

547.05163

10 733A

3

การกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในของไก่
ที่ได้รับสารประกอบเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต

ปริญญาโท

ของ

สัณญา ฤทธิมนตรี

ห้องสมุดมหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

- 8 พ.ศ. 2535

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

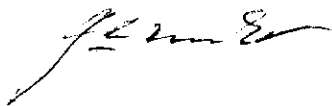
ธันวาคม 2528

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

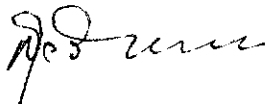
178467

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ใต้พิจารณาปริญญาโท
ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาบัณฑิตของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

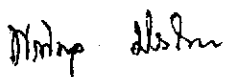
คณะกรรมการที่ปรึกษา



ประธาน

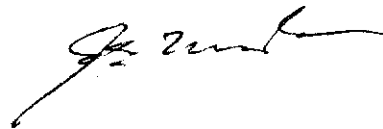


กรรมการ

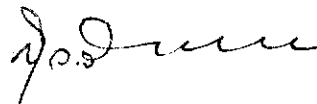


กรรมการ

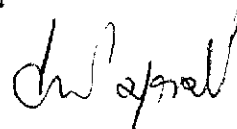
คณะกรรมการสอบ



ประธาน



กรรมการ



กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือและแนะนำอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ปิญโญ พานิชพันธ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวดี จันทร์กระจ่าง และ อาจารย์พรพิมล ม่วงไทย กรรมการที่ปรึกษา หามอาจารย์ทั้งสามไต่กรรณาให้คำปรึกษาและแนะนำในด้านการศึกษาค้นคว้าทดลอง ตลอดจนไต่กรรณา ตรวจแก้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ คุณมณฑิพย์ ทานุกานอน นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 5 และ คุณอุษณีย์ ทิวาวุธ นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 3 แห่งสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือทำการทดลอง พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับวิธีทดลอง การใช้เครื่องมือเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ คร.ไมตรี ดวงสวัสดิ์ หัวหน้าหน่วยวิจัยสารพิษ แห่งสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการติดต่อกับเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณมนตรี เอี่ยมวิม้งสา นักวิชาการโรคพืช 5 กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร ที่กรุณาให้คำแนะนำในด้านการแปลเอกสารเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และคุณพี่ๆ คนที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุน ในด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุกัญญา ฤทธิมนตรี

สารบัญ

บทที่ ๑

หน้า

๑	บทนำ	1
	ปัญหาเกี่ยวกับปรอท	1
	แหล่งสะสมและการแพร่กระจายของปรอทในสภาวะแวดล้อม	3
	การเปลี่ยนแปลงของปรอทในสภาวะแวดล้อม	4
	พิษของปรอท	9
	ผลความเป็นพิษของปรอท	11
	จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	17
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	17
	ขอบเขตในการศึกษาค้นคว้า	17
	คำนิยามศัพท์เฉพาะ	17
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	18
	การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในประเทศไทย	18
	การศึกษาสารปรอทในเครื่องในไก่ในต่างประเทศ	20
	ทฤษฎีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	28
	หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ปรอท	35
3	วิธีดำเนินการทดลอง	37
	การเลี้ยงไก่	37
	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	37
	วิธีทดลอง	38

4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง	45
	ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโปรตีนในนม ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	45
	ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโปรตีนในตับ ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	48
	ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโปรตีนในตับอ่อน ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ...	51
	ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโปรตีนในหัวใจ ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	54
	ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโปรตีนในไต ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	57
5	สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	60
	สรุปผลจากการศึกษาคนควา	61
	อภิปรายผลการศึกษาคนควา	62
	ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาคนควาในครั้งต่อไป	63
	บรรณานุกรม	64
	ภาคผนวก	70

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างปรอทอินทรีย์และปรอทอินทรีย์ ในธรรมชาติ	5
2 แสดงกลไกปฏิกิริยาระหว่างเมทิล -B ₁₂ กับเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต	7
3 แสดงวัฏจักรทางชีวภาพของปรอท	8
4 เด็กกึ่งมองพิการเพราะพิษจากปรอท	10
5 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอะตอมมิคแอนะไลเซอร์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบปราศจากเปลวไฟ	29
6 แสดงลักษณะของหลอดซอลโลคาโทด	29
7 แสดงลักษณะของถว้คาร์บอนที่ผลิตอะตอม	30
8 แสดงลักษณะของแหงคาร์บอนที่ผลิตอะตอม	30
9 แสดงวัฏจักรการเผาของเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงขึ้น	31
10 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ปรอท (Hirayama Model HG-1) ชนิดอะตอมมิคแอนะไลเซอร์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบปราศจาก เปลวไฟ	33
11 แผนภาพแสดงระบบหมุนเวียน (flow path or circulate) ของเครื่องวิเคราะห์ปรอท	34
12 แผนผังแสดงหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ปรอท	35
13 ภาพแสดงกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่ใช้ในการหา ปริมาณปรอทในสารตัวอย่าง	44
14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในน้ำ ของกลุ่ม ควบคุมและกลุ่มทดลอง ตามวันต่าง ๆ	47

ภาพประกอบ

หน้า

15	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนในตับ ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ตามวันต่าง ๆ	50
16	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนในตับอ่อน ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ตามวันต่าง ๆ	53
17	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนในหัวใจ ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ตามวันต่าง ๆ	56
18	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนในไต ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ตามวันต่าง ๆ	59

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงค่าประมาณระดับปรอทพื้นฐานในตัวอย่างต่าง ๆ	3
2	แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในนม ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	45
3	แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับ ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	48
4	แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับอ่อน ของกลุ่ม ควบคุม และกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	51
5	แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในหัวใจ ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	54
6	แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในไต ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน	57

ปัญหาเกี่ยวกับปรอท

มลภาวะ (pollution) ที่เกิดจากการตกค้างของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมนับเป็นปัญหาสำคัญที่ประเทศไทยกำลังประสบอยู่ โลหะหนักเหล่านี้ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม เซเลเนียมและปรอท โดยเฉพาะปรอทเป็นสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของธาตุหรือสารประกอบของปรอทก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากปรอทสามารถเข้าไปสะสมอยู่ในเซลล์หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้นาน เป็นเหตุให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บร้ายแรง เช่น โรคมินามาตะ (Minamata disease) ซึ่งก่อให้เกิดความพิการของร่างกายและเป็นอันตรายแก่ชีวิตในที่สุด

ปรอทมีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า Hg มาจากคำละตินว่า hydrargyrum มีความหมายว่า เงินเหลว (liquid silver) เป็นธาตุอันดับที่ 80 ในตารางธาตุ (periodic table) ปรอทบริสุทธิ์มีสถานะเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิห้องมีมวลอะตอม 200.7 ความถ่วงจำเพาะ 13.545 จึงจัดเป็นโลหะหนัก จุดเยือกแข็ง -38.87 องศาเซลเซียสและจุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส จุดเดือดของปรอทสูงมากจึงมีความดันไอค่ามาก คือประมาณ 0.0000024 บรรยากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ในธรรมชาติพบปรอทในแร่ซิโนบาร์ (HgS) ซึ่งมีสีแดงและไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ยังพบในแร่อื่น ๆ อีกเช่น คาลโอเมล (Hg_2Cl_2) คอโลราคอยท์ ($HgTe$) ลิวิงส์ไตน์ท์ ($HgSb_4O_7$) ไทแมนไนท์ ($HgSe$) และพบในถ่านหิน ในอุตสาหกรรมจะแยกเอาปรอทออกจากแร่ซิโนบาร์ได้โดยการให้ความร้อนสูงในที่ ๆ มีอากาศจำกัด จะได้ไอปรอทและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เมื่อนำมาทำให้เย็นปรอทจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว

ปรอทมีประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์และบารอมิเตอร์ ใช้ทำให้เกิดโลหะเจือกับโลหะอื่น ๆ เช่น เงิน ทองคำ ทองแดง โลหะเจือของปรอทกับโลหะอื่น ๆ เรียกว่า อะมัลกัม (amalgam) ทันตแพทย์เคยใช้อะมัลกัมของปรอทในการอุดฟัน ใช้ผสมกับไซเคียมเกิดโลหะเจือ Na-Hg ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่สำคัญสำหรับปฏิกิริยารีดักชัน ใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการผลิตไวน์กลอไรด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหรือเป็นโมโนเมอร์ในการผลิตพลาสติกพีวีซี สารอนินทรีย์ของปรอทใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช

(pesticides) และยาฆ่าเชื้อรา (fungicides) ใช้ทำด่างไฟฉายแบบอัลคาไลน์ (alkaline) ใช้สกัดทองคำจากแร่ทองคำโดยเกิดอะมัลกัมกับทองคำ ใช้ทำตะเกียงไฮปรอท (mercury vapor lamp) ใช้ทำคาโทดในกระบวนการการเตรียมโซดาไฟ นอกจากนี้ปรอทยังใช้ในเครื่องมือเพื่อทำให้เกิดสูญญากาศ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษเพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษขุ่นง่ายและการผลิตน้ำยาซักแห้ง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าปรอทมีประโยชน์มากมายทั้งในทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและเภสัชกรรม การใช้ปรอทอย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาการสะสมของปรอทขึ้นในธรรมชาติ ทั้งในแหล่งน้ำ (hydrosphere) ในบรรยากาศ (atmosphere) และในส่วนที่เป็นของแข็ง (lithosphere) เช่น ดิน หินทราย ซึ่งในที่สุดก็จะเข้าสู่ในตัวคนได้โดยกระบวนการต่าง ๆ ที่ซับซ้อน และมีความสัมพันธ์กับอากาศ น้ำ ดิน การใช้ และการบริโภคผลผลิตและอาหาร เป็นต้น

(Hafen. 1972 : 149)

อาหารนับเป็นแหล่งสำคัญสำหรับมนุษย์ต่อการรับเอาปรอทเข้าสู่ร่างกาย ปรอทจากแหล่งต่าง ๆ สามารถสะสมอยู่ในอาหารโดยกระบวนการต่าง ๆ เช่น ปรอทที่ใช้ในการเกษตรกรรมและตกค้างในดิน อาจถูกดูดซึมไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชผักผลไม้ที่เพาะปลูกได้ โดยปนออกมากับน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรม ก่อให้เกิดการสะสมขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น เช่น ปลา กุ้ง หรือในสัตว์ป่า เคยมีรายงานว่าปริมาณปรอทในสัตว์ป่าสูงกว่าในน้ำที่มันอาศัยอยู่ถึง 3,000 เท่า (Jones. 1971 : 159) เมื่อกินอาหารที่มีส่วนผสมของปลาปนซึ่งมีสารปรอทเจือปนอยู่ หรือกินพวกสัตว์พืชที่ถูกเติมสารประกอบอินทรีย์ของปรอท (organomercurial compound) เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อรา (Fitzhugh and others. 1950 : 433 - 442) ปรอทก็จะไปสะสมอยู่ในไตและเขาวงจระอาหารสู่คนได้

แหล่งสะสมและการแพร่กระจายของปรอทในสภาวะแวดล้อม

1. การกระจายของปรอทในธรรมชาติ

ปรอทที่อยู่ในธรรมชาติมีประมาณ 50-80 ppb. ของปริมาตรโลก รูปแบบที่มีมากที่สุดบนผิวโลกได้แก่ โลหะปรอท (metallic mercury) และปรอทซัลไฟด์ ซึ่งสามารถเข้าสู่วัฏจักรทางธรณี (geocycle) โดยการแตกแยกสลายเป็นส่วนเล็ก ๆ ปรอทอาจแพร่กระจายเข้าสู่สภาวะแวดล้อมจากไอระเหยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา (Anonymous, 1970 : 8, White, Hinkle and Barnes, 1971 : 713) เป็นต้น การแพร่กระจายของปรอทในชั้นดินมีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นอน ในดินชั้นบนมักพบปรอทสูงกว่าดินชั้นล่างประมาณ 5-10 เท่า ในหินชั้นผิวโลก ดินและตะกอนมีปริมาณปรอทประมาณ 50 ppb. อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายของปรอทโดยธรรมชาติเป็นไปได้ยากและมีปริมาณน้อย

ตาราง 1 แสดงค่าประมาณระดับปรอทพื้นฐานในตัวอย่างต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ppb.)
อากาศ	0.002
แม่น้ำและน้ำบาดาล	0.05
น้ำทะเล	0.1
น้ำฝน	0.15
น้ำระบายทิ้ง	2
หินชั้นผิวโลก	50
ดินและตะกอน	50
ถ่าน	200
ปลา	100
คน	100

(Klein, 1972 : 7 - 9)

2. การแพร่กระจายของปรอทที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์

มีการนำโลหะปรอทและสารประกอบของปรอทมาใช้ในงานอุตสาหกรรมและ เกษตรกรรม อย่างกว้างขวาง เช่น การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ่านหินทั่วไปมีปรอทปะปนอยู่ประมาณ 1 ppm. มีผู้ประมาณการไว้ว่าในปัจจุบันทั่วโลกเผาถ่านหินปีละประมาณ 5×10^9 ตัน ซึ่งหมายความว่ามีการปล่อยปรอทเข้าสู่บรรยากาศของโลก 5,000 ตันต่อปี จึงนับว่าการเผาถ่านหินเป็นแหล่งแพร่กระจายปรอทเข้าสู่บรรยากาศที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่ง การใช้เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ ($HgCl_2$) เป็นตัวเร่งในกระบวนการการผลิตพลาสติกพีวีซี การผลิตโซดาไฟและคลอรีนซึ่งปล่อยปรอทลงสู่แหล่งน้ำประมาณ 150-200 กรัมต่อการผลิตคลอรีน 1 ตัน นอกจากนี้ยังมีการปล่อยน้ำเสียที่มีปรอทเจือปนอยู่จากโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ลงสู่แหล่งน้ำอีก เช่น โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานถลุงเหล็ก โรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น จากผลการสำรวจแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป ซึ่งไม่อยู่ในเขตที่มีแหล่งแร่ปรอทพบว่ามีปริมาณปรอทจะต่ำกว่า 0.1 ppb. ส่วนแหล่งน้ำที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม ซึ่งรับน้ำทิ้งที่มีปรอทเจือปนอยู่จะมีปริมาณปรอทสูงกว่า 5 ppb.

นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วดังมีการแพร่กระจายของปรอทจากแหล่งอื่น ๆ อีก เช่น การทำเหมืองแร่ การใช้ยากำจัดศัตรูพืชจำพวกสารปรอทในทางเกษตรกรรมอาจตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งหายที่สุดก็อาจจะถูกดูดซึมไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของปรอทเข้าสู่ภาวะแวดล้อมจากการกระทำของมนุษย์มีอัตราเพิ่มขึ้นสูงมาก

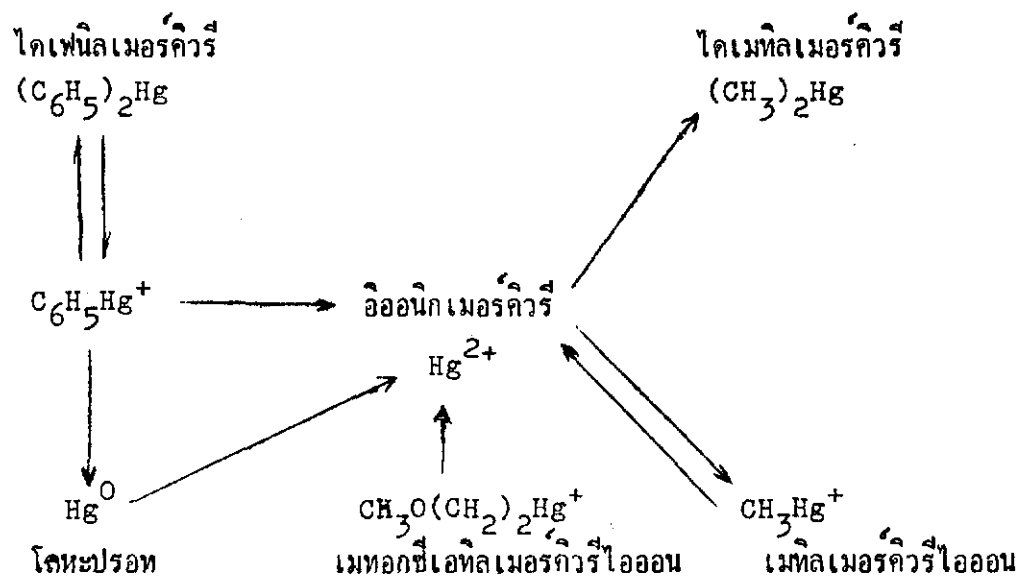
การเปลี่ยนแปลงของปรอทในสภาวะแวดล้อม

ปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมากนัก แต่เมื่อสารเหล่านี้ถูกเปลี่ยนเป็นปรอทอินทรีย์ (organic mercury) โดยจุลินทรีย์ (microorganisms) หรือในร่างกายมนุษย์หรือสัตว์ก็ตาม พบว่าพิษของมันเพิ่มขึ้นหลายเท่า ปรอทอินทรีย์ไม่มีในธรรมชาติแต่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของปรอทอนินทรีย์ไป เป็นปรอทอินทรีย์โดยสิ่งมีชีวิต

ในแหล่งน้ำปรอทสามารถอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น ในรูปของไอออนบวก (Hg^{2+}) โลหะปรอท (Hg^0) เพนิลเมอร์คิวรีไอออน ($C_6H_5Hg^+$) เมทิลเมอร์คิวรีไอออน (CH_3Hg^+) และเมทอกซีเอทิลเมอร์คิวรีไอออน ($CH_3OCH_2CH_2Hg^+$) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปมาได้ตามสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมทางเคมีของสิ่งแวดล้อม ในที่สุดเมื่อปรอทสะสมอยู่ในตะกอน จุลินทรีย์ที่อยู่ในดินตะกอนจะเปลี่ยนปรอท

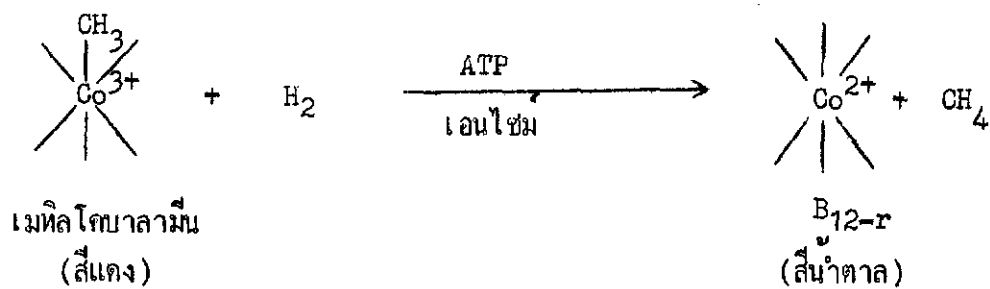
อนินทรีย์ให้เป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลโดยปฏิกิริยาที่เรียกว่า เมทิลเลชัน (methylation)

สารประกอบเมทิลของปรอทมีความเสถียรมาก และมีอันตรายมากที่สุด เพราะสามารถเกิดพันธะกับโปรตีนในอาหาร และไม่ถูกทำลายจากการแช่แข็งหรือจากการหุงต้มอาหารนั้น (Chickos, Garin and Rouse. 1973 : 185 - 189) นอกจากนี้ยังสามารถสะสมอยู่ในลูกโซ่อาหารซึ่งสิ้นสุดที่มนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ปรอทอินทรีย์และปรอทอินทรีย์ที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากการเกษตรกรรม ในไม่ช้าจะอยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี เจนเซน และเจอร์เนลอฟ (Jensen and Jernelöv. 1969 : 753 - 759, 75 -93) ใ้การอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า สิ่งมีชีวิตสามารถทำให้สารประกอบของปรอทที่อยู่ในสถานะเกิดปฏิกิริยาเมทิลเลชันได้ โดยผ่าน Hg^{2+} ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 1

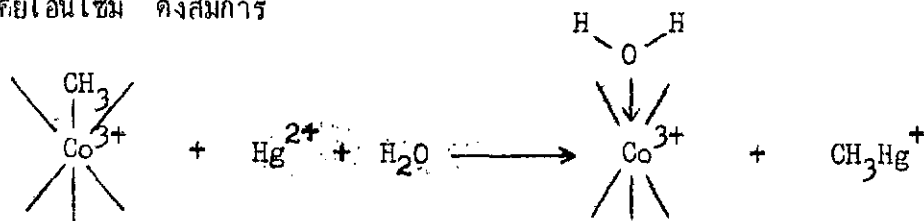


ภาพประกอบ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างปรอทอินทรีย์และปรอทอินทรีย์ในธรรมชาติ

ต่อมา ฆูด เคนเนดี และ โรเซน (Wood, Kennedy and Rosen. 1968 : 173-174) ไทน์ำเมทาโนจินิคแบคทีเรียที่สกัดจากดินตะกอนมาเลี้ยงในไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อศึกษาการย้ายหมู่เมทิลจาก Co^{3+} ไปยัง Hg^{2+} ที่อยู่ในแบคทีเรียแล้วเกิดเป็น โมโนเมทิลเมอร์คิวรี และไดเมทิลเมอร์คิวรี โดยใช้เมทิลโคบาลามีน ($\text{CH}_3\text{-Co-5,6 dimethyl benzimidazolylcobamide}$) เป็นข้อัสเตอร์ทในสภาวะที่ไม่มีอากาศ การเกิด ก๊าซมีเทนต้องการอะดีโนซีน -5'- ไตรฟอสเฟต (ATP) ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งอิเล็กตรอน และหมู่พรอสเทติกของเอนไซม์ ปฏิกิริยารวมเป็นดังนี้



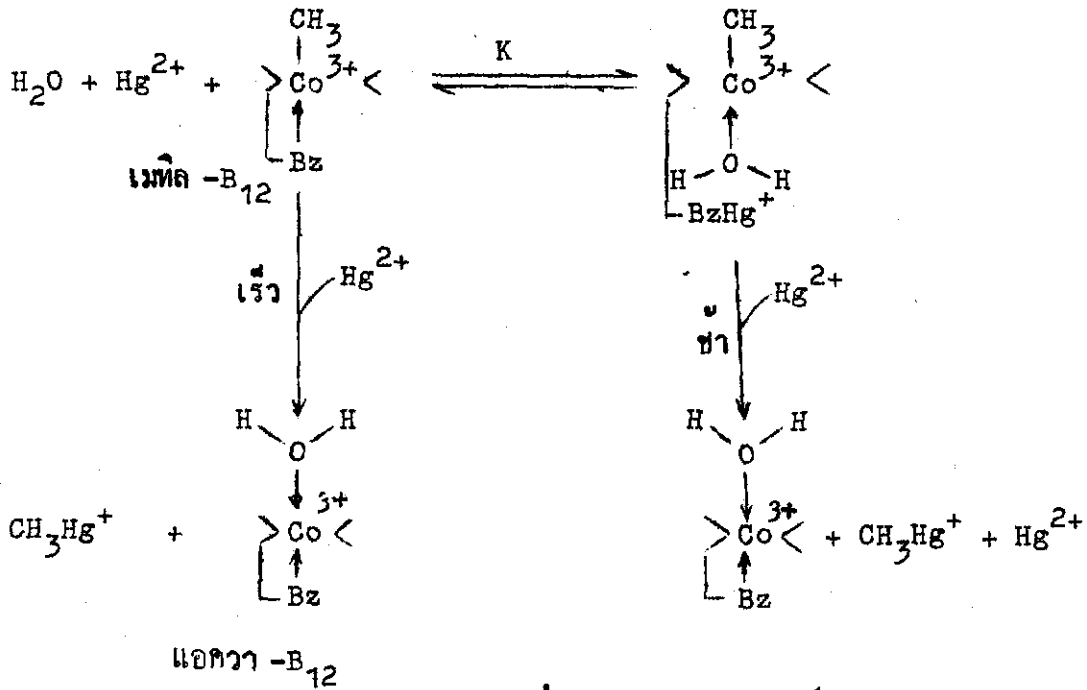
พบว่าการย้ายหมู่เมทิลจากเมทิลโคบาลามีนไปยัง Hg^{2+} ทั้งโดยกระบวนการที่อาศัยเอนไซม์ และไม่อาศัยเอนไซม์ ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างรวดเร็วในสารละลายที่มี Hg^{2+} สูง

เมทิลโคบาลามีนทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไฮดรอกซีโคบาลามีนและเมทิลเมอร์คิวรีแคโทไอออน การย้ายหมู่เมทิลจากเมทิลโคบาลามีนไปยังสารประกอบปรอทต่าง ๆ ในกระบวนการที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ทั้ง Hg^{2+} และ RHg^+ (แคโทไอออนของปรอทอินทรีย์) จะถูกเมทิลเลตด้วยนิวคลีโอไฟล์แอตแทคจากเมทิลคาร์บาเนชัน (CH_3^-) โดย Hg^{2+} จะถูกเมทิลเลตเร็วกว่า RHg^+ (Bertilsson and Neujahar. 1971 : 2805 - 2808) สารประกอบเมทิล-ซัลฟอนที่ละลายในน้ำทำปฏิกิริยากับ Hg^{2+} จะให้เมทิลเมอร์คิวรี (DeSimone. 1972 : 723) และเมื่อเติมหมู่เมทิลลงในสารประกอบ เอทิล - เลต จะเกิดการสังเคราะห์เมทิลเมอร์คิวรี จาก Hg^{2+} เช่นกัน (Jernelöv. 1972)

เมทิล-B₁₂ ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับไอออนของโลหะอนิทรีย์ในตัวกลางที่มีน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ จะได้โลหะอัลคิลและแควา-B₁₂ เช่น ปฏิกิริยาระหว่างเมทิล-B₁₂ กับเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต จะเกิดอิเล็กโตรฟิลิกแอตแทคที่พันธะ Co-C และนำไปสู่การย้ายหมู่เมทิลคาร์บาเนียน กลไกปฏิกิริยาเป็นดังนี้ (Wood and others. 1978 : 17)



ภาพประกอบ 2 แสดงกลไกปฏิกิริยาระหว่างเมทิล-B₁₂ กับเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต

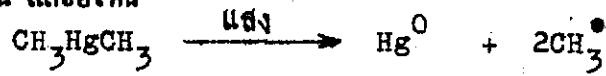
จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนปรอทอนิทรีย์ให้อยู่ในรูปสารประกอบผสมอยู่ในอิวลิเบรียมดังนี้



การเปลี่ยนแปลงระหว่างปรอทอนิทรีย์ทั้ง 3 แบบจะถูกแตกสลายโดยจุลินทรีย์ ในสภาวะที่มีอากาศ จะสามารถละลาย Hg²⁺ จาก HgS โดยออกซิไดส์ซัลไฟด์เป็นซัลไฟต์แล้วเป็นซัลเฟต Hg²⁺ ที่เกิดขึ้นจะถูกรีดิวส์ไปเป็น Hg⁰ โดยเอนไซม์ซึ่งต้องใช้แบคทีเรียจำนวนหนึ่ง เอนไซม์นี้ถูกแสดงให้เห็นว่าต้องการรีดิวส์นิโคตินาไมด์ อะคิเนน ไคโนคลีโอไทด์ (NADH) สำหรับการคะตะไลซิส เช่นเดียวกับโคเอนไซม์ดังนี้



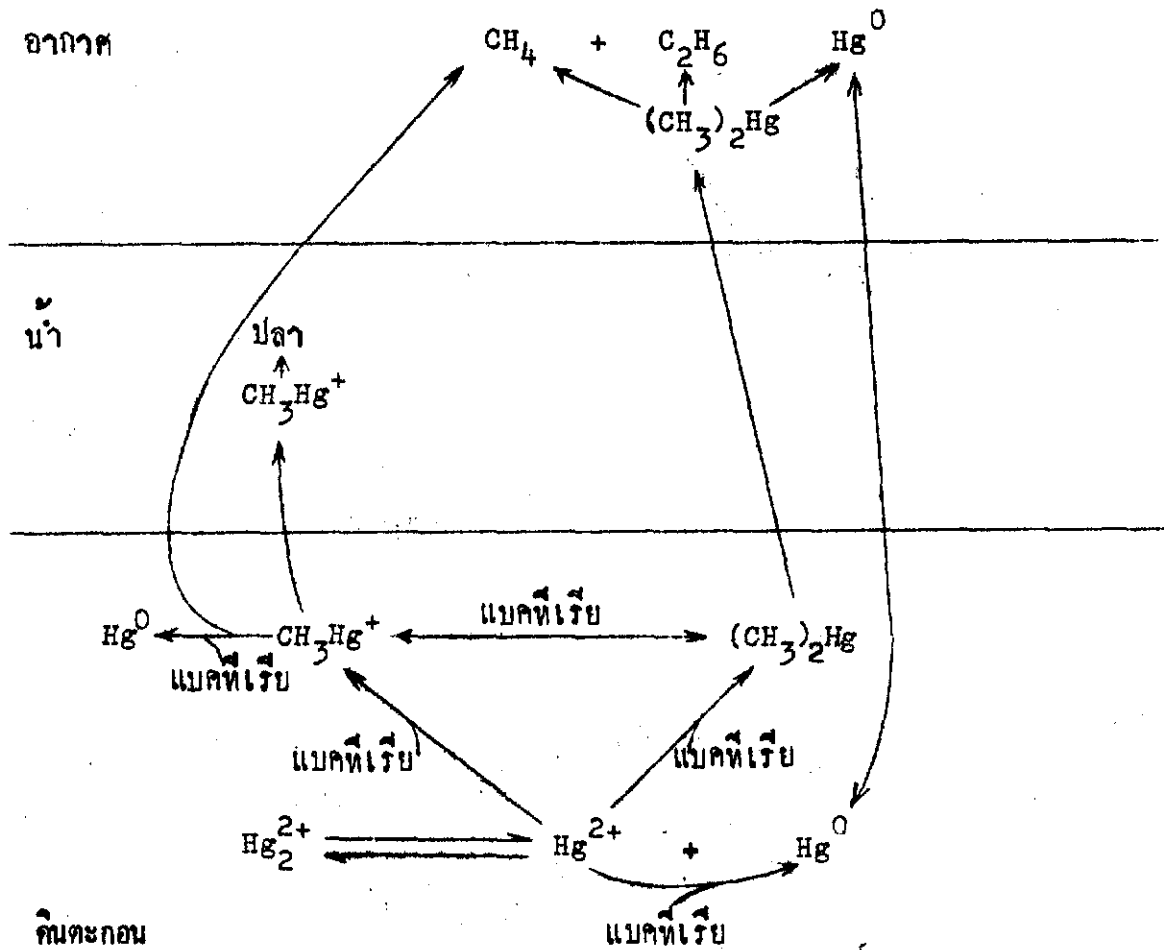
ความเป็นกรดเบสของน้ำมีผลต่อปฏิกิริยาเมทิลเลชัน ด้านน้ำมีความเป็นเบสจะมีการสร้าง
 ไคเมทิลเมอร์คิวรีมากขึ้น แต่ด้านน้ำมีความเป็นกรดจะทำให้มีการสร้างเมทิลเมอร์คิวรีมากขึ้น
 ไคเมทิลเมอร์คิวรีระเหยง่ายและเมื่ออยู่ในบรรยากาศจะสลายตัวเมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเล็ต
 ไทโทสะปรอท มีเทน และอีเทน



เมทิลเรดิคัล(CH₃·) ที่เกิดขึ้นสามารถดึงไฮโดรเจนหรือเข้าคู่กัน (couple) กลายเป็น มีเทน
 และอีเทน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสามารถแสดงวัฏจักรทางชีวภาพของปรอทได้ดังนี้

(Wood, 1974 : 1051)



ภาพประกอบ 3 แสดงวัฏจักรทางชีวภาพของปรอท

พิษของปรอท

พิษของปรอทต่อสิ่งมีชีวิตเป็นที่ประจักษ์กันมาทุกยุคทุกสมัย คนโรมันโบราณเรียกอาการ เป็นพิษ เนื่องจากปรอทว่า โรคของทาส เพราะในสมัยนั้นได้ใช้แรงงานทาสในเหมืองปรอท ณ เมืองอัลมาเดน (Almaden) ในประเทศสเปน ทาสเหล่านั้นเข้าทำงานในเหมืองไม่นานก็เกิดอาการ เป็นพิษลงป่วยลง และตายในที่สุด การคัดส่งลงโทษผู้กระทำผิดให้ไปใช้แรงงานในเหมืองปรอทจึงเปรียบเสมือนหนึ่งเป็นการคัดส่งลงโทษทัณฑ์ประหารชีวิต

ประมาณปี พ.ศ. 2506 ผู้คนในหมู่บ้านชาวประมงซึ่งอาศัยอยู่บนฝั่งของบริเวณอ่าวมินามาตะ (Minamata) ทางภาคใต้สุดของประเทศญี่ปุ่นเกือบทุกคนป่วยด้วยอาการคล้ายคลึงกันหมดคือ เกิดอาการ ผิดปกติของร่างกาย เริ่มควมมือและไบหนาเกิดอาการบวมและเจ็บปวด สายตามัว เกิดอาการเห็นภาพ ร่างกายบางส่วนเป็นอัมพาต ความจำเสื่อม บางคนเสียสติและตาย จนถึงปี พ.ศ. 2508 มีคนตายเพราะอาการนี้ถึง 40 คน การสอบสวนและศึกษาในระยะเวลาที่พบเห็นที่ว่าโรคนี้อาจเกิดมาจากการสะสมของสารประกอบปรอทปริมาณสูงในตัวของปลาในอ่าวมินามาตะ ชาวบ้านรับประทานปลาเหล่านี้เป็นประจำ เป็นเหตุให้เกิดการสะสมของสารประกอบปรอทในร่างกาย ในที่สุดก็ป่วยและตายลงด้วยพิษของปรอทนี้เอง ส่วนสาเหตุที่ปลาในอ่าวมินามาตะมีปริมาณสารปรอทสูงมาก เป็นเพราะบนริมอ่าว เป็นที่ตั้งของ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกพีวีซี ซึ่งในกระบวนการผลิตใช้เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ เป็นตัวเร่ง ได้เกิดการรั่วไหล และปล่อยของเสียจากโรงงานซึ่งมีสารนี้เจือปนอยู่ลงในอ่าวเป็นประจำ เพราะเขาใจว่าสารนี้มีความถ่วงจำเพาะสูง จึงควรจมอยู่ที่น้ำตลอดไปโดยไม่มีโอกาสเข้าสู่ระบบนิเวศ อย่างไรก็ตามปรากฏว่า เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นรูปอินทรีย์ได้ เช่น ไดเมทิลเมอร์คิวรี โดยจุลินทรีย์ที่อยู่น้ำ ต่อมาก็เขาไปสะสมในตัวปลาและเข้าสู่ร่างกายในที่สุด

ต่อมาในปี พ.ศ. 2512 ในมลรัฐนิวเม็กซิโก (New Mexico) สหรัฐอเมริกา ชาวนาครอบครัวหนึ่งพบหนูที่เลี้ยงไว้เกิดป่วยลงด้วยอาการผิดปกติของร่างกาย เช่น เนื้อตัวแข็ง ไม่สามารถขึ้นยืนเองได้ เป็นเหตุให้ไม่สามารถนำไปขายในตลาดได้เพราะมีกฎหมายห้าม จึงตัดสินใจฆ่าหนูที่ป่วยนี้ใช้กินเป็นอาหาร ปรากฏว่าลูกทั้งสามคนเกิดป่วยด้วยอาการคล้ายคลึงกับโรคมินามาตะ การสืบสวนและสอบสวนสาเหตุของโรคในเวลาต่อมาพบว่า หนูที่กินเมล็ดพันธุ์ข้าวซึ่งได้รับการถนอมไว้ด้วยสารเคมีฆ่าเชื้อราที่มีสารปรอทเป็นองค์ประกอบหลัก (ฟิมล เรียนวัตินา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2525 : 123 - 124)



ภาพประกอบ 4 เด็กผู้เป็นสมองพิการเพราะพิษจากปรอท

(พิมพ์ เรือนวิวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ 2525 : 127)

อาการแพ้พิษปรอทที่พบในปัจจุบันที่เกี่ยวกับผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับโลหะ หรือสารประกอบปรอท ซึ่งเขาส่งร่างกายทั้งโดยทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง

1. ปรอทอินทรีย์มีอาการดังนี้ เหงือกอักเสบ เยื่อช่องปากอักเสบ น้ำลายไหล อาการสั้นของกล้ามเนื้อหัวใจ ผนังตา ริมฝีปาก ลิ้น อาการทางจิต นอนไม่หลับ กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม ประสาทหลอนและหวาคระแวงในเรื่องต่างๆ

2. ปรอทอินทรีย์ มีอาการผิดปกติเฉพาะที่ระบบประสาท ได้แก่ อาการสั้น เค้นไซเซ พุดไม้ขีด ตามีคอนสตริกชัน (constriction) ในวิซชวลฟิลด์ (visual field) (วิฑูร์ อัครโก 2520 : 43 - 44)

พวกปรอทอินทรีย์มีพิษมาก โดยเฉพาะอัลคิลเมอร์คิวรี เพราะทำให้เกิดความผิดปกติของ ไทรโมไซม์ เนื่องจากปรอทเกิดพันธะกับอะตอมคาร์บอน ซึ่งพันธะนี้ทนทานและสลายยาก ทำให้พิษของมันตกค้างอยู่นานในร่างกาย ดังนั้นโรคพิษปรอทจึงสามารถติดต่อกันทางพันธุกรรมได้ ความเป็นพิษ (toxicity) ของสารประกอบปรอทแต่ละตัวมีมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับการละลายและความสามารถในการดูดซึมของลำไส้ (ชุตินา ภัตสรากล 2515 : 47 - 51) ซึ่งความสามารถในการดูดซึมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปรอท ระยะเวลาที่สัมผัส และอุณหภูมิ (McKone. 1971 : 1138 - 1139)

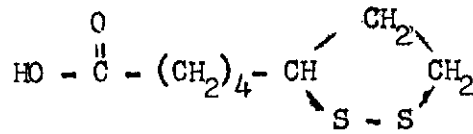
ผลความเป็นพิษของปรอท

ผลทางเอนไซม์

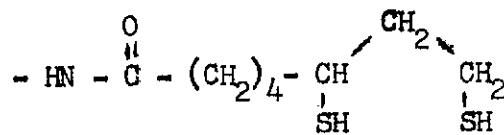
อัลเบิร์ต (Albert. 1968 : 74 - 75) พบว่าการยับยั้งของเอนไซม์อาจเกิดขึ้นที่ หลอดไต เมื่อเอนไซม์ที่ประกอบด้วยหมู่ซัลไฟด์ไรล (sulfhydryl, -SH) ในเมมเบรนทำปฏิกิริยากับสารประกอบปรอท ทำให้ปริมาณการดูดซึมของโซเดียมไอออนและน้ำลดลง

ต่อมาได้มีการศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Plumb. 1972 : 28) พบว่าในเมตาโบลิซึมของกลูโคสในร่างกายมีขั้นตอนสำคัญคือขั้นที่ไพรูเวท (pyruvate) ที่ได้จาก การแตกสลายกลูโคสซึ่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรียโดยทางอิสระ แล้วจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl CoA) โดยการทำงานของกลุ่มเอนไซม์ไพรูเวทดีไฮโดรจีเนส (pyruvate dehydrogenase complex) ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ตัวคือ ไพรูเวทดีไฮโดรจีเนส (pyruvate dehydrogenase) ไดไฮโดรลิโปอิลทรานส์อะซิติเลส (dihydrolipoyl transacetylase) และไดไฮโดรลิโปอิลดีไฮโดรจีเนส (dihydrolipoyl dehydrogenase)

มีโคเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง 5 ตัวคือ ไธอามีนไพโรฟอสเฟต (TPP) ฟลาวินอะดีนไดนิวคลีโอไทด์ (FAD) โคเอนไซม์เอ (CoA - SH) นิโคตินาไมด์อะดีนไดนิวคลีโอไทด์ (NAD) และกรดิลิโปอิก (lipoic acid) ในการเกิดอะซิติลโคเอนไซม์เอต้องอาศัยอนุพันธ์ของกรดิลิโปอิกเป็นตัวนำหมู่ อะซิติลมาให้แก่โคเอนไซม์เอ โมเลกุลอิสระของกรดิลิโปอิกเป็นดังนี้

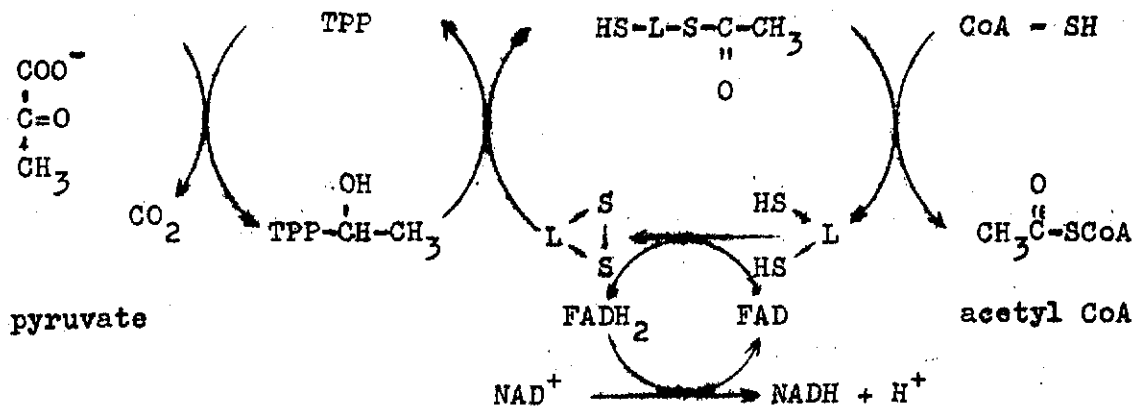


ในเซลล์ตัวหมู่อิโธลของกรดิลิโปอิกจะต่อกับไลซีนเรซิดิว (lysine residue) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์โคไฮโครลิโปอิลทรานส์อะซิติเลสและเมอหมู่อิโธลดูกรีทิวซ์จะให้หมู่ ซัลไฟไฮดรล 2 หมู่ดังนี้



หมู่อิโธลที่เกิดขึ้นจะรวมกับหมู่อะซิติลที่มาจากไธอามีนไพโรฟอสเฟตและเมอย้ายไปอยู่กับโคเอนไซม์เอ จะเกิดเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอซึ่งจะถูกเผาผลาญต่อไปในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ทำให้มีพลังงานเกิดขึ้น หรือนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนต่อไป ปฏิกริยาตามปกติที่เกิดขึ้น เป็นดังนี้

pyruvate dehydrogenase complex



คงสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารปรอทภายในเซลล์ กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นของปรอทน้อย ไมโครทิวบูลยังคงสมบูรณ์ เมื่อความเข้มข้นของปรอทระดับกลาง จะทำลายไมโครทิวบูลบางส่วนและถ้าความเข้มข้นของปรอทสูงสุดจะทำให้ไมโครทิวบูลหายไป (Polly R. Sager and Syversen. 1964 : 371 - 382)

ผลทางพันธุกรรม

สารปรอทสามารถทำให้โครโมโซมแยกออกได้ และยังมีผลต่อการแบ่งเซลล์โดยยับยั้งกระบวนการสร้างไมโทติคสปินเดิล (mitotic spindle) ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโครโมโซมสายเดี่ยว (single chromosome) และพบว่าสารประกอบเมทิลและเฟนิลเมอร์คิวรีเป็นตัวยับยั้งการเกิดสปินเดิล (spindle inhibitor) ได้ดีกว่าสารอื่น (Anonymous. 1969 : 891 - 905)

ต่อมา ได้มีการศึกษาโครโมโซมของคนที่ได้รับประทานปลาที่มีสารปรอทอยู่ พบว่ามีความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซท์ (Lymphocytes) ที่เติบโตในหลอดแก้ว กล่าวคือ โครโมโซมที่แตกออกจากกันมีบางส่วนเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษ และพบบางส่วนของซิสเตอร์โครมาทิด (sister chromatid) ที่ขาดเช่นโครเมียร์ (Skerfving. 1970 : 133)

ในปี 1975 ได้มีการศึกษาผลของสารปรอทเมอร์คิวรี (II) 3 ชนิดได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ เฟนิลเมอร์คิวรี (II) อะซิเตตและเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ต่อเซลล์ตัวเลี้ยงลูกด้วยนม พบว่า เมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์และเฟนิลเมอร์คิวรี (II) อะซิเตตมีพิษเท่ากัน ในขณะที่เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์มีพิษน้อยกว่า และเมื่อเติมกลูตาไทโอนลงไปก่อนให้เมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ จะมีผลทำให้พิษของปรอทลดลงกว่าเมื่อไม่มีกลูตาไทโอน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารปรอททั้ง 3 ทำให้การสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ และ อาร์ เอ็น เอ ลดลงด้วย (Nakazawa, Makino and Okada. 1975 : 489 - 493) ต่อมาในปี 1979 ได้มีการศึกษาผลของเมทิลเมอร์คิวรี (II) ไฮดรอกไซด์ต่อการสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ , อาร์ เอ็น เอ และโปรตีนในเซลล์เฮลา (Hela S3 cell) พบว่า ปรอทมีผลให้การสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ , อาร์ เอ็น เอ และโปรตีนในเซลล์ลดลงเช่นกัน โดยที่ปรอทจะยับยั้งการสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ และ อาร์ เอ็น เอ มากกว่า การสังเคราะห์โปรตีน (Dieter W. Gruenwedel and Cruikshank. 1979 : 651 - 655) และในปี 1984 เช่า เกอร์ท และ เฟรนเคิล ได้เปรียบเทียบผลของสารประกอบปรอท 10 ชนิดต่อเซลล์เฮลา การสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ และ อาร์ เอ็น เอ ภายในเซลล์และในนิวคลีไธที่แยกออกมา

สารปรอทที่ใช้ได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์, เอทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์, ไดเมทิลเมอร์คิวรี, เฟนิลเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต, พารา - ไฮดรอกซีเมอร์คิวรี เบนโซเอต, พารา - ไฮดรอกซีเมอร์คิวรี เบนซีนซัลโฟเนต, เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์, เมอร์คิวรี (II) ซัลเฟต, เมอร์คิวรี (II) เปอร์คลอเรต และ เมอร์คิวรี (I) คลอเรต พบว่าทุกสารประกอบยกเว้นไดเมทิลเมอร์คิวรีจะยับยั้งการสังเคราะห์ ดี เอ็น เอ ภายในเซลล์และในนิวคลีโอไทด์ที่แยกออกมา ทุกสารประกอบยกเว้น ไดเมทิลเมอร์คิวรี, พารา - ไฮดรอกซีเมอร์คิวรีเบนโซเอต และเมอร์คิวรี (II) เปอร์คลอเรต จะยับยั้งการสังเคราะห์ อาร์ เอ็น เอ ภายในเซลล์ สำหรับในนิวคลีโอไทด์ที่แยกออกมา การสังเคราะห์ แอลฟา - อะมานิติน - ริบอสีแทนท์ อาร์ เอ็น เอ จะถูกยับยั้งโดยสารประกอบทุกชนิดยกเว้น ไดเมทิลเมอร์คิวรี ส่วนการสังเคราะห์แอลฟา - อะมานิติน - เซนซิทีฟ อาร์ เอ็น เอ จะถูกกระตุ้นโดยสารประกอบปรอทบางชนิดถูกยับยั้งโดยสารปรอทบางชนิด และไม่ถูกกระตุ้นกระตุ้นเหมือนจากสารปรอทบางชนิด

(Eddie S-E Chao, Gierthy and Frenkel. 1984 : 1941 - 1945)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการอยู่ของปรอทในนิวเคลียสของหนู พบว่าสารปรอทจะรวมอยู่ในโครมาติน ในลักษณะสารเชิงซ้อนเมทัล - โปรตีน (metal - protein complex) ซึ่งอาจจะเป็นโปรตีน - เมอร์คิวรี - ดี เอ็น เอ หรือ เมอร์คิวรี - ดี เอ็น เอ คอมเพล็กซ์ ในยูโครมาตินก็ได้ (Bryan and others. 1974 : 832 - 833)

และเมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการศึกษาการขับเมทิลเมอร์คิวรี ในน้ำคอกของสัตว์ทางสปีชีส์กัน ซึ่งได้แก่ หนูแรดตัวผู้ หนูเมาส์ กระจ่างและหนูตะเภา พบว่าอัตราการขับสารปรอทในน้ำคอกของสัตว์ดังกล่าวระหว่าง 2 ชั่วโมงจาก 2 - 4 ชั่วโมง หลังจากที่ได้รับสารปรอทเป็นดังนี้ 0.61, 0.091, 0.036 และ 0.019 ตามลำดับ ปรอทไม่ผลกระทบบกระเทือนต่อการขับน้ำคอก และการหมุนเวียนของระบบเอนเทอโรเซพาคติในหนูเมาส์ กระจ่าง และหนูตะเภา แต่มีผลกระทบบกระเทือนในหนูแรด ปรอททั้งหมดที่อยู่ในน้ำคอกของหนูแรดจะยึดติดกับกลูตาไทโอน (GSH) ปรอท 40 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำคอกของหนูเมาส์จะยึดติดกับกลูตาไทโอน และในกรณีของกระจ่างและหนูตะเภา พบว่าปรอทยึดติดกับกลูไทโอนน้อยมาก (Naganuma and Imura. 1984 : 679 - 682)

ส่วนปริมาณปรอทที่เขาสร้างภายในมาตรฐานความปลอดภัยนั้น องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดระดับความเข้มข้นสูงสุดของปรอทไว้ คือ ในอาหารและปลาเท่ากับ 0.5 ppm. (Ganther and others. 1972 : 1122 - 1123) ถ้าเกินระดับนี้จะเป็นอันตรายต่อ

ผู้บริโภค ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของปรอทที่องค์การอนามัยโลกกำหนดคือ 0.05 ppm. (Chickos, Garin and Rouse. 1973 : 185-189) องค์การอาหารและยาแห่งสหประชาชาติกำหนดให้อาหาร และยามีปรอทได้ไม่เกิน 0.5 ppm. น้ำดื่มไม่เกิน 0.005 ppm. (สุนทร สุวรรณโณ 2517 : 2 - 3) สำหรับประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้อาหารทั่วไปและอาหารทะเลมีมาตรฐาน ความปลอดภัยเท่ากับ 0.02 และ 0.5 ppm. ตามลำดับ (ประกาศสาธารณสุข 2522 : 24)

ด้วยเหตุที่ปรอทเป็นสารมลพิษที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมาแล้ว ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกจึงให้ความสนใจและมีการศึกษาคนควาเกี่ยวกับปรอทอย่างกว้างขวาง ในประเทศไทยก็ได้มี การตรวจหาปริมาณปรอทในแหล่งน้ำ และในอาหารต่าง ๆ เช่น ปลา ไข่ อาหารกระป๋อง เป็นต้น แต่ยังไม่มีการตรวจหาปริมาณปรอทในเครื่องในไก่ ผู้วิจัยคิดว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจและมีประโยชน์มาก เพราะเครื่องในไก่เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีผู้นิยมบริโภคกันมาก การศึกษานี้โดยข้อมูล ที่จะได้อีกจากการกระจายและการสะสมของปรอทในอวัยวะต่าง ๆ ของไก่ อีกทั้งเทคนิคและวิธีการ ที่ได้จากการศึกษาคนควาสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาเคมีในระดับอุดมศึกษาได้ด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในไก่

สำหรับเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปรอทปริมาณน้อยมาก ในสารตัวอย่างจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเป็น เครื่องมือที่มีความไวสูง มีความแม่นยำและความถูกต้องมาก ปัจจุบันนักเคมีได้คิดเทคนิคใหม่ ๆ เช่น วิธีไดไทโซน(Dithizone method) แกสโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) และการวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตรอนแอกติเวชัน(Neutron Activation Analysis) เป็นต้น แต่บางวิธีต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ประกอบกับอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมสารก็หายาก เทคนิคที่นิยมทำกันมาก ในปัจจุบัน คือ อะตอมมิคแอมซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี แบบปราศจากเปลวไฟ (Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry or Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry) (Uthe, J.F., Armstrong and Stainton. 1970 : 805 - 811) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงมาก และเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างเฉพาะในการวิเคราะห์หาปรอท ปริมาณน้อยในสารตัวอย่าง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิคดังกล่าวทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ ปรอทในเครื่องในไก่

จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในของไก่ที่รับอาหารผสมสารปรอท
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่ ตามระยะเวลาหลังจากที่ไก่ได้รับอาหารผสมสารปรอท

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ผลที่ได้รับจากการศึกษาค้นคว้านี้

1. ทำให้ทราบความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่ ซึ่งได้แก่ ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจและไต
2. ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่
3. เป็นแนวทางใหญ่ผู้ผลิตระมัดระวังการผลิตอาหารไก่ใหม่ความปลอดภัยจากสารปรอทมากยิ่งขึ้น
4. เทคนิคและวิธีการที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาเคมีในระดับอุดมศึกษาได้

ขอบเขตในการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษาและวิเคราะห์เฉพาะปรอทในเครื่องในไก่ ซึ่งได้แก่ ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจและไต
2. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า คือ เครื่องมือวิเคราะห์ปรอท (Mercury Analyzer Hiranuma Model HG-1) ชนิดอะตอมมิคแอนาไลเซอร์ชนิดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบปราศจากเปลวไฟ
3. ไก่ที่ใช้ทดลองเป็นไก่ตัวเมียพันธุ์โรดไอส์แลนด์แดง (Rhode Island Red)
4. อาหารที่ใช้เลี้ยงไก่เป็นอาหารสำเร็จรูปของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. ไก่พันธุ์โรดไอส์แลนด์แดง หมายถึง ไก่ไข่ที่มีต้นตระกูลมาจากเกาะโรด (Rhode) แลบนิวอิงแลนด์ (New England) ของสหรัฐอเมริกา มีลักษณะทั่ว ๆ ไปคือ ผิวและขนแข็งเหลือง ตุ่มหูสีแดง ไข่ที่มีเปลือกไข่สีน้ำตาล น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่ 2.94 - 3.85 กิโลกรัม
2. เครื่องในไก่ หมายถึง อวัยวะที่อยู่ในช่องท้องของไก่ ได้แก่ ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจและไต

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในประเทศไทย

ในประเทศไทยรายงานการวิเคราะห์หาปริมาณปรอทยังมีน้อยและค่อนข้างแคบ ในปี 2515 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์รายงานว่าการวิเคราะห์ปลาจากอ่าวไทย พบค่าปรอทสูงสุด 0.237 ppm. ในปี 2516 หน่วยงานเดียวกันนี้รายงานระดับปรอทในปลาทะเลสาบอยู่ในช่วง 0.01-0.045 ppm. โดยมีค่าสูงสุด 0.045 ppm. ปี 2517 หน่วยงานนี้รายงานปริมาณปรอทในปลาทะเลสาบจากอ่าวไทย ในระดับ 0.005 - 0.240 ppm. โดยพบปริมาณต่ำสุดในปลาทรายขาวและสูงสุดในปลาสีกุน และในปี 2518 คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณปรอทของปลาจากอ่าวไทย พบปรอทในช่วง 0.578 ppm.

ในปี 2516 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้วิเคราะห์อาหารปลากระป๋อง 4 ตัวอย่างและปลาสด 17 ตัวอย่างจากตลาดต่าง ๆ โดยใช้วิธีไดโอดีทอม พบค่าเฉลี่ยของปรอทประมาณ 0.048 ppm. โดยมีช่วงพิสัย 0-0.15 ppm.

ต่อมาในปี 2518 ปฐม แหยมเกตุ ได้รายงานว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณปรอทระหว่างปลาที่จับได้ในบริเวณที่เกิดมลภาวะ และยังไม่เกิดมลภาวะในอ่าวไทย (ปฐม แหยมเกตุ 2518)

ปี 2519 ได้มีรายงานถึงการเพิ่มขยายทางชีวภาพ (biological magnification) ของสารปรอทในลูกโซ่อาหาร บริเวณชายฝั่งทะเลบางพระ จังหวัดชลบุรี โดยปลาที่อยู่ในชั้นอาหารที่สูงกว่า (higher trophic level) จะมีความเข้มข้นของสารปรอทสูงกว่าปลาและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อยู่ในชั้นอาหารที่ต่ำกว่า ปริมาณปรอทที่พบในปลามีช่วงของค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 6-32.3 นาโนกรัม ตอกรัม (Menasveta. 1976 : 117 - 126)

แสงเดือน นุชไพบระการ (แสงเดือน นุชไพบระการ 2518 : 403 - 404) ได้รวบรวมผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และกรมอนามัย จากการวิเคราะห์ตามจุดต่าง ๆ รวมเจ็ดแห่งในแม่น้ำเจ้าพระยาในระยะเวลาต่าง ๆ กันตลอดปี พบว่ามีปรอทอยู่ในน้ำทุกจุดและพบปริมาณที่สูงมาก 2 แห่ง คือ ที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

กับอำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

ประวิทย์ ชุ่มเกษียร และคนอื่น ๆ (ประวิทย์ ชุ่มเกษียร และคนอื่น ๆ 2520 : 189 - 194) ได้วิเคราะห์หาปริมาณสารโลหะหนัก 4 ชนิด คือ ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในตับ 118 ตัวอย่าง ในตับสุกรมีสังกะสีและตะกั่วค่อนข้างสูง คือ สังกะสีเกิน 25ppm, ตะกั่วเกิน 1.0ppm. 24 ตัวอย่างจากตับสุกรทั้งหมด 88 ตัวอย่าง ส่วนแคดเมียมพบว่ามีเพียง 3 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีปริมาณสูงเกินกว่า 1.0 ppm. และปรอทก็พบว่ามีเพียงรายเดียวเท่านั้นที่เกิน 0.1 ppm. ในตับโคพบว่ามีตะกั่วค่อนข้างสูง คือ เกิน 1.0 ppm. จำนวน 8 ตัวอย่าง และพบแคดเมียมเกินกว่า 1.0 ppm. 4 ตัวอย่างจากตับโคทั้งหมด 26 ตัวอย่าง ส่วนสังกะสีและปรอทพบว่ามีปริมาณต่ำ สำหรับในตับกระบือไม่พบว่ามีสารใดเกินกว่ามาตรฐานอาจเป็นเพราะได้ตัวอย่างต้มมาทำการวิเคราะห์น้อยเกินไป

สำโรจน์ ตักดีเจริญ (บุญเลิศ อังศิริจินดา 2522 : 33) ได้หาปริมาณการสะสมของปรอทในผักบุ้งไกลโรงงานคอสติคโซคาในประเทศไทย ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) ที่นำมาศึกษาพบว่า ในใบของผักบุ้งที่ลอยเหนือน้ำมีสารปรอทสะสมอยู่ในระหว่าง 0.75-1.26 ppm. (เฉลี่ย 0.95 ppm.) ส่วนในลำต้นที่ลอยอยู่มีสารปรอทสะสมอยู่ในระหว่าง 0.28-0.67 ppm. สำหรับผักบุ้งจากแหล่งปลอดมลภาวะมีสารปรอทที่ใบและลำต้นเพียง 0.01-0.17 และ 0.01-0.06 ppm. ตามลำดับ

และในปี 2526 อุไรวรรณ หัพหงศ์พันธ์ (อุไรวรรณ หัพหงศ์พันธ์ 2525) ได้วิเคราะห์หาปริมาณปรอทในไขขาวและไขแดงและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณปรอทตามระยะเวลาหลังจากที่ไก่ได้รับอาหารผสมสารประกอบเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ตลอดจนถึงศึกษาการถ่ายทอดสารปรอทดังกล่าวไปยังลูกไก่ด้วย ผลการศึกษาปรากฏว่า ปรอทในไขขาวมีปริมาณต่ำมาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.008-0.053 ppm. โดยมีปริมาณใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาหลังจากที่ให้ไก่ได้รับเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต สำหรับในไขแดงพบปรอทในปริมาณที่ค่อนข้างสูง คือ มีค่าระหว่าง 0.250-0.520 ppm. โดยมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาหลังจากที่ไก่ได้รับสารปรอท คือ จะเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 30-50 และ 80-105 วัน และจะลดลงในระยะเวลา 55-75 และ 110-120 วัน ในไขอ่อนจากทองแม่ไก่พบปริมาณปรอทสูงสุดในไขที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.91 - 1.20 เซนติเมตร มีค่า 1.847 ppm. นอกจากนี้ยังพบว่าปรอทมีการถ่ายทอดจากแม่ไก่ไปยังลูกไก่

โดยสารปรอทสะสมอยู่ในส่วนเครื่องในของลูกไก่ในปริมาณสูงกว่าในส่วนเนื้อของลูกไก่คือมีค่าเฉลี่ย 0.068 และ 0.048 ppm. ตามลำดับ

นอกจากการศึกษาของหน่วยงานและบุคคลดังกล่าวแล้ว ยังมีการสำรวจน่านน้ำต่าง ๆ อีกหลายแห่ง ซึ่งทุกแห่งมีสารปรอทสะสมอยู่

การศึกษาสารปรอทในเครื่องในไก่ในต่างประเทศ

สมาร์ท และ ลลอร์ด (Smart and Lloyd. 1963 : 734 - 740) ได้ศึกษาสารปรอทที่ตกค้างอยู่ในไข่ เนื้อสด และตับของแม่ไก่ที่ให้อาหารด้วยเมล็ดข้าวสาลีผสมสารประกอบเมทิลเมอร์คิวรี ไทโซแอนโคเอไมด์ โดยผสมข้าวสาลีที่คลุกด้วยสารประกอบเมทิลเมอร์คิวรี ไทโซแอนโคเอไมด์กับอาหารสัตว์ชนิดเป็นผงในอัตราส่วน 1 : 1 หรือ 3 : 1 ให้แม่ไก่กินเป็นเวลา 2 เดือน ขณะเดียวกันก็ให้อาหารชนิดนี้กับไก่อื่น ๆ ในอัตราส่วนเช่นเดียวกันแต่ไม่มีสารปรอทเจือปนอยู่ เก็บไข่ทุกวันและรวบรวมเป็นจำนวนต่อสัปดาห์เพื่อไปวิเคราะห์หาสารปรอท ไก่จะถูกฆ่าเมื่ออายุได้ 4, 7 และ 8 สัปดาห์

ไก่ทุกตัว (ยกเว้นตัวหนึ่งซึ่งเป็นอัมพาตอยู่ในกรง) อยู่ในสภาพปกติ เมื่อตรวจดูซากที่ถูกฆ่าก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอะไรอย่างชัดเจนจากสารปรอท ผลผลิตในรูปไข่ก็ไม่มีผลจากอาหารที่มีสารปรอทเช่นกัน ค่าเฉลี่ยสารปรอทที่ได้คือ 6.0 ppm. ซึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของสารปรอทที่คาดว่ามีอยู่ในอาหารคลุกนั้น มาตรฐานเฉลี่ยของสารปรอทในไก่แต่ละตัวที่กินอาหารคลุกนั้นในแต่ละสัปดาห์คือ 2.8 มิลลิกรัมในสูตรอาหาร 1 : 1 และ 3.5 มิลลิกรัมในสูตรอาหาร 3 : 1

พบปริมาณสารปรอทน้อยกว่า 0.04 ppm. ในไข่ไก่ที่กินอาหารที่ไม่มีสารปรอทผสม ซึ่งถือเป็นปริมาณสารตกค้างที่แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไข่ไก่ที่กินอาหารมีสารปรอทได้ 3 วัน อาหารทั้ง 2 สูตรนี้มีสารปรอทพอ ๆ กัน คือ 1.2, 8 และ 11 - 12 ppm. ใน 1, 4 และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ ในไข่ขาวมีสารปรอทมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร 1 : 1 พบว่ากล้ามเนื้อขามีปรอท 3.2 ppm. กล้ามเนื้ออกมี 4.5 ppm. และตับมี 11.5 ppm. ส่วนในสูตรอาหาร 3 : 1 มีสารปรอท 4.1, 7.2 และ 17.2 ppm. ในอวัยวะดังกล่าวตามลำดับ สำหรับในไตของไก่แต่ละตัว ในแต่ละสูตรอาหารพบว่าค่าสารปรอทเฉลี่ย 7.5 ppm. ในเนื้อไก่ทดลองที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ไม่มีสารปรอทเจือปนตรวจพบสารปรอทในค่าที่น้อยมาก

เทจนิง และ เวสเตอร์เบิร์ก (Tejning and Vesterberg. 1964 : 6 - 11) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบอัลคิลเมอร์คิวรีในเมล็ดธัญพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ กับสารปรอท ในเนื้อเยื่อและไขจากแม่ไก่ที่ได้รับเมล็ดธัญพืชที่คลุกสารประกอบเมทิลเมอร์คิวรี ไคโซแอนโคเอไมด์ โดยศึกษากับแม่ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นสีขาว 2 ตัว ตัวหนึ่งให้อาหารเป็นเวลา 4 - 5 เดือน โดยให้เมล็ดข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีที่คลุกด้วยสารประกอบเมทิลเมอร์คิวรี ไคโซแอนโคเอไมด์ เช่นเดียวกับสมารถและล้อยัต ในปริมาณ 14.25 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กรัม ไก่อีกตัวหนึ่งให้อาหารเมล็ดธัญพืชที่มีสารปรอทในปริมาณ 2.99 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กรัมเป็นเวลา 1 ปี โดยคาดว่าปริมาณปรอทในอาหาร 1 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กรัม ไก่ทั้ง 2 ตัวถูกนำมาจากฟาร์ม 2 แห่ง ไก่ตัวแรกให้ไข่เพียง 1 ฟอง ในขณะที่ไก่อีกตัวหนึ่งให้ไข่ตามปกติในช่วงเวลาที่กำหนด ภายนอกแล้วไก่ทั้ง 2 ตัวสมบูรณ์ดี ในไก่ตัวแรกที่ได้รับสารปรอทมากในระยะเวลาดังกล่าวพบว่ามีลักษณะของกล้ามเนื้อ ไชมัน และอวัยวะอื่น ๆ ที่นำมาตรวจมีการตกค้างของสารปรอทอยู่ คือในไต 43 ไมโครกรัม ไชมันเมเซนเทอริก 4 ไมโครกรัม และกล้ามเนื้อทรวงอก 15 ไมโครกรัม ส่วนไก่ตัวที่ 2 พบสารปรอทในอวัยวะดังกล่าวน้อยกว่า 1.0 ไมโครกรัม ไข่ฟองเดียวที่ได้จากไก่ตัวแรกมีปรอท 0.268 มิลลิกรัม ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของสารปรอทในไข่ 5 ฟอง จากไก่ตัวที่ 2 เท่ากับ 0.032 มิลลิกรัม

ในปี 1966 (Westöö. 1966 : 85 - 88) ได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในไก่จากประเทศสวีเดน พบว่าค่าเฉลี่ยของปรอทในไข่ไก่ เนื้อแม่ไก่ ไก่กระทง ลูกไก่ ต้มลูกไก่ทอด และเนื้อไก่แช่แข็งทอดเท่ากับ 0.029, 0.011, 0.005, 0.028 และ 0.031 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบว่าเนื้อ 1 ตัวอย่างจากจำนวน 83 ตัวอย่าง และตับ 2 ตัวอย่าง จากจำนวน 31 ตัวอย่าง ที่ตรวจมีสารปรอทมากกว่า 0.05 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากลขององค์การอาหารและยาแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก

ต่อมา มิลเลอร์ และคนอื่น ๆ (Miller and others. 1967 : 142 - 146) ได้ศึกษาผลของปริมาณและวิธีการให้สารปรอท 2 ชนิดต่อการเก็บคางไวของสารปรอทกับลูกไก่ 2 สายพันธุ์ โดยให้ลูกไก่อายุ 4 - 9 สัปดาห์ 2 สายพันธุ์ ได้รับสารปรอท 2 ชนิด คือเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ และเพนิลเมอร์คิวรี (II) อะซิเตตในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยวิธีฉีดเข้ากล้ามเนื้อ ฉีดเข้าเส้นเลือดและฉีดเข้าตรงกระเพาะโศลำคอ การคงอยู่ของสารปรอทในตับและไตของไก่ทั้ง 2 สายพันธุ์แตกต่างกัน เมื่อให้สารปรอทโดยวิธีต่างกัน เปอร์เซ็นต์ของการคงอยู่ของสารปรอทแปรผันกับจำนวนสารปรอท

ที่ฉีดเข้ากล้ามเนื้อ และฉีดเข้าเส้นเลือด แต่จำนวนสารปรอทที่ฉีดเข้าตรงกระเพาะไตลำคอไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของการคงอยู่ของสารปรอท เมื่อให้สารปรอททั้ง 2 ชนิด แก่ลูกไก่ที่มีอายุมากขึ้นมีปริมาณ 2 และ 20 ppm. ในอาหาร จะพบว่ามีการเพิ่มของสารปรอทเป็นปกติธรรมดาในตับและไตในไก่สายพันธุ์หนึ่ง แต่เพิ่มน้อยมากกับไก่อีกสายพันธุ์หนึ่ง

ริง และ คัลลิโอโคสกี (Ring and Kalliokoski. 1968 : 10 - 14)

ได้ศึกษาผลของอนุพันธุ์ของอัลคอกซีอัลคิลเมอร์คิวรีที่มีต่อแม่ไก่ เพื่อให้อาหารด้วยเมล็ดธัญพืชที่มีสารฆ่าเชื้อโรคอยู่ โดยทดลองเลี้ยงแม่ไก่จำนวน 20 ตัว 2 กลุ่ม เป็นเวลา 83 วัน ด้วยอาหารผสมที่ประกอบด้วยเมล็ดข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลีอย่างละ 20 กรัม ในกลุ่มแรกเมล็ดธัญพืชดังกล่าวคลุกด้วยผงซีรีแซน (cerasan) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบเมทอกซีเมอร์คิวรีซีลีเกต อีกกลุ่มหนึ่งเมล็ดธัญพืชคลุกด้วยผงเทย์สเสโต (tayssato) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบเมทอกซีเอทิลเมอร์คิวรีคลอไรด์ ไก่ทุกตัวถูกเลี้ยงด้วยอาหารผสมตามปกติ ผลปรากฏว่าไก่ที่กินอาหารที่มีสารปรอทผสมนั้นปริมาณการผลิตไข่ลดลงเมื่อหยุดให้อาหารเป็นเวลา 34 วัน สำหรับไก่ที่กินสารเทย์สเสโต ไข่โตซึ่งน้ำหนักจึงไม่ทราบว่ามีน้ำหนักลดลงหรือไม่ ส่วนไก่ที่กินซีรีแซนน้ำหนักลดลง

ในปี 1969 วารสารการเกษตรของออสเตรเลียตะวันตกได้รายงานการใช้เมล็ดข้าวสาลีที่คลุกหรือจุ่มกับสารบางชนิดเป็นอาหารของสัตว์ปีกว่า เมื่อให้เมล็ดข้าวสาลีที่จุ่มเคลือบด้วยสารกำจัดแมลง คือ มาลาไรออนและสารกำจัดเชื้อราซึ่งประกอบด้วยคอปเปอร์คาร์บอเนต คอปเปอร์ออกไซด์คลอไรด์ ผงปรอทอินทรีย์ และเฮกซะคลอโรเบนซีน เป็นอาหารของสัตว์ปีกในเวลาพร้อม ๆ กันเพื่อต้องการทราบผลการตอบสนองของสัตว์ปีกเหล่านั้น สรุปผลการทดลองได้ว่า มาลาไรออนไม่มีผลตกค้างในเนื้อเยื่อหรือไข่ ซึ่งปริมาณที่ยังถือว่าปลอดภัยคือ 10 ppm. ในอาหาร ผงปรอทอินทรีย์ไม่ควรมีในอาหารเลย เพราะมีพิษตกค้างถึงผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ของสัตว์ด้วย สารประกอบทองแดงอาจมีได้บ้าง แต่ก็ต้องระมัดระวัง ส่วนเฮกซะคลอโรเบนซีนทำให้สัตว์ปีกมีจำนวนการตายสูงมาก และผลตกค้างก็มาก จึงไม่เหมาะสมที่จะมีในอาหารของสัตว์ปีกเช่นเดียวกับสารปรอท

สวีเนสัน และ อิลล์วารสัน (Swensson and Ullvarson. 1969 :

1567 - 1574) ได้ศึกษาความเป็นพิษของสารปรอทในระดับต่าง ๆ ที่มีต่อไก่รุ่นพันธุ์เล็กฮอร์นขาว โดยพบว่าปริมาณของสารประกอบเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ เมทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ เมทอกซีเอทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ และเมทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ ที่ฉีดเข้าเส้นเลือดของ

ลูกไก่ตัวผู้พันธุ์เล็กฮอร์นอายุ 10 สัปดาห์ และทำให้ตายไค้อยู่ในอัตรา 2.6, 10, 30 และ 34 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมตามลำดับ การให้อาหารกับลูกไก่นัดเดียวกัน โดยใช้เมล็ดข้าวสาลีคอกสารปรอทปริมาณ 8.0 และ 16.0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม พบว่าความเข้มข้นสูงสุดของเมทิลเมอร์คิวรีทำให้ไกตายภายใน 3 สัปดาห์ ทั้งนี้จะสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อมากที่สุด และถูกขจัดออกช้าที่สุด แต่จะสะสมอย่างช้า ๆ ในสมองมากกว่าในเลือด ตับ ไต หรือกล้ามเนื้อซึ่งก็ขจัดไปไค้ช้า ๆ เช่นกัน

ในปีเดียวกันนี้ ไควเมีย และคนอื่น ๆ (Kivimae and others, 1969 : 1014-1016) ได้ศึกษาสารประกอบเมทิลเมอร์คิวรีที่เกิดขึ้นในไข่จากแม่ไก่ที่ได้รับสารประกอบต่าง ๆ โดยทดลองเลี้ยงแม่ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวด้วยเมล็ดข้าวสาลีที่ผสมกับสารประกอบปรอทชนิดต่าง ๆ คือ เมทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ เพลินเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ เมทอกซีเอทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ และ เมอร์คิวรี (II) ไนเตรต เป็นเวลา 140 วัน ในอัตราปรอท 400 และ 600 ไมโครกรัมต่อวัน พบว่าหลังการให้อาหารแล้ว สารประกอบเพิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ เมทอกซีเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์ และ เมอร์คิวรี (II) ไนเตรต จะเปลี่ยนสภาพไปอยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี อวัยวะต่าง ๆ ของแม่ไก่และในไข่จะมีเมทิลเมอร์คิวรีเกิดขึ้นในระดับต่าง ๆ กัน แม้ว่าการสร้างเมทิลเมอร์คิวรีจะเกิดขึ้นไม่รวดเร็วและไม่สมบูรณ์ แต่ระดับความเข้มข้นของสารปรอทในอวัยวะของแม่ไก่และในไข่ส่วนใหญ่แล้วตรวจสอบได้ โดยการสกัดสารปรอทที่เหลืออยู่ในของเสียที่ไก่ขับถ่ายออกมา

ต่อมา พลาโตนาฟ และ ฟันเนลล์ (Platonow and Funnell, 1970 : 786 - 787) ได้ศึกษาการสะสมของสารปรอทในลูกไก่เมื่อให้ปรอทอนินทรีย์ในระดับต่ำ ๆ เป็นเวลานาน โดยทดลองให้อาหารที่ผสมสารไนเตรตของปรอท ^{203}Hg ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี 1.0 และ 0.1 ppm. แก่ลูกไก่อายุ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ 1 เดือน และ 3 เดือน จึงนำลูกไก่มาฆ่าเพื่อศึกษา พบว่าปริมาณสารปรอทและเวลาที่ให้สารปรอทแสดงค่าคู่ขนานกันไปไม่ว่าเนื้อเยื่อเกี่ยวกับชนิดเส้น (lines relating tissue) ยกเว้นในกล้ามเนื้อซึ่งมีอัตราการสะสมสารปรอทมากขึ้นเมื่อให้ปรอทปริมาณน้อย แต่ในเนื้อเยื่อปรากฏว่าเมื่อเวลามากขึ้น ความเข้มข้นของสารปรอทกลับน้อยลง แม้ว่าปริมาณสารปรอทนี้จะน้อยก็ตามก็ถือว่ายังมีอันตรายต่อผู้บริโภคได้

ส่วน แคมป์เบลล์ และคนอื่น ๆ (Campbell and others. 1972 : 894) ศึกษาการดูดซึมอาหารและการสะสมของสารปรอทในไก่ โดยให้อาหารปลาปนที่มีสารปรอทเจือปนในระดับต่าง ๆ แก่ลูกไก่ที่กำลังเจริญเติบโตและไก่ไข่ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอาหารที่มีสารปรอทว่าจะมีการสะสมหรือตกค้างของสารปรอทในเนื้อและไขอย่างไร พบว่าการสะสมของสารปรอทในสมอง กล้ามเนื้อส่วนอก ตับ ไต และขนของลูกไก่ที่กำลังเจริญเติบโตปริมาณใกล้เคียงกัน และปริมาณสารปรอทจะมากหรือน้อยในเนื้อเยื่อของแต่ละอวัยวะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ให้ สารปรอทในไขมีการสะสมได้เร็วมาก ทั้งนี้จะสะสมถึงขั้นสูงสุดภายใน 30 วัน นับจากวันที่เริ่มให้อาหาร หมายความว่าอาหารที่มีสารปรอทในอาหารเท่าใด เมื่อวัดดูในไขก็จะพบปรอทเท่านั้นหรือมากกว่านั้น สารปรอทดังกล่าวสามารถถูกขจัดออกจากสมองและกล้ามเนื้อภายใน 9.1 และ 9.9 วันตามลำดับ โดยวิธีตรวจครึ่งชีวิตของสารปรอท ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าอาหารปลาปนที่เจือสารปรอทสามารถจะให้แก่ลูกไก่และไก่รุ่นได้ แต่ควรระมัดระวังให้มาก ถ้าจะให้ไก่ที่กำลังจะส่งตลาดหรือไข่

ปี 1973 พัลเมอร์, ไรท์ และฮอฟเลอร์ (Palmer, Wright and Haufler. 1973 : 425 - 437) ศึกษาผลความเป็นพิษและการกระจายของปรอทในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของไก่วงและสัตว์อื่น ๆ โดยให้สารกำจัดเชื้อราซึ่งมีปรอทเป็นองค์ประกอบแก่ไก่วงในระดับ 5 และ 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าปรอทตกค้างอยู่ในตับมากกว่าในไต มีปรอทน้อยมากในกล้ามเนื้อและสมอง

สำหรับ ไรท์ และ ไรเนอร์ (Wright and Riner. 1974 : 366 - 372) เลี้ยงไก่ควยอาหารไก่ที่ผสมกับเมทิลเมอร์คิวรี ไคโซแอนโตเอไมด์ในอัตราส่วน 0.5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นเวลานาน 8 เดือน หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์หาสารปรอทตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายปรากฏว่ามีสารปรอทสะสมอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายจากน้อยไปมากดังนี้ คือ ตับ กล้ามเนื้อส่วนอก กล้ามเนื้อส่วนขา สมอง หัวใจ บละไข ตามลำดับ

ในปีเดียวกันนี้ มาร์ช และคนอื่น ๆ (March and others. 1974 : 2181 - 2185) ได้ศึกษาการตกค้างของปรอทในไก่กระหงที่เลี้ยงด้วยอาหารซึ่งมีปลาปนผสมอยู่ด้วย โดยทดลองเลี้ยงไก่กระหงด้วยปลาเฮอริงผสมลงไปให้อาหารไก่ในขนาด 5, 10 และ 17.1 เปอร์เซ็นต์ อาหารไก่พวกนี้จะมีปริมาณปรอทแตกต่างกันระหว่าง 0.0085 - 0.0376 ppm. ปรากฏว่าอัตราการเติบโตและการตายของไก่ที่ทดลองไม่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะมีความปนปรอทขนาดไหน ปริมาณปรอทที่ไก่กินเข้าไปไม่ว่าอาหารสูตรไหน ไม่มีผลรายต่อปริมาณปรอทในเนื้อที่อกและขา อย่างไรก็ตามเขาพบว่าปริมาณสะสมของปรอทค่อนข้างสูงในตับ ไต เล็บ และขนไก่ ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของปรอทที่มีอยู่ใน

อาหาร ปริมาณปรอทค่อนข้างสูงในชน (0.0845 ppm.) ใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจก่อนที่จะนำชนบดมาผสมเป็นอาหารไก่

ในปี 1975 ไรท์, ยังเกอร์ และ ไรเนอร์ (Wright, Younger and Riner. 1975 : 13 - 14) ได้ศึกษาความเข้มข้นของปรอทที่ตกค้างในเนื้อเยื่อต่าง ๆ และไข่ของไก่ที่ได้รับพาโนเจน 15 โดยให้ยากำจัดเชื้อราพาโนเจน 15 ระดับ 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแก่ไก่อายุ 8 เดือน ทุกวันเป็นเวลา 100 วัน พบว่าตับและไตมีปรอทสูงสุดคือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 114 ppm. และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 192 ppm. ตามลำดับ ปรอทตกค้างในกล้ามเนื้อออกมากกว่าในกล้ามเนื้อขา น้อยกว่าหรือเท่ากับ 31.2 ppm. และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25.8 ppm. ตามลำดับ ปรอทตกค้างในไข่ขาวมากกว่าในไข่แดง เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 7 ในไข่จะมีปรอทรวมทั้งหมดถึง 0.8 มิลลิกรัมต่อไข่ 1 ฟอง และจะโคตัวเลขคงที่หรือใกล้เคียงกันนี้ไปตลอดการทดลอง

ในปีเดียวกันนี้ ไนต์ และ ฮาร์วี (Knight and Harvey. 1975 : 215) ศึกษาความเข้มข้นของปรอทที่ตกค้างในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของนกพิราบโตแก่ สมอง ต้ม กล้ามเนื้ออก กระดูก หัวใจและเลือด จากพื้นที่แจคสันมีสซีส์ชิปปี้ นกพิราบที่จับมาได้จะนำมาฆ่าและวิเคราะห์ทันที 25 ตัว ส่วนที่เหลืออีก 75 ตัว นำมาเลี้ยงด้วยอาหารที่มีสารปรอทเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ฆ่านกพิราบและวิเคราะห์ปรอททุก ๆ สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของปรอทรวมสูงสุดในเนื้อเยื่อต่าง ๆ เป็นดังนี้ สมอง 230 ppb. ตับ 10 ppb. กล้ามเนื้ออก 51 ppb. กระดูก 17 ppb. หัวใจไม่เกิน 5 ppb. และเลือด 12 ppb. ขณะที่ให้อาหารที่ไม่มีปรอทเจือปนความเข้มข้นของสารปรอทจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ปี 1977 สเปรนเกียร์ (Szprengier. 1977 : 199) ศึกษาปริมาณปรอทรวมและเมทิลเมอร์คิวรีในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของแม่ไก่ที่ได้รับอาหารผสมปลาปนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยแบ่งไก่ไขพันธุ์เล็กฮอร์นออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 8 ตัว กลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารแบบ mixture D และข้าวสาลี กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารแบบเดียวกับกลุ่มที่ 1 แต่ผสมปลาปน 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปรอทอยู่ 0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารแบบเดียวกับกลุ่มที่ 1 แต่ผสมเนื้อและกระดูกปลา 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปรอทอยู่ 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากนั้น 3 สัปดาห์จึงฆ่าไก่ ปริมาณปรอทรวมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของไก่กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เป็นดังนี้ ตับ 0.021, 0.057 และ 0.020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไต 0.023, 0.066 และ 0.029 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

และในกล้ามเนื้อเท่ากับ 0.002, 0.003 และ 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณปรอทรวมทั้งหมดในตับและไต มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน ระหว่างโคกลุ่มที่ 1 กับโคกลุ่มที่ 2 สำหรับปริมาณเมทิลเมอร์คิวรี ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของโคกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับเป็นดังนี้ ในตับ น้อยมาก, 0.025 และน้อยมาก ไต 0, 0.016 และ 0 และกล้ามเนื้อ 0, น้อยมาก และ 0 ดังนั้นจึงควรระมัดระวังถ้าจะนำอาหารปลาไปใช้เลี้ยงสัตว์

ในปีเดียวกันนี้ โรซิคกา (Rozycka. 1977 : 234 , 240) ได้ศึกษาผลของเฟนิลเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ต่อการคงอยู่ของปรอทในอวัยวะบางส่วนของไก่ ด้วยการฉีดเฟนิลเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ระดับ 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่กระเพาะไตต่อไก่ทุก ๆ 48 ชั่วโมง แล้วจึงฆ่าไก่หลังจากให้ปรอทไปแล้ว 8, 16, 24, 32 และ 40 วัน ผลปรากฏว่าปริมาณปรอทในตับและไตเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ไก่ที่ได้รับปรอท 1 มิลลิกรัม จะมีปรอทในตับจาก 0.018 ถึง 0.048 มิลลิกรัม และไต 0.013 ถึง 0.053 มิลลิกรัม ส่วนไก่ที่ได้รับปรอท 10 มิลลิกรัม ปริมาณปรอทในตับเพิ่มจาก 0.11 ถึง 0.52 มิลลิกรัม และไตจาก 0.13 ถึง 0.587 มิลลิกรัม เมื่อถึงวันที่ 16 กล้ามเนื้ออกมีปรอท 0.02 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปรอท 91-96 เปอร์เซ็นต์ยังคงอยู่ในตับและไต ซึ่งจะถูกขับออกภายใน 26 วัน หลังจากหยุดให้ปรอท

ปี 1981 เนเซล และ วอกท์ (Nezel and Vogt. 1981 : 13) ทดลองให้เมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ในระดับ 0, 1, 2, 5, 10, 20 และ 50 ppm. แก่ไก่กระทงอายุ 50 วัน และระดับ 0, 0.5, 1 และ 2 ppm. แก่ไก่ไข่อายุ 280 วัน ผลปรากฏว่าความเข้มข้นของปรอทมีผลน้อยมากต่อไก่กระทงและไก่ไข่ แต่ทำให้คุณภาพของเปลือกไข่เสื่อมลง ความเข้มข้นของปรอทในเนื้อเยื่อของไก่กระทงเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับระดับปรอทในอาหาร เนื้อเยื่อที่มีปรอทสูงสุดคือตับและไต สำหรับไก่ไข่ที่ได้รับปรอท 2 ppm. จะมีปรอทในไข่แดง 0.2 ppm. และความเข้มข้นของปรอทในไข่แดงจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากหยุดให้ปรอท

ต่อมาในปี 1983 มาร์ช และคนอื่น ๆ (March and others. 1983 : 1000-1009) ทดลองให้อาหารที่มีเมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ ผสมอยู่ในระดับ 0, 0.05, 0.15 และ 1.35 ppm. แก่ไก่กระทงพันธุ์เล็กฮอร์นขาวอายุตั้งแต่ 1 วันถึง 8 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงให้อาหารที่ไม่มีปรอทไปอีก 4 สัปดาห์ และไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวอายุ 55 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงให้อาหารที่ไม่มีสารปรอทอีก 75 วัน เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง ความเข้มข้นของปรอทในเนื้อเยื่อต่าง ๆ

ของไคโรทงที่ได้รับโปรทระดับ 0 และ 1.35 ppm. ตามลำดับเป็นดังนี้ ไค 0.66 และ 7.14 ppm. ทัม 0.56 และ 8.51 ppm. และกลามเนอออก 0.42 และ 5.47 ppm. ไชหนึ่งฟอง จะมีโปรท 40 ไมโครกรัมในไชแดง และ 160 ไมโครกรัมในไชขาว ส่วนไคไชที่ได้รับโปรทระดับ 0 และ 1.35 ppm. เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง จะมีความเข้มข้นของโปรทในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้ ทัม 16.29 ppm. ไค 12.34 ppm. กลามเนอหัวใจ 5.00 ppm. และกลามเนอออก 6.35 ppm. ความเข้มข้นของโปรทในเนื้อเยื่อและไขลคลงเมื่อหยุดให้อาหารโปรทดังกล่าว

และในปี 1984 ฮาร์มส์ และคนอื่น ๆ (Harms and others. 1984 : 216)

วิเคราะห์หาปริมาณโปรทรวม(โปรทอินทรีย์และโปรทอนินทรีย์) และปริมาณโปรทอินทรีย์ในส่วนของ กลามเนอ ทัม และไค ของสัตว์ทะเลและสัตว์บกบางชนิด ซึ่งได้แก่ กวาง กระต่ายป่า ห่าน เป็ด และแมวน้ำ พบว่าในทุกกรณี ทัม และไค มีความเข้มข้นของโปรทรวมสูงกว่าในกลามเนอ รูปแบบของ โปรทที่พบมากที่สุดคือ เมทิลเมอร์คิวรี ในทัมและไคมีโปรทอินทรีย์อยู่ในปริมาณต่ำอย่างเห็น ได้ชัดเจนทางสถิติความเข้มข้นของโปรทรวมในอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์ดังกล่าวมีดังนี้ กลามเนอ 0.003-0.012 ppm. (โปรทอินทรีย์ 53-61 เปอร์เซ็นต์) ทัม 0.008-0.04 ppm. (โปรทอินทรีย์ 32-50 เปอร์เซ็นต์) และไค 0.021-0.110 ppm. (โปรทอินทรีย์ 21-34 เปอร์เซ็นต์) สำหรับเป็ด มีความเข้มข้นของโปรทรวมในอวัยวะต่าง ๆ ดังนี้ กลามเนอ 0.014-0.088 ppm. (โปรทอินทรีย์ 55-82 เปอร์เซ็นต์) ทัม 0.16-1.90 ppm. (โปรทอินทรีย์ 43-81 เปอร์เซ็นต์) และไค 0.35-0.56 ppm. (โปรทอินทรีย์ 39-69 เปอร์เซ็นต์)

ทฤษฎีอะตอมมิกแอมซอร์พชั่นสเปกโตรสโคปี

หลักการสำคัญของการวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคนี้ เป็นการทำให้ธาตุในสารตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระ เมื่อผ่านแสงจากหลอดขอลโลคาโทค (hollow cathode lamp) ซึ่งเป็นแสงที่มีพลังงานเท่ากับพลังงานเรโซแนนซ์ (resonance energy) ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณเข้าไปในอะตอมอิสระนั้นก็จะเป็นการกระตุ้นการดูดกลืนแสงไว้ เมื่อวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาสามารถจะนำมาหาปริมาณของธาตุนั้น ๆ ได้

การวิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิกแอมซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตเมตรี มี 2 แบบ คือ

1. การทำให้เกิดอะตอมอิสระแบบใช้เปลวไฟ (Flame Atomization) เปลวไฟที่ใช้ได้แก่

1.1 เปลวไฟอากาศ - โพรเพน (air-propane flame) เป็นเปลวไฟที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ประมาณ 1,800 องศาเซลเซียส

1.2 เปลวไฟอากาศ - อะเซทิลีน (air-acetylene flame) เป็นเปลวไฟที่มีอุณหภูมิประมาณ 2,300 องศาเซลเซียส

1.3 เปลวไฟไนตรัสออกไซด์ - อะเซทิลีน (nitrous oxide-acetylene) เป็นเปลวไฟที่มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 องศาเซลเซียส

2. การทำให้เกิดอะตอมอิสระแบบปราศจากเปลวไฟ (Flameless Atomization) อาจทำได้หลายวิธี เช่น

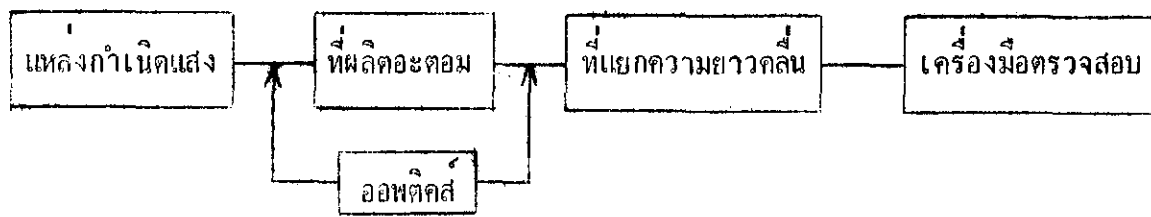
2.1 ใช้เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง (high temperature furnace)

2.2 ใช้ไส้โลหะหรือแผ่นโลหะที่เผาอรณจัด (filament and strip atomizers)

2.3 ใช้อาร์คไฟฟ้า (electric arc)

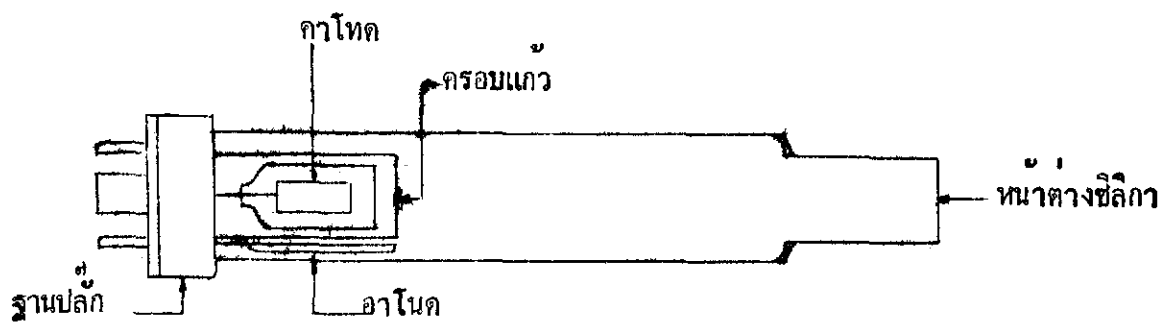
2.4 ใช้ระบบที่ให้อไอของสาร (vapor generation system)

2.5 ใช้แสงเลเซอร์ (laser) หรือไมโครเวฟพลาสมา (microwave plasma)



ภาพประกอบ 5 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอะตอมมิคแอนบอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบปราศจากเปลวไฟ

1. แหล่งกำเนิดแสง (hollow cathode lamp) ต้องเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นหรือมีพลังงานเท่ากับพลังงานเรโซแนนซ์ของธาตุที่ต้องการหาปริมาณ

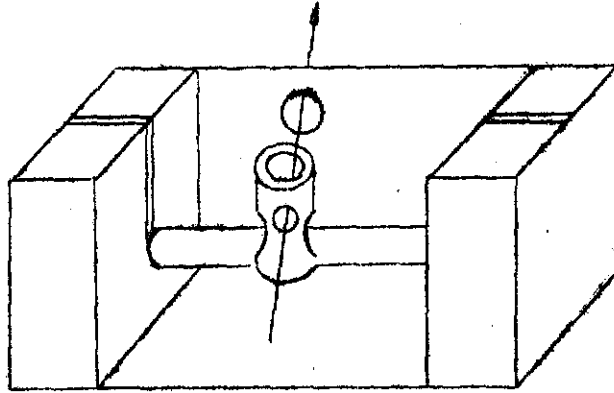


ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะของหลอดขอลโลคาโทด

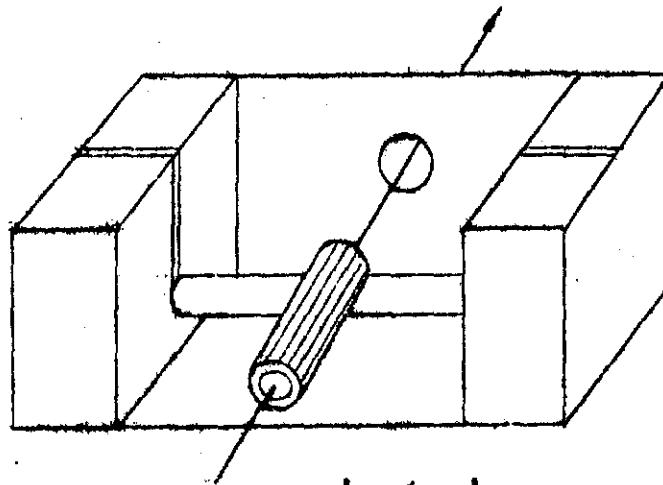
คาโทด ทำด้วยธาตุชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยทำเป็นทรงกระบอกกลวงภายในบรรจุด้วยกาซอาร์กอน หรือกาซนีออนมีความดัน 10 - 15 ทอร์ร อานอดทำด้วยลวดทังสเตนนิเกิล เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้กาซเฉื่อยแตกตัวเป็นแคทไอออนและอิเล็กตรอน ถ้าความต่างศักย์สูงพอจะทำให้แคทไอออนที่เป็นกาซวิ่งด้วยความเร็วสูงไปชนผิวของคาโทด ทำให้อะตอมของธาตุที่ใช้ทำคาโทดเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานไปสู่มีพลังงานสูงกว่า และเมื่อกลับสู่ระดับปกติจะคายคลื่นแสงที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของธาตุนั้น ๆ ออกมาเป็นเส้นสเปกตรัม มีความยาวคลื่นเฉพาะ

2. ที่ผลึกระดม (atomizer or nebulizer) เป็นส่วนประกอบที่ทำให้ธาตุนั้นสารประกอบกลายเป็นอะตอมอิสระ เนื่องจากแบบปราศจากเปลวไฟมีความร้อนสูงกว่าแบบใช้เปลวไฟจึงทำให้ธาตุนั้นกลายเป็นอะตอมอิสระได้มากกว่า และสามารถใช้กับสารที่เป็นของแข็ง โดยไม่ต้องทำให้เป็นสารละลายก่อน นอกจากนี้ยังสามารถปรับอุณหภูมิตามต้องการได้ ลักษณะของเตาไฟฟ้า

ทำหน้าทีผลต่อคอมเป็นถ้วยแกรไฟต์ หรือเตงแกรไฟต์ ดังนี้ (แมม อมรสิทธิ์ 2518 : 22)



ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะของถ้วยคาร์บอนที่ผลต่อคอม



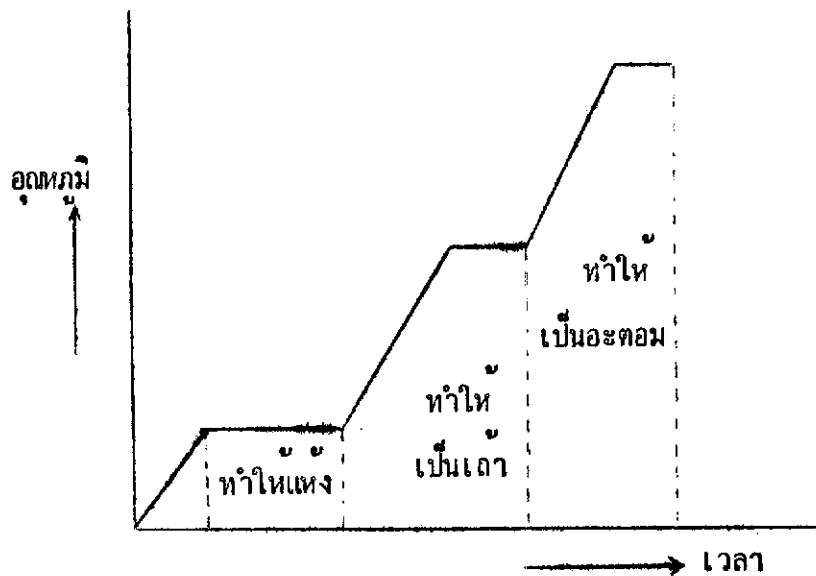
ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะของแท่งคาร์บอนที่ผลต่อคอม

เตาไฟฟ้าจะทำให้เกิดอะตอมอิสระที่สามารถดูดกลืนแสงที่ผ่านเข้าไปในเตานี้ได้ การทำงานของเตาไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ (พิมพ์ เรือนวัฒนา 2524 : 242 - 244)

1. ขั้นทำให้แห้ง (drying stage) เป็นขั้นที่ทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปจากสารตัวอย่างซึ่งบรรจุอยู่ในเตานี้

2. ขั้นเผาเป็นซีเถ้า (ashing stage) เป็นขั้นที่มีการกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์อื่น ๆ ออกจากสารตัวอย่าง

3. ขั้นเกิดอะตอม (atomization stage) เป็นขั้นที่มีการเกิดอะตอมอิสระภายในขอบเขตหมวกพลาสมา



ภาพประกอบ 9 แสดงวัฏจักรการเผาของเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง

อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้สารเปลี่ยนเป็นอะตอม แต่อะตอมบางส่วนอาจอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าปกติ (excited stage) ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณของอะตอมดังกล่าวคือปริมาณของอะตอมที่อยู่ในระดับปกติ (ground stage) ณ อุณหภูมิใด ๆ สามารถทราบได้จากความสัมพันธ์ของสมการ Boltzmann distribution ดังนี้

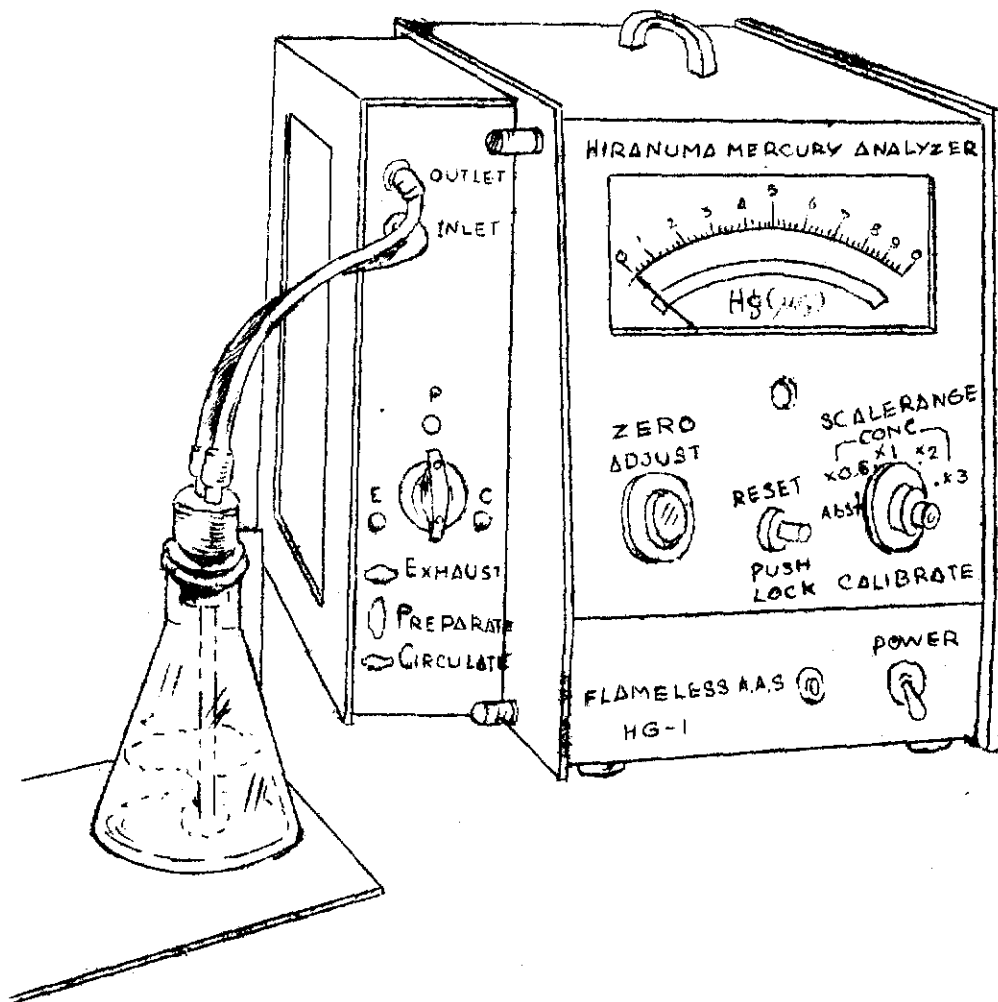
$$N_j = \frac{N_0 g_j}{g_0} e^{-\frac{E_j}{kT}}$$

- เมื่อ N_0 = จำนวนอะตอมที่อยู่ในระดับปกติ
 N_j = จำนวนอะตอมที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าปกติ
 E_j = ค่าพลังงานในการทำให้เกิดทรานสิชัน (transition)

- K = ค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์ (Boltzmann constant)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)
 g_i และ g_0 = สหสัมประสิทธิ์ เวท (statistical weight) ของอะตอมซึ่งขึ้นอยู่กับ
 นิวเคลียร์สปิน (nuclear spin) ของอะตอม

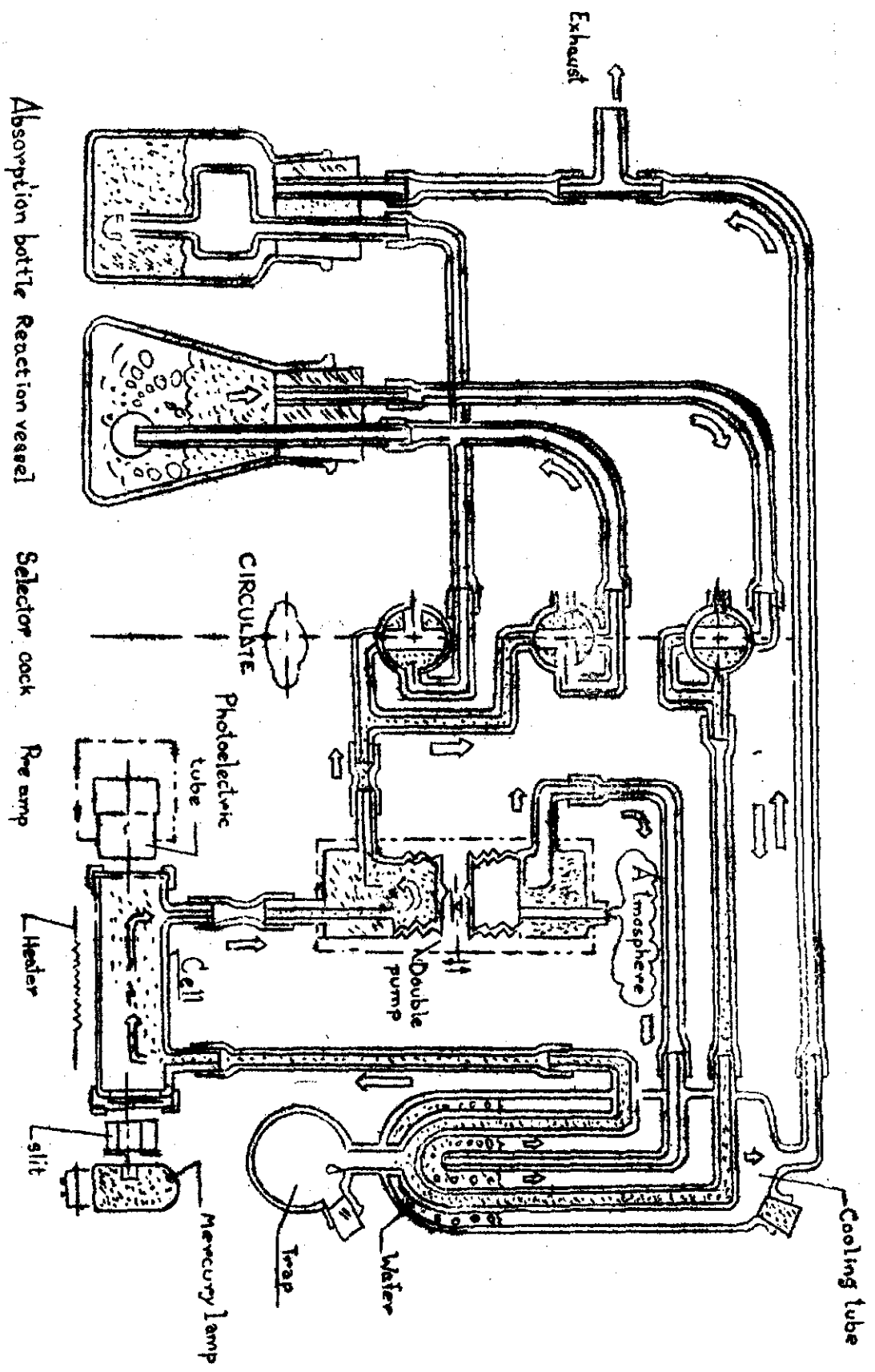
3. โมโนโครมาเตอร์ (monochromator or filter) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่แยกแถบสเปกตรัมให้เป็นอะตอมมิคเรโซแนนซ์ไลน์ (atomic resonance line) ปกตินิยมใช้เกรตติงโมโนโครมาเตอร์หรือปริซึม

4. เครื่องมือตรวจสอบ (detector) เป็นส่วนประกอบที่ใช้สำหรับวัดความเข้มของแสง โดยเป็นหลอดโฟโตมัลติไฟร์ (photomultiplier tube) ซึ่งประกอบด้วยโฟโตคาโทดที่ไวต่อการวัดแสง เนื่องจากแสงตกลงบนโฟโตคาโทดจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้น แล้วผ่านวงจรขยายอีกประมาณ 10^8 เท่า เพื่อให้ค่าไมเตอร์สามารถอ่านได้



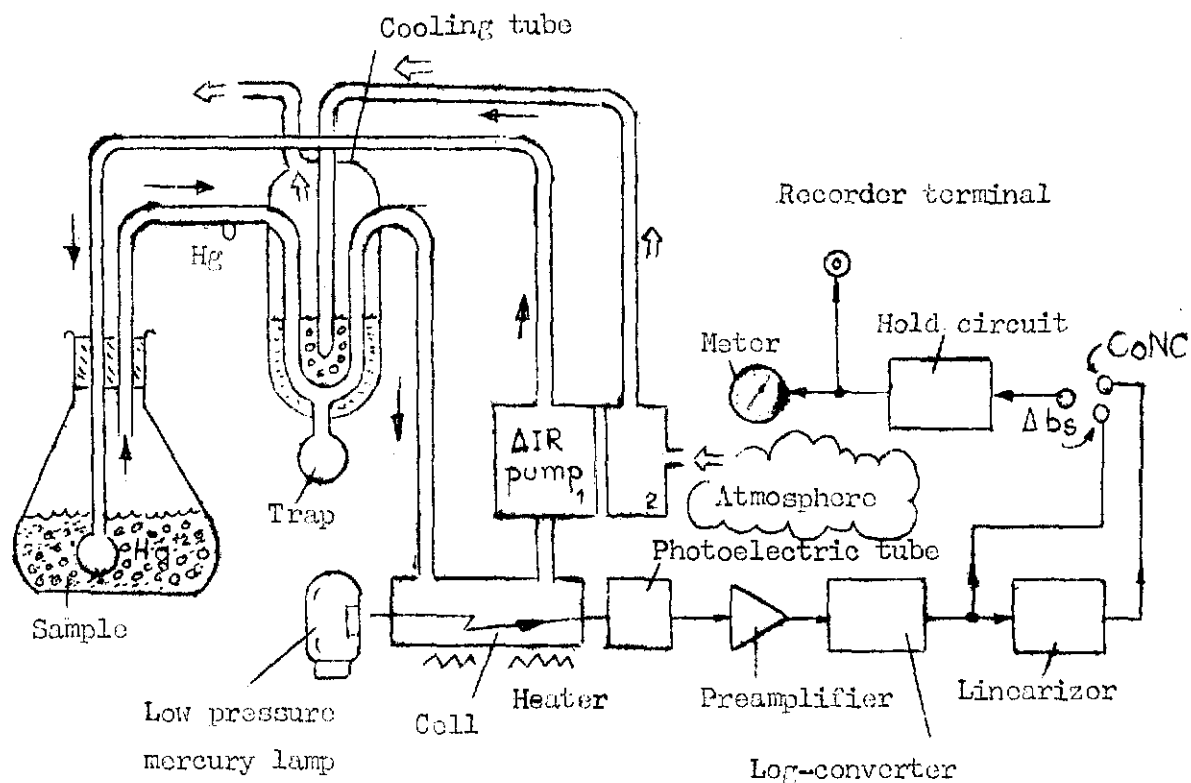
ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ปรอท (Hiranuma Model HG-1)

ชนิดอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบปราศจากเปลวไฟ



આભાસબોટી 11 માટે વહીવટી પથ (Flow path or Circulate)
 વહીવટી પથ

หลักการทํางานของเครื่องวิเคราะห์ปรอท



ภาพประกอบ 12 แผนผังแสดงหลักการทํางานของเครื่องวิเคราะห์ปรอท

เมื่อเติมตัวรีดิวซ์ (สแตนนัสซัลเฟต) ลงในสารละลายตัวอย่างที่มีไอออนของปรอทอยู่เพื่อรีดิวซ์ Hg^{2+} ไปเป็น Hg^0 แล้วคอกวนรูปกรวยเข้ากับเครื่องมือ อากาศจากเครื่องดูดอากาศ จะเข้ามายังไฮปรอทและพาไฮปรอทหมุนเวียนไปที่วาระบม เซลล์และระบบหมุนเวียนจะเต็มไปด้วยไฮปรอทอย่างสม่ำเสมอ เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตรจากหลอดที่ผลิตแสง (low pressure mercury lamp) ผ่านตลอดเซลล์ แสงจะถูกดูดกลืน (absorb) ไว้เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของปรอท หลอดโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric tube) จะวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนนี้ และเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นล็อก-คอนเวอร์เตอร์ (log-converter) จะเปลี่ยนเป็นค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และในที่สุดลิเนียร์ไรเซอร์ (linearizer)

จะอ่านออกมาเป็นปริมาณปรอท โอลด์ เซอร์คิต (hold circuit) จะทำให้เข็มชี้ที่หน้าปัดหยุดที่ตำแหน่งที่การดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum light absorption)

เครื่องมือวิเคราะห์ปรอทมีความไวของการวัด (detection sensitivity)

ในระดับ 0.005 ไมโครกรัม และความใกล้เคียงกันของข้อมูล (reproducibility)

เท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่านั้น

วิธีดำเนินการทดลอง

วิธีดำเนินการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1. การเลี้ยงไก่ ใช้ไก่ตัวเมียพันธุ์โรคโอส์แลนด์แดง อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว โดยวิธีสุ่มอย่างง่ายจากฟาร์ม ก.ไก่ รังสิต กรุงเทพมหานคร แล้วสุ่มอย่างง่ายอีกครั้งหนึ่งเพื่อแบ่งไก่ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (control group) จำนวน 8 ตัว และกลุ่มทดลอง (experimental group) จำนวน 32 ตัว ไก่แต่ละกลุ่มเลี้ยงแยกจากกัน โดยใช้กรงตับ 4 ชุด ๆ ละ 12 ตัว

1.1 ระยะเวลาและสถานที่ เลี้ยงไก่ตั้งแต่วันที่ 21 พฤษภาคม 2527 ถึงวันที่ 25 กันยายน 2527 ที่บริเวณคอกฟ้า ตึก 6 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

1.2 อาหาร กลุ่มควบคุมเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์ อุตสาหกรรม จำกัด ส่วนกลุ่มทดลองเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์ อุตสาหกรรม จำกัด ผสมกับเมอร์คิวรี (II) อะซิเตด ในอัตราส่วน 8 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม การผสมอาหารทำเป็นประจำทุกวัน ไก่แต่ละตัวจะได้รับอาหารโดยเฉลี่ยวันละ 100 กรัม

1.3 การฆ่าไก่และการแยกส่วนของเครื่องในไก่ หลังจากที่ได้เลี้ยง 2 กลุ่ม ได้รับอาหารดังกล่าว เป็นเวลา 30 วัน จึงนำมาฆ่าและแยกส่วนของเครื่องในทุก ๆ 6 วัน เริ่มฆ่าไก่ ครั้งแรก เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2527 เป็นไก่จากกลุ่มควบคุม 1 ตัว และกลุ่มทดลอง 2 ตัว ฆ่าไก่ ครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2527 เป็นไีกกลุ่มทดลอง 2 ตัว ฆ่าไก่ครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2527 เป็นไีกกลุ่มควบคุม 1 ตัว และกลุ่มทดลอง 2 ตัว ทำเช่นนี้ไปจนครบ 16 ครั้ง ระยะเวลาในการ ฆ่าไก่และแยกส่วนของเครื่องในไก่ ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน 2527 ถึงวันที่ 25 กันยายน 2527

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือวิเคราะห์ปรอท (Hiranuma Model HG-1) ชนิดอะตอมมิคแอนะไลเซอร์พจน์ สเปกโตรโฟมิเตอร์แบบปราศจากเปลวไฟ ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

คลองประปา สามเสน กรุงเทพมหานคร

3. วิธีทดลอง

3.1 การเตรียมรีเอเจนต์

รีเอเจนต์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ควรเป็นรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์ชนิด special grade

3.1.1 ทัวออกซีไดซ์ - สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 50 กรัม ในน้ำที่ปราศจากอ็อกซิเจน (deionized water) จนได้ปริมาตร 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.2 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 N นำกรดซัลฟูริกเข้มข้น 14 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากอ็อกซิเจนจนได้ปริมาตร 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.3 สารละลายไฮเดียมคลอไรด์ - ไฮดรอกซิลเอมีนซัลเฟต ละลายไฮเดียมคลอไรด์ 12 กรัม และไฮดรอกซิลเอมีนซัลเฟต 12 กรัม ในน้ำที่ปราศจากอ็อกซิเจนจนได้ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.4 รีควาซิงฟลูอิด นำสแตนดีซัลเฟต 25 กรัม ละลายในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 N 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต้องคนสารละลายตลอดเวลา

3.1.5 สารละลายปรอทคงทน (stock mercury solution)เข้มข้น 1000 ppm. ละลายเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์ 0.1354 กรัม ในสารละลายกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ จนได้ปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นจึงเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากอ็อกซิเจนจนได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1 ppm. (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

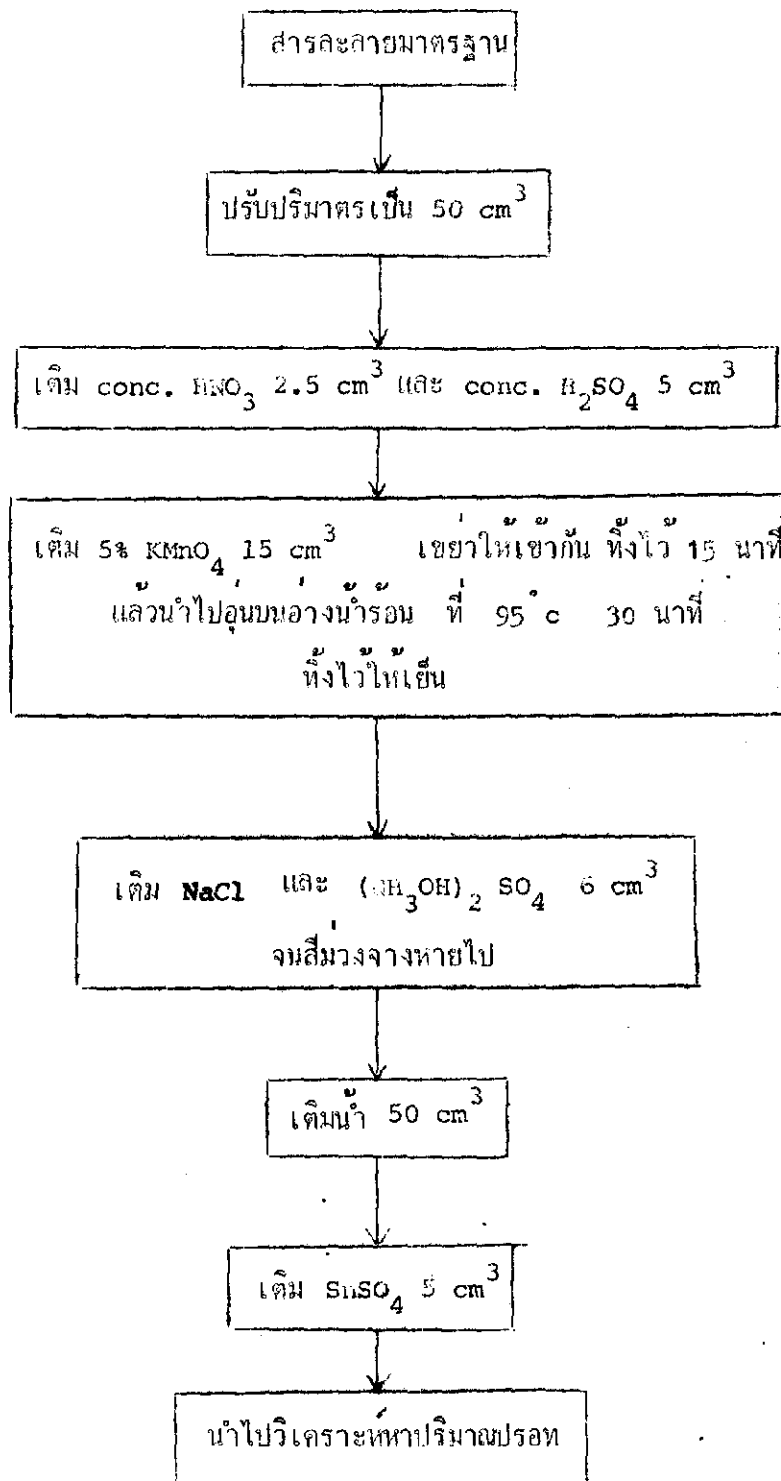
3.2 การทำกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

3.2.1 นำสารละลายมาตรฐานมา 0.5, 1, 5, 10, 15 และ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณปรอทอยู่ 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ไมโครกรัม ตามลำดับ แล้วแยกใส่ในขวดรูปกรวย ปรับปริมาตรให้เป็น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำที่ปราศจากอ็อกซิเจน

3.2.2 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และกรดไนตริกเข้มข้น 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.3 เติมทัวออกซีไดซ์ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปอุ่นบนอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอท



3.2.4 เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์-ไฮดรอกซิลเอมีนซัลเฟต

6 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนสีม่วงจางหายไป และเติมน้ำที่ปราศจากไอออนอีก 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.5 เติมรีทิวซิงเอเจนต์ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอทด้วยเครื่องวิเคราะห์ปรอท

3.2.6 ก่อนที่จะนำสารละลายมาตรฐานไปวัด จะต้องใช้สารละลาย blank วัดปริมาณปรอทเสียก่อน

3.2.7 นำความสูงของพีค (ซึ่งหักลบความสูงของพีคของ blank ออกแล้ว) และปริมาณปรอทในสารละลายมาตรฐานมาเขียนกราฟ จะได้กราฟมาตรฐาน

4. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

4.1 การย่อย (digest) สารตัวอย่าง

4.1.1 นำเครื่องในไก่ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ที่ต้องการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง มาแยกส่วนที่เป็น ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจ และไตออกจากกัน

4.1.2 แยกเอ็น ไชมัน และเลือดที่ติดอยู่กับเครื่องในทิ้งไป

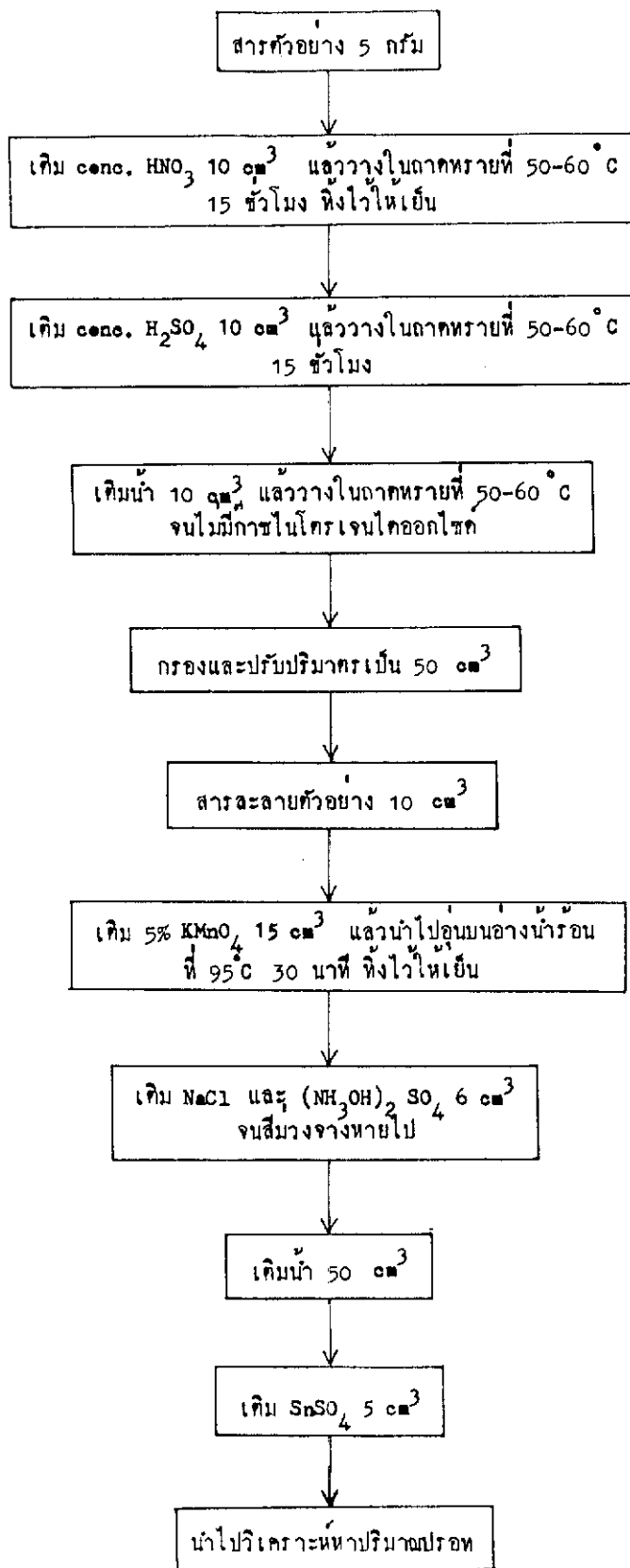
4.1.3 หั่นและสับเครื่องในแต่ละส่วนจนละเอียด นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วใส่ในขวดรูปกรวย

4.1.4 สารตัวอย่าง 5 กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา และนำไปวางในภาชนะที่ควบคุมอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง จนกระทั่งไม่มีควันสีน้ำตาลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เหลืออยู่ในขวดนั้น

4.1.5 นำขวดรูปกรวยออกจากภาชนะ ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงเติมกรดซัลฟริกเข้มข้นลงไป 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา และนำไปวางในภาชนะที่ควบคุมอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องอีกครั้งหนึ่ง

4.1.6 เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4.1.4 จากนั้นจึงกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 และล้างตะกอนด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อย แล้วรับปริมาตรเป็น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอท



4.1.7 สำหรับสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือมากกว่า 5 กรัม ก็ให้ใช้จำนวนกรด เวลาที่ใช้ในการย่อยและการปรับปริมาตรแปรผันไปตามสัดส่วนที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.4, 4.1.5 และ 4.1.6

4.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอท

4.2.1 นำสารละลายจากข้อ 4.1.6 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ใช้ปริมาตรเท่าไรก็ได้ แต่ต้องบันทึกปริมาตรที่ใช้ทุกครั้งเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของปรอท) มาปรับปริมาตรให้เป็น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน

4.2.2 ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในข้อ 3.2.3, 3.2.4 และ 3.2.5

ตามลำดับ

5. การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในสารละลายตัวอย่าง

5.1 นำสารละลายตัวอย่างจากข้อ 4.2.2 ไปวิเคราะห์หาปริมาณปรอทด้วยเครื่องวิเคราะห์ปรอท

5.2 หาปริมาณปรอทในสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานซึ่งใช้สารละลายมาตรฐานที่มีปริมาณปรอท 0.05–2.0 ไมโครกรัม และใช้น้ำที่ปราศจากไอออนเป็นสารละลาย

การหาเปอร์เซ็นต์รีคัพเวอร์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของ เมอร์คิวรี (CI) คลอไรด์เข้มข้น 0.1 ppm. (ไมโครกรัมของปรอทต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

2. เติมสารละลายมาตรฐานลงในเครื่องในไกของกลุ่มควบคุม (เครื่องในไกที่ใช้นี้ได้แบ่งส่วนหนึ่งไปหาปริมาณปรอทก่อน)

3. ผ่านกระบวนการต่าง ๆ เหมือนการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

4. นำสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของปรอท

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รีคัพเวอร์

เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.1 ppm. จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในเครื่องในไกที่มีปรอทสะสมอยู่ A ไมโครกรัม แล้วนำไปวัดหาปริมาณปรอทพบว่า มีปรอทอยู่ B ไมโครกรัม

วิธีการคำนวณ

เติมปรอท 0.1 ไมโครกรัม ลงในเครื่องในโก ซึ่งมีปรอทสะสมอยู่	A	ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในเครื่องในโก	= 0.1 + A	ไมโครกรัม
มีปรอทอยู่จริง 0.1 ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	= B	ไมโครกรัม
ถ้ามีปรอทอยู่จริง 100 ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{B \times 100}{0.1 + A}$	ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น	= $\frac{B \times 100}{0.1 + A}$	

การคำนวณค่าที่อ่านได้จากเครื่อง

1. ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง จะอ่านเป็นตัวเลขซึ่งเป็นปริมาณปรอท (ไมโครกรัม) หรืออ่านเป็นความสูงของพีค (เช่นติเมตร)
2. จากความสูงของพีค ที่อ่านได้จากสารละลายตัวอย่าง สามารถหาปริมาณปรอทได้ โดยเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครกรัม
3. การคำนวณปริมาณปรอทที่ได้เห็นความเข้มข้น มีหน่วยเป็น ppm. (ไมโครกรัมต่อกรัม)

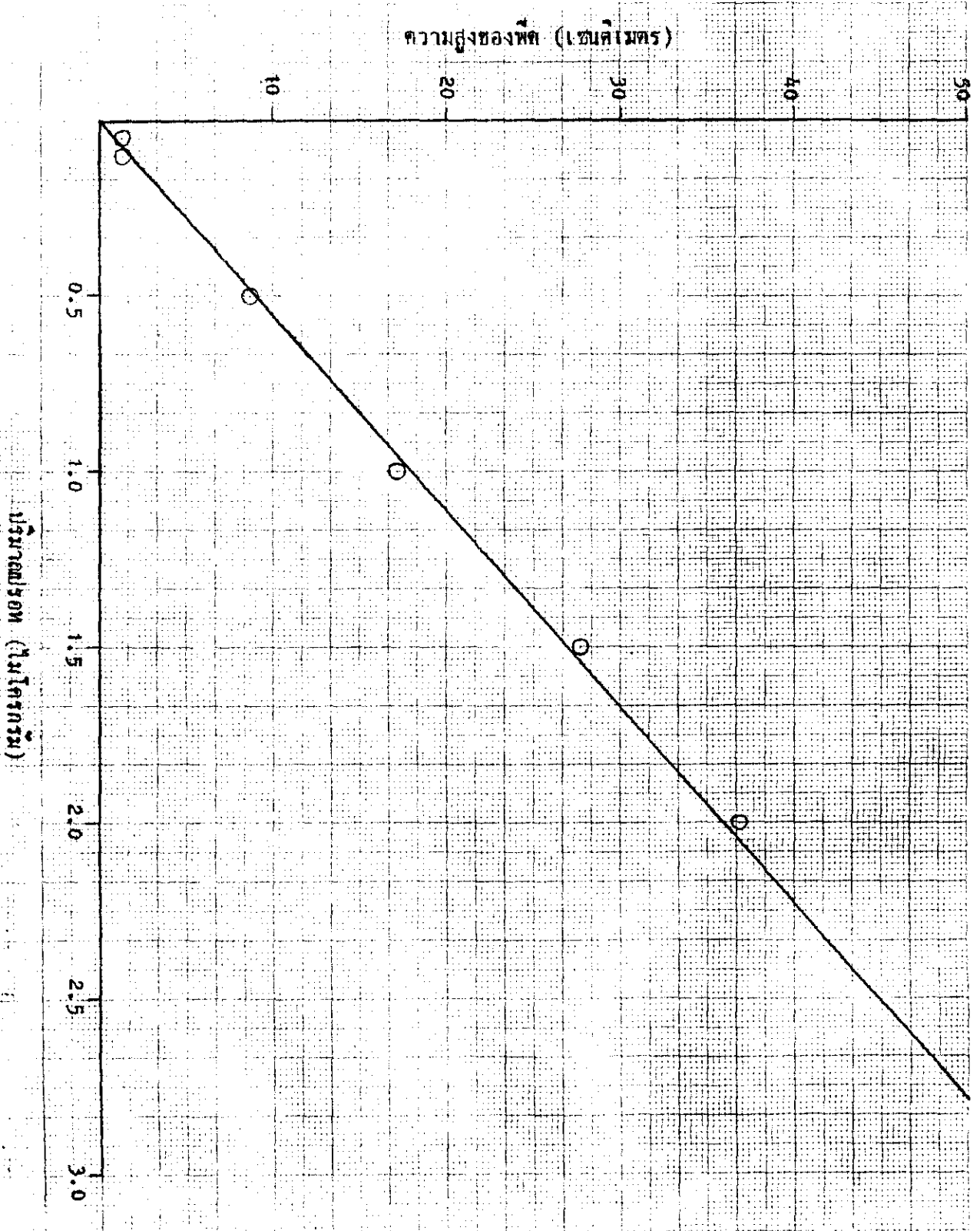
สมมติสารตัวอย่าง A กรัม เมื่อย่อยสมบูรณ์แล้วปรับปริมาตรเป็น B ลูกบาศก์เซนติเมตร นำสารละลายตัวอย่าง 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไปวัดหาปริมาณปรอทได้ความสูงของพีคเท่ากับ C เซนติเมตร (คำนวณค่าที่หักลบค่า blank ออกแล้ว) เมื่อเทียบจากกราฟมาตรฐานได้ปริมาณปรอทเท่ากับ D ไมโครกรัม

ตัวอย่างการคำนวณ

ในสารละลายตัวอย่าง 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปรอท	= D	ไมโครกรัม
ถ้าในสารละลายตัวอย่าง B ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปรอท	= $\frac{D \times B}{10}$	ไมโครกรัม
ในสารตัวอย่าง A กรัม มีปรอท	= $\frac{D \times B}{10}$	ไมโครกรัม
ถ้าในตัวอย่าง 1 กรัม มีปรอท	= $\frac{D \times B}{10 \times A}$	ไมโครกรัม/กรัม
เพราะฉะนั้นสารตัวอย่าง มีความเข้มข้นของปรอท	= $\frac{D \times B}{10 \times A}$	ppm.

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หากค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในโกส่วนต่าง ๆ
2. เขียนกราฟแสดงความเข้มข้นของปรอทที่มีอยู่ในเครื่องในโกส่วนต่าง ๆ ในกลุ่มตัวอย่างนั้นๆ



ภาพประกอบ 13 ภาพแสดงกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่ใช้ในการหาปริมาณรอนในสารตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง

วิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทใน ม้าม ตับ ไข่อ่อน หัวใจ และไต ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

1. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในม้ามของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในม้ามของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

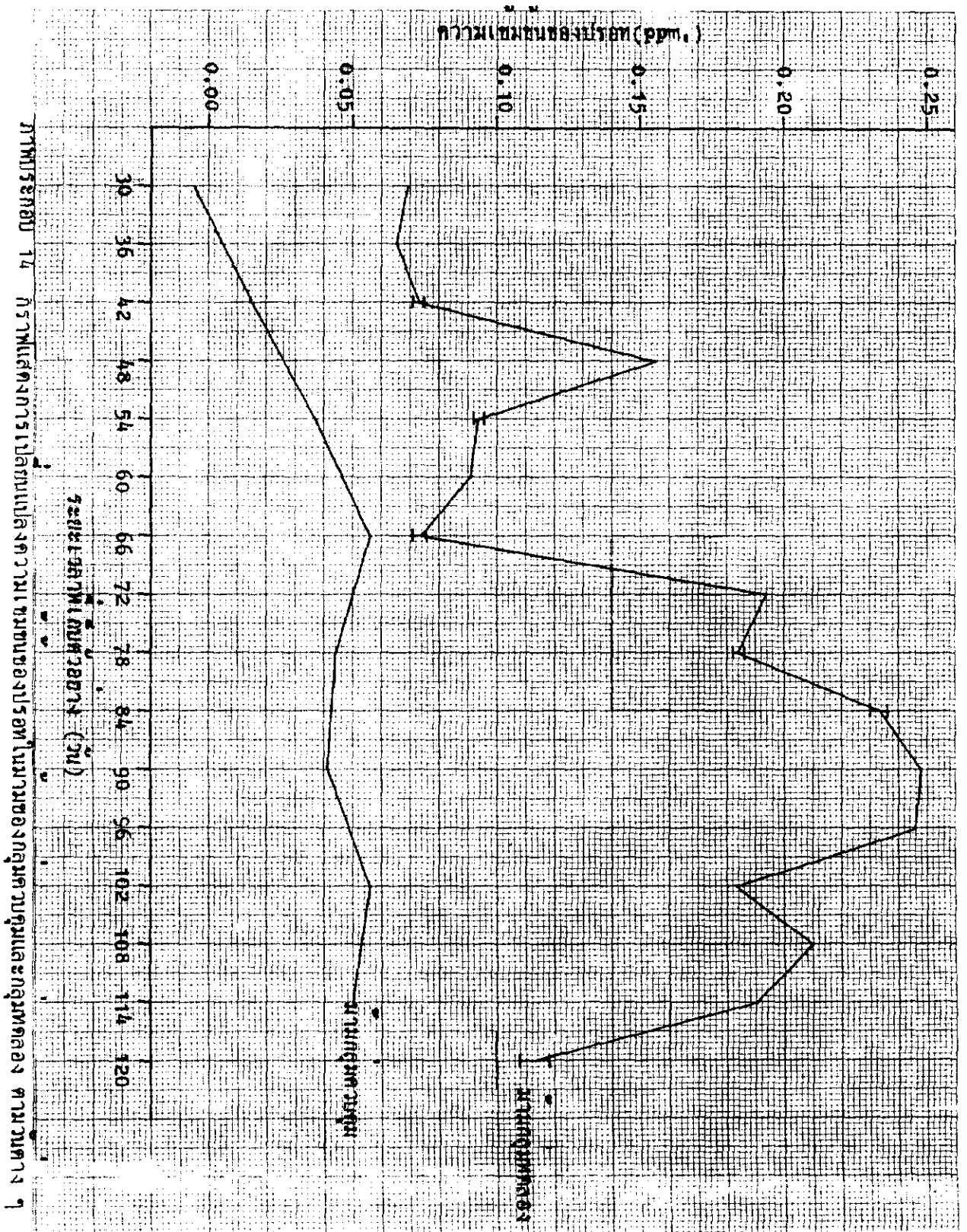
ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
30	-0.005	0.069
36	-	0.065
42	0.015	0.073 ± 0.002*
48	-	0.155
54	0.037	0.094 ± 0.002
60	-	0.091
66	0.056	0.074 ± 0.003
72	-	0.194
78	0.044	0.184 ± 0.002
84	-	0.233 ± 0.003
90	0.041	0.248
96	-	0.246
102	0.056	0.183

ตาราง 2 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
108	-	0.210
114	0.050	0.190
120	-	0.113 ± 0.005

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ในตาราง 2 พบว่าความเข้มข้นของปรอทในนมของกลุ่มทดลองสูงกว่าในนมของกลุ่มควบคุม กล่าวคือความเข้มข้นของปรอทในนมของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และใกล้เคียงกัน ในระยะเวลาที่ต่างกัน คือ มีค่าอยู่ระหว่าง $-0.005 - 0.056$ ppm. ส่วนความเข้มข้นของปรอทในนมของกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ระหว่าง $0.065 - 0.248$ ppm. และความเข้มข้นของปรอทเปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ด้วยกราฟในภาพประกอบ 14



รูปที่ 14 ความเข้มข้นของสารในน้ำดื่มและน้ำประปา

2. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ในตาราง 3

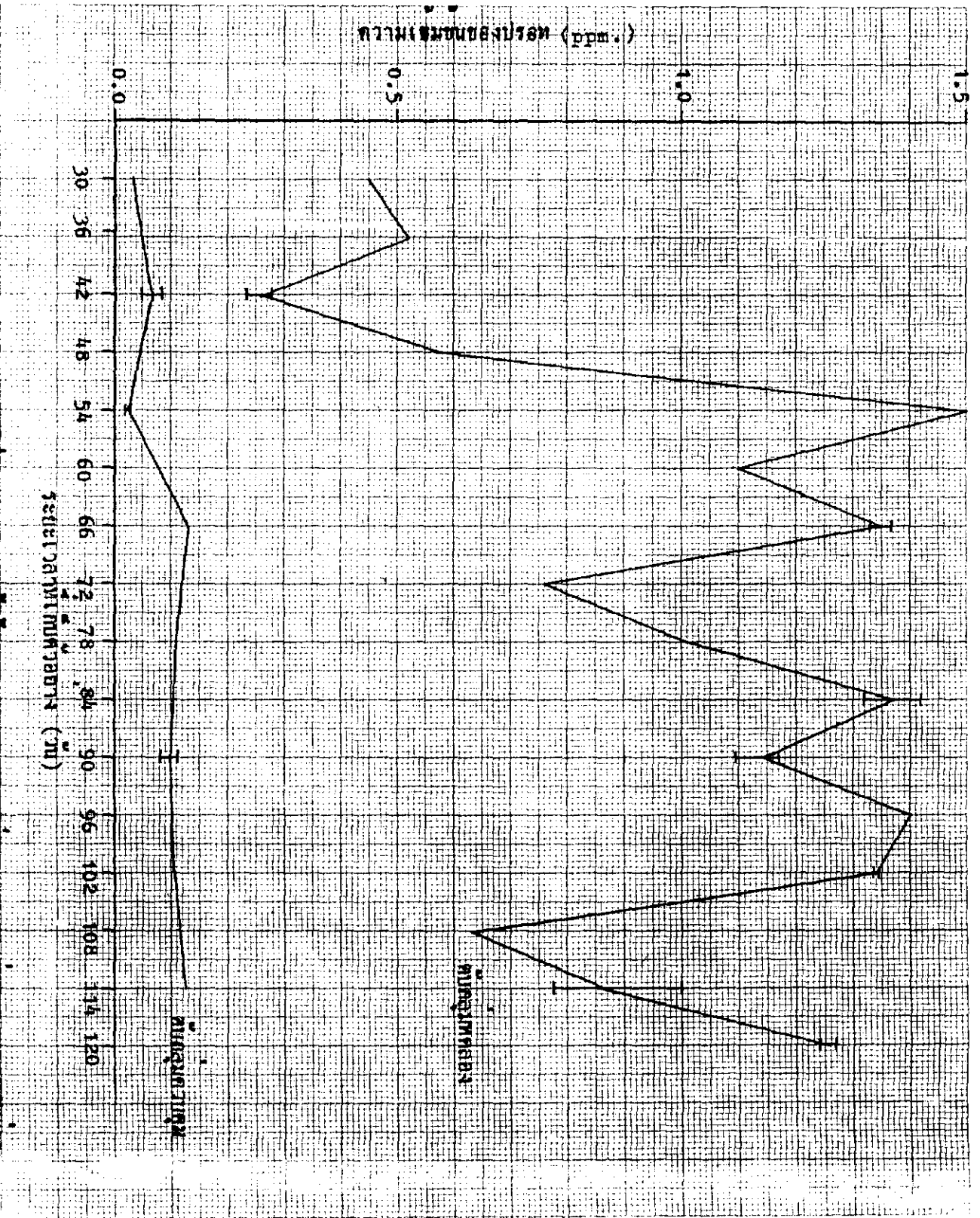
ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
30	0.035	0.450 ± 0.003*
36	-	0.520
42	0.068 ± 0.018	0.255 ± 0.022
48	-	0.575
54	0.025 ± 0.005	1.495 ± 0.005
60	-	1.100 ± 0.010
66	0.130	1.349 ± 0.019
72	-	0.760
78	0.108	1.010
84	-	1.370 ± 0.050
90	0.098 ± 0.016	1.143 ± 0.032
96	-	1.400
102	0.105	1.340 ± 0.005
108	-	0.632
114	0.125	0.869 ± 0.089
120	-	1.257 ± 0.014

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ในตาราง 3 พบว่าความเข้มข้นของปรอทในตัวของกลุ่มทดลองสูงกว่าในตัวของกลุ่มควบคุมมาก กล่าวคือความเข้มข้นของปรอทในตัวของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมากและใกล้เคียงกันในระยะเวลาที่ต่างกันคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.025 - 0.120 ppm. ส่วนความเข้มข้นของปรอทในตัวของกลุ่มทดลองมีค่าสูงมากคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.255 - 1.495 ppm. และความเข้มข้นของปรอทเปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ด้วยกราฟในภาพประกอบ 15

ภาพประกอบ 15 การแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นปรอทในชั้นของหินตะกอนและหินอัคนีของ ความเป็นกรด



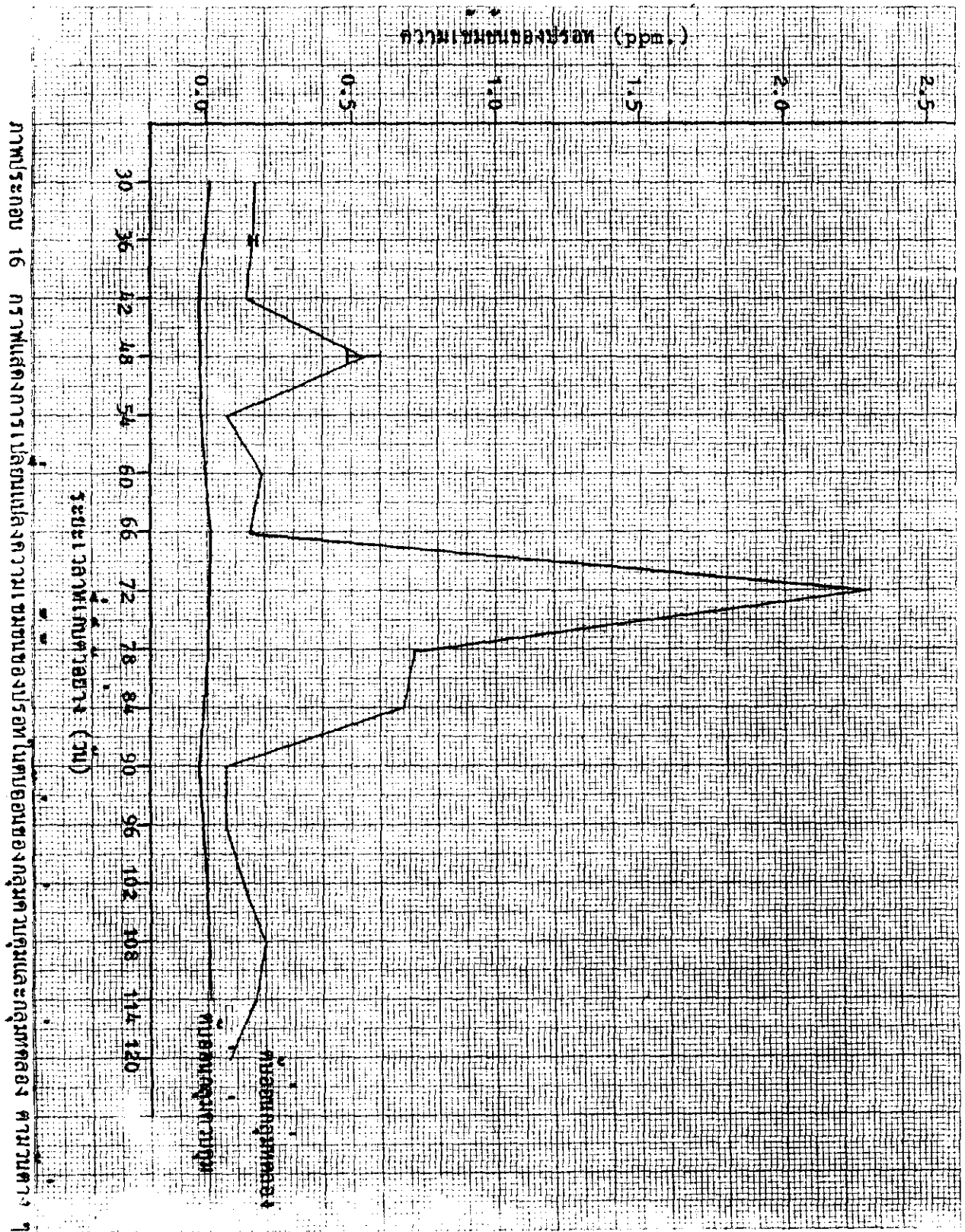
3. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับอ่อนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน โคแสดงไว้ในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตับอ่อนของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
30	0.011 ± 0.004*	0.172
36	-	0.160 ± 0.008
42	-0.026	0.141 ± 0.002
48	-	0.543 ± 0.058
54	-0.023	0.066 ± 0.002
60	-	0.190
66	0.012	0.145 ± 0.003
72	-	2.295
78	0.008 ± 0.006	0.707
84	-	0.680
90	- 0.033	0.066
96	-	0.066
102	-0.008	0.123
108	-	0.203
114	0.012	0.165
120	-	0.076 ± 0.003

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ในตาราง 4 พบว่าความเข้มข้นของปรอทในตะกอนของกลุ่มทดลองสูงกว่าในตะกอนของกลุ่มควบคุม กล่าวคือความเข้มข้นของปรอทในตะกอนของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมากและใกล้เคียงกัน ในระยะเวลาที่ต่างกันคือ มีค่าอยู่ระหว่าง $-0.033 - 0.012$ ppm. ส่วนความเข้มข้นของปรอทในตะกอนของกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างสูงคือ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.066 - 2.295$ ppm. และความเข้มข้นของปรอทเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร้สมำเสมอ ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ซึ่งแสดงไวด้วยกราฟในภาพประกอบ 16



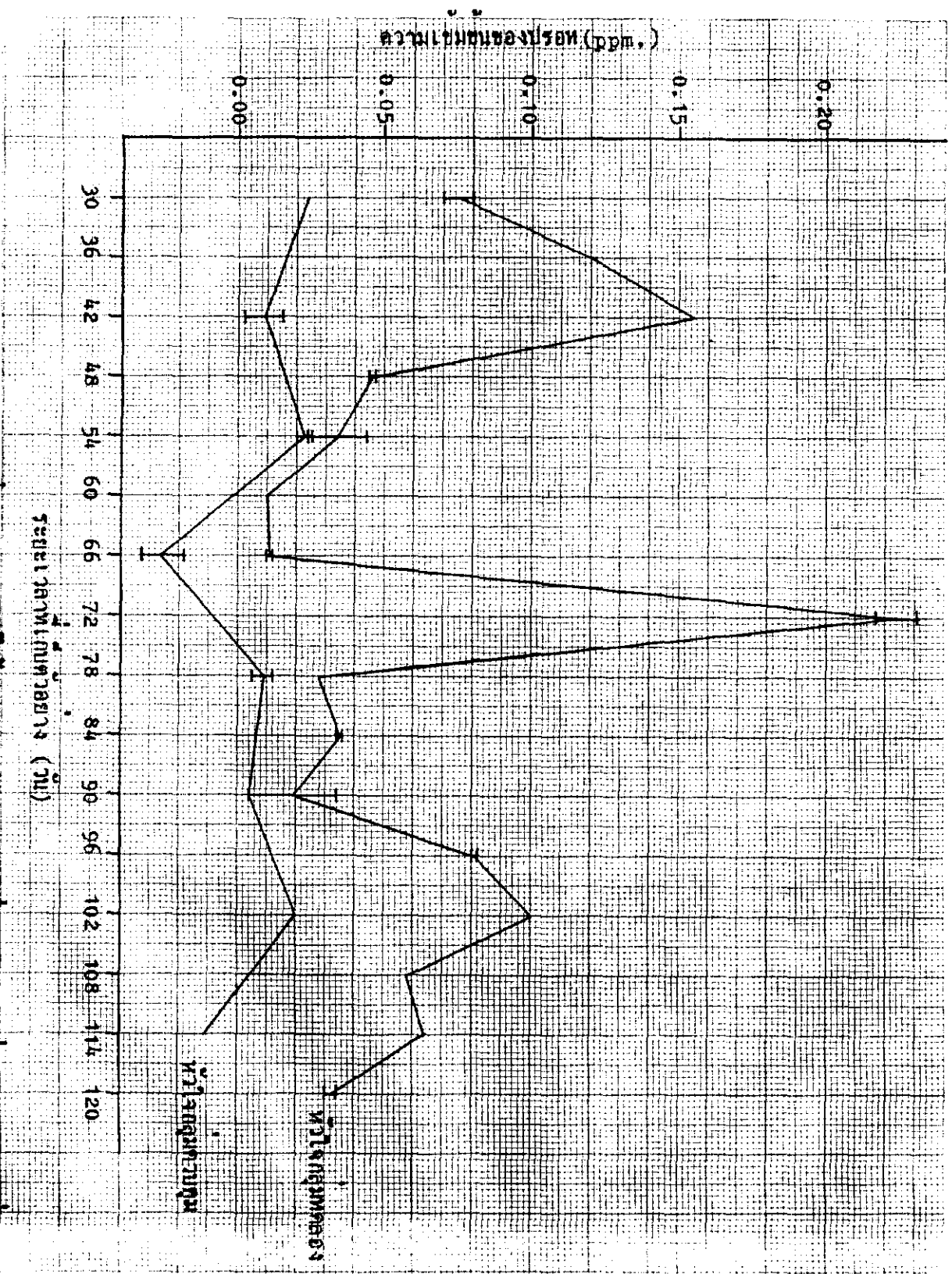
4. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
30	0.024	0.075 ± 0.005*
36	-	0.120
42	0.009 ± 0.007	0.155
48	-	0.046 ± 0.001
54	0.023 ± 0.003	0.034 ± 0.010
60	-	0.010
66	-0.026 ± 0.008	0.011 ± 0.010
72	-	0.224 ± 0.007
78	0.009 ± 0.004	0.028
84	-	0.035 ± 0.001
90	0.004	0.019 ± 0.015
96	-	0.081 ± 0.001
102	0.020	0.100
108	-	0.058
114	-0.011	0.064
120	-	0.032 ± 0.002

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ในตาราง 5 พบว่าความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มทดลอง สูงกว่าในหัวใจของกลุ่มควบคุม กล่าวคือ ความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และใกล้เคียงกันในระยะเวลาที่ต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $-0.026 - 0.024$ ppm. ส่วนความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มทดลองมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.010 - 0.224$ ppm. และความเข้มข้นของปรอทเปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งแสดงไวด้วยกราฟในภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกุ่มควบคุมและกุ่มทดลอง ความต่าง ๆ

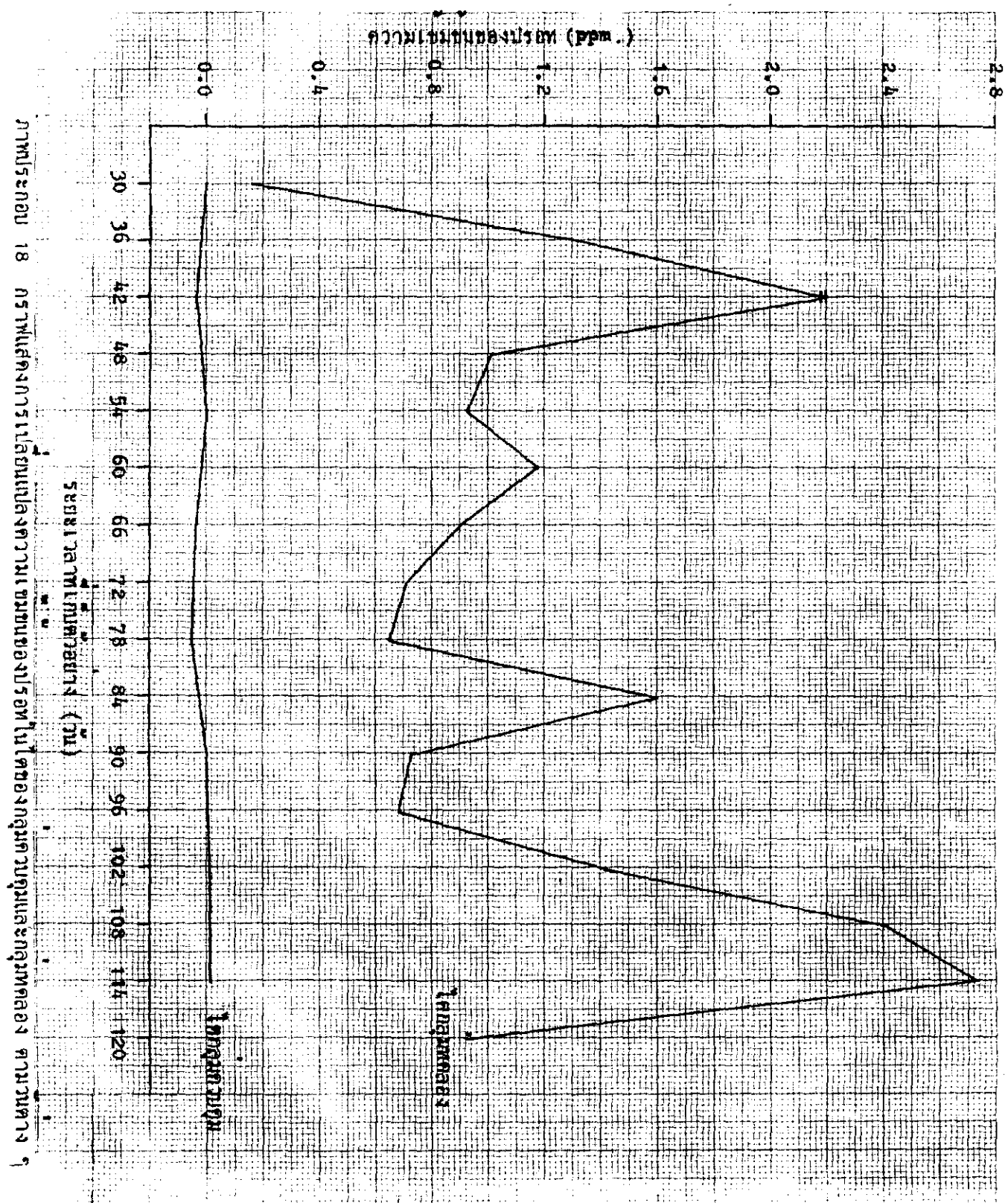
5. ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในไตของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในไตของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของปรอท (ppm.)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
30	0.000	0.170
36	-	1.305
42	-0.035	2.190 ± 0.010*
48	-	1.015 ± 0.002
54	0.005	0.928 ± 0.003
60	-	1.180
66	-0.036	0.905
72	-	0.715
78	-0.051 ± 0.001	0.650
84	-	1.603 ± 0.004
90	0.005	0.728 ± 0.008
96	-	0.686
102	0.010	1.416
108	-	2.410
114	0.015	2.726
120	-	0.916

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ในตาราง 6 พบว่าความเข้มข้นของปรอทในไตของกลุ่มทดลอง สูงกว่าในไตของกลุ่มควบคุมมาก กล่าวคือความเข้มข้นของปรอทในไตของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมากและใกล้เคียงกันในระยะเวลาที่ต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $-0.051 - 0.015$ ppm. ส่วนความเข้มข้นของปรอทในไตของกลุ่มทดลองมีค่าสูงมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.170 - 2.726$ ppm. และความเข้มข้นของปรอทเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร้สม่าเสมอ ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ด้วยกราฟในภาพประกอบ 18



การวัดความถี่ของสัญญาณที่ส่งและรับในระบบสื่อสารวิทยุ

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จุดมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในของไก่ที่ได้รับอาหารผสมสารปรอท
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่ตามระยะเวลาหลังจากที่ไก่ได้รับอาหารผสมสารปรอท

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ทำให้ทราบความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่ซึ่งไตแก่ ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจและไต
2. ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่
3. เป็นแนวทางให้มูลนิธิกรมการผลิอาหารไก่ใหม่มีความปลอดภัยจากสารปรอทมากยิ่งขึ้น
4. เทคนิคและวิธีการที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาเคมีในระดับอุดมศึกษาได้
5. อาจจะนำความรู้ที่ได้ไปเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการเกิดพิษของปรอทในคนได้

วิธีดำเนินการทดลอง

1. การเลี้ยงไก่ เลี้ยงไก่ตัวเมียพันธุ์โรดไอส์แลนด์แดงจำนวน 40 ตัว โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุม 8 ตัว และกลุ่มทดลอง 32 ตัว
2. การให้อาหารไก่ ไก่ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง จะได้รับอาหารสำเร็จรูปของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ในปริมาณและเวลาที่เท่า ๆ กัน สำหรับอาหารของกลุ่มทดลองให้ผสมกับเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต ในอัตราส่วน 8 มิลลิกรัมต่ออาหารไก่ 1 กิโลกรัม
3. การฆ่าไก่และการแยกส่วนของเครื่องในไก่ หลังจากที่ได้ทั้ง 2 กลุ่มได้รับอาหารดังกล่าวเป็นเวลา 30 วัน จึงฆ่าไก่และแยกส่วนของเครื่องในไก่ทุก ๆ 6 วัน :

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ เครื่องวิเคราะห์ปรอท (Hiranuma Model HG-1) ชนิดอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบปราศจากเปลวไฟ ของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ คลองประปา สามเสน กรุงเทพมหานคร
2. หาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในโกส่วนต่าง ๆ
3. เขียนกราฟแสดงความเข้มข้นของปรอทที่อยู่ในเครื่องในโกส่วนต่าง ๆ ในกลุ่มตัวอย่างนั้น ๆ

สรุปผลจากการศึกษาครั้งนี้

1. ปรอทสะสมอยู่ในนมของกลุ่มทดลองสูงกว่าของกลุ่มควบคุม โดยที่ความเข้มข้นของปรอทในนมของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทน้อยมาก ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของปรอทในนมของกลุ่มทดลองซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลา
2. ปรอทสะสมอยู่ในตับของกลุ่มทดลองสูงกว่าของกลุ่มควบคุมมาก โดยที่ความเข้มข้นของปรอทในตับของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทน้อยมาก ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของปรอทในตับของกลุ่มทดลองซึ่งมีค่าสูงมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลา
3. ปรอทสะสมอยู่ในไตอ่อนของกลุ่มทดลองสูงกว่าของกลุ่มควบคุม โดยที่ความเข้มข้นของปรอทในไตอ่อนของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทน้อย ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของปรอทในไตอ่อนของกลุ่มทดลองซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลา
4. ปรอทสะสมอยู่ในหัวใจของกลุ่มทดลองสูงกว่าของกลุ่มควบคุม โดยที่ความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทน้อยมาก ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของปรอทในหัวใจของกลุ่มทดลองซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลา

5. โปรทสะสมอยู่ในไตของกลุ่มทดลองสูงกว่าของกลุ่มควบคุม โดยที่ความเข้มข้นของโปรทในไตของกลุ่มควบคุมมีค่าน้อยมาก แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรทน้อยมากตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโปรทในไตของกลุ่มทดลองซึ่งมีค่าสูงมาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรทอย่างไม่สม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลานั้น
6. ความเข้มข้นของโปรทในเครื่องในไกส่วนต่าง ๆ เรียงจากน้อยไปหามาก ดังนี้คือ หัวใจ ม้าม ตับอ่อน ตับ และไต ตามลำดับ
7. ระดับโปรทในไตของกลุ่มทดลองขึ้นลงเป็นช่วง ๆ แม้ว่าปริมาณโปรทในอาหารจะคงที่

อภิปรายผลการศึกษาค้นคว้า

จากผลการทดลองจะเห็นว่าโปรทสะสมอยู่ใน ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจ และไต ของไก่กลุ่มทดลองสูงกว่าของไก่กลุ่มควบคุม และความเข้มข้นของโปรทในอวัยวะต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ความเข้มข้นของโปรทในเครื่องในไกส่วนต่าง ๆ เรียงจากน้อยไปหามากดังนี้คือ หัวใจ ม้าม ตับอ่อน ตับ และไต ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอวัยวะดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้รวมกับเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ไตแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ มาร์ช และคนอื่น ๆ (March and others. 1974 : 2181 - 2185) เนเซล และวอกท์ (Nezel and Vogt. 1981 : 13) มาร์ช, พูน และชู (March, Poon and Chu. 1983 : 1000-1009) พบว่า เนื้อเยื่อที่มีโปรทสูงสุดคือ ตับและไต นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ โรซึคกา (Rozycka. 1977 : 234, 240) สเปิร์นเกียร์ (Szprengier. 1977 : 10) และไรท์, ยังเกอร์ และไรเนอร์ (Wright, Younger and Riner. 1975 : 13-14) ซึ่งพบว่า โปรทสะสมอยู่ในไตสูงกว่าในตับ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากไตทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียหรือสารมลพิษ

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ระดับโปรทในเครื่องในส่วนต่าง ๆ ของไก่กลุ่มทดลองขึ้นลงเป็นช่วง ๆ แม้ว่าปริมาณโปรทในอาหารจะคงที่ ซึ่งแสดงว่า อวัยวะดังกล่าวสามารถเก็บสะสมโปรทไว้ได้จำนวนหนึ่งในระยะเวลานั้น ต่อจากนั้นก็จะขับโปรทออกจากร่างกายไปบางส่วน หรืออาจจะเนื่องมาจากอายุของเซลล์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการเก็บสะสมและการขับโปรทในเครื่องในไกส่วนต่าง ๆ ไตแตกต่างกัน ผลการทดลองนี้อาจจะเป็นแนวทางที่จะนำมาซึ่งกลไกการเก็บสะสมและการขับโปรทในไก่ และสัตว์อื่น ๆ ก็ได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้นคว้าในครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาว่าหลังจากหยุดให้อาหารที่ผสมควยสารปรอทดังกล่าวแล้ว ปรอทที่สะสมอยู่ในเครื่องในไก่จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. ควรศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในไก่ในช่วงระยะเวลาและฤดูกาลที่แตกต่างกันออกไป และควรศึกษาในระยะเวลาที่นานกว่านี้
3. ควรศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในไก่ โดยเปลี่ยนสารปรอทเป็นตัวอื่นบ้าง เช่น เมอร์คิวรี (II) คลอไรด์, เมทิลเมอร์คิวรี (II) คลอไรด์, เมทิลเมอร์คิวรี ไฮดรอกไซด์, เมทิลเมอร์คิวรี และเพนิลเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต เป็นต้น
4. ควรศึกษาหาความเข้มข้นของปรอทในส่วนของ ขน เล็บ ไขมัน ลำไส้ และกระเพาะไคตวย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ รายงานการสำรวจน้ำเสียอ่าวไทยครั้งที่ 3

(9 - 11 เมษายน 2517) กองโครงการและประสานงานวิจัย, สำนักงานคณะกรรมการ
วิจัยแห่งชาติ หน้า 38, 2519

ชุตินา ภัตสรากล "พิษของปรอทและการหาปริมาณ" วิทยาศาสตร์ 26(10) : 49 - 50
ตุลาคม 2515

บุญเลิศ อังศิริจินดา "การสะสมของสารปรอทในผักบุงใกล้เคียงโรงงานคอสติกโซดาในประเทศไทย"
วนสาร 37(1) : 33 มกราคม - มีนาคม 2522

ปฐม เหมยมเกต การวิเคราะห์ปริมาณปรอทในปลาสมุทรบางชนิดในอ่าวไทย โดยวิธีนิวตรอน
แอกติเวชัน วิทยานพนธ์ ท.ม. สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2519, 65 หน้า อัดสำเนา

ประวิทย์ ชุมเกษียร และคนอื่น ๆ "การศึกษาสารโลหะหนักเป็นพิษในเนื้อสัตว์ที่ใช้เป็นอาหาร"
รายงานการสัมมนาทางวิชาการ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปัญหาภาวะของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
ในประเทศไทย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2520, 318 หน้า

พิมล เรียนวัฒนา สเปกโตรสโคปีขั้นพื้นฐานกับการประยุกต์ทางเคมี อักษรเจริญทัศน์ 2524,
292 หน้า

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ "มลพิษจากอุตสาหกรรมและโลหะเป็นพิษ"
เคมีสภาวะแวดล้อม สำนักพิมพ์โอเคียนสโตร 2525, 215 หน้า

แมน อมรสิทธิ์ "อะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรสโคปี" วิทยาศาสตร์ 29(11) : 22
พฤศจิกายน 2518

สาธารณสุข, กระหรวง ประกาศของสาธารณสุข 24, 2522

สิรินทร วิโมกข์สันต์, ดร. และคนอื่น ๆ "สิ่งแปลกปลอมที่เป็นโลหะ" ชีวเคมีฉบับปรับปรุงใหม่
ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2521, 582 หน้า

- สุนทร สุวรรณโณ การหาปริมาณปรอทในน้ำทะเล โดยวิธีวิเคราะห์แบบ Destructive Neutron Activation ปรินทูนินท์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2517, 72 หน้า อัดสำเนา
- แสงเดือน บุญโยประการ "ชาวการประมงในประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบมีสารปรอทในแม่น้ำเจ้าพระยา" การประมง 28(3) : 403 - 404 กรกฎาคม 2518
- วิฑูรย์ อัครนโณ "อาการแพ้พิษโลหะหนักที่พบได้บ่อยในปัจจุบัน" รายงานการสัมมนาทางวิชาการ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัยของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2520, 318 หน้า วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม รายงานประจำปี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โรงพิมพ์คุรุสภา 2515
- รายงานประจำปี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โรงพิมพ์คุรุสภา 2517
- รายงานประจำปี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โรงพิมพ์คุรุสภา หน้า 66 - 74, 2518
- วรวิทย์ ชีวาภรณ์ภักดิ์ การศึกษาปริมาณรวมของปรอทและปริมาณปรอทอินทรีย์ในปลาบางชนิดในอ่าวไทยตอนบน วิทยานิพนธ์ วท.ม. แผนกวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2520, 109 หน้า อัดสำเนา
- อ.ไวยรรณ ทวีพงศ์พันธ์ การศึกษาปริมาณของปรอทในไขไก่ และการถ่ายทอดปรอทไปยังลูกไก่ ปรินทูนินท์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2525, 90 หน้า อัดสำเนา
- Albert, A. Selective Toxicology. London, Methuens and CO., Ltd., p. 74 - 75, 1966.
- Anonymous. "Maximum Allowable Concentration of Mercury Compound," Arch. Environ Health, 19(6) : 861 - 905, 1969.
- "Study Groups on Mercury Hazard," Hazards of Mercury. Special Report to the Secretary's Pesticide Advisory Committee, Department of Health, Education and Welfare and Environmental Protection Agency, 1970.
- Bertilsson, L. and H.Y. Neujahr "Methylation of Mercury Compounds by Methylcobalamin," Biochem. 10(14) : 2805 - 2808, 1971.
- Bryan, S.E. and others. "Intranuclear Localization of Mercury in Vivo," Science. 8 : 832 - 833, 1974.

- Campbell, L.D. and others. "Dietary Levels and Hg Accumulation in Chickens," J. Anim. Sci. 34(5) : 894, 1972.
- Chang, L.W. and Henrik A. Hartmann. "Electron Microscopic Histochemical Study on the Localization and Distribution of Mercury in the Nervous System after Mercury Intoxication," Experimental Neurology. 35 : 122 - 137, 1972.
- Chao, E.S.-E., J.F. Gierthy and G.D. Frenkel. "A Comparative Study of the Effects of Mercury Compounds on Cell Viability and Nucleic Acid Synthesis in HeLa Cells," Biochem. Pharmac. 33(12) : 1941 - 1945, 1984.
- Chickos, J.S., Garin D.L. and Rouse, R.A. Chemistry : Its Role in Society. London, D.C. Health and Company p. 185 - 189, 1973.
- DeSimone, R.E. Chem. Commun. 13 : 723, 1972.
- Fitzhugh, O.C. and others. "Chronic Oral Toxicities of Mercuric-Phenyl and Mercuric Salts," Arch. Ind. Hyg. Occupational Med. 2 : 433 - 442, 1950.
- Ganther and others. "Selenium : Relation to Decreased Toxicity of Mercuric-Phenyl and Mercuric Salts," Arch. Ind. Hyg. Occupational Med. 2 : 433 - 442, 1950.
- Gruenwedel, D.W. and M.K. Cruikshank. "Effects of Methyl Mercury (II) on the Synthesis of Deoxyribonucleic Acid, Ribonucleic Acid and Protein in HeLa S3 Cells," Biochem. Pharmac. 28 : 651 - 655, 1979.
- Hafen, B.Q. Man Health and Environment. Minnesota, Burgess Publishing Company p. 149, 1972.
- Harms, U. and others. "Analysis and Occurrence of Inorganic and Organic Mercury Compounds in Marine and Terrestrial Animals," Food Science and Technology Abstracts. 16(8) : 216, 1984.
- Hirada, Y. "Clinical Investigation on Minamata Disease, C. Congenital (or Fatal) Minamata Disease," Minamata Disease. Japan, Kumamoto University, 92.
- Jensen, S. and Jernelöv, A. "Biosyntes av Metylkviksilver II Biocidininformation," Nordforsk. 14 : 3, 1968.
- "Biological Methylation of Mercury in Aquatic Organisms," Nature. 223 : 753 - 759, 1969.
- Jernelöv, A. Unpublished report prepared for the Government of Ontario for Analysis of St. Clair River Sediments, 1972.

- Jones, H.R. Mercury Pollution Control. New Jersey, Norjes Data corporation p. 159, 1971.
- Kivimaa, A. and others. "Methyl Mercury Compounds in Eggs from Hens after Oral Administration of Mercury Compounds," J. Agr. Food Chem. 17(5) : 1040 - 1016, 1969.
- Klein, D.H. "Some General and Analytical Aspects of Environmental Mercury Contamination," J. Chemical Education. 49(1) : 7 - 9, 1972.
- March, B.E. and others. "The Dynamics of Ingested Methyl Mercury in Growing and Laying Chickens." Poultry Science. 62(6) : 1000 - 1009, 1983.
- "Tissue Residues of Mercury in Broilers Fed Fish Meals Containing Different Concentrations of Mercury," Poultry Science. 53(6) : 2181 - 2185, 1974.
- McKone, E.C. "Rapid Uptake of Mercury Ion by Goldfish," Env. Science and Technology. 5(11) : 1138 - 1139, 1971.
- Menasveta, P. "Total Mercury in the Food Chain of Bang Pra Coastal Area Chonburi." J. Sci. Soc. Thailand. 2 : 117 - 126, 1976.
- Miller, V.L. and others. "The Effects of Dosage and Administration of Two Mercurials on Mercury Retention in Two Strains of Chickens," Poultry Science. 46 : 142, 1967.
- Naganuma, A. and Nobumasa Imura. "Species Difference in Biliary Excretion of Methylmercury." Biochem. Pharmac. 33(4) : 679 - 682, 1984.
- Nakazawa, N., F. Makino and S. Okada. "Acute Effects of Mercuric Compounds on Cultured Mamalian Cells," Biochem. Pharmac. 24 : 489 - 493, 1975.
- Nezel, K. and Vogt, H. "Effect of Hg^{2+} Levels in Broiler and Laying Hen Diets on Performance of the Birds and Residues in Tissues and Eggs." Food Science and Technology Abstracts. 13(1) : 13, 1981.
- Platonow, N.S. and Funnell, H.S. "The Accumulation of Mercury in Chickens Following the Prolonged Administration of Low Levels of an Inorganic Mercurial," Vet. Rec. 87 : 786, 1970.
- Plumb, Robert C. "Mercury Poisoning," J. Chemical Education. 49(1) : 28, 1972.
- Ring, O. and Kalliokoski, P.K. "Effects of Alkoxy Alkyl Mercury Derivatives on Hens in a Feeding Test With Disinfected Cereal," Ann. Agric. Fenn. Suppl. 7(1) : 10 - 14, 1968.

- Sager, P.R. and Tore L.M. Syversen. "Differential Responses to Methyl mercury Exposure and Recovery in Neuroblastoma and Glioma Cells and Fibroblasts," Experimental Neurology. 85 : 371 - 382, 1984.
- Skerfving, S. and others. "Chromosome Breakage in Humans Exposed to Methyl Mercury through Fish Consumption." Preliminary communication. Arch. Environmental Health. 21 : 133 - 139, 1970.
- Smart, N.A. and Lloyd, M.K. "Mercury Residues in Eggs, Flesh and Livers of Hens Fed on Wheat Treated With Methyl Mercury Dicyandiamide," J. Sci. Food Agric. 14 : 734 - 740, 1963.
- Stainton, Michael P. "Syringe Procedure for Transfer of Nanogram Quantities of Mercury Vapor Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry," Analytical Chemistry. 43(4) : 625 - 627, 1971.
- Swensson, A. and Ulxvarson, U. "Investigations on the Toxic Effects of Different Mercury Compounds on Young White Leghorn Cocks," Poultry Sci. 48 : 1567 - 1574, 1969.
- Teining, S. and Vesterberg, R. "Alkyl Mercury-Treated Seed in Food Grain. Mercury in Tissues and Eggs from Hens Fed with Grain Containing Methyl Mercury Dicyandiamide," Poultry Science. 43 : 6 - 11, 1964.
- Uthe, J.F., Armstrong, F.A.J. and Stainton, M.P. "Mercury Determination in Fish Samples by Wet Digestion and Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry," J. Fish. Res. Bd. Canada. 27 : 805 - 811, 1970.
- Westöö, G. "Hg in Eggs From Swedish Hens, in Meat from Swedish Hens, Broilers and Chickens and in Swedish Chicken Liver," Var Föda. 7 : 85 - 88, 1966.
- White, D.E. and others. "Mercury in the Environment," U.S. Geol. Sur. Prot. p. 713, 1971.
- Wood, J.M., F. Scott Kennedy and C.G. Rosen. "Synthesis of Methyl - mercury Compounds by Extracts of a Methanogenic Bacterium," Nature. 220 : 173 - 174, 1968.
- "Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment," Science. 183 : 1049 - 1051, 1974.
- Wood, J.M. and others. "Mechanisms for the Biomethylation of Metals and Metalloids," Federation Proceedings. 37(1) : 17, 1978.
- Wright, F.C. and others. "Residues of Mercury in Tissues and Eggs of Chickens Given Oral Doses of Panogen 15," Bull. Environ. Contam. Toxicol. 12(3) : 366 - 372, 1974.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทใน ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจ และไต
ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ตาราง 1 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในน้ำมกลุ่มควบคุม หลังจากได้รับสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	0.90	1.0	-0.10	-0.005	-0.005	-0.005
42	1	10	1.30	1.0	0.30	0.015	0.015	0.015
54	1	10	1.75	1.0	0.75	0.037	0.037	0.037
66	1	10	2.13	1.0	1.13	0.056	0.056	0.056
78	1	9	1.69	0.9	0.79	0.040	0.044	0.044
90	1	20	2.64	1.0	1.64	0.082	0.041	0.041
102	1	10	2.13	1.0	1.13	0.056	0.056	0.056
114	1	10	1.88	0.9	0.98	0.050	0.050	0.050

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในน้ำมูกมดทดลอง หลังจากได้รับสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพิท (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg .	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	2.35	0.975	1.375	0.069	0.069	0.069
36	1	10	2.28	0.975	1.305	0.065	0.065	0.065
42	1	10	2.40	0.975	1.425	0.071	0.071	0.073
	2	10	2.47	0.975	1.495	0.075	0.075	
48	1	10	3.85	0.975	2.875	0.155	0.155	0.155
	2	10	2.80	0.975	1.825	0.092	0.092	0.094
54	1	10	2.80	0.975	1.825	0.091	0.091	
	2	10	2.90	0.975	1.925	0.096	0.096	
66	1	10	2.40	0.975	1.425	0.071	0.071	0.074
	2	10	2.50	0.975	1.525	0.076	0.076	
72	1	5	2.83	0.900	1.930	0.097	0.194	0.194
78	1	5	2.72	0.900	1.820	0.910	0.182	0.184
	2	5	2.76	0.900	1.860	0.930	0.186	
84	1	5	3.20	0.900	2.300	0.115	0.230	0.233
	2	5	3.25	0.900	2.350	0.118	0.236	
90	1	5	3.45	0.975	2.475	0.124	0.248	0.248
96	1	5	3.35	0.900	2.450	0.123	0.246	0.246
102	1	5	2.80	0.975	1.825	0.092	0.183	0.183
108	1	5	3.00	0.900	2.100	0.105	0.210	0.210

ตาราง 2 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
114	1	5	2.81	0.900	1.910	0.095	0.190	0.190
120	1	5	1.98	0.900	1.080	0.054	0.108	0.113
	2	5	2.08	0.900	1.180	0.059	0.118	

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตะกอนกลุ่มความถี่ หลังจากได้รื้อสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	25	2.75	1.0	1.75	0.088	0.035	0.035
42	1	10	2.00	1.0	1.00	0.050	0.050	0.068
	2	10	2.69	1.0	1.69	0.085	0.085	
54	1	10	1.40	1.0	0.40	0.020	0.020	0.025
	2	10	1.59	1.0	0.59	0.030	0.030	
66	1	25	7.44	1.0	6.44	0.323	0.129	0.130
	2	25	7.50	1.0	6.50	0.326	0.130	
78	1	10	3.15	1.0	2.15	0.108	0.108	0.108
90	1	10	2.64	1.0	1.64	0.082	0.082	0.098
	2	10	3.25	1.0	2.25	0.113	0.113	
102	1	10	3.10	1.0	2.10	0.105	0.105	0.105
114	1	10	3.50	1.0	2.50	0.125	0.125	0.125

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตะกอนโคลง หลังจากได้รับสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน $\mu g.$	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu g/g$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	9.15	1.0	8.15	0.448	0.448	0.450
	2	10	9.26	1.0	8.26	0.453	0.453	
36	1	10	10.48	1.0	9.48	0.520	0.520	0.520
42	1	10	6.50	1.0	5.50	0.277	0.277	0.255
	2	10	5.65	1.0	4.65	0.233	0.233	
48	1	10	11.48	1.0	10.48	0.575	0.575	0.575
54	1	10	27.80	1.0	26.80	1.490	1.490	1.495
	2	10	28.00	1.0	27.00	1.500	1.500	
60	1	10	21.00	1.0	20.00	1.110	1.110	1.100
	2	10	20.60	1.0	19.60	1.090	1.090	
66	1	10	25.56	1.0	24.56	1.368	1.368	1.349
	2	10	24.96	1.0	23.95	1.330	1.330	
72	1	10	14.85	1.0	13.85	0.760	0.760	0.760
78	1	10	19.20	1.0	18.20	1.010	1.010	1.010
84	1	10	26.46	1.0	25.46	1.417	1.417	1.370
	2	10	24.76	1.0	23.76	1.320	1.320	
90	1	10	22.05	1.0	21.05	1.170	1.170	1.143
	2	10	22.00	1.0	21.00	1.165	1.165	
	3	10	20.70	1.0	19.70	1.095	1.095	

ตาราง 4 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีก (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
96	1	5	13.58	1.0	12.58	0.700	1.400	1.400
	2	5	13.58	1.0	12.58	0.700	1.400	
102	1	5	13.00	1.0	12.00	0.668	1.335	1.340
	2	5	13.08	1.0	12.08	0.673	1.345	
108	1	5	6.75	1.0	5.75	0.316	0.632	0.632
	2	5	6.75	1.0	5.75	0.316	0.632	
114	1	5	10.00	1.0	9.00	0.500	1.000	0.869
	2	5	8.08	1.0	7.08	0.388	0.775	
	3	5	8.58	1.0	7.58	0.416	0.833	
120	1	5	12.18	1.0	11.18	0.622	1.243	1.257
	2	5	12.40	1.0	11.40	0.635	1.270	

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตะกอนกลุ่มควบคุม หลังจากที่ได้รับสารปรอทในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพีท (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	2.06	1.75	0.31	0.015	0.015	0.011
	2	10	1.90	1.75	0.15	0.007	0.007	
42	1	10	1.24	1.75	-0.51	-0.026	-0.026	-0.026
54	1	10	1.30	1.75	-0.45	-0.023	-0.023	-0.023
66	1	10	2.00	1.75	0.25	0.012	0.012	0.012
78	1	10	1.78	1.75	0.03	0.002	0.002	0.008
	2	10	2.00	1.75	0.25	0.013	0.013	
90	1	10	1.10	1.75	-0.65	-0.033	-0.033	-0.033
102	1	10	1.60	1.75	-0.15	-0.008	-0.008	-0.008
114	1	10	2.00	1.75	0.25	0.012	0.012	0.012

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างดินโคลง หลังจากได้รับสารปรอทในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ	
							ความเข้มข้น $\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	5.20	1.75	3.45	0.172	0.172	0.172
36	1	10	5.10	1.75	3.35	0.168	0.168	0.160
	2	10	4.80	1.75	3.05	0.153	0.153	
42	1	10	4.60	1.75	2.85	0.143	0.143	0.141
	2	10	4.54	1.75	2.79	0.140	0.140	
48	1	10	12.68	1.75	10.93	0.600	0.600	0.543
	2	10	12.60	1.75	8.85	0.485	0.485	
54	1	10	3.02	1.75	1.27	0.064	0.064	0.066
	2	10	3.10	1.75	1.35	0.068	0.068	
60	1	10	5.55	1.75	3.80	0.190	0.190	0.190
66	1	10	4.60	1.75	2.85	0.142	0.142	0.145
	2	10	4.68	1.75	2.93	0.147	0.147	
72	1	10	43.80	2.63	41.17	2.295	2.295	2.295
78	1	10	15.50	2.63	12.87	0.707	0.707	0.707
84	1	10	15.00	2.63	12.37	0.680	0.680	0.680
90	1	10	4.00	2.63	1.37	0.068	0.068	0.068
96	1	10	3.95	2.63	1.32	0.066	0.066	0.066
102	1	10	4.20	1.75	2.45	0.123	0.123	0.123

ตาราง 6 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	น้ำหนัก blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg/g	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
108	1	10	5.80	1.75	4.05	0.203	0.203	0.203
114	1	10	4.82	1.75	3.07	0.165	0.165	0.165
120	1	10	4.20	2.63	1.57	0.079	0.079	0.076
	2	10	4.08	2.63	1.45	0.073	0.073	

ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในหัวใจกลุ่มควบคุม หลังจากได้รับสารปรอท
 ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของฟ็อก (cm)	blank (cm)	หักตา blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm)	เฉลี่ย (ppm)
30	1	10	2.09	1.6	0.49	0.024	0.024	0.024
42	1	10	1.90	1.6	0.30	0.015	0.015	0.009
	2	10	1.65	1.6	0.05	0.002	0.002	
54	1	10	2.09	1.6	0.49	0.025	0.025	0.023
	2	10	2.00	1.6	0.40	0.020	0.020	
66	1	10	0.95	1.6	-0.65	-0.033	-0.033	-0.026
	2	10	1.25	1.6	-0.35	-0.018	-0.018	
78	1	10	1.85	1.6	0.25	0.012	0.012	0.009
	2	10	1.70	1.6	0.10	0.005	0.005	
90	1	10	1.69	1.6	0.09	0.004	0.004	0.004
102	1	10	2.00	1.6	0.40	0.020	0.020	0.020
114	1	10	1.38	1.6	-0.22	-0.011	-0.011	-0.011

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในหัวใจกลุ่มทดลอง หลังจากได้รับสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพิท (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	2.48	0.9	1.58	0.080	0.080	0.075
	2	10	2.30	0.9	1.40	0.070	0.070	
36	1	10	3.30	0.9	2.40	0.120	0.120	0.120
42	1	10	4.00	0.9	3.10	0.155	0.155	0.155
48	1	10	1.80	0.9	0.90	0.045	0.045	0.046
	2	10	1.84	0.9	0.94	0.047	0.047	
54	1	10	1.38	0.9	0.48	0.024	0.024	0.034
	2	10	1.78	0.9	0.88	0.044	0.044	
60	1	10	1.10	0.9	0.20	0.010	0.010	0.010
66	1	10	1.10	0.9	0.20	0.010	0.010	0.011
	2	10	1.14	0.9	0.24	0.012	0.012	
72	1	10	5.50	0.9	4.60	0.231	0.231	0.224
	2	10	5.25	0.9	4.35	0.217	0.217	
78	1	5	1.17	0.9	0.27	0.014	0.028	0.028
84	1	5	1.25	0.9	0.35	0.017	0.034	0.035
	2	5	1.28	0.9	0.38	0.018	0.036	
90	1	5	1.23	0.9	0.33	0.017	0.034	0.019
	2	5	0.94	0.9	0.04	0.002	0.004	
96	1	5	1.70	0.9	0.80	0.040	0.080	0.081
	2	5	1.72	0.9	0.82	0.041	0.082	

ตาราง 8 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักตา blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
102	1	5	1.90	0.9	1.00	0.050	0.100	0.100
108	1	5	1.47	0.9	0.57	0.029	0.058	0.058
114	1	5	1.54	0.9	0.64	0.032	0.064	0.064
120	1	5	1.23	0.9	0.33	0.017	0.034	0.032
	2	5	1.20	0.9	0.30	0.015	0.030	

ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในโตกคลุมควบคุม หลังจากได้รับสารปรอท
 ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีก (cm)	blank (cm)	พิกัด blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg.	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	2.10	2.1	0.00	0.000	0.000	0.000
42	1	10	1.40	2.1	-0.70	-0.035	-0.035	-0.035
54	1	10	2.20	2.1	0.10	0.005	0.005	0.005
66	1	10	1.40	2.1	-0.70	-0.036	-0.036	-0.036
	2	10	1.35	2.1	-0.75	-0.036	-0.036	
78	1	10	1.10	2.1	-1.00	-0.050	-0.050	-0.051
	2	10	1.08	2.1	-1.02	-0.051	-0.051	
90	1	10	2.18	2.1	0.08	0.005	0.005	0.005
102	1	10	2.30	2.1	0.20	0.010	0.010	0.010
114	1	10	2.40	2.1	0.30	0.015	0.015	0.015

ตาราง 10 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในไตกลุ่มทดลองหลังจากได้รับสารปรอท
ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของหลอด (cm)	blank (cm)	หักตา blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg .	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g}/\text{g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
30	1	10	5.49	2.1	3.39	0.170	0.170	0.170
	2	10	5.48	2.1	3.38	0.170	0.170	
36	1	10	25.60	2.1	23.50	1.305	1.305	1.305
42	1	10	41.40	2.1	39.30	2.200	2.200	2.190
	2	10	41.20	2.1	39.10	2.180	2.180	
48	1	10	20.34	2.1	18.24	1.013	1.013	1.015
	2	10	20.40	2.1	18.30	1.017	1.017	
54	1	10	18.90	2.1	16.80	0.930	0.930	0.928
	2	10	18.76	2.1	16.66	0.925	0.925	
60	1	10	23.30	2.1	21.20	1.180	1.180	1.180
66	1	10	18.40	2.1	16.30	0.905	0.905	0.905
	2	10	18.40	2.1	16.30	0.905	0.905	
72	1	10	15.00	2.1	12.90	0.715	0.715	0.715
78	1	10	13.96	2.1	11.86	0.650	0.650	0.650
	2	10	13.88	2.1	11.78	0.650	0.650	
84	1	10	30.88	2.1	28.78	1.600	1.600	1.603
	2	10	31.00	2.1	28.90	1.607	1.607	
90	1	5	8.66	2.1	6.56	0.360	0.720	0.728
	2	5	8.80	2.1	6.70	0.368	0.736	

ตาราง 10 (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm ³)	ความสูง ของพีค (cm)	blank (cm)	หักก้า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน μg	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							μg/g (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
96	1	5	8.30	2.1	6.20	0.343	0.686	0.686
102	1	5	14.80	2.1	12.70	0.708	1.416	1.416
108	1	5	23.68	2.1	21.58	1.205	2.410	2.410
114	1	5	26.56	2.1	24.46	1.363	2.726	2.726
120	1	5	10.33	2.1	8.23	0.458	0.916	0.916
	2	5	10.33	2.1	8.23	0.458	0.916	

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่
ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง และการหา
เปอร์เซ็นต์รีคัพเวอร์

ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในของไก่กลุ่มควบคุม
และในเครื่องในของไก่กลุ่มทดลอง

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องใน	ครั้งที่	ปริมาตร ของ สารละลาย (cm^3)	ความสูง ของพิท (cm)	blank (cm)	หักค่า blank (cm)	เทียบกับ กราฟ มาตรฐาน $\mu\text{g/g}$	ผลการคำนวณ ความเข้มข้น	
							$\mu\text{g/g}$ (ppm.)	เฉลี่ย (ppm.)
ม้ามกลุ่มควบคุม	1	10	3.40	2.2	1.20	0.060	0.060	0.053
	2	10	3.10	2.2	0.90	0.045	0.045	
ม้ามกลุ่มทดลอง	1	10	4.60	2.2	2.40	0.120	0.120	0.140
	2	10	5.40	2.2	3.20	0.160	0.160	
ตับกลุ่มควบคุม	1	10	2.19	2.2	-0.01	-0.001	0.001	0.002
	2	10	2.28	2.2	0.08	0.005	0.005	
ตับกลุ่มทดลอง	1	10	3.90	2.2	1.70	0.090	0.090	0.090
	2	10	3.90	2.2	1.70	0.090	0.090	
ตับอ่อนกลุ่มควบคุม	1	10	3.45	2.2	1.25	0.063	0.063	0.062
	2	10	3.40	2.2	1.20	0.060	0.060	
ตับอ่อนกลุ่มทดลอง	1	8	4.70	2.2	2.50	0.125	0.156	0.154
	2	8	4.62	2.2	2.42	0.121	0.151	
หัวใจกลุ่มควบคุม	1	10	3.05	2.2	0.85	0.043	0.043	0.044
	2	10	3.10	2.2	0.90	0.045	0.045	
หัวใจกลุ่มทดลอง	1	10	5.45	2.2	3.25	0.163	0.163	0.151
	2	10	4.98	2.2	2.78	0.139	0.139	
ไตกลุ่มควบคุม	1	12	3.40	2.2	1.20	0.060	0.050	0.048
	2	12	3.30	2.2	1.10	0.055	0.046	
ไตกลุ่มทดลอง	1	5	3.55	2.2	1.35	0.068	0.136	0.138
	2	5	3.60	2.2	1.40	0.070	0.140	

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรี

1. เปอร์เซนต์รัศมีเวอรีในน้ำ			
มีปรอทอยู่ในน้ำกลุ่มควบคุม		0.053	ไมโครกรัม
เติมปรอทลงไปอีก		0.1	ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในน้ำ		= 0.053 + 0.1	ไมโครกรัม
		= 0.153	ไมโครกรัม
มีปรอทอยู่ในน้ำ	0.153	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	0.14
ถ้ามีปรอทอยู่ในน้ำ	100	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{0.14 \times 100}{0.153}$
			ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้น เปอร์เซนต์รัศมีเวอรีในน้ำ			= 91.80

2. เปอร์เซนต์รัศมีเวอรีในตับ			
มีปรอทอยู่ในตับกลุ่มควบคุม		0.002	ไมโครกรัม
เติมปรอทลงไปอีก		0.1	ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในตับ		= 0.002 + 0.1	ไมโครกรัม
		= 0.102	ไมโครกรัม
มีปรอทอยู่ในตับ	0.102	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	0.090
ถ้ามีปรอทอยู่ในตับ	100	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{0.09 \times 100}{0.102}$
			ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้น เปอร์เซนต์รัศมีเวอรีในตับ			= 88.24

3. เปอร์เซนต์รัศมีเวอรีในตับอ่อน			
มีปรอทอยู่ในตับอ่อนกลุ่มควบคุม		0.062	ไมโครกรัม
เติมปรอทลงไปอีก		0.1	ไมโครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในตับอ่อน		= 0.062 + 0.1	ไมโครกรัม
		= 0.162	ไมโครกรัม
มีปรอทอยู่ในตับอ่อน	0.162	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	0.154
ถ้ามีปรอทอยู่ในตับอ่อน	100	ไมโครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{0.154 \times 100}{0.162}$
			ไมโครกรัม

เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรีในคัมบอน = 95.23

4. เปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรีในหัวใจ

มีปรอทอยู่ในหัวใจกลุ่มควบคุม			0.044	ไม่โครกรัม
เติมปรอทลงไปอีก			0.1	ไม่โครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในหัวใจ			= 0.044 + 0.1	ไม่โครกรัม
			= 0.144	ไม่โครกรัม
มีปรอทอยู่ในหัวใจ	0.144	ไม่โครกรัม ตรวจพบปรอท	0.151	ไม่โครกรัม
ถ้ามีปรอทอยู่ในหัวใจ	100	ไม่โครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{0.151 \times 100}{0.144}$	ไม่โครกรัม

เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรีในหัวใจ = 105.04

5. เปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรีในไต

มีปรอทอยู่ในไตกลุ่มควบคุม			0.048	ไม่โครกรัม
เติมปรอทลงไปอีก			0.1	ไม่โครกรัม
เพราะฉะนั้นมีปรอทอยู่ในไต			= 0.048 + 0.1	ไม่โครกรัม
			= 0.148	ไม่โครกรัม
มีปรอทอยู่ในไต	0.148	ไม่โครกรัม ตรวจพบปรอท	0.138	ไม่โครกรัม
ถ้ามีปรอทอยู่ในไต	100	ไม่โครกรัม ตรวจพบปรอท	= $\frac{0.138 \times 100}{0.148}$	ไม่โครกรัม

เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์รัศมีเวอรีในไต = 93.31

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงน้ำหนักไก่และสูตรอาหารสำหรับไก่ไข่

ตาราง 13 สูตรอาหารไก่ไข่ต่ออาหารผสม 1 ชุด (100 กิโลกรัม)

ที่	รายการ	จำนวน (กิโลกรัม)	หมายเหตุ
1.	รำละเอียด	50	กากฉั้วเหลือง
2.	ปลายข้าว	10	หรือกากฉั้วสีง
3.	ข้าวโพค	10	ใช้แทนกันโค
4.	กากฉั้วสีง	5	ปลายข้าวหรือ
5.	กากฉั้วเหลือง	5	ข้าวโพคใช้
6.	ใบกระถินปน	4	แทนกันโค
7.	ปลาน้ำจืดคั้นน้ำมัน	10	
8.	เปลือกหอยปน	4	
9.	กระดูกปน	1	
10.	เกลือ	0.5	
11.	วิตามิน - ซี - อาหารเสริม	1	

ตาราง 14 ไวตามิน-ยา-อาหารเสริม สำหรับผสมอาหารโคตอาหารผสม 1 ชุก (100 กิโลกรัม)

ที่	รายการ	จำนวนกรัม
1.	ไวตามินเอ + ดี 3 (ความแรง 325/110)	4
2.	ไวตามิน เค 3 (ความแรง 95 เปอร์เซ็นต์)	0.2
3.	ไวตามิน บี 1 (ความแรง 100 เปอร์เซ็นต์)	0.2
4.	ไวตามิน บี 6 (ความแรง 100 เปอร์เซ็นต์)	0.5
5.	ไนอาซิน (ความแรง 100 เปอร์เซ็นต์)	4
6.	แพนโทธีนิกแอซิด (ความแรง 100 เปอร์เซ็นต์)	1.2
7.	ไวตามิน บี 12 (ความแรง 60 - 100 มิลลิกรัม/ปอนด์)	12
8.	โคลีนคลอไรด์ (ความแรง 50 เปอร์เซ็นต์)	150
9.	แมงกานีสซัลเฟต	12
10.	ซิงค์ซัลเฟต	5
11.	ยากันหืน (บี.เอส.ที.)	5
12.	อาหารเสริม ปฏิชีวนะฯ	ตามส่วน

ตาราง 15 แสดงน้ำหนักไก่ หลังจากที่ได้รับโปรตีนในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา (วัน)	กลุ่มควบคุม (กรัม)	กลุ่มทดลอง (กรัม)	
		ตัวที่ 1	ตัวที่ 2
30	1570	1630	1720
36	-	1820	1610
42	1800	1520	1800
48	-	1380	1380
54	1700	2100	1600
60	-	1130	1700
66	1520	1820	1980
72	-	1500	1600
78	1820	1810	1600
84	-	1780	1800
90	1830	1570	2040
96	-	1440	1700
102	2120	1740	1760
108	-	2210	2040
114	1830	1600	1780
120	-	1680	1700

การกระจายและการสะสมของปรอทในเครื่องในของไก่
ที่ได้รับสารประกอบเมอร์คิวรี (II) อะซิเตต

บทคัดย่อ

ของ

สุกัญญา ฤทธิมนตรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

ธันวาคม 2528

การศึกษาทัศนควาตรงนมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการกระจายและการสะสมของปรอทตลอดจนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปรอทในเครื่องในไก่ ตามระยะเวลาหลังจากที่ได้รับสารประกอบเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ไกพินธุ์โรคไอส์แลนด์แดงได้รับสารประกอบเมอร์คิวรี (II) อะซีเตต ในระดับ 800 ไมโครกรัมต่อวัน เป็นเวลาเดือน 4 เดือน หลังจากทดลองไปแล้วหนึ่งเดือนจึงเริ่มวิเคราะห์ปรอทจากส่วนต่าง ๆ ของไกทุก ๆ 6 วัน เป็นเวลาอีก 90 วัน อวัยวะที่ศึกษาคือ ม้าม ตับ ตับอ่อน หัวใจ และไต

ผลการศึกษาปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีระดับปรอทสูงกว่ากลุ่มควบคุม และความเข้มข้นของปรอทในอวัยวะต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ปรอทจะสะสมตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายจากน้อยไปหามากตามลำดับดังนี้ หัวใจ ม้าม ตับอ่อน ตับ และไต สังเกตเห็นว่าระดับปรอทจะขึ้นสูงและลดลงเป็นช่วง ๆ ในแทบทุกสิ่งทีศึกษาไว้ ผลที่ได้ อาจจะมีมีความหมายที่สำคัญเกี่ยวกับกลไกการเก็บสะสมและการขับปรอทในไกและสัตว์อื่น ๆ ก็ได้

The purpose of this thesis is to study the accumulation and the distribution of mercury and to observe their variation with time after mercury (II) acetate is fed to hens. In our experiment, Rhode Island Red hens received 800 micrograms/day of mercury (II) acetate for four months. After one month on this mercury supplemented diet the chickens were analysed for mercury content every 6 days for 90 days. The organs studied were spleen, liver, pancreas, heart and kidney.

The experimental data show that the experimental group had a higher mercury level than the control group in all organs and that different organs had different concentration of mercury in the same animals. There was the mercury accumulated in various organs from the least one to the highest as follows: heart, spleen, pancreas, liver and kidney. It was also observed that there were indications of cycle in the rise and fall of mercury in all specimens studied leading perhaps to possible and interesting mechanisms of storage and disposal of mercury in chickens and other animals.