

การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับตะกั่วในดิน

ลักษณะของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่อยู่ภายในจำพวกโลหะหนัก มีปริมาณมากที่สุดในบรรดาโลหะหนักที่มีเลขอะตอมมากกว่า 60 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 และเลขอะตอมเท่ากับ 82 อยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IVA ของตารางธาตุ มีวาเลนซ์ได้หลายระบบ เช่น 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากอยู่ในสภาวะวาเลนซ์ 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด (นทรี สุทธิจิตรต์, 2531) ปรากฏในธรรมชาติใน 4 ไอโซโทปที่คงตัว ได้แก่ ^{204}Pb (1.2-1.6% ในเกือบทุกตัวอย่าง) ^{206}Pb (20-28%) ^{207}Pb (20-23%) ^{208}Pb (50-54%) นอกจากนี้ยังปรากฏในรูป short-lived radioactive isotope อันได้แก่ ^{210}Pb ^{211}Pb ^{212}Pb และ ^{214}Pb ตะกั่วบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเทาเข้ม หากนำมาตัดจะมีสีขาวอมน้ำเงินหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า สีตะกั่วตัด เป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ อ่อน ซึ่งสามารถแปรรูปได้โดยการทุบ รีด ดึง นำไปหล่อหลอม หรือตัดแปลงเป็นรูปร่าง ง่าย ๆ ได้ง่าย และมีคุณสมบัติสามารถผสมกับโลหะต่าง ๆ เป็นโลหะผสมได้หลายชนิด รวมทั้งการหาปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเป็นเกลือของตะกั่วต่าง ๆ (สมพูล กฤตลักษณ์, 2532)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่สำคัญของตะกั่ว

Name	Synonym and formula	Molecular weight	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Solubility in cold water (g/litre)	Soluble in
lead	Pb	207.19	327.502	1740	insoluble	HNO ₃ ; hot concentrated H ₂ SO ₄
acetate	Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325.28	280	—	443	hot water; glycerine; alcohol (slightly)
azide	Pb(N ₃) ₂	291.23		explodes 350	0.23	acetic acid; hot water (0.9 g/litre)
carbonate	cerrusite PbCO ₃	267.20	315 (decomposes)		0.0011	acid; alkali; decomposes in hot water
chlorate	Pb(ClO ₃) ₂	374.09	230 (decomposes)		very soluble	alcohol
chloride	cerussite PbCl ₂	278.10	501	950	9.9	NH ₄ salts; slightly in dilute HCl and NH ₃ ; hot water (33.4 g/litre)
chromate	crocoite, chrome yellow PbCrO ₄	328.18	844	decomposes	0.000058	alcohol; alkali
nitrate	Pb(NO ₃) ₂	331.20	470 (decomposes)		376.5	alcohol; alkali; NH ₃ ; hot water (1270 g/litre)
orthophosphate	Pb ₃ (PO ₄) ₂	811.51	1014		0.00014	alkali; HNO ₃
oxalate	PbC ₂ O ₄	295.21	300 (decomposes)		0.0016	HNO ₃
oxide: di-	plattnerite PbO ₂	239.19	290 (decomposes)		insoluble	dilute HCl; acetic acid (slightly)
mono-	litharge PbO	223.19	888		0.017	HNO ₃ ; alkali; NH ₄ Cl
red	minium Pb ₃ O ₄	685.57	500 (decomposes)		insoluble	HCl; acetic acid
sesqui-	Pb ₂ O ₃	462.38	370 (decomposes)		insoluble	decomposes in acid and hot water
stearate	Pb(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	774.15	115.7		0.5	hot water (0.6 g/litre); ether (0.05 g/litre)
sulfate	anglesite PbSO ₄	303.25	1170		0.0425	NH ₄ salts; concentrated H ₂ SO ₄ (slightly)
sulfide	galena PbS	239.25	1114		0.00086	acid
tetraethyllead	Pb(C ₂ H ₅) ₄	323.44	-136.80	200 decomposes; 91	insoluble	benzene; petroleum; alcohol; ether
tetramethyllead	Pb(CH ₃) ₄	267.3	-27.5	110	insoluble	benzene; petroleum; alcohol; ether

* Adapted from Weast, R. C., ed. Handbook of Chemistry and Physics, 55th edition, Cleveland, Ohio, Chemical Rubber Company, 1974.

ที่มา: WHO, 1977

ตารางที่ 2.3 สารประกอบของตะกั่วที่ขุดพบในดิน

Sample identity	Soil fraction	Compounds found	Concentration estimates ^a
Fort Collins—1 and Fort Collins—2	Magnetic	PbSO ₄	Major
	Nonmagnetic	PbSO ₄ , PbO·PbSO ₄ , PbO ₂ , PbO ^b	Major Minor Trace Trace
Denver—1	Magnetic	PbSO ₄	Major
	Nonmagnetic	PbSO ₄	Major
Chicago—10	Magnetic	PbSO ₄	Major
	Nonmagnetic	Pb ^c , PbSO ₄	Major Minor
Chicago—20, 30, and 40	Magnetic	PbSO ₄	Major
	Nonmagnetic	PbSO ₄	Major
Missouri—1	Magnetic	None ^c	...
	Nonmagnetic	PbS, PbSO ₄	Major Minor

^a Major indicates the principal portion of lead present in the soil fraction indicated and therefore the principal portion of the soil sample; minor refers to approximately 1-10% of the Pb in the respective fractions; trace quantities are less than approximately 1% of the total in each fraction.

^b Assignment based on the presence of only the most intense *d*-spacing and therefore questionable.

^c Complex *d*-spacing pattern obtained with all intensities low; positive assignment of any one compound or group of compounds questionable.

ที่มา : Smith, 1976

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. ลักษณะทาง เคมีและฟิสิกส์ที่สำคัญของตะกั่ว

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตะกั่วทาง เคมี	Pb
น้ำหนักอะตอม	207.19
ความถ่วงจำเพาะ	11.37
จุดหลอมเหลว	327.15 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	1,740 องศาเซลเซียส
การละลาย	ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกเข้มข้นและร้อน เปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส จะเกิดไอน้ำน้อยมาก เพราะเป็นโลหะที่มี vapour pressure value สูง

ข. การใช้ประโยชน์จากตะกั่ว

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ โดยทั่วไปแล้วจะนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ใน 3 ลักษณะตามรูปแบบ คือ

1. ตะกั่วโลหะ โดยคุณสมบัติที่คงทนต่อการผุกร่อนและอ่อนตัวหลอมเหลวได้ง่าย รวมทั้งคุณสมบัติในการป้องกันการแผ่รังสี ตะกั่วจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์ม หุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ ท่อหัวกระสุนปืน ใช้ชุบเคลือบโลหะ เพื่อป้องกันสนิม เชื่อมบัดกรี เป็นอุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอกซเรย์หรือเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และใช้ทำโลหะผสมต่าง ๆ เช่น bronze brass (สมมูล กฤตลักษณ์, 2532)

2. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

ก. ตะกั่วออกไซด์ (lead oxide) แบ่งเป็น

1. ตะกั่วมอนอกไซด์ (Lead monoxide) หรือ Litharge ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน

2. ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead dioxide) ใช้ทำเป็นหัวอิเล็กโทรดของ แบตเตอรี่รถยนต์และเครื่องจักร

3. ตะกั่วแดง (Pb_3O_4) ใช้เป็นสีทาโลหะ เพื่อกันสนิมหรือเคลือบรถยนต์

ข. ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate) ผสมกับ Lead hydroxide รวมกันเรียกว่า ตะกั่วขาว ผสมกับฝุ่นสีขาว สีน้ำมัน หมึกพิมพ์ สีพลาสติก ตะกั่วโครเมต ตะกั่วซิลิเกต ใช้ทำสีเหลืองสำหรับผสมกับสีน้ำมัน สีพิมพ์ ฝุ่นสีเหลือง และหมึกพิมพ์

ค. ตะกั่วอะซิเตต (Lead acetate) เป็นเกลือของตะกั่วที่ละลายน้ำได้ดี และใช้ในเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม

ง. ตะกั่วไนเตรต (Lead nitrate) ใช้ในอุตสาหกรรมยางและพลาสติก

3. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

ก. ตะกั่วสเตียเรต (Lead stearate) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแลคเกอร์ น้ำมันหล่อลื่น งานสี และผลิตภัณฑ์

ข. ตะกั่วเตตระเอทิล (Tetraethyl lead) เติมลงไปในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น เป็นสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน

ค. ตะกั่วเตตระเมทิล (Tetramethyl lead) ใช้เติมร่วมกับตะกั่วเตตระเอทิลลงไปในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น เป็นสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน

นอกจากนี้ยังอาจใช้ตะกั่วในรูปแบบอื่นอีก เช่น ตะกั่วอาร์เซเนต (Lead arsenate) ใช้ในยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช ตะกั่วซิลิเกต (Lead silicate) ใช้ผสมในกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิค เพื่อให้เกิดความเป็นเงางามและผิวเรียบ (ในศรี สุทธิจิตต์, 2531)

ค. ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ตามลักษณะหรือรูปแบบสารตะกั่ว โดยปกติจะเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ

1. ทางเดินหายใจ โดยมนุษย์หายใจเอาฝุ่นละออง ไอระเหย หรือ คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ปอด ประมาณ 35% ของตะกั่วทั้งหมดที่เข้ามาพร้อมกับลมหายใจจะถูกเก็บเข้าไปในปอด การหายใจเอาอากาศที่มีไอหรืออนุภาคของตะกั่ว 1 ในล้านกรัมต่ออากาศลูกบาศก์เมตร

จะเพิ่มปริมาณตะกั่วในเลือดได้ 1-2 ไมครกรัมเปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนท้องถนนมีส่วนเร่งการดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ปอดได้มากขึ้น (เมตรี สุทธิจิตต์, 2531)

2. ทางเดินอาหาร ตะกั่วที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมจะปนเปื้อนในอาหารหรือน้ำ เมื่อเรารับประทานอาหารเข้าไป ตะกั่วจะผ่านเข้าสู่กระเพาะอาหาร และ ถูกดูดซึมที่ส่วนควอดคินัมหรือส่วนต้นของลำไส้เล็ก (เมตรี สุทธิจิตต์, 2531) การใช้มือหยิบอาหารหรือสูบบุหรี่ขณะที่ทำงานเกี่ยวกับตะกั่ว การกินเส้นไหมก็มีส่วนทำให้ตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดประมาณ 10% ส่วนที่เหลือถูกขับออกทางอุจจาระ (สมพูล กฤตลักษณ์, 2532)

สรุปแล้วตะกั่วเข้าสู่ทางเดินอาหารของมนุษย์โดยผ่านสื่อต่อไปนี้ คือ (WHO, 1977)

ก. ผ่านพืช โดยพืชดึงดูดตะกั่วในดินขึ้นมาใช้ ซึ่งบริเวณนั้นอาจมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่สูง การตกสะสมของอนุภาคตะกั่วในบรรยากาศลงสู่ใบ หรือส่วนนอกของพืชแล้วถูกมนุษย์เก็บใบกิน หรือการดึงดูดตะกั่วจากในน้ำที่มีการปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่หรือน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

ข. ผ่านสัตว์ โดยสัตว์กินอาหาร อันได้แก่ พืชหรืออาหารสัตว์ที่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ จากข้อ ก. หรือการหายใจเข้าจะนำอนุภาคตะกั่วในบรรยากาศไปด้วยรวมทั้งการดื่มน้ำที่มีตะกั่วปนเปื้อน

ค. ผ่านการดึงดูดตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดิน หรือน้ำ ที่ได้รับการปนเปื้อนของตะกั่วจากถนน เหมืองแร่ หรืออุตสาหกรรม

ง. การปนเปื้อนของตะกั่วในภาชนะหุงต้ม หรือ เครื่องมือ เครื่องใช้ ในการทำครัวและกระป๋องบรรจุอาหาร จากการผลิต เช่น เครื่องทองเหลือง เครื่องเงิน หรือเครื่องแก้ว เป็นต้น

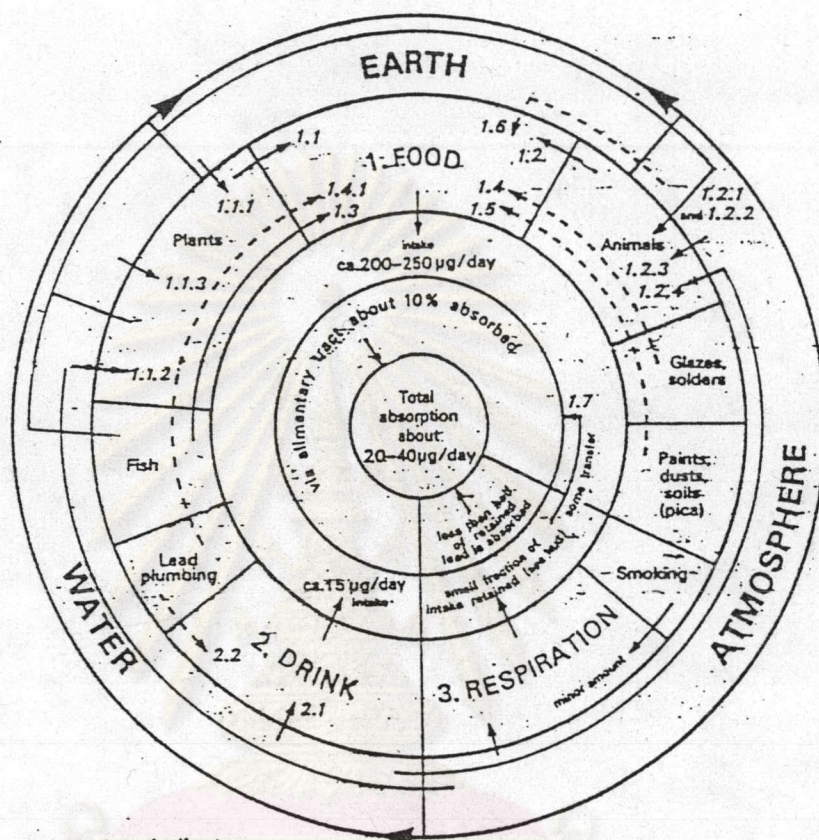
จ. เด็กกินดิน ฝุ่น หรือสีในบริเวณที่มีตะกั่วอยู่สูง โดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์

ฉ. โดยการพาตะกั่วจากทางเดินหายใจเข้าสู่ทางเดินอาหาร

3. ทางผิวหนัง ตะกั่วอินทรีย์ เช่น ตะกั่วเตตระเมทิลในน้ำมันเบนซินสามารถถูกดูดซึมทางผิวหนังได้ เพราะตะกั่วพวกนี้จะละลายไขมันและถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบโลหิตของร่างกาย (เมตรี สุทธิจิตต์, 2531)

ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเป็นแห่งแรก และจะถูกพาไปโดย เซลล์เม็ดเลือดแดงทั่วร่างกายใช้เวลาประมาณ 14 วินาที ตะกั่วจะถูกเนื้อเยื่อต่างๆ เก็บไว้อย่างทั่วถึง ประมาณว่าครึ่งหนึ่งของตะกั่วที่ถูกดูดซึมใหม่ จะพบได้ในเลือด ภายหลังจากได้รับตะกั่วเข้าไปในร่างกาย 2-3 นาทีเท่านั้น (สมปรารถนา เรืองชาติ, 2532) สามารถพบตะกั่วได้ในทุกส่วนของร่างกาย

Pathways of Lead to Man



Pecked lines indicate exceptional sources

รูปที่ 2.1 เส้นทางที่ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์

ที่มา : Department of the Environment, Central unit on Environmental Pollution, 1974.

ส่วนหนึ่งจะสะสมที่กระดูก 95% นอกจากนี้ก็พบที่ ลิ้น หัวใจ สมอง ไขวระยต์ กล้ามเนื้อ ปอด กระเพาะ ลำไส้ ม้าม ตับ และ ตับอ่อน รวมไปถึงเส้นผมด้วย (สมพุด กฤตลักษณ์, 2532)

ตะกั่วส่วนหนึ่งจะถูกขับออกทางปัสสาวะ และระบบทางเดินอาหาร รองลงมา คือ ทางผิวหนัง คนปกติมีตะกั่วในปัสสาวะประมาณ 50-80 ไมโครกรัมต่อลิตรแต่เมื่อได้รับตะกั่วมากขึ้น อาจพบตะกั่วในปัสสาวะถึง 200-500 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตะกั่วมีผลกระทบต่อร่างกายในหลาย ๆ ระบบ เมื่อได้รับการสะสมมากขึ้นจะแสดงอาการดังนี้ เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน กระหายน้ำหรือเกิดอาการหงุดหงิด นอนไม่หลับ บางครั้ง ถ้าได้รับตะกั่วในปริมาณสูงมากเกินไป อาจมีอาการทางระบบประสาทเพราะสมองถูกทำลาย ถึงตายได้ (WHO, 1977)

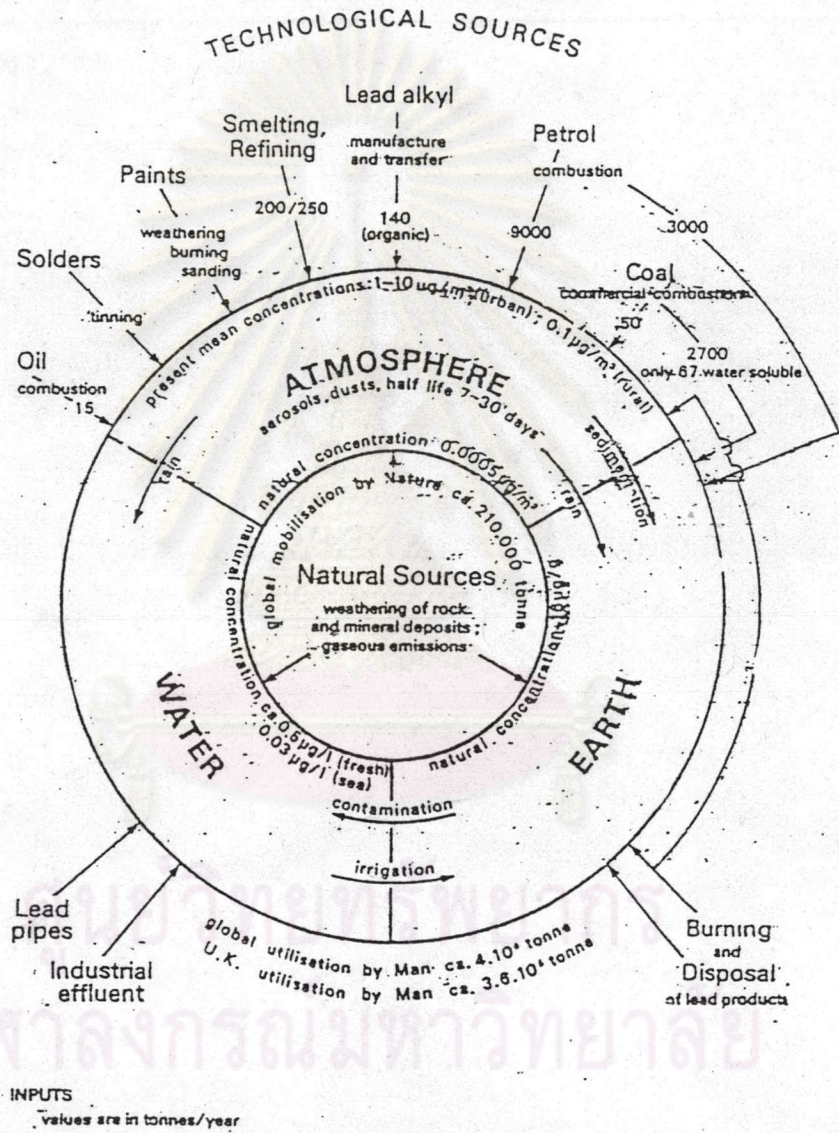
แหล่งกำเนิดของสารตะกั่วในดิน

แบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ คือ จากกระบวนการทางธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ก. จากกระบวนการทางธรรมชาติ

หมายถึง ตะกั่วที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาจากแร่ตะกั่วหรือแร่อื่นที่มีตะกั่วปะปนอยู่ ซึ่งใช้เวลานานกว่าจะมาสะสมอยู่ในดิน ซึ่งมักจะพบในรูปแร่ซัลไฟด์ หรือ กาลีน่า มีปริมาณบนโลกนี้ประมาณ 100 ล้านตัน ตะกั่วจะถูกเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติโดยการชะละลาย แร่ธาตุต่าง ๆ และการแพร่กระจายในรูปของก๊าซในระหว่างที่เกิดปรากฏการณ์ภูเขาไฟระเบิด สองกระบวนการนี้จะให้แร่ตะกั่วออกมาประมาณ 210,000 ตันต่อปี (Department of The Environment, Central Unit on Environmental Pollution, 1974) ปริมาณตะกั่วบนผิวโลกมีประมาณ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (WHO, 1977) ฆงยุทธ ครั้งชสาร, 2531 กล่าว ว่า ตะกั่วที่นำมาใช้ประโยชน์กันในประเทศไทยนี้เป็นตะกั่วที่ได้มาจากแร่ตะกั่วซึ่งมีเป็นจำนวนมากที่จังหวัดกาญจนบุรี โดยมากมักพบร่วมกับแร่สังกะสีซึ่งมักมีปริมาณน้อยกว่า แร่ตะกั่วที่มีการผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแร่ตะกั่วซัลไฟด์ แต่ก็มีแร่ตะกั่วคาร์บอเนตปะปนอยู่ด้วยเสมอ ลักษณะของแร่ตะกั่วต่าง ๆ ที่พบในประเทศไทยมีดังนี้ กาลีน่า (Pbs, galena) เซรัลไซต์ (PbCO₃,

Sources of Lead in the Ecosystem



รูปที่ 2.2 แหล่งกำเนิดของตะกั่วในระบบนิเวศวิทยาของโลก

ที่มา :Department of the Environment,Central unit on Environmental Pollution,1974

Cerussite) และ ไพรมอร์ไฟต์ ($PbCl_2 \cdot 3Pb_3(PO_4)_2$, Pyromorphite) แร่ตะกั่วที่พบกัน
 กระจายตัวในบริเวณได้แก่ แองกลีไซต์ ($PbSO_4$, anglesite) นิมิตีไซต์ ($PbCl_2 \cdot 3Pb_3(ASO_4)_2$,
 mimetesite) โครคอยท์ ($PbCrO_4$, Crocoite) วุลฟีนท์ ($PbMoO_4$, Wulfenite) และ
 สทอลไซต์ ($PbWO_4$, Stolsite) สำหรับเหมืองแร่ตะกั่วที่มีเพียงแห่งเดียวที่จังหวัดกาญจนบุรีนั้น
 เป็นแร่ตะกั่วปนกับแร่สังกะสี พบในบริเวณดินปูนตั้งแต่บ้านบ่อน้อย หนองไผ่ บ่อใหญ่ สองห้อง เป็น
 ระยะทางยาวประมาณ 20 กิโลเมตร และบริเวณอ้อมงาบกับเกริงกระเวียเป็นเหมืองแร่ของบริษัท
 เคมร่า ส่วนแหล่งอื่นที่มีการพบแร่ตะกั่ว แสดงคั้งในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งแร่ตะกั่วในประเทศไทย

ภาค	จังหวัดที่มีการผลิตแล้ว	จังหวัดที่พบแต่ยังไม่มีการผลิต
เหนือ	แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เพชรบูรณ์	กำแพงเพชร ตาก น่าน
กลาง	กาญจนบุรี เพชรบุรี	อุทัยธานี เพชรบุรี
ตะวันออก	เฉิมงเหนือ	อุครธานี
ใต้	ยะลา	นราธิวาส สงขลา กระบี่

ที่มา:แร่เศรษฐกิจของไทย, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 สงขลา, 2531

แหล่งแร่ตะกั่ว เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของตะกั่วในดินโดยการแปรสภาพทางธรณี
 วิทยา ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในดินบริเวณที่ยังไม่มีการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ แต่ถ้าเป็นดิน
 บริเวณที่มีกิจกรรมของมนุษย์อยู่ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ตะกั่วกับปริมาณในดินจะ เปลี่ยนแปลงไป
 โดยมีปัจจัยอื่นมาแทรก (Harrison and Loxxen, 1981)

ข. จากกิจกรรมของมนุษย์

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ จากการจราจร จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในการผลิต และจากเหมืองแร่ตะกั่ว นอกจากนี้ยังมาจากการกำจัดของเสียต่าง ๆ

1. จากการจราจร ตะกั่วที่ออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์เป็นแหล่งใหญ่ที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในดิน (กิตติ เอกอาพน, 2525) โดยมีผลการศึกษาวิจัยสนับสนุนหลายชิ้น เช่น จากผลการศึกษาของ Chow and Farl, 1970 (อ้างในกิตติ เอกอาพน, 2525) ได้ใช้หลักการทางด้านไอโซโทปพิสูจน์ว่า ตะกั่วมากกว่า 90% ของตัวอย่างดินที่พบเป็นตัวอย่างที่มาจากตะกั่วในน้ำมันเบนซินซึ่งปนมากับไอเสียรถยนต์ Gulson, Tiller, Mison and Merry, 1981 ได้ทำการทดลองในแบบเดียวกันและได้ผลสอดคล้องกัน ตะกั่วที่เจือปนอยู่ในไอเสียรถยนต์เป็นตะกั่วที่เค็มลง ในน้ำมันเบนซินในรูปของตะกั่วเตตระเมทิล และตะกั่วเตตระเอทิล เป็นสารกันน็อคหรือสารป้องกันการกระตุกของ เครื่องยนต์ เวลาทำงานทำให้ค่าออกเทนของน้ำมันสูงขึ้น จึงใช้ผสมลงในน้ำมันเบนซิน ในอัตราส่วน 0.7 กรัมต่อลิตร หรือ 0.07% (แต่ในปัจจุบัน พ.ศ. 2534 กำหนดปริมาณตะกั่วในน้ำมันเบนซินโดยกระทรวงพาณิชย์ไม่เกิน 0.45 กรัมต่อลิตร) สารนี้มีสีเคง ฉะนั้นน้ำมันชนิดพิเศษทั้งหลายจึงมีสีเคงด้วย สารตะกั่วชนิดนี้ค่อนข้างจะเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอินทรีย์ เพราะว่ามันจะระเหยไปในอากาศได้ดี ตะกั่วจะจับผูกเผาไหม้หมด ประมาณ 70% ของตะกั่วอินทรีย์จะถูกปล่อยออกมาทางไอเสียรถยนต์ และสามารถละลายในไขมันและน้ำมันได้ดีจึงซึมซาบเข้าทางผิวหนังและเซลล์ได้ ที่เหลือในไอเสียรถยนต์จะอยู่ในรูป ฮาไลด์ (halide) ไฮดรอกไซด์ (hydroxide) ออกไซด์ (oxide) และมีคาร์บอนเนตกับซัลเฟตเพียงเล็กน้อย มีผู้พบว่าตะกั่วเอทิลสามารถเข้าไปในร่างกายโดยซึมผ่านเซลล์ทางผิวหนังจากตั้งแต่จมูกจนถึงตัวบดเคี้ยวครบ 100% ปัจจุบันประเทศไทยใช้น้ำมันประเภทที่เติมสารกันน็อคมากที่สุด ความฉ่ำพบว่าใช้ปีละไม่ต่ำกว่า 1,600 ล้านลิตร ฉะนั้นจึงมีการปนเปื้อนของสารตะกั่วในอากาศมาก (เนครี สุทธิจิตต์, 2531)

ตะกั่วจากไอเสียรถยนต์จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศได้เล็กน้อยเพียงแค่นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราความเร็วของการขับรถ อายุของเครื่องยนต์ พฤติกรรมของการขับขี้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ถ้ารถถูกใช้มากกว่า 1,000 ไมล์แล้วประมาณ 70-80% ของตะกั่วที่เผาไหม้ในเครื่องยนต์ จะแพร่กระจายออกสู่บรรยากาศได้ (Smith, 1976)

2. จากรองงานอุตสาหกรรมและเหมืองแร่ Nagel, 1986 ศึกษาระดับตะกั่วในดิน และในพืชในเขตอุตสาหกรรมในเยอรมัน พบว่ามีปริมาณตะกั่วในดินที่สูงมาก 60% ของตะกั่วที่พบ จะอยู่ในชั้นดิน 20-100 เซนติเมตรจากพื้นดิน ปริมาณตะกั่วในดินที่สูงมากในบริเวณโรงงาน แบคเคอร์แห่งหนึ่งในรัฐฟลอริดา ส่วนอุตสาหกรรมสีที่มีผู้ตรวจพบเช่นเดียวกัน (Martin, Paul, Richard and Michael, 1987)

อุตสาหกรรมที่มีการใช้ตะกั่วในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตแบคเคอร์ ซึ่งใช้ตะกั่วโลหะในรูปของ lead-antimony alloy และ lead-oxide ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ตะกั่วมีโอกาสปนเปื้อนโดยการแพร่กระจายไปในอากาศและตกสะสมลงสู่ดิน นอกจากนี้ก็มีการนำแบคเคอร์ที่ใช้แล้วมาทิ้งทำให้เกิดการรั่วไหลลงสู่พื้นดินได้ การนำตะกั่วในรูปอัลลอยเลดไปเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อคุณสมบัติการเป็นสารกันกระตุก อุตสาหกรรมการผลิตสายเคเบิลก็ใช้ตะกั่วในรูปอัลลอยเพื่อเป็นตัวหุ้มสายเคเบิลโดยรวมกับสารอื่น เช่น แคดเมียม เทลลูเรียม ทองแดง แอนติโมนี และสารหนู อุตสาหกรรมเคมี เช่น การนำตะกั่วแดงไปใช้ในการผลิตสีในงานเหล็ก ตะกั่วโครเมตใช้เป็นสารสีเหลือง และ ตะกั่วอาร์เซเนตใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ใช้ตะกั่วแผ่นในการทาหลังคา ตกแต่งผนัง และ ป้องกันเสียง อุตสาหกรรมปิโตรเลียมใช้ litharge จำนวนเล็กน้อยในการละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ในการผลิตน้ำมันปิโตรเลียม จากการที่สามารถทำเป็นอัลลอยได้จึงนำมาใช้ในการทำเครื่องมือเครื่องใช้ทาละหยาประเภทเพลลา ทาละหยาหล่อตัวพิมพ์โดยผสมกับดีบุกอย่างดีและทองแดงเล็กน้อย อุตสาหกรรมเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในดินได้ โดยการปล่อยไอตะกั่ว หรือควันที่มีตะกั่วปะปนอยู่ออกสู่บรรยากาศ และอนุภาคเหล่านั้นตกสะสมลงสู่ดิน การนำของเสียที่มีตะกั่วอยู่ไปทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น เช่น นำมาทำเป็นปุ๋ยทำอาหารสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้การทิ้งน้ำเสียลงไปในน้ำและไหลมาสะสมในดิน อุตสาหกรรมการผลิตแก้วก็ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วได้เช่นกัน Rybicka and Kyziol, 1987 ตรวจพบปริมาณตะกั่วในดินในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องแก้วในบริเวณเลนค่าว่ามีปริมาณถึง 584 ไมโครกรัมต่อกรัมในบริเวณพื้นผิวดิน ใกล้ ๆ กับแหล่งกำเนิด คือ ปล่องปล่อยอากาศเสีย นอกจากนี้ในสหภาพโซเวียตก็ตรวจพบตะกั่วในบริเวณบ้านเช่นกัน

ตะกั่วที่ปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ การถลุงแร่ และการสกัดแร่ จะออกมาจากการแพร่กระจายทางอากาศในระหว่างการผลิตหรือจากปล่องขณะทำการถลุงแร่ รวมทั้งในขณะขนย้ายแร่ด้วย ตะกั่วในอากาศก็จะตกสู่พื้นดิน มีผู้ศึกษาว่าการปนเปื้อนของตะกั่วในดินจะมีระยะทาง

ห่างจากปล่องมากกว่าการบนเบื่อนานอากาศทั้งนี้ เป็นเพราะอิทธิพลของลม และ ความแรงของลม ขนาดอนุภาค และการชะละลายโดยน้ำทั้งจากในอากาศและในดินเอง (WHO,1977) Palmer and Kucera,1980 พบว่า ในบริเวณเมืองแร้และกลุ่แร้ในมิสซูรีมีการบนเบื่อนของตะกั่วในดิน ในปริมาณถึง 7-62,000 ส่วนในล้านส่วน ในPalmorton ก็มีผู้พบปริมาณตะกั่วในดินในบริเวณ ใกล้ แหล่งกลุ่แร้ถึง 2,000 ส่วนในล้านส่วน (Buchauer,1973)

3. จากการกำจัดของเสีย การกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งโดยการฝังลงในดิน หรือการนำของเสียที่มีสารตะกั่วปะปนอยู่ไปใช้ประโยชน์ในทาง เกษตร ตะกั่วจะปะปนอยู่กับ ในโตรเจน และ ฟอสฟอรัส เมื่อนำไปทำอาหารแก่พืชก็จะเกิดการสะสมของตะกั่วในดินได้ (Lester,Harrison and Perry,1979) นอกจากนี้ก็มีโอกาสบนเบื่อนจากการกำจัดน้ำเสีย จากการชลประทานหรือจากการ เกษตรกรรมโดยการปล่อยน้ำไหลผ่านมาทางพื้นดิน (Krishna Murti,1987)

บางครั้งการเกิดอุบัติเหตุทางน้ำ การเกิดอุทกภัยก็มีส่วนทำให้เกิดการบนเบื่อนได้ โดยน้ำอาจจะไหลผ่านบริเวณที่มีสารตะกั่วอยู่สูง แล้วพัดพามาตกสะสมยังที่แห่งเมื่อน้ำแห้ง (Harrison and Laxen,1987)

โดยสรุปแล้วตะกั่วในดินมีที่มาจากหลายสถานที่และในหลายรูปแบบ ดังนี้ (Central Unit on Environmental Pollution,Department of the Environment,1974)

1. ในบริเวณที่ตั้ง เข็มมีการทำเหมืองแร้ โดยอาจมีปริมาณตะกั่วสูงถึง 20,000 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ระดับปกติ คือ 1,000-2,000 ส่วนในล้านส่วน
2. โดยการตกตะกอนของอนุภาคที่มีตะกั่วปะปนอยู่ในอากาศ
3. โดยการชะล้างอนุภาคที่มีสารตะกั่วปะปนอยู่ในอากาศโดยน้ำฝน
4. โดยอุบัติเหตุทางน้ำ หรือ น้ำท่วมบริเวณที่มีสารตะกั่วสูง เช่น น้ำท่วมบริเวณที่มีการทำเหมืองแร้
5. โดยการนำปุ๋ยที่มีตะกั่วปะปนอยู่สูงไปใช้ การนำของเสียใช้จากกระบวนการกำจัดน้ำเสียทางอุตสาหกรรมมาเป็นปุ๋ย
6. โดยการทำลายของแข็งที่มีตะกั่วปะปนอยู่ เช่น ชี้เก่าซึ่งตะกั่วจะปะปนออกมา น้อยมาก

การตกสะสมของตะกั่วในอากาศสู่ดิน

ตะกั่วในอากาศสามารถแยกตัวออกจากอากาศ และตกสะสมลงสู่พื้นดินด้วยกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ

ก. การตกสะสมแบบแห้ง (Dry deposition)

1. การตกสะสมเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational settling) เป็นกลไกการตกสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน และกลไกจะยิ่งเกิดเร็วถ้าอนุภาคนั้นมีขนาดใหญ่มากกว่า 50 ไมครอน

2. การกระทบ (impaction) เป็นกลไกการตกสะสมของอนุภาคทุกขนาดแต่จะเกิดได้ดีกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งแบ่งได้เป็น

ก. อนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 0.3 ไมครอน ตกสะสมเนื่องจากกระบวนการกระทบ

ข. อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน จะมีกระบวนการแพร่แบบบราวเนียน (brownian diffusion)

ข. การตกสะสมแบบเปียก (Wet deposition)

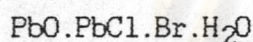
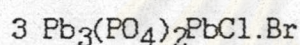
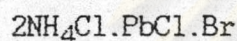
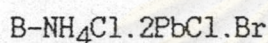
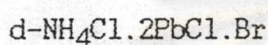
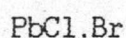
เป็นกระบวนการที่การตกตะกอน (precipitation) เป็นตัวการในการแยกอนุภาคตะกั่วออกจากอากาศ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

1. rain out เป็นการกำจัดอนุภาคตะกั่วออกจากอากาศ โดยการถูกจับไว้ด้วยหยดน้ำภายในชั้นเมฆ

2. wash out เป็นการชะล้างอากาศ (scrubbing) ด้วยหยดน้ำฝนที่ตกลงมาหรือหิมะ (Harrison and Laxen, 1981)

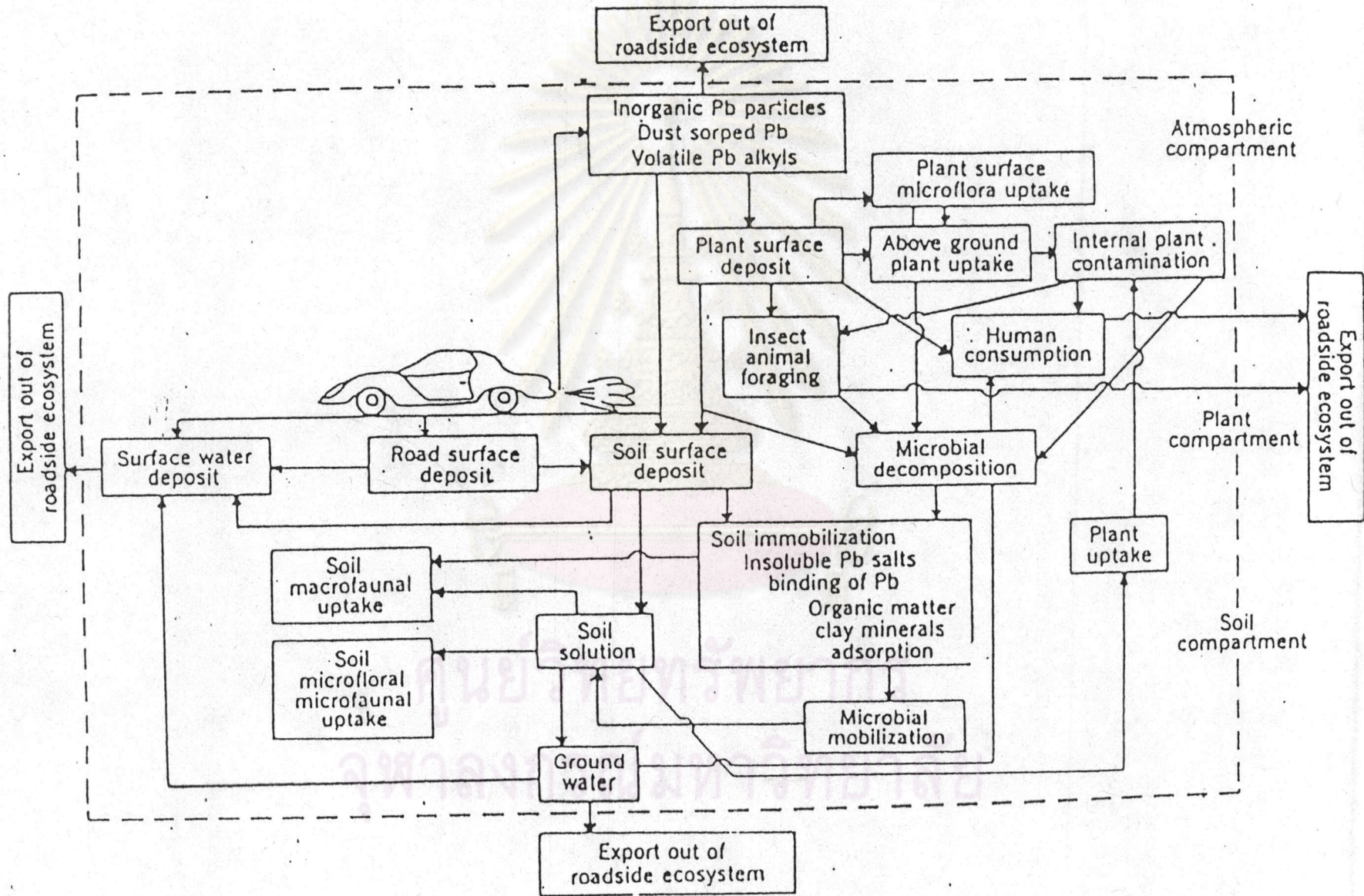
พฤติกรรมของตะกั่วในดิน

ตะกั่วที่อยู่ในท่อไอเสียรถยนต์เริ่มต้นในรูปเกลือเฮไลต์ แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง ตะกั่วจะอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟตเฮไลต์ เมื่อสารประกอบอัลคิลนํ้ามันเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบเครื่องยนต์ และ มีการเผาไหม้เกิดขึ้นแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นตะกั่วออกไซด์ ออกไซด์ของตะกั่ว เหล่านี้เองที่เป็นตัวบ่งชี้การกระตุกของ เครื่องยนต์ ตะกั่วออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งอื่น ๆ ในน้ำมันเชื้อเพลิง และออกจากเครื่องยนต์ในรูปเกลือตะกั่วต่อไปนี้



ตะกั่วบรมคลอไรด์ เป็นตะกั่วที่ออกสู่อากาศมากที่สุด รองลงมา คือสารประกอบที่มีเกลือแอมมเนียม ตะกั่วเฮไลต์เหล่านี้เป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ และจะเคลื่อนที่ไปตามระยะทางอันสั้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปอื่นโดยการทำปฏิกิริยากับกรดและซัลเฟตที่เป็นกลาง เช่น กรดซัลฟริก กลายเป็น PbSO_4 และ $\text{PbSO}_4(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ Biggins and Harrison, 1980 ได้ตรวจสอบสารประกอบของตะกั่วในฝุ่นปริมาณน้อยวิธี X-ray Powder diffraction พบว่าประกอบด้วย PbSO_4 , PbO , Pb_3O_4 , $\text{PbSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ และ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ สารประกอบของตะกั่วที่มีมากที่สุด คือ PbSO_4

กระบวนการตกสะสมของตะกั่วในดินนั้น เริ่มต้นที่เมื่ออนุภาคเฮไลต์ตกลงสู่พื้นดินก็จะเกิดกระบวนการนอนก้น (Sedimentation) และกระบวนการตกตะกอน (Wash-out, Wash-off) จากนั้นตะกั่วจะทำปฏิกิริยากับแอนไอออนในดิน ได้แก่ ซัลเฟตไอออน ฟอสเฟตไอออน คาร์บอเนตไอออน หรือ อินทรีย์ในดิน และ Clay complexes อื่นๆ ปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้ตะกั่วที่เติมอยู่ในรูปละลายน้ำได้กลายเป็นละลายน้ำไม่ได้ และ ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามดินอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้พืชหรือสัตว์ในดินก็ไม่สามารถดึงดูดตะกั่วไปใช้ได้ Lagerwerff and Brower, 1973 (อ้างโดย Smith, 1976) ตรวจสอบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของตะกั่วไอออน โดยพบว่า



รูปที่ 2.3 เส้นทางการนำพา และการกระจายของตะกั่วในระบบนิเวศวิทยาของถนน

ใน Kaolinitics, montmorillonitics และ illitites soils ซึ่งมีการเติมอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคลอไรด์ในหลายระดับ ปรากฏว่า ในดินที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือดินที่มีความเป็นด่าง ตะกั่วจะตกตะกอนได้ดี การละลายของตะกอนเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อลดค่าพีเอช และลดความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ลง Olson and Skogerboe, 1965 (อ้างโดย Smith, 1976) ทำการทดลองโดยเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างดินริมถนน แล้ววิเคราะห์สารประกอบโดย X-ray diffraction พบว่า มากกว่า 50% ของตะกั่วจะอยู่ในรูป $PbO \cdot PbSO_4$, PbO_2 , $PbO \cdot PbO$ และ PbS การเปลี่ยนแปลงจากตะกั่วเฮไลต์ไปเป็นตะกั่วซิลิแคตที่ละลายน้ำนี้อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในอากาศ ในดิน หรือ อาจเกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างอากาศและดิน บางครั้งอาจพบปรากฏการณ์บริเวณที่ติดต่อกับน้ำใต้ดินบ้างก็เป็นได้

ระดับตะกั่วในดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่พบในผิวโลก ในอัตราเฉลี่ยประมาณ 10-15 ส่วนในล้านส่วน (WHO, 1977) ซึ่งเป็นดินบริเวณเขตร้อนที่มีปริมาณบนเนื้อ และใช้เป็นดินมาตรฐาน Swaine, 1955 (อ้างใน นวลศรี ไขบัวเทศ นวลศรี กาญจนกุล และวินัย สมบูรณ์, 2520) กล่าวว่าในดินทั่วไปมีปริมาณตะกั่ว 0-150 ส่วนในล้านส่วน ในดินที่ทำการเกษตรกรรมจะพบปริมาณตะกั่วในดิน 2-200 ส่วนในล้านส่วน จากผลการวิจัยโดยทั่วไปยอมรับว่า ดินธรรมชาติจะมีตะกั่วค่อนข้างต่ำ คือประมาณ 15 ส่วนในล้านส่วน โดยเฉลี่ยจะพบตะกั่วมากกว่าปกติในบริเวณใกล้แหล่งมลพิษและตะกั่วหรือแร่อื่นที่มีตะกั่วปะปนอยู่ และบริเวณถนน (อุแก้ว ประกอบวาทย์กิจ บีเวอร์, 2531) ดินในเมืองใหญ่ ๆ มีระดับตะกั่วกระจายอยู่ในช่วง 179-834 ส่วนในล้านส่วน (เปี่ยมศักดิ์ เมฆะเสาศ, 2520) ดินนาในประเทศไทยมีปริมาณตะกั่ว 3-18 ส่วนในล้านส่วน (Prabuddham, 1975 อ้างใน อรรารณ สิริรัตนพิริยะ, 2526)

การศึกษาถึงการตกสะสมของตะกั่วซึ่งมาจากท่อไอเสียรถยนต์นั้น ส่วนใหญ่ผู้สนใจศึกษาจากดินบริเวณสองข้างถนน โดยเก็บดินที่ระยะห่างจากถนนในระยะต่าง ๆ ส่วนความลึกมักเก็บกันในระดับผิวดิน คือ ประมาณ 0.5-20 เซนติเมตร (สุธา ภูสิทธิศักดิ์ และกิตติ เอกอาพันธ์, 2523) Smith, 1975 (อ้างใน นวลศรี ไขบัวเทศและคณะ, 2520) กล่าวว่าตะกั่วที่สะสมอยู่ในดินบริเวณใกล้ถนนที่การจราจรคับคั่งจะมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าตะกั่วที่สะสมอยู่ในดินบริเวณที่อยู่ห่างออกไปจากถนน 2-10 เท่า ปริมาณตะกั่วจากดินและพืชจะเป็น exponential function กับระยะห่างจาก

ถนน และจะลดลงจนเกือบคงที่ไม่ว่าจะห่างจากถนนมากเท่าใด ปริมาณที่คงที่โดยเฉลี่ยนี้ ถือว่าเป็น baseline ของแต่ละถนน ผู้ทำการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การตกสะสมของตะกั่วในดินนอกจากจะมีความสัมพันธ์ระหว่างสถานที่เก็บตัวอย่างกับปริมาณรถที่ผ่านแล้ว ปัจจัยอื่น เช่น ชนิดของดิน ลักษณะทางภูมิประเทศ ชนิดของพืชคลุมดิน ทิศทางลม ชนิดของรถยนต์(รถยนต์ธรรมดาหรือรถบรรทุก) ตลอดจนอายุของถนน อาจมีอิทธิพลต่อการตกสะสมของตะกั่วในดินได้ทั้งสิ้น

ตะกั่วที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ และแพร่กระจายอยู่ในอากาศมีโอกาสนจะสูญหายไปจากบริเวณนั้น และผลการตกสะสมในดินได้โดยกระบวนการต่อไปนี้

- 1) มีท่อไอเสียรถยนต์ที่ปล่อยตะกั่วออกมาอยู่ห่างจากถนนมากกว่า 250 เมตร
- 2) มีการแพร่กระจายโดยลมที่มีกำลังแรง
- 3) มีการชะล้างอนุภาคตะกั่วที่ละลายน้ำในปริมาณมากกว่า 6 เซนติเมตร

อันที่จริงแล้วไม่มีหลักฐานที่จะยืนยันว่ากระบวนการที่ 3 นี้เกิดขึ้นจริงแต่จากการสำรวจมักพบว่า ระดับตะกั่วลดลงเข้าใกล้ background level ที่ความลึกเพียงไม่กี่เซนติเมตร แม้ว่าจะมีตะกั่วในระดับพื้นผิวในปริมาณมากก็ตาม(Ward, Reeves and Brooks, 1975)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการตกสะสมของตะกั่วในดิน

1. ปริมาณการจราจร หรือความหนาแน่นของการจราจรหมายถึงปริมาณยานพาหนะที่เล่นอยู่บนถนนสายหนึ่ง ๆ ในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ โดยอาจจะสำรวจในหลายระยะเวลา และนำมาเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง เป็นปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic, ADT) จากนั้นจึงนำมาเฉลี่ยเป็นปริมาณการจราจรเฉลี่ยตลอดทั้งปี(Annual Average Daily Traffic, AADT)

จากผลการศึกษาของผู้วิจัยหลายท่าน สรุปได้ว่า ถนนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น จะพบปริมาณตะกั่วในดินมากกว่าถนนที่มีปริมาณการจราจรเบาบางนอกจากนี้ถนนที่มีปริมาณการจราจรใกล้เคียงกัน ปริมาณตะกั่วในดินก็จะอยู่ในช่วงเดียวกัน ทั้งนี้เป็นเพราะถนนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น จำนวนรถยนต์ย่อมมากกว่าจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ก็มีมาก สารตะกั่วในควันที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ก็ย่อมถูกปล่อยออกมาเหมือนกัน ยิ่งในถนนที่มีการจราจรติดขัดและมีอาคารสูงตลอดสองข้างถนน สารตะกั่วจะฟุ้งกระจายอยู่ในถนนนั้น และตกสะสมลงสู่ดินในปริมาณสูง

2. ระยะทางจากถนน ผู้ทำการศึกษเกี่ยวกับตะกั่วในดินริมถนนในต่างประเทศนิยมศึกษาการปนเปื้อนที่ระยะทางจากถนนในระยะต่าง ๆ กันออกไป ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ยิ่งระยะทางห่างออกไปจากถนนมากเท่าใด ปริมาณตะกั่วในดินจะยิ่งลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณตะกั่วในอากาศที่ลดลงตามระยะทางจากถนน จากการศึกษาของ พรรณวดี สุวัฑฒะ, 2530 ซึ่งศึกษาการฟุ้งกระจายและการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วที่มาจากจราจรทางบก โดยเปรียบเทียบที่ระยะทางต่าง ๆ ภายในระยะ 30 เมตรจากขอบถนน พบว่าที่บริเวณถนนจะมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงและลดต่ำลง เมื่ออยู่ห่างจากถนนออกมา แสดงว่าแหล่งกำเนิด คือ ท่อไอเสียรถยนต์นั้นผลต่อการตกสะสมของตะกั่วในดินด้วย ถ้ายิ่งใกล้แหล่งกำเนิด ปริมาณตะกั่วในดินจะมากขึ้นตามไปด้วย

3. ความลึกจากพื้นผิว ปริมาณตะกั่วในดินจะถูกพบมากที่สุดที่บริเวณผิวดิน คือ ประมาณ 0-5 เซนติเมตรจากผิวดิน ยิ่งลึกลงไปในผิวดินเท่าไร ปริมาณตะกั่วจะในดินจะยิ่งลดลงจนเกือบคงที่ เนื่องจากในดินมีส่วนประกอบต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น อินทรีย์วัตถุในดิน ซิวินทรีย์ในดิน หรือแร่ธาตุต่าง ๆ เมื่อตะกั่วตกลงสู่ดินตะกั่วจะเกิดการยึดติด (immobilized) กับส่วนประกอบเหล่านี้ซึ่งมีมากที่ผิวดิน หากให้ตะกั่วไม่สามารถเคลื่อนที่ลงไปในดินในระยะทางที่ลึกมากขึ้น

4. ลักษณะทางเคมีของดิน อันได้แก่ ค่าพีเอช อินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณพอสเฟตในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุอิออนในดิน องค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ในดิน อุณหภูมิ และความชื้นในดิน เป็นต้น มีรายละเอียดดังนี้ คือ

เกลือตะกั่วเกือบจะทั้งหมดจะสามารถละลายได้ดีขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง หรือ ดินมีความเป็นกรด ตะกั่วจะตกตะกอนได้น้อยลง ดังนั้นมันจึงถูกดึงดูดขึ้นในพืชได้ง่าย ถ้าตรวจพบปริมาณตะกั่วในดินก็จะพบปริมาณตะกั่วในดินน้อยกว่าดินที่มีความเป็นเบสหรือดินที่มีค่าพีเอชสูง Lau and Wong, 1982 กล่าวว่า ค่าพีเอชมีผลต่อการละลายของตะกั่วในดิน ถ้าพีเอชสูง การละลายของตะกั่วในดินจะลดลง หากให้มันสามารถเคลื่อนที่ไปยังที่อื่นได้ บริเวณนั้นจึงมีตะกั่วอยู่สูง ในขณะที่บริเวณพีเอชต่ำตะกั่วจะละลายไปอยู่ในรูปอิออนได้มาก จึงพร้อมที่จะถูกดึงดูดโดยพืชได้ง่าย

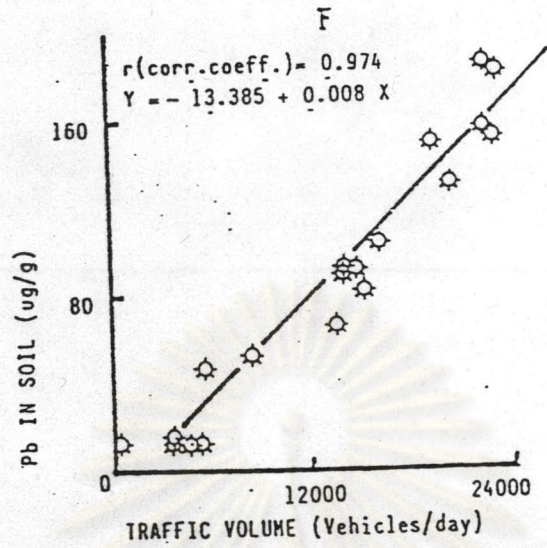
ความเข้มข้นของตะกั่วจะมีมากในบริเวณที่มีฮิวมัส หรือมีอินทรีย์วัตถุโดย เฉพาะในป่าเพราะมันจะถูกดึงดูดโดยรากพืชอย่างช้า ๆ และถูกสาเหียงค่อย ๆ ซึ่งจะร่วงและตกทับถมย่อยสลาย ตะกั่วจึงมีมากที่พื้นดินผิวดิน (Zimdahl and Hassett, 1975) ตะกั่วจะถูกดึงดูดโดยอินทรีย์วัตถุในดิน ได้แก่ กรดฮิวมิก และกรดฟูวิก บริเวณนั้นจะกลายเป็นบริเวณที่มีฮิวมัสสูง นอกจากนี้ยังพบอีกว่า อินทรีย์วัตถุในดินเป็นสารตัวแรกที่ยึดติดตะกั่วอิออนในดิน

Vandabeele and Wood, 1972 พบว่า อุณหภูมิของดินที่ต่ำและเซ เติ้มมวลลอไรด์ในดิน จะมีผลลดความสามารถในการคั่งคู่ออนุภาคตะกั่วกับอนุภาคดินไว้ ทาให้ตะกั่วถูกคั่งคูไว้ด้วยพืช ส่วน Zimdahl and Hassett, 1975 พบว่า การคั่งคูของตะกั่วโดยอนุภาคดินจะมีความสัมพันธ์ อย่างสูงกับค่าพีเอชในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนในดิน และ ระดับความ สมบูรณ์ของฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามผลการเคลื่อนที่ของตะกั่วในดิน โดยการกระทำของฟอสเฟต จะไม่มีผลมาก เท่ากับพีเอชของดิน

5. สภาพภูมิอากาศ รวมมาถึงทิศทางลม ความเร็วของลม ปริมาณน้ำฝน และ การไหลชะของน้ำผิวดิน ปัจจัยเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยพัดพาให้ออนุภาคตะกั่วในอากาศหรืออนุภาคตะกั่วในดินเคลื่อนที่กระจายออกไปจากบริเวณแหล่งกำเนิดในปริมาณมากน้อยเพียงใดแล้วแต่ความแรงของ ปัจจัยต่างๆ ช้างคัน Chow, 1970 กล่าวว่ ถ้าลมพัดแรงตามปกติ จะพบปริมาณตะกั่วในดินบริเวณ ใกล้เคียงสูงกว่าปริมาณเหนือลม

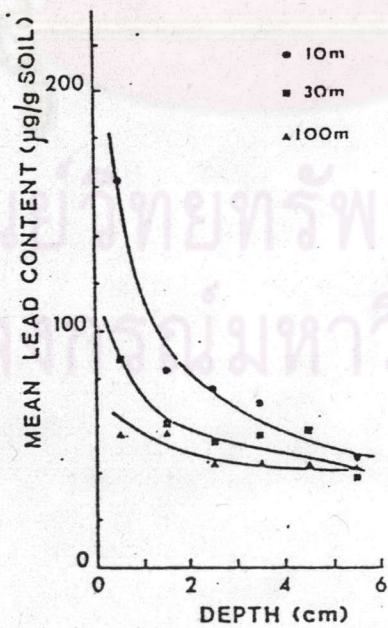
6. สภาพภูมิประเทศ อันได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ พื้นที่อยู่ในหุบเขาหรือที่ราบ เป็นต้น ในบริเวณที่เป็นที่ราบ ผู้ขับซีรกยนต์จะขับรถโดยใช้ความเร็วสม่ำเสมอ ปริมาณตะกั่วจะคง ที่ แต่ถ้าเป็นบริเวณที่สูงชัน ผู้ขับซีรกยนต์จะเร่ง เครื่องยนต์ทำให้ปลดปล่อยตะกั่วออกมามาก ในขณะที่ยวกัน ถ้าเป็นบริเวณที่ลาดลงมา ปริมาณตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมาจะมีน้อยกว่า เพราะผู้ขับซีรกยนต์ลดความเร็วลง ถ้าถนนคดผ่านหุบเขา เมื่อเกิดการปลดปล่อยตะกั่วออกมาจากท่อไอเสีย ตะกั่วจะวนเวียนอยู่ในนั้น ไม่ได้ถูกพัดพาและกระจายออกไป

7. ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ พืชคลุมดิน ถ้ามีหนาแน่นมากก็จะเป็นตัวกั้นไม่ให้ตะกั่วสะสมลงสู่ดิน ลักษณะของพืชที่ปลูกบริเวณที่มีใบปก ตะกั่วจะตกลงสู่พื้นดินได้ยากสภาพ และ อายุการใช้งานของถนนก็มีผล คือ ถ้ามีอายุการใช้งานนานแล้ว การเผาไหม้ในเครื่องยนต์อาจจะไม่สมบูรณ์ทำให้ปลดปล่อยตะกั่วออกมามาก ความเร็วของรถและพฤติกรรมการขับซีรกยนต์ที่มีผลต่อการ เพิ่มขึ้นของปริมาณ ตะกั่วในดินได้ทั้งสิ้น การราใช้พื้นที่สองข้างของถนนก็ เช่นกันถ้าเติมไปด้วยสิ่งปลูกสร้างและอาคารสูง ตะกั่วในบรรยากาศจะไม่ถูกพัดพาไปไหนก็จะตกสะสมลงสู่ดินในบริเวณนั้นมาก อายุของถนนก็มี ความสำคัญตะกั่วในดินบนถนนที่เก่าซึ่งมีปริมาณการจราจรต่ำจะมีปริมาณมากกว่าตะกั่วในดินบนถนน ใหม่ที่มีปริมาณการจราจรสูง ที่เป็นเช่นนี้เพราะบนถนนเก่าการสะสมของตะกั่วในดินแต่ดั้ง เคิมอยู่ แล้ว เมื่อได้รับมากขึ้นก็จะสะสมมากขึ้น (Chow, 1970)



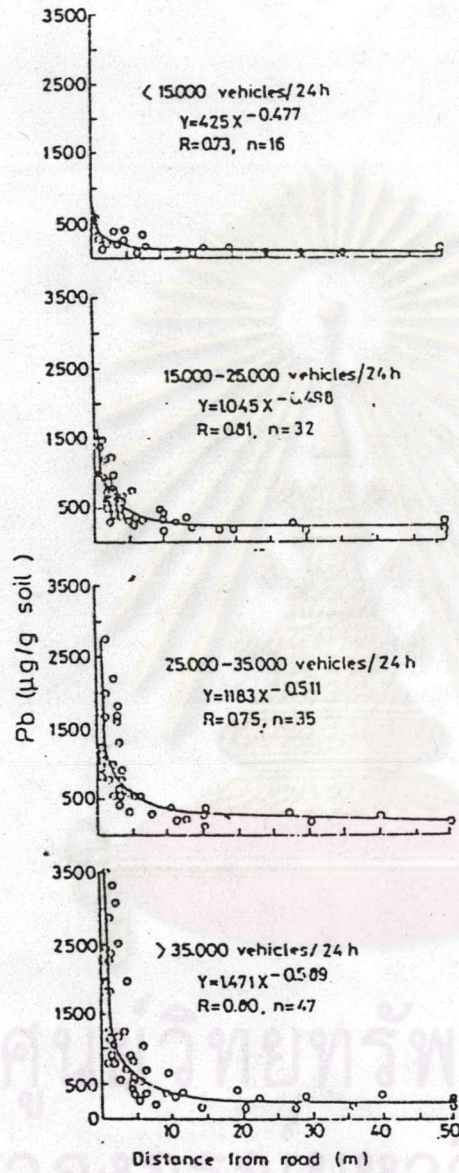
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับปริมาณตะกั่วในดิน

ที่มา : Burguera et.al,1988.



รูปที่ 2.6 การกระจายของตะกั่วที่ความลึกและระยะทางต่างกัน

ที่มา: Motto et.al,1974.



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารตะกั่วในดินและระยะทางจากถนนที่มีปริมาณการจราจรต่างกัน

ที่มา: Yassoglou et.al, 1987.

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นวลฉวี ไชยบัวเทศ, นวลศรี กาญจนกุล และวินัย สมบูรณ์, 2520 ทักษะการศึกษาระดับ ตะกั่วในดินในกรุงเทพมหานครจากดินที่เก็บข้างถนน และเกาะกลางถนนต่าง ๆ สรุปได้ว่า ใน บริเวณที่ใกล้ถนนจะมีตะกั่วในปริมาณสูง และพบว่าปริมาณตะกั่วมากที่สุดที่ถนนพหลโยธิน คือ มีถึง 700.2 ส่วนในล้านส่วนในดินบริเวณข้างถนน ดินบริเวณเกาะกลางถนนมีสารตะกั่วเป็น 2 เท่า ของดินข้างถนน ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต และกัลยา วัชยากร, 2520 ศึกษาระดับตะกั่วในหมู่บ้านแห่ง หนึ่งในอำเภอพระประแดง ซึ่งนำกากหม้อเบคเตอร์ไปถมดิน พบว่าระดับตะกั่วในผิวดินที่ถูกถมด้วย กากเบคเตอร์ มีค่าสูงกว่าถนนที่นำได้ถูกถมด้วยกากเบคเตอร์ประมาณ 25 เท่า นอกจากนี้ระดับ ตะกั่วบริเวณข้างถนนซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ โดยการพาของน้ำหลังฝนตก ระดับตะกั่วในดินบริเวณข้าง ถนนสีกลงไปประมาณ 30 เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับตะกั่วบริเวณผิวดิน รายละเอียด แสดงดังในตารางที่ 2.5

พิมล เรียงวัฒนา, 2525 ศึกษาระดับตะกั่วในดินของเขตกว้างเมือง เชียงใหม่ พบ ว่า ตะกั่วในดินที่เก็บได้จากบริเวณชุมชนในเขตกว้างเมือง และข้างทางสายไฮเวย์ เชียงใหม่- ลานาง บริเวณกิโลเมตรที่ 1-11 ตะกั่วในตัวอย่างดินมีปริมาณตั้งแต่ 1.52-143 ส่วนในล้านส่วน และพบว่า ปริมาณตะกั่วในดินที่เก็บในจังหวัด เชียงใหม่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี

อรารรรณ ศิริรัตนพิริยะ, 2526 ศึกษาผลกระทบของปริมาณโลหะหนัก(ตะกั่ว) จากการ คมนาคมต่อพืชอาหารสัตว์ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าตะกั่วในดินในลักษณะ extractable ซึ่ง จะมีผลต่อการคั่งคูดพืชอาหารสัตว์ ณ บริเวณนั้นจากถนน 8 สาย พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินค่าสูงสุด คือ 1.45 ส่วนในล้านส่วน ณ จุดห่างจากขอบถนน 10 เมตรของถนนพุทธมณฑลสาย 2 และสูงสุด คือ 32.09 ส่วนในล้านส่วน ณ จุดขอบถนนวิภาวดีรังสิต ซึ่งค่าตัวเลขเหล่านี้บ่งบอกให้ทราบว่า ปริมาณตะกั่วในดินของถนนทุกสายยังไม่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ เพราะเป็นที่ยอมรับ กันโดยทั่วไปว่า ตะกั่วจะมีอยู่ในดินตามธรรมชาติประมาณ 10-15 ส่วนในล้านส่วน

Bevan, Colwil and Hobgin, 1974 ทักษะวัดปริมาณอนุภาคตะกั่วบน The M₄ Motorway ในเมืองฮาร์ลิงตัน ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีปริมาณการจราจรประมาณ 70,000 คันต่อ วัน พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงอย่างมาก เมื่อเพิ่มระยะทางจากถนนให้มากขึ้น เก็บตัวอย่าง ดินโดยเก็บที่ผิวดิน มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณตะกั่วในดินตามเกาะกลางถนนต่างๆ

ชื่อถนน	ปริมาณตะกั่ว(พีพีเอ็ม.)
พระรามที่ 4 (หน้ารพ.จุฬา ใกล้เคียง)	3655.0
วิภาวดีรังสิต(ใกล้วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร)	1901.0
พญาไท(หน้าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใกล้ประตูใหญ่)	1197.7
พหลโยธิน(หน้าธนาคารกรุงเทพ จวัด)	1052.0
วิษุ(ใกล้สถานทูตอเมริกัน)	551.8
อรุณ-ดินแดง(ใกล้โบสถ์พระแม่มาลี)	420.8
ลาดพร้าว(หน้าธนาคารกรุงเทพ จวัด)	331.5
สุขุมวิท 71(หน้ามหาวิทยาลัยรามคำแหง)	48.5

ที่มา: นवलวี ไขบัวเทศ และคณะ, 2520

ตารางที่ 2.5 ระดับตะกั่วในดินของหมู่บ้านที่ท่ากบแคเขตเคอริมาถมนถนน

ชนิดของตัวอย่างดิน	พิคของความแปรผัน(ppm.)	ค่าเฉลี่ย(ppm.)
ผิวดินหัวถนน	3,625-3,875	3,750
ผิวดินหน้าลานบ้านผู้ป่วย	3,750-3,500	3,625
ผิวดินท้ายถนน	3,800-4,000	3,900
ผิวดินข้างถนน	1,833-1,950	1,892
ดินในระดับ 30 ซม.ข้างถนน	45	45
ผิวดินหัวถนนที่ฝังใต้ถมด้วยการแคเคอริ	80-120	145

ที่มา : เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต และกัญญา วัชยากร, 2520

ปริมาณตะกั่วในดินที่ระยะทาง 3.05 เมตร มีค่า 1,564-2,022 ไมโครกรัมต่อกรัม
" " 4.58 " " 870-1,600 "
" " 6.10 " " 653-873 "
" " 9.15 " " 80-258 "
" " 15.25 " " 74-93 "

Burguera, Burguera and Belandria, 1988 ศึกษาปริมาณตะกั่วในดินริมถนนและใน Lichen species บางชนิด และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับปริมาณตะกั่วในดินริมถนนด้วย พื้นที่ศึกษาคือ ในเมือง เมริกา ประเทศเวเนซุเอลา เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-2 เซนติเมตร และระยะทาง 5-20 เซนติเมตรจากขอบถนน พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในดินริมถนนกับปริมาณการจราจรว่าจะแปรผันตามกัน เช่น ที่ปริมาณการจราจร 12,000 คันต่อวัน จะพบปริมาณตะกั่วในดินริมถนนโดยเฉลี่ย 80 ไมโครกรัมต่อกรัม แต่ที่ปริมาณการจราจร 24,000 คันต่อวัน ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนจะมีค่าโดยเฉลี่ยถึง 160 ไมโครกรัมต่อกรัม

Burguera and Randon, 1988 ศึกษาสารตะกั่วในดินบริเวณริมถนนในเมือง เมริกา ประเทศเวเนซุเอลา พบว่าถ้าปริมาณรถที่ผ่านถนนมีจำนวนน้อยกว่า 5,000 คันต่อวัน จะไม่สามารถสังเกตเห็นการสะสมของตะกั่วบริเวณผิวดิน (0-2 เซนติเมตร) แต่ถ้ามีปริมาณรถที่ผ่านถนนมากกว่า 10,000 คันต่อวัน ระดับตะกั่วในดินจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ยิ่งไกลจากถนนและยิ่งลึกลงจากผิวดินมากขึ้นเท่าใดปริมาณตะกั่วในดินจะยิ่งลดลง

Chow, 1970 ศึกษาการปนเปื้อนของตะกั่วในดินริมถนนและในหญ้าใน US Highway I และ Baltimore-Washington Parkway ในแมริแลนด์ พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนทางทิศตะวันออกจะมีค่ามากกว่าทางทิศตะวันตก ซึ่งเป็นเพราะทิศทางลมที่พัดจากทางตะวันตกไปตะวันออก ยิ่งระยะห่างจากถนนมากเท่าใด ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนจะยิ่งลดลง หากการทดลองใน 3 ระยะทาง คือ 7.6, 15 และ 30 เมตรจากถนน ปริมาณตะกั่วในดินในบริเวณ US Highway I คือ 403 ส่วนในล้านส่วน ที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร และ จะลดลงไปที่ 60 ส่วนในล้านส่วน ที่ความลึก 10-15 เซนติเมตร บริเวณ Baltimore-Washington Parkway ก็เช่นเดียวกัน ปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงจาก 122 ส่วนในล้านส่วน ไปเป็น 9 ส่วนในล้านส่วน ที่ความลึกเดียวกันกับ US Highway I ปริมาณการจราจรของ US Highway I คือ 24,000 คันต่อวัน จึงมีปริมาณตะกั่วในดินน้อยกว่าของ Baltimore-Washington Parkway ซึ่งมีปริมาณการจราจร 56,000 คันต่อวัน

Czarnowska and Walzak, 1988 ท้าการศึกษาปริมาณตะกั่ว สังกะสีและแมงกานีส ในเมือง Lodz city ประเทศโปแลนด์ พบว่ามีปริมาณตะกั่วในดิน 6-650 ส่วนในล้านส่วน โดย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 56 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณตะกั่วในดินที่ตรวจพบในเมืองอื่น ๆ

Davies and Holmes, 1972 ท้าการวิจัยเกี่ยวกับ ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนและ ในหญ้า ในเมือง เบอร์มิงแฮม ประเทศอังกฤษ เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนซึ่งได้รับผลจากสารตะกั่วจากท่อไอเสียของรถยนต์ มีปริมาณมากกว่า background level ปริมาณตะกั่วสูงสุดจะพบอยู่ที่บริเวณใกล้ถนน และจะลดลงเมื่ออยู่ห่างออก จากถนนไปเรื่อย ๆ เช่น ที่ระยะทาง 1 เมตรจากถนน ปริมาณตะกั่วในดินมีค่าเฉลี่ย 130 ส่วน ในล้านส่วน ที่ระยะทาง 25 เมตร มีปริมาณตะกั่วในดิน 80 ส่วนในล้านส่วน และที่ระยะทาง 50 เมตร มีปริมาณตะกั่วในดิน 30 ส่วนในล้านส่วน ค่าbackground level มีค่าน้อยกว่า 25 ส่วน ในล้านส่วน ปริมาณการจราจรมีค่า 17,500 คันต่อวัน

Ganje and Page, 1972 ศึกษาการบนเื้อนของตะกั่วในพืช ในดินและในอากาศใกล้ ถนนในแคลิฟอร์เนียใต้ คือถนน Santa Ana Freeway มีปริมาณการจราจร 69,000 คันต่อวัน ในปี 1968 เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 50-65 เซนติเมตร พบว่าที่ระยะ ความลึก 0-15 เซนติเมตร เห็นความแตกต่างระหว่างปริมาณตะกั่วในดินที่ระยะทางต่าง ๆ ได้ชัดเจน คือ ที่ระยะทาง 4.6 เมตรจากถนนมีปริมาณตะกั่ว 67 ไมครกรัมต่อกรัม แต่ที่ระยะทาง 187 เมตรจากถนนมีปริมาณตะกั่วเพียง 17 ไมครกรัมต่อกรัม ที่ความลึก 50-65 เซนติเมตร จากผิวดินไม่สามารถเห็นความแตกต่างใด ๆ ของปริมาณตะกั่วในดินที่ระยะทางต่าง ๆ กันเลย

Gish and Christensen, 1973 ท้าการศึกษาสารตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และ สังกะสีในสี่เดือนดินจากดินริมถนนของ Maryland Highway ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดย เก็บตัวอย่างดินที่พื้นผิวดิน พบว่า ปริมาณโลหะหนักในดินรวมทั้งตะกั่วจะมีปริมาณสูงในบริเวณที่มี ปริมาณการจราจรมาก กล่าวคือ ใน Baltimore-Washington Parkway ซึ่งมีปริมาณการ จราจร 47,000 คันต่อวัน จะพบปริมาณตะกั่วที่ระยะทางจากถนน 10 ฟุตทางทิศใต้ คือ 700 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ US Highway มีปริมาณการจราจร 25,100 คันต่อวัน พบปริมาณ ตะกั่วที่ระยะทางจากถนน 10 ฟุตทางทิศใต้ มีค่า 313.3 ส่วนในล้านส่วน นอกจากนี้ปริมาณตะกั่ว ในดินริมถนนจะลดลง ถ้าระยะทางจากถนนเพิ่มขึ้น คือ ที่ระยะทางจากถนน 10 ฟุต จะมีปริมาณ ตะกั่วในดินมากที่สุด ส่วนที่ระยะ 160 ฟุตจะพบปริมาณตะกั่วในดินน้อยที่สุด ปริมาณตะกั่วในดินชุด ความคุมมีค่า 14.3 ส่วนในล้านส่วนทางทิศใต้

Harrison, Laxen and Wilson, 1981 ศึกษาการรวมตัวของตะกั่ว ทองแดง แคดเมียมและสังกะสี ในฝุ่นและในดินริมถนน เมืองแลนแคสเตอร์ ประเทศอังกฤษ วิธี Sequential chemical extraction ซึ่งจะแบ่งโลหะเป็น 5 ส่วน คือ exchangeable, carbonate, Fe-Mn oxide, organic และ residual ตะกั่วใหญ่จะรวมตัวกับคาร์บอเนต และ Fe-Mn oxide รองลงมา คือ residual, organic และ exchangeable ผลของการ spiking ดินด้วย $PbSO_4$ จะเป็นผลผลิตของการ deposition ของตะกั่วที่ออกมาจาก เครื่องยนต์ก็ตามักจะถูก เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยการชะล้างเป็นตัวอื่นที่อยู่ในรูปไม่เป็นผลึก ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนในถนนในสหภาพการจราจรหนาแน่น มีค่า 807-6,109 ไมโครกรัมต่อกกรัม แต่ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนในถนนที่มีขนาดเล็ก มีค่าเพียง 245 - 296 ไมโครกรัมต่อกกรัม

Hewitt and Candy, 1990 ทาการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินริมถนนและในฝุ่น ในและนอกเมือง Cuenca ประเทศเอกวาดอร์ ตรวจสอบโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี พบว่าปริมาณตะกั่วในดินริมถนนที่ความลึกจากผิวดิน 2 เซนติเมตร มีระยะห่างจากถนน 5 เมตรในเขตชุมชนเมือง มีค่า 77-970 ไมโครกรัมต่อกกรัม โดยมี background level น้อยกว่า 9 ไมโครกรัมต่อกกรัม แหล่งกำเนิดที่สำคัญ คือ การแพร่กระจายของตะกั่วจากท่อไอเสียของรถยนต์ ส่วนปริมาณตะกั่วในดินริมถนนในเขต suburban มีค่าเฉลี่ย 75 ไมโครกรัมต่อกกรัม และ ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนในหมู่บ้านที่มีประชากรอาศัยอยู่น้อยมาก มีค่าเฉลี่ย 59 ไมโครกรัมต่อกกรัมหรืออยู่ในช่วง 0.6-151 ไมโครกรัมต่อกกรัม ซึ่งผู้ศึกษากล่าวว่า อาจจะได้รับอิทธิพลจากเหมืองแร่บ้าง

Ho, 1979 ศึกษาปริมาณตะกั่วริมถนนในสองกองพบว่า มีค่าตะกั่วประมาณ 132-8,876 ไมโครกรัมต่อกกรัม ซึ่งนับว่า มีค่าใกล้เคียงกันเป็นเวลา 3 ปี

Hoffmann, Scholl and Trenkle, 1989 ศึกษามลพิษจากตะกั่วที่มากจากการจราจร พบว่า ดินระดับพื้นผิวที่ติดถนนมีปริมาณตะกั่วตั้งแต่ 110-479 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจะมีค่าน้อยมากเมื่ออยู่ห่างจากถนนออกไป 20-25 เมตร ปริมาณตะกั่วลดลงตามปริมาณการจราจร ทิศทางของลมมีผลต่อการแพร่กระจายและการตกสะสมของสารตะกั่วด้วย

Lagerwerff and Specht, 1970 ศึกษาการปนเปื้อนของสารตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ในดินและในพืชผักริมถนน โดยมีพื้นที่ที่ทาการศึกษา คือ USI, Beltsuill, Md., ในแมริแลนด์ Washington-Baltimore Parkway ในแมริแลนด์ Interstate 29 ใน

มิสซูรี และ Seymour Road ในโอไฮโอ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนที่ระยะทาง 8 เมตร และความลึก 0-5 เซนติเมตร มีค่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ที่ความลึก 10-15 เซนติเมตร มีค่า 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ระยะทาง 32 เมตร มีปริมาณตะกั่วในดิน 55 และ 6.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ความลึก 0-5 และ 10-15 เซนติเมตร ตามลำดับ ใน US Highway I มีปริมาณการจราจร 20,000 คันต่อวัน ปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร ที่ระยะ 8 เมตรจากถนน มีค่า 522 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน Washington-Baltimore Parkway มีปริมาณการจราจร 48,000 คันต่อวัน ปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 8 เมตรจากถนน มีค่า 540 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ที่ระยะทาง 32 เมตรมีค่า 140 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน Interstate 29 มีปริมาณการจราจร 7,500 คันต่อวัน ปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 8 เมตร มีค่า 242 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ที่ระยะทาง 32 เมตรจากถนนมีค่า 61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การปนเปื้อนเหล่านี้เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน และ ส่วนประกอบของรถยนต์รวมทั้งการตกสะสมบนถนนของอนุภาคตะกั่ว

Lau and Wong, 1982 สํารวจปริมาณสารตะกั่วในดินและฝุ่นริมถนนในฮ่องกง สําคคตะกั่วโดยวิธี ammonium acetate (pH 7.0) เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร แล้วทำการเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่วในดินกับบริเวณต่าง ๆ ทั่วโลก (ตารางที่ 6) พบว่าระดับตะกั่วที่ตรวจพบในฮ่องกง (88 ส่วนในล้านส่วน) มีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณตะกั่วในดินในมิชิแกน (65 ส่วนในล้านส่วน) และในลิเวอร์พูล (96.3 ส่วนในล้านส่วน) แต่จะมีค่าต่ำกว่าที่พบในเออร์บานา (480 ส่วนในล้านส่วน) ผู้วิจัยกล่าวว่า ค่าระดับตะกั่วในดินที่ตรวจพบทั้งหมดนี้เป็นสัญญาณเตือนภัยถึงการปนเปื้อนของสารตะกั่วในดินว่า อยู่ในระดับที่น่าเป็นห่วง เมื่อเทียบกับดินที่นำได้รับการปนเปื้อนเลย ซึ่งมีปริมาณสารตะกั่วในดิน 15 ส่วนในล้านส่วน โดยการศึกษาของ Swaine ในปี 1955 นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่า ปริมาณตะกั่วในดินมีความเกี่ยวข้องกับระยะทางตามถนน ยิ่งไกลจากถนนเท่าไร ปริมาณตะกั่วในดินจะยิ่งลดลงมากขึ้นเท่านั้น จาก 12 จุดเก็บตัวอย่างในฮ่องกง ซึ่งมีปริมาณการจราจรและการใช้ประโยชน์ในพื้นที่แตกต่างกัน พบว่า บริเวณพาณิชย์กรรมและที่อยู่อาศัย มีปริมาณการจราจร 17,970-23,780 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วในดิน 55-101 ส่วนในล้านส่วน บริเวณเกษตรกรรม มีปริมาณการจราจร 1,550-9,220 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วในดิน 66-229 ส่วนในล้านส่วน ในบริเวณอุตสาหกรรมมีปริมาณการจราจร 980-4,190 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วในดิน 28-134 ส่วนในล้านส่วน ในบริเวณที่พักผ่อนหย่อนใจ มีปริมาณการ

จรรยา 20-1,590 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วในดิน 21-71 ส่วนในล้านส่วน

Leita, De Nobili and Spue, 1988 ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินและในพืชในลุ่มบริเวณเทลม Del Predi เมือง Udine ประเทศอิตาลี ตรวจพบปริมาณตะกั่วในดิน 5 ชุด ที่เก็บจากบริเวณเหมืองแร่ Raibl มีค่า 1,092-5,909 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณสังกะสีที่ตรวจพบจากเหมืองแร่นี้ แต่ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพืช พบว่า มีค่าสูงกว่าที่กฎหมายของอิตาลีกำหนดไว้ คือ 40 ส่วนในล้านส่วน

Milberg, Lagerwerff, Brower and Blersdort, 1980 ศึกษาการบนเบื้อนของตะกั่วในดินตามถนนที่มีการสร้างใหม่ คือ ถนน Interstate-95 ใน Beltsvill, Md. ในสหรัฐอเมริกา โดยทำการเก็บตัวอย่างดินตั้งแต่ปี 1971 ถึง 1977 เป็นประจำทุกปี พบว่าปริมาณตะกั่วจะลดลงตามระยะทางจากถนนและลดลงตามความลึกจากผิวดิน และพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกั่วในดินอย่างมีนัยสำคัญจากปี 1971-1977 กล่าวคือ ที่ระยะทาง 8 เมตร ความลึก 0-5 เซนติเมตร ปริมาณตะกั่วในดินในปี 1971 มีค่า 16.8 ไมโครกรัมต่อกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 130 ไมโครกรัมต่อกรัมในปี 1977 ผู้ศึกษากล่าวว่า เป็นเพราะปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถึงแม้ว่าจะมีการนำ catalytic converter เข้ามาใช้ในรถยนต์ในปี 1975 และปริมาณการใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่วอยู่ลดลงก็ตาม

Motto, Daines, Chilko and Motto, 1970 ศึกษาปริมาณตะกั่วในดินและในพืช โดยเน้นความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจร และระยะทางใกล้ไกลจากถนนทางการศึกษาที่ highway ในนิวเจอร์ซีย์ทางตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่ปริมาณการจราจร 12.8×10^3 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 77 ส่วนในล้านส่วน แต่ที่ปริมาณการจราจร 54.7×10^3 คันต่อวัน มีปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ย 118 ส่วนในล้านส่วน และจะมีปริมาณลดลงตามระยะทางจากถนน เช่น ที่ระยะทาง 25 ฟุต ความลึก 0-6 นิ้ว มีปริมาณตะกั่ว 159.5 ส่วนในล้านส่วน แต่ที่ระยะทาง 225 ฟุต ความลึกเดียวกัน มีปริมาณตะกั่ว 92.5 ส่วนในล้านส่วน แต่ที่ความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในดินก็จะลดลงด้วย คือ ที่ความลึก 0-6 นิ้วมีปริมาณตะกั่ว 100.6 ส่วนในล้านส่วนแต่ที่ความลึก 6-12 นิ้ว มีปริมาณตะกั่ว 59.7 ส่วนในล้านส่วน ผลของปริมาณการจราจรจะจำกัดที่อยู่บริเวณพื้นผิวดิน และในระยะทาง 100 เมตรจากถนนเท่านั้น

Page and Ganji, 1970 ศึกษาการปนเปื้อนของสารตะกั่วในดินในบริเวณที่มีปริมาณการจราจรสูงและต่ำใน Los Angeles Metropolitan Area พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินที่เก็บไว้ในปี 1933 มีค่าน้อยกว่าปริมาณตะกั่วในดินที่เก็บในปี 1967 ในบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นน้อยกว่า 80 คันต่อตารางไมล์ จะพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในดินเลย แต่ในขณะที่มีปริมาณการจราจรมากกว่า 580 คันต่อตารางไมล์ ปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึก 25 เซนติเมตร จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วในดินสูงสุดในพื้นที่ที่ทำการศึกษาก็น้อยเกิน 52 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นค่าที่พบกันโดยทั่วไปในดินที่มีปริมาณการจราจรต่ำในพื้นที่อื่น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึกต่างกัน พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินที่ความลึก 0-2.5 เซนติเมตร มีค่าสูงสุด ในขณะที่ความลึก 2.5-15 , 15-30 และ 30-45 เซนติเมตร มีปริมาณตะกั่วในดินไม่แตกต่างกันเท่าไร

Quarles, Handwalt and Odum , 1974 ศึกษาปริมาณสารตะกั่วในสัคว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก ในพืช และในดิน ที่ระยะทางต่างจากถนน พื้นที่ศึกษา คือ Highway US Rt 29 ในเวอร์จิเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ย 12,740 คันต่อวัน พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินในชุดควบคุมมีค่า 17.7 ± 3.7 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเท่ากับ background level คือ 16 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนมีค่าโดยเฉลี่ย 138.6 ± 44.6 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงจนถึงระดับ background level เมื่อเพิ่มระยะทางจากถนนไปเรื่อยๆ เช่น ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนมีค่า 543 และ 190 ส่วนในล้านส่วน ลดลงเป็น 47 และ 50 ส่วนในล้านส่วน ที่ระยะทาง 10 เมตรจากถนนในตำแหน่งทิศตะวันออก เฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ

Ramlan and Bahli, 1989 ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นริมถนนและในดินริมถนนในเมืองกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย เก็บตัวอย่างที่ถนน Jalan-Pahang-Jalan Tuanku Abdul Rahman-Jalan Bangsur และถนน Jalan Parlimen-Jalan Pudu ที่ความลึก 1-5 เซนติเมตร ระยะทางจากถนน 0.5 เมตร โดยใช้วิธี Sequential Extraction Technique ทำการศึกษาในรูป Total, EFLE, Acid Reducible, Oxidisable Organics, Resistant และ Non-Resistant พบว่า ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่พบมากที่สุด ในรูป Total คือ มีค่า 895 ไมโครกรัมต่อกรัมในดินริมถนน ตะกั่วถูกพบในรูป Oxidisable Organics มากที่สุด รองลงมา คือ EFLE, Acid-Reducible และ Resistant ผู้วิจัยกล่าวว่า ตะกั่วนี้มาจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินที่มีสารตะกั่วอยู่ และออกมา

รูป $PbSO_4$ หรือ $PbBrCl$ และพบว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ถูกชะล้างได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ดี จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ตะกั่วเป็นมลพิษที่สำคัญในสภาพแวดล้อมของกัวลาลัมเปอร์ และจากการศึกษา Speciation แสดงให้เห็นว่า 98% ของตะกั่วถูกกระจายออกมาจากสิ่งแวดล้อม และ เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของแหล่งกำเนิดของตะกั่ว

Schmitt, Tripple, Wachtle and Lund, 1988 ศึกษาปริมาณตะกั่วในเขตที่อยู่อาศัยของเมืองมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ในเขตสวนสาธารณะและสวนเด็กเล่น มีปริมาณตะกั่วน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อกรัม ในขณะที่ดินบริเวณติดถนนมีปริมาณตะกั่ว 10-300 ไมโครกรัมต่อกรัม และ ค่าสูงสุดของตะกั่วในดินที่ตรวจพบที่บริเวณที่ทำการของท้องถิ่นซึ่งมีค่า 20,136 ไมโครกรัมต่อกรัม ผู้วิจัยอธิบายว่า คงเป็นเพราะตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายไฮเวย์ก็เป็นได้

Smith, 1976 ศึกษาการปนเปื้อนของตะกั่วในระบบนิเวศวิทยาของถนนในที่ต่าง ๆ โดยนำผลการศึกษาเบื้องต้นของแต่ละถนนมาวิจัยว่า การปนเปื้อนของตะกั่วในดินจะเกิดจากการแพร่กระจายของตะกั่วที่ออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินซึ่งมีการเติมตะกั่วอัลซิลลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ และถูกปลดปล่อยออกมาประมาณ 80 มิลลิกรัมของตะกั่วต่อกิโลเมตรในการขับขี่ ตะกั่วที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ประกอบไปด้วยตะกั่วหลายชนิด ตะกั่วในดินก็มาจากการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วในบรรยากาศ โดย Sedimentation และ Precipitation ปริมาณตะกั่วในดินริมถนนที่พื้นผิว 0-5 เซนติเมตรที่บริเวณริมถนนจะมีปริมาณตะกั่วในดินที่อยู่ห่างจากถนนไปไม่กี่เมตรถึง 30 เท่า ตะกั่วในดินจะถูกจับไว้ด้วยอินทรีย์วัตถุ หรืออาจจะปรากฏอยู่ในรูปของตะกั่วซัลเฟตซึ่งไม่ละลายน้ำ การปนเปื้อนของตะกั่วในดินริมถนนจะขึ้นอยู่กับระยะทางจากถนนที่ทำการเก็บตัวอย่าง และ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจร

Vandabeele and Wood, 1972 ศึกษาการแพร่กระจายของตะกั่วตามความยาวของถนน Logan-Smithfield, Utah Highway 91 เก็บตัวอย่างที่ความลึก 10 เซนติเมตรจากผิวดิน พบว่า ที่ระยะทางยิ่งไกลออกไปจากถนน ปริมาณตะกั่วในดินก็จะยิ่งลดลง เช่น ที่ระยะทาง 10 เมตร มีปริมาณตะกั่วในดิน 186 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ระยะทาง 170 เมตรจากถนน มีปริมาณตะกั่วในดิน 35.8 ส่วนในล้านส่วน และการกระจายของปริมาณตะกั่วในดินซึ่งเป็นผลมาจากการจราจรนี้ถูกจำกัดอยู่ในระยะทางแคบของถนนไม่เกิน 33 เมตรจากขอบถนน

Ward, 1988 ศึกษาการปนเปื้อนของสารตะกั่วในดินใน London Orbital(M 25) Motorway ที่เมือง Watford ประเทศอังกฤษ ตั้งแต่เริ่มเปิดใช้งานปี 1986 โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-2 เซนติเมตรจากพื้นดินในระยะทางต่างกัน วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินโดยวิธี Inductively coupled plasma-source mass spectroscopy (ICP-MS) พบว่าปริมาณตะกั่วในดินเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อถนนรองรับปริมาณการจราจรประมาณ 90,000 คันต่อวัน หลังจากเปิดใช้งาน 1 ปี ปริมาณตะกั่วในดินจะเพิ่มขึ้นทั้งที่ริมถนน และห่างจากถนนออกไป 80 เมตร ปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยมีค่า 720-3,400 ไมโครกรัมต่อกรัมที่ระยะทาง 0-1 เมตรจากถนน โดย background level มีค่า 19 ไมโครกรัมต่อกรัม

Ward, Reeves and Brooks, 1975 ศึกษาปริมาณตะกั่วในดินและในพืชผักที่ New Zealand State Highway ที่มีปริมาณการจราจรต่ำ บริเวณพื้นที่อยู่ห่างจากเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดเป็นระยะทาง 20 กิโลเมตร และมีทางหลวงตัดผ่าน โดยมีปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ย 1,200 คันต่อวัน การปนเปื้อนของตะกั่วในดินถูกพบภายในระยะทาง 100 เมตรจากถนน ที่ความลึกจากพื้นดินต่ำกว่า 5 เซนติเมตร จะไม่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกั่วในดิน ปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงตามความลึก และ background level ของตะกั่วในดินที่ศึกษามีค่า 42 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณตะกั่วในดินจะลดลงตามระยะทางจากถนนที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่ระยะทาง 10 เมตรจากถนน มีปริมาณตะกั่วในดิน 160 ไมโครกรัมต่อกรัม ที่ระยะทาง 30 เมตรจากถนน มีปริมาณตะกั่วในดิน 90 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนที่ระยะทาง 100 เมตรจากถนน มีปริมาณตะกั่วในดินเพียง 55 ไมโครกรัมต่อกรัม ผู้วิจัยได้สรุปว่า ตะกั่วที่ถูกปล่อยออกมาจากท่อไอเสียจะแพร่กระจายไปจากพื้นที่ใต้เนื่องจาก

- 1) ท่อไอเสียรถยนต์ที่ปล่อยตะกั่วอยู่ห่างจากถนนเป็นระยะทาง 250 เมตร
- 2) มีการพัดพาโดยลม
- 3) ถูกชะล้างอนุภาคตะกั่วที่ละลายน้ำได้โดยน้ำไปสู่อินที่ความลึกมากกว่า 6 เซนติเมตร

Yassoglou, Kosmas, Asimakopoulous and Kallinov, 1987 ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินริมถนนใน Greater Athens Area การกระจายของชั้นต่าง ๆ ในดินริมถนนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นแสดงผลดังรูปที่ 2.10 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกั่วในชั้นผิวดิน(0-5 เซนติเมตร)โดยมีค่า 60-3,520 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Ward, et al., 1977 ในนิวยอร์ก และ Chow, 1970 ในแมริแลนด์ สหรัฐอเมริกา ปริมาณตะกั่วในดินที่เป็น parent material มีค่า 65-110 ไมโครกรัมต่อกรัม จะเห็นว่าปริมาณ

ตะกั่วในดินที่ตรวจพบมีปริมาณสูงกว่ามาก ตะกั่วที่สะสมอยู่ในดินจะมาจากการปล่อยไอเสียจากรถยนต์ และจะมีปริมาณลดลงตามระยะทางจากถนน โดยมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการจราจรด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่า สาเหตุสำคัญของการบินขึ้นของสารตะกั่วในดินริมถนน คือ ไอเสียรถยนต์ การกระจายของตะกั่วที่แสดงดังในรูปที่ 2.7 พิจารณาได้ว่า ระดับการปนเปื้อนของตะกั่วในดินในระดับพื้นผิวจะลดลงตามระยะทางภายในระยะ 5 เมตรแรกจากถนน และจะลดลงเข้าสู่ background level ที่ระยะทางประมาณ 50 เมตร ดังนั้นภายใต้สภาวะอากาศและการจราจรใน Greater Athens Area การเพิ่มพูนของสารตะกั่วในดินริมถนน จะอยู่ในแนวทางเดียวกันตลอดสองข้างของถนน ซึ่งจะมีระยะทางห่างจากขอบถนนเท่ากันประมาณข้างละ 20 เมตร ในบางกรณีการตกสะสมของตะกั่วมาได้น้อยลงเลย ถึงแม้จะมีพืชผักมาปกคลุมผิวดินอีกชั้นหนึ่งก็ตาม ทั้งนี้เพราะฝุ่นที่มีตะกั่วปะปนอยู่จะถูกพัดโดยลมที่แรง อย่างเช่น ในช่วงฤดูร้อนที่มีลมแรงและแห้ง ตะกั่วจะถูกพัดตกกระจายไปยังที่ไกลออกไป ซึ่งจะเพิ่มอันตรายเนื่องจากการตกสะสมของตะกั่วมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 การปนเปื้อนของสารตะกั่วในดินที่ต่างๆ ตามระยะทางจากถนน

Table 1 Lead contamination of roadside surface soils.

Traffic volume ^a (veh/24 hr)	Location	Extracting agent	Sampling depth ^b (cm)	Sampling distance perpendicular to roadway and soil lead content ^c			Constant soil lead level achieved (m)
				Closest to roadway	Midway (m)	Farthest from roadway	
56,000	Maryland	hydrochloric acid	0-5	7.6	15	30	
				122	75	63	
(24,000)	Maryland	hydrochloric acid	0-5	7.6	15	30	
				403	211	92	
54,700	New Jersey	perchloric acid	0-15	7.6	38	67	
				169	98	78	
(12,800)	New Jersey	perchloric acid	0-15	7.6	38	67	
				134	60	58	
64,180	Minneapolis-St. Paul	nitric, sulfuric perchloric acids	0-6.25	1.5			15
				700			
(1,900)	Minneapolis-St. Paul	nitric, sulfuric perchloric acids	0-6.25	1.5			15
				128			
16,000	Brisbane Australia	perchloric	0-5	2	125	250	25
				145	30	25	
(3,700)	Brisbane Australia	perchloric	0-5	2	125	250	25
				130	20	20	
7,000	Denver	nitric acid	0-15	1.5	30	91	15-18
				500	30	30	
>4,000	Illinois	unidentified	0-10	0	30	60	20
				450	20	20	
(2,000)	Illinois	unidentified	0-10	0	30	60	10
				25	17	17	
1,200	New Zealand	nitric, hydro-fluoric acids	0.5	10	30	100	
				160	90	55	
48,000	Maryland	hydrochloric acid	0-5	8	16	32	
				540	202	140	
(20,000)	Maryland	hydrochloric acid	0-5	8	16	32	
				522	378	164	
23,000	Ohio	hydrochloric acid	0-5	8	16	32	
				150	101	55	
7,500	Missouri	hydrochloric acid	0-5	8	16	32	
				242	140	61	
70,000	California	nitric acid	0-7.5	15	197	364	76 ^d
				118	85	81	
(58,000)	California	nitric acid	0-7.5	15	198	362	77 ^d
				118	74	85	
29,000	Michigan	nitric acid	0-15	6	73	158	
				150	50	50	
17,500	England	nitric/sulfuric acid	0-10	1		25	50
				130		80	
Lead ore truck route	Missouri	unidentified	0-8	11	46	259	50
				137	24	850	

^aIn studies with more than one traffic volume examined, the data for the highest and (lowest) volume roads are given.

^bIn studies with more than one sample depth, the depth exhibiting the highest Pb level is given.

^cIn studies with both sides of the roadway sampled, the side exhibiting the highest Pb level is given (dry wt basis).

^dNo samples collected between 15 and 76m.

ตารางที่ 2.7 การปนเปื้อนของตะกั่วในดินนที่ต่างๆ ตามความลึก

Table II. Lead contamination of roadside soil profiles.

Traffic volume ^a (veh/24 hr)	Location	Extracting agent	Sampling distance perpendicular to roadway ^b (m)	Sampling depth and soil lead content ^c			Constant soil lead level achieved (cm)
				Closest to surface	Midway (cm) lead (μg/g)	Farthest from surface	
56,000	Maryland	hydrochloric acid	7.6	0-5 122	5-10 13	10-15 15	
(24,000)	Maryland	hydrochloric acid	7.6	0-5 403	5-10 252	10-15 121	
54,700	New Jersey	perchloric acid	25	0-15 169		15-30 48	
(12,800)	New Jersey	perchloric acid	25	0-15 134		15-30 82	
16,000	Brisbane Australia	perchloric	2	3 145	12 60	25 40	
(3,700)	Brisbane Australia	perchloric	2	3 130	12 40	25 30	
7,000	Denver	nitric acid	c	8 40	46 25	91 20	61
Urban area	Champaign-Urbana	c	c	0-10 390	20-30 48	40-80 19	
Rural area (no roads)	Illinois	c	c	0-10 16	20-30 7	40-80 4	
1,200	New Zealand	nitric, hydro-fluoric acids	10	0.5 160	3 60	6 50	6
48,000	Maryland	hydrochloric acid	8	0-5 540	5-10 300	10-15 98	
(20,000)	Maryland	hydrochloric acid	8	0-5 522	5-10 460	10-15 416	
23,000	Ohio	hydrochloric acid	8	0-5 150	5-10 29	10-15 11	
7,500	Missouri	hydrochloric acid	8	0-5 242	5-10 112	10-15 95	
70,000	California	nitric acid	76	0-7.5 76	25-40 83	>65 N.D. ^d	50-65
Urban area	Australia	acetic acid	c	0-5 17	15-30 0.7	45-60 0.4	
12,000 (Urban area)	Illinois	c	<10	0-10 390	20-30 48	40-80 19	

^aIn studies with more than one traffic volume examined, the data for the highest and (lowest) volume roads are given.

^bIn studies with more than one perpendicular sampling distance, the distance exhibiting the highest Pb level is given.

^cIn studies with both sides of the roadway sampled, the side exhibiting the highest Pb level is given (dry wt basis).

^dN.D. = not detectable (<1 μgPb/gm).

^eNot identified.