



การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก : Pb, Cd และ Cu ในอากาศเขตเทศบาลเมือง
หาดใหญ่ - สงขลา โดยวิธีคัพเพอเร็นเซียลพัลซ์อะโนดิกสตรipping โวลแทมเมตรี

Determination of Heavy Metals : Pb, Cd and Cu in Air Around Hat Yai-
Songkla Municipal Areas by Differential Pulses Anodic Stripping Voltammetry

ยศดา กิจกุลอนุพงษ์

Yottha Kitkulanupong

^p

เลขที่	TD887 453 2527 2-2
Bib Key	46852
	19 ส.ค. 2543/

วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Chemical Studies

Prince of Songkla University

รายนามคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ ภาณุภรณ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ วราภรณ์ ศิรินาวิน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สัมพันธ์ วงศ์นาวา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้
เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขา เคมีศึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. เจริญ ภาณุภรณ์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่
ได้รับจาก
บัณฑิตวิทยาลัย มอ.
วันที่ เดือน 19 ธ.ค. 2543

.....
(ดร. สุนทร โสคติพันธุ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

กิติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพรศพิชญ์ คุณาธารณา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างมาก ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือ เป็นอย่างเต็มที่ตลอดเวลาที่ได้ทำการวิจัย จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ วราภรณ์ ศิรินาวัน อาจารย์ พนิศ เชิดชูพงษ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือโพลารोगราฟิก อะนาไลเซอร์ 174 เอ ตลอดจนขอคิดเห็นอีกหลาย ๆ อย่างที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ยากจะสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี หากปราศจากการสนับสนุนของภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มัธยมศึกษาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และเงินอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2527 จากสภาวิจัยแห่งชาติ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างมากในโอกาสนี้ด้วย

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการทุกท่านที่ได้ช่วยกรุณาอ่าน และแนะนำจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

ยศดา กิจกุลอนุพงษ์

สารตั้งเขป

การหาปริมาณโลหะหนักบางตัว เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ซึ่งเป็นมลพิษในอากาศ บริเวณเขตเทศบาลเมืองหาคใหญ่ - สงขลา ศึกษาโดยวิธีคิฟเฟอเรนเชียลพัลซ์อะโนดิกสตรัทริงโวลแทมเมตรี โดยใช้แองกิง เมอคิวรีครอพลี เลกโตรดเป็นเวิร์คคิงอิเล็กโตรด

ผลการศึกษาหาปริมาณโลหะหนักที่เป็นมลพิษที่พบ คือตะกั่ว มีปริมาณระหว่าง 1.00-7.16 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ในเขตเทศบาลเมืองหาคใหญ่ และปริมาณตะกั่วตั้งแต่ น้อยมาก จนถึง 2.45 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ในเขตเทศบาลเมืองสงขลา ส่วนปริมาณแคดเมียมที่พบมีปริมาณน้อยมากทั้งสองเขต สำหรับทองแดงตรวจไม่พบ

สารบัญ

รายการ	หน้า
1 ตารางประกอบ	ก-ข
2 รายการรูปประกอบ	ก
บทที่	หน้า
1 บทนำ	(1-25)
1.1 ตะกั่ว	4
1.2 แคดเมียม	17
1.3 ทองแดง	20
1.4 ปัญหาโลหะหนักในอากาศในประเทศไทย	22
2 เครื่องมือ และสารเคมี	(26-34)
2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์	26
2.2 สารเคมี	33
2.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
2.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	33
3 การทดลอง	(35-45)
3.1 การกำหนดจุดการเก็บตัวอย่างอากาศ	35
3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ	39
3.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง และสารละลายแมลงค์	39
3.4 การทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของ เครื่องมือในการวิเคราะห์ปริมาณ ของ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง	43
3.4.1 การเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการทดลอง	43
3.4.2 การหามอดุลเลชันแอมพลิฟิไค์ที่เหมาะสม	43
3.4.3 การหาอัตราเร็วในการสแกนที่เหมาะสม	43
3.4.4 การทดลองใช้วิธีการคิฟเฟอเรนเชียลพัลซอะโนติกสตรัทพิง โวลแทมเมตรี	43

บทที่	หน้า
3.4.5 การหาค่าแรงแม่เหล็กไฟฟ้าของ Pb(II), Cd(II) และ Cu(II) ในวิธีการ DPASV	44
3.4.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างฟลักโคเรนต์กับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไนเตรดต่าง ๆ	44
3.5 การทดสอบสารละลายตัวอย่าง	44
4 ผลการทดลอง	(46-57)
5 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	(58-64)
<u>ภาคผนวก</u>	(65-73)
<u>เอกสารอ้างอิง</u>	(74-76)

ตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1.1 อาการของโรคจากพิษของโลหะ	3
1.2 ปริมาณสินแร่ตะกั่วที่ขุดขึ้นมาใช้ในปี 1978	6
1.3 ปริมาณของตะกั่วที่ถูกเปลี่ยนกลับมาใช้ในปี 1978	7
1.4 แหล่งกำเนิดของตะกั่วในอากาศ	8
1.5 ปริมาณตะกั่วในอากาศบริเวณถนนหลวง และอื่น ๆ	11
1.6 สารประกอบของตะกั่วในทอไอเสียรถ	12
1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วในอากาศกับตะกั่วในเลือด	16
1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมกับอาการของโรคที่จะพบ	19
3.1 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ เขตเทศบาลเมืองหาคีใหญ่	40
3.2 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ เขตเทศบาลเมืองสงขลา	41
3.3 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ เขตโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ กับที่บริเวณตำบลควนหิน	42
4.1 ผลของมอดุเลชันแอมพลิจูดที่มีต่อค่าความสูงของพีคของ Pb(II), Ca(II) และ Cu(II) ใน 0.1 M.KNO ₃	46
4.2 ผลของอัตราเร็วในการสแกน ที่มีต่อค่าความสูงของพีคของ Pb(II), Ca(II) และ Cu(II) ใน 0.1 M.KNO ₃	48
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคิฟเฟอเรนเชียลพีลล์อะโนดิกสทริพพิงแคอเรนตกับ ความเข้มข้นของ Pb(II) ใน 0.1 M.KNO ₃	50
4.4 คิฟเฟอเรนเชียลพีลล์อะโนดิกสทริพพิงโพเทนเชียลของ Pb(II), Ca(II) และ Cu(II) ที่วิเคราะห์	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของพีค ของไอออนโลหะแต่ละชนิด กับสารละลายของ KNO ₃ ที่มีความเข้มข้นต่างกัน	53

ตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
4.6 ปริมาณตะกั่วที่ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศ 8-9 ชั่วโมง บริเวณตลาดเมืองหาคีใหญ่	54
4.7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในอากาศในเขตเทศบาลเมืองหาคีใหญ่	55
4.8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในอากาศในเขตเทศบาลเมืองสงขลา	56
4.9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงในบริเวณ ประตูรั้วโรงพยาบาลสงขลานครินทร์-ม้อมตำรวจคำบลควนหิน	57
5.1 ปริมาณตะกั่วในเมืองสำคัญของบางประเทศ	62
5.2 ภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง	64

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 กราฟแสดงปริมาณตะกั่วที่โลกนำมาใช้แต่ละปีระหว่าง ค.ศ. 1801-1969	5
1.2 ปริมาณตะกั่วในน้ำแข็งที่กรีนแลนด์	10
1.3 การชักชวนของตะกั่วในการสร้างฮีโมโกลบิน	14
2.1 อุปกรณ์ทั้งระบบในชุดของโมเดล 174 เอ	27
2.2 เครื่องโพลาริกราฟีอะนาไลเซอร์โมเดล 174 เอ	28
2.3 เซลล์อิเล็กโทรไลต์พร้อมทั้งชุดอิเล็กโทรด และท่อนำแก๊ส	29
2.4 แสงกิ่ง เมอคิวรีคอปปีอิเล็กโทรดโมเดล 9323	30
2.5 บีมที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ	31
2.6 พลาตินิกฟิลเตอร์ โพลีเอสเตอร์	32
3.1 บัง เมืองหาคีใหญ่ แสดงจุดที่เก็บตัวอย่างอากาศ	37
3.2 บัง เมืองสงขลา แสดงจุดที่เก็บตัวอย่างอากาศ	38
4.1 ผลของมอดูเลชันแอมพลิฟายด์ ต่อค่าความสูงของพีค	47
4.2 พีคที่เกิดจากการรบกวนเร็วในการสแกนต่างๆกัน	49
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ $Pb(II)$ ใน $0.1 M. KNO_3$ กับความสูงของพีค	51

บทที่ 1

บทนำ

โลหะเป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องมากที่สุดอย่างหนึ่งที่ต่อสุขภาพของมนุษย์ และเป็นสิ่งเจือปนที่พบอยู่เกือบทั่วไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ มนุษย์ได้รับโลหะต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทาน การหายใจ และเข้าทางผิวหนัง โลหะบางชนิดเมื่อมีปริมาณที่ถูกต้องจะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีพของมนุษย์ แต่ในทางตรงกันข้ามโลหะบางชนิดสามารถทำให้คนเสียชีวิตได้ในปริมาณเพียงไม่กี่มิลลิกรัม แต่พบว่าปริมาณโลหะที่จะเป็นพิษในอาหาร น้ำ และอากาศมีเป็นจำนวนน้อยมาก อย่างไรก็ตามเนื่องจากโลหะถูกนำมาใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ การเจือปนของโลหะในไบโอสเฟียร์ (biosphere) จึงมีอยู่ทั่วไป และทำให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อมที่จะสืบเนื่องต่อไปในอนาคต ทั้งนี้เป็นเพราะโลหะเป็นสารมลพิษที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจากสารมลพิษชนิดอินทรีย์สาร ที่สามารถสลายตัวได้เองโดยกระบวนการธรรมชาติ มีโลหะเพียงจำนวนน้อยมากที่ไม่มียพิษภัยต่อสิ่งมีชีวิต และสภาวะแวดล้อมในระดับปริมาณใด ๆ ก็ตาม โลหะในสภาวะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ และที่มนุษย์ทำขึ้น ส่วนที่มนุษย์ทำขึ้นเป็นผลจากการกำจัดโลหะเข้าสู่สิ่งแวดล้อม เช่นในสภาวะของน้ำเสียจากโรงงานและสภาพที่เป็นอนุภาคแขวนลอยในอากาศ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ และพบว่าโลหะในสภาวะแวดล้อมที่เกิดจากที่มนุษย์ทำขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ แต่จะมีพิษได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณสะสมในอากาศสูง เกินกว่าระดับที่มนุษย์จะทนได้

ปัญหาเกี่ยวกับพิษของโลหะในสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจอย่างจริงจังหลังจากที่มีการพบโรคระบาดเนื่องจากพิษของปรอท และสารประกอบของปรอทที่ถูกขจัดออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณรอบ ๆ อาวมินาเมตา (Minamata) ในประเทศญี่ปุ่น

โลหะที่เป็นพิษแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ (1)

1. โลหะที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ ส่วนใหญ่โลหะเหล่านี้จะอยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ได้แก่ เหล็ก หังสเคน และไนโอเบียม

2. โลหะ และสารประกอบของโลหะบางตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการปฏิบัติหน้าที่ของอวัยวะภายในร่างกาย เช่น คับ ไต และหัวใจ และยังทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับระบบหายใจโลหะเหล่านี้ได้แก่ โครเมียม โมลิบดีนัม วานาเดียม นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง เงินและแคดเมียม

3. โลหะที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์อย่างร้ายแรง และทำให้เกิดโรคเรื้อรัง รักษาให้หายขาดยาก ได้แก่ พรอท ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู และพลวง เพราะนอกจากทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเกี่ยวข้องกับตับ และไตแล้วยังมีอันตรายถึงระบบหัวใจและระบบประสาทส่วนกลางอีกด้วย

จากการสำรวจในปัจจุบันพบว่าโลหะที่เป็นพิษจริง ๆ ส่วนมากมักอยู่ในรูปอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และโลหะนั้นต้องละลายได้ในบางกระบวนการธรรมชาติทางชีวเคมี (12, 13) ซึ่งทำให้สามารถถูกซึมเข้าระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตได้ โลหะที่อยู่ในอนุภาคอากาศที่มนุษย์หายใจเข้าไปได้บางส่วน จะถูกขจัดออกจากปอด และหลอดลมโดยการกระทำของมิวโคซิลเลียรี (mucociliary) ทำให้ผ่านไปในกระเพาะและลำไส้ ซึ่งเป็นบริเวณที่โลหะจะแสดงพิษได้โดยตรง หรือโลหะอาจถูกดูดซึมไปยังบริเวณอื่น ๆ และเนื้อเยื่อได้ อย่างไรก็ตามการดูดซึมของโลหะไปตามของทางเดินอาหารจากปากถึงท้อง มีประสิทธิภาพต่ำ ในขณะที่การดูดซึมของโลหะเข้าสู่ระบบโลหิตจากปอดมีประสิทธิภาพสูงกว่า (14)

ก่อนที่จะพบโรคระบาดเนื่องจากพรอท ในอดีตสารหนูเป็นโลหะที่เข้าใจว่าเป็นอันตรายต่อคนมากที่สุด ที่จริงแล้วสารหนูนับว่าเป็นพิษต่อสัตว์ที่เลี้ยงดูถูกควมมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความร้ายแรงของโลหะชนิดอื่น ๆ ในปริมาณเท่า ๆ กัน โลหะบางตัวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดมะเร็ง เช่น พรอท ตะกั่ว พลวง เบริลเลียม แคดเมียม นิกเกิล ซีลีเนียม เป็นต้น

ผลงานวิจัยในปัจจุบันที่เกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ อันเนื่องมาจากโลหะ ส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ พรอท ตะกั่ว และสารประกอบของธาตุทั้งสองนี้ นอกจากนี้ยังมีพวก แคดเมียม สังกะสี และทองแดง อีกบ้าง

1.1 ตะกั่ว (Lead)

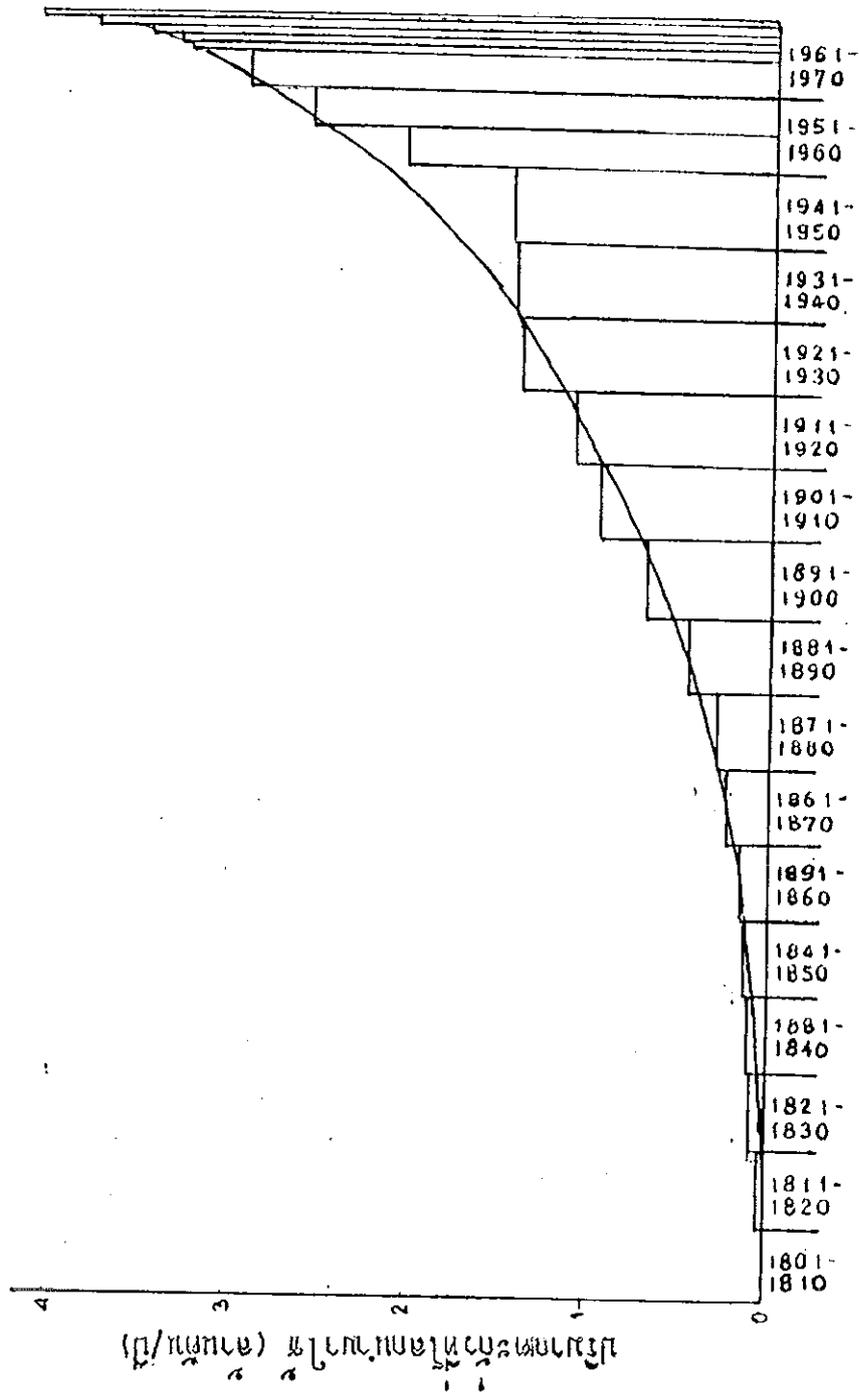
ตะกั่ว เป็นโลหะหนึ่งที่มีมนุษย์รู้จัก และนำมาใช้ประโยชน์กันตั้งแต่ 4,000 ปีก่อนคริสตศักราช ทุกวันนี้ได้นำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ในค่านต่าง ๆ เป็นปริมาณมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ ปี ดังในรูปที่ 1.1 ซึ่งแสดงถึงตะกั่วที่นำมาจากแหล่งต่าง ๆ ของโลก (ตารางที่ 1.2-1.3)

ตะกั่วมีสัญลักษณ์ Pb จากภาษาละติน plumbum เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ IVA ในตารางธาตุ โดยมีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่ 20 องศาเซลเซียส 11.34 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โครงสร้างอิเล็กตรอนิก $[Xe]6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^2$ เลขออกซิเดชันสามัญ +2, +4 ไอโซโทปเสถียร $^{208}\text{Pb}(51.55\%)$, $^{206}\text{Pb}(26.26\%)$, $^{207}\text{Pb}(20.82)$ และ $^{204}\text{Pb}(1.37\%)$ โครงสร้างผลึกเป็นแบบ face-centered cubic (2)

ตะกั่วที่พบในธรรมชาติในรูปของธาตุอิสระมีบ้างแต่น้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบในรูปดังนี้

ก. สารประกอบอินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ ไนเตรต คลอไรด์ คัลโครไรต์ เป็นต้น
 ข. สารประกอบอินทรีย์ เช่น เตตราเอทิลเลด เตตราเมทิลเลด เป็นต้น
 สำหรับในอากาศจะมีตะกั่วเจือปนอยู่ในระดับต่ำ แต่ในช่วงไม่กี่สิบปีที่ผ่านมาพบว่าปริมาณตะกั่วในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการกระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมพบว่าเป็นทางอากาศมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีแหล่งที่มาของตะกั่วหลายแห่งด้วยกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.4 ซึ่งที่สำคัญก็คือ การใช้ตะกั่วในสารประกอบเตตราเอทิลเลด $[(C_2H_5)_4Pb]$ หรือ เตตราเมทิลเลด $[(CH_3)_4Pb]$ ที่เติมลงในน้ำมันเชื้อเพลิงรถ เพื่อเพิ่มเลขออกเทนของน้ำมันในการป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ เป็นสาเหตุที่สำคัญอย่างมากต่อการเพิ่มปริมาณตะกั่วในอากาศ

ได้มีผู้วิจัยพบว่าในย่านทางไกลความเจริญ เช่นกรีนแลนด์ พบตะกั่วในอากาศ 0.0001-0.001 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (อ้างโดย 3) Bryce D., et. (17) ได้ศึกษาปริมาณตะกั่วในน้ำแข็งจากภาคเหนือของกรีนแลนด์ โดยเก็บตัวอย่างที่ความลึกต่างๆ กัน พบว่าระดับความลึกของน้ำแข็งตัวอย่างจะสัมพันธ์กับจำนวนปีที่น้ำแข็งตกทับถมในรูปของ



ปี ค.ศ.

รูปที่ 1.1 ปริมาณประชากรที่โตมาในไทยแต่ละปีระหว่างปี ค.ศ. 1801 - 1969 (15)

ตารางที่ 1.2 ปริมาณสินแร่ตะกั่วที่นำมาใช้ในปี ค.ศ. 1978 (16)

Country	Mined lead (million tonnes)	Percentage of world production
USSR	0.600	17
USA	0.541	15
Australia	0.400	11
Canada	0.366	10
Peru	0.183	5.0
Mexico	0.170	4.7
China PR	0.150	4.1
Yugoslavia	0.125	3.4
Bulgaria	0.116	3.2
Morocco	0.110	3.0
North Korea	0.110	3.0
Others	0.754	21
Total	3.625	

ตารางที่ 1.3 ปริมาณตะกั่วที่ถูกแปรสภาพกลับเพื่อนำมาใช้ใหม่อีกในปี
ค.ศ. 1978 (16)

Country	Refined lead (million tonnes)	Percentage of world production
USA	0.773	18
USSR	0.600	14
Germany FR	0.305	7.3
UK	0.247	5.9
Australia	0.239	5.7
Japan	0.228	5.4
Canada	0.194	4.6
France	0.184	4.4
Mexico	0.150	3.6
China PR	0.150	3.6
Others	<u>1.182</u>	27
Total	4.202	

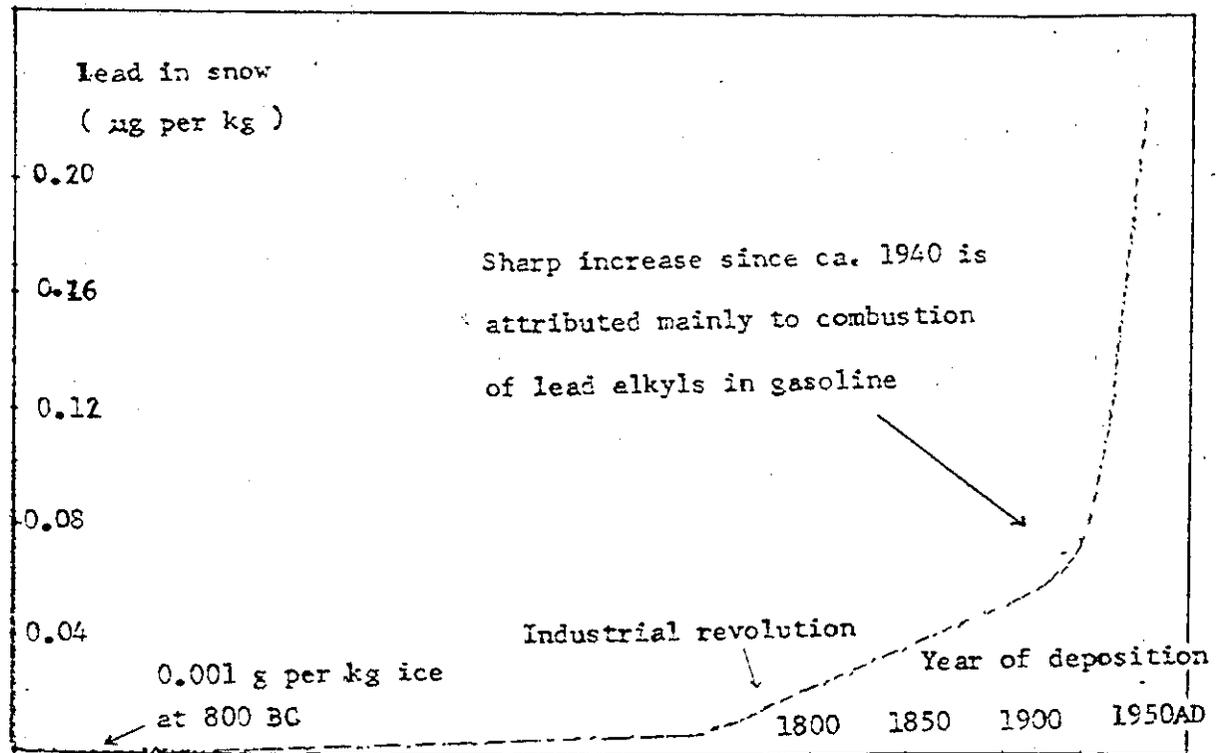
ตารางที่ 1.4 แหล่งปล่อยมลพิษในอากาศ (16)

Process	Emission (tonne)	Emission (US tons)
Gasoline combustion	127800	140900
Coal combustion	228	257
Oil combustion	100	110
Solid waste incineration	1170	1296
Waste oil disposal	5000	5480
Lead alkyl production	1000	1100
Storage battery production	82	90
Ore crushing and grinding	493	544
Primary lead smelting	400	440
Primary copper smelting	1314	1444
Primary zinc smelting	112	124
Secondary lead smelting	750	830
Brass and bronze production	47	52
Gray iron production	1080	1192
Ferroalloy production	30	33
Iron and steel production	605	667
Lead oxide production	100	110
Pigment production	12	13
Cable covering	113	125
Can soldering	63	70
Type metal	435	480
Metallic lead products	77	85
Cement production	312	344
Lead glass production	56	62
Total	141380	155880

หิมะ และผลจากการศึกษาพบว่าระดับตะกั่วในน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี 1940 อันเนื่องมาจากการคมนาคมเจริญขึ้น (ดังรูปที่ 1.2) Chamberlain, et al. (อ้างโดย 18) ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วตามบริเวณถนน พบว่าจะสัมพันธ์กับปริมาณของรถที่ผ่านไปมาต่อเวลาที่ศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1.5 และปริมาณตะกั่วค่าสูงสุดที่วัดได้บนทางหลวง ในช่วงการจราจรคับคั่งเป็น 14-25 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (3) Chow & Earl ได้ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วในอากาศพบว่าอากาศในเมืองใหญ่ๆ เช่นที่ซานดิเอโกมีสารตะกั่วเจือปนอยู่มากกว่าในบริเวณชนบท 5-50 เท่า และจากการศึกษาด้วยเทคนิคทางไอโซโทปทำให้สามารถยืนยันได้ว่าตะกั่วในอากาศนั้นมาจากไอเสียของรถยนต์ประมาณ 90% (19)

การระบายตะกั่วออกสู่อากาศมี 2 ลักษณะ คือลักษณะของอนุภาคเล็ก ๆ และสารประกอบที่เป็นแก๊ส การปลดปล่อยออกมาในลักษณะของแก๊ส เกิดจากการสันดาปของเตตราเอทิลเลดที่เติมลงในน้ำมันเชื้อเพลิงรถ ส่วนในลักษณะของอนุภาคมักมาจากแหล่งอื่น ๆ สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดซูเปอร์ที่ใช้อยู่ทั่วไป จะมีการเติมเตตราเอทิลเลดประมาณร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร หรือตะกั่วประมาณ 3 กรัมต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 แกลลอน (2) ซึ่งนับเป็นปริมาณที่มากพอประมาณ และเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละวัน จะเห็นได้ว่าสารประกอบของตะกั่วซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาหลังจากถูกเผาไหม้แล้ว จากท่อไอเสียของรถซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบของตะกั่วต่าง ๆ นั้น จะเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละวันเป็นปริมาณมหาศาล ได้มีการประมาณว่าเฉพาะในสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1970 เพียงปีเดียวก็ได้ใช้โลหะตะกั่วถึง 570 ล้านปอนด์ เพื่อผลิตเตตราเอทิลเลด และปริมาณตะกั่วที่ใช้ทั่วโลกโดยจุดประสงค์เดียวกันนี้คิดแล้วก็ไม่ต่ำกว่า 2,000 ล้านปอนด์ต่อปี (2)

นอกจากการเติมเตตราเอทิลเลดลงในน้ำมันเชื้อเพลิงรถเพื่อป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์แล้ว ในน้ำมันเชื้อเพลิงรถยังได้เติมเอทิลีนไดคลอไรด์ ($C_2H_4Cl_2$) และเอทิลีนโบรไมด์ ($C_2H_4Br_2$) ลงไปอีกด้วย เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับตะกั่วที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเตตราเอทิลเลดในระหว่างการสันดาป เกิดเป็นสารที่มีลักษณะเป็นไอซึ่งช่วยให้ตะกั่วที่มีอยู่ในเครื่องยนต์สามารถระบายออกมาทางท่อไอเสีย พร้อมกับแก๊สอื่น ๆ ใ้คงาย สำหรับสารประกอบตะกั่วที่ปลดปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย มีด้วยกันหลายตัวแตกต่างกันออกไป ดังในตารางที่ 1.6



รูปที่ 1.2 ปริมาณตะกั่วในน้ำแข็งที่กรีนแลนด์ (17)

ตารางที่ 1.5 ปริมาณตะกั่วในอากาศบริเวณถนนหลวง และอื่นๆ (อ้างอิง 18)

Location	Lead in air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Sampling periods	Petrol vehicles/h	Measured	Background (estimated)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$ per 1000 vehicles/h)
M4, Central reservation	24 h	3800	15.1	0.4	3.9
M4, 2m from edge beam	Daytime	3600	8.9	0.4	2.4
M40, 2m from edge beam level	Daytime	970	3.3	0.2	3.2
1/20 grade in cutting	Daytime	950	10.3	0.2	10.6
1/20 grade on embankment	Daytime	990	6.4	0.2	6.2
Fleet St., London, E1, central	Daytime	1200	3.2	0.8	2.0
Exhibition Rd., London, SW7, Kerbside	Daytime	1300	3.2	0.5	2.0
Seymour Place, London, W1	Daytime	424	4.0	1.0	7.1
Talgarth Rd., London, W14	Daytime	3880	8.8	0.5	2.2
Upper Berkeley St., London, W1	Daytime	420	4.3	1.0	7.9

ตารางที่ 1.6 สารประกอบของตะกั่วในท่อไอเสียรถ (20)

สารประกอบของตะกั่ว	% ของอนุภาคตะกั่วที่นับได้จากท่อไอเสีย	
	(1) *	(2) **
PbBrCl	32.0	12.0
PbBrCl.2PbO	31.4	1.6
PbCl ₂	10.7	8.3
Pb(OH)Cl	7.7	7.2
PbBr ₂	5.5	0.5
PbCl ₂ .2PbO	5.2	5.6
Pb(OH)Br	2.2	0.1
PbO _x	2.2	21.2 ***
PbCO ₃	1.2	13.8 ***
PbBr ₂ .2PbO	1.1	0.1
PbCO ₃ .2PbO	1.0	29.6 ***

* (1) เป็นสารประกอบของตะกั่วที่วัดจากไอเสียเมื่อเก็บตัวอย่างแล้วทันที

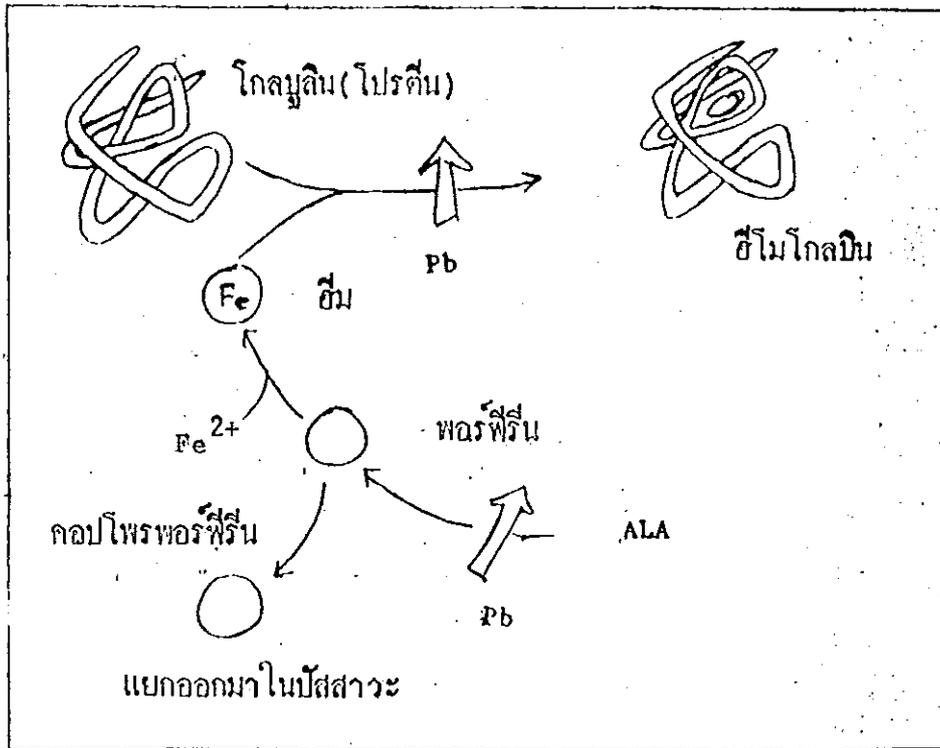
** (2) เป็นสารประกอบของตะกั่วที่วัดจากไอเสียเมื่อทิ้งตัวอย่างที่เก็บไว้ 18 ชั่วโมง

*** (3) คือ PbO_x, PbCO₃ และ PbCO₃.2PbO ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นสารประกอบตะกั่วที่สำคัญ ซึ่งจะต้องพิจารณาเมื่อคิดถึงผลในทางสุขภาพ

ตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 2 ทาง คือทางอาหาร และทางลมหายใจ นอกจากนี้เตตราเอทิลเลตจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยซึมผ่านผิวหนัง และเยื่อผิวหนัง กล่าวไว้ว่าถ้าผิวหนังมีรอยดลอก หรือเป็นแผลเกิดไปถูก หรือสัมผัสกับสารตะกั่วที่มีปริมาณมาก ๆ เป็นเวลานาน ๆ สารตะกั่วบางส่วนจะซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังส่วนนั้นได้ (อ้างโดย 1) ในชีวิตประจำวันปริมาณตะกั่วในอาหาร และน้ำมีค่าประมาณ 110 ไมโครกรัมต่อวัน (อ้างโดย 3) หรืออยู่ในพืช 100-500 ไมโครกรัมต่อวัน ทุก ๆ 100 ไมโครกรัมจะก่อให้เกิด 6-18 ไมโครกรัมตะกั่วในเลือด 100 มิลลิลิตร (อ้างโดย 3) เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ในกระดูก โลหิต และสมอง มีผลทำให้เกิดความผิดปกติในระบบ และอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่นระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ ทางเดินอาหาร และอวัยวะอื่น ๆ เป็นต้น และที่สำคัญก็คือ ตะกั่วในเลือดเป็นตัวการที่ไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของ เม็ดเลือดแดง โดยตะกั่วจะขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบิน 2 แห่งด้วยกัน ฮีโมโกลบินประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ โกลบูลินโปรตีน และหน่วยที่มีเหล็กอยู่ ซึ่งเรียกว่าฮีม (heme) โดยที่ฮีมจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีของ ALA-dehydrase ซึ่งเป็นเอนไซม์กับกรดอะมิโนชนิดหนึ่งชื่อ S-amino levulinic acid (ALA) ทำให้เกิดพอร์فيرิน (porphyrin) และเมื่อมีการเติมเหล็กเข้าไปติดในพอร์فيرิน ก็จะทำให้เกิดฮีมขึ้น ต่อมาฮีมจะรวมตัวกับโกลบูลินโปรตีน จะเกิดเป็นฮีโมโกลบิน การขัดขวางของตะกั่วในการสร้างฮีโมโกลบินแห่งแรก คือขัดขวางการผลิตพอร์فيرิน ทำให้การสร้างฮีมลดลงไป อีกแห่งหนึ่งก็คือตะกั่วจะขัดขวางการรวมตัวของโกลบูลินโปรตีนกับฮีม ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง (4)

นอกจากตะกั่วมีผลต่อการผลิต เม็ดเลือดแดงแล้ว ตะกั่วยังสามารถทำให้การเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินที่มีอายุมากแล้ว เกิดเป็นเมทีโมโกลบิน (methemoglobin) เร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการนำเอาออกซิเจนลดลง นอกจากนี้ตะกั่วยังทำให้เกิดการสูญเสียกรดอะมิโน กลูโคส และฟอสเฟต โดยทำลายไมโทคอนเดรียในไต และเร่งการทำงานของม้าม และตับในการกำจัดเม็ดเลือดแดงด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง เหนื่อยอ่อนของตะกั่วที่มีต่อร่างกายกล่าวคือทำให้ความต้านทานโรคลดลง

ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายแล้วนั้น ส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ในกระดูก เนื่องจากคุณสมบัติ



รูปที่ 1.3 แสดงการชักขวางของตะกั่วในการสร้างฮีโมโกลบิน (4)

ของ Pb^{2+} คล้ายคลึงกับ Ca^{2+} ซึ่งเป็นธาตุหลักของกระดูก ตะกั่วจะขับออกจากร่างกายโดยทางปัสสาวะ 76% ทางเดินอาหาร 16% ประมาณทางนม เล็บ และเหงื่ออีก 8% (อ้างโดย 3) องค์ประกอบสำคัญในการที่ตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายมีหลายประการ องค์ประกอบต่าง ๆ นั้นได้แก่

- ก. สถานะภาพของกายภาพ และเคมีของสารตะกั่ว
- ข. สภาวะของผู้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย เช่น อายุ เพศ ลักษณะร่างกาย
- ค. ลักษณะและปริมาณอาหารที่บริโภค
- ง. ปริมาณอากาศที่หายใจ
- จ. ฤดูกาล และอื่น ๆ (3)

ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วในอากาศกับตะกั่วในเลือดในบุคคลทั่วไป โดยสรุปจากข้อมูลในตารางที่ 1.7 ได้ว่าตะกั่วในอากาศไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร จะมีผลเพิ่มปริมาณตะกั่วในเลือด 1.0 ถึง 2.0 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

Htun (อ้างโดย 3) รายงานหีสัยของตะกั่วในเลือดของผู้บริจาคลดหิต ในกรุงเทพฯ เป็น 1-34 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 กรัม และค่าเฉลี่ยเป็น 12 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนระดับของตะกั่วในอากาศเป็น 6.16-22.48 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร

วิธีการรักษาผู้ป่วยเนื่องจากพิษของตะกั่ว เป็นเรื่องที่มีปัญหา และไม่ได้รับผลดีเท่าที่ควร เพราะแพทย์ส่วนใหญ่มีความชำนาญในการรักษาโรคอื่น ๆ มากกว่าการรักษาโรคที่เกี่ยวกับสารพิษ วิธีที่ดีที่สุดคือ ต้องให้ผู้ป่วยรับประทานยาที่มีความสามารถในการดึงเอาสารตะกั่วออกจากร่างกายให้ไ้เสียก่อน โดยใช้สารที่เป็นคีเลติงเอเจนต์ (chelating agent) ถ้าผู้ป่วยเป็นผู้ใหญ่ก็จะใช้วิธีให้รับประทานเกลือแคลเซียมของโคโซเดียมเอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตต (Ca-EDTA) 1 ถึง 2 กรัมต่อวัน คีเลติงกันไม่ต่ำกว่า 4-5 วัน แต่ถ้าผู้ป่วยเป็นเด็กก็จะต้องใช้เวลาานกว่า สารตะกั่วที่อยู่ในรูปของเกลือคีเลตในร่างกายของผู้ป่วย จะถูกแคลเซียมเข้าไปแทนที่ตะกั่วแล้วทำให้สารตะกั่วถูกขับออกมาด้วยปัสสาวะ จากการศึกษาทราบว่า ตะกั่วที่ขับออกมาโดยวิธีนี้คือตะกั่วสะสมอยู่ที่กระดูกนั่นเอง (อ้างโดย 1) นอกจากนี้แพทย์ผู้กำหนดการรักษาอาจใช้สารตัวนี้ตัวเดียว หรือสารดังกล่าวแล้วนี้ร่วมกับตัวยาที่เป็นไคเมอร์แคปโตโปรปานอล (BAL) ก็ได้ มีผู้วิจัยพบว่าถ้ารักษาด้วยวิธีการให้ยาที่มีสาร 2 ตัวนี้พร้อมกัน จะทำให้ผลของการรักษาก็และรวดเร็ว

ตารางที่ 1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วในอากาศกับตะกั่วในเลือด (อ้างโดย 3)

ไมโครกรัมของตะกั่วต่อ เลือด 100 มิลลิกรัม	ไมโครกรัมของตะกั่วต่อ อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร	ผู้ค้นคว้า และปี ค.ศ.
1.3	1.0	Goldsmith and Hexter (1967)
1.0	1.0	Williams et al. (1969)
1.4	1.0	Goulston et al. (1972 b)
2.0	1.0	Goulston et al. (1972 c)
1.0	1.0	Azar et al. (1973)
1.2	1.0	Rabinowitz (1974)

กว่าการใช้ตัวยาใดตัวยาหนึ่ง เพียงตัวเดียว

1.2 แคดเมียม (cadmium)

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะที่ค้นพบโดย F. Strohmeyer ชาวเยอรมัน ใน ค.ศ. 1817 โดยแยกออกมาจากรูปสารประกอบออกไซด์ ซึ่งมีปะปนอยู่กับซิงค์คาร์บอเนต ($ZnCO_3$) Strohmeyer ได้เรียกโลหะนี้ว่า "cadmia" ซึ่งเป็นคำที่มาจาก calamine อันเป็นชื่อเรียกของซิงค์คาร์บอเนตในสมัยนั้น โลหะตัวนี้เป็นธาตุตัวที่ 2 ของหมู่ IIB ในตารางธาตุ โดยมีเลขอะตอม 48 เลขมวลอะตอม 112.40 จุดหลอมเหลว 321 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 8.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 20 องศาเซลเซียส โครงสร้างอิเล็กตรอนิก [Kr] $5s^2 4d^{10}$ เลขออกซิเดชันสามัญ +2 ไอโซโทปมี 8 ไอโซโทป คือ ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd , ^{116}Cd โครงสร้างผลึกเป็นแบบ close-packed hexagonal (2)

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อน ปรากฏเป็นสีขาวปนน้ำเงิน แต่จะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำดำตั้งไว้ในอากาศที่ชื้น ปกติโลหะตัวนี้จะเหนียวมาก แต่ที่ 80 องศาเซลเซียสจะเปราะ แคดเมียมไม่พบในรูปของธาตุอิสระ แต่จะพบในรูปของสารประกอบ ซึ่งมีน้อยมาก คือเพียง 0.5 ส่วนในล้านส่วนของเปลือกโลกเท่านั้น ในธรรมชาติมักจะพบแคดเมียมอยู่ควบคู่กับสังกะสีเสมอ เช่นในการถลุงแร่สังกะสี สิ่งที่เจือปนมากที่สุด ที่พบบ่อยก็คือ แคดเมียม แคดเมียมเป็นโลหะที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ได้มาก จึงได้มีการนำเอาแคดเมียมมาใช้ในกิจการอุตสาหกรรมจาก 5,000 ตัน ในปี ค.ศ. 1956 เป็น 18,000 ตัน ในปี ค.ศ. 1970 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อย ๆ จากการนำเอาแคดเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้นนี้ จึงก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อม เพราะแคดเมียมเป็นโลหะที่มีพิษร้ายแรงมากตัวหนึ่ง ในปัจจุบันจะพบแคดเมียมเจือปนอยู่ในผลิตภัณฑ์พลาสติก ท่อโลหะที่ทำด้วยโลหะทองแดง น้ำยาที่ใช้เคลือบไม้ พวกสีทาถนนสีนิมที่ใช้ทารองพื้น ก่อนที่จะมีการเคลือบด้วยโครเมียม และอื่น ๆ

พิษของแคดเมียมรู้จักกันครั้งแรกในนามของโรคร้ายซึ่งเกิดขึ้นที่เมือง Toyama (Toyama) ในประเทศญี่ปุ่น เมื่อหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เมืองนี้มีอุตสาหกรรมหลักคือการถลุงแร่สังกะสี ได้พบว่า มีผู้คนในบริเวณแถบนี้เกิดอาการป่วยอันเนื่องมาจากพิษของแคด-

เมียม โดยมีอาการเริ่มแรก ที่ระบบไตทำงานผิดปกติ และต่อมาจะเกิดความเจ็บปวดที่กระดูกในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่นกระดูกขา กระดูกสันหลัง กระดูกซี่โครง และทำให้คนไข้เคืองเหมือนเป็ด หรือ เป็นงอย และในที่สุดกระดูกจะแตก หรือหักโคโยง่าย โรคนี้มีชื่อว่าโรค อิตา อิตา (itai-itai kyo or ouch-ouch disease) จากการวิจัยพบว่าในบริเวณเมืองโทยามาในขณะที่เกิดโรคนี้ ชั่วและน้ำมันตัวเหลือง ที่ใช้ประกอบอาหารมีแคดเมียมเจือปนอยู่ถึง 0.37-3.36 ส่วนในล้านส่วนของน้ำหนักแห้งสุทธิ จึงเชื่อว่าเป็นพิษของแคดเมียมที่เกิดจากการบริโภคข้าวซึ่งมีสารแคดเมียม โดยต้นข้าวได้รับมาจากน้ำที่มีแคดเมียม ที่ปล่อยมาจากเหมืองผลิตทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีที่อยู่ใกล้เคียง

การเข้าสู่ร่างกายของโลหะแคดเมียม จะเข้าสู่ร่างกายโดยทางการรับประทาน การหายใจ และเข้าทางผิวหนัง เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย จะสะสมในร่างกายและปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุ มีการประมาณการว่าคนทั่วไปที่มีอายุ 50 ปี มีแคดเมียมสะสมในร่างกาย 10 มิลลิกรัม ถึง 50-60 มิลลิกรัม สุกแล้วแคว่คนนั้น ๆ อยู่ส่วนไหนของโลก ในสหรัฐอเมริกาได้มีการตรวจพบว่าจากคนไข้ที่ตายด้วยอุบัติเหตุ 117 ราย ปรากฏว่ามีแคดเมียมในอวัยวะ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ถึง 2940 ± 120 ไมโครกรัมต่อกรัม (อ้างโดย 3) จากการทดลองกับสัตว์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายในรูปของสิ่งเจือปนในอาหาร จะถูกดูดซึมไว้เพียง 2% ส่วนแคดเมียมที่สุกคมเข้าไปจะถูกดูดซึมไว้ 10% ในกระแสโลหิต และจะถูกส่งผ่านต่อไปยังไต โดยเฉลี่ยอายุของสัตว์ทดลองที่ถูกเลี้ยงไว้ในสภาพที่มีแคดเมียมสูง จะสั้นลงประมาณ 20% อาการของโรคจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และเวลาที่สัตว์ทดลองได้รับแคดเมียม ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 1.8 (1)

โลหะแคดเมียมสามารถกระจายอยู่ในอากาศ โดยส่วนมากจะอยู่ในรูปของไอระเหยของแคดเมียมซึ่งมาจากการหลอม หรือถลุงโลหะแคดเมียม หรือสารประกอบของแคดเมียม โดยอยู่ในรูปของแคดเมียมออกไซด์ และสารประกอบแคดเมียมรูปอื่น ๆ จากการเผาไหม้ของของเสียที่เป็นพวกพลาสติก ยาง ของเสียจากโรงงานทำโลหะเจือ และขุมโลหะหรือ

ตารางที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม กับอาการของโรคที่กระทบ (1)

ปริมาณของแคดเมียมต่อวัน (x 10 ⁻⁶ กรัม) เวลา 1-3 ปี	อาการของโรค
175	ความดันสูง
530-550	โลหิตจาง
1300	อัตราการเจริญเติบโตช้าลง
2125	อวัยวะภายใน เช่น ม้าม และ ตับ อ่อนแอผิดปกติ
5250	หัวใจของไตผิดปกติ เส้นโลหิตใหญ่ในไต และ ตับแข็งตัว และ ตับตัน

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้โลหะแคดเมียม ที่มาของแคดเมียมในอากาศอีกแหล่งหนึ่งก็คือ แก้ววันบุหรี มีอยู่ประมาณว่าบุหรี 1 มวน จะให้แคดเมียมถึง 13 ไมโครกรัม ซึ่งส่วนใหญ่จะปนอยู่ในแก้ววันบุหรี และส่วนที่เข้าสู่ร่างกายผู้สูบบุหรีนั้น ประมาณว่าการสูบบุหรี 1 ซอง (20 มวน) จะมีแคดเมียมเข้าสู่ปอดถึง 2-4 ไมโครกรัม (5)

อากาศตามชนบท และที่ห่างไกลจากอุตสาหกรรมมีแคดเมียมเข้ามา เกี่ยวข้องด้วย จะมีปริมาณน้อย กล่าวคือมีความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่ง ลูกบาศก์เมตร แต่ในแหล่งชุมชน แคดเมียมอาจมีความเข้มข้นสูงถึง 0.01 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร และตามที่ใกล้เหมืองสังกะสี และโรงงานที่ใช้แคดเมียมในกระบวนการผลิต จะพบแคดเมียมสูงกว่านี้มาก อาจจะสูงถึง 0.5 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่ง ลูกบาศก์เมตร (5)

บทบาทความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์ ในปัจจุบันนี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจกัน กระจ่าง แต่เชื่อว่ามีสาเหตุมาจากการเข้าไปแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิด ทำให้เอนไซม์นั้นไม่สามารถทำงานตามปกติได้ สำหรับอาการป่วยอันเนื่องมาจากความเป็นพิษของแคดเมียมที่พบได้ก็คือ ทำให้ร่างกายไม่เจริญเติบโต การย่อยโปรตีนและไขมันลดลง เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจประเภทต่าง ๆ

ในสหรัฐอเมริกาจะพบว่าคนไข้ที่ตายด้วยโรคความดันโลหิตสูง จะมีแคดเมียมในอวัยวะ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ถึง 4220 ± 390 ไมโครกรัมต่อกรัม (อ้างโดย 11)

1.3 ทองแดง (copper)

ทองแดง เป็นโลหะที่มนุษย์รู้จักดี และได้นำมาใช้ประโยชน์กันมากกว่า 6,000 ปีแล้ว เชื่อกันว่าโลหะทองแดงมีส่วนสำคัญในการช่วยพัฒนาวัฒนธรรมในสมัยโบราณ ทองแดงเป็นโลหะที่พบได้ทั้งในรูปโลหะอิสระ และในรูปสารประกอบ ทองแดงจัดเป็นโลหะทรานซิชันตัวหนึ่ง โดยเป็นธาตุแรกของหมู่ IB ในตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 มีเลขมวล 63.54 ความหนาแน่น 8.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2582 องศาเซลเซียส โครงสร้างอิเล็กตรอนิก $[Ar] 4s^1 3d^{10}$

เลขออกซิเดชันสามัญ +1, +2 ไอโซโทปเสถียร ^{63}Cu , ^{65}Cu มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ face-centered cubic (2)

ทองแดง เป็นโลหะที่ถูกขุดขึ้นมาใช้กันมากที่สุดโลหะหนึ่ง เพราะมีสมบัติที่ตีเชื่อมหลายประการ เช่นการเป็นตัวนำไฟฟ้า และความร้อนที่ตีเชื่อม มีความคงทนแตกอน สามารถแปรรูปโดยดึงเป็นเส้น และตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม ทั้งรูปโลหะบริสุทธิ์ และโลหะผสมของทองแดง เช่นอุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะเจือ วัสดุก่อสร้าง โลหะบัดกรี เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมแล้ว ทองแดงยังเป็นโลหะที่ร่างกายมนุษย์ต้องการอีกด้วย คือใช้ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร เป็นธาตุที่จำเป็นในการช่วยสร้างฮีโมโกลบิน การสังเคราะห์เอนไซม์และการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เช่น Catalase, Peroxidase และ Cytochrome C oxidases นอกจากนี้ในทางการแพทย์ใ้ค้ำเอาสารประกอบของทองแดงทำเป็นยาสมานแผล ยาห้ามเลือด ในค้ำนโภชนาการก็ใช้ทำสี่ผสมอาหาร ในทางเกษตรก็ใช้เป็นยาปราบวัชพืช ตลอดจนใช้เป็นยาฆ่าสาหร่ายในน้ำ ในแหล่งน้ำเพื่อใช้อุปโภค และบริโภค ดังนั้นทองแดงจึงเป็นโลหะที่สามารถแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน ในน้ำ และในอากาศได้

สำหรับในอากาศโลหะทองแดงที่กระจายอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอระเหยของทองแดง และสารประกอบของทองแดง ไอระเหยของทองแดงจะเกิดขึ้นได้จากการหลอมโลหะทองแดง ทองเหลือง และโลหะผสมของทองแดง หรือจากการบัดกรี หรือเชื่อมโลหะโดยใช้โลหะผสมของทองแดง แม้ทองแดงจะเป็นโลหะที่จำเป็นต่อร่างกายก็ตาม แต่ต้องเป็นสารประกอบของทองแดงที่ละลายน้ำได้ ไม่ใช่ในรูปของไอระเหยของทองแดง และสารประกอบทองแดงที่อยู่ในอากาศ และยังมีปริมาณที่จำกัดแค่ 2-2.5 มิลลิกรัมต่อวันเท่านั้น (21) ดังนั้นร่างกายได้รับทองแดงในปริมาณมากจะให้โทษ และเป็นพิษต่อร่างกายได้เช่นกัน แต่ร่างกายสามารถจะควบคุมปริมาณทองแดงโดยเมื่อกินในลำไส้ได้ และยังสามารถกำจัดทองแดงออกได้ที่ขับโดยน้ำดี ทำให้ไม่เกิดการสะสมทองแดงในร่างกายจนเป็นเหตุให้เกิดโรคเรื้อรังอย่างในกรณีโลหะหนักอื่น ๆ

แม้โลหะทองแดงจะเป็นโลหะที่มีอันตรายต่อร่างกายไม่ร้ายแรงเท่าตะกั่ว แคดเมียม

และปรอทก็ตาม แต่ก็ควรระวังไว้ เพราะถ้าอยู่ในรูปของไอระเหยของทองแดง หรือสารประกอบทองแดง และมีปริมาณมากพอที่จะเป็นโทษได้ เช่นที่ปรากฏในโรงงานหลอมโลหะทองแดง โรงงานทำโลหะผสม โรงงานเชื่อมประสาน หรือบักกรีโลหะผสมของทองแดง ซึ่งในอากาศจะมีไอระเหยของทองแดงอยู่ประมาณ 1-3 มิลลิกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร จะทำให้เกิดการระคายเคือง และอักเสบที่ตา ระบบหายใจ ทางเดินอาหาร และประสาทสัมผัสเสียไป แต่ถ้าหากร่างกายได้รับไอระเหยของทองแดงในปริมาณมากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียน เป็นไข้ และบางครั้งจะทำให้ผิวหนังและผมเปลี่ยนสีได้ ในกรณีของสารประกอบของทองแดง เข้าไปมาก ๆ จะเกิดอาการเลือดคั่งในเยื่อจมูก และของคิกระหว่างจมูก และปาก แต่ถ้าเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารในปริมาณมากพอ ก็จะมีผลต่อกระเพาะอาหาร คือทำให้เกิดอาการปวด เลือดออกในกระเพาะ และท้องร่วง นอกจากนี้สารประกอบของทองแดง ยังทำให้เกิดอาการคันตามผิวหนัง และก่อให้เกิดเป็นผื่นอีกด้วย และจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา ตาอักเสบ และตาขุ่นมัวได้เช่นกัน

มีผู้สนใจทำการศึกษาระดับปริมาณทองแดงที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และระดับความปลอดภัยขึ้น ซึ่งได้สรุปไว้ว่า สำหรับไอระเหยของทองแดงในอากาศในห้องทำงานมีค่าสูงสุดได้ถึง 0.1 มิลลิกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร และสำหรับฝุ่นของสารประกอบทองแดงในอากาศในห้องทำงานมีค่าสูงสุดได้ถึง 1 มิลลิกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (21)

1.4 ปัญหาโลหะหนักในอากาศในประเทศไทย

สำหรับเมืองไทย ปัญหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์มลพิษจากโลหะหนักในอากาศได้รับความสนใจศึกษากันเฉพาะในกรุงเทพมหานคร เพราะมีปัญหาเกี่ยวกับการจราจรคับคั่ง เนื่องจากมีรถยนต์ยานพาหนะมาก ตลอดจนปัญหาจากการมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่มาก ในต่างจังหวัดเริ่มมีการศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ สำหรับในกรุงเทพมหานครนั้นทางรัฐบาลได้จัดตั้งคณะกรรมการเพื่อทำการวิจัยไอเสียของยานพาหนะ ระหว่างปี 1962-1971 พบว่าปริมาณตะกั่วในอากาศในกรุงเทพมหานคร มีค่าระหว่าง 4.50 ถึง 30.60 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (22) ในปี 1973-1974 Pescod, et al. จาก AIT

ได้ศึกษาถึงมลภาวะบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคร โดยทำการเก็บตัวอย่างจากจุดต่าง ๆ ของถนน 5 สายในท้องที่ต่าง ๆ กัน คือ เจริญกรุง เยาวราช พระราม 4 บางรัก และประตูน้ำ ได้ค่าปริมาณสูงสุดของตะกั่ว 2.19 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (ที่ถนนพระราม 4) ในระหว่างเดือน พฤษภาคม 1976 ถึงเดือนเมษายน 1977 เพริศพรพรณ คณะธารณาและคณะ ได้สำรวจโลหะหนักที่กระจายอยู่ในอากาศ ในเขตกรุงเทพมหานคร ตามบริเวณต่าง ๆ คือตั้งแต่สามย่าน ปทุมวัน ราชประสงค์ เพลินจิต และคลองแนวสุขุมวิท จนสามโรง ปริมาณที่พบ คือตะกั่ว ตั้งแต่ 0-600.0 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร แคดเมียมตั้งแต่ 0-135.4 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ทองแดง 0-88.7 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร และสังกะสีพบปริมาณตั้งแต่ 0-114.0 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (24-27) พนิต เขิกขุพงษ์ ได้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในอากาศในกรุงเทพมหานคร บริเวณราชประสงค์ ชิดลม เพลินจิต สุขุมวิท 10 และสุขุมวิท 21 ระหว่างเดือนมีนาคม 1979 ถึงเดือนเมษายน 1979 พบตะกั่วตั้งแต่ 0.60-47.25 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร แคดเมียมพบไม่เกิน 6.20 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ทองแดงพบไม่เกิน 23.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอากาศและสังกะสีพบไม่เกิน 17.32 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (28) สำหรับที่เชียงใหม่ ระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม 1977 รุจิวัฒน์ สืบแสง ได้ทำการวิเคราะห์ โดยเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณต่าง ๆ 5 จุดด้วยกันคือ ที่ 4 แยกหาแพ ตลาดวโรรส ช่างสถานีรถไฟ ประชู่เชียงใหม่ ถนนโชตนา พบปริมาณของตะกั่วอยู่ในช่วง 1.5 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร จนถึง 4.0 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (6)

สำหรับที่หาคีใหญ่-สงขลา ซึ่งเป็นเมืองสำคัญศูนย์กลางของภาคใต้ ปัจจุบันเป็นเมืองที่ได้รับการพัฒนา และได้ขยายตัวเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยว เป็นผลให้มีความหนาแน่นอยู่ตลอดเวลา ตลอดจนยานพาหนะก็เช่นเดียวกัน จนเป็นที่คาดว่าในอนาคตหาคีใหญ่อาจมีปัญหา เกี่ยวกับสารมลพิษในอากาศเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับกรุงเทพมหานคร หรือเมืองใหญ่อื่น ๆ ได้ งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาถึงสารมลพิษที่เป็นโลหะหนักในอากาศของบริเวณเขตหาคีใหญ่-สงขลา โลหะที่ศึกษามี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง โดยศึกษาถึงปริมาณของโลหะหนักในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยหรือได้งานไปมาในบริเวณนี้สามารถหายใจเข้าสู่ร่างกาย เพื่อจะได้้นำเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ทั้งสภาวะแวดล้อม และสุขภาพของประชาชนในเขตดังกล่าวนี้ไว้

สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีปริมาณน้อย ๆ มากนั้น มีหลายเทคนิค เช่น เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมทรี เฟลมเลสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมทรี โพลารोगราฟี และสตริปพิงโวลแทมเมทรี (29,30) แต่เทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์มาก คือเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมทรี และสตริปพิงโวลแทมเมทรี สำหรับในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ และเขตเทศบาลเมืองสงขลา ใช้วิธีวิเคราะห์โดยเทคนิคทางสตริปพิงโวลแทมเมทรี คือแบบคัพเพอเรนเซียลพัลซอะโนคิสสตริปพิงโวลแทมเมทรี (DPASV) ทั้งนี้เพราะ DPASV สะดวกต่อการใช้งาน และมีความสามารถหาการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหลาย ๆ ชนิด ได้พร้อม ๆ กัน และยังให้ค่าเซนซิวิตีที่ดีกว่า (28,31)

เทคนิคของอะโนคิสสตริปพิงโวลแทมเมทรี ใ้่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สารครั้งแรกในปี ค.ศ. 1931 โดย Zbinden ระหว่างปี 1969 ฤดูนี้เกี่ยวกับอะโนคิสสตริปพิงโวลแทมเมทรี สำหรับเมอคิวรีฟิล์มอิเล็กโทรด (MEF) และแองกิงเมอคิวรีครอพออิเล็กโทรด (HMDE) ได้พัฒนากันอย่างมาก ทำให้เทคนิคนี้มีสมรรถภาพดียิ่งขึ้น เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากเทคนิคหนึ่ง

หลักการโดยทั่วไปของอะโนคิสสตริปพิงโวลแทมเมทรี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ (7)

1. ขั้นตอนอิเล็กโทรดโพสิชัน (electrodeposition step) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ไอออนของโลหะในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ถูกรีดิวซ์ไปเกาะที่ขั้วคาโทด โดยให้ขั้วคาโทดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ มากกว่าค่ารีดักชันโพเทนเชียลของไอออนของโลหะนั้น ๆ ในการที่โลหะจะเกาะผิวขั้วคาโทดได้มากน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่อไปนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์ พื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดและความเข้มข้นของไอออนของโลหะที่วิเคราะห์ในเซลล์อิเล็กโทรไลต์

2. ขั้นตอนสตริปพิง (stripping step) เป็นขั้นตอนที่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากบริเวณผิวอิเล็กโทรด หลุดออกมาหลังจากการรีดิวซ์เสร็จสิ้น โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เปลี่ยนไปในอัตราคงที่จากเดิม ซึ่งเป็นค่าลบ ไปทางค่าบวกเพิ่มขึ้น ซึ่งในการนี้จะ

เกิดการสรีรฟิงโลหะออกมา และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าออกมาจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความตางศักย์ที่ให้ และจากกระแสไฟฟ้าที่ได้ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลาย ทั้งนี้เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของไอออนของโลหะในสารละลาย

ในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้น ของสารละลายโดยเทคนิคนี้ อาจทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือการใช้กราฟมาตรฐาน และวิธีสแตนคาร์คแอดดิชัน (standard addition method) สำหรับในการวิจัยได้เลือกใช้วิธีสแตนคาร์คแอดดิชัน ทั้งนี้เพราะวิธีนี้จะช่วยกำจัดปัญหาของการที่จะจัดสภาวะในการทดลองได้ และจาก โวลทาโมแกรมสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของไอออนของโลหะต่าง ๆ ที่หาได้ โดยอาศัยสมการข้างล่างนี้

$$C_u = \frac{i_1 v C_s}{i_2 v + (i_2 - i_1) v} \quad (32)$$

i_1 = ความสูงของพีค(i_p) ก่อนเติมสารละลายมาตรฐาน (μA)

i_2 = ความสูงของพีค(i_p) หลังเติมสารละลายมาตรฐาน (μA)

v = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป (cm^3)

V = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (cm^3)

C_s = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ($\mu g/cm^3$)

C_u = ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง ($\mu g/cm^3$)

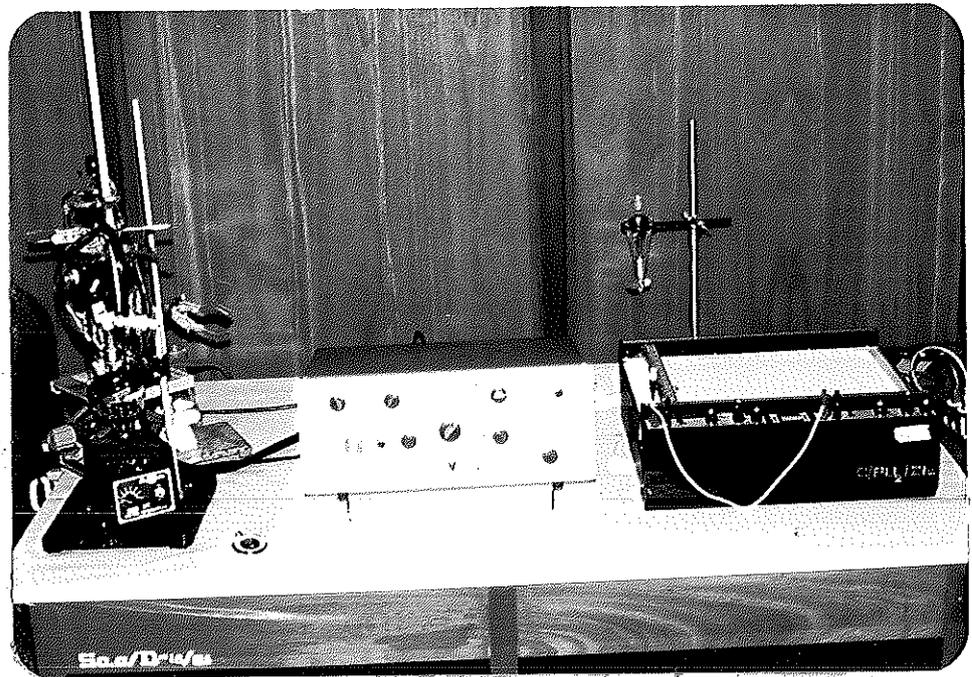
เครื่องมือ และสารเคมี

2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

Polarographic	: PAR Model 174 A Polarographic analyzer California U.S.A.
Recorder	: PAR Model 0074 X-Y recorder California U.S.A.
Working electrode	: Hanging mercury drop electrode (HMDE) Model 9323 California U.S.A.
Reference electrode	: Saturated calomel electrode (SCE) California U.S.A.
Auxilliary electrode	: Platinum wire electrode Germany
Eppendorf microliter pipet	: Brinckmann instrument Inc. Westbury New York U.S.A.
pH meter	: Radiometer Copenhagen type PHM 61 A Denmark
Personal air sampler pump	: Environmental Compliance Cooperation, Pa. U.S.A.
Collecting air particulates	: Plastic filter holder (47 mm.) Goettingen Germany

อุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น

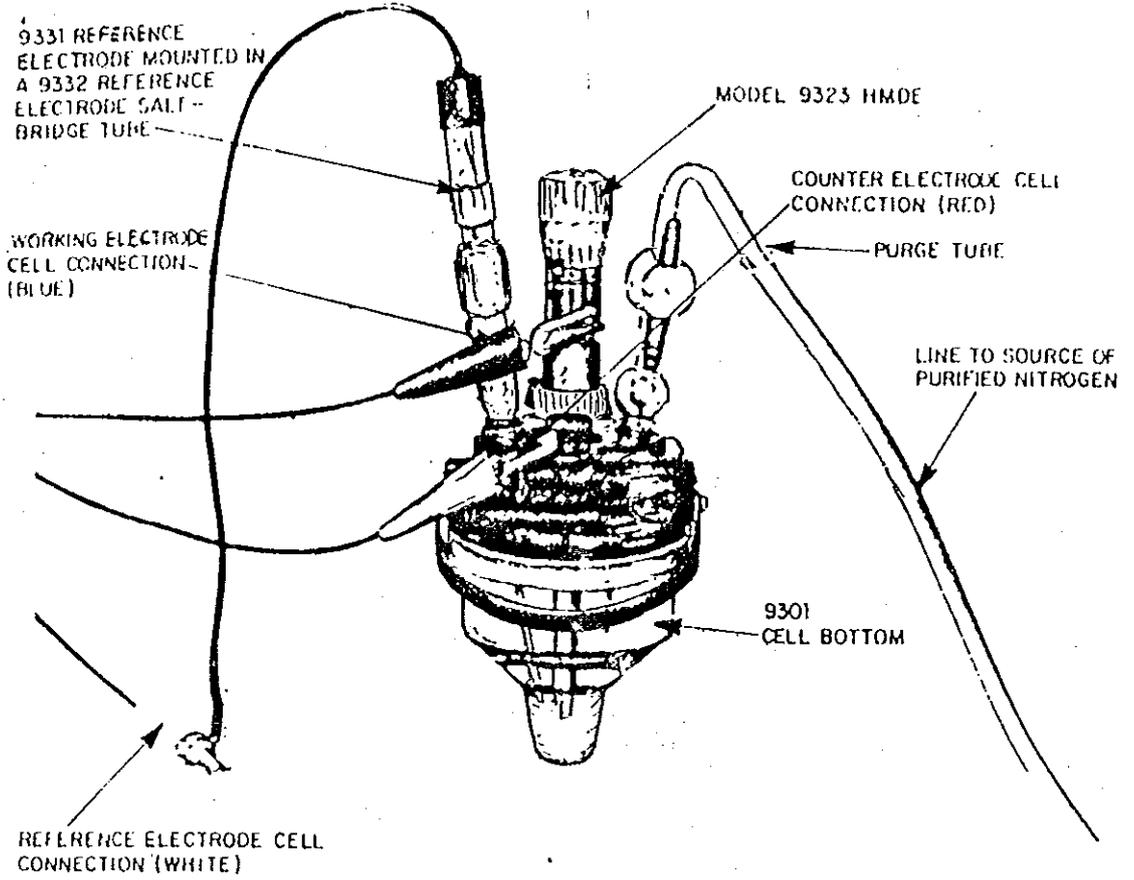
. ทาชั่งแบบละเอียด, แผนความร้อน, นาฬิกาจับเวลา
ไฮโกรมิเตอร์, เทอร์โมมิเตอร์, ขวดปริมาตรขนาด
ต่างๆ, บีเปคขนาดต่างๆ, บีกเกอร์ขนาดต่างๆ,
ขวดใส่สาร, ขวดชั่งสาร, หลอดหยด, ขวดพลาสติก
ฉีดน้ำ, คีมคีบแอสบนเลส, ข้อนตักสาร



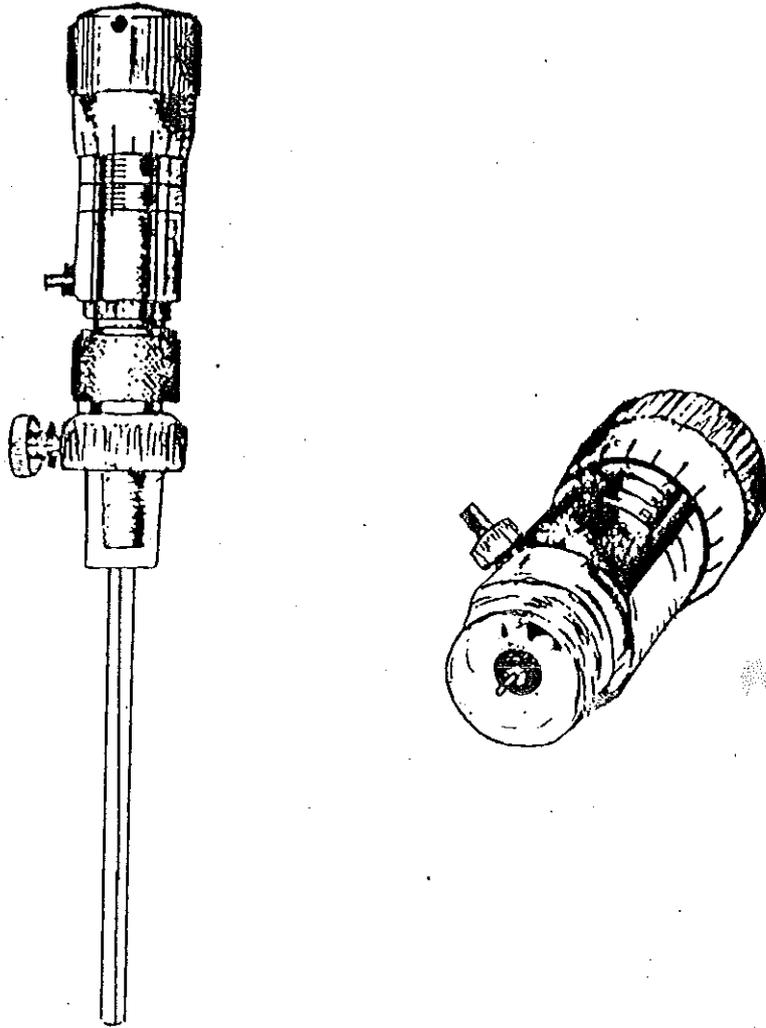
รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ทั้งระบบในชุดโมเดล 174 เอ



รูปที่ 2.2 เครื่องโพลารอกราฟิกอะนาไลเซอร์โมเดล 174 เอ



รูปที่ 2.3 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ พร้อมทั้งขั้วอิเล็กโทรด และท่อนำแก๊ส



รูปที่ 2.4 แสงกิงเมอคิวรีครอพิเลทโรคโมเดล 9323

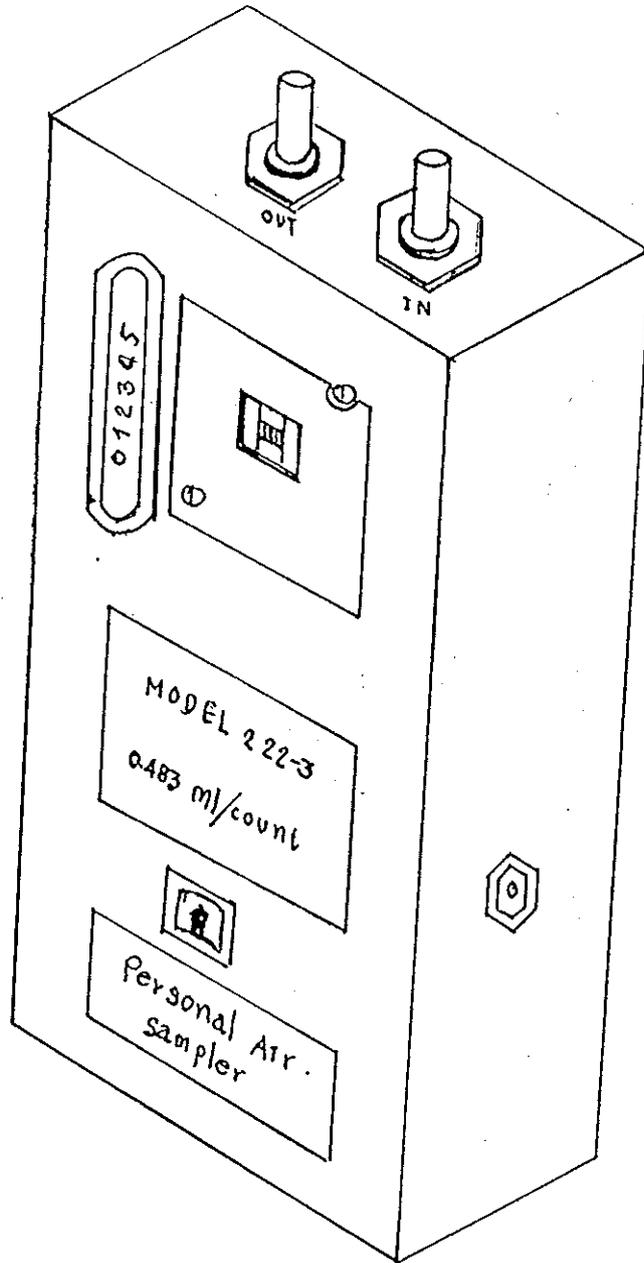
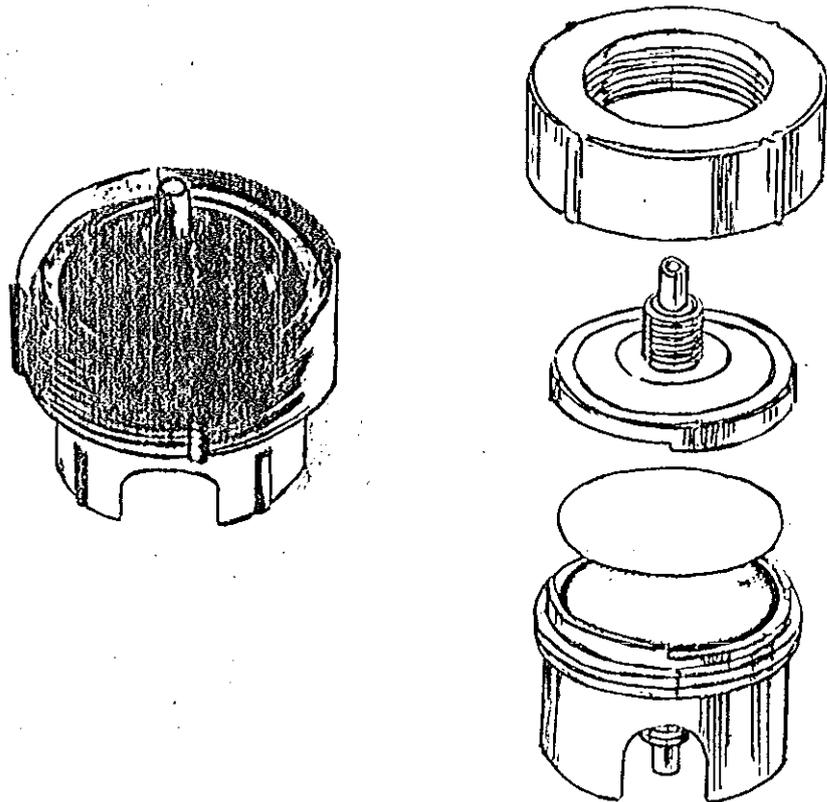


Fig 2.5 Personal Air Sampler Pump



รูปที่ 2.6 พลาสติกฟิลเตอร์โฮลเดอร์

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

• เลกไนเตรต $[Pb(NO_3)_2]$ AR-grade	:Riedel-De Haen AG Seelze-Hannover Germany
• แคลเมียมไนเตรต $[Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O]$ AR-grade	:Riedel-De Haen AG Seelze-Hannover Germany
• คอปเปอร์ไนเตรต $[Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O]$ AR-grade	:Riedel-De Haen AG Seelze-Hannover Germany
• โพแทสเซียมไนเตรต $[KNO_3]$ AR-grade	:Riedel-De Haen AG Seelze-Hannover Germany
• กรดไนตริก $[HNO_3]$ AR-grade	:E. Merck AG. Darmstadt Germany
• สารละลายแอมโมเนีย	:A jax Chemical LTD, Sydney, Australia
• Sartorius membrane 0.45 μm , poresize	:Sartorius GmbH. PF 19.D-3400 Göttingen., Germany
• Hg metal	:E. Merck AG., Darmstadt., Germany

2.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

2.2.2.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

• ชั่งเลกไนเตรต $[Pb(NO_3)_2]$ 0.1598 กรัม ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (double deionized water) แล้วทำให้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2.2.2.2 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

• ชั่งแคลเซียมไนเตรต $[Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O]$ 0.2744 กรัม ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน แล้วทำให้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2.2.2.3 สารละลายมาตรฐานทองแดง 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

. ชั่งคอปเปอร์ไนเตรต $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 0.3802 กรัม ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2.2.2.4 สารละลายโปแทสเซียมไนเตรต 1 โมลาร์

. ชั่งโปแทสเซียมไนเตรต $[\text{KNO}_3]$ 101.10 กรัม ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2.2.2.5 สารละลายแอมโมเนีย 5 โมลาร์

. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 19.70 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน ในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2.2.6 สารละลายกรดไนตริก 3 โมลาร์

. ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้นที่บริสุทธิ์มา 189.40 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน ในขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การกำหนดจุดการเก็บตัวอย่างอากาศ

ขอบเขตความสนใจในการวิจัย ก็คือเขตเทศบาลเมืองหาคีใหญ่ และอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา การกำหนดจุดจึงเลือกเก็บเอาบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง และมีผู้คนแออัด แต่เนื่องจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษที่สนใจในค่านอกอุตสาหกรรมมีน้อยมาก จึงคาดว่า สารเหล่านี้ควรมีแหล่งกำเนิด มาจากยานพาหนะเป็นส่วนมาก การกำหนดจุดที่จะเก็บตัวอย่างอากาศ จึงคำนึงถึงเรื่องดังกล่าว คือความเหมาะสมของสภาพการจราจร การสัญจรของผู้คน ความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง และการติดตั้งเครื่องมือเป็นหลัก ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างอากาศไว้ 10 จุดด้วยกัน โดยแยกเก็บที่บริเวณเทศบาลเมืองหาคีใหญ่ 4 จุด ที่บริเวณเขตเทศบาลเมืองสงขลา 4 จุด และพิเศษอีก 2 จุด คือที่ท่าบลดวนหินใกล้โรงงานปลาป่น กับบริเวณประตูรั้วเข้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาคีใหญ่

เขตเทศบาลเมืองหาคีใหญ่

จุดที่ 1 บริเวณตลาดพลาซา-สี่แยกสยามชัยถาวร ถนนเพชรเกษม

ที่ตั้ง : หน้าโรงเรียนจุฬารัตน์ที่เกาะกลางถนนใต้พุ่มไม้

สภาพแวดล้อม : ริมถนนทั้ง 2 ฝากของเกาะกลางถนน เป็นตึกแถวร้านค้า และใกล้ๆ กันเป็นสี่แยกป้อมไฟจราจรซึ่งการจราจรหนาแน่น

จุดที่ 2 บริเวณ 4 แยกสะพานลอย ถนนเพชรเกษม

ที่ตั้ง : ริมฟุตบาทถนนข้างธนาคารกสิกรไทย

สภาพแวดล้อม : เป็นมุมหนึ่งของ 4 แยกป้อมไฟจราจร รอบ ๆ เป็นตึกสูง ๆ ส่วนหนึ่งของถนนผานขึ้นไปบนสะพานลอยซึ่งมีการจราจรแออัด

จุดที่ 3 บริเวณ 4 แยกธนาคารไทยพาณิชย์ ถนนนิพัทธ์อุทิศ 3

ที่ตั้ง : ศาลาที่พักของเจ้าหน้าที่การจราจร

สภาพแวดล้อม : ริมฟุตบาทของถนนทั้ง 2 ฝากที่มาตัดกันเป็น 4 แยกรอบ ๆ เป็นสิ่งก่อสร้างส่วนใหญ่ เป็นตึกแถว ริมฟุตบาทมีแผงขายของ

จุดที่ 4 บริเวณ 4 แยกบ้านอุดมสิน ถนนนิพัทธ์อุทิศ 3

ที่ตั้ง : ศาลาที่พักของเจ้าหน้าที่การจราจร

สภาพแวดล้อม : เป็น 4 แยกป้อมไฟรอบ ๆ ริมถนนประกอบด้วยร้านค้า มีผู้คนสัญจรไปมามากไม่ขาดตอน

เขตเทศบาลเมืองสงขลา

จุดที่ 1 บริเวณหน้าสถานีรถไฟอำเภอเมืองสงขลา

ที่ตั้ง : ป้ายจราจรที่เกาะกลางถนนด้านหน้าสถานีรถไฟ

สภาพแวดล้อม : เป็น 4 แยก กลางถนนทั้ง 2 ทิศกันเป็นหน้าสถานีรถไฟ รอบ ๆ ถนนเป็นอาคารและสิ่งก่อสร้าง และมุมหนึ่งของถนนเป็นโรงเรียนอนุบาล

จุดที่ 2 หน้าไปรษณีย์-ศาลากลางสงขลา

ที่ตั้ง : ป้ายจราจรริมถนนปากทางเข้าศาลากลาง

สภาพแวดล้อม : เป็นปากทางเข้าศาลากลางทั้ง 2 ฝากเป็นตึกแถวร้านค้าตรงข้ามกับปากทางเข้าศาลากลาง เป็นทางเข้าไปสะพานท่าเรือประมง โดยที่ถนนทางปากทางเข้านี้ฝากหนึ่ง เป็นไปรษณีย์สงขลา

จุดที่ 3 ท่าแพขนานยนต์ข้ามฝากสงขลา-ระโนด

ที่ตั้ง : หน้าแยกลอยชายขาวแกง

สภาพแวดล้อม : รอบ ๆ เป็นแยกลอยชายขาว และที่จอดรถจักรยานยนต์รับจ้าง กับรถยนต์โดยสาร 2 แถว อีกฝากหนึ่งของถนน เป็นที่จอดรถต่าง ๆ ที่รอข้ามฝาก

จุดที่ 4 บริเวณชายทะเลหัวเขื่อนแหลมสน

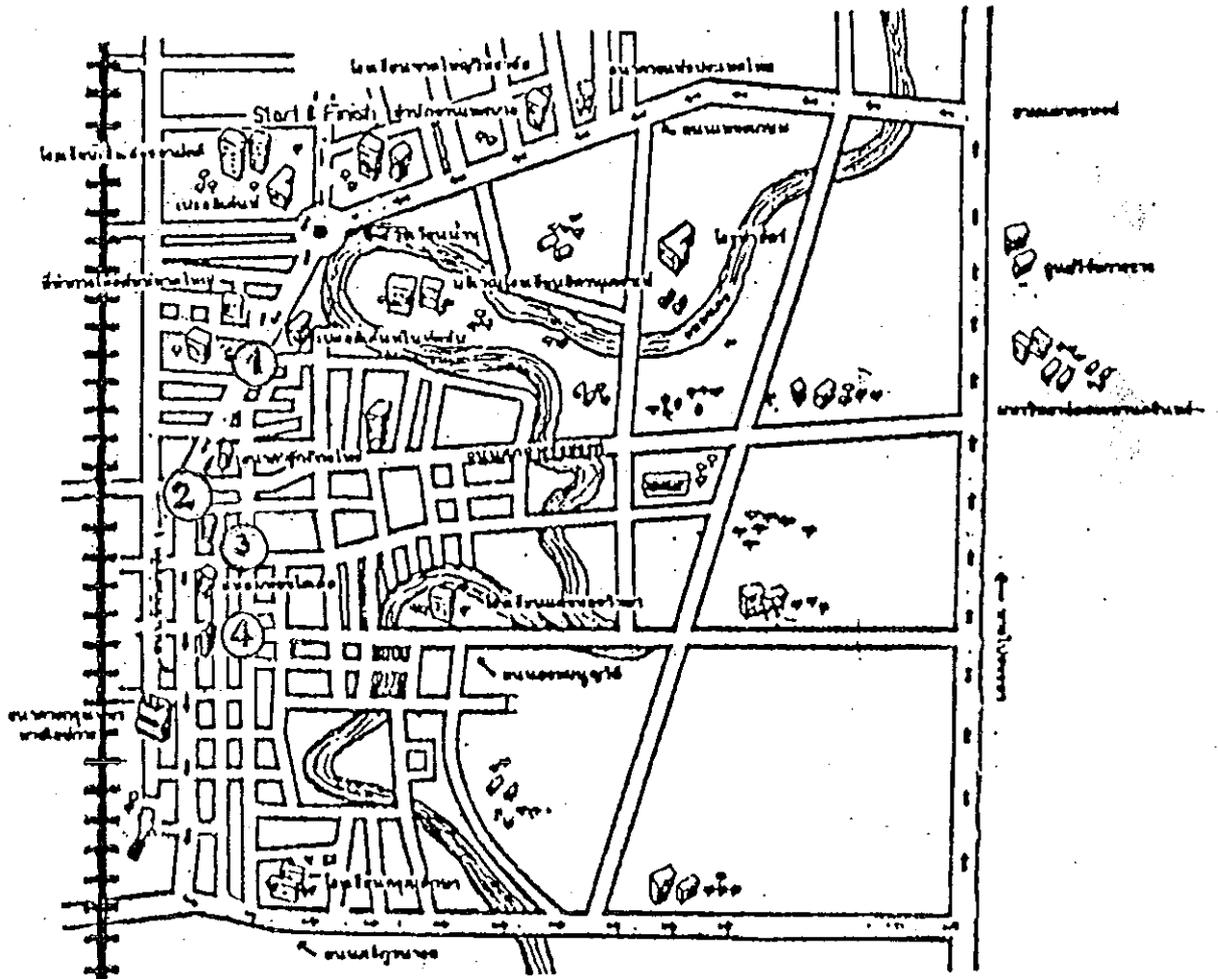
ที่ตั้ง : ริมชายทะเลโคกสน

สภาพแวดล้อม : คานหนึ่งเป็นทะเล รอบ ๆ ที่ตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่าง เป็นบริเวณท่องเที่ยว ประกอบไปด้วย ป่าสนที่ให้ความร่มเย็น

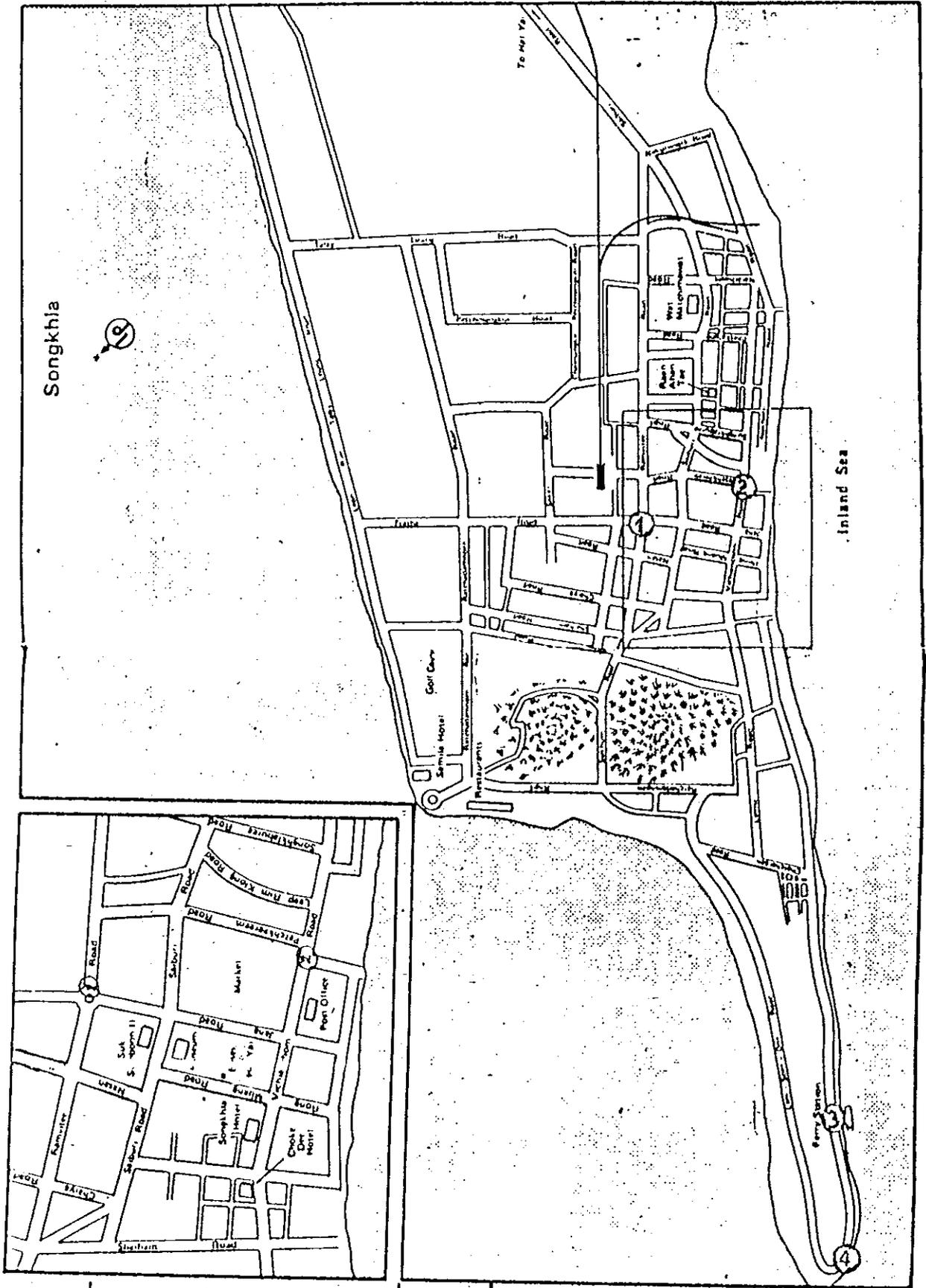
บริเวณที่เก็บพิเศษอีก 2 จุด

จุดที่ 1 บริเวณประตูรั้วโรงพยาบาลสงขลาณครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ สงขลา

ที่ตั้ง : ศาลาพักของเจ้าหน้าที่เวรยามรักษาความปลอดภัย



รูปที่ 3.1 ย่านเมืองท่าขนาดใหญ่แสดงจุดที่เก็บตัวอย่างอากาศ คือ
 1. บริเวณตลาดพลู 2. บริเวณสี่แยกสะพานลอย
 3. บริเวณสี่แยกธนาคารพาณิชย์ 4. บริเวณสี่แยกร้านอุคมสิน



รูปที่ 3.2 บึงเมืองสงขลา แสดงจุดที่เก็บตัวอย่างอากาศ คือ

1. บริเวณหน้าท่าเรือท่าเก่าเมืองสงขลา
2. หน้าไปรษณีย์-ท่าขนส่งทางรถสงขลา
3. ท่าแพขนานยนต์ข้ามฝากสงขลา-ระโนด
4. บริเวณชายทะเลหัวเขื่อนแหลมสน

สภาพแวดล้อม : ตรงข้ามปากทางเข้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เป็นสวนยางพาราที่ขนานไปกับถนนสายกาญจนวาทิชัย ซึ่งอีกด้านหนึ่งของถนนเป็นที่ตั้งของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จุดที่ 2 บริเวณใกล้โรงงานปลาปน บ้านควนหิน อ. เมืองสงขลา จ. สงขลา

ที่ตั้ง : ป้อมยามตำรวจ ต. ควนหิน ริมถนนสายสงขลา-หาดใหญ่

สภาพแวดล้อม : บริเวณริมถนนเป็นที่สวน และบ้านคนอาศัยไม่กี่หลัง ห่างจากป้อมยามประมาณ 2-3 กิโลเมตร เป็นที่ตั้งของโรงงานปลาปน

3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ

การเก็บตัวอย่างอนุภาคในอากาศ กระทำโดยผ่านอากาศไปยัง Sartorius membrane ที่ปราศจากความชื้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร มีรูขนาด 0.45 ไมโครเมตร ซึ่งได้บรรจุไว้ในพลาสติกฟิลเตอร์ไฮลอคอร์ และต่อกับ Personal air sampler pump ซึ่งได้วางไว้ในระดับความสูงเฉลี่ยของคนไทย สูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 - 1.60 เมตร การเก็บตัวอย่างอนุภาคในอากาศกระทำสถานที่ละ 3-5 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาตัวอย่างละไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ปริมาณตัวอย่างอากาศเพียงพอสำหรับการใช้วิเคราะห์ สำหรับอัตราการดูดอากาศได้ควบคุมไว้ที่สเกล 200 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดของปั๊มที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ และขณะเก็บตัวอย่างอนุภาคอากาศ ได้มีการบันทึกลักษณะภูมิอากาศทั่วไปในบริเวณที่เก็บตัวอย่างไว้ด้วยเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 - 3.2

3.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง และสารละลายแมลงค์

นำ Sartorius membrane ที่ไต่ผ่านการเก็บตัวอย่างอากาศมาแล้วนั้นมาละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นที่บริสุทธิ์ จำนวน 1 มิลลิลิตร และอุณหภูมิอนุภาคอากาศ และ Sartorius membrane ละลายพร้อมทั้งไลแกสไนโตรเจนออกไซด์ออกจากสารละลายอีกด้วย โดยอุณหภูมิแกสไนโตรเจนออกไซด์ออกให้หมดก่อน และเติมน้ำที่ปราศจากไอออนจำนวน 5 มิลลิลิตร อุณหภูมิอีก 5 นาที ค้างทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำสารละลายที่ได้เติมสารละลายของโปแทสเซียมไนเตรต 1 โมลาร์ จากข้อ 2.2.2.4 จำนวน 2.50 มิลลิลิตร แล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 25.00 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนในขนาดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมกับปรับ pH เป็น 2

ตารางที่ 3.1 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศเทศบาลเมืองหาดใหญ่

สถานที่-วัน	เวลา	ทิศทางลม ⁽⁸⁾	ความเร็วลม ⁽⁸⁾ นอต/ชม.	อุณหภูมิ °C	ความชื้น (%)
พลาซา-สยามชัย					
8 ต.ค. 2527	7.00-12.00	จ	-	25-33	80-69
7 ต.ค. 2527	12.00-15.00	จ	-	31-29	69-75
9 ต.ค. 2527	17.00-22.00	จ	-	31-25	75-78
สี่แยกสหานลอย					
2 ต.ค. 2527	7.05-13.25	ก	2	27-35	70-55
6 ต.ค. 2527	13.00-17.00	จ	-	35-30	70-75
6 ต.ค. 2527	17.00-22.00	จ	-	30-29	75-79
ธนาคารไทยพาณิชย์					
11 ต.ค. 2527	7.00-12.00	จ	-	26-35	77-69
12 ต.ค. 2527	12.00-17.00	ก	1	35-33	67-74
12 ต.ค. 2527	17.00-22.00	ก	1	33-26	70-75
สี่แยกบ้านอุดมสิน					
9 ต.ค. 2527	7.00-12.00	จ	-	25-29	79-74
10 ต.ค. 2527	12.00-17.00	จ	-	35-32	68-71
10 ต.ค. 2527	17.00-21.40	จ	-	32-29	71-75

จ = กรมสงบ

ก = ไปทางทิศตะวันตก

ตารางที่ 3.2 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างเทศบาลเมืองสงขลา

สถานที่-วัน	เวลา	ทิศทางลม ⁽⁹⁾ (องศา)	ความเร็วลม ⁽⁹⁾ มกต/ชม.	อุณหภูมิ °c	ความชื้น(%)
บ้านสุลตากร					
18 ก.ย.2527	8.15-15.15	จ - 90	จ - 7	28-32	70-63
24 ก.ย.2527	7.45-14.45	จ - 60	จ - 6	27-33	75-70
28 ก.ย.2527	7.30-12.30	จ - 60	จ - 8	27-32	77-69
หอนาฬิกาสงขลา					
20 ก.ย.2527	8.25-13.30	จ - 250	จ - 2	28-32	72-67
26 ก.ย.2527	8.10-14.10	270- 280	2 - 6	30-34	73-66
1 ต.ค.2527	8.00-14.00	จ - 50	จ - 7	28-33	76-67
แพชมานบนค					
21 ก.ย.2527	8.05-16.05	จ - 310	จ - 7	27-32	75-59
23 ก.ย.2527	8.05-16.05	จ - 300	จ - 7	28-33	77-69
30 ก.ย.2527	8.25-14.30	จ - 250	จ - 5	29-35	75-60
แหลมสนอ่อน					
25 ก.ย.2527	8.00-14.05	150- 90	3 - 8	29-33	76-70
5 ต.ค.2527	8.45-15.00	จ - 70	จ - 6	28-31	74-71

จ - ลมสงบ

ตารางที่ 3.3 ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ หน้าโรงพยาบาล
สงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ และที่ตำบลควนหิน อำเภอเมืองสงขลา

สถานที่-วัน	เวลา	ทิศทางลม(8-9)	ความเร็วลม(8-9) นอต/ชม.	อุณหภูมิ °c	ความชื้น(%)
ประตูรั้วโรงพยาบาล					
2 ก.ย.2527	8.05-16.05	จ	-	27-31	72-69
4 ก.ย.2527	7.45-16.05	ก - อก.	1	26-31	79-67
11 ก.ย.2527	16.05-21.05	จ	-	30-27	67-76
ป้อมยามตำบลควนหิน					
3 ก.ค.2527	9.15-14.45	230 - 200	4 - 5	28-34	71-67
4 ก.ค.2527	8.00-15.05	จ - 30	จ - 5	29-34	74-69

จ = ลมสงบ

ก - อก. = ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

สำหรับแมลงคักเตรียมไตทำนองเดียวกัน โดยนำ Sartorius membrane ที่ไม่ไคผานการ เก็บตัวอย่างอนุภาคอากาศมาก่อน มาเตรียมสารละลายที่จะใช้วิเคราะห์ เช่นเดียวกับการ เตรียมสารละลายตัวอย่างจาก Sartorius membrane ที่ผานการ เก็บตัวอย่างอนุภาคอากาศมาแล้วทั้งที่ใดกล่าวมา

3.4 การทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของ เครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณ Pb, Cd และ Cu

3.4.1 การเตรียมสารละลายเพื่อใช้ทดลอง

นำสารละลายผสมที่มีสารละลายมาตรฐานตัวอย่างของ ตะกั่ว แคดเมียม และ ทองแดง โดยมีความเข้มข้น 0.10, 0.10 และ 0.05 ไมโครกรัมมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาผสมกับสารละลายไปแทส เข้มในเตรค 1 โมลาร์ จำนวน 2.50 มิลลิลิตร และ ทำให้มีปริมาตรเป็น 25.00 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน ในขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อม ๆ กับปรับ pH เป็น 2 ด้วยสารละลายกรดไนตริก 1 โมลาร์

3.4.2 การหามอกุเลชันแอมปลิจูดที่เหมาะสม

นำสารละลายมาตรฐานใน 3.4.1 มาทดสอบโดยใช้ภาวะของการทดลอง คือใช้ เคอเรนซ์ เรนจ์ 5 ไมโครแอมแปร์ อิมพีแดนซ์ โฟเทนเซียล -0.8 โวลต์ โฟเทนเซียล เรนจ์ 3.0 โวลต์ เวลาที่ใช้ไฟฟลิต 120 วินาที อีควิลิบเบรชัน 30 วินาที และอัตราในการสแกน 5 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าของมอกุเลชันแอมปลิจูดต่าง ๆ กัน คือ 5, 10, 25 และ 100 มิลลิโวลต์ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

3.4.3 การหาอัตราเร็วในการสแกนที่เหมาะสม

นำสารละลายมาตรฐานใน 3.4.1 มาทดสอบโดยใช้ภาวะของการทดลองทั้งใน 3.4.2 แต่ใช้ค่ามอกุเลชันแอมปลิจูด 5 มิลลิโวลต์ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าของอัตราเร็วในการ สแกนต่าง ๆ กันคือ 1, 2, 5, 10 และ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

3.4.4 การทดลองใช้วิธีการคัพเพอเรนเซียลพัลซอในคิกสคริปทิง

การทดลองได้ใช้สารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันดังนี้

0.001, 0.005, 0.010, 0.015 และ 0.020 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย และฟลักเคอเรนซ์ ที่ภาวะการทดลอง ดังใน 3.4.2 และใช้ความอคูเลชันแอมป์ลิจูด 5 มิลลิโวลต์ อัตราเร็วในการสแกน 5 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

3.4.5 การหาตำแหน่งฟลักซ์กึ่งไฟฟ้าของ Pb(II), Ca(II) และ Cu(II) ในวิธีคิฟเฟอเรนเชียลพัลซอะโนติกสตรัพพิง

นำสารละลายมาตรฐานใน 3.4.1 มาทดสอบโดยใช้ภาวะของการทดลองดังใน 3.4.4 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

3.4.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างฟลักเคอเรนซ์และความเข้มข้นของสารละลาย KNO_3

นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสารละลายผสมที่มีสารละลายมาตรฐานของตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงอยู่ โดยมีความเข้มข้นของตะกั่ว 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แคดเมียม 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และทองแดง 0.05 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลายทดสอบ 25.00 มิลลิลิตร ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารละลายไปแต่ละเข็มในเตรตที่มีอยู่ในสารละลายทดลองนี้ ดังนี้ 0.10, 0.08, 0.06 และ 0.04 โมลาร์ โดยมี pH เป็น 2 ที่ภาวะการทดลองดังใน 3.4.4 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

3.5 การทดสอบสารละลายตัวอย่าง

กระทำโดยนำสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 25.00 มิลลิลิตร ลงในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งผ่านการล้างด้วย กรดไนตริก 3 โมลาร์ และล้างต่อด้วย น้ำที่ปราศจากไอออน 3-4 ครั้ง แล้วไล่ออกซิเจนในสารละลาย ด้วยแก๊สไนโตรเจนที่บริสุทธิ์ ประมาณ 10 นาที ปล่อยให้แก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ผ่านอยู่เหนือสารละลายตลอดเวลาที่ทำการทดลอง เพื่อให้เกิดโวลทาโมแกรม เพื่อป้องกันการละลายของออกซิเจน การทดลองใช้ภาวะของการทดลองดังใน 3.4.4

เมื่อได้โวลทาโมแกรมแล้ว เติมสารละลายมาตรฐานของตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ซึ่งเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร ลงในสารละลายตัวอย่าง ผ่านแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ลงในสารละลายผสมนี้ เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ออก-

ซีเจนออกจากสารละลาย แล้วทำการทดลอง เพื่อให้เกิดโวลทาโมแกรมอีกครั้ง โดยใช้ภาวะ
การทดลอง เช่น เดิม

จากโวลทาโมแกรมที่ได้ ทำการวัดความสูงของพีคที่ได้ ของสารละลายตัวอย่าง
และของสารละลายมาตรฐานที่เติม นำไปหักออกจากความสูงของพีคของแบลด์ แล้วนำค่าที่
ได้ ไปแทนค่าลงในสมการ (32) คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของไอออนของโลหะต่าง ๆ
ที่ต้องการได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

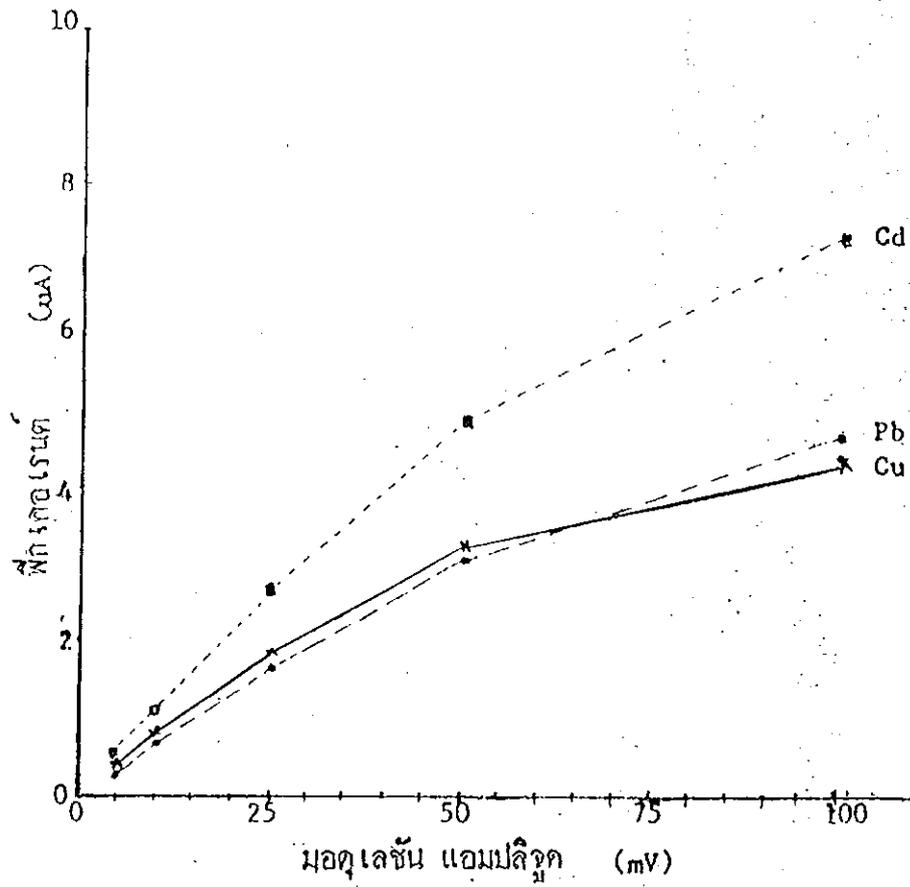
การทดลองเกี่ยวกับการหาภาวะที่เหมาะสมที่ใช้หาปริมาณของ ตะกั่ว แคดเมียม และ ทองแดง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1-4.5 และรูปที่ 4.1-4.3 ส่วนผลการทดลองที่หาปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ได้แสดงในตารางที่ 4.6-4.9

ตารางที่ 4.1 ผลของมอดูลเซ็นแอมป์ลิฟิกร์ ที่มีต่อค่าความสูงของพีค ของ Pb(II), Cd(II) และ Cu(II) ใน 0.1 M.KNO₃

มอดูลเซ็น แอมป์ลิฟิกร์ (mV)	ความสูงของพีค (μA)		
	Pb (0.1 $\mu\text{g}/\text{ml}$)	Cd (0.1 $\mu\text{g}/\text{ml}$)	Cu (0.05 $\mu\text{g}/\text{ml}$)
5	0.035	0.50	0.39
10	0.07	1.05	0.75
25	1.75	2.68	1.84
50	3.17	4.90	3.08
100	4.75	7.23	4.49

เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำกว่า 1.60 %

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100$$

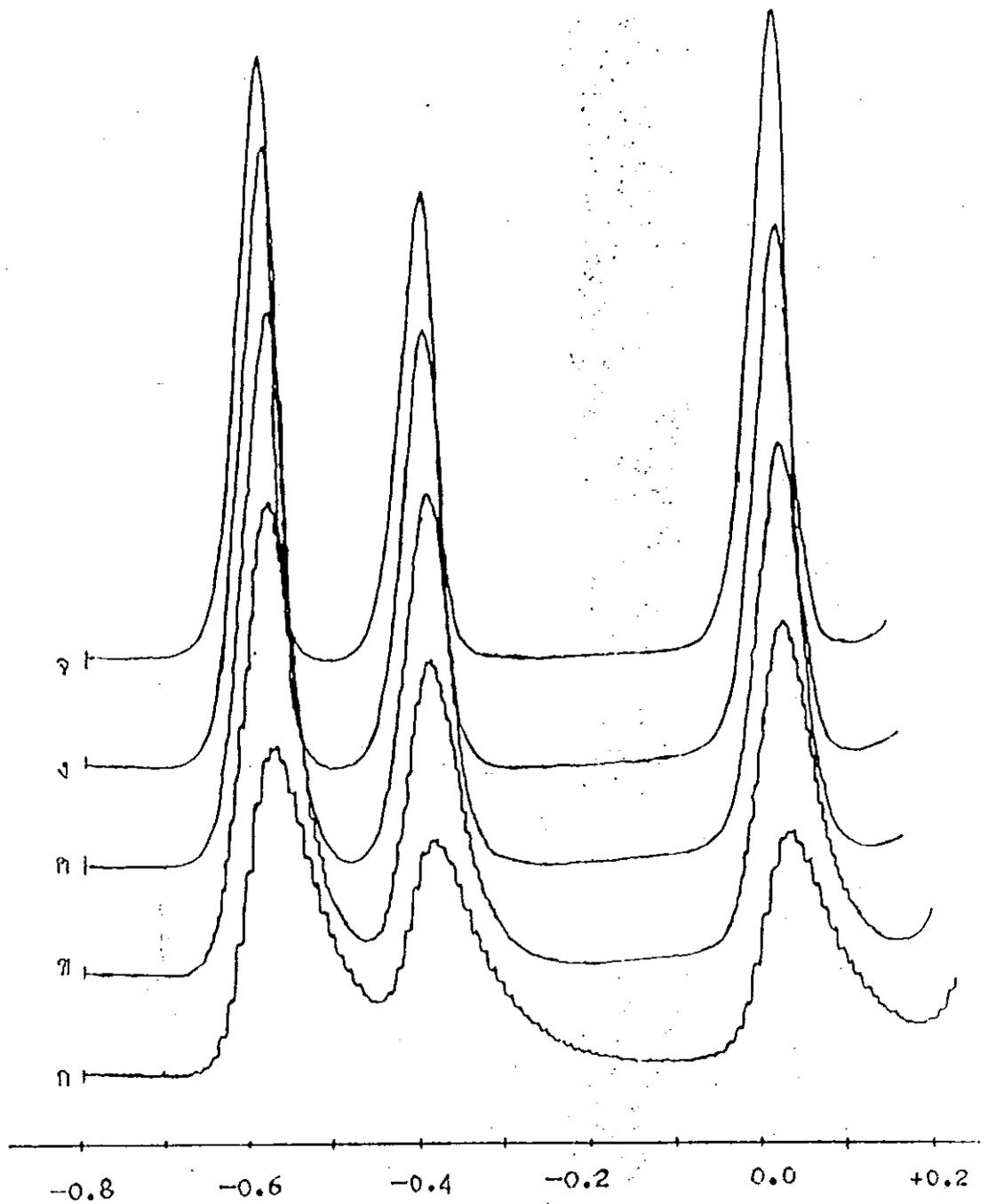


รูปที่ 4.1 ผลของมอดูเลชัน แอมปลิจูด ที่มีต่อค่าความสูงของพีคของ ตะกั่วไอออน แคดเมียมไอออน และทองแดงไอออน ใน สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต 0.1 โมลาร์.

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงผลของอัตราเร็วในการสแกนที่มีต่อค่าความสูงของพีค
ของ Pb(II), Cd(II) และ Cu(II) ใน 0.1M.KNO₃

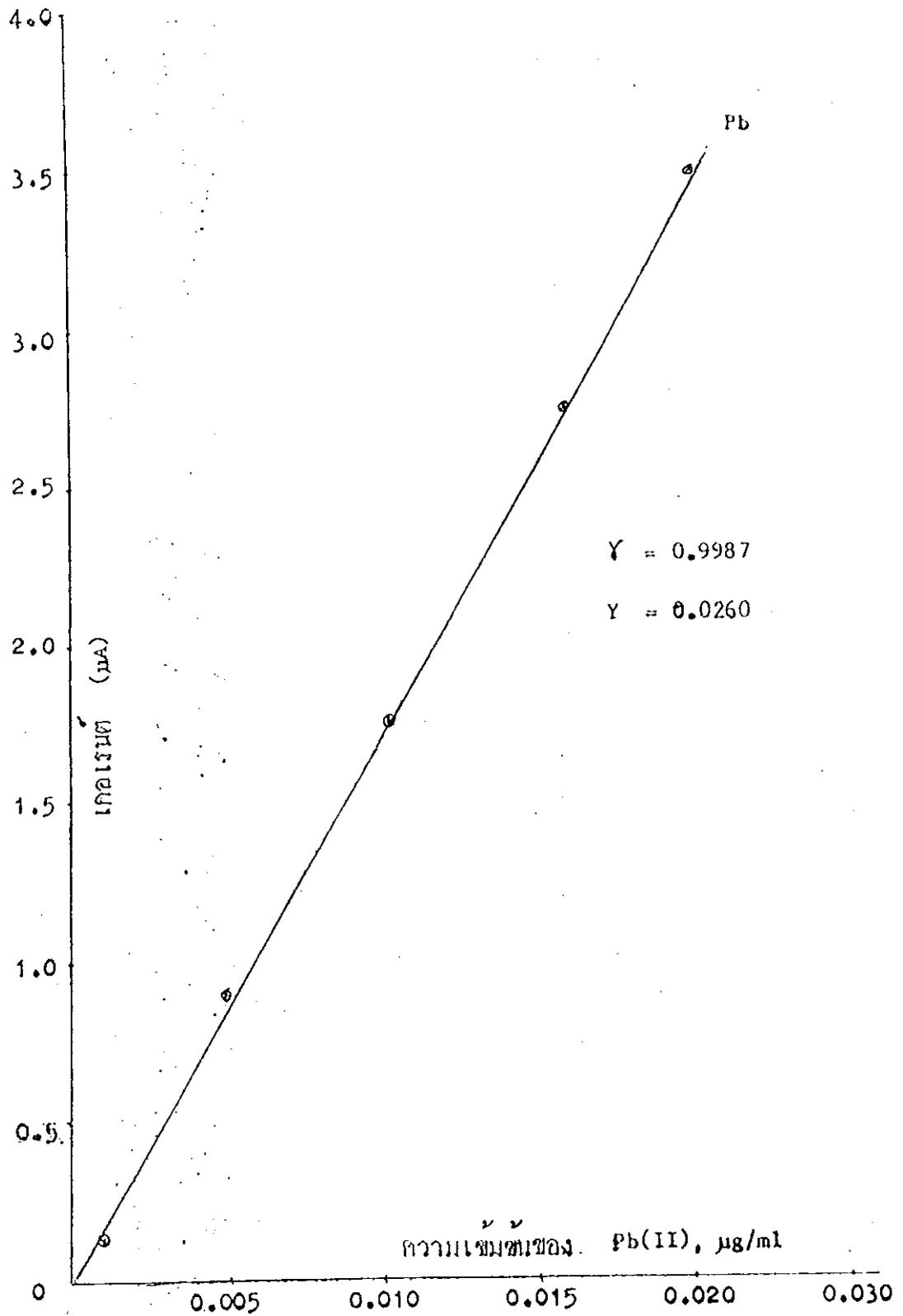
สแกนแรก (mV/sec)	ความสูงของพีค (μA)		
	Pb (0.1 μg/ml)	Cd (0.1 μg/ml)	Cu (0.05 μg/ml)
1	2.75	3.53	3.72
2	2.55	3.60	3.05
5	2.15	3.47	2.40
10	1.77	2.67	1.86
20	1.35	1.90	1.25

เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำกว่า 4.25 %



รูปที่ 4.2 พีกที่เกิดจากการใช้อัตราเร็วในการสแกนค่าต่างๆ กัน คือ

- ก. เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกน 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- ข. เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกน 10 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- ค. เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกน 5 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- ง. เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกน 2 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- จ. เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกน 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Pb(II) ใน 0.1M.KNO₃ กับความสูงของพีค (µA)

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งของ กิฟเฟอเรนเชียลพีลล์ของ โพลีกราฟฟิง ที่ก
โพแทสเซียม ของ Pb(II), Cd(II) และ Cu(II)

ชนิดของโลหะ	ขั้วพอร์คิงอิเล็กโทรด (pH 2)	E_p (V)
Cd	0.1M.KNO ₃	-0.59
Pb	0.1M.KNO ₃	-0.40
Cu	0.1M.KNO ₃	+0.01

ตารางที่ 4.5 ความสูงของพีค Pb(II), Cd(II) และ Cu(II) ในสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาที ที่โคอเรนซ์ เรนจ์ 10 ไมโครแอมแปร์

ความเข้มข้นของ สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต	i_p ของ Pb ^{**} (0.1 ug/ml)		i_p ของ Cd ^{**} (0.1 ug/ml)		i_p ของ Cu ^{**} (0.05 ug/ml)	
	Pb	Pb*	Cd	Cd*	Cu	Cu*
0.10 M.	2.02	1.87	2.26	3.01	2.19	2.42
0.08 M.	1.78	1.84	2.63	2.82	1.95	2.34
0.06 M.	1.91	1.88	2.93	3.07	1.80	2.37
0.04 M.	2.17	1.94	2.69	3.14	2.14	2.37

** เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำกว่า 6.93 %

* อยู่ในสารละลายผสมของ Pb(II), Cd(II) และ Cu(II)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วที่ใช้เวลาเก็บตัวอย่าง 8-9 ชั่วโมง บริเวณ
ตลาดเมืองหลักใหญ่ ระหว่างวันที่ 1-27 สิงหาคม 2527

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่างอากาศ		ปริมาณตะกั่ว ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	พิสัยของตะกั่ว ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	วัน	ปริมาตร (cm^3)		
บริเวณ 4 แยก สยามรัชกาล	12 ส.ค.2527	100,213	3.09	2.69-3.09
	14 ส.ค.2527	101,537	2.69	
	21 ส.ค.2527	96,084	3.07	
บริเวณ 4 แยก สะพานลอย	1 ส.ค.2527	100,084	2.47	1.57-3.83
	3 ส.ค.2527	101,039	1.57	
	23 ส.ค.2527	98,219	3.83	
บริเวณ 4 แยก ธนาคารไทยพาณิชย์	9 ส.ค.2527	100,071	1.00	1.00-1.87
	19 ส.ค.2527	96,187	1.39	
	27 ส.ค.2527	100,138	1.87	
บริเวณ 4 แยกตรง ร้านจุกมสิน	7 ส.ค.2527	102,010	2.12	1.94-2.15
	16 ส.ค.2527	97,135	2.15	
	25 ส.ค.2527	96,978	1.94	

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงในอากาศ ในเขตเทศบาล
เมืองหาคีใหญ่ อำเภอหาคีใหญ่ จังหวัดสงขลา

สถานที่เก็บ	ตัวอย่างอากาศ		ปริมาณโลหะที่หา ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	วัน	เวลา	Pb	Cd	Cu
พลาซา-สยามรัชกาลการ	8 ต.ค.2527	7.00-12.00	7.16	น	น
	7 ต.ค.2527	12.00-15.10	4.91	น	น
	9 ต.ค.2527	17.00-22.00	4.49	น	น
สี่แยกสะพานลอย	2 ต.ค.2527	7.05-13.25	1.54	น	น
	6 ต.ค.2527	13.00-17.00	2.66	น	น
	6 ต.ค.2527	17.00-22.00	1.69	น	น
สี่แยกธนาคารไทยพาณิชย์	11 ต.ค.2527	7.00-12.00	1.74	น	น
	12 ต.ค.2527	12.00-17.00	2.79	น	น
	12 ต.ค.2527	17.00-22.00	2.11	น	น
สี่แยกตรกร้านจุกมลิน	9 ต.ค.2527	7.00-12.00	2.28	น	น
	10 ต.ค.2527	12.00-17.00	4.13	น	น
	10 ต.ค.2527	17.00-21.40	3.06	น	น

น = ปริมาณน้อยมากจนยากที่จะวัดให้มีความถูกต้องไต่ยาก น = ไม่สามารถตรวจสอบได้

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงในอากาศ ในเขตเทศบาล
เมืองสงขลา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา

สถานที่เก็บ	ตัวอย่างอากาศ		ปริมาณโลหะ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	วัน	เวลา	Pb	Cd	Cu
ท่าศาลา-ไปรษณีย์	18 ก.ย.2527	8.15-15.15	0.85	น	น
	24 ก.ย.2527	7.45-14.45	0.85	น	น
	28 ก.ย.2527	7.30-12.30	0.39	น	น
หน้าพิภพ เมืองสงขลา	20 ก.ย.2527	8.25-13.30	1.20	น	น
	26 ก.ย.2527	8.10-14.10	1.31	น	น
	1 ต.ค.2527	8.00-14.00	1.68	น	น
ท่าแพขนานยนต์ข้ามฝาก (สงขลา-ระโนด)	21 ก.ย.2527	8.05-16.05	1.23	น	น
	23 ก.ย.2527	8.05-16.05	2.45	น	น
	30 ก.ย.2527	8.25-14.30	1.32	น	น
แหลมสนอ่อน(หัวเขื่อน)	25 ก.ย.2527	8.00-14.05	0.10	น	น
	5 ก.ย.2527	8.45-15.00	0.04	น	น

น = ปริมาณน้อยมากจนยากที่จะให้ความถูกต้องได้

น = ไม่สามารถตรวจสอบได้

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในอากาศบริเวณประตูรั้ว
เข้าโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และบริเวณท่ารถบ้านควนหิน

สถานที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่างอากาศ		ปริมาณโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	วัน	เวลา	Pb	Cd	Cu
ประตูรั้วโรงพยาบาล	2 ก.ย.2527	8.05-16.05	0.12	น	น
	4 ก.ย.2527	7.45-16.05	0.55	น	น
	11 ก.ย.2527	16.05-21.05	0.87	น	น
ป้อมตำรวจบ้านควนหิน	3 ต.ค.2527	9.15-14.45	0.11	น	น
	4 ต.ค.2527	8.00-15.05	0.14	น	น

น = ไม่สามารถตรวจสอบได้

สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในอนุภาคตัวอย่างอากาศ ที่เก็บมาจากจุดต่าง ๆ ในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ และสงขลา ดังแสดงในตารางที่ 4.6, 4.7 และที่ 4.8 โลหะที่พบคือ ตะกั่ว ส่วนแคดเมียมมีปริมาณน้อยมาก ๆ ซึ่งสามารถตรวจพบได้ในบางตัวอย่างเท่านั้น สำหรับทองแดงนั้นตรวจไม่พบ และจากผลการตรวจสอบปริมาณตะกั่ว โดยวิธี DPASV จะเห็นได้ว่าปริมาณของตะกั่ว แปรเปลี่ยนไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ตามสภาพแวดล้อมที่ต่าง ๆ กัน เช่นภูมิประเทศ วัน เวลา และสภาพอากาศ รวมถึงแหล่งกำเนิดสารตะกั่วในอากาศ ในแต่ละเวลาซึ่งได้แก่ ยวดยานพาหนะที่ใช้ น้ำมัน เป็นเชื้อเพลิง

ข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6-4.9 เป็นปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่อยู่ในอนุภาคอากาศ ซึ่งอยู่ในบริเวณที่มีผู้คนอาศัยอยู่ หรือผ่านไปมา ได้รับเข้าทางระบบหายใจ โดยระดับที่เก็บตัวอย่างสูงจากพื้นถนนประมาณ 1.50-1.60 เมตร ซึ่งเป็นค่าความสูงโดยเฉลี่ยของคนไทย จากข้อมูลในตารางดังกล่าว จะเห็นได้ว่าปริมาณของตะกั่วในเขตเทศบาลหาดใหญ่มีพิสัย 1.00-7.16 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร และในเขตเทศบาลเมืองสงขลามีพิสัย 0.04-2.45 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร จากผลการทดลองที่ได้ี้ จะเห็นได้ว่าในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ มีปริมาณของตะกั่วในอากาศมากกว่าในเขตเทศบาลเมืองสงขลา ซึ่งสอดคล้องกับสภาพของความเจริญของบ้านเมือง และความหนาแน่นของ ยวดยานพาหนะ อันเป็นแหล่งกำเนิดของสารตะกั่วในอากาศ ซึ่งเมืองหาดใหญ่มีความแออัดมากกว่า เมืองสงขลา

สำหรับข้อมูลในตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงถึงปริมาณตะกั่วในอากาศในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ ในช่วงวันที่ 1-27 สิงหาคม 2527 ซึ่งใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ววัน 8-9 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ปริมาณตัวอย่างอนุภาคในอากาศเพียงพอในการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพราะ Personal air sampler pump ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีอัตราการเก็บอากาศตัวอย่างปริมาณสูงสุดได้ 200 มิลลิลิตรต่อนาทีเท่านั้น

จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างนานให้เพียงพอ แต่เมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศลดลงมาเป็น 5 ชั่วโมง แล้วนำผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในอากาศทั้งสองกรณีนี้ พบว่าผลการวิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกัน เพียงแต่กรณีใช้เวลามากจะให้ที่กึ่งสูง ง่ายต่อการอ่านกว่า ทั้งนี้เพราะปริมาณสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีมากกว่า ดังนั้นการใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศประมาณตัวอย่างละ 5 ชั่วโมง จึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ ทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในการวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งเวลาการวิเคราะห์ในวันหนึ่งได้ 3 ช่วงเวลา ทำให้มีข้อมูลไว้ใช้เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในแต่ละช่วงเวลาได้ดังมีผลปรากฏในตารางที่ 4.7

สำหรับข้อมูลทั้งในตารางที่ 4.7 ได้แสดงปริมาณตะกั่วในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ โดยแสดงถึงปริมาณตะกั่ว 3 ช่วงด้วยกัน คือตั้งแต่ช่วงเวลาเช้า-เที่ยงวัน เวลาประมาณ 7.00-12.00 น. ช่วงเวลาเที่ยงวัน-เวลาเย็น เวลาประมาณ 12.00-17.00 น. และช่วงเวลาเย็น-กลางคืน เวลาประมาณ 17.00-22.00 น. ซึ่งจากข้อมูลที่ได้อาจจะแสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในอากาศ จะเป็นไปดังนี้ คือช่วงเวลาเช้า-เที่ยงวัน ค่าเฉลี่ยโดยประมาณ 3.18 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ช่วงเวลาเที่ยงวัน-เวลาเย็น ค่าเฉลี่ยโดยประมาณ 3.62 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ช่วงเวลาเย็น-เวลาค่ำ ค่าเฉลี่ยโดยประมาณ 2.84 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อเทียบกันแล้วโดยเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในอากาศ ช่วงเวลาเที่ยงวัน-เวลาเย็นมากที่สุด รองลงมา เป็นช่วงเวลาเช้า-เที่ยงวัน และช่วงเวลาเย็น-เวลาค่ำมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว พอสรุปได้ว่าปริมาณตะกั่วขึ้นอยู่กับจำนวนแอ๊กของยวดยานพาหนะบนท้องถนน เพราะจากการสังเกตปริมาณยวดยานพบว่าในช่วงเวลาเช้า ยวดยานจะมีมากเฉพาะแต่ช่วงเวลาประมาณ 7.00-9.00 น. และเมื่อเลยเวลานี้ไปแล้ว ก็จะเริ่มลดลง แต่จะเริ่มมีมากอีกครั้งแต่เที่ยงวันระหว่างเวลา 12.00-13.15 น. กับเวลาระหว่าง 15.30-17.00 น. ซึ่งจำนวนยวดยานเมื่อประมาณฤดูแล้ว จะมีปริมาณมากกว่าในช่วงเวลาเช้า และเมื่อเลยเวลานี้ไปแล้วปริมาณยวดยานก็มีพอประมาณ แต่ก็ไม่มากนัก และในช่วงเวลา 19.30-20.15 น. ก็จะพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณตะกั่วในอากาศ ในเขตเทศบาลเมืองสงขลา ได้แสดงปริมาณตะกั่วในอากาศจากตัวอย่างอากาศ ที่ใช้เวลาเก็บตัวอย่างครั้งละไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง ทั้งช่วงเช้าไปจนถึงช่วงบ่าย ส่วนข้อมูลในตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงถึงปริมาณตะกั่วในอากาศ ในบริเวณประตูรั้วโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และบริเวณริมถนนใกล้ ๆ ป้อมที่พักรถตำรวจบ้านควนหิน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งสถานที่ทั้ง 2 นี้ ใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างแหล่งชุมชนที่มีการสัญจรไปมาตลอดเวลากับบริเวณที่มีการสัญจร เป็นเวลาคือบริเวณประตูรั้วโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และบริเวณที่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมคือจุดเก็บตัวอย่างอากาศบ้านควนหิน เป็นสถานที่อยู่ใกล้โรงงานปลาป่น ซึ่งมีโรงงานปลาป่นอยู่หลายโรงงาน จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าปริมาณตะกั่วที่วิเคราะห์ได้ในบริเวณบ้านควนหิน มีปริมาณน้อยมาก คือมีหีสัย 0.11-0.14 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งอาจมีผลมาจากไอเสียของยวดยานพาหนะที่วิ่งผ่านไปมาบนถนนหลวง และเข้าออกบริเวณปากทางถนนใกล้จุดตัดตั้ง เครื่องมือ เก็บตัวอย่างอากาศมากกว่าที่จะมาจากโรงงานปลาป่น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ และสงขลา พบว่าปริมาณตะกั่วในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่มีปริมาณมากกว่า คือในเมืองหาดใหญ่มีค่า 1.00-7.16 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ส่วนในเมืองสงขลา มีค่า 0.04-2.45 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณดังกล่าวเมื่อเทียบกับปริมาณตะกั่วที่พบในกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากคณะกรรมการการสำรวจพิษภัยของแก๊สจากท่อไอเสียรถยนต์ (10) พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ในระดับ 7.9-28.0 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือข้อมูลที่ได้จากพินิต เชิดชูพงษ์ (28) ซึ่งพบตะกั่วตั้งแต่ 0.60-47.25 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร จะเห็นว่าปริมาณตะกั่วในอากาศเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า ปริมาณตะกั่วในกรุงเทพฯ มาก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากจำนวนยวดยานพาหนะในกรุงเทพฯ มีความแออัดมากกว่าในเมืองหาดใหญ่หลายเท่า อีกทั้งในกรุงเทพฯ ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารตะกั่วอยู่หลายโรงงาน และเมื่อไต่เข้าไปเทียบกับปริมาณตะกั่วที่วิเคราะห์พบในเมืองเชียงใหม่ซึ่งมีหีสัย 0.4-10.3 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (6) จะเห็นว่าปริมาณที่ไม่แตกต่างกันนัก และเมื่อได้เปรียบเทียบกับเมืองสำคัญของประเทศต่าง ๆ

(ตารางที่ 5.1) จะเห็นว่าเมืองหกลใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามการนำเอาผลการทดลองมาเทียบกับอาจไม่ได้ผลแน่นอนนัก ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลา และช่วงเวลาทำการเก็บตัวอย่างอากาศต่างกัน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่กำหนดเก็บตัวอย่างมีความต่างกัน ทำให้สิ่งแวดล้อมต่างกันไป เป็นผลทำให้ปริมาณโลหะที่พบไม่คงที่ใกล้เคียงกัน เช่นจากข้อมูลของ AIT (33) พบตะกั่วในกรุงเทพฯตั้งแต่ 0.45-2.19 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จาก เพริศพรรณ กณารณา (18) พบว่ามีปริมาณตะกั่วตั้งแต่ 0.0-600.0 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือจากข้อมูลที่ได้จาก เบนิต เชิญชูพงษ์ ที่พบว่ามีปริมาณตะกั่วตั้งแต่ 0.60-47.25 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร

สำหรับโลหะแคดเมียม และทองแดงนั้น ปรากฏว่าตรวจพบได้บ้าง ก็แต่เฉพาะแคดเมียมซึ่งก็ตรวจพบได้บางครั้งเท่านั้น และก็อยู่ในระดับที่ไม่อาจตรวจวัดปริมาณได้ ทั้งนี้เป็นเพราะในเมืองหกลใหญ่ ไม่มีแหล่งปลดปล่อยโลหะแคดเมียมในอากาศโดยตรง และสำหรับในสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นประเทศที่มีแหล่งอุตสาหกรรมเจริญมาก แต่ปริมาณแคดเมียมที่พบในอากาศมีน้อยมาก กล่าวก็จากการสำรวจปริมาณแคดเมียมในเมืองต่าง ๆ 28 เมือง ได้พบแคดเมียมในอากาศ ตั้งแต่วัดไม่ได้ จนถึง 0.062 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร (33). สำหรับในกรุงเทพฯมหานคร เพริศพรรณ และคณะ (24-27) พบแคดเมียมมีระดับ 0-135.4 ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในโรงงานอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกา มีอุปกรณ์ในการกำจัดสารเสียที่มีประสิทธิภาพ และมีความเคร่งครัดในการปฏิบัติตามกฎหมายการควบคุมการปลดปล่อยสารต่าง ๆ ออกจากโรงงานมากกว่า ทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พบในอากาศมีค่าน้อยกว่ากรุงเทพฯ

สำหรับการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เทคนิคทางคิฟเฟอเรนเชียลพัลซซ์โนดิคสตรัพพิงโวลแทมเมตรี ในสารละลายของโปแทสเซียมไนเตรดที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อทำหน้าที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโปแทสเซียมไนเตรด ระหว่างช่วงความเข้มข้น 0.04-0.1 โมลาร์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มข้นที่ไม่ต่างกันมากนัก ที่ pH 2 พบว่าค่าความสูงของพีคของ $Pb(II)$, $Cd(II)$ และ $Cu(II)$ ที่ได้จากการใช้ความเข้มข้นของสาร

ตารางที่ 5.1 ปริมาณตะกั่วในเมืองสำคัญของต่างประเทศ (6)

เมือง	ปี	ปริมาณตะกั่ว ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		ค่าเฉลี่ย	ช่วง
กีทรอย	1961 - 1966	4.8	1.0 - 11.8
บิวบอร์ก	1961 - 1966	4.1	1.0 - 13.0
ลอสแอนเจลิส	1961 - 1966	7.6	0.4 - 18.4
จอร์จทาวน์ (อังกฤษ)	1965 - 1966	3.5	0.09 - 6.2
โรม	1972 - 1972	4.5	-

โปแตสเซียมไนเตรดดังกล่าว ให้ผลไม่แตกต่างกันเกินขีด กังตารางที่ 4.5 การวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกทำในสารละลายโปแตสเซียมที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ pH 2 เพื่อให้เหมือน ๆ กันทุกครั้งที่ใช้ศึกษาปริมาณโลหะหนักดังกล่าว และจะให้ค่าแห่งการเกิดศักของ Cd ที่โพเทนเชียล -0.59 โวลต์ ของ Pb ที่ -0.40 โวลต์ และของ Cu ที่ +0.01 โวลต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ในกรณีการทดลองหาภาวะที่เหมาะสม ในการใช้เครื่องมือเกี่ยวกับการเลือกใช้ค่ามอดูเลชันแอมพลิฟิไค์ ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และจากรูปที่ 4.1 พอสรุปได้ว่าค่าที่เหมาะสมต่อการใช้มอดูเลชันแอมพลิฟิไค์ ตั้งแต่ 5, 10 และ 25 มิลลิโวลต์ ซึ่งให้รูปกราฟเป็นเส้นตรง สอดคล้องกัน แต่ในการทดลองที่ใช้หาปริมาณสารในการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้ค่ามอดูเลชันแอมพลิฟิไค์ 25 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้เพราะจะให้ค่าความสูงของพีคซีคเจน สูงกว่าค่า 5 มิลลิโวลต์ และค่า 10 มิลลิโวลต์ ส่วนการศึกษาถึงการเลือกใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า จากผลการทดลอง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า การใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า 5.2 และ 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จะให้ความสูงของพีคซีคเจน และลดการเกยเหลื่อมล้ำของพีคที่เกิดจาก Pb(II) กับ Cd(II) ได้ดี การทดลองนี้ใช้อัตราการสแกนเท่ากับ 5 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ทั้งนี้เพราะจะใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่า การใช้อัตราการสแกน 2 และ 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

สำหรับตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของพีคกับความเข้มข้นของ Pb(II) ในสารละลายโปแตสเซียมไนเตรดที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ pH 2 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า สภาวะที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์มีความเหมาะสม เพราะให้ความสัมพันธ์กันดี โดยแสดงออกในรูปของกราฟเส้นตรง ดังปรากฏในรูปที่ 4.3

ดังนั้นภาวะในการทดลองที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษา มา และเลือกเพื่อนำมาใช้ในการหาปริมาณของ ตะกั่ว แคดเมียม และ ทองแดง ในอากาศในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ และ เทศบาลเมืองสงขลาในการวิจัยครั้งนี้ พอจะสรุปได้ดังในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง

รายการ	ภาวะที่เหมาะสม
potential scan rate	5 mv/sec
modulation amplitude	25 mv(pp)
operating mode	diff.pulse
current range	5 μ A
low pass filter	off
output off set	off
initial potential	-0.8 V.
potential range	3.0 V.
scan direction	" + "
display direction	" - "
clock (drop time)	0.5 sec.
deposition time	120 sec.
equilibration	30 sec.

ภาคผนวก 1
↙
(หน้า 65-66)

ภาคผนวก 2
↙
(หน้า 67-73)

ภาคผนวก 1

ระกัับปลอดคกััยของโลหะตะกั่ว แคลเมียม และสังกะสี

การวางที่ 1 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะตะกั่ว แคลเมียม และสังกะสี ในบรรยากาศของ
การทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งยอมให้มีได้ (35)

โลหะ	ไมโครกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร
Cd (fume)	100
Cd (dust)	200
Pb และสารประกอบ	200
Pb (Lead arsenate)	150
Pb (จาก TEL) ๑ ผลคอกปีวหนััง	75
Pb (จาก TML) ๑๑ ผลคอกปีวหนััง	75
Zn (Zinc oxide fume)	1000
Zn (Zinc oxide fume)	5000

* TML : tetramethyl lead

** TEL : tetraethyl lead

ตารางที่ 2 ระดับปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 70 กิโลกรัม) ในร่างกายเท่าที่ร่างกายจะทนได้โดยไม่เกิดอันตราย (35)

ชนิดโลหะ	ระดับที่ร่างกายทนทานได้(มิลลิกรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 70 กิโลกรัม)
Pb	120
Cd	30
Zn	2300

ภาคผนวก 2

ปริมาณสารมลพิษทาง อากาศ ในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1. ผลการวิเคราะห์สารมลพิษทางอากาศในบริเวณแหล่งวางแผงอาหารเทศบาล (11.)

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found				สภาพแวดล้อมขณะ Sampling
	วัน	เวลา	Gases(ppm)		Respirable Dusts $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
หน้าศึกษาวิชาสัตวและ การบัญชี (ข้างสนามฟุตบอล ถนนพญาไท	พ.ย. ๒๖ พ.ค. ๑๔	10.35 - 12.35	CO	4.0	Pb ²⁺	57.3	มีเมฆฝนตกเล็กน้อย ลมอ่อน มาก อุณหภูมิ 31°C ความชื้น 53-56 %
			CO ₂	300	Cu ²⁺	35.8	
			Cl ₂	0.09	Zn ²⁺	49.6	
		13.32- 15.32	CO	3.3	Pb ²⁺	70.8	เมฆฝนตกบางส่วน แดดอ่อน ลมอ่อน อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 44-46 %
			CO ₂	300	Zn ²⁺	49.6	
			Cl ₂	0.03			
ข้างศึกษาศาสตร์ ก (สนามบาสเกตบอล ถนน รังสิตรังสิต)	พ.ย. ๒๗ พ.ค. ๑๔	10.15- 12.15	CO	2.7	Cu ²⁺	35.8	มีเมฆฝนตก แดดอ่อน ไม่มีลม อุณหภูมิ 33°C ความชื้น 38-52 %
			CO ₂	500	Zn ²⁺	54.8	
			Cl ₂	0.02			
		13.00- 15.00	CO	2.3	Pb ²⁺	43.8	เมฆฝนตกบางส่วน แดดปาน กลาง ไม่มีลม อุณหภูมิ 34-36°C ความชื้น 31-44 %
			CO ₂	300	Cu ²⁺	43.0	
หน้าศึกษาวิชาสัตวแพทย์ ถนน รังสิตรังสิต	พ.ย. ๒ ก.ย. ๑๔	10.00- 12.00	CO	4.0	Pb ²⁺	70.8	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลมอ่อน อุณหภูมิ 32-34°C ความชื้น 43-55 % (มีฝนตกหนักคืน วันที่ ๑ ก.ย. ๑๔)
			CO ₂	350	Cu ²⁺	65.5	
					Zn ²⁺	93.8	
		13.05- 15.05	CO	2.7	Pb ²⁺	43.8	มีเมฆฝนบ้าง แดดปานกลาง ลม อ่อนมาก อุณหภูมิ 32-34°C ความชื้น 50-52 %
			CO ₂	400	Cu ²⁺	35.8	
ศึกษาศาสตร์ ก ข้างห้องสมุด - รังสิต	พ.ย. ๓ ก.ย. ๑๔	10.00- 12.00	CO	1.7	Zn ²⁺	50.6	มีเมฆฝนบ้าง แดดอ่อน ลมอ่อน มาก อุณหภูมิ 30°C ความชื้น 61 % (มีฝนตกหนักคืนวันที่ ๒ ก.ย.)
			CO ₂	350			
		13.03- 15.03	CO	1.7	Zn ²⁺	36.9	มีเมฆฝนตก แดดอ่อน ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 53-55 %
			CO ₂	300			

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found				สภาพแวดล้อมขณะ Sampling
	วัน	เวลา	Gases (ppm)		Respirable Dusts $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
สถานี ๒ (ข้าง น้ำ)	ท. ๔ กบ. ๔๔	9.55-	CO	3.3	Pb ²⁺	57.3	มีเมฆหมอกเบาๆ แดดปานกลาง ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 30° ความ ชื้น 62% (มีหมอกหนักในวัน 8 ก.ย. 19) มี Lab Org Chem
		11.55	CO ₂	300	Cu ²⁺	43.0	
	13.25-	CO	3.3	Pb ²⁺	70.8	มีเมฆเบาๆ แดดปานกลาง ไม่มีลม อุณหภูมิ 32° C ความชื้น 60-65% มี Lab Qual. Org & Gen Chem.	
15.25	CO ₂	450	Cu ²⁺	43.0	Zn ²⁺		37.9
ระหว่างสถานี ๑ & ๒	ท. ๑๐ กบ. ๑๔	13.00-	CO	2.3	Pb ²⁺	57.3	ฟ้าคลุ้มฝน (มีหมอกหนักในวัน 12 ก.ย. 19) และเช้าวันที่ 13 ก.ย. 19 มีฝนโปรยอ่อนๆ ถึง เที่ยงจึงหยุด) ไม่มีลม ลมอ่อน อุณหภูมิ 30° C ความชื้น 58% มี Lab Qual & Gen Chem
		15.00	CO ₂	350	Cu ²⁺	35.8	
	10.05-	CO	4.0	Pb ²⁺	57.3	มีเมฆเบาๆ แดดปานกลาง ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 32° C ความชื้น 59-60%	
12.05	CO ₂	450	Cu ²⁺	28.6	Zn ²⁺		41.1
ระหว่างสถานี ๑ & ๒	ท. ๑๐ กบ. ๑๔	13.05-	CO	4.0	Pb ²⁺	57.3	มีเมฆเบาๆ แดดปานกลาง ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 33° C ความชื้น 56-57% มี Lab Org & Gen Chem
		15.05	CO ₂	450	Zn ²⁺	37.9	

ตารางที่ 2. ผลการวิเคราะห์สารมลภาวะทางอากาศในบริเวณ ถนนพระราม ๑ - สุขุมวิท

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found				สภาพแวดล้อมขณะ Sampling					
	วัน	เวลา	Gases (ppm)		Respirable Dusts $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
ข้างป้อมยามตำรวจ ตรงข้ามหน้าโรงพยาบาล (ถนนพระราม ๑)	ส. ๑๐ ก.ค.	10.15- 11.15	CO	6.0	Pb ²⁺	108.3	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจ้า ลมอ่อน อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 48-50 % ฝนผ่านตลอดเวลา					
		13.30- 15.00	CO	8.0				CO ₂	400	SO ₂	0.06	มีเมฆบางส่วน ฟ้า แดดจ้า ลมอ่อน มาก อุณหภูมิ 39°C ความชื้น 40-42 % ฝนผ่านตลอดเวลา และรถจักรยานฝุ่งทรงขาว
แยกราชประสงค์ (วันสตรี ถนนพระราม ๑)	ส. ๑๔ มิ.ย.	10.05- 12.25	CO	3.1	Pb ²⁺	54.1	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดปานกลาง ลมอ่อน อุณหภูมิ 32°C ความชื้น 50-54 % ฝนผ่านตลอดเวลา					
		14.00- 16.15	CO	2.5				CO ₂	300	SO ₂	0.04	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดปานกลาง ลมอ่อน อุณหภูมิ 33°C ความชื้น 52-54 % ฝนผ่านตลอดเวลา
		10.15- 11.45	CO	6.7				Pb ²⁺	33.3	มีเมฆบางส่วน ฟ้า แดดอ่อน ลมอ่อน อุณหภูมิ 31°C ความชื้น 57-58 % ฝนผ่านตลอดเวลา		
13.50- 14.50	CO	6.7	ไม่พบ		ฝนโปรยน้อย ฟ้า ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ ไม่มีลม อุณหภูมิ 30°C ความชื้น 62 % ฝนผ่านตลอด							

ตารางที่ 2 ต่อ

สถานที่	Air Sampling ...		Air Pollutants found			สภาพแวดล้อมขณะ Sampling	
	วัน	เวลา	Gases (ppm)		Respirable ₃ Dusts $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
หน้าบ. อุตสาหกรรมรวมไทย (ตรงข้ามที่จอดรถเข็นรถลิฟท์ 4 ชั้น ถนนระยอง ๑)	ส. ๓ กค. ๖๔	10.25 -	CO	12.5	Pb ²⁺	100.0	มีเมฆฝนบ้าง แดดอ่อนไม่ แฉะ อุณหภูมิ 33 °C ความชื้น 55 % มีรถผ่านตลอดเวลา (มีฝนตกกับวันที่ ๒ กค.)
		11.55	CO ₂	500			
			NO	0.30			
			Cl ₂	0.07			
		SO ₂	0.06				
		13.45 -	CO	25.0	Pb ²⁺	33.3	มีเมฆฝนบ้าง แดดอ่อนไม่ แฉะ อุณหภูมิ 34 °C ความชื้น 51-53 % มีรถผ่านตลอด เวลา
	15.15	CO ₂	500				
		NO	0.30				
		Cl ₂	0.07				
		SO ₂	0.12				
	ธ. ๑๑ กค. ๖๔	10.25 -	CO	5.0	Pb ²⁺	33.3	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลมอ่อน อุณหภูมิ 34 °C ความชื้น 49 % มีรถผ่าน ตลอดเวลา (มีฝนตกหนัก วันที่ ๑๑ กค. ๖๔)
		11.50	CO ₂	375			
		NO	0.20				
		Cl ₂	0.03				
		13.35 -	CO	6.0	Pb ²⁺	150.0	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดปานกลาง ลมอ่อน อุณหภูมิ 35 °C ความชื้น 47 % มีรถผ่าน ตลอดเวลา (หนาวแน่นอนกว่า ตอนเช้า)
	14.35	CO ₂	375				
		NO	0.30				
		Cl ₂	0.05				

ตารางที่ 2 ต่อ

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found				สภาพแวดล้อมขณะ Sampling
	วัน	เวลา	Gases (ppm)		Respirable Dusts $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
หน้า Gestetner (ขอมไฮดร หรืออุทุมพร ขอม. ๒๑)	พ. ๒๒ พ.ค. ๖๔	10.30- 12.30	CO	8.0	Pb ²⁺	75.3	ท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆเล็กน้อย แดดจัด ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 35-41°C ความชื้น 39.47 มีรถผ่านตลอดเวลา (มีฝนตก หนักหลัง Sampling เสร็จ)
			CO ₂	350	Cu ²⁺	50.7	
			Cl ₂	0.07	Zn ²⁺	44.3	
			SO ₂	0.10			
พ. ๔ ก.ย. ๖๔	10.35- 12.35	CO	7.3	Pb ²⁺	70.8	มีเมฆเล็กน้อย แดดปานกลาง ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 46-50% มีรถ ผ่านตลอดเวลา (มีฝนตก หนักคืนวันที่ ๓ ก.ย. ๖๔ มี น้ำท่วมในซอยเล็ก)	
		CO ₂	300	Cu ²⁺	50.7		
			Cl ₂	0.07	Zn ²⁺	44.2	
	13.24- 15.24	CO	6.0	Pb ²⁺	193.8	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลม อ่อนมาก อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 52-53% มีรถผ่าน ตลอดเวลา	
		CO ₂	400	Cu ²⁺	35.8		
		Cl ₂	0.10	Zn ²⁺	36.9		
พ. ๑๒ ก.ย. ๖๔	10.25- 12.25	CO	5.0	Pb ²⁺	84.4	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลม ปานกลาง อุณหภูมิ 37°C ความชื้น 40% มีรถผ่านตลอด เวลา (มีฝนโปรยบาง ๆ ก่อน Sampling และมีฝนตก หนักคืนวันที่ ๔ ก.ย. ๖๔)	
		CO ₂	400	Cu ²⁺	65.5		
					Zn	40.1	
	13.25- 14.55	CO	6.7	Pb ²⁺	76.4	มีเมฆเล็กน้อย ไม่มีแดด ลม ปานกลาง อุณหภูมิ 34°C ความชื้น 54% มีรถผ่าน ตลอดเวลา	
		CO ₂	325	Cu ²⁺	88.1		
		SO ₂	0.03				

ตารางที่ 2 ต่อ

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found		สภาพแวดล้อมขณะ Sampling	
	วัน	เวลา	Gases μ (ppm)	Respirable Dusts μ g/m ³		
ร.ร. สามน้ำทิพย์ - ร.ร. สามน้ำโอง (ชุมชน ชอม ๒๒)	ส. ๑๔ กย. ๑๔	10.30-	CO	5.0	ยังไม่พบ วัฏจักร	ห้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลม อ่อน อุณหภูมิ 34°C ความ ชื้น 54-57 % มีรถผ่านตลอด เวลา (มีรถเมล์เล็ก ผ่านถนน คืนวันที่ ๘ กย. ๑๔)
		12.30	CO ₂	400		
		13.20-	CO	4.2	ยังไม่พบ วัฏจักร	ห้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลมอ่อน อุณหภูมิ 34-36°C ความชื้น 40-48 % มีรถผ่านตลอดเวลา
	15.20	CO ₂	325			
	๑๔ กย. ๑๔	10.00-	CO	5.0	ยังไม่พบ วัฏจักร	ห้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลม อ่อน อุณหภูมิ 33°C ความชื้น 57 % มีรถผ่านตลอดเวลา (มีฝนตกหนักคืนวันที่ ๑๔ กย. ๑๔)
		12.00	CO ₂	350		
	12.50-	CO	6.7	ยังไม่พบ วัฏจักร	มีเมฆมาก ลม โหม/แรง ลม ปานกลาง อุณหภูมิ 33°C ความชื้น 56-58 % มีรถ ผ่านตลอดเวลา	
	14.50	CO ₂	325			

* ไม่ได้วัฏจักร NO เนื่องจาก gas detector tube หมด

ตารางที่ 2 ต่อ

สถานที่	Air Sampling		Air Pollutants found		สภาพแวดล้อมขณะ Sampling
	วัน	เวลา	Gases *(ppm)	Respirable Dusts µg/m ³	
ปากซอยสุขุมวิท ๔๐ (จุดตรวจ กทม.๕๖)	ส. ๒๔ กย. ๒๕	10.40- 12.10	CO 11.7 CO ₂ 350 SO ₂ 0.08 benzene 7.0 & deriv Acyl gr 3.3	ยังไม่ได้ วิเคราะห์	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ไม่มีลม อุณหภูมิ 36 °C ความชื้น 49 % มีรถผ่าน ตลอดเวลา มีกลิ่น org sol- vent น้ำเน่า และกลิ่น น้ำมันซึ่งมาจากสถานที่ เติมน้ำมันที่อยู่ตรงข้าม
		13.00- 14.00	CO 10.3 CO ₂ 425 O ₃ 0.02 benzene 3.0 & deriv	ยังไม่ได้ วิเคราะห์	มีเมฆฝนบาง แดดปานกลาง ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 36 °C ความชื้น 42-48 % มีรถ ผ่านตลอดเวลา มีกลิ่น org solvent น้ำเน่า (ฝนตกหลังจาก Sampling เสร็จแล้ว)
	ธ. ๒๖ กย. ๒๕	9.38- 11.38	CO 8.0 CO ₂ 500 SO ₂ 0.08 benzene 7.5 & deriv	ยังไม่ได้ วิเคราะห์	ท้องฟ้าแจ่มใส แดดจัด ลมอ่อนมาก อุณหภูมิ 35 °C ความชื้น 48-50 % มีรถ ผ่านตลอดเวลา จุดตรวจ Ok (มีฝนตกหนักคืนวันที่ ๒๔ กย. ๒๕)
		13.20- 14.20	CO 10.0 CO ₂ 350 SO ₂ 0.03 O ₃ 0.01 benzene 4.0 & deriv Acyl gr 3.3	ยังไม่ได้ วิเคราะห์	เมฆฝนทึบ แดดจาง ลมอ่อน อุณหภูมิ 36 °C ความชื้น 45-50 % มีรถผ่านตลอด เวลา (ฝนตกหนักหลังจาก Sampling เสร็จแล้ว)

*ไม่ได้วิเคราะห์ NO เนื่องจาก gas detector หมด

เอกสารอ้างอิง

1. ชูสง่า สุวรรณศรี. พิษของโลหะ และสารประกอบของโลหะ วิทยาศาสตร์ 37(12): 759 - 7661. 2526
2. ชัยวัฒน์ เจนวาณิช. สารานุกรมธาตุ. โอเคเอนส์ไทร์. กรุงเทพมหานคร :689.2525
3. วงศ์พันธ์ ลิ้มลาเสมีย์, นิตยา มานวล และชිරะ เกรอกต. มลภาวะอากาศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 293.2525
4. เปี่ยมศักดิ์ เมาะเศวต. จกนหมายข่าวสภาวะแวดล้อม. 13(20). 2520
5. ปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี, คณะอนุกรรมการ. เคมีเล่ม 2. อักษรเจริญทัศน์. กรุงเทพมหานคร: 432. 2523
6. ฐิติวัฒน์ สืบแสง. การวิเคราะห์หาปริมาณของสารเคมีบางตัวที่เป็นพิษในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สาขาเคมี). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2520
7. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่องมือ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : 29 - 31. 2525 .
8. ลักษณะภูมิอากาศ อ.หาคใหญ่ : สิงหาคม - ตุลาคม 2527 สถาบันพัฒนาการอากาศยาน-เกษตร ณ. ศูนย์วิจัยการบางคองงษ์ อ.หาคใหญ่ จ.สงขลา
9. ลักษณะภูมิอากาศ อ.เมืองสงขลา : กันยายน - ตุลาคม 2527 ศูนย์พัฒนาการอากาศยาน-ไต้ อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา
10. จุคม เอกตาแสง. สภาพแวดล้อมของไทย ชมรมอนุรักษ์สภาพแวดล้อม สจ.ม.59. 2518
11. เพรศพรพรณ คณาธารณา และคณะ, จกนหมายข่าวสภาวะแวดล้อม, 16(1). 2529.
12. Davison, R.L., et al., Environ. Sci. Technol. 8:1107, 1974.
13. Lee, R.E. and Von Lehmden, D.J., J. Air pollut. control Assoc. 23:853, 1975.
14. Kanatharana, P. et al., Heavy Metals Pollution in Some Factories in Bangkok Metroplis. In Pollution Problem of Heavy Metal in the Environment in Thailand. Bangkok: Chulalongkorn University, 1977.
15. Harrison, R.M., Metal Analysis in Handbook of Air Pollution Analysis. (ed. R. Perry and R.J. Young). Chapman and Hall, London. 8:1187-94, 1974.

16. Beukelman, T.E. and Lor, S.S., The Standard Addition Technique in flame Spectroscopy, Appl. Spectros. 14:12-7. 1969.
17. Bryce-Smith, D., Chem. Brit. 7, 55, 1971.
18. Brich, J., Harrison, R.M. and Laxen, D.P.H., Specific Method for 24-48 h. Analysis of tetraalkyllead in Air. Sci. Tot. Envirol. 14:31-42, 1980
19. Chow, J.J., and Earl, J.L., Science. 169:577, 1970.
20. Stoker, H.S. and Seager, S.L., Environmental Chemistry: Air and Water Pollution. Scott, Foremen and Co., USA. 1976.
21. Documentation of The Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air, American Conferences of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1971.
22. Mahabhol, N., Country Report on Air Pollution in Thailand. Bangkok: department of Health, 1977.
23. Office of the National Environmental Board. Monitoring of Air Quality in Thailand. Bangkok: office of the National Environmental Board, 1979.
24. Kanatharana, P., Determination of lead in Air Particulates in the trade center Rama 1 - Phloenchit. In Pollution Problem of Heavy Metal in the environment in Thailand. 21-28. 1977.
25. Leepipatpiboon, S., and Kanatharana, P., Determination of Cadmium in Air Particulates, in Sukhumvit area : Bangchak-Bangna. In Pollution Problem of Heavy Metal in the Environment in Thailand. 29-34. 1977.
26. Santativut, N., and Kanatharana, P., Determination of Copper in Air Particulates in Sukhumvit area: Asoke-Phrakhanong. In Pollution Problem of Heavy Metal in the Environment in Thailand. 35-43. 1977.
27. Sherdshoopongse, P., and Kanatharana, P., Determination of Zinc in Air Particulates in Sukhumvit area: Asoke-Phrakhanong. In Pollution Problem of Heavy Metal in The Environment in Thailand. 44-51. 1977.

28. Sherdshoopongse, R., The Analysis of Some Pollutant in Air Particulates in Bangkok Metropolis. Master's Thesis, Department of Chemistry, Graduate School, Chulalongkorn University, 1980.
 29. Pinta, M., Detection and Determination of Trace Element, Ann Arbor. Science Publishers, Ann Arbor, MI. 1975.
 30. Pinta, M., Modern methods for Trace Element Analysis, Ann Arbor. Science Publishers, Ann Arbor, MI. 1978.
 31. Schneidman, F., Lewis, M. and Jawed, I., Polarographic/Stripping Voltammetric Determination of Heavy Metal in MgO. Separation Techniques International Laboratory. 1982.
 32. Harnchaiwat, S., The Analysis of Lead and Cadmium in Various Vegetables by Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry. Master's Thesis, Department of Chemistry, Graduate School, Chulalongkorn University. 1980.
 33. Pescod, M.B., Excell, R.H.B. and Htun, N., AIT-Shell Research, Asian Institute of Technology, Bangkok. 1975.
 34. Carroll, R.E.J., Ame. Med. Ass. 198:177. 1966.
 35. Casarett, L. and Doull, J., Toxicology the Basic Science of Poisons, New York: Macmillan Publishing Co., Inc., 1975.
-