บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความเข้มข้นของอนุภาคตะกั่วในอากาศ บริเวณหน้ากรมอุตุนิยมวิทยา ถนนสุขุมวิท เปรียบเทียบกับ บริเวณปากซอยลาดพร้าว 87 ถนนลาดพร้าว ซึ่งมีปริมาณรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 1514 คัน/ชั่วโมง และ 1436 คัน/ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศเฉลี่ย 12 ชั่วโมง ที่ระยะ 0, 5, 15 และ 30 เมตรจากขอบทางเท้าของถนน ที่ถนนสุขุมวิทมีค่า 1.56, 1.18, 0.77 และ 0.44 มคก./ม.^{3} และที่ถนนลาดพร้าวมีค่า 2.10, 1.42, 0.91 และ 0.51 มคก./ม.^{3} ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้บริเวณถนนสุขุมวิทมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วน้อยกว่าที่ถนนลาดพร้าว ทั้งๆที่ปริมาณรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินมีค่ามากกว่า เนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างในบริเวณนั้นก่อให้เกิดกระแสลมวนหรือความปั่นป่วนเชิงกล ทำให้ลมมีการเปลี่ยนทิศทางอยู่ตลอดเวลา ส่วนที่ถนนลาดพร้าวนั้น จุดเก็บตัวอย่างเป็นที่โล่ง

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้โดยใช้สมการเกาส์เสียน ที่ถนนสุขุมวิท ค่าที่วัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้โดยใช้ atmospheric stability class A ซึ่งเป็นลักษณะอากาศแบบไม่คงตัวมีการฟุ้งกระจายได้ดี ส่วนที่ถนนลาดพร้าว ค่าที่วัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้โดยใช้ atmospheric stability class D ซึ่งเป็นลักษณะอากาศแบบเป็นกลาง

สำหรับจุดเก็บตัวอย่างจังหวัดภูเก็ต บนถนน 2 สาย คือที่ป้อมยามหาดป่าตอง และที่สถานีอนามัยตำบลกะรน เป็นลักษณะถนนในต่างจังหวัด บริเวณสองข้างถนนไม่มีอาคารสิ่งก่อสร้างสูงๆ ปริมาณรถยนต์ซึ่งใช้น้ำมันเบนซินที่หาดป่าตองมีประมาณ 110 คัน/ชั่วโมง และที่สถานีอนามัยตำบลกะรนมี ประมาณ 13 คัน/ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ เฉลี่ย 12 ชั่วโมงมีค่าน้อยกว่า 0.35 มคก./ม.^{3} ทุกจุดวัด แต่ที่สถานีอนามัยตำบลกะรนตัวอย่างที่เก็บได้จะมีปริมาณฝุ่นมากกว่าที่ป้อมยามหาดป่าตอง ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณใกล้เคียงสถานีอนามัยตำบลกะรนกำลังมีการก่อสร้างรถบรรทุกวิ่งเข้าออกมากทำให้ฝุ่นดินลูกรังจากถนนฟุ้งกระจายอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้น ความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ จึงขึ้นอยู่กับปริมาณรถยนต์ซึ่งใช้น้ำมันที่มีตะกั่วผสมอยู่ ระยะห่างจากถนน ลักษณะอากาศและขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของจุดเก็บตัวอย่างซึ่งมีผลต่อการฟุ้งกระจายของตะกั่วในอากาศ

5.1.2 การละลายน้ำของอนุภาคตะกั่วจากการจราจร ที่ระยะ 0 เมตร จุดเก็บตัวอย่างกรมอุตุนิยมวิทยา ถนนสุขุมวิท เปอร์เซนต์ของตะกั่วที่ละลายน้ำได้ <3.4% ไม่สามารถหาค่าการละลายที่แน่นอนได้เนื่องจากค่าความเข้มข้นตะกั่วที่ละลายน้ำได้มีค่าต่ำกว่า detection limit ของเครื่องมือ การที่ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่ละลายน้ำมีค่าน้อยเช่นนี้ เมื่อพิจารณาจากค่า electrode potential ของตะกั่วนั้น ตะกั่วอิออนชอบที่จะรวมตัวกับอิเลคตรอน เพื่อที่จะเป็น $Pb^{\circ}(s)$ มากกว่าที่จะเป็นตัวให้อิเลคตรอน

$$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb^{\circ}(s) \quad : \quad E^{\circ} = -0.126$$

มีเพียงสภาวะเดียวที่ Pb^{2+} จะ stable คือเมื่ออยู่ในสภาพที่ pH น้อยกว่า 2 และเป็น oxidizing condition (Garrels and Christ, 1965) ดังนั้นตะกั่วในน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารแขวนลอยและตกสะสมเป็นดินตะกอน และจากที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.1 ว่าเกลือของ PbBrCl ซึ่งเป็นเกลือส่วนใหญ่ที่ออกจากไอเสียรถยนต์สามารถละลายน้ำได้ แต่เมื่อถูกแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็น $PbCl_2$ ซึ่งไม่ละลายน้ำ

5.1.3 อัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วที่ระยะทางต่างๆ ภายในระยะ 30 เมตร จากขอบทางเท้าของถนน ที่หน้ากรมอุตุฯ ถนนสุขุมวิท มีค่าเฉลี่ย 0.31-0.07 มก./ม.^{2}-วัน และที่ถนนลาดพร้าว บริเวณปากซอยลาดพร้าว 87 อัตราการตกสะสมมีค่าเฉลี่ย 0.31-0.04 มก./ม.^{2}-วัน

ที่ภูเก็ต ป้อมยามหาดป่าตอง อัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.02 มก./ม.^{2}-วัน ที่ระยะ 0 เมตร ส่วนที่ระยะ 5, 15 และ 30 เมตรมีค่า <0.02 มก./ม.^{2}-วัน ปริมาณรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน ประมาณ 110 คัน/ชั่วโมง ส่วนที่สถานีอนามัยตำบลกะรน อัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วที่ระยะ 0, 5, 15 และ 30 เมตรจากขอบทางเท้าของถนนมีค่า 0.09, 0.07, 0.02 และ <0.02 มก./ม.^{2}-วัน ตามลำดับ ปริมาณรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินประมาณ 13 คัน/ชั่วโมง ซึ่งปริมาณตะกั่วที่ได้ขัดแย้งกับปริมาณรถยนต์ซึ่งใช้น้ำมันเบนซินที่วิ่งผ่านจุดเก็บตัวอย่าง ดังนั้น ปริมาณตะกั่วที่สูงขึ้นในตัวอย่างที่สถานีอนามัยตำบลกะรนจึงคาดว่ามาจากฝุ่นดินลูกรัง เพราะบริเวณดังกล่าวกำลังมีการก่อสร้าง มีรถบรรทุกดินวิ่งมากทำให้ฝุ่นจากถนนฟุ้งอยู่ตลอดเวลา

การหาอัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วนี้ เราตั้งภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างให้สูงจากพื้นดิน 30 ซม. เพื่อป้องกันการฟุ้งขึ้นของดินบริเวณจุดเก็บตัวอย่างลงในภาชนะเก็บตัวอย่าง แต่ที่ความสูงนี้ก็อาจจะยังมีฝุ่นบางส่วนจากพื้นดินที่สามารถฟุ้งลงในภาชนะเก็บตัวอย่างได้ แต่ถ้าตั้งภาชนะสูงจากพื้นเกินกว่า 30 ซม. ก็จะทำให้จุดประสงค์ของการหาการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วลงสู่พื้นผิดวัตถุประสงค์ไป

5.1.4 เปอร์เซนต์การตกสะสมของอนุภาคตะกั่วจากการจราจรซึ่งคำนวณได้จาก อัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วที่ระยะทางต่างๆ กับ ปริมาณตะกั่วที่ปล่อยออกสู่อากาศซึ่งคำนวณจากการใช้น้ำมันเบนซินของรถยนต์ ได้ว่า ที่หน้ากรมอุตุฯ ถนนสุขุมวิท เปอร์เซนต์การตกสะสมของอนุภาคตะกั่ว เท่ากับ 2.44% ภายในระยะ 30 เมตรจากขอบทางเท้าของถนน หรือภายในระยะ 45 เมตรจากจุดกึ่งกลางถนน และที่ถนนลาดพร้าว บริเวณปากซอยลาดพร้าว 87 เปอร์เซนต์การตกสะสมของอนุภาคตะกั่ว เท่ากับ 5.13% ภายในระยะ 30 เมตรจากขอบทางเท้าของถนน หรือภายในระยะ 45 เมตรจากจุดกึ่งกลางถนน สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของอนุภาคตะกั่วในอากาศในข้อ 5.1.1 คือในบริเวณที่มีการฟุ้งกระจายได้ดีการตกสะสมจะมีค่าน้อย

ดังนั้นจึงได้ว่า อนุภาคตะกั่วที่ปล่อยออกสู่อากาศจากรถยนต์ซึ่งใช้น้ำมันเบนซิน สามารถฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศได้กว่า 90%

ส่วนที่ภูเก็ตไม่สามารถหาเปอร์เซนต์การตกสะสมของอนุภาคตะกั่วได้ เนื่องจากตัวอย่างที่หาดป่าตองปริมาณตะกั่วที่ได้มีค่าน้อยกว่า detection limit ของเครื่องมือดังนั้นในการคำนวณ อัตราการตกสะสมจึงทำ regression line ไม่ได้ ส่วนที่ตำบลกะรนข้อมูลมีการปนเปื้อนของตะกั่วในดินลูกรังจากถนน จึงทำให้อัตราการตกสะสมมีค่าสูงกว่าอัตราการปล่อยตะกั่วออกสู่อากาศจากแหล่งกำเนิด

5.1.5 การกระจายขนาดของอนุภาคตะกั่วในอากาศจากการจราจร พบว่า สัดส่วนของอนุภาคตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.43 ไมครอน ที่ระยะ 0 เมตรจากขอบทางเท้าของถนน ที่ถนนสุขุมวิทและถนนลาดพร้าว เท่ากับ 69% และ 51% ตามลำดับ และสัดส่วนของอนุภาคตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ที่ถนนสุขุมวิท และถนนลาดพร้าว เท่ากับ 90% และ 91% ตามลำดับ ซึ่งยืนยันว่าอนุภาคตะกั่วส่วนใหญ่มีขนาดเล็กพอที่จะฟุ้งกระจายไปได้ไกลๆ จากแหล่งกำเนิด

อนุภาคขนาดใหญ่ 5-50 ไมครอน จะตกใกล้แหล่งกำเนิด ส่วนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน จะยังคงฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศได้นาน (Laxen and Harrison, 1977)

5.2 ประโยชน์จากงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้เป็นการหาความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ และที่ตกสะสมลงสู่พื้นดินเพื่อนำมาใช้อธิบายสถานการณ์ของปริมาณตะกั่วในอากาศในปัจจุบัน

5.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ

ถ้าเราจะประมาณกันว่าในแต่ละปี สำหรับประเทศไทยเรานั้นได้ปล่อยปริมาณตะกั่วออกสู่อากาศโดยคิดเฉพาะจากการจราจร เป็นจำนวนเท่าใด โดยคำนวณจากปริมาณการใช้น้ำมันเบนซินที่มีตะกั่วผสมอยู่ ดังนี้

ตารางที่ 5-1 ประมาณปริมาณการปล่อยตะกั่วออกสู่อากาศจากปริมาณการใช้น้ำมันของประเทศ

พ.ศ.	การใช้น้ำมันเบนซิน (ล้านลิตร/ปี)		ปริมาณสารตะกั่วในน้ำมัน (ตัน/ปี)		
	ธรรมดา	พิเศษ	จากเบนซินธรรมดา	จากเบนซินพิเศษ	รวม
2525	1331.527	718.268	665.763	531.518	1197.281
2526	1322.229	747.037	661.115	552.807	1213.922
2527	1270.956	838.221	597.349	502.326	1099.675
2528	1237.619	851.807	556.928	383.313	940.241
2529	1336.183	932.753	601.282	419.739	1021.021

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530)

หมายเหตุ : ปี พ.ศ. 2525 และ 2526 ปริมาณตะกั่วในน้ำมันเบนซิน มี 0.5 กรัม/ลิตร ในน้ำมันเบนซินธรรมดา และ 0.74 กรัม/ลิตร ในน้ำมันเบนซินชนิดพิเศษ หลังจากนั้นปริมาณตะกั่วในน้ำมันเบนซินทั้งสองชนิดมีค่า 0.45 กรัม/ลิตร (โดยการสุ่มตัวอย่าง, สวล.,2530)

ปริมาณการใช้น้ำมันทั้งประเทศนี้ประมาณว่า 50% เป็นการใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร (กองน้ำมันเชื้อเพลิง กระทรวงอุตสาหกรรม, 2528) ดังนั้นครึ่งหนึ่งของปริมาณตะกั่วจากยานพาหนะ เป็นปริมาณตะกั่วที่อยู่ในอากาศของกรุงเทพมหานคร ถึงแม้ว่าจะมีการลดปริมาณตะกั่วลงแล้วก็ตามแต่แนวโน้มการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้น ก็ทำให้ปริมาณตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละปี จากค่าอัตราการตกสะสมของอนุภาคตะกั่วที่ถนนลาดพร้าว ซึ่งมีการตกสะสมประมาณ 5.13% ภายในระยะ 30 เมตรจากขอบทางเท้าถนน ถ้าเราจะคำนวณว่าภายในระยะ 1 กิโลเมตร อนุภาคตะกั่วจะมีการตกสะสมเป็นอย่างไร แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 5-2 เปอร์เซนต์การตกสะสมของอนุภาคตะกั่วภายในระยะ 1000 เมตรจากแหล่งกำเนิด

x เมตร	y (มก./ม.2-วัน)	estimate Y (มก./ม.2-วัน)	เปอร์เซนต์การตกสะสม
15	0.31	0.33	4.82
20	0.20	0.19	0.11
30	0.10	0.09	0.12
45	0.04	0.04	0.08
50		0.035	0.017
100		0.0097	0.102
200		0.0027	0.057
300		0.00126	0.018
500		0.00049	0.016
1000		0.00014	0.014
รวม			5.35

หมายเหตุ : ค่า x เป็นระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถนน สมมติให้แหล่งกำเนิดเป็นเส้นตรงอยู่กึ่งกลางถนน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากอัตราการตกสะสมที่แสดง อนุภาคส่วนใหญ่ของตะกั่วยังคงฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ จากตารางที่ 5-2 ภายในระยะ 45 เมตรจากแหล่งกำเนิดมีการตกสะสม 5.13% เมื่อไกลออกไปภายในระยะ 1 กิโลเมตร จากการจราจร การตกสะสมเป็น 5.35% เพิ่มขึ้นเพียง 0.22% แสดงว่าอนุภาคตะกั่วส่วนใหญ่แล้วจะฟุ้งกระจายไปได้ไกลมากเป็นหลายๆกิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นประชาชนทั่วไปถึงแม้จะไม่ได้อยู่ติดถนนก็มีโอกาศที่จะต้องหายใจเอาตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงการดำเนินชีวิตในทุกๆวันแล้วจะเห็นว่าเรามีโอกาศที่จะต้องหายใจเอาตะกั่วเข้าสู่ร่างกายอยู่ตลอดเวลาทุกวันและตลอดไป อนุภาคตะกั่วขนาด 1 ไมครอนและเล็กกว่าสามารถผ่านระบบหายใจเข้าสู่ถุงลมปอดและซึมผ่านเข้าสู่กระแสโลหิต ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง นอกจากนั้น ยังทำลายระบบประสาท และมีผลต่อไตทำให้เกิดไตพิการ

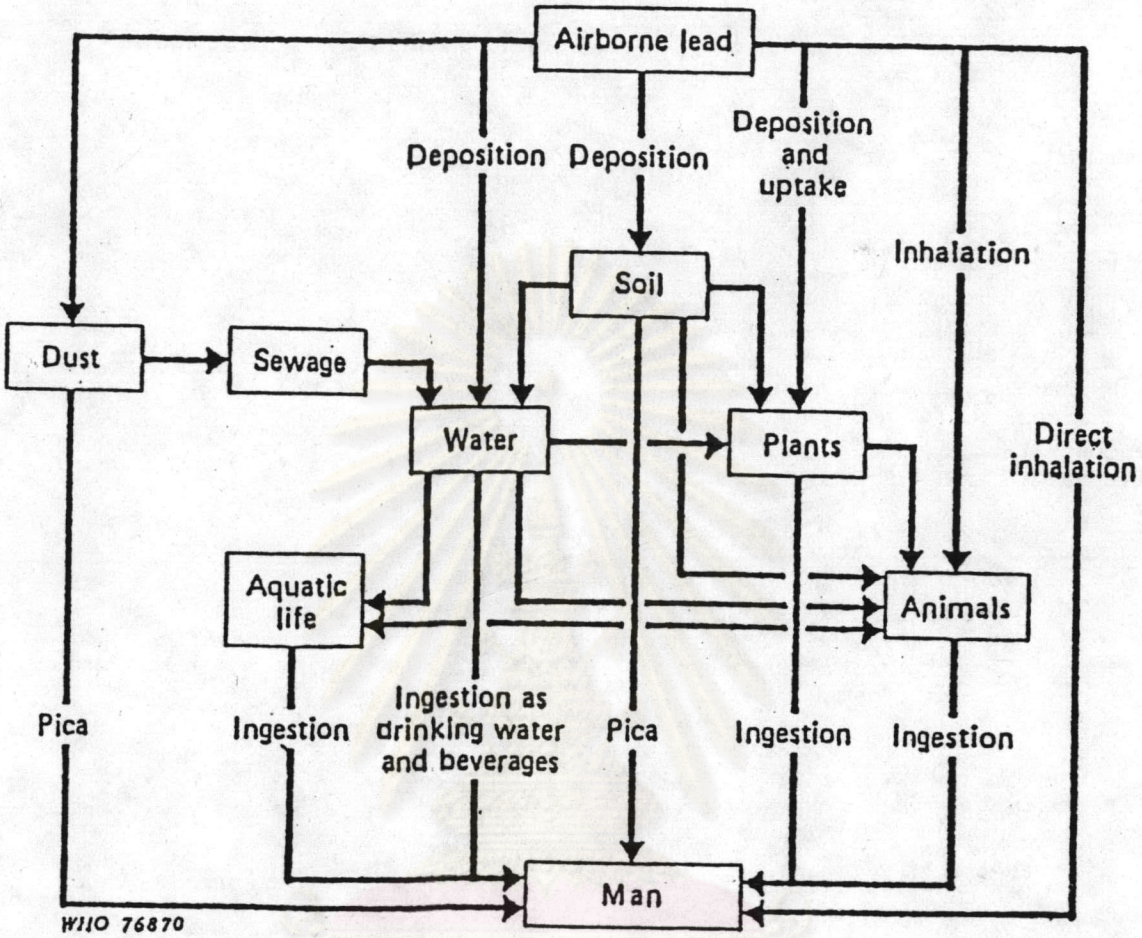
เนื่องจากความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศมีผลโดยตรงต่อสุขภาพของประชาชนทั่วไป จากรูปที่ 5-1 ซึ่งแสดงถึงการแพร่กระจายของอนุภาคตะกั่วในอากาศเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และมนุษย์เป็น receptor สุดท้าย ในทุกๆเส้นทางการแพร่กระจายของอนุภาคตะกั่วในอากาศ

5.2.2 <u>การละลายของอนุภาคตะกั่วในน้ำ</u>

อนุภาคตะกั่วในอากาศจากการจราจรเมื่อตกสะสมลงสู่แหล่งน้ำ จากการวิจัยนี้พบว่าละลายน้ำได้น้อยกว่า 3% ถึงแม้จะละลายน้ำได้น้อย แต่อนุภาคส่วนใหญ่ที่ไม่ละลายจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ หรือตกสะสมลงสู่ดินตะกอน ถ้าอนุภาคเหล่านี้ติดไปกับอาหารของสัตว์น้ำก็จะทำให้ตะกั่วเคลื่อนย้ายจากน้ำและดินตะกอนไปสะสมอยู่ในสัตว์น้ำซึ่งเป็นอาหารของคนต่อไป

จากทั้งหมดที่กล่าวมา จะเห็นว่าอนุภาคตะกั่วในอากาศ นอกจากจะเข้าสะสมในร่างกายของเราโดยการหายใจเข้าไปแล้ว ยังเป็นต้นเหตุให้เกิดการสะสมของตะกั่วในดินและน้ำ มีโอกาสเข้าสู่ร่างกายของเราได้ทุกทางและอนุภาคตะกั่วจากการจราจรนับว่าเป็นแหล่งใหญ่ในการปล่อยตะกั่วออกสู่บรรยากาศและเคลื่อนที่ไปทุกซอกทุกมุมตราบเท่าที่มีถนนพาไป ดังนั้นการกำจัดแหล่งกำเนิดแหล่งนี้จึงนับว่ามีความสำคัญในการลดปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วออกจากอากาศได้เป็นอย่างมาก

ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน ความเข้มข้นของตะกั่วในอากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง จะยังไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ คือ 10 มคก./ม.^{3} ก็ตาม จากการศึกษานี้ ก็ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้ม การแพร่กระจายไปในสิ่งแวดล้อมของอนุภาคตะกั่วในอากาศที่มาจากการจราจร ดังนั้นงานต่อไป คือการติดตามการแพร่กระจายของตะกั่วเข้าสะสมในคน ในพืช และสัตว์ ซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์ เนื่องจากการสะสมของสารพิษต่างๆ ในห่วงโซ่



ที่มา : WHO , 1977

รูปที่ 5-1 แสดงการแพร่กระจายของอนุภาคตะกั่วในอากาศเข้าสู่สิ่งแวดล้อมและมนุษย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารนั้น จะมี biological magnification คือปริมาณสารพิษจะสะสมสูงขึ้นในผู้บริโภคลำดับสูงขึ้น

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการดำรงชีวิตของคนไทยว่าในวันหนึ่งๆ มีโอกาศที่จะรับปริมาณตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในทุกๆทางไม่ว่าจะทางอากาศ ทางอาหาร และทางน้ำดื่ม ในปริมาณเท่าใด หรือการศึกษาว่า พืชที่เป็นอาหารของเรานั้น พืชชนิดใดมีการดูดซึมตะกั่วได้มากน้อยต่างๆกันอย่างไร และดูดซึมไปสะสมที่ส่วนใดบ้างมากน้อยต่างกันอย่างไร หรือการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาของโรคที่อาจเกิดจากสาเหตุการสะสมของปริมาณตะกั่วในร่างกาย โดยพิจารณาดูแนวโน้มของการเกิดโรคต่างๆนั้น สัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย