

บทที่ 2

การศึกษาด้านเอกสาร

2.1 ชนิด ลักษณะองค์ประกอบ และปริมาณอนุภาคตะกั่วที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์

ตะกั่วถูกเติมลงในน้ำมันเบนซินในรูปของตะกั่วอินทรีย์ tetraalkyl lead ซึ่งได้แก่ tetramethyl lead, tetraethyl lead และสารผสมของ alkyls คือ triethylmethyl lead, diethyldimethyl lead และ ethyltrimethyl lead ซึ่งในที่นี้จะรวมเรียกสารอินทรีย์ของตะกั่วทั้งหลายนี้ว่า TAL นอกจากการเติม TAL เพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันแล้ว ยังจะต้องเติมสารบางตัว ได้แก่ 1,2 -dichloroethane (ethylene dichloride, EDC) และ 1,2-dibromoethane (ethylene dibromide, EDB) ลงในน้ำมัน เพื่อเป็นตัวกำจัดตะกั่วออกจากกระบอกสูบ โดยเติมในสัดส่วน

$$\text{TAL} : \text{EDB} : \text{EDC} = 2 : 1 : 2$$

ดังนั้นเมื่อเกิดการเผาไหม้น้ำมัน TAL จะถูกเปลี่ยนไปเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO) EDB เปลี่ยนเป็น HBr และ EDC เปลี่ยนเป็น HCl ทั้ง PbO, HBr และ HCl รวมตัวกันได้เกลืออนินทรีย์ของตะกั่ว PbBrCl ซึ่งเป็นเกลือส่วนใหญ่ที่พบ ส่วนเกลืออนินทรีย์ของตะกั่วตัวอื่นๆ ที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้ (Hirschler et al. 1957, Smith 1976)

- PbBrCl
- α -2PbBrCl.NH₄Cl
- β -2PbBrCl.NH₄Cl
- PbBrCl. 2NH₄Cl
- 3Pb₃(PO₄)₂.PbBrCl
- PbSO₄
- PbO.PbBrCl.H₂O

α -2PbBrCl.NH₄Cl, β -2PbBrCl.NH₄Cl และ PbBrCl.2NH₄Cl เกิดจาก HCl ที่เหลือทำปฏิกิริยากับ NH₃ ทั้งภายในระบบไอเสียและในบรรยากาศได้เป็น NH₄Cl ซึ่ง

จะทำปฏิกิริยากับ $PbBrCl$ ได้เป็น $\alpha - 2PbBrCl \cdot NH_4Cl$, $\beta - 2PbBrCl \cdot NH_4Cl$ และ $PbBrCl \cdot 2NH_4Cl$ ส่วนสารประกอบ $3Pb_3(PO_4)_2 \cdot PbBrCl$ จะเกิดขึ้นเมื่อฟอสเฟตถูกใช้เป็น detergent additives ในน้ำมันเชื้อเพลิง และเกลือ $PbSO_4$ เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ และซัลเฟอร์ถูกออกซิไดส์เป็นซัลเฟตเมื่อรวมกับ PbO ได้ $PbSO_4$ เกลืออนินทรีย์ของตะกั่วที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะถูกปล่อยออกจากยานพาหนะในรูปของอนุภาค

ในปี 1973 Habibi ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์ที่ใช้น้ำมันซึ่งมีตะกั่วผสมอยู่ 2.7-3 กรัม/แกลลอน โดยการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction และ X-ray fluorescence พบว่าสารประกอบตะกั่วที่ออกจากท่อไอเสียรถยนต์ปกติจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

2.1.1 ส่วนประกอบอนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์นั้นมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค คือ

ก. อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 200 ไมครอน จะประกอบด้วยเกลือของตะกั่ว 50-60%, ออกไซด์ของเหล็ก 30-35% เขม่าควันรวมทั้งส่วนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 2-3% เกลือส่วนใหญ่ของตะกั่วคือ $PbBrCl$ รองลงไปคือ PbO ซึ่งประมาณ 15-17% อยู่ในรูป $2PbO \cdot PbBrCl$ ส่วนที่เป็น $PbSO_4$ และ $3Pb_3(PO_4)_2 \cdot PbBrCl$ ประมาณ 5-6%

ข. เกลือของตะกั่วที่มีขนาด 2-10 ไมครอน ส่วนใหญ่เป็น $PbBrCl$ และส่วนน้อยเป็น $2PbBrCl \cdot NH_4Cl$

ค. เกลือของตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะเป็น $2PbBrCl \cdot NH_4Cl$

ง. เขม่าและส่วนอื่นที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งถูกปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่

2.1.2 ปริมาณอนุภาคที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์จะน้อยลงเมื่อมีการเดินเครื่องยนต์ต่อเนื่องสม่ำเสมอ

2.1.3 ปริมาณ $2PbBrCl \cdot NH_4Cl$ จะถูกพบน้อยมากในไอเสียที่ร้อน แต่เมื่อไอเสียเย็นลง และมีการผสมกับอากาศภายนอกจะพบ $2PbBrCl \cdot NH_4Cl$ มากขึ้น

ผลที่ได้จากการศึกษาของ Habibi นี้สอดคล้องกับผลของ Hirschler et al.

(1957) และ Hirschler and Gilbert (1964) ซึ่งรายงานไว้ว่า ตะกั่วที่ออกจากไอเสียรถยนต์เป็นส่วนผสมขั้นแรก (primary mixture) ของ $PbBrCl$,

$\alpha - 2PbBrCl \cdot NH_4Cl$, $\beta - 2PbBrCl \cdot NH_4Cl$ และ $PbBrCl \cdot 2NH_4Cl$ และเมื่อมีฟอสฟอรัสอยู่ในน้ำมันด้วยประมาณว่า 1 ใน 5 ของตะกั่วที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์จะเป็น

$3Pb_3(PO_4)_2 \cdot PbBrCl$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

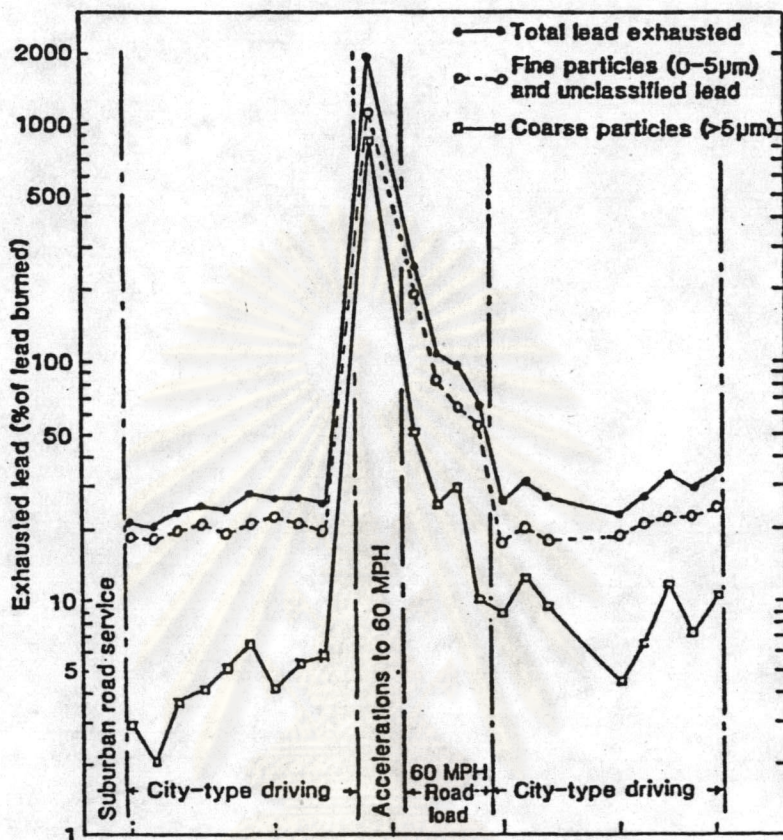
Ter Haar and Bayard (1971) ทำการศึกษาสิ่งที่ออกจากไอเสียรถยนต์ โดยใช้ถุงพลาสติกเก็บสิ่งที่ออกจากไอเสียรถยนต์ มาทำการวิเคราะห์พบว่า สารประกอบตะกั่วที่ออกจากไอเสียรถยนต์ มีทั้งที่ละลายน้ำ เช่น $PbBrCl$ และที่ไม่ละลายน้ำ เช่น $PbCl_2$ และเมื่อเก็บสิ่งที่ออกจากไอเสียรถยนต์นั้นไว้ในถุงพลาสติกเป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าสารประกอบตะกั่วที่ละลายน้ำจะลดลง และปริมาณสารประกอบตะกั่วที่ไม่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งละอองตะกั่วในรูป $PbBrCl$ ในอากาศ เมื่อถูกแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็น $PbCl_2$ ซึ่งไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้เกลือของอนุภาคตะกั่วในอากาศยังเคลื่อนย้ายออกจากอากาศโดยลงมากับน้ำฝนสู่พื้นดินและแหล่งน้ำ เช่น Atkin (1969) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำฝนในย่านธุรกิจ มีค่าสูงกว่าบริเวณนอกเมือง

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากยานพาหนะที่มีการใช้น้ำมันที่มีตะกั่วผสมอยู่นั้นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ในสภาพการขับขี่แบบในเมือง (city - type driving) เครื่องยนต์จะปล่อยตะกั่วออกสู่อากาศประมาณ 20-30% แต่เมื่อขณะเร่งเครื่องถึง 60 ไมล์ต่อชั่วโมง ปริมาณตะกั่วที่ปล่อยออกจะสูงขึ้นเป็น 2000% (Hirschler 1957) แต่โดยส่วนรวม Hirschler เสนอไว้ว่า 25% ของตะกั่วเท่านั้นที่ยังคงอยู่ในเครื่องยนต์ สอดคล้องกับ Ter Haar and Bayard (1971) ที่เสนอว่า ประมาณ 1/4 ของตะกั่วที่เติมลงในน้ำมันจะยังคงอยู่ในเครื่องยนต์และระบบไอเสีย และ Harrison (1981) สรุปไว้ว่าอนุภาคของเกลืออนินทรีย์ของตะกั่วซึ่งถูกปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์ที่ใช้น้ำมันซึ่งมีตะกั่วผสมอยู่นั้นประมาณ 70-75% ของปริมาณตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำมันจะถูกปล่อยออกทางท่อไอเสียสู่อากาศ ส่วนที่เหลือ 20-25% ของสารประกอบตะกั่วจะยังคงอยู่ในเครื่องยนต์และระบบไอเสีย

2.2 การฟุ้งกระจายและปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศนั้น เกี่ยวข้องกับปริมาณการจราจรและระยะห่างจากถนน (Daines et al. 1970) ผลการศึกษาของ Daines ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-2 จากรูปดังกล่าว ที่ปริมาณการจราจรต่ำ 19,800 คันต่อวัน ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศมีค่าประมาณ 2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นเป็น 58,000 คันต่อวัน ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในขณะเดียวกัน ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจะลดลงเมื่อระยะห่างจากถนนเพิ่มขึ้น โดยลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะ 100 ฟุตจากถนน

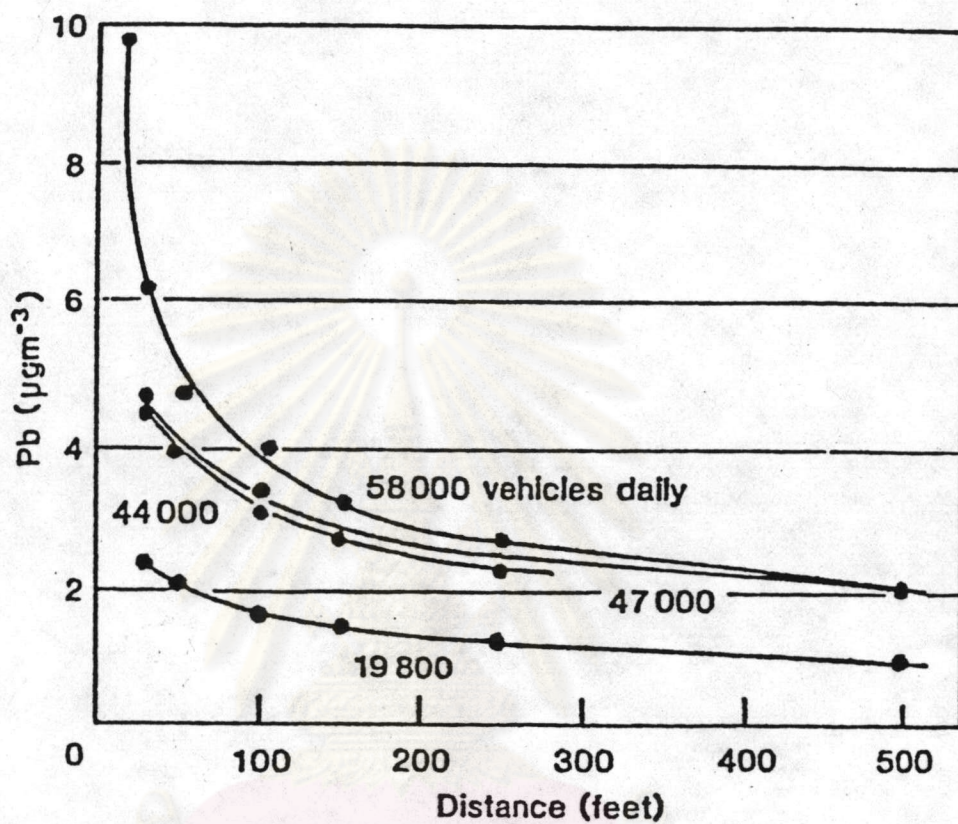
Lynn (1976) ได้รายงานความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศในเมืองธุรกิจ เช่น ลอสแอนเจลิส เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่า 8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในช่วงที่มีการจราจร



ที่มา : Hirscher 1957

รูปที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์กับลักษณะการขับขี่แบบต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : Daines et al. 1976

รูปที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศกับ ปริมาณการจราจรที่ระยะทางต่างๆห่างจากถนน

กับทั้ง พบความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ 10-25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเมืองที่ไม่ใช่เมืองธุรกิจพบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศน้อยมาก คือ 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในประเทศไทยผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งมีสถานีวัดดาว 7 แห่ง และกรมอนามัยซึ่งมีสถานีวัดดาว 2 แห่ง ตั้งแต่ปี 2522 สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่สถานีวัด 7 แห่งในเขตกรุงเทพมหานครของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีค่าระหว่าง 0.19-0.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงปี พ.ศ. 2526-2529 และที่สถานีวัด 2 แห่งในเขตกรุงเทพมหานครของกรมอนามัย มีค่าระหว่าง 0.36-0.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงปี พ.ศ. 2522-2525 ในปี 2527 มีค่าระหว่าง 0.12-0.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในปี 2529 มีค่าระหว่าง 0.18-0.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมาตรฐานปริมาณตะกั่วในอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(ตารางที่ 2-1) ส่วนปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศในที่ซึ่งไม่มีการจราจร เช่น ในต่างจังหวัดบริเวณภาคตะวันออก ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ทำการตรวจวัด พบว่ามีค่า 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2530)

ความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วในอากาศที่จุดใดๆ ก็ตาม นอกจากจะเกี่ยวข้องกับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วจากแหล่งกำเนิด ซึ่งได้แก่ ปริมาณการจราจรและความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วอินทรีย์ที่เติมลงในน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกอย่างหนึ่งก็คือ สภาพทางอุตุนิยมวิทยา ลมมีส่วนพัดพาให้ความเข้มข้นของตะกั่วแพร่กระจายและเจือจางลงในทิศทางตามแนวลม สภาพความคงตัวของอากาศ (Atmospheric stability) ซึ่งแบ่งชนิดการคงตัวของอากาศเป็น 6 ชนิด คือ A, B, C, D, E และ F มีส่วนทำให้ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมีการฟุ้งกระจายได้มากน้อยต่างกัน (Chamberlain et al. 1979)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของมลสารในอากาศที่จุดใดๆ ซึ่งนิยมใช้แบบหนึ่ง คือ แบบจำลองของเกาส์เซียน

$$\chi(x, y, z, H) = \frac{Q}{\sigma_y \sigma_z \bar{u}} \left[\frac{e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}} \right] \left[\frac{e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}} \right]$$

สำหรับการจราจรเราถือว่าแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ไถ้นี้เป็น line source ดังนั้นคิดว่าไม่มีการกระจายในแนวแกน y เราจะได้ว่า

ตารางที่ 2-1 ผลการตรวจวัดสารตะกั่วในบรรยากาศ (ค่าเฉลี่ยรายปี)

สถานี	2522	2523-25	2526	2527	2528	2529	หมายเหตุ
<u>ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ</u>							หน่วยเป็น มกก./ม ³ มาตรฐานคุณภาพ อากาศของ ประเทศไทย
1.วค.จันทระเกษม	-	-	.35	.33	.29	.33	กำหนดไว้ไม่เกิน
2.กรมอุตุนิยมวิทยา สุขุมวิท	-	-	.42	.39	.44	.43	10 มกก./ม ³ .
3.สถานีตรวจอากาศ บางนา	-	-	.32	.53	.41	.35	สถานีเหล่านี้
4.สำนักงานสิ่งแวดล้อมฯ	-	-	.39	.26	.32	.31	อยู่ห่างจากถนนใหญ่
5.วค.บ้านสมเด็จเจ้า	-	-	.30	.28	.27	.23	50 เมตรขึ้นไป
6.ไปรษณีย์ราชบุรณะ	-	-	.35	.27	.19	.29	ยกเว้นสถานีของกรม
7.สถานเสาวภา ของกรมอนามัย	-	-	.66	.37	.35	.40	อนามัยอยู่ห่าง ประมาณ 20 เมตร
1.ไปรษณีย์ลาดพร้าว	.61	.36	-	.12	-	.18	โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง
2.สำโรง(ศูนย์อนามัย)	.93	.42	-	.34	-	.22	กั้น

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2530

$$\chi(x,y,z,H) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \sigma_z u} \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2} + e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2} \right]$$

χ = ความเข้มข้นของมลสารที่จุด x,y,z (มก./ม³.)

Q = อัตราการปล่อยมลสารจากแหล่งกำเนิด (มก./ม.-วิ.)

u = ความเร็วลมเฉลี่ย (ม./วินาที) โดยกำหนดว่าลมที่พัดมานั้นอยู่ในแนวตั้งฉากกับ line source

σ_z = สัมประสิทธิ์การกระจายในแกน z (ม.)

H = ความสูงประสิทธิ์ (effective height) (ม.)

x = ระยะทางห่างจากแหล่งกำเนิด

จากสมการดังกล่าว สามารถคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ระยะทางต่างๆ ห่างจากแหล่งกำเนิดได้

2.3 การกระจายขนาดของอนุภาคตะกั่วในอากาศ

อนุภาคที่ฟุ้งกระจายในอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคแตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.1 ไมครอน จนถึงหลายมิลลิเมตร สำหรับอนุภาคตะกั่วในภาวะการขับชี้ในเขตเมืองขนาดของอนุภาคตะกั่วประมาณ $1/2 - 3/4$ ของอนุภาคตะกั่วที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียรถยนต์ มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 5 ไมครอน ส่วนที่เหลือจะเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำมันเบนซินมีผลน้อยมากต่อขนาดของอนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออก แต่ถ้าในน้ำมันมีการเติมฟอสเฟต และมีซัลเฟอร์ จะมีผลทำให้อนุภาคตะกั่วขนาด 3-5 ไมครอน ถูกปล่อยออกมามากขึ้น (Hirschlet et al. 1957) ในตารางที่ 2-2 แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศในรูปแบบการขับชี้ชนิดต่างๆ สรุปว่า เมื่อรถใช้ความเร็วสูงขึ้น อนุภาคตะกั่วจะถูกปล่อยออกสู่อากาศมากขึ้น และอนุภาคขนาดเล็กจะถูกปล่อยออกมากกว่าเมื่อรถใช้ความเร็วต่ำ (Ter Haar et al. 1972) นอกจากลักษณะการขับชี้จะมีผลทำให้อนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมีขนาดต่างกันแล้ว อายุของเครื่องยนต์ ก็มีผลทำให้อนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมีขนาดต่างกันด้วย ในรถที่มีอายุการใช้งานแล้วโดยเฉลี่ย 5,000 ไมล์ จะปลดปล่อยอนุภาคขนาด <1

ตารางที่ 2-2 ปริมาณตะกั่วที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์เปรียบเทียบกับ
ลักษณะการขับขี่แบบต่างๆ

	Exhaust lead					
	% lead burned			g/mi.		
	Coarse	Fine	Total	Coarse	Fine	Total
Driving Condition						
25 mph cruise	0.9	10.8	11.7	0.002	0.027	0.029
45 mph cruise	3.9	14.4	18.3	0.010	0.036	0.046
60 mph cruise	10.3	22.4	32.7	0.026	0.057	0.083
Federal cycle						
Hot cycles	6.2	15.2	21.4	0.014	0.042	0.056
Cold cycles	19.5	24.4	43.9	0.054	0.067	0.121
Full	10.8	18.4	29.2	0.028	0.051	0.079
WOT Acceleration	733	386	1119			

Full = 35% cold and 65% hot

WOT Acceleration = 0-70 and 30-70 mph

ที่มา : Ter Haar et. al 1972

ไมครอน เป็นจำนวนมาก แต่เมื่อเริ่มอายุการใช้งานมากขึ้นจะปล่อยอนุภาคขนาดเล็กน้อยลงส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ก็จะถูกปล่อยออกเพิ่มขึ้น (Habibi 1973) ดังแสดงในตารางที่ 2-3

2.4 การตกสะสมของอนุภาคตะกั่วจากการจราจร

การเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกั่วในอากาศ และการแยกตัวออกจากอากาศตกสะสมลงสู่พื้นดิน เกี่ยวข้องกับขนาดของอนุภาคนั้นๆ ในสภาพการตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition) มีกลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กลไก คือ gravitational settling และ impaction

2.4.1 อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะมีการตกสะสมเนื่องมาจาก gravitational force ความเร็วของการตกสะสมของอนุภาคประมาณคร่าวๆ ได้ด้วยกฎของสโตกส์ (Harrison and Parker 1977) ดังนั้นอนุภาคขนาดดังกล่าวจึงมีการตกสะสมเนื่องจากการบวนการ gravitational settling

2.4.2 อนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะมีการตกสะสมเนื่องมาจากกระบวนการ impaction ซึ่งในกลุ่มนี้จะแบ่งอนุภาคออกเป็น

- อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน ตกสะสมเนื่องจากการบวนการ impaction
- อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ เล็กกว่า 0.3 ไมครอน จะมีกระบวนการ Brownian diffusion เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

Little and Wiffen (1977) พบว่าในสภาพการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วแบบแห้ง (Dry Deposition) ภายในระยะห่างจากถนน 30 เมตร อนุภาคตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากยานพาหนะมีการตกสะสม 10% ดังนั้นส่วนที่เหลือจึงยังคงฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ คาดว่าอนุภาคตะกั่วในอากาศนั้นจะสามารถลอยอยู่ในอากาศได้นาน 7-30 วัน ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคตะกั่วส่วนนี้เดินทางไปได้ไกลหลายพันกิโลเมตรก่อนที่จะแยกตัวออกจากอากาศและสะสมลงสู่พื้นดินหรือพื้นน้ำต่อไป ดังจะเห็นว่ามีการสะสมของตะกั่วในแหล่งที่ไกลจากแหล่งกำเนิดออกไปมาก เช่น

Chow and Patterson (1966) รายงานว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงมากในบริเวณผิวหน้าของทุกมหาสมุทร ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารตะกั่วเป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซินทำให้เกิดการแพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศและตกลงสู่แหล่งน้ำ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าในบริเวณชายฝั่งทะเลซีกโลกเหนือมีค่าประมาณ 0.07 ppb เปรียบเทียบกับในสมัยก่อนที่จะมีการใช้ตะกั่วอินทรีย์ tetraalkyl lead ผสมในน้ำมันเบนซิน ความเข้มข้นของตะกั่วเดิมมีค่าระหว่าง 0.01 - 0.02 ppb

ตารางที่ 2-3 แสดงขนาดของอนุภาคตะกั่วที่ปล่อยออกจากไอเสียรถยนต์สัมพันธ์
กับอายุของรถยนต์ (ใช้ Federal mileage Accumulation Schedule)

Av. mileage	MMED (μ)		Percent of emitted lead		
	Andersen	Monsanto	>9	<1	<0.3
5,000	1.1	2.1	27	45	30
16,000	3.6	3.8	39	36	25
21,000	4.7	5.7	44	36	26
28,000	15	15	57	19	11

MMED = Mass Medium Equivalent Diameter

Andersen = เครื่องมือที่ใช้ทำการกระจายขนาดของอนุภาค size range 0.5-9 μ ,
flow 1 cfm.

Monsanto = เครื่องมือที่ใช้ทำการกระจายขนาดของอนุภาค วัดขนาดอนุภาคได้เล็กถึง
0.3 μ , flow 0.14 cfm.

ที่มา : Habibi 1973

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Murozumi et al. (1969) ได้ทำการศึกษาระดับตะกั่วในชั้นต่างๆ ของน้ำแข็งซึ่งอยู่บนกรีนแลนด์ พบว่าตะกั่วได้เจือปนเพิ่มขึ้น ตะกั่วในชั้นน้ำแข็งซึ่งมีอายุ 800 ปี ก่อนคริสตกาล มีตะกั่วอยู่ในปริมาณต่ำ การเพิ่มของตะกั่วเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในราวศตวรรษที่ 18 ทั้งนี้เพราะมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและใน ค.ศ. 1924 ซึ่งเป็นปีที่เริ่มมีการใช้ตะกั่วผสมในน้ำมันเบนซิน ความเข้มข้นของตะกั่วในชั้นน้ำแข็งได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นต้นมา

Chow et al. (1973) รายงานถึงปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำบริเวณแคลิฟอร์เนีย ตอนใต้ว่ามีปริมาณมากกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วที่เกิดโดยธรรมชาติ 4 เท่า และจากการศึกษาอัตราการสะสมตัวของตะกั่วในดินตะกอนโดยวิธีทางกัมมันตรังสี พบว่าอัตราการสะสมตัวของตะกั่วในดินตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 25 ปี หลังจากมีการใช้ tetraalkyl lead เป็นส่วนผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง

Scheel and Barnes (1974) ศึกษาปริมาณตะกั่วในแหล่งตะกอนที่เก็บขึ้นมาจากกันทะเลสาบวอชิงตัน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในแหล่งดินตะกอนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ชั้นดินตะกอนของปี ค.ศ. 1916 อัตราการเพิ่มสัมพันธ์กับปริมาณการใช้้ำมันเบนซิน

Mombeshora et al. (1983) ได้ศึกษาปริมาณตะกั่วในน้ำและดินตะกอนในแม่น้ำไนจีเรีย ซึ่งไหลผ่านบริเวณการจราจรหนาแน่นเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไหลผ่านการจราจรเบาบาง พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำและดินตะกอนในบริเวณการจราจรหนาแน่นมีปริมาณสูงกว่าบริเวณการจราจรเบาบางอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับในประเทศไทย นวลฉวีและคณะ (2522) ศึกษาปริมาณตะกั่วในดินบริเวณ 2 ซ้างถนนบางสายในกรุงเทพมหานคร พบปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ระยะ 0-5 เมตรจากขอบถนนและที่ความลึกจากผิวถนน 0-5 ซม. ดังนี้ ถนนพหลโยธิน 700.2 ppm, ถนนบางนา-ตราด 213.1 ppm และ ถนนลาดพร้าว 115.9 ppm ซึ่ง Chow and Earl (1970) ได้ศึกษาไว้ว่า เปรอร์เซนต์ของตะกั่วในดินเปลือกโลกทั่วไป มีค่าประมาณ 10-15 ppm

ในตอนต้นเราได้กล่าวถึงการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วในสภาพแห้งมาแล้ว แต่นอกจากอนุภาคตะกั่วจะสามารถแยกตัวออกจากอากาศ และตกสะสมลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำได้ด้วยตัวของมันเองแล้ว ฝนก็มีส่วนในการทำให้อนุภาคตะกั่วแยกตัวออกจากอากาศได้อีกวิธีหนึ่ง เราเรียกกระบวนการที่ฝนเป็นตัวการในการแยกอนุภาคตะกั่วออกจากอากาศนี้ว่าการตกสะสมแบบเปียก (Wet deposition) ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

- rain out เป็นการกำจัดอนุภาคตะกั่วออกจากอากาศโดยอนุภาคตะกั่วจะถูกจับไว้ด้วยหยดน้ำภายในชั้นเมฆ
- wash out เป็นการชะล้างอากาศ (scrubbing) ด้วยหยดน้ำฝนที่ตกลงมา