเข้มข้นของ O_3 สูงสุด จะเกิดขึ้นหลังจากนั้น 3 - 5 ชั่วโมง ซึ่งค่าความเข้มข้นสูงสุดของ O_3 ขึ้นอยู่กับ

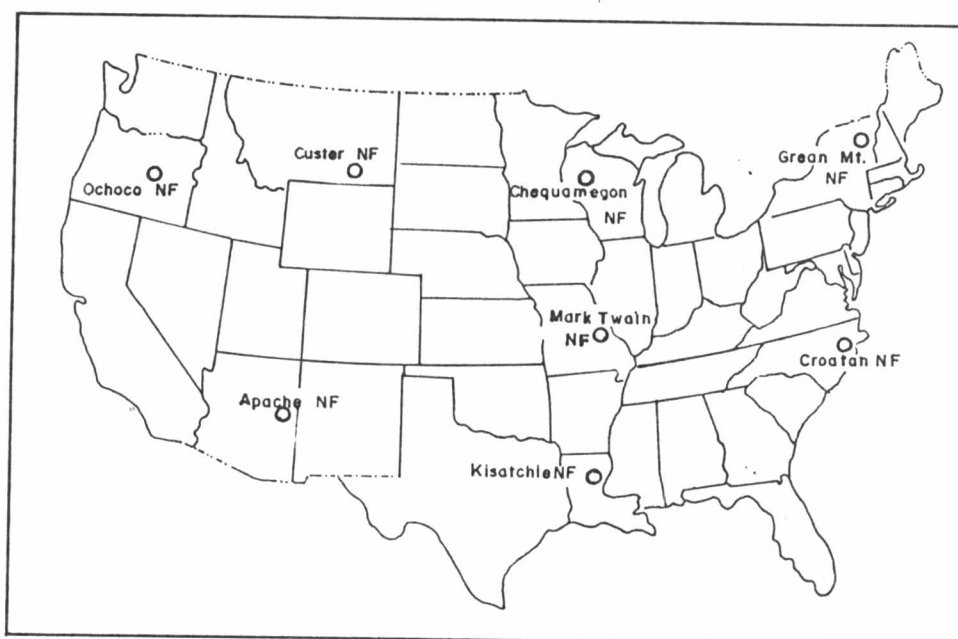
- 1) ความเข้มข้นของตัวทำให้เกิด oxidant (NO และ HC ที่ไวต่อปฏิกิริยา)
- 2) ลักษณะภูมิประเทศในระหว่างเวลาที่เกิดปฏิกิริยา

ในขณะที่การจราจรคับคั่งที่สุด ค่าของ NO และ HC ที่ไวต่อปฏิกิริยา จะมีค่ามากที่สุด ดังที่เราจะทดลองหาต่อไป

2.4 ระดับ O_3 และความสัมพัทธ์กับตัวแปรอื่นในต่างประเทศ

2.4.1 การตรวจวัดระดับ O_3 ในชนบทของสหรัฐอเมริกา (16)

The National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) ได้กำหนดความเข้มข้นของ O_3 สูงสุดที่จะมีได้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.08 ppm ในปี 1971 เพื่อที่จะทราบปริมาณ O_3 ในที่ต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา จึงได้ตั้งโครงข่ายสถานี ซึ่งมี 8 แห่ง โดย National Air Pollution Background Network (NAPBN) วัดความเข้มข้นของ O_3 โดยวิธี Chemiluminescence technique ดังรูปที่ 2.5 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2.1, 2.2 และเมื่อนำค่าความเข้มข้นของ O_3 เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงของ 6 สถานีตามเวลาของวัน (ยกเว้น Arizona และ Oregon) นำมาเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็น ppm กับเวลา โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงของฤดู ช่วงแรกตั้งแต่เดือนมกราคม - มีนาคม (QI) ช่วงที่สอง เดือนเมษายน - มิถุนายน (QII) ช่วงที่สามเดือน กรกฎาคม - กันยายน (QIII) ช่วงที่สี่เดือน ตุลาคม - ธันวาคม (QIV) ดังแสดงในรูป 2.6



รูปที่ 2.5 โครงข่ายสถานีวัด O_3 ในชนบทของสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.1 ความถี่สะสมของ O₃ (ppm) ในปี ค.ศ. 1979

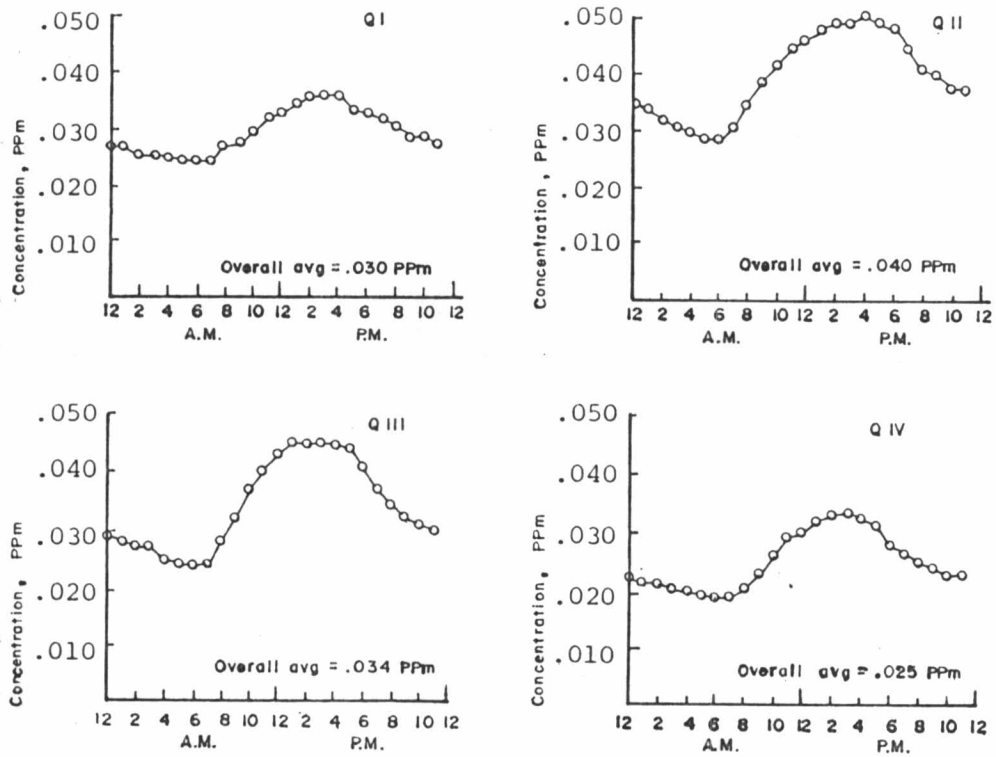
	Year	Num.	Min.	10	30	50	60	70	80	90	95	98	Max.	Arithmetic		Geometric	
														Mean	Std.	Mean	Std.
Apache NF	79	2427	LD ^a	.035	.045	.050	.050	.055	.055	.060	.065	.070	.080	.0493	.0097	.0482	1.246
Kisatchie NF	79	6993	LD	.010	.020	.025	.030	.035	.040	.045	.055	.060	.100	.0269	.0145	.0225	1.916
Mark Twain NF	79	8371	LD	.020	.030	.035	.040	.045	.055	.065	.075	0.85	.125	.0394	.0181	.0348	1.711
Custer NF	79	8488	LD	.015	.025	.030	.035	.040	.045	.045	.050	.055	.070	.0315	.0122	.0287	1.594
Croatan NF	79	8262	LD	LD	.015	.025	.030	.035	.040	.050	.060	.065	.085	.0279	.0166	.0223	2.087
Ochoco NF	79	2096	.010	.020	.025	.030	.030	.035	.035	.040	.040	.040	.050	.0292	.0067	.0284	1.286
Green Mt. NF	79	6423	LD	.010	.025	.030	.035	.045	.040	.050	.065	.075	.105	.0317	.0165	.0270	1.860
Chequamegon NF	79	7684	LD	.020	.025	.035	.035	.045	.040	.055	.060	.070	.110	.0353	.0148	.0321	1.581

^aLD : less than .010 ppm

012738

ตารางที่ 2.2 จำนวนวันที่ระดับของ O₃ เกินกว่า 0.08 ppm (08.00 - 23.00) ของ NAPBN

Site	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Green Mt. NF	0	0	1	1	1	7	3	1				0	14
Kisatchie NF	0	0	0	1	0	0		0	0	1	0	0	2
Mark Twain NF	0	0	1	4	4	9	6	0	5	0	0	0	29
Chequamegon NF	0	0	0	0	1	4	2	0	0	0	0	0	7
Croatan NF	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Custer NF							No occurrences						0
Ochoco NF										0	0	0	0
Apache NF										0	0	0	0



รูปที่ 2.6 ระดับความเข้มข้นของ O_3 ใน 4 ช่วงฤดู (6 สถานี) ในปี ค.ศ. 1979

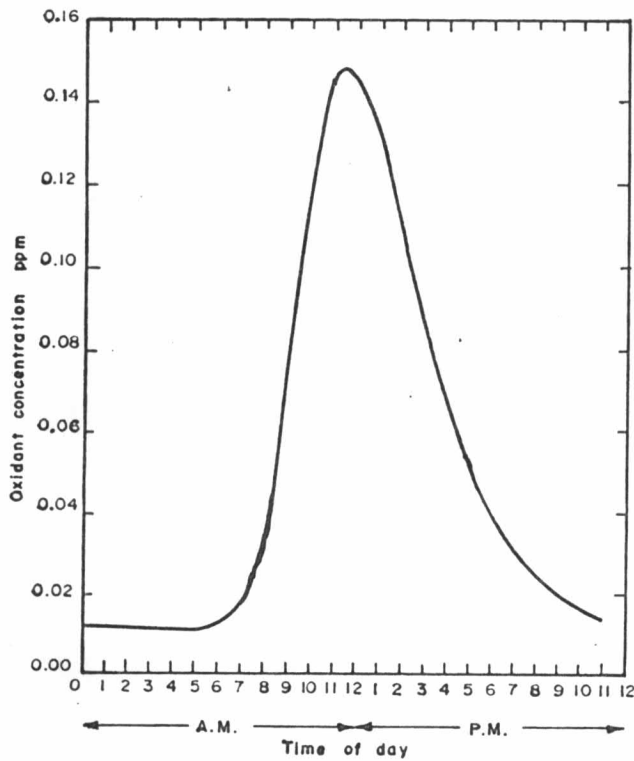
สรุปจากการตรวจวัดที่สถานีต่าง ๆ ในปี 1979 ความเข้มข้นของ O_3 ที่เกิน 0.08 ppm. เกิดขึ้น 5 สถานี ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูอื่น และค่าความเข้มข้นของ O_3 ในแต่ละช่วงเดือนเป็น

Quarter	Mean Daily Max O_3	Over all Mean O_3
1	0.036	0.030
2	0.049	0.040
3	0.045	0.034
4	0.033	0.025

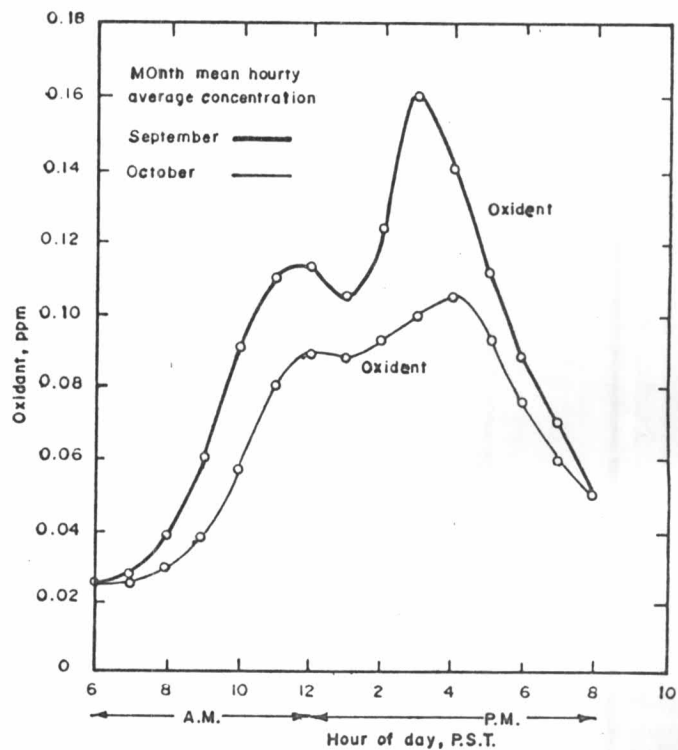
จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของ O_3 จะเริ่มมากขึ้น เมื่อเวลาประมาณ 8.00 น. และจะมีค่ามากที่สุดเลยเวลา 12.00 น. ไปแล้ว ต่อจากนั้น ความเข้มข้นจะลดลง

2.4.2 การเคลื่อนย้ายของ O₃ ใน Los Angeles

การศึกษาการเกิด O₃ ในวันที่มีหมอกควันของ Los Angeles (วัดในค่าออกซิแดนท์รวมเปลี่ยนแปลงตามเวลา) ดังรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของออกซิแดนท์จะมีค่าสูงสุดเมื่อเวลาประมาณ 12.00 น. ซึ่งจะขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์ แต่ค่าความเข้มข้นสูงสุดไม่ได้ขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์อย่างเดียว ยังขึ้นกับลมทะเล ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกใน California จากย่านธุรกิจของเมือง Los Angeles กระแสลมจะพาหมอกควันไปยัง Riverside ซึ่งห่างไปทางทิศตะวันออก 50 ไมล์ จากการตรวจวัดที่ Riverside นี้ ออกซิแดนท์จะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อเวลาประมาณ 12.00 น. ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มของแสงอาทิตย์ และจะมีค่าออกซิแดนท์เกิดขึ้นสูงสุดอีกครั้งหนึ่งที่เวลา 16.00 น. เมื่อหมอกควันจาก Los Angeles เคลื่อนที่ผ่านโดยลมทะเล ดังรูปที่ 2.8 (วัดในที่ที่มีการจราจร) จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของออกซิแดนท์ไม่ได้ขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์อย่างเดียว ขึ้นกับการเคลื่อนที่ของอากาศอีกด้วย (13)



รูปที่ 2.7 ระดับความเข้มข้นของออกซิแดนท์ใน Los Angeles, สิงหาคม 1964 และ 1965

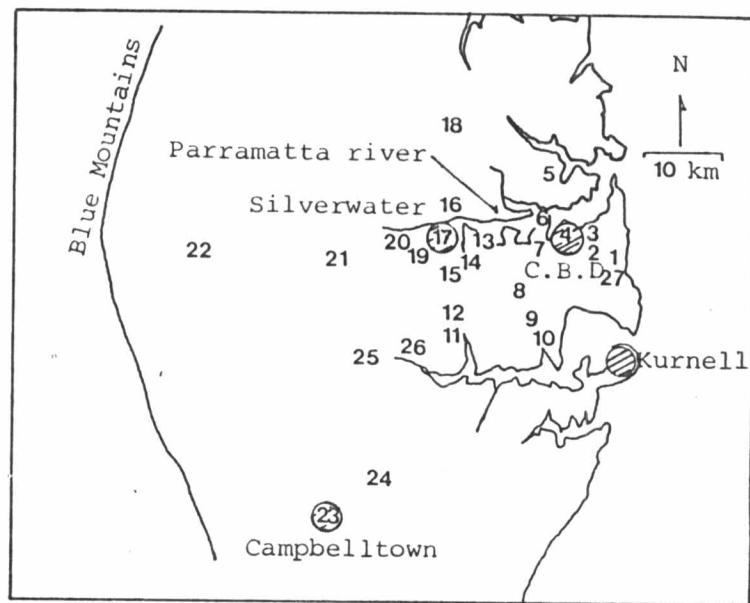


รูปที่ 2.8 ระดับความเข้มข้นของออกซิแดนท์ใน Riverside, California, ตุลาคม และ พฤศจิกายน, 1966

2.4.3 ความสัมพันธ์ของ O_3 และ precursors ใน Sydney (17)

การทดลองเป็นการหาระดับของ O_3 และ precursor ของอากาศที่เคลื่อนที่ในเมือง Sydney ผลจากการตรวจวัดในบริเวณ Silver water ซึ่งมีโรงงานอุตสาหกรรมหนาแน่นและบริเวณ Central Business District (C.B.D.) มีการจรวจวัดคั้ง ดังรูปที่ 2.9 ได้ค่าดังตารางที่ 2.3 จากตารางระดับ O_3 ที่ได้เป็นค่าสูงสุดที่เกิดจาก precursor เหนือลมของแต่ละจุดในตอนเช้า ตรวจวัดและติดตามโดยเครื่องมือที่ติดไปกับรถยนต์และบอลูน เมื่อนำค่าในตารางมาเปรียบเทียบกับ การทดลองใน smog chamber โดย Dodge (1976) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งครอบคลุมการตรวจวัดในสนาม และใช้ทำนายระดับสูงสุด O_3 ในทิศทางได้ลมที่เกิดจาก precursor ในตอนเช้าได้

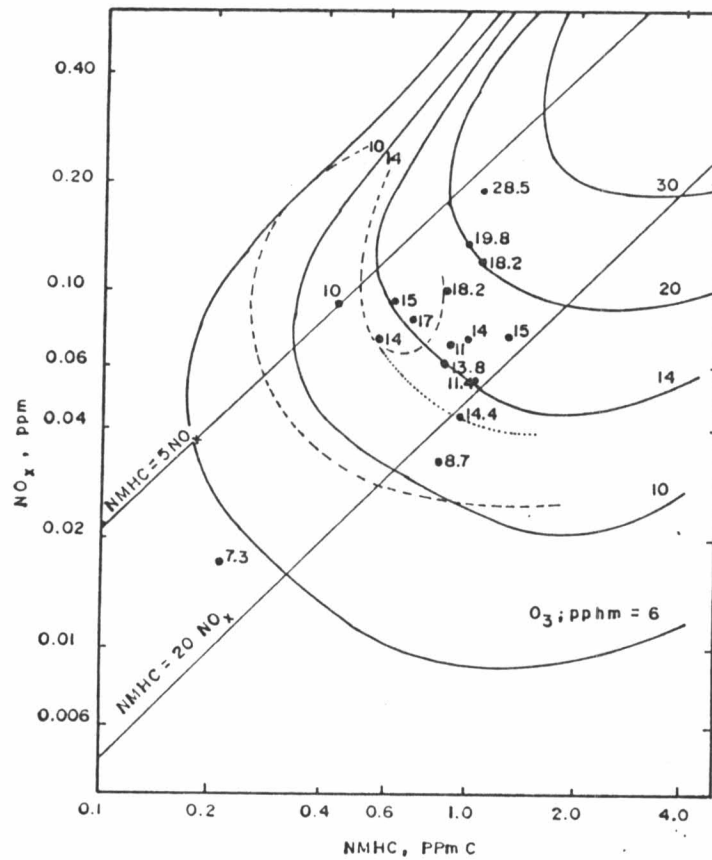
ผลการตรวจวัดจะเห็นว่า Silver water และ C.B.D เป็นแหล่งของ precursor ที่สำคัญเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่หนาแน่น และเป็นสาเหตุให้ Campbelltown ในทิศทางได้ลมมีระดับ O_3 สูงสุด จากการพัดพาของลมทะเล



รูปที่ 2.9 จุดตรวจวัดตัวอย่าง O_3 และ precursors ใน Sydney

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของ O_3 กับ precursors ข้อมูลการสำรวจใน Sydney
(1975 - 1977)

NO_x ppm	NMHC ppm	Site; see Fig.1	Time	Ozone pphm	Site; see Fig.1	Time
0.073	1.00	17	08.30-08.50	14.0	12-25	13.00-14.00
0.025	0.63	13	09.00-09.20	4.0	12	11.40-12.40
0.044	0.93	7	09.30-09.40	14.0	8	10.20-11.00
0.074	0.56	2	09.00-09.40	14.0	15	12.00-13.00
0.101	0.67	7	08.20-09.00	8.0	11	14.00-14.30
0.062	0.85	9	09.10-09.50	13.8	25	14.30-14.50
0.033	0.82	7	08.40-09.00	8.7	11	11.10-12.00
0.017	0.21	6 - 5	08.30-10.20	7.3	18	12.00-12.30
0.065	0.90	3	07.45-08.45	10.0	23	11.00-12.00
0.055	0.53	26	09.50-10.30	10.5	23	11.00-12.00
0.076	1.30	1 - 13	08.10-09.00	15.0	26	15.00-15.10
0.083	0.84	3	08.30-09.30	17.0	9	11.30-12.30
0.094	0.63	19	08.00-09.20	15.0	23	11.00-12.00
0.056	1.04	6	07.10-07.40	11.4	3-9-8-25	10.30-15.20
0.07	-	17-13	07.45-08.45	15.4	7	11.00-11.40
0.136	0.73	4	08.40-09.20	19.8	13-22	10.40-13.45
0.10	0.88	17	08.05-08.30	18.2	20-21	10.45-12.55
0.091	0.44	4-2	07.25-09.20	10.0	10-24-23	10.20-13.15
0.07	0.90	13	08.45-09.45	11.0	15	12.00-13.00
0.121	1.10	13-16	06.55-08.20	18.2	6	11.10-11.40
0.189	1.10	2	08.00-09.00	28.5	1	11.00-12.00
0.21	1.06	3	08.30-09.30	8.4	10	11.30-12.00
0.098	1.50	6	09.00-09.30	9.5	11	12.20-13.20



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบเส้นระดับความเข้มข้น O_3 ที่ได้จากการทดลองใน smog chamber โดย Dodge (18) กับข้อมูลการสำรวจใน Sydney (1975 - 1977)

2.5 ระดับ O_3 และความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นในประเทศไทย

2.5.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร และความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณ O_3 ในอากาศกรุงเทพมหานคร โดย สฟโชค ตันฑุลารักษ์ และ ชมภูศักดิ์ พูลเกษ ปี พ.ศ. 2524 (19)

การวิจัยนี้ มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจรและความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณ O_3 ในกรุงเทพมหานคร จากผลการทดลองบนถนน 16 สาย ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม 2522 ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณ O_3 กับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.11 และความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณ O_3 ดังรูปที่ 2.12

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล มีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจริง เพราะเมื่อความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มาก ปริมาณ O_3 ก็มีแนวโน้มมากขึ้น ปริมาณ O_3 จะมียากในตอนกลางวันมากกว่าตอนเช้าและบ่าย ผลการวัด O_3 ทั้งในบริเวณที่มีการจราจรและบริเวณที่พักอาศัย พบว่า ปริมาณ O_3 มีระดับความเข้มข้นไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งกำหนดไว้ให้มีปริมาณ O_3 สูงสุดไม่เกิน 0.10 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

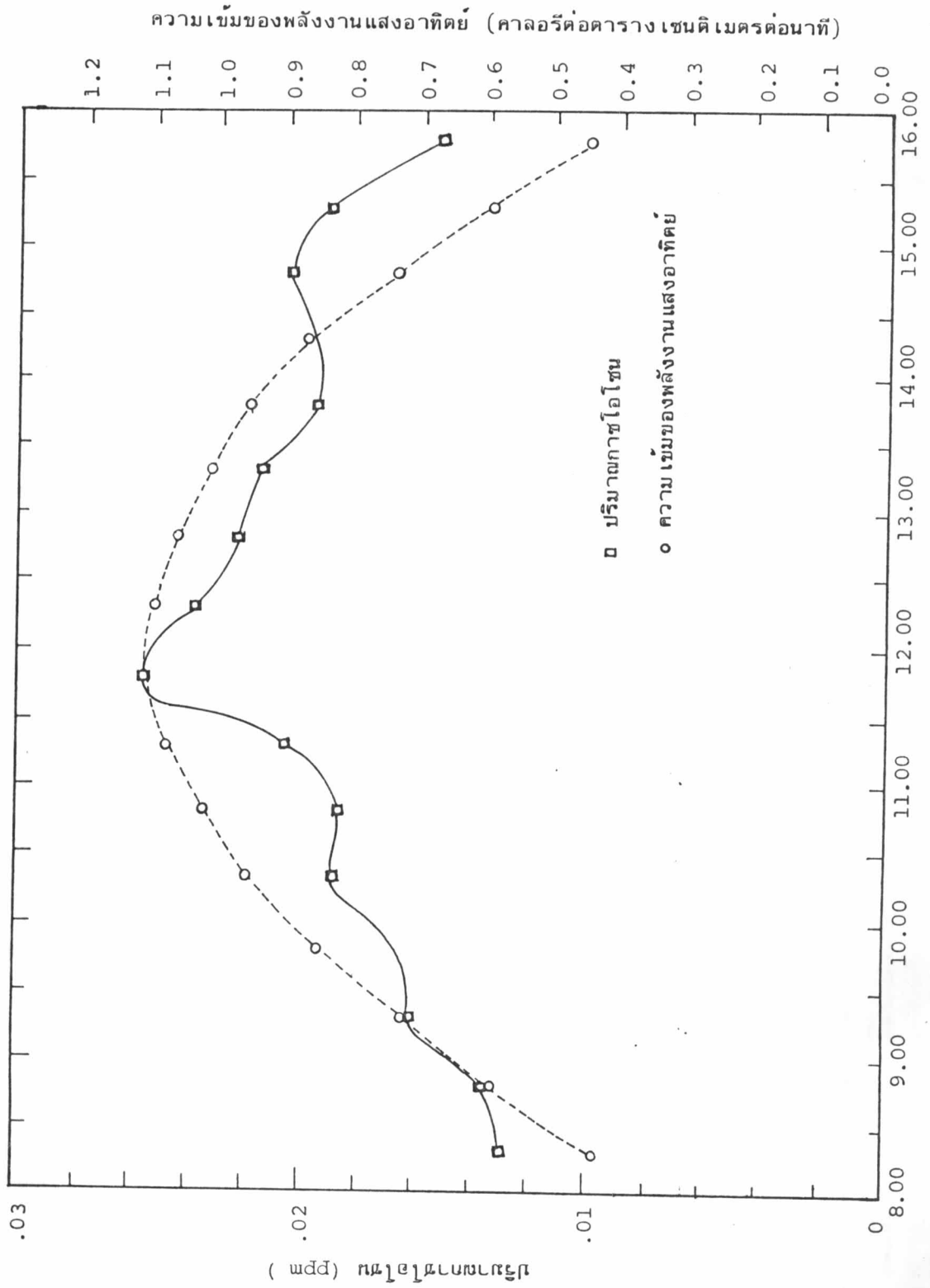
รูปที่ 2.12 แสดงว่า เมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์คงที่แล้ว O_3 จะมีความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงกับจำนวนรถยนต์

2.5.2 การศึกษาระดับ NO_x ในกรุงเทพมหานคร

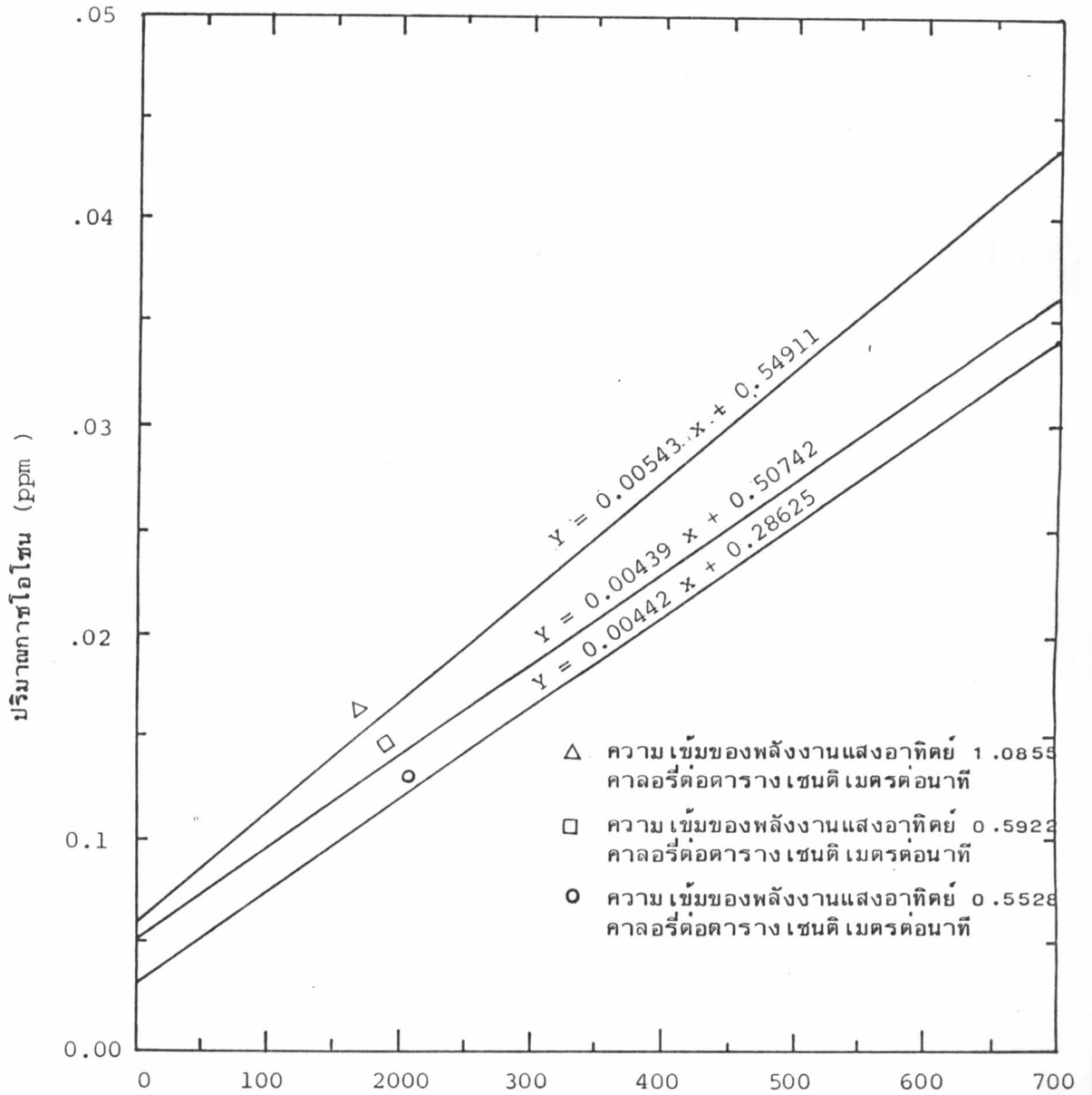
การศึกษามลสารที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะ และมลภาวะอากาศบนถนนในกรุงเทพมหานคร โดย AIT-shell (20) ได้กำหนดจุดซักตัวอย่างที่กรุงเทพมหานคร 8 จุดบนถนน 4 สาย ดังรูปที่ 2.13 ทำการวัดปริมาณต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝุ่น NO_x ความเร็วและทิศทางการลม ฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ NO และ NO_2 เท่านั้น เพราะจะทำปฏิกิริยากับ HC ในเวลาที่มีแสงแดดทำให้เกิด O_3 และออกซิแดนซ์ขึ้น

ผลการตรวจวัดทั้ง 8 จุด ได้ผลดังตารางที่ 2.4 ซึ่งทำการตรวจวัด ตั้งแต่ 6.00 น. - 18.00 น. ช่วงเดือนพฤศจิกายน 1973 ถึงเดือนตุลาคม 1974 ใช้เวลา 76 วัน และทำการทดลองตรวจวัดค่าในเวลากลางคืน เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณในเวลากลางวัน โดยตรวจวัดตั้งแต่เวลา 18.00 น. - 06.00 น. บนถนนเยาวราช จุดที่ 2 ได้ผลดังตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า จะมีค่าต่ำกว่าเวลากลางวัน และค่าเปรียบเทียบระหว่าง Indoor และ Outdoor ของถนนเยาวราช จุดที่ 2 (ใช้ค่าเฉลี่ย 6 การทดลอง) ดังตารางที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าค่า NO Outdoor จะมีค่ามากกว่า Indoor และค่า NO_2 Indoor จะมีค่ามากกว่า Outdoor

เนื่องจาก NO และ NO_2 ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศในเมืองเป็นผลจากการสันดาปของเครื่องยนต์ตลอดปี ถึงแม้ว่า NO จะเป็นผลผลิตในการสันดาป แต่จะเปลี่ยนเป็น NO_2 ในบรรยากาศ และเพราะ NO_2 เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ฉะนั้นมาตรฐานคุณภาพอากาศจึงกำหนดค่าของ NO_2



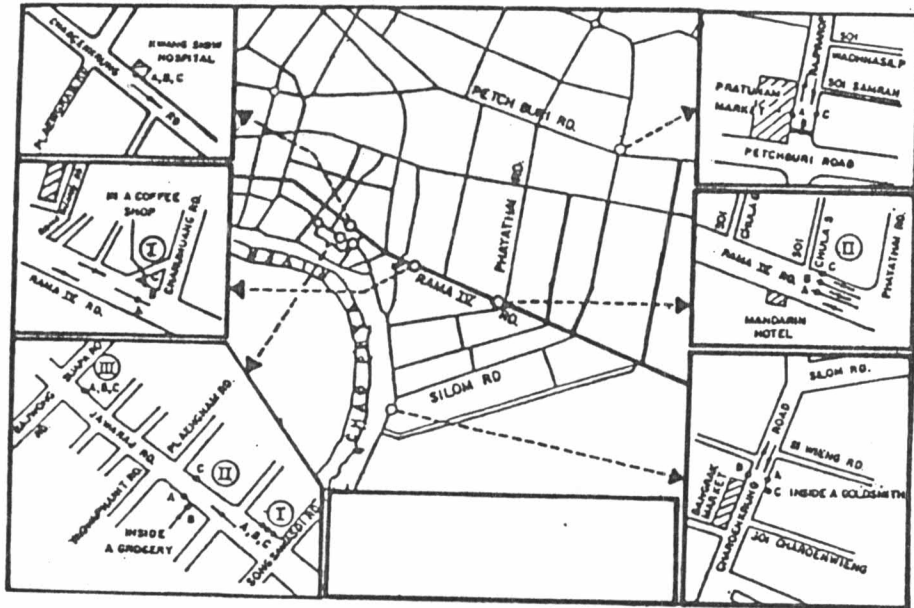
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ กับค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซโอโซน
ที่มา : สฟโซค ดัชนีวารักษ์ และ ชมยูศักดิ์ พงษ์เกษ (19)



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของปริมาณการจรรจาจร ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ปริมาณก๊าซโอโซน

ที่มา : สพโชค คณิตกุลารักษ์ และ ชมภูศักดิ์ พูลเกษ , (19)

ผลการวัดค่า NO_2 ในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร 8 จุด ผลที่ได้จะมีค่าระหว่าง 0.08 ppm - 0.12 ppm และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 0.021 ppm - 0.043 ppm



รูปที่ 2.13 จุดเก็บตัวอย่างในกรุงเทพมหานคร

ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของ NO_2 จะต้องมียค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ไม่เกินกว่า 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.17 ppm จากการตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร จะเห็นได้ว่ายังมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด ของระดับความเข้มข้น NO และ NO₂ เฉลี่ย
ใน 1 ชั่วโมง (06.00 น.- 18.00 น.)

Sampling Station	NO ppm			NO ₂ ppm		
	Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.
Charoenkrung	.023	0.00	0.07	.034	0.00	0.09
Jawaraj I	.024	0.00	0.10	.021	0.00	0.10
Jawaraj II	.032	0.00	0.09	.028	0.00	0.10
Jawaraj III	.023	0.00	0.07	.028	0.00	0.08
Rama IV-I	.023	0.00	0.09	.033	0.00	0.08
Rama IV-II	.037	0.00	0.10	.035	0.00	0.09
Bangkok	.027	0.00	0.08	.043	0.00	0.12
Pratunam	.028	0.00	0.10	.032	0.00	0.12

ที่มา : AIT - Shell, (20)

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด ของระดับความเข้มข้น NO และ NO₂ เฉลี่ยใน
1 ชั่วโมง (18.00 น. - 06.00 น.)

NO, ppm			NO ₂ , ppm		
Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.
0.022	0.00	0.09	0.017	0.00	0.07

ที่มา : AIT - Shell, (20)

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบความเข้มข้น NO และ NO₂ ระหว่าง Indoor กับ Outdoor
จุดเก็บตัวอย่างที่ II ถนนเขาวราช (เฉลี่ย 6 การทดลอง)

Time, hr	NO Hourly Mean, ppm		NO ₂ Hourly Mean, ppm	
	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor
07 - 08	.020	.005	.020	.045
08 - 09	.030	.013	.027	.037
09 - 10	.013	.005	.025	.033
10 - 11	.018	.010	.033	.025
11 - 12	.030	.015	.023	.033
12 - 13	.010	.003	.035	.030
13 - 14	.015	.013	.025	.030
14 - 15	.020	.008	.015	.040
15 - 16	.033	.028	.035	.035
16 - 17	.027	.030	.027	.037
17 - 18	.057	.047	.023	.023
Average	.025	.016	.026	.034

ที่มา : AIT - Shell , (20)

2.5.3 ระดับ NMHC , NO₂ จากการศึกษาคุณภาพอากาศบริเวณระบบทางด่วน ใน กรุงเทพมหานคร

จากการศึกษาคุณภาพอากาศบริเวณระบบทางด่วนชั้นที่ 1 (FES) และ ชั้นที่ 2 (SES) โดย วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และบริษัทธรณีเทคนิค จำกัด 1986 (21) ได้ศึกษาระดับ CO, NMHC, SPM, Pb, SO₂, NO₂ และทิศทางและความเร็วลม ผลดังตารางที่ 2.7 และ 2.8 จุด 1 - 3 ศึกษาคุณภาพอากาศของระบบทางด่วนชั้นที่ 1 ซึ่งเปิดใช้แล้ว ส่วนจุด 4 - 10 ศึกษาผลกระทบของระบบทางด่วนชั้นที่ 2 ยังไม่ได้ทำการก่อสร้าง จะเห็นได้ว่า NMHC มีค่าสูงมาก ทั้ง FES และ SES ดังรูปที่ 2.14 และ NO₂ จะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของ สวล. ดังรูป 2.15 บางจุดตรวจวัดไม่พบ

เมื่อศึกษาระดับของ NMHC ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของวันจะเห็นได้ว่า NMHC จะมีค่าสูงในเวลากลางวันและเช้า ในจุดที่ 1 , 7 ส่วนจุดอื่น NMHC จะมีค่าสูงในเวลาเช้า

ตารางที่ 2.7 คุณภาพอากาศบริเวณทางด่วนขั้นที่ 1 (FES) (mg/m³)

SITE	CARBON MONOXIDE (CO)			NON-METHANE HYDROCARBONS (NMHC)						SUSPENDED PARTICULATE MATTER (SPM)		LEAD (Pb)		NITROGEN DIOXIDE (NO ₂)				WIND SPEED (km/hr)		
	1 hr	8 hr		1 hr	3 hr		3-hr (6-9 am)		24 hr		24 hr	1 hr		1 hr (6-9 am)		1 hr (4-7 pm)		WIND DIRECTION	Range of mean speed	Max
		ave.	range		ave.	range	ave.	range	ave.	range		ave.	range	ave.	range	ave.	range			
AQ-1 Sacred Heart Convent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NE/SW	0-16	26
	1.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	1.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
AQ-2 Soi Ruam Rudi 2	5.81	3.09-4.12	3.78	1.47-4.34	3.03	1.40-3.60	2.57	0.60-1.27	0.93	0.15-0.23	0.19	0.01-0.02	0.02	ND-0.14	ND-0.10	-	-	SW/SE	2-10	28
	2.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	6.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
AQ-3 Bang Chak	4.89	2.86-5.64	4.67	0.33-1.27	0.80	0.33-0.80	0.62	0.60-0.80	0.67	0.15-0.22	0.18	0.02	0.02	ND-0.16	ND-0.05	ND-0.16	-	SW/SE	0-10	26
	2.87	3.44	3.44	0.40	0.40	0.40	0.33-0.40	0.37	0.15-0.20	0.18	0.02	0.02	ND-0.07	ND-0.07	ND-0.03	-				
	4.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
National Ambient Quality Standards	50	20	-	-	-	-	0.16*	0.33	0.01	0.30	0.32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1/ Results during weekday sampling.

2/ Results during weekend/holiday sampling.

3/ The FES had not been operated during Chulalongkorn study.

* U.S. Standard

ND Non-detected

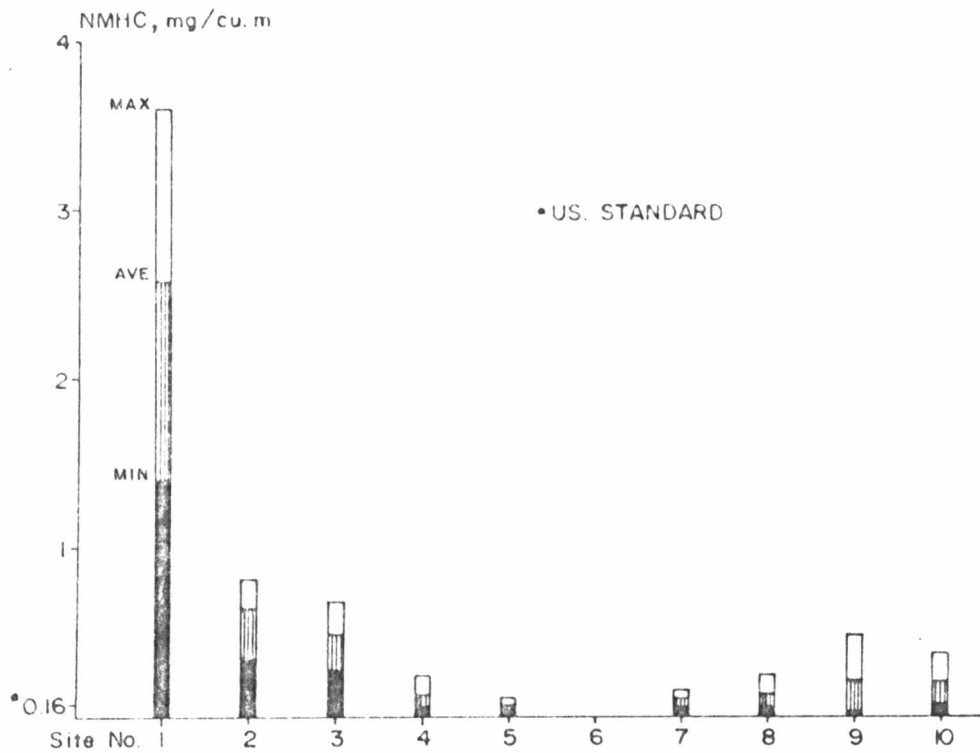
ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และบริษัทธนวิเทค จำกัด, (21)

ตารางที่ 2.8 คุณภาพอากาศบริเวณทางด่วนขั้นที่ 2 (SES) (mg/m³)

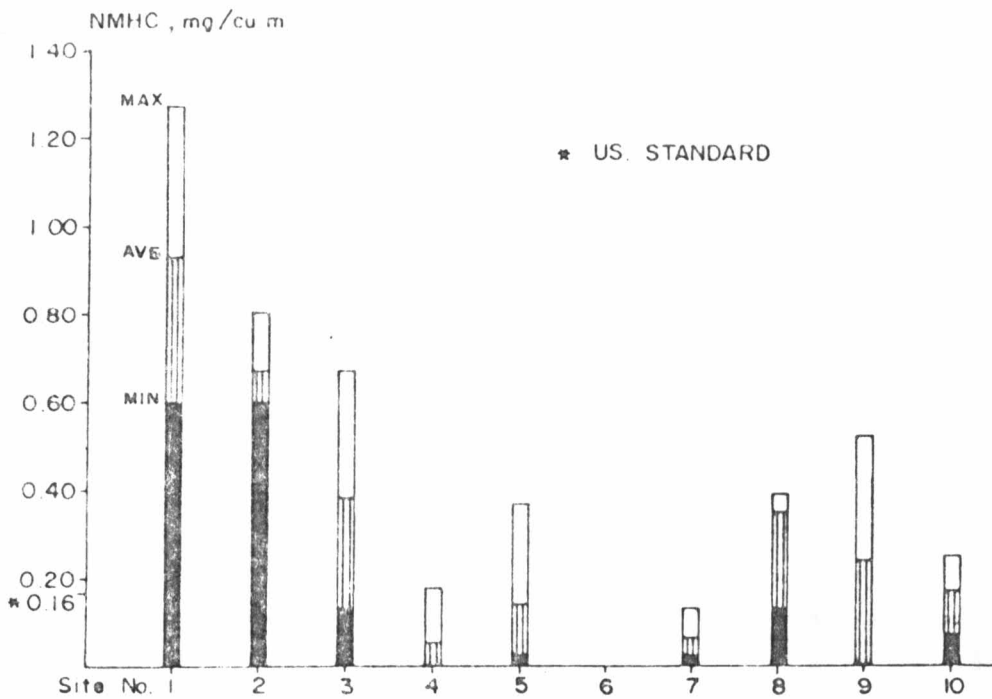
SITE	CARBON MONOXIDE (CO)		NON-METHANE HYDROCARBON (NMHC)						SUSPENDED PARTICULATE MATTER (SPM)		LEAD (Pb)		SULFUR DIOXIDE (SO ₂)		NITROGEN DIOXIDE (NO ₂)						WIND SPEED (km/hr)					
	1 hr		8 hr		1 hr		3 hr		3 hr(6-9 AM)		24 hr		24 hr		1 hr		1 hr(6-9 AM)		1 hr(4-7 PH)		WIND DIRECTION		RANGE OF MEAN SPEED			
	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.	range	ave.		
AQ-4 Chanvit School	1/0.80-2.16 2/0.63-0.97	1.28 1.59	0.91-2.84 0.58-1.02	1.59 0.96	0.06-0.22 0.01-0.03	0.12 0.02	0.03-0.17 0.00	0.05 0.00	0.07-0.26 0.03-0.04	0.16 0.03	0.0001-0.0001 0.0001	0.02 0.02	0.02 0.02	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	<1-8 36
AQ-5 Seri Housing Estate	1/0.29-3.32 2/0.00-2.94	1.95 1.62	0.23-3.64 0.00-1.88	1.87 1.09	0.04-0.08 0.00-0.01	0.06 0.00	0.02-0.37 0.00	0.06 0.00	0.05-0.11 0.07	0.09 0.07	0.0002-0.0001 0.0001	0.01 0.01	0.01 0.01	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	- -	
AQ-6 Krung Sri Ayutthaya Bank, Urupong Rama 6 Rd.	1/0.80-7.06 2/0.99-2.62	3.97 2.21	2.40-10.46 1.81-2.65	5.28 2.23	- -	- -	- -	- -	0.11-0.16 0.08-0.09	0.14 0.09	0.0001-0.0001 0.0001	0.01-0.02 0.01	0.01 0.01	ND-6.18 ND-0.02	ND-0.16 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	ND-0.18 ND	- -	
AQ-7 Nipat Vittaya School	1/ - 2/ -	- -	- -	- -	0.05-0.13 0.11-0.14	0.10 0.12	0.02-0.13 0.13-0.18	0.06 0.16	0.18-0.24 0.09-0.12	0.20 0.11	0.0001-0.0001 0.0001	0.01-0.02 0.01	0.01 0.01	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	0-16 34	
AQ-8 Samsen Kinler Garten School	1/1.80-2.60 2/0.89-2.64	2.27 1.69	1.82-2.61 0.72-2.78	2.14 1.91	0.11-0.36 0.03-0.36	0.24 0.21	0.13-0.35 0.23-0.33	0.39 0.28	0.10-0.17 0.16	0.14 0.16	0.0001-0.0001 0.0002	0.02 0.02	0.02 0.02	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	0-3 16	
AQ-9 Siam Cement-Complex	1/1.26-1.95 2/0.72-1.90	1.69 1.31	1.19-1.98 -	1.61 -	0.01-0.47 0.09-0.13	0.20 0.11	0.00-0.53 0.20	0.24 0.20	0.09-0.10 -	0.09 -	0.0001-0.0001 0.0002	0.01 -	0.01 -	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	CALM-4 10	
AQ-10 Military Welfare Housing, Samsen, Rama 6 Rd.	1/3.76-8.54 2/ -	5.69 -	3.92-7.59 -	5.53 -	0.07-0.36 -	0.21 -	0.07-0.25 -	0.16 -	0.12-0.15 0.15	0.14 0.15	0.0001-0.0001 0.0004	0.01 0.01-0.03	0.01 0.02	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	0-10 32	
National Ambient Air Quality Standards	50	20	-	-	-	-	0.16*	0.33	0.30	0.01	0.30	0.32	0.32													

1/ Results during weekday sampling.
 2/ Results during weekend/holiday sampling.
 * U.S Standard

ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และบริษัทธรณี เทคโนโลยี จำกัด. (21)



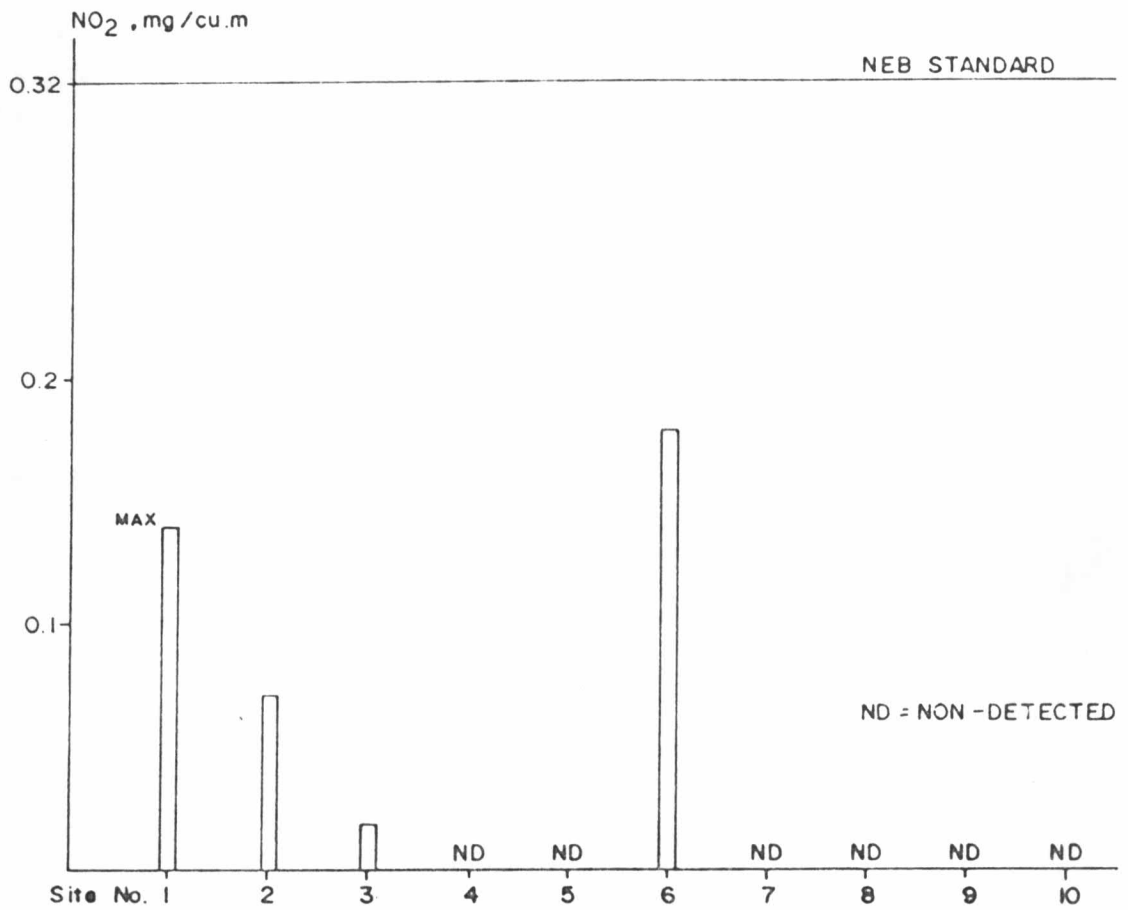
NON - METHANE HYDROCARBONS (NMHC), 3 hr.



NON-METHANE HYDROCARBONS (NMHC), 3 hr. (6-9AM)

รูปที่ 2.14 : NON - METHANE HYDROCARBONS (NMHC), 3 hr.

ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ บริษัท ธรณีเทคนิค จำกัด , (21)



รูปที่ 2.15 : NITROGEN DIOXIDE (NO₂), 1 hr.

ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ บริษัท ธรณีเทคนิค จำกัด , (21)