

Scan

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกไข่

นายพูนพิพัฒน์ ฉาโรสง

**การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**

พ.ศ 2550

Lead Removal From Synthetic Wastewater By Using Egg Shell

Mr. Poonpipat Chathaisong

**An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management**

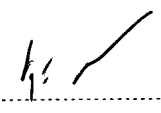
School of Health Science

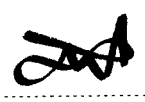
Sukhothai Thammathirat Open University

2007

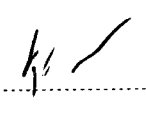
หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกไข่
ชื่อและนามสกุล นายพูนพิพัฒน์ ฉาโรสง
แขนงวิชา สาธารณสุขศาสตร์
สาขาวิชา สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศีวะเดชาเทพ

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ
ฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศีวะเดชาเทพ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ อนุมัติให้รับการศึกษา
ค้นคว้าอิสระฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศีวะเดชาเทพ)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วันที่ 19 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จด้วยดี โดยได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาค้นคว้าอิสระ รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนการตรวจแก้ไข การศึกษาค้นคว้าอิสระจนแล้วเสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จาก รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ช่วยกรุณาให้คำแนะนำ และเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติม พร้อมทั้งตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ทำให้การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสุขจิต พงษ์เจริญ ผู้จัดการส่วนควบคุมคุณภาพ ที่เอื้อเพื่อห้องปฏิบัติการตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ คุณพิชพร อัมพันแสง เจ้าหน้าที่จัดซื้อจัดหาวัสดุที่ช่วยในจัดซื้อและหาอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา และคุณสุพัฒนา วงศ์เจริญ เจ้าของร้านอาหาร ในบริษัท กรุงเทพมหานครอินดิคส์ จำกัด สำหรับการอนุเคราะห์เปลือกไข่ไก่ที่ใช้ในการศึกษา และบุคลากรในส่วนควบคุมคุณภาพทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนอำนวยความสะดวกในระหว่างการศึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณยายคำ ภูมิโคกรักษ์ คุณพ่อพันธ์ศักดิ์ ฉาไรสง และคุณป้ารำพรรณ ภูมิโคกรักษ์ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

ท้ายที่สุดประโยชน์อันเนื่องมาจากการศึกษานี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบอุทิศให้แด่คุณแม่ทองพูน ฉาไรสง ผู้ล่วงลับจากไป ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอน จนประสบความสำเร็จในการศึกษาในครั้งนี้

พูนพิพัฒน์ ฉาไรสง

มีนาคม 2551

ชื่อการศึกษา **คั่นคว่ำอิสระ** การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกไข่
ผู้ศึกษา นายพูนพิพัฒน์ ฉาไชสง **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต(การจัดการสิ่งแวดล้อม
อุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ **ปีการศึกษา** 2550

บทคัดย่อ

ในการศึกษาคั่นคว่ำอิสระนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อ
ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เปลือกไข่เป็นตัวดูดซับ

การศึกษาคั่นคว่ำอิสระนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีปัจจัย
ที่ศึกษาคือ ค่าพีเอช เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดตะกั่ว โดยดูจากประสิทธิภาพของเปลือก
ไข่ที่ใช้เป็นสารดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย ซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study) โดยการใช้
เปลือกไข่ 2 ชนิดคือ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด เป็นสารดูดซับ ในห้องปฏิบัติการที่สภาวะ
แตกต่างกัน คือ ค่าพีเอช โดยระยะเวลาในการสัมผัสเท่ากัน

ผลจากการศึกษาค่าพีเอช ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัด
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพี
เอช ของสารละลายมีค่าลดลง โดยเปลือกไข่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ดี ในสภาวะที่
สารละลายมีสภาพเป็นกรด จากการศึกษาพบว่าเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่
ในการกำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการปรับค่าพีเอช ของสารละลายให้มีค่า
สูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่จะมีค่าลดลงแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วน
เปลือกไข่เป็ดเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่เป็ดในการกำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ
99.91 แต่เมื่อทำการปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของ
เปลือกไข่เป็ดจะมีค่าลดลงซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะได้ช่วงพีเอช ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย
เพื่อกำจัดตะกั่ว สำหรับเปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด คือ ช่วงค่าพีเอชเท่ากับ 2 ถึง 6 และ ช่วงค่า
พีเอช 3 ถึง 4 ตามลำดับ

คำสำคัญ น้ำเสีย โลหะหนัก ตะกั่ว เปลือกไข่

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
ประเด็นปัญหาการวิจัย	2
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
กรอบแนวคิดการวิจัย	3
ขอบเขตการศึกษา	7
ข้อตกลงในเบื้องต้น	7
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	9
ตะกั่ว	9
การดูดซับสี	22
เปลือกไข่	31
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	46
รูปแบบการวิจัย	46
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	46
ตัวแปรของการวิจัย	46
สถานที่ทำการทดลอง	47
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	47
ขั้นตอนการทดลอง	48
การเตรียมเปลือกไข่	48
การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แผนการทดลอง	49
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	52
การเตรียมเปลือกไข่	52
การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วที่ละลายในน้ำ	53
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	65
สรุปการวิจัย	65
อภิปรายผล	67
ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	74
ก ข้อมูลการทดลองและคำนวณค่าต่างๆ	78
ข ภาพแสดงเครื่องมือและวิธีการทดลอง	88
ประวัติผู้ศึกษา	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ระดับตะกั่วในแม่น้ำต่าง ของประเทศไทย12
ตารางที่ 2.2	คุณภาพน้ำบริโภคของ 6 จังหวัด จากน้ำบริโภคทั้ง 9 ประเภท14
ตารางที่ 2.3	ส่วนประกอบสำคัญของไข่ของสัตว์ปีกต่างๆ32
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่.....35
ตารางที่ 2.5	คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกไข่.....36
ตารางที่ 2.6	องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่.....38
ตารางที่ 4.1	ผลการศึกษาค่าพีเอชในการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย.....53
ตารางที่ 4.2	ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติม เปลือกไข่ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ.....56
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกที่ไม่ได้เติมเปลือกไข่ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล.....57
ตารางที่ 4.4	ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย เปลือกไข่ที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ.....58
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออก และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล.....59
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช ต่างกัน60

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่.....4
ภาพที่ 1.2	ขั้นตอนการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการตกตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์.....5
ภาพที่ 1.3	ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์.....6
ภาพที่ 2.1	แสดงวัฏจักรของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม.....11
ภาพที่ 2.2	ไอโซเทอมการดูดติดผิวพื้นฐาน 5 แบบ.....25
ภาพที่ 2.3	กราฟแสดงสมการ (2) ของแลงเมียร์ (Langmuir)27
ภาพที่ 2.4	กราฟแสดงสมการ (3) ของแลงเมียร์ (Langmuir).....27
ภาพที่ 2.5	กราฟหาค่า Cs สำหรับสมการ 4 ของเบท (Brunauer-Teller; BET).....28
ภาพที่ 2.6	กราฟแสดงสำหรับสมการ (5) ของเบท (Brunauer-Emmett-Teller; BET).....29
ภาพที่ 2.7	กราฟแสดงสมการ (6) ของฟรุนดิช (Freundlich).....30
ภาพที่ 2.8	แสดงเปลือกไข่ผ่าตามด้านข้าง33
ภาพที่ 2.9	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเชื้อหุ้มไข่ไก่.....34
ภาพที่ 2.10	เปลือกไข่ผ่าด้านข้าง.....36
ภาพที่ 2.11	รูเปลือกไข่37
ภาพที่ 2.12	เยื่อเปลือกไข่.....37
ภาพที่ 3.1	แผนภูมิการศึกษาผล pH ต่อการตกตะกอนของสารละลายตะกั่ว.....50
ภาพที่ 3.2	แผนภูมิการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว51
ภาพที่ 4.1	ตัวอย่างของเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการร่อนเลือกขนาดแล้ว.....52
ภาพที่ 4.2	ตัวอย่างของเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการร่อนเลือกขนาดแล้ว53
ภาพที่ 4.3	แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 2, 3 และ 454
ภาพที่ 4.4	แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6.....54
ภาพที่ 4.5	แสดงตัวอย่างเมื่อเริ่มตกตะกอนที่ค่าพีเอช 6.2055
ภาพที่ 4.6	แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชเท่ากับ 755
ภาพที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณตะกั่วในน้ำออก.....61 ที่ pH ต่างกันของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้เติมเปลือกไข่
ภาพที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และ.....61 ปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่พีเอช ต่างกันของเปลือกไข่ไก่

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และ62 ปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่พีเอช ต่างกันของเปลือกไข่เป็ด
ภาพที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และปริมาณตะกั่ว.....62 ในน้ำออกที่พีเอชต่างกันของแบบเดิมเปลือกไข่และไม่เติมเปลือกไข่
ภาพที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และ.....63 ประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่

บทที่ 1

บทนำ

1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้น้ำในการบริโภคของคนไทยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะชนบทของประเทศ ยังคงใช้น้ำจากแหล่งธรรมชาติต่างๆ เช่น แม่น้ำ คลอง บึง น้ำบ่อบาดาล ตามแต่ความสะดวกและเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ ซึ่งมักพบว่ามีสารปนเปื้อนจากแร่ธาตุต่างๆ ทั้งจากธรรมชาติและจากการทิ้งน้ำเสียจากบ้านเรือนและแหล่งอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ จึงอาจเป็นไปได้ที่จะมีโลหะหนักชนิดต่างๆ เจือปนอยู่ในน้ำเสียเหล่านั้น การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักจึงมีความจำเป็นแม้ว่าจะต้องใช้ต้นทุนสูง แต่หากปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัดก็จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำและเป็นอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภคน้ำจากแหล่งน้ำเหล่านี้ได้

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งการทำเหมืองแร่ที่เปิดโอกาสให้โลหะหนักหลายชนิดที่ปะปนอยู่ในสินแร่ออกสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ มีโลหะหนักเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง ถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดก็จะไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ ยังเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคน้ำ พืชน้ำ และสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักสะสมอยู่ ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว บางส่วนจะถูกขับออก บางส่วนจะถูกสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น กระดูก ตับ ไต และเลือด เมื่อมีปริมาณตะกั่วสะสมอยู่ในร่างกายมากๆ จะทำให้มีความผิดปกติของระบบประสาท ความจำและการเรียนรู้ด้อยลง มีความผิดปกติของระบบการสร้างเม็ดเลือดทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เพื่อบรรเทาปัญหาการปนเปื้อนของตะกั่วในแหล่งน้ำ ทางกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (2539) ได้ประกาศว่า “น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีตะกั่วเจือปนได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทุกวันนี้ประชาชนชาวไทยบริโภคไข่เป็นปริมาณสูงในแต่ละปี ทั้งนี้เนื่องจากไข่เป็นแหล่งของโปรตีนที่มนุษย์ต้องการ สามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง และยังสามารถนำไปประกอบ

อาหารทั้งคาวและหวาน ตลอดจนการแปรรูปในกระบวนการอุตสาหกรรม สำนักบริหารการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป (กุมภาพันธ์ 2550) ได้รายงานปริมาณการบริโภคไข่ไก่ของคนไทยโดยเฉลี่ยแล้ว 150 ฟองต่อคนต่อปี ในปี พ. ศ. 2549 คนไทยบริโภคไข่ไก่ 9,789 ล้านฟอง และในปี พ. ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2551 คาดว่าน่าจะ ลดลงเป็น 9,376 ล้านฟอง หรือ 4.22 % ถึงแม้แนวโน้มการบริโภคจะลดลง แต่ปริมาณของเปลือกไข่เหลือทิ้งก็ยังคงเหลืออยู่มากด้วย โดยทั่วไปแล้วไข่ไก่ฟองหนึ่งจะมีเปลือกไข่เป็นส่วนประกอบอยู่โดยเฉลี่ย 12-12.5 % คิดเป็นน้ำหนัก 7.134 กรัมต่อไข่หนึ่งฟอง ดังนั้นอาจประมาณได้ว่าถ้าสามารถรวบรวมเปลือกไข่ภายในประเทศทั้งหมดจะได้ปริมาณเปลือกไข่เหลือทิ้งถึง 69,894 ตัน เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของเปลือกไข่แล้ว พบว่ามักนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ หรือปุ๋ย ซึ่งยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และยังคงถูกนำไปใช้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกไข่เหลือทิ้งทั้งหมดในประเทศ

Kuh และ kim (2000) ได้ทำการศึกษาเปลือกไข่ พบว่า เปลือกไข่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมาก เปลือกไข่หนึ่งฟองอาจมีรูถึง 7,000-17,000 รูด้วยกัน และองค์ประกอบทางเคมีของไข่มีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ถึง 95.1 % โปรตีน 3.3 % และ น้ำ 1.6 % ซึ่งปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่สูงกว่าในเปลือกของปู และหอย เมื่อพิจารณา โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของเปลือกไข่จึงนับว่าเปลือกไข่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำให้เป็นกลาง และการดูดซับน้ำเสียอย่างดี ในที่นี้จึงได้ทำการศึกษาแนวทางในการนำเอาเปลือกไข่มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียนับเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยการนำของเหลือทิ้งไปใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มทางเลือกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นับเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย

2. ประเด็นปัญหาการวิจัย

- 2.1 ประสิทธิภาพในการดูดซับติดผิวของเปลือกไข่ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์
- 2.2 การปรับค่าความเป็นกรดค่ามีผลต่อการดูดซับติดผิวของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับติดผิวของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ โดยใช้เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด

3.2 เพื่อหาสภาวะค่าความเป็นกรดต่างของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง

3.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่ว จากการทดลอง ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน

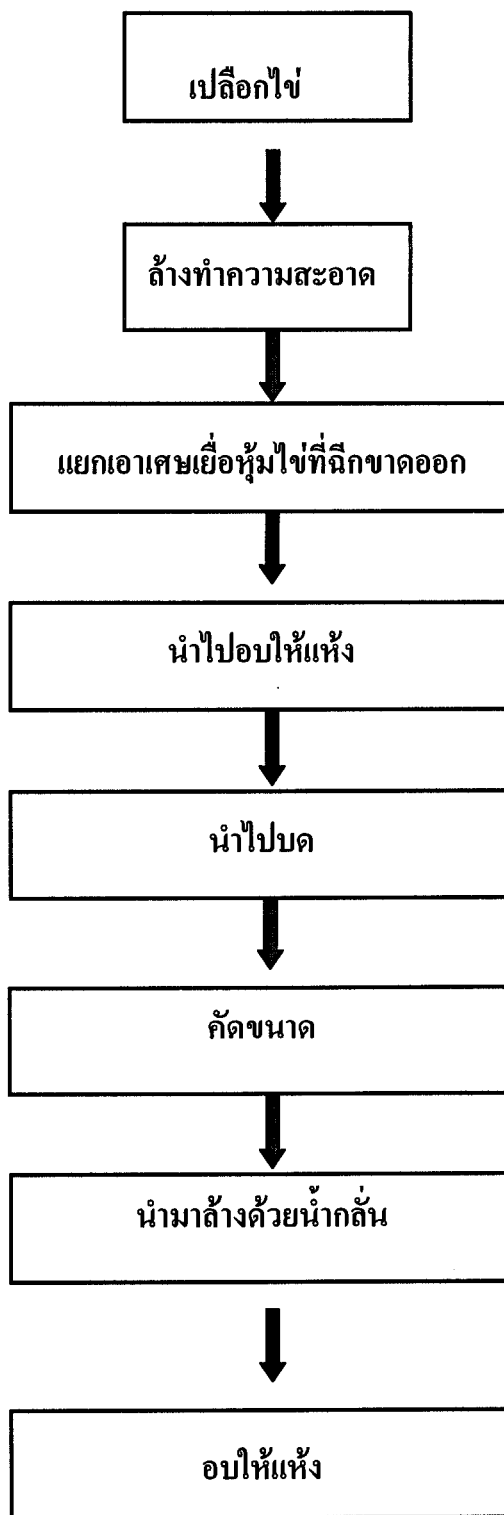
3.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดูดซับติดผิวของตะกั่ว ระหว่างเปลือกไข่ไก่ กับเปลือกไข่เป็ด

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

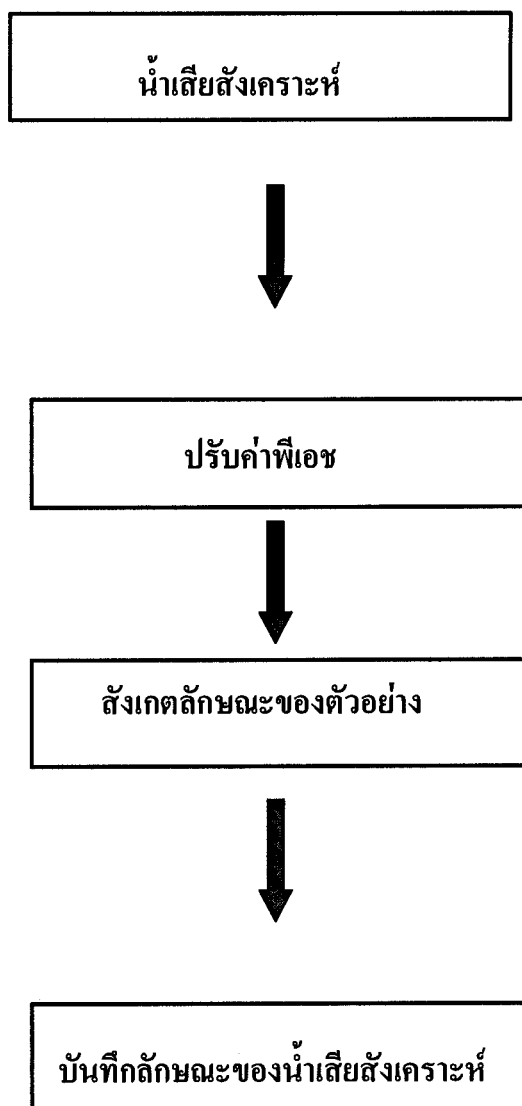
4.1 ขั้นตอนที่หนึ่ง เป็นการเตรียมเปลือกไข่ที่จะนำไปใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่มีตะกั่วเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำเปลือกไข่มาล้างทำความสะอาด แยกเอาเศษเยื่อหุ้มไข่ที่ฉีกขาดออกนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำไปบดแล้วทำการคัดแยกขนาด แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง แล้วนำไปอบให้แห้ง ดังภาพที่ 1.1

4.2 ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการตกตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการปรับค่าพีเอชแล้วสังเกตลักษณะของตัวอย่างและทำการบันทึกลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ ดังภาพที่ 1.2

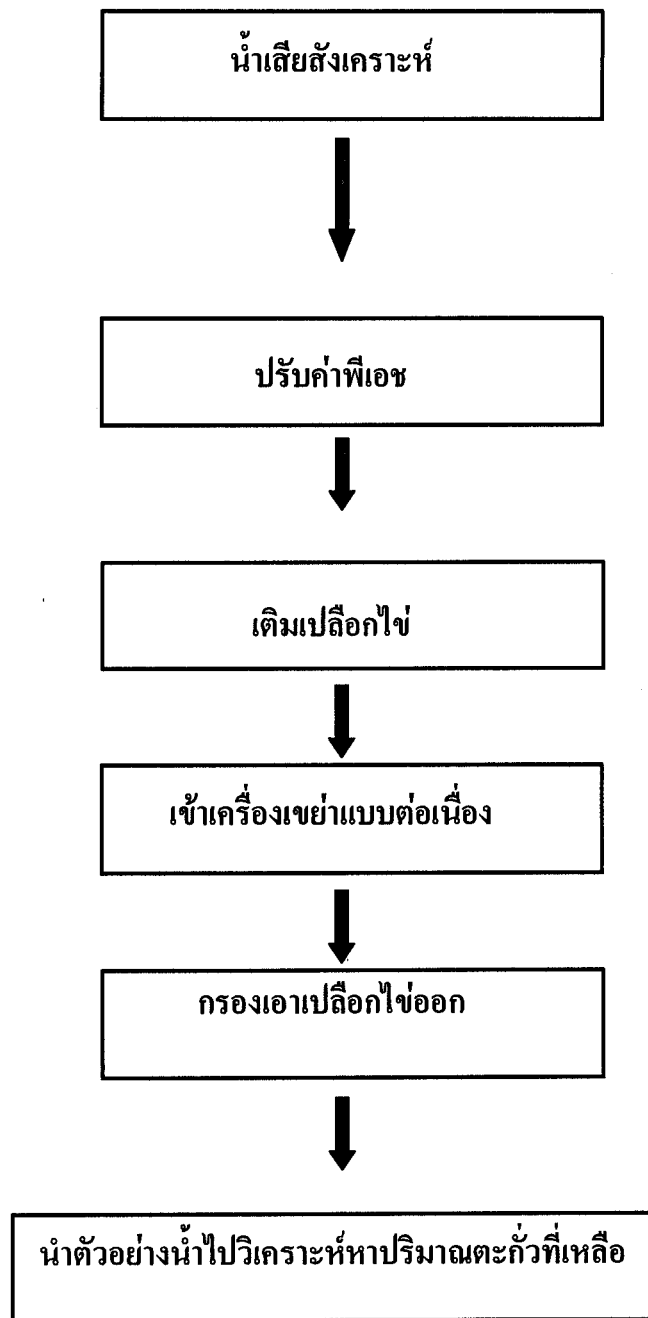
4.3 ขั้นตอนที่สาม เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์และศึกษาปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการนำน้ำเสียสังเคราะห์มาปรับค่าพีเอชและเติมเปลือกไข่ลงไป จากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าแบบต่อเนื่อง และกรองเอาเปลือกไข่ออก จากนั้นนำตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่เหลือ ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่



ภาพที่ 1.2 ขั้นตอนการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการตกตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์



ภาพที่ 1.3 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการดูดซับฟิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

5. ขอบเขตการศึกษา

- 5.1 การศึกษานี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์สารละลายตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 5.2 ศึกษาสถานะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ไม่ทำให้น้ำเสียสังเคราะห์สารละลายตะกั่วตกตะกอน
- 5.3 ประเมินประสิทธิภาพการของการดูดซับตะกั่วของเปลือกไข่ โดยการวัดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลือจากการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectrometer โดยทำตามวิธีการทดสอบ ASTM D 3559-96

6. ข้อตกลงเบื้องต้น

6.1 ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับตะกั่ว ซึ่งพิจารณาสารดูดซับ (เปลือกไข่) ที่อยู่ในรูปของแข็ง กับสารดูดซับที่อยู่ในรูปสารละลาย ดังนั้นในการวิจัยจึงได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเพื่อหาค่าพีเอชที่สูงที่สุดที่ไม่ทำให้อาหารละลายตะกั่วตกตะกอน เพื่อใช้ในการศึกษารังนี้

6.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่ว ($Pb(NO_3)_2$) ให้มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่สารดูดซับ (Adsorbent) สามารถดูดซับสารตะกั่วได้ดีที่สุด

6.3 ขนาดของเปลือกไข่ ที่เหมาะสมในการใช้ในการกำจัดโลหะหนักกำหนดให้มีขนาด 0.3-0.85 มม.

7. นิยามศัพท์เฉพาะ

- 7.1 น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึงน้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ
- 7.2 การทดลองแบบทีละเท (Batch Study) หมายถึงการทดลองเป็นชุดๆ ซึ่งแต่ละชุดไม่เกี่ยวเนื่องกัน
- 7.3 สารดูดซับ (Adsorbent) หมายถึงสารที่ทำหน้าที่ในการดูดซับ ดูดติด หรือจับโลหะหนักในน้ำเสีย
- 7.4 เปลือกไข่ หมายถึง การนำเอาเปลือกไข่มาผ่านกระบวนการอบแห้ง บดให้ละเอียด แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh และค้ำบนตะแกรงขนาด 50 Mesh
- 7.5 โลหะหนัก หมายถึงตะกั่วที่อยู่ในน้ำเสีย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

8.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว โดยใช้เปลือกไข่เป็นสารดูดซับ

8.2 สามารถนำเปลือกไข่ที่เตรียมขึ้น ไปใช้ในการบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว และสามารถพัฒนาไปใช้ในครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม

8.3 สามารถนำวัสดุเหลือทิ้ง มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทางหนึ่ง เป็นการลดปริมาณขยะเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ตะกั่ว

1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ตะกั่วเป็นธาตุในกลุ่มโลหะทรานซิชัน จัดเป็นธาตุที่ 5 ในหมู่ IV ในตารางธาตุ สัญลักษณ์ทางเคมี คือ Pb ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เลขอะตอม	82
น้ำหนักอะตอม	207.2
ความหนาแน่น	11.342 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	327.5 °C
จุดเดือด	1,740 °C

ตะกั่วเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ มักจะพบในรูปของสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลเฟต และแร่ธาตุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Galena Cerussite Anglesite Pyromophite Minium และ Crocite หรือพบตะกั่วรวมอยู่กับโลหะอื่นๆ เช่นทองแดง สังกะสี และเงิน เป็นต้น แต่จะไม่พบตะกั่วในรูปของโลหะอิสระ สารตะกั่วในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดมาจากหินประเภทต่างๆ กันทั้งหินชั้น หินแปร และหินอัคนี ฯลฯ ทั้งนี้พบมากในหินดินดาน นอกจากนี้ยังพบทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ และพืช

สารประกอบของตะกั่วโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว เช่น สารประกอบออกไซด์ ซัลไฟด์ คลอไรด์ ซัลเฟต หรือคาร์บอนเตของตะกั่ว มักใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ ทำสี ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว ได้แก่ เตตระเมทิลเลด (Tetrametyl Lead, TML) และเตตระเอทิลเลด (Tetraethy Lead, TEL) ใช้เป็นสารที่ทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบใช้น้ำมันเบนซิน ดังนั้นตะกั่วจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำต่างๆ จึงจัดเป็นตะกั่วอินทรีย์ (จันทนา จันทรภักดี 2536 ; สุชาติ นุกูล 2548 ; Reilly 1980)

1.2 การใช้ประโยชน์จากตะกั่ว

ตะกั่วได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ใน 3 ลักษณะคือ

1. ตะกั่วโลหะ

โดยคุณสมบัติที่คงทนต่อการผุกร่อน และอ่อนตัวหลอมเหลวได้ง่าย รวมทั้งคุณสมบัติในการป้องกันการแผ่รังสี ตะกั่วจึงใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- 1.1 หล่อตัวพิมพ์
- 1.2 หุ้มสายเคเบิล-สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์
- 1.3 หัวกระสุนปืน
- 1.4 ชุบเคลือบโลหะอื่นๆ เพื่อป้องกันสนิม
- 1.5 เชื่อมบัดกรี
- 1.6 อุปกรณ์ป้องกันรังสี จากเครื่องรังสีเอกซ์เรย์ เครื่องปฏิกรณ์พลังงานปรมาณู
- 1.7 โลหะผสม(Alloy) ต่างๆ เช่น Aluminium-Solicon Alloy, Bronze brass และ Solder แบบต่างๆ

2. ตะกั่วอนินทรีย์

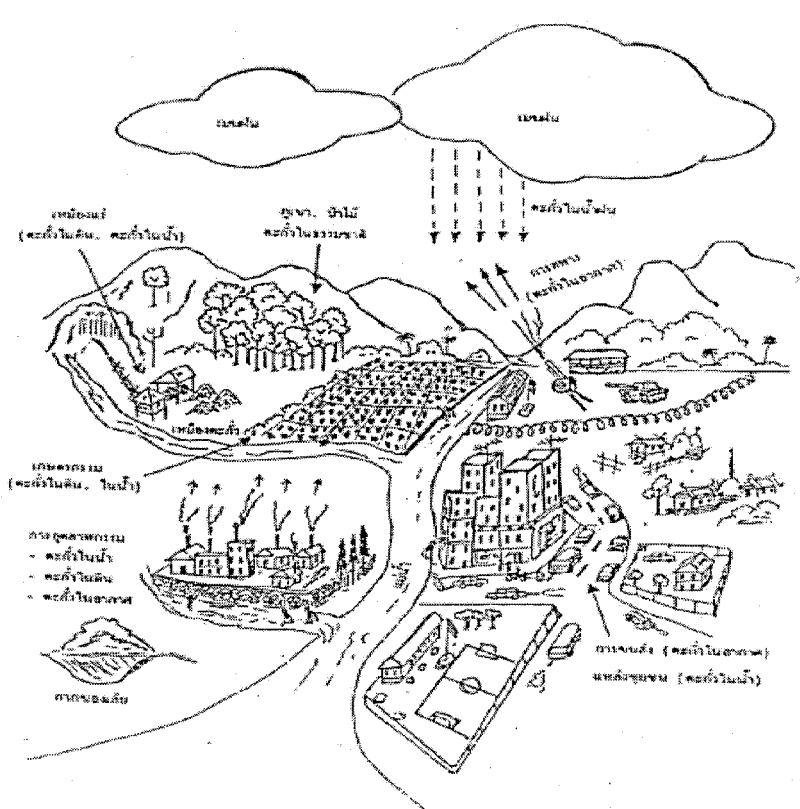
เกลือของตะกั่วหลายชนิดนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ตะกั่วกระจายโดยทั่วไป เนื่องจากจำนวนที่ใช้มีอยู่มาก ได้แก่

- 2.1 ตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide) Lead Mono-Oxide (PbO), Lead Di-oxide (PbO_2), Lead Red Oxide (Pb_2O_3) ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ (ตะกั่ว-กรด) สีกันสนิม แก้ว Crystal ยาง และเครื่องเคลือบ ฯลฯ
- 2.2 ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead Carbonate) ตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) และตะกั่วโครเมตในอุตสาหกรรมสี
- 2.3 ตะกั่วอะซิเตรต (Lead Acetate) เป็นเกลือของตะกั่วที่ละลายน้ำได้ดีและใช้ในเครื่องสำอาง-ครีมใส่ผม
- 2.4 ตะกั่วไนเตรต (Lead Nitrate) ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง

2.3 ตะกั่วอินทรีย์

ในรูปของ Tetra Ethyl Lead (TEL) และ Tetra Methyl lead ซึ่งจะใช้ประโยชน์เป็น สารเพิ่มค่าออกเทนและ Antiknok ในน้ำมันเชื้อเพลิง จัดเป็นแหล่งแพร่กระจายตะกั่วที่เคลื่อนที่ได้ที่สำคัญที่สุด เนื่องจากรถยนต์จะนำตะกั่วไปปล่อยทุกหนทุกแห่งที่มีถนนหรือที่รถเข้าถึงได้ ปริมาณที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้ทำให้ตะกั่วถูกปลดปล่อยในประเทศไทยโดยเฉลี่ยปีละกว่า 1,000 ตัน แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้น้ำมันประเภทไร้สารตะกั่ว ปัญหานี้จึงหมดไป (สุชาติ นุกุล; 2548)

1.3 การแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (อำพัน บุศรังสี; 2538) แหล่งกำเนิดใหญ่ ๆ ของตะกั่วที่จะเป็นตัวแพร่กระจายตะกั่วออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่เหมืองแร่, การทำตะกั่วให้บริสุทธิ์ และการถลุงแร่ตะกั่ว โดยเฉพาะการใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน การแพร่กระจายของตะกั่วทั้งจากแหล่งที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนใหญ่แล้วจะปล่อยออกสู่อากาศจากนี้ก็จะไปสู่พืชดิน และแหล่งน้ำตามธรรมชาติดังแสดงในรูป ที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงวัฏจักรของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม (อำพัน อยู่คงคราม; 2534)

1.4 การปนเปื้อนของตะกั่วในแหล่งน้ำของประเทศไทย

มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ได้กำหนดให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ต้องมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรและตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ได้กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วสูงสุดไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งจากการสำรวจของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2531 พบว่าระดับตะกั่วในน้ำประปาเขตกรุงเทพมหานคร เท่ากับ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ระดับตามแม่น้ำในภาคต่างๆ สูงเกินมาตรฐานถึงร้อยละ 30 (สุวรรณา เรื่องกาญจนเศรษฐ์ 2535:699)

ตารางที่ 2.1 ระดับตะกั่วในแม่น้ำต่างๆ ของประเทศไทย

ประเทศไทย	ระดับตะกั่วในแม่น้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร)
ภาคกลาง	2.05
ภาคตะวันออก	0.29
ภาคเหนือ	0.22
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.49
ภาคใต้	15.10

ที่มา : กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2537) สถานการณ์คุณภาพน้ำในโครงการพัฒนาคุณภาพน้ำบริโภคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์ หน้า 45

จากการตรวจสอบปริมาณตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี โดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในปี พ.ศ. 2536 พบปริมาณตะกั่วในตะกอนดินสูงถึง 3,333 ไมโครกรัมต่อกรัมของดินตะกอนในบริเวณลำน้ำสาขาที่ไหลผ่านเหมืองแร่ดีบุกในเขตบ้านถ้ำทะเล อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา

ปริมาณตะกั่วในตะกอนดินพบ 32 ไมโครกรัมต่อกรัมของดินตะกอน ในบริเวณปลายแม่น้ำ และเพิ่มขึ้นในบริเวณสถานีที่ใกล้กับอ่าวปัตตานี นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2537 พบปริมาณตะกั่วสูงในสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหาร และในสัตว์หน้าดินที่อยู่บริเวณอ่าวปัตตานี (พรพิมล วราทร 2541) ลำห้วยคลิตี้ อำเภอสรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ก็เป็นอีกที่หนึ่งที่พบว่าในลำห้วยมีปริมาณของตะกั่วสะสมอยู่มาก เนื่องจากลำห้วยคลิตี้สายตะวันตกเกิดจากการรวมตัวกันของห้วยฝิ่ง และห้วยดีเกะ ซึ่งไหลผ่านหินปูนที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแร่ตะกั่ว สายเหนือไหลผ่านเหมืองบ่องาน ซึ่งเป็นเหมืองที่ผลิตแร่ตะกั่วคาร์บอนเนตที่สำคัญ กรมอนามัย กรมการแพทย์ และสำนักปลัดกระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการสำรวจปริมาณตะกั่วในสิ่งแวดล้อมบริเวณห้วยคลิตี้ และตรวจตะกั่วในเลือดของชาวบ้านพบว่าลำน้ำในลำห้วยคลิตี้ ปล่อยแร่คลิตี้ ผ่านหมู่บ้านคลิตี้ น้ำตกกริดาดอย และน้ำตกคลิตี้ถึงปากแม่น้ำงู มีสารตะกั่ว 0.04-1-38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการอุปโภคและบริโภคของประชาชน สัตว์น้ำประเภทกุ้ง หอย ปู ปลา ในห้วยคลิตี้ทุกบริเวณมีการปนเปื้อนตะกั่ว 1.215-1.275 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค การตรวจปริมาณตะกั่วในเลือด พบว่าชาวหมู่บ้านคลิตี้ล่าง มีปริมาณตะกั่วในเลือดสูงกว่าคนปกติทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กกลุ่มอายุ 0-6 ปี แต่ยังคงตรวจไม่พบอาการของโรคพิษตะกั่วอย่างชัดเจน (ยูวดี คาดการไกล 2542) นอกจากนี้ในการสำรวจสถานการณ์คุณภาพน้ำบริโภคในปี 2532-2537 โดยฝ่ายเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 สระบุรี ซึ่งได้ตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคของ 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี สระบุรี นครนายก และสุพรรณบุรี จากน้ำบริโภคทั้ง 9 ประเภท พบว่ามีการปนเปื้อนของตะกั่ว ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณภาพน้ำบริโภคของ 6 จังหวัด จากน้ำบริโภคทั้ง 9 ประเภท

แหล่งน้ำ	ร้อยละที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
ประปาบาดาลขนาดใหญ่	6.7
ประปาบาดาลขนาดกลาง	11.6
ประปาบาดาลขนาดเล็ก	15.9
ประปาผิวดินขนาดใหญ่	15.9
ประปาผิวดินขนาดกลาง	4.3
ประปาผิวดินขนาดเล็ก	22.2
บ่อบาดาล	22.8
บ่อดิน	8.0

ที่มา : ฝ่ายเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 สระบุรี (2539) “สถานการณ์คุณภาพน้ำบริโภค ปี 2532-2537

วารางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ และคณะ (2541) ได้ทำการสำรวจโลหะหนักในแหล่งน้ำเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2541 พบว่า ตัวอย่างน้ำจากบึงท่าสร้าง มีการปนเปื้อนของตะกั่วในปริมาณที่สูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าเฉลี่ย 0.503 มิลลิกรัมต่อลิตร และในตะกอนดินก็พบว่ามีสูงเช่นกัน ที่บึงสร้างและบึงโครต โดยมีค่าเฉลี่ย 17.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 16.889 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่มาตรฐานของโลหะหนักต่างๆ ในตะกอนดินยังของแต่ละแห่งไม่เหมือนกันปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติบริเวณหนึ่งอาจมีค่าสูงกว่าบริเวณหนึ่งแม้บริเวณนั้นอาจไม่ได้รับอิทธิพลของการปนเปื้อนโลหะหนักจากการกระทำของมนุษย์ก็ตาม ซึ่งผลของการศึกษาของ อุไรวรรณ อินทร์ม่วง และคณะ (2541) ที่ได้ทำการสำรวจปริมาณโลหะหนักตกค้างในตะกอนท้องน้ำของแม่น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น พบว่า ปริมาณตะกั่วในตะกอนท้องน้ำของลำน้ำพองมีปริมาณค่อนข้างสูง อยู่ในช่วง 8.75-58.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นก็มีปริมาณค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการปนเปื้อน

จากสถานประกอบการชุบโลหะขนาดเล็ก การสะสมของเก่าและมูลฝอยที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักในชุมชนที่ตั้งอยู่ริมลำน้ำพอง นอกจากนี้การศึกษาของ คาริวรรณ เศรษฐีธรรม และวรรณภา อธิคะ (2542) ซึ่งศึกษาถึงชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ปล่อยทิ้งในระบบน้ำเสียรวมในเขตเทศบาลขอนแก่น โดยทำการศึกษาจากน้ำเสียตามคูร่องที่รองรับบำบัดน้ำเสียในเขตเทศบาลขอนแก่น และในระบอบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาล ในระหว่างเดือนพฤษภาคม 2542 ถึง เดือนเมษายน 2543 พบว่า ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนของตะกั่ว 0.0017 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร และในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ย 0.0371 ± 0.0127 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแม้ว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองฤดูจะต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในบางจุดและบางเวลามีค่าใกล้เคียงและสูงกว่ามาตรฐาน

1.5 ความเข้มข้นของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อม สามารถที่จะแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. **ตะกั่วในบรรยากาศ** (Connon and Boeles ; 1962) ได้กล่าวว่าปริมาณของสารตะกั่วในบรรยากาศจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ ปริมาณรถยนต์บนท้องถนน ระยะที่อยู่ห่างจากถนน ทิศทางของกระแสลม และความเร็วของลม อีกทั้งจากการศึกษาของ Harison และ Laxen (1981) ถึงปริมาณของสารตะกั่วในอากาศและดินที่อยู่บริเวณข้างถนนพบว่า มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามความคับคั่งของการจราจร โดยปริมาณสารตะกั่วที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศจะมีประมาณร้อยละ 25-75 ของสารตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำมัน ในรูปของอนุภาคของเกลืออนินทรีย์ บางส่วนจะฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ และบางส่วนจะตกทับถมกันอยู่บนผิวดินเมื่อเกิดฝนตกก็จะชะเอาสารตะกั่วเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำ
2. **ตะกั่วในแหล่งน้ำ** โดยเฉพาะต้นน้ำส่วนใหญ่จะพบปริมาณตะกั่วเพียงเล็กน้อยต่อเมื่อผ่านแหล่งเกษตรกรรม ชุมชน และแหล่งอุตสาหกรรมจึงพบในปริมาณสูงในมาตรฐานของการบริโภคน้ำกำหนดไว้ว่าไม่ควรมีสารตะกั่วเกินกว่า 150 ไมโครกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาของ Sivadechathep (1968) พบว่าปริมาณสารตะกั่วในน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ที่ตั้งอยู่บนฝั่งทางทิศตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา มีโลหะตะกั่วเจือปนอยู่ในปริมาณตั้งแต่ 4.352 ถึง 111.994 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานขอโลหะตะกั่วในน้ำทิ้งที่ทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ตะกั่วในดินตะกอน แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีปริมาณสารตะกั่วปะปนอยู่ในดินตะกอนเสมอ เนื่องจากพื้นที่รองรับของแหล่งน้ำเหล่านั้นมักจะประกอบไปด้วย ดิน หิน และแร่ธาตุที่มีตะกอนเป็นองค์ประกอบ โดยธรรมชาติอยู่แล้ว และเมื่อมีการชะล้างพังทลายของดิน และหินเหล่านั้นเกิดขึ้น ตะกั่วจะถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำและเกิดการตกตะกอนสะสมรวมกันในพื้นที่
4. ตะกั่วในอาหารและเครื่องอุปโภค อาหารที่มีการปนเปื้อนด้วยสารตะกั่วเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะนำสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งการมีสารตะกั่วในเครื่องสำอาง เครื่องประทีนผิวที่มีโอกาสสัมผัสอยู่เป็นประจำ ทางคณะกรรมการอาหารและยา แห่งสหประชาชาติกับองค์การอนามัยโลก ได้ร่วมกันกำหนดค่าสูงสุดที่ผู้ใหญ่จะได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจากอาหารและเครื่องสำอาง คิดเป็นวันละไม่เกิน 500.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของอาหารและเครื่องสำอางนั้น จากการศึกษาของ ธงชัย ภูษินานนท์ (2526) พบว่าผักนึ่งและผักกะเฉดที่นำมาจากคลองเชียงราก กรุงเทพมหานคร มีปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.050-10.363 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม และ 5.856 -10.337 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ ส่วนในผักนึ่งและผักกะเฉดที่นำมาจากแหล่งปลูกในหนองน้ำใกล้สนามบินดอนเมือง พบว่ามีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่ ประมาณ 3.402-6.487 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม และ 5.534-7.754 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ

1.6 การเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ สารตะกั่วสามารถที่จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ดังนี้

1) จากทางเดินหายใจ สารตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นหรือไอหรือสารประกอบตะกั่วเข้าไป อันตรายที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณที่หายใจเข้าไป โดยขนาดยิ่งเล็กลงยิ่งอันตรายมาก ตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน จะเข้าสู่หลอดลมฝอยและถุงลม แล้วถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือด ได้มีการประมาณไว้ว่าร้อยละ 40 ของตะกั่วที่เข้าสู่ทางเดินหายใจในผู้ใหญ่จะถูกดูดซึมเอาไว้

2) จากทางเดินอาหาร ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย โดยการกินอาหาร หรือดื่มน้ำที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป ซึ่งร่างกายจะดูดซึมเอาไว้ประมาณร้อยละ 5-10 โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย และที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส ในปริมาณที่มากจะมีผลในการดูดซึมของตะกั่วในร่างกายลดลง ส่วนตะกั่วที่เหลือก็จะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ

3) จากทางผิวหนัง ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางผิวหนังได้ โดยเฉพาะสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วบางชนิด สามารถซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้โดยที่ไม่จำเป็นว่าผิวหนังต้องเป็นแผล เช่น เตตระเอทิลเลด (Tetraethyl Lead) ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เป็นต้น

1.7 การสะสมของสารตะกั่ว และการขับถ่ายออกจากร่างกาย เมื่อตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะถูกพาไปทั่วร่างกาย สามารถพบสารตะกั่วได้ในทุกส่วนของร่างกาย และสารตะกั่วส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในกระดูกร้อยละ 95 ในลิ้น หัวใจ และในสมองมีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 0.05-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม ในกระดูกมีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 6.60-7.82 ไมโครกรัมต่อกรัม และในเส้นผมมีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 2-80 ไมโครกรัมต่อกรัม (สมบูรณ์ กฤตลักษณ์; 2532) สารตะกั่วที่รับประทานเข้าไปและไม่ถูกดูดซึมจะถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระ ส่วนการกำจัดตะกั่วที่ร่างกายดูดซึมเอาไว้จะถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะร้อยละ 76 ทางอุจจาระร้อยละ 16 และอีกร้อยละ 8 จะถูกขับออกทางผิวหนังทางเหงื่อ และเส้นผม เส้นขน ในวันหนึ่งๆ ร่างกายจะขับตะกั่วออกได้เต็มที่ประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น ถ้ามีมากเกินไปร่างกายก็จะขับออกไม่ทัน เกิดการสะสมขึ้นในร่างกาย และหากว่าปริมาณของตะกั่วในเลือดสูงถึง 80 ไมโครกรัม ในผู้ใหญ่อาการพิษจะเริ่มแสดงให้เห็น และถ้ามีปริมาณมากกว่าปริมาณนี้ สมอง และตับจะพิการและถึงแก่ชีวิตได้ง่าย

ครึ่งชีวิตของสารตะกั่วในร่างกายเท่ากับ 1,940 วันหรือประมาณ 5 ปี ปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ตะกั่วถูกปล่อยออกจากกระดูก คือ การลดระดับแคลเซียมในอาหารหรือระดับแคลเซียมในเลือดลดลง ตะกั่วสามารถที่จะละลายหรือหลุดออกจากกระดูกพร้อมกับแคลเซียม เข้าสู่กระแสเลือด การเปลี่ยนแปลงสมดุลของกรด-ด่างในร่างกายหรือปัจจัยใดที่เปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมย่อมมีอิทธิพลต่อการปล่อยตะกั่วออกจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด และถูกขับออกจากร่างกายได้เช่นเดียวกัน ตะกั่วที่อยู่ในกระแสเลือดนั้นมีศักยภาพที่จะออกฤทธิ์และเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าตะกั่วที่สะสมอยู่เฉยๆ ในกระดูก (ไมตรี สุทธิจิตต์ ; 2532)

1.8 ความเป็นพิษของตะกั่ว สำหรับอันตรายต่อมนุษย์ที่เกิดจากพิษของสารตะกั่วที่มีผลต่อร่างกาย แบ่งออกได้เป็นดังนี้

1) พิษตะกั่วเฉียบพลัน โดยส่วนมากแล้วมักจะไม่มีพิษแบบเฉียบพลันของตะกั่วซึ่งมักจะทำให้มีอาการ ปากแห้ง คอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องผูก รวมทั้งอาการอุจจาระร่วง และถ้าได้รับในปริมาณที่สูงมากจะทำให้ช็อกตายได้

2) พิษตะกั่วเรื้อรัง มักพบว่าอาการพิษของตะกั่วนี้เป็นผลมาจากการได้รับสารนี้เป็นประจำ และได้รับเป็นเวลานาน ซึ่งมักจะมีผลกระทบต่างๆ ของร่างกายดังต่อไปนี้

2.1 ผลต่อระบบประสาท สารตะกั่วจะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System) ระบบประสาทรอบนอก (Peripheral Nervous System) และระบบประสาทสัมผัสพิเศษ (Special Sense)

1) ผลต่อระบบส่วนกลาง (Central Nervous System) สารตะกั่วจำพวกอนินทรีย์ สารนั้นมักจะทำให้เกิดภาวะสมองเสื่อม (Lead Encephalopathy) มีอาการมึนงง คลื่นไส้ กระสับกระส่าย และนอนไม่หลับ ต่อมาอาจมีอาการตื่นเต้น สับสน ชัก และตายได้ ซึ่งอาการเหล่านี้เริ่มมักพบได้ในเด็กเท่านั้น ในผู้ใหญ่จะพบได้น้อยมากๆ เนื่องจากในผู้ใหญ่จะเกิดอาการเหล่านี้ได้ก็ต่อเมื่อได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่สูงๆ ภายในระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น คนไข้ที่มีอาการเหล่านี้มักตายถึงร้อยละ 25 ถ้ารอดตายประมาณร้อยละ 40 ของคนไข้มักมีอาการชัก และปัญญาอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่าสารตะกั่วประเภทนี้มีผลต่อการพัฒนาสติปัญญา ความจำ การเรียนรู้ รวมทั้งการพัฒนาความสามารถของทารกในครรภ์มารดาอีกด้วย เนื่องจากสารชนิดนี้สามารถถ่ายทอดจากมารดาไปยังทารกได้โดยผ่านทางรก ดังนั้นหญิงมีครรภ์จึงควรระวังอันตรายจากสารตะกั่วให้มากเพราะนอกจากจะได้รับสารพิษจากสารนี้แล้ว ทารกในครรภ์เองก็มีโอกาสได้รับอันตรายจากสารพิษนี้ด้วยเช่นกัน โดยการถ่ายทอดจากมารดาไปยังทารกผ่านทางน้ำนม สำหรับกลไก รายละเอียดคนนั้นปัจจุบันยังไม่ทราบแน่นอน แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการทำงานของปลายประสาทในระบบประสาทอัตโนมัติพวกที่ใช้สารเคมีพวกอะเซทิลโคลีน (Acetylcholine) คาเทคโคลามีน (Catecholamine) เป็นตัวถ่ายทอดสัญญาณประสาทนั้นจะถูกยับยั้งโดยสารตะกั่ว อย่างไรก็ตามผลนี้จะถูกยับยั้งได้โดยแคลเซียม

2) ผลต่อระบบประสาทรอบนอก (Peripheral Nervous System) ตะกั่วจะทำให้กล้ามเนื้อซึ่งช่วยในการเหยียดแขน ขา อ่อนแรง มีอาการชา ระดับความรู้สึกของร่างกายจะเสียไป เกิดอาการที่เรียกว่าอัมพาต (Lead palsy) นอกจากนี้ ตะกั่วยังทำให้เกิดการเสื่อมสลายของเยื่อไมอีลิน (Myeline) ที่หุ้มรอบๆ ปลายประสาท (Axonal Demy Elation) และทำให้ส่งสัญญาณประสาทช้าลงด้วย

3) ผลต่อระบบประสาทสัมผัสพิเศษ (Special Sense) ตะกั่วจะลดความไวในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของเซลล์รับแสงที่เรียกว่า "Rod Cell" ในลูกตาลงและยังรบกวนระบบไหลเวียนของเส้นเลือดที่มาเลี้ยงเยื่อลูกตาที่เคลือบอยู่บนลูกตา และภายในลูกตา ทำให้มีการเคลื่อนที่ของของเหลวภายในเส้นเลือดออกมาช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เกิดอาการตาบวมขึ้น นอกจากนี้ พบว่าคนที่มียาระดับสารตะกั่วในกระแสเลือดประมาณ 40-50 ไมโครกรัมในเลือด 100 มิลลิลิตรนั้นจะมีสายตาผิดปกติไป

2.2 ผลต่อระบบเลือด ตะกั่วจะไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์ โซเดียมโปตัสเซียม เอทีพีเอส (Sodium-Potassium ATPase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ซึ่งช่วยในการควบคุมปริมาตรภายในเม็ดเลือดแดงให้อยู่ในภาวะสมดุลของปริมาตรไว้ได้ต่อไป ทำให้ถูกทำลายเร็วขึ้น และเป็นผลให้เกิดภาวะโลหิตจาง นอกจากนี้ยังไปมีผลขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดงอีกด้วย

2.3 ผลต่อไต อันตรายของตะกั่วต่อไตนั้นมักพบในรายที่ได้รับสารตะกั่วเป็นเวลานาน โดยมักจะพบว่ามีการทำลายเซลล์ท่อไตส่วนต้น (Proximal Tubule) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการดูดกลับของสารต่างๆ ทำให้ระดับน้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และฟอสเฟต ในกระแสเลือดลดต่ำลง และยังมีผลทำให้เส้นเลือดที่บริเวณโกลเมอรูลัส (Glomerulus) ฝ่อ เป็นผลให้ไตกรองได้ลดลงมีของเสียคั่งในร่างกายนาน และอาจทำให้เกิดภาวะไตวายได้

2.4 ผลต่อระดับทางเดินอาหาร ตะกั่วมักจะทำให้ความตึงตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่บุผนังระบบทางเดินอาหารเปลี่ยนแปลงไป และทำให้คนไข้มีอาการปวดท้อง เบื่ออาหาร ท้องผูก รวมทั้งอาจเกิดอาการระว่งขึ้นได้

2.5 ผลต่อระบบต่อมไร้ท่อและระบบสืบพันธุ์ ในคนไข้ที่มีระดับของสารตะกั่วสูงประมาณ 66-139 ไมโครกรัมในเลือด 1 เดซิลิตร นั้นจะมีการทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติไป มีการลดการสร้างฮอร์โมนกลูโคติคอยด์ ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยควบคุมเกี่ยวกับภาวะเมตาบอลิซึมของร่างกายตัวหนึ่ง โดยเฉพาะเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และนอกจากนี้ยังทำให้จำนวนอสุจิลดลง (Oligospermia) และลดการเคลื่อนไหวของอสุจิที่เคลื่อนไหวในน้ำกามของเพศชาย (Azoospermia)

2.6 ผลอื่นๆ ตะกั่วยังทำให้เกิดผลอื่นๆ นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นมักจะทำให้บริเวณฐานเหงือกมีสีดำ หรือเทาเนื่องจากการเกาะตัวของสารตะกั่วซัลไฟด์บริเวณนั้นเรียกว่า "Lead Line" นอกจากนี้ยังอาจทำให้มีหน้าที่มีสีเทาคล้ายขี้เถ้า (Ashen Colour) และริมฝีปากซีดร่วมด้วย (สุชาติ นุกุล; 2548)

1.9 มาตรฐานโลหะหนักในน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ; 2539)

จากอันตรายของพิษตะกั่วที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการควบคุมภาวะสิ่งแวดล้อมจากสิ่งเป็นพิษ ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 วันที่ 3 มกราคม 2539 กำหนดให้น้ำทิ้ง

จากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2529 กำหนดให้แหล่งน้ำผิวดินจะมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.10 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนักที่ออกมาจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี แต่การเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นความเป็นไปได้ทางเทคนิคค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์และเทคโนโลยี ตลอดจนความชำนาญของบุคลากรที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นการจะบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจึงควรเลือกวิธีการหรือเทคนิคในการบำบัดและกำจัดที่เหมาะสม วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธี ได้แก่

1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) เป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อทำให้อิออนของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำ เปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเกิดเป็นตะกอนจมตัวลงแล้ว จึงแยกออกจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนหรือการกรองสารเคมี ที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ กัน ส่วนตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge) ที่ได้จะมีส่วนประกอบของโลหะที่เป็นพิษต้องนำไปกำจัดต่อ

2) การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงดันสูงผ่านเยื่อกรอง (Semipermeable Membrane) เพื่อแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ มักใช้แรงดัน 300-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือสูงกว่า เยื่อกรองจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่าน ไอออนต่างๆ ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ เยื่อกรองที่นิยมใช้มักทำมาจากเซลลูโลสอะซีเตท (Cellulose Acetate) มีความหนาประมาณ 100 ไมครอน ประกอบด้วย 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานหนาประมาณ 0.2 ไมครอน ทำหน้าที่ขัดขวางมิให้สารต่างๆ ซึมผ่านไปพร้อมกับน้ำ อีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุน สำหรับให้น้ำไหลผ่านได้

3) อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis) เป็นกระบวนการอาศัยเยื่อกรองเช่นเดียวกันแต่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยกไอออนออกจากน้ำ แผ่นเยื่อกรองที่ใช้มี 2 ชนิดคือ แผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งยอมให้เฉพาะ ไอออนที่มีประจุเหมือนกันไหลผ่าน แต่โมเลกุลของน้ำจะไหลผ่านได้ยาก ทำให้แยกไอออนที่มีประจุเหมือนกันไหลผ่าน แต่โมเลกุลของน้ำจะไหลผ่านได้ยาก ทำให้แยกไอออนของโลหะออกจากน้ำได้

4) การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction) คือ กระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการให้และรับอิเล็กตรอนของอะตอม โดยการใช้สารออกซิแดนท์ (Oxidant) และสารรีดิวซิ่ง (Reducing Agent) ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ในน้ำเสีย สารออกซิแดนท์ มีหลายชนิด เช่น โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่างทับทิม และคลอรีน ส่วนสารรีดิวซิ่ง ได้แก่ ใต้แก่ ใต้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์ เมตาไบซัลไฟต์ ไฮโดรซัลไฟต์ และเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น

5) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible Interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็งที่เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Resinous Ionexchange)

5.1 ซีโอไลต์ มีทั้งแบบธรรมชาติ ใต้แก่ Green Sand และแบบสังเคราะห์จากสารประกอบต่างๆ เช่น โซเดียมซิลิเกต ซึ่งมีโซเดียมไอออน (Na^+) ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ ในปัจจุบันจะใช้ซีโอไลต์ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสเท่านั้น ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เป็นสารสังเคราะห์พวกอินทรีย์โพลิเมอร์ มีอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าซีโอไลต์

5.2 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้มันคงรูปร่างได้โดยไม่ละลายน้ำ โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดรูปร่างสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุนหมู่ฟังก์ชัน Functional Group ของเรซินเป็นตัวกำหนดความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนไฮโดรคาร์บอน ทำให้เรซินมีประจุบวกประจุลบ ถ้าหมู่ไอออนมีประจุลบเรซินจะมีประจุลบประจำตัวใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ เรียกว่าเป็น Cation Exchange ถ้าหมู่ไอออนมีประจุบวก คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบออกจากน้ำ เรียกว่า Anion Exchange สามารถแบ่งเรซินได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1) เรซินแบบกรดแก่ (Strong Cationic Resin) มีหมู่ซัลโฟนิค (SO_3^-) ซึ่งอยู่ในรูปของ $\text{SO}_3\text{-H}^+$ หรือ $\text{SO}_3\text{-Na}^+$ โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากรูปร่าง

2) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acid Cationic Resin) มีหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) หรือ (COONa) โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากรูปร่าง

3) เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin) มีหมู่ไอออนเป็น Quaternary Amine เช่น $(\text{CH}_3)_3\text{CH}_2\text{N}^+$ มีไอออนลบอิสระเป็น OH^- หรือ Cl^- สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนลบที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ

4) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin) ใช้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 ออกจากน้ำ โดยไม่มีการแลกเปลี่ยนไอออน แต่กรดแก่ทั้งโมเลกุลจะเข้ามาจับกับเรซิน ซึ่งต่างจากเรซินทั้ง 3 ประเภทข้างต้น

6. การดูดซับหรือดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารตัวกลางดิ่งโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับ และติดบนผิวของมัน จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass Transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbent

7. กระบวนการระเหย (Evaporation Process) เป็นกระบวนการที่ง่ายในการทำให้น้ำระเหยไป ให้คงเหลือไว้แต่เพียงสารตะกั่วที่ปนอยู่ในน้ำทิ้ง วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีในกรณีที่มีปริมาณสารตะกั่วในน้ำทิ้งอยู่ในปริมาณมาก แต่โดยทั่วไปไม่นิยมที่จะใช้วิธีนี้ เนื่องจากต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายที่สูง และต้องใช้ผู้ที่มีความสามารถ มีความชำนาญในการดำเนินการอีกด้วย

2. การดูดติดผิว

การดูดติดผิวเป็นการดูดซับของสารเกี่ยวข้องกับการสะสมที่ผิวหน้าของสารสองสถานะ เช่น ของแข็งและของเหลว หรือก๊าซและของแข็ง สารที่เกิดการสะสมหรือดูดซับที่ผิวหน้าเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) และของแข็งที่ซึ่งมีการดูดซับเกิดขึ้นเรียกว่า สารดูดติดผิว (Adsorbent) สารดูดติดผิวที่น่าสนใจในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ประกอบด้วย ถ่านกัมมันต์ สารแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น

2.1 กลไกการดูดติดผิว

เนื่องจากการดูดติดผิวเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากของเหลวและของแข็งหรือก๊าซและของแข็ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีขั้นตอนการเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk solution transport สารถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากสารละลายสู่ของ
ด้านนอกของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น โดยการแพร่

ขั้นตอนที่ 2 Film diffusion transport โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะแพร่ผ่านชั้นน้ำ
(Hydrodynamic boundary layer) ที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสารดูดซับระยะทาง
ในการเคลื่อนที่และเวลาที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลถ้าอัตราการไหลสูงระยะสั้น

ขั้นตอนที่ 3 Pore transport หลังจากเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำ (Hydrodynamic boundary
layer) สารถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านช่องที่อยู่ภายในสารดูดซับไปสู่บริเวณที่จะเกิดการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 Adsorption หลังจากสารดูดซับมีการเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่จะมีการดูด
ซับเกิดขึ้นจะถูกดูดซับทางกายภาพ

ขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุด เรียกว่า rate - limiting step ซึ่งจะควบคุมอัตราการกำจัด ในถังปฏิกรณ์
ที่มีความปั่นป่วนสูง film diffusion และ pore diffusion จะควบคุมอัตราการกำจัด

การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) ซึ่ง
เกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดอย่างอ่อนระหว่าง สองโมเลกุล และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption)
ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับกับผิวหน้าของสารดูดซับ

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1) ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore
diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วน
ต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของ
โมเลกุลของสารดูดซับเข้าไปหาสารดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนด
อัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางทำให้โมเลกุล
สามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการ
นี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

2) **ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ** ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับที่มีขนาดโมเลกุลของสารดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon , PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon , GAC)

3) **ขนาดและลักษณะของสารดูดซับ** ขนาดของสารหรือ โมเลกุลมีความสำคัญต่อการดูดซับซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดิ (พอดิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อนจากนั้น โมเลกุลขนาดใหญ่จึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ นั่นคือเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง

4) **ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ** ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับได้ทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะถูกดูดซับได้ดี

5) **pH** มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่างๆ นั้น ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดซับ

6) **อุณหภูมิ** มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

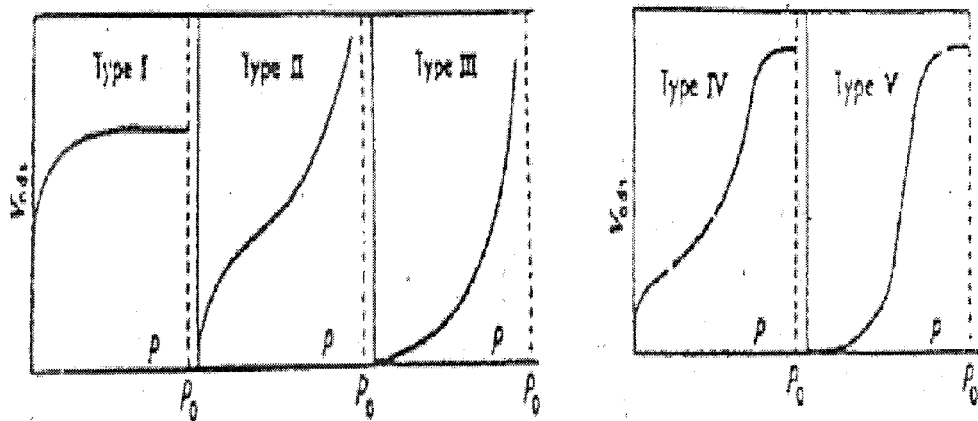
7) **เวลาสัมผัส** เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของถังดูดซับ โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเวลาการสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเลย

2.3 สมดุลการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium)

การดูดติดผิวในสารละลายมีผลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดติดผิวบนผิวของสารดูดติดผิว ตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะหลุดออกจากสารละลาย เมื่อปริมาณของการดูดติดผิวและหลุดออกจากผิวมีจำนวนเท่ากัน อัตราการดูดติดผิวและการหลุดออกจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Equilibrium state) หรือเรียกว่า สมดุลของการดูดติดผิว (Adsorption Equilibrium) ที่สมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวดูดติดผิว ในสารละลายสมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิวซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

2.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิวแสดงถึงลักษณะของกระบวนการดูดติดผิว และลักษณะการดูดติดผิวของสารดูดติดผิว สามารถจำแนกได้ 5 แบบ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดติดผิวพื้นฐาน 5 แบบ

ที่มา : Vermeulen (1994)

ลักษณะเส้นโค้งที่หนึ่งของไอโซเทอมแบบที่ 1 (type I) นั้น แสดงถึงความเหมาะสมต่อการดูดจับตัวถูกละลาย ซึ่งตัวดูดติดผิวที่มีรูพรุน และมีขนาดรูมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลของตัวถูกละลายไม่มากนักจะทำให้ไอโซเทอมแบบนี้ เนื่องจากมีจุดอิมิตัวที่เกิดขึ้นจากการดูด

ซบอย่างสมบูรณ์ในรูพรุนของตัวดูดซับ ดังนั้นเส้นโค้งที่มีลักษณะเว้า (type III) จึงเป็นเส้นโค้งที่แสดงความไม่เหมาะสมต่อการดูดซับตัวถูกละลาย ไอโซเทอมแบบอื่นจะมีอิทธิพลต่างๆ มาเกี่ยวข้องมากกว่า 1 อย่าง เช่น การดูดซับที่เกิดบนพื้นที่ผิวสองชั้น จะเป็นไปตามไอโซเทอมที่แบบที่ 2 หรือผิวที่มีรูพรุนขนาดกว้างกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถูกละลายมาก จะเป็นไปตามไอโซเทอมแบบที่ 4 (Type IV) ส่วนแบบที่ 5 (Type V) มีอิทธิพลของโมเลกุลอื่นมาเกี่ยวข้องเป็นต้น

การวิเคราะห์ระบบการดูดซับระบบดูดซับได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการอย่างง่ายแล้วนำสมการมาเขียนกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบดูดซับ โดยแบบจำลองการดูดซับที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำนายลักษณะการดูดซับนั้นคือ แบบจำลองที่เขียนขึ้นโดย แลงเมียร์ (Langmuir) ฟรุนดิช (Freundlich) และเบท (Brunauer-Emmett-Teller, BET) (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ ;2539)

1. สมการของแลงเมียร์ (Langmuir) มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะคิดเฉพาะผิวชั้นเดียว และโมเลกุลของสารดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad (1)$$

เมื่อ q = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ

q_m = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล

K_A = ค่าคงที่ของการดูดซับ, ลิตรของตัวดูดซับ/มก. ของสารถูกดูดซับ

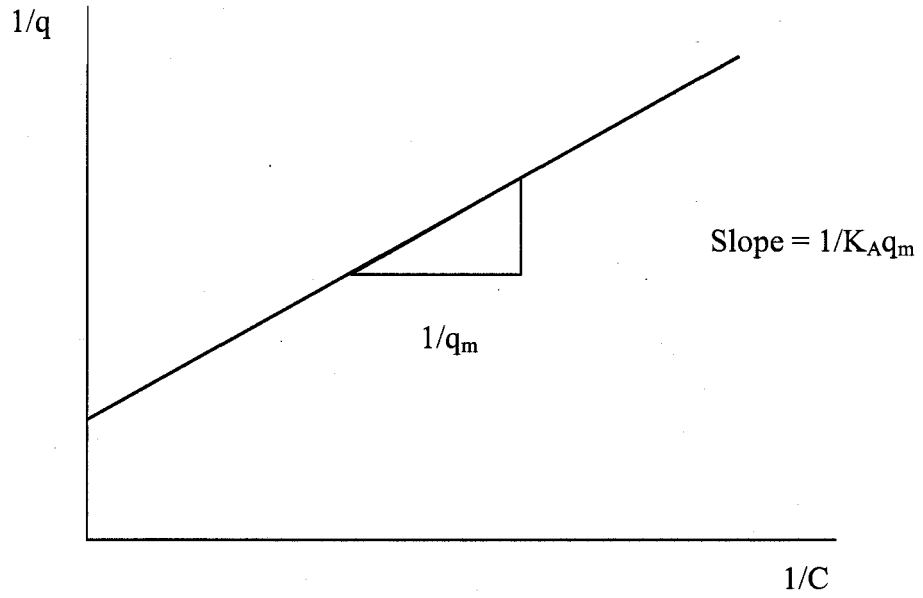
C = ความเข้มข้นของสารละลาย, มก./ล.

เพื่อให้สามารถหาค่า q_m และ K_A ได้โดยวิธีกราฟ จึงต้องจัดรูปแบบสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

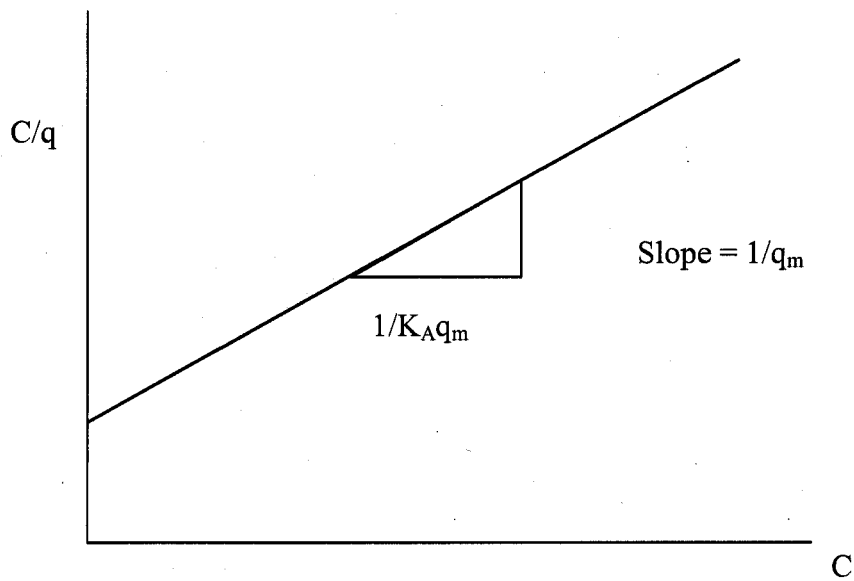
$$1/q = 1/q_m + [1/K_A q_m] * 1/C \quad (2)$$

$$C/q = C/q_m + 1/K_A q_m \quad (3)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงสมการ (2) ของแลงเมียร์ (Langmuir)



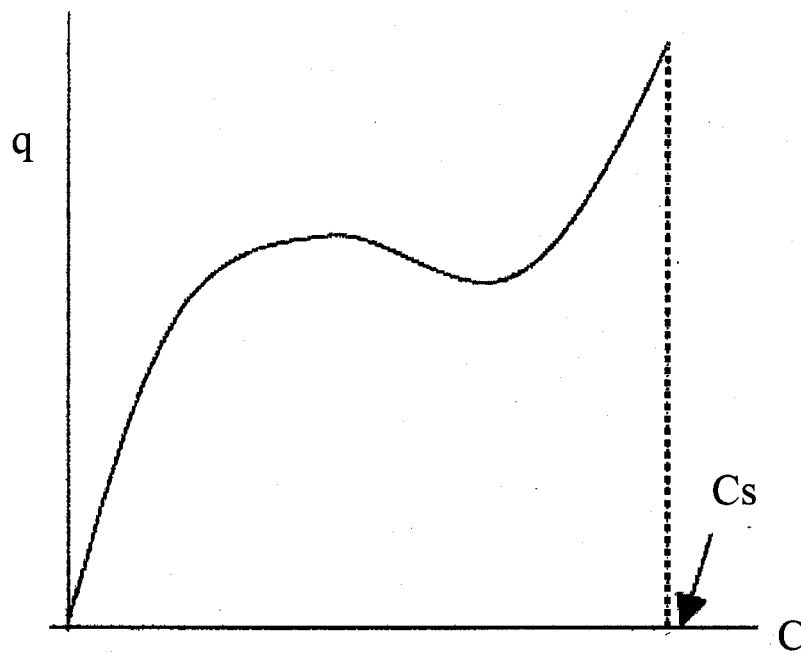
ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงสมการ (3) ของแลงเมียร์ (Langmuir)

2. สมการของเบท (Brunauer-Emmett-Teller; BET) มีเงื่อนไขว่า โมเลกุลของสาร ถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว และการดูดซับมีระดับคงที่ สำหรับทุกๆ โมเลกุล

$$q = \frac{q_m K_B C}{(C_s - C)[1 + (K_B - 1)(C/C_s)]} \quad (4)$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารถูกดูดซับ ณ ทุกๆ ชั้น, มล./ล.

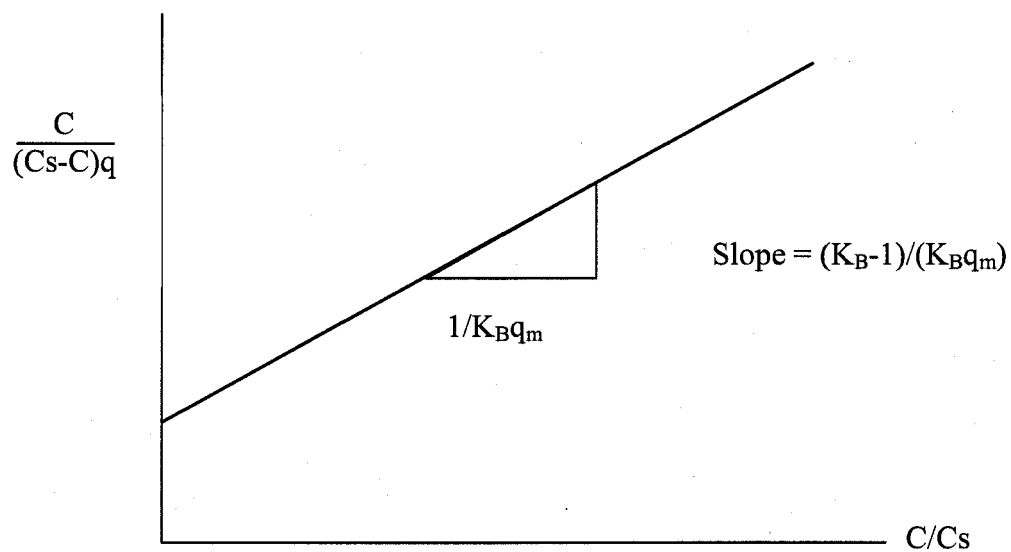
K_B = ค่าคงที่ของการดูดซับ



ภาพที่ 2.5 กราฟหาค่า C_s สำหรับสมการ 4 ของเบท (Brunauer-Teller; BET)

เพื่อให้สามารถหาค่า K_B และ q_m ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟ จึงต้องจัดรูปสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{C}{(C_s - C)q} = \frac{1}{K_B q_m} + \left[\frac{K_B - 1}{K_B q_m} \right] \left[\frac{C}{C_s} \right] \quad (5)$$



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงสำหรับสมการ (5) ของเบท (Brunauer-Emmett-Teller; BET)

3. สมการของฟรอนด์ลิช (Freundlich) เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง และมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

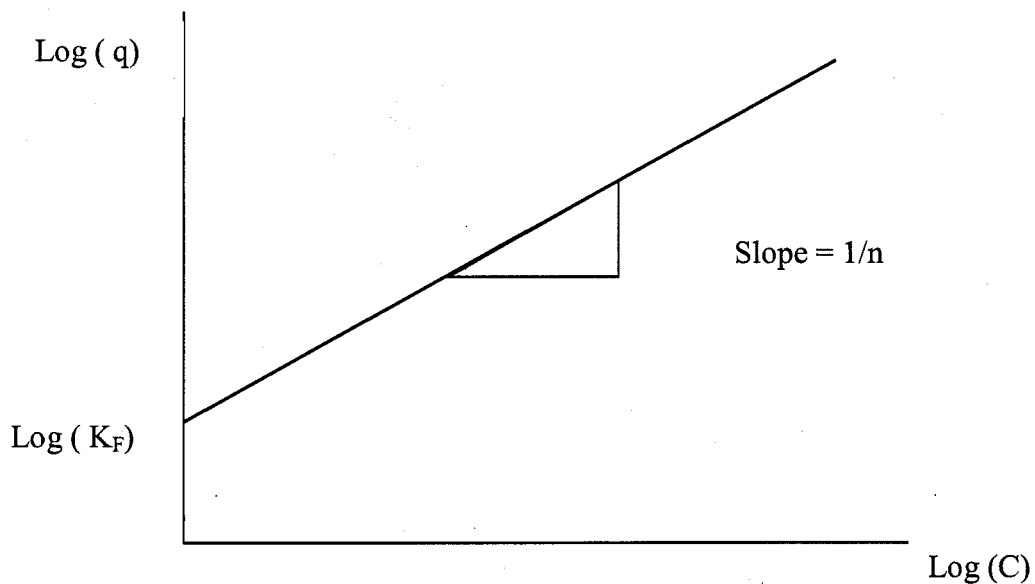
$$q = K_F C^{1/n} \quad (6)$$

เมื่อ K_F = ค่าคงที่

n = ค่าคงที่

เพื่อให้สมการหาค่า K_F และ n ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟ จึงจำเป็นต้องใช้ Logarithm มาจัดรูปสมการใหม่ ให้เป็นสมการดังนี้

$$\text{Log} (q) = \text{log} (K_F) + 1/n \text{log} (C)$$



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงสมการ (6) ของฟรอนด์ลิช (Freundlich)

2.5 ประเภทของสารดูดซับหรือสารดูดติดผิว

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้ เรียกว่า Adsorbent มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (มันลิน ตันทุลุม์เวศม์; 2537)

1) ประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic Compounds) เช่น ดินเหนียว ชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอกติเวเต็ดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม มีข้อเสียคือ สามารถจับโมเลกุล หรือคอลลอยด์ได้ เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

2) แอกติเวเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม แอกติเวเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) ที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ การฟื้นฟูสภาพคาร์บอนต้องเผาที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากปนกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว (Synthetic Exchange Resin) สามารถดูดจับกับวัตถุอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซิน และเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นประเภทที่เรียกว่า Macroporous Resin หรือ Adsorbent เช่น Styrene Divinyl Benzene Resin และ Phenol Formaldehyde Resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 ถึง 500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) แต่มีข้อดีกว่าคือ สามารถฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ได้ง่าย และรีเจนเนอเรชั่น มักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น เกลือแกง สำหรับในประเทศไทยการใช้เรซินดูดติดผิวมีความเหมาะสมกว่าการใช้ผงถ่านกัมมันต์ เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องการฟื้นฟูสภาพ

2. เปลือกไข่

2.1 ส่วนประกอบของเปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นส่วนประกอบสำคัญของไข่ของสัตว์ปีกต่างๆ รวมไปถึงเป็ดและไก่ ซึ่งสุวรรณ(2522) ได้แสดงโครงสร้างของไข่ทั้งฟองและสัดส่วนต่างๆ ได้แก่ ไข่ขาว ไข่แดง เปลือกไข่ ซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกันในทุกๆ ฟองดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบสำคัญของไข่ของสัตว์ปีกต่างๆ

ชนิด	น้ำหนัก (g)	ไข่ขาว (%)	ไข่แดง (%)	เปลือกไข่ (%)
ไข่ห่าน	200	52.5	35.1	12.4
ไข่เป็ด	80	52.6	35.4	12.0
ไข่ไก่	68	55.8	21.9	12.3
ไข่นกพิราบ	17	74.0	17.9	8.1

ที่มา : สุวรรณ (2522)

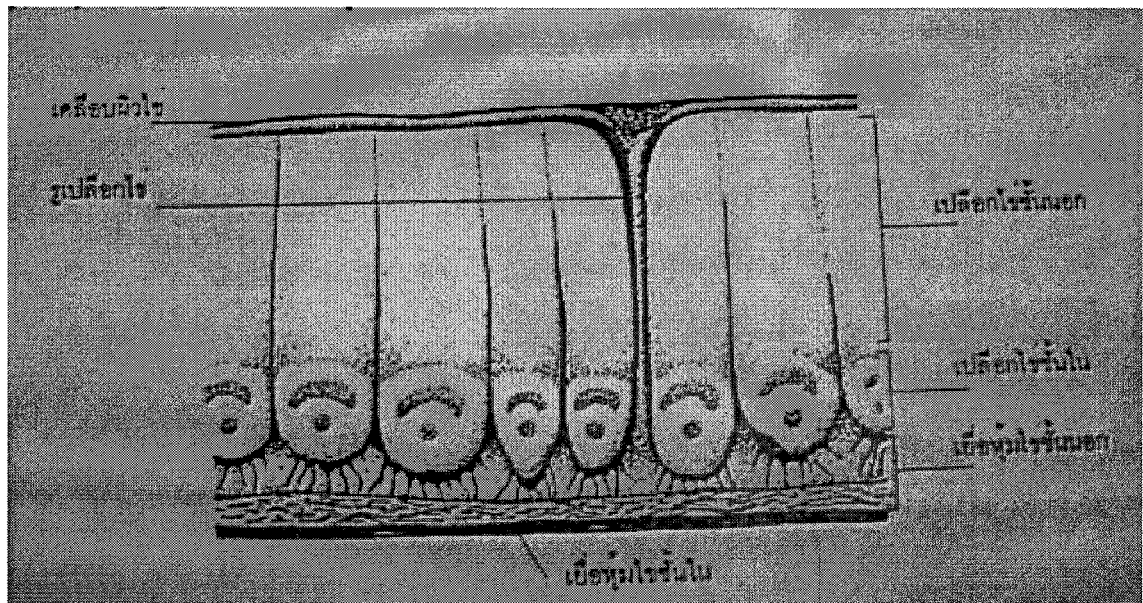
อาจประมาณได้ว่าไข่ฟองหนึ่งๆ จะมีสัดส่วนของเปลือกไข่ร้อยละ 12-13 % ของน้ำหนักเปลือกร้อยละ 9-11 % สำหรับน้ำหนักแห้ง (Stadelman ; 1995)

เปลือกไข่มีหน้าที่รับน้ำหนักกดทับจากตัวแม่ไก่หรือแม่เป็ดขณะกกไข่ มีความบางพอให้ลูกไก่สามารถเจาะผ่านจากเปลือกได้ ต้องมีความโปร่งพอที่จะให้ลูกไก่ได้อากาศหายใจและหนาวพอที่จะป้องกันจุลินทรีย์ไม่ให้เข้าไปในเปลือกไข่ได้ ไข่ที่ออกมาใหม่ๆ เปลือกไข่จะค่อนข้างโปร่งแสง ต่อมาจะค่อยๆ ขุ่นและทึบแสงลง ถ้าใช้เครื่องส่องไข่ดูจะเห็นมีลักษณะตามที่แสงผ่านเป็นจุดเล็กๆ ในบริเวณใต้เปลือกทั้งนี้เนื่องมาจากการรวมตัวของโปรตีนจนเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยเก็บรักษาความชื้นและยังเป็นส่วนที่แสงส่องผ่านได้สะดวกกว่าส่วนอื่น (สุวรรณ ; 2522)

2.2 โครงสร้างของเปลือกไข่

เปลือกไข่มีลักษณะโค้งติดกับเยื่อหุ้มไข่และโค้งลดหลั่นกันเป็นรัศมี (radial) จากศูนย์กลางด้วยการเรียงตัวของเปลือกธาตุปูน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวก พวกหนึ่งเป็นอินทรีย์สารทำ

หน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์ (Organicmatrix) เป็นโปรตีนแบบเดียวกับพังผืดกระดูก (Collagen-link) ที่ประสานโครงสร้างยึดกันประมาณ 1/5 ของโครงสร้างเปลือกไข่พวกที่สองเป็นส่วนประกอบของ อนินทรีย์สารต่างๆ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตมีอยู่มากที่ด้านนอกเคลือบคลุมเป็นเนื้อพื้น (matrix) ของเปลือก (สุวรรณ; 2522)



ภาพที่ 2.8 แสดงเปลือกไข่ผ่าตามด้านข้าง

ที่มา : Tullett ; 1985

2.3 ส่วนประกอบของเปลือกไข่ สามารถแบ่งเป็นชั้นต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) เคลือบผิวไข่ (Cuticle) ประกอบด้วยโปรตีนเป็นหลักเคลือบอยู่บนผิวด้านนอกของเปลือกไข่ทั้งหมดมีความหนาประมาณ 10 ไมครอน (Okubo และคณะ; 1997) มีหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ ความชื้น การผ่านเข้าไปในไข่ของเชื้อจุลินทรีย์ และมีคุณสมบัติให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้เคลือบผิวไข่สามารถหลุดได้ง่ายโดยการล้างน้ำหรือแช่ในสารละลายกรด

2) รูเปลือกไข่ (pore) เป็นรูเปิดบริเวณผิวเปลือกไข่มีลักษณะเป็นรูปร่างต่างๆ เชื่อมโยงจากภายนอกผิวไข่เข้าไปต่อเชื่อมกับช่องอากาศที่เปลือกชั้นใน (mammillary layer) ขนาดของรูเปลือกไข่มีตั้งแต่ 10-30 ไมครอน โดยธรรมชาติที่เปลือกไข่จะมีอยู่ประมาณ 7,500 รูต่อเปลือกไข่หนึ่งฟอง

พบว่าไข่เป็ดมีจำนวนรูต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าไข่ไก่ (สุวรรณ; 2522) Okubo และคณะ (1997) รายงานว่าไข่ไก่มีรูอยู่ประมาณ 10,000 รูต่อเปลือกไข่หนึ่งฟอง

3) เปลือกชั้นนอก (Spongy layer) เปลือกไข่ชั้นนอกมีความหนา 2 ใน 3 ของเปลือกไข่ ทั้งหมดอยู่ติดกับเปลือกชั้นในประกอบด้วยผลึกแคลไซต์เล็กๆ ผูกกันแน่นเป็นหลักและจะมีผลึกแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบรองลงมา เปลือกไข่ชั้นนอกนี้จะให้ความเป็นรูปทรงและความแข็งแรงแก่เปลือกไข่ โดยความหนาแน่นและแข็งแรงจะมีมากที่ผิวด้านนอกเพราะมีลักษณะเป็นผลึกอยู่แน่นนอกจากนี้รูเล็กๆ จำนวนมากเชื่อมโยงจากเปลือกไข่ชั้นในมาปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่แข็งแรงมากอยู่ด้วย

4) เปลือกไข่ชั้นใน (Mammillary layer) เป็นชั้นที่บางของเปลือกคือ 1/3 ของความหนาของเปลือกไข่ อยู่ติดกับเยื่อไข่หุ้มชั้นนอก ประกอบด้วยปุ่มพื้นหยาบๆ จำนวนมาก (Mammillae) ปุ่มเหล่านี้ผืนเป็นชั้นเดียวอยู่ชิดเยื่อหุ้มไข่ชั้นในเป็นทางผ่านของอากาศให้กระจายไปทั่วเปลือกชั้นนี้ ปุ่มพื้นประกอบไปด้วยเกลือแร่ที่ไม่เป็นผลึกกระจายอยู่รอบผิวพื้นโปรตีนของเปลือก (granular matrix material)

5) เยื่อหุ้มไข่ (Membrane) เยื่อหุ้มไข่ประกอบไปด้วยเส้นใยทอประสานกันเป็นตาข่ายจำนวนมากแบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่ เยื่อชั้นในล้อมรอบไข่ขาวส่วนนอก และ เยื่อชั้นนอกอยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือกที่ด้านป้านของเปลือกไข่เนื้อเยื่อทั้งสองแยกออกจากกันเป็นช่องอากาศของไข่ความหนาของชั้นเยื่อหุ้มไข่ทั้งหมดประมาณ 0.07-0.11 mm (Veenman และ Zoneew ; 1996)



ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเยื่อหุ้มไข่ไก่

ที่มา : Okubo et al.; 1997

Stadelman และ Cotterill (1997) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ว่ามี แคลเซียมคาร์บอเนต 94% แคลเซียมฟอสเฟต 1% แมกนีเซียมฟอสเฟต 1% และเป็นอินทรีย์วัตถุ อื่นๆ 4 % นอกจากนี้ สุวรรณ (2519) ได้แสดงองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของเปลือกไข่ ได้แก่ องค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำ ร้อยละ 1.6 และองค์ประกอบที่เป็นวัตถุแห้ง ร้อยละ 98.4 ซึ่ง องค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในเปลือกไข่แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบต่างๆ ของเปลือกไข่

ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ(%)	หมายเหตุ
1. น้ำ	1.6	
2. วัตถุแห้ง	98.4	- อินทรีย์วัตถุ 3.3 % เกือบ ทั้งหมดเป็น โปรตีน มีไลปิด น้อยมาก -อนินทรีย์วัตถุ 95.1 %
รวม	100	

ที่มา : Stadelman และ Cotterill (1997)

2.4 คุณสมบัติทางกายภาพ

ฉัตรสินี สุรเสน (2545) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่และไข่ เป็ด ได้แก่พื้นที่ผิวจำเพาะ ความหนาแน่น ขนาดรูเปลือกไข่ และลักษณะเยื่อเปลือกไข่ พบว่าเปลือก ไข่เป็ดมีพื้นที่ผิว และพื้นที่จำเพาะ สูงกว่าไข่ไก่ แต่เปลือกไข่ไก่นั้นมีความหนาแน่นสูงกว่า เปลือกไข่เป็ด รวมทั้งขนาดของรูเปลือกไข่ไก่นั้นมีขนาดใหญ่กว่ารูเปลือกไข่เป็ด โดยแสดงผลใน ตารางที่ 2.5

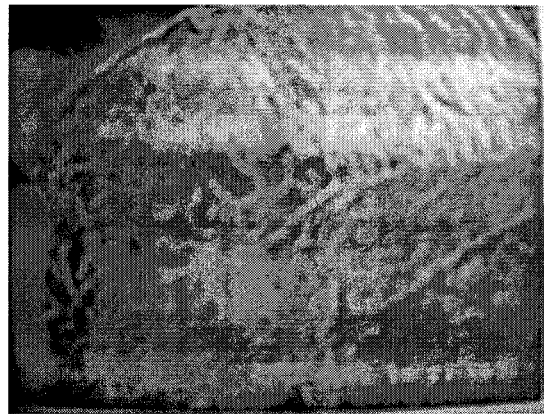
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกไข่

คุณสมบัติเปลือกไข่	หน่วย	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1. พื้นที่ผิว (Surface Area)	m ²	0.2302	0.7665
2. พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area)	m ² /g	0.2283	0.7362
3. ความหนาแน่น (Density)	g/cm ³	2.3515	1.9136
4. ขนาดรูเปลือกไข่ (Pore Size)	Å ^o	64,700	11,000

ที่มา : ฉัตรสินี สุรเสน (2545)



(ก)



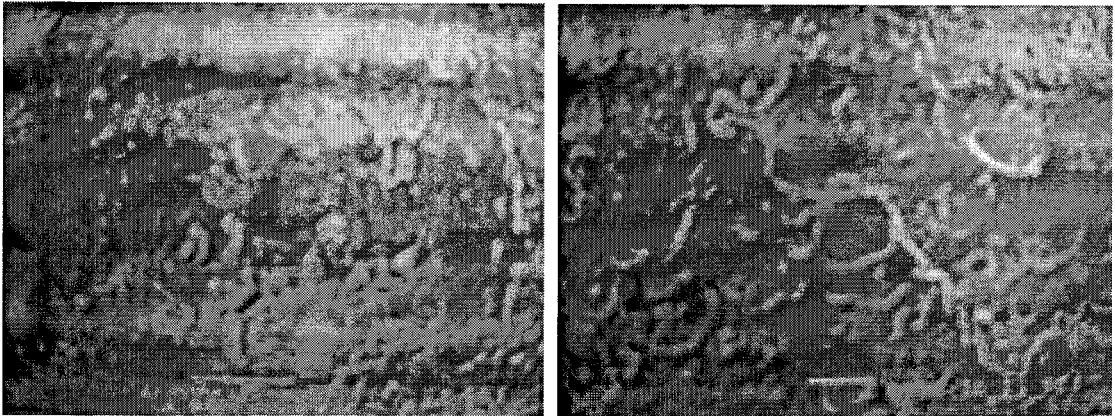
(ข)

ภาพที่ 2.10 เปลือกไข่ผ่าด้านข้าง

(ก) เปลือกไข่ไก่ กำลังขยาย 160 เท่า

(ข) เปลือกไข่เป็ด กำลังขยาย 350 เท่า

ที่มา : ฉัตรสินี สุรเสน (2545)



(ก)

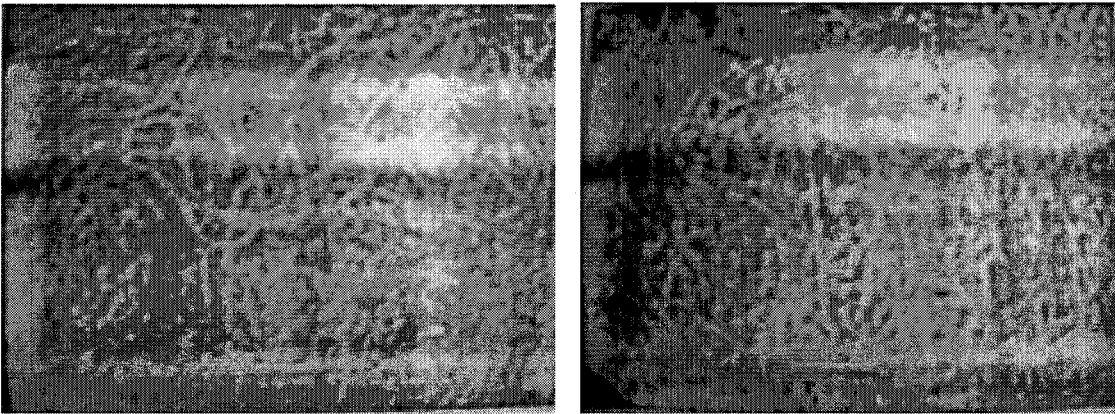
(ข)

ภาพที่ 2.11 รูเปลือกไข่

(ก) เปลือกไข่ไก่ กำลังขยาย 2,300 เท่า

(ข) เปลือกไข่เป็ด กำลังขยาย 14,000 เท่า

ที่มา : ฉัตรสินี สุรเสน (2545)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 2.12 เยื่อเปลือกไข่

(ก) เปลือกไข่ไก่ กำลังขยาย 370 เท่า

(ข) เปลือกไข่เป็ด กำลังขยาย 650 เท่า

ที่มา : ฉัตรสินี สุรเสน (2545)

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

จากการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกไข่ทางเคมี (ฉัตรสินี สุรเสน ; 2545) โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction Analysis) พบว่าองค์ประกอบหลักที่มีอยู่เกือบทั้งหมดในเปลือกไข่ ทั้งเปลือกไข่เป็ดและเปลือกไข่ไก่ คือ ผลึกแคลเซียม (แคลเซียมคาร์บอเนต) ที่มีรูปร่างผลึกแบบ Hexagonal และจากการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมและไนโตรเจนโดยแสดงผลในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

องค์ประกอบของเปลือกไข่	หน่วย	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
1. แคลเซียม	%w/w	34.50	41.45
2. ไนโตรเจน	%w/w	0.349	0.438

ที่มา : ฉัตรสินี สุรเสน (2545)

จากตารางจะพบว่า เปลือกไข่ไก้มีแคลเซียมอยู่ 34.5 % คิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ 86.25 % ส่วนเปลือกไข่เป็ดมีแคลเซียมอยู่ 41.45 % คิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ 96 % และยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งมีในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ แมกนีเซียม สตรอนเชียม โซเดียม และแมงกานีส ทำให้สรุปได้ว่าเปลือกไข่จะมีผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก

3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประภฤต เลิศจรธอร่ามดี (2539) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของโลหะหนักน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าว ขึ้นอยู่กับชนิดของ ไอออนโลหะหนัก ความเข้มข้นของโลหะหนัก พีเอชของน้ำเสีย ชนิดของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ปริมาณของวัสดุที่ใช้ และเวลาที่วัสดุดังกล่าวสัมผัสกับน้ำเสีย การหาปริมาณของไอออนของโลหะที่เหลือจากการกำจัดของขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าวจะใช้วิธีการไตเตรตกับอิตีทีเอ ผลจากการกำจัดไอออนของตะกั่ว และไอออนของปรอท ด้วยขี้เถ้า ฟางข้าว และมะพร้าว ซึ่งเป็นการศึกษาที่ละเท พบว่า ขุยมะพร้าวมีความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณ 0.20 กรัม ความสามารถในการกำจัดไอออนของตะกั่ว และไอออนของปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถกำจัดได้ 80 % และ 78% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขี้เถ้า และฟางข้าว พบว่า ขุยมะพร้าวจะมีความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าขี้เถ้า และข้าวฟ่าง สำหรับน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 0.3-0.7 ส่วนในล้านส่วนพบว่าขี้เถ้า ฟางข้าว และมะพร้าวสามารถกำจัดไอออนของตะกั่วได้เกือบ 100 %

ฉัตรสินี สุรเสน (2545) ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเปลือกไข่ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดแคดเมียม ได้แก่ ระดับ pH ขนาดของเศษเปลือกไข่ อัตราการกรอง ชนิดของเปลือกไข่ ความสูงของสารกรอง และความเข้มข้นของแคดเมียมเริ่มต้น โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องได้ใช้แบบจำลองอะคริลิกใสทรงกระบอก

จากการศึกษาพบว่า ช่วง pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกไข่เปิดคือ ช่วง 4-6 และ 5-6 ตามลำดับ ขนาดของเปลือกไข่ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมคือ 0.300-0.850 มม. และอัตราการกรองที่เหมาะสมคือ 1.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ชนิดของเปลือกไข่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ เปลือกไข่ไก่ โดยเปลือกไข่ไก่ และเปิดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 89.85% และ 73.62% ตามลำดับ เมื่อความสูงของชั้นกรองเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะสูงขึ้น ซึ่งที่ความสูง 50 ซม. มีประสิทธิภาพสูงกว่า 20 ซม. และประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจะลดลงเมื่อความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมดีที่สุดเมื่อใช้เปลือกไข่ไก่ความสูง 50 ซม. และความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 5 มก./ล. เปลือกไข่ไก่จะมีอายุการใช้งาน 24 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพเฉลี่ยมากกว่า 99.99% ส่วนค่าใช้จ่ายในการนำเปลือกไข่ไก่กำจัดแคดเมียม คือ 3.43 บาท ต่อการกำจัดแคดเมียม 1 กรัม และเปลือกไข่ 1 กรัม สามารถกำจัดแคดเมียมได้ 0.15 มิลลิกรัม นับว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่จะพัฒนา

เปลือกไข่ไก่เป็นสารกรองในการกำจัดแคดเมียม

สังข์ เวสารัชตระกูล (2540) ได้ศึกษาถึงการลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ ผักตบชวาที่ปรับสภาพ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Study) นำผักตบชวามาปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์และกรดซัลฟูริก บรรจุลงในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ให้มีระดับความสูงเป็น 30 และ 60 เซนติเมตร แต่ละระดับความสูงของชั้นผักตบชวาจะใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ที่ยังไม่ผ่านการบำบัดทางเคมี โดยปล่อยให้ตกตะกอนเองตามธรรมชาติ 2 วัน นำมาปรับพีเอช 5-6 ไหลผ่านชั้นผักตบชวาคด้วยอัตรา 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร/นาที เก็บตัวอย่างน้ำทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่เหลือ

จากการศึกษาพบว่า ผักตบที่ปรับสภาพแล้วสามารถลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียได้โดย ประสิทธิภาพการลดปริมาณตะกั่วขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเสียและระดับความสูงของชั้น ผักตบชวาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อให้น้ำมีอัตราการไหล 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร/นาทีที่ ระดับความสูงของชั้นผักตบชวา 30 เซนติเมตร ประสิทธิภาพเฉลี่ย 95.29%, 95.03% และ 94.62% ตามลำดับ และเมื่อใช้ระดับความสูงชั้นของผักตบชวาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพก็จะเพิ่มด้วย ประสิทธิภาพสูงสุด 98.81% ที่ระดับความสูง 60 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตร/นาทีและ ประสิทธิภาพต่ำสุด 93.08% ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร ที่อัตราการไหล 30 มิลลิลิตร/นาที

นัยนา หาญวิโรคม (2536) ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณตะกั่วในน้ำโดย เส้นผม ที่สภาวะต่างๆ กัน คือ ระดับพีเอช อัตราส่วนเส้นผม ระยะเวลาในการดูดซับ และความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.8 ที่ระดับ pH 7 อัตราส่วนเส้นผมต่อน้ำ 1:25 ระยะเวลาดูดซับ 240 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของปริมาณตะกั่วเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

สุชาติ นุกูล (2548) ทำการศึกษาเส้นใยสับปะรด 3 แบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นเส้นใย สับปะรดที่ไม่มีการปรับสภาพทางเคมี และแบบที่มีการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 37 และกรดซัลฟูริก 0.2 นอร์มัล และแบบที่สามเป็นเปลือกสับปะรดที่มีการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 โมลาร์ และกรดไนตริก 2 โมลาร์ รูปแบบการทดลองเป็นแบบที่ละชุด การศึกษาเป็นแบบที่ละชุด การศึกษาแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นแรก

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเส้นใยจากเปลือกสับประรดทั้ง 3 แบบ เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั้นที่สอง เป็นการศึกษาประสิทธิภาพที่ระดับความเป็นกรดต่าง และระยะเวลาสัมผัสต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่วของเส้นใยสับประรดทั้ง 3 แบบ

จากการศึกษาพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของเส้นใยทั้ง 3 แบบ สำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสีย คือ ปริมาณ 125 กรัมต่อลิตร รูปแบบของไอโซเทอมมีความใกล้เคียงกับสมการของแลงเมียร์ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 สภาวะที่เหมาะสมของเส้นใยสับประรดทั้ง 3 แบบในการกำจัดตะกั่วคือ ระดับความเป็นกรดต่าง 6 และระยะเวลาการสัมผัส 30 นาที ในการกำจัดตะกั่วของเส้นใยสับประรด แบบที่สามให้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ ร้อยละ 59.29 ขณะที่แบบที่สองและแบบที่หนึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 56.25 และ 49.24 ตามลำดับ

อรัญ ขวัญปาน (2547) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด ตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาลูกตาลโตนดการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนการทดลอง ขั้นตอนหนึ่งเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาลูกตาลโตนด (Endocarp) ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ขั้นตอนที่สอง ทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Experiment) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วได้แก่ พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณถ่านกัมมันต์ เพื่อ ทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนดลิกซ์และขั้นตอนที่สาม การทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Experiment) โดยใช้ถังดูดซับแบบแท่งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ผลการวิจัยพบว่า ในขั้นตอนที่หนึ่ง อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเผากระตุ้นคือ 800 องศาเซลเซียสอัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นที่เหมาะสมคือ 1:1 ได้ค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 711.463 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ และพื้นที่ผิวเท่ากับ 905 ตารางเมตรต่อกรัม ขั้นตอนที่สอง การดูดซับสูงขึ้นเมื่อ พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นตั้งแต่พีเอช 2 ถึง พีเอช 9 และตั้งแต่พีเอช 4 ขึ้นไปพบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่า 90% ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการดูดซับของถ่านกัมมันต์ร่วมกับการตกตะกอนของตะกั่ว ผลของเวลาสัมผัสพบว่าสมดุลของการดูดซับสำหรับถ่านกัมมันต์ คือ 10 นาทีผลของการหาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนดลิกซ์ แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับ 8.5 มิลลิกรัม ของตะกั่วต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ใน

ชั้นตอนที่สาม ความสูงของชั้นถ่าน 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถกำจัดตะกั่วได้ 10, 6.26, 5.42 และ 5 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ

ทิพวรรณ เจริญจิรภัทร์ ยลสรวง อานันธิโก (2540) ได้ศึกษาสภาวะในการกำจัด โลหะหนักซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม ในน้ำทิ้งด้วยกระบวนการเพอร์ไรต์ การทดลอง จะแสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว ประสิทธิภาพการกำจัด และการยืนยันความเป็น แม่เหล็กของตะกอนเพอร์ไรต์

จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งเทียมที่เตรียมขึ้นคือ pH 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดแคดเมียม คือ pH 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดโครเมียม คือ pH 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม พร้อมกันคือ pH 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัด ได้ถึง 99.87 %, 99.97% และ 100 % ตามลำดับ ส่วน ตะกอนที่ได้จากกระบวนการกำจัดโลหะ โดยวิธีนี้ได้สารประกอบหลัก คือ แมกนีไตต์ เมื่อนำ สภาวะที่หาได้จากน้ำทิ้งเทียม ขึ้นมาทดลองกับน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม อยู่ในช่วง 96.51-99.65 %, 97.32-99.10 % และ 100 % ตามลำดับ ตะกอนที่ได้ คือ ตะกอนแมกนีไตต์ ตะกอนที่ได้จากการบำบัดกระบวนการนี้ มีคุณสมบัติดูดกลิ่น ไมโครเวฟ จึงสามารถเป็นตัวป้องกันการรบกวนของกลิ่นในอุปกรณ์สื่อสาร

ศราวุธ แก้วกล้า (2538) ได้ทำการศึกษาค่า pH และตะกอนโลหะหนักของน้ำทิ้งจาก ห้องปฏิบัติการเคมี และการติดตั้งเครื่องกวนในบ่อปรับ pH ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ โดย ศึกษาค่าคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่มาจากห้องปฏิบัติการเคมี ทั้งก่อนการบำบัดและหลังบำบัด โดยทำ การหาค่าลักษณะของน้ำทิ้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (DS) ค่า pH ค่า COD ค่าอ็อกซิเจน โลหะหนักซึ่งได้แก่ แคดเมียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี นิเกิล ตะกั่ว อีกทั้งทำการติดตั้งปั๊ม NaOH ลงในถังปฏิกริยา ปั๊มเติม HCl ลงในบ่อปรับ pH และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องกวนทั้ง 2 แห่ง เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งของภาควิชาให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดยิ่งขึ้น

จากการศึกษาพบว่า ค่า pH ที่เหมาะสมกับการตกตะกอนของอ็อกซิเจน โลหะหนักใน ระบบบำบัดน้ำทิ้ง คือ ที่ประมาณ pH 10.5

นริศรา โพธิ์มูล (2522) ได้ศึกษาถึงการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ โดยในขั้นแรกจะศึกษาปัจจัยพื้นฐานที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ค่าพีเอช ความสูงของถ่านกัมมันต์และอัตราการกรอง จากนั้นนำปัจจัยที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ในการทดลองใช้แบบจำลองพลาสติกใสทรงกระบอก บรรจุถ่านกัมมันต์สูง 30 และ 60 เซนติเมตร ความเข้มข้นของตะกั่วออกไซด์ 10 มิลลิกรัม/ลิตร และใช้อัตราการกรอง 0.4 ,0.6 และ 0.8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการลดปริมาณตะกั่วได้ดีที่ค่าพีเอช 3 ความสูงของถ่านกัมมันต์ 60 ซม. และอัตราการกรอง 0.4 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม โดยถ่านกัมมันต์มีอายุ 8 ชม.และประสิทธิภาพในการลดปริมาณตะกั่วเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 99.85 ส่วนผลการศึกษาเกี่ยวกับน้ำเสียจริงที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 9.583 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 4 ความสูงของถ่านกัมมันต์ 60 ซม. และอัตราการกรอง 0.4 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม สามารถลดปริมาณตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ได้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และพบว่าต้นทุนในการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ประมาณ 4.39 บาทต่อปริมาตรน้ำเสีย 1 ลิตรหรือเท่ากับ 458.39 บาทต่อปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัด 1 กรัม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 38.61 กิโลกรัม (ถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัมสามารถลดปริมาณตะกั่วได้ 25.95 มิลลิกรัม)

Suyama (1994) กล่าวว่าเยื่อของเปลือกไข่มีลักษณะเป็น โครงตาข่าย มีความเสถียร และเป็นใยที่ไม่ละลายน้ำ รวมถึงการมีพื้นที่ผิวมาก เยื่อเปลือกไข่สามารถสะสมและกำจัดไอออนของโลหะหนักจากสารละลายเจือจาง ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักขึ้นอยู่กับ พีเอช และลักษณะเฉพาะของสารละลายนั้นสำหรับโลหะที่มีค่า เช่น ทอง (Au) แพททินัม (Pt) และพาลาเดียม (Pd) จะมีการสะสมในเยื่อเปลือกไข่ในอัตราร้อยละ 55, 25 และ 22 ตามลำดับ ต่อน้ำหนักแห้งของเยื่อเปลือกไข่ ซึ่งการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการกำจัด การแยก และการควบคุมมลพิษทางน้ำได้

Kuh (2000) ได้ศึกษาการลดปริมาณแคดเมียม โดยใช้เปลือกไข่ด้วยวิธีการทดลองแบบทีละเท (Batch) การดูดซับขึ้นอยู่กับ ขนาดและปริมาณเปลือกไข่ ความเข้มข้นของแคดเมียมตั้งต้น พีเอช อุณหภูมิในการเตรียมเปลือกไข่ เวลา และอุณหภูมิ พบว่าอัตราการดูดซับ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกไข่ ระยะเวลาสัมผัส อุณหภูมิ และพีเอช

Bhargava et al. (1985) ได้ศึกษาการวิจัยทำการ โดยใช้ขี้เลื่อย ในการกำจัดโครเมียม ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งลอยอยู่ในน้ำเสีย การวิจัยนี้เลือกใช้ Batch Experiment โดยทำการแปรค่าตัวแปรดังนี้ ความเข้มข้นของน้ำเสีย 1, 5, 10, 25 และ 50 มก./ล. ขี้เลื่อยที่ใช้มีขนาด 0.42-1.0 มม. ปริมาณที่ใช้คือ 1, 5, 10, 25 และ 50 กรัม ใช้ความเร็วในการกวน 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ 5, 30, 60, 180 และ 360 นาที ทำการกรองเพื่อแยกขี้เลื่อยออก แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่มีความเข้มข้น 1-5 มก./ล. โครเมียมและตะกั่วถูกกำจัดได้ประมาณ 90-99.9 % และ 80-98.5 % ตามลำดับ เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้น 10-50 มก./ล. โครเมียมถูกกำจัดได้ประมาณ 55-75 % ตะกั่วถูกกำจัดได้ประมาณ 6-30 % และแคดเมียมถูกกำจัดได้สูงเพียง 9 % เท่านั้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย ปริมาณขี้เลื่อยและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

Tan WT, and Khan RM. (1988) ได้ศึกษาการใช้กากใบชาในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ใบชาที่นำมาใช้ในการวิจัย เป็นใบชาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปทางการเกษตร นำมาคัดขนาด 60-80 เมช นำไปต้ม ในน้ำร้อน 10 นาที แล้วนำไปแช่ HNO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 2 ชม. แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. ทำการทดลองแบบทีละเท โดยปริมาณกากใบชา 0-40 มิลลิกรัม/ลิตร กับน้ำเสียในความเข้มข้นต่าง ๆ และระดับพีเอชต่าง ๆ กัน เขย่านาน 4 ชม. จากนั้นนำไปกรอง แล้ววิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีที่เหลือ ส่วนการทดลองแบบ Column Method บรรจุกากใบชา 1.87 กรัม โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียค่าต่างๆ ที่อัตราการไหลต่างๆ กัน

จากการศึกษาพบ 1) การทดลองแบบทีละเท พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากใบชาสามารถกำจัดโลหะทั้งสามได้มากขึ้น และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่า พีเอช 6 และค่าประสิทธิภาพในการดูดซับ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี คือ 0.38, 0.28 และ 0.18 มิลลิโมล/กรัมของใบชาตามลำดับ 2) การทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าโลหะหนักทั้งสามเมื่อมีความเข้มข้น ในน้ำเสียเท่ากับ 100 มก./ล. ในปริมาณน้ำเสีย 100 มล. จะถูกกำจัดได้เกือบ 100% เมื่อใบชา 1.87 กรัม ที่ระดับพีเอชเท่ากับ 6 และพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราไหล ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักทั้งสามจะลดลง

Okieimen F.E. , Onyenikpa V.U. (1989) ได้ศึกษาการใช้เปลือกเมล็ดแตงโมกำจัด ตะกั่วในน้ำเสีย โดยทำการใช้ Column Method ทดสอบการกำจัดตะกั่วด้วยเปลือกเมล็ดแตงโมที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทางเคมี และเปลือกเมล็ดแตงโมที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี โดยใช้

Column ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. ยาว 35 ซม. ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย 1มล. /นาที ความเข้มข้น 100 มก. /ล. และแปรผันปริมาตรของน้ำเสียที่ใช้ 50 , 100 , 400 , 800 และ 1000 มล จากการศึกษาพบว่าเปลือกเมล็ดแตงโมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีสามารถกำจัด ตะกั่วได้มากกว่าเปลือกเมล็ดแตงโมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี และสามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 62.92%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ ค่าพีเอชเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว โดยดูจากประสิทธิภาพของเปลือกไข่ที่ใช้เป็นสารดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย ซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study) ในห้องปฏิบัติการที่สภาวะแตกต่างกันคือ ค่าพีเอช โดยระยะเวลาในการสัมผัสเท่ากัน

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 เปลือกไข่ไก่ โดยการนำเปลือกไข่ไก่ มาล้างทำความสะอาดและทำการลอกเนื้อเยื่อออกจากนั้นผ่านกระบวนการอบแห้ง บด ให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh และค้ำอยู่บนตะแกรง 50 Mesh

2.2 เปลือกไข่เป็ด โดยการนำเปลือกไข่เป็ด มาล้างทำความสะอาดและทำการลอกเนื้อเยื่อออกจากนั้นผ่านกระบวนการอบแห้ง บด ให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh และค้ำอยู่บนตะแกรง 50 Mesh

2.3 น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นน้ำเสียที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยมีความเข้มข้นของตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4 จำนวนตัวอย่าง ในขั้นตอนการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำจำนวน $5 \times 2 \times 3 = 30$ ตัวอย่าง

3. ตัวแปรของการวิจัย

3.1 ตัวแปรคงที่ ได้แก่

3.1.1 ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสีย

3.1.2 ระยะเวลาในการสัมผัส

3.1.3 น้ำหนักของเปลือกไข่

3.2 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

3.2.1 ระดับพีเอชในน้ำเสียน้ำ

3.3 ตัวแปรตาม ได้แก่

ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียน้ำหลังจากการทดลอง

4. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ(Laboratory) ของบริษัทกรุงเทพซินธิติกส์ จำกัด ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง
จังหวัดระยอง

5. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

5.1.1 ตู้อบความร้อน(Hot-Air Oven)

5.1.2 ตะแกรงคัดแยกขนาดเบอร์ 20 และเบอร์ 50

5.1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า

5.1.4 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)

5.1.5 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

5.1.6 เครื่องเขย่าผสมสาร (Shaker)

5.1.7 นาฬิกาจับเวลา

5.1.8 ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.2.1 ปิเปต(Pipette) ขนาดต่างๆ

5.2.2 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาดต่างๆ

5.2.3 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)

5.2.4 Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml.

5.2.5 กรวยแก้ว (Funnel)

5.2.6 แ่างแก้ว

5.2.7 กระจกกรองเบอร์ 42

5.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

5.3.1 สารละลายมาตรฐานของตะกั่วความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ($Pb(NO_3)_2$)

5.3.2 สารละลายกรดไนตริก (HNO_3)

5.3.3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$)

5.3.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

5.3.5 เปลือกไข่

5.3.6 น้ำกลั่น

5.3.7 น้ำประปา

6. ขั้นตอนการทดลอง

6.1 การเตรียมเปลือกไข่

6.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

6.3 การศึกษาเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

7. การเตรียมเปลือกไข่

นำเปลือกไข่มาล้างทำความสะอาดแยกเอาเศษเยื่อหุ้มไข่ที่ฉีกขาดออก นำไปบดแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 แต่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 50 เปลือกไข่ที่ได้จะมีขนาดระหว่าง 0.30- 0.85 มิลลิเมตร นำเปลือกไข่มาล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

8. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเริ่มต้นจากใช้ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร ดูดสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ให้เป็น 1,000 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร ทำการเขย่าเพื่อให้สารผสมกันเป็นเนื้อเดียว จากนั้นจึงทำการปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมตามที่ได้ทำการศึกษาไว้

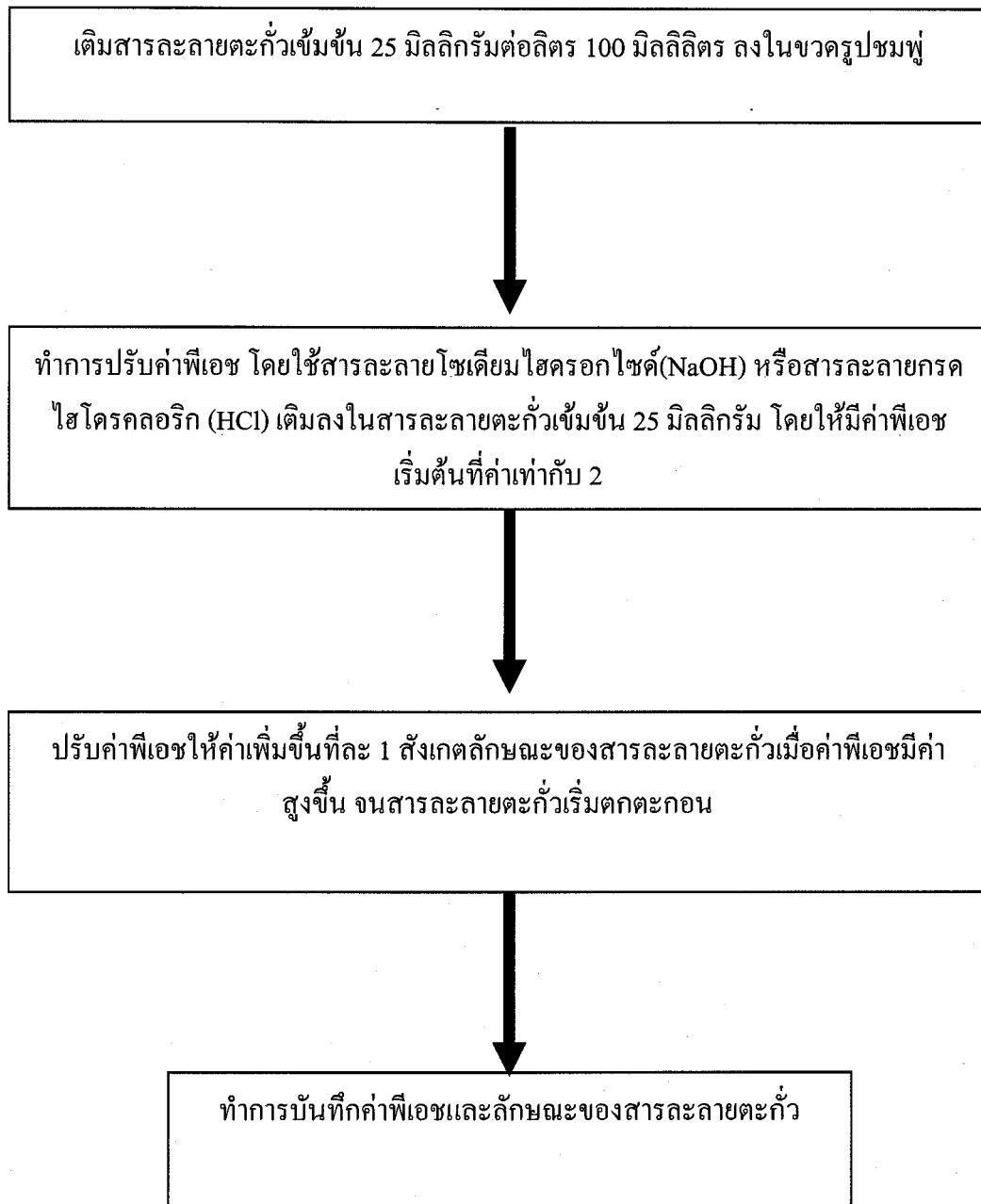
9. แผนการทดลอง

9.1 การศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

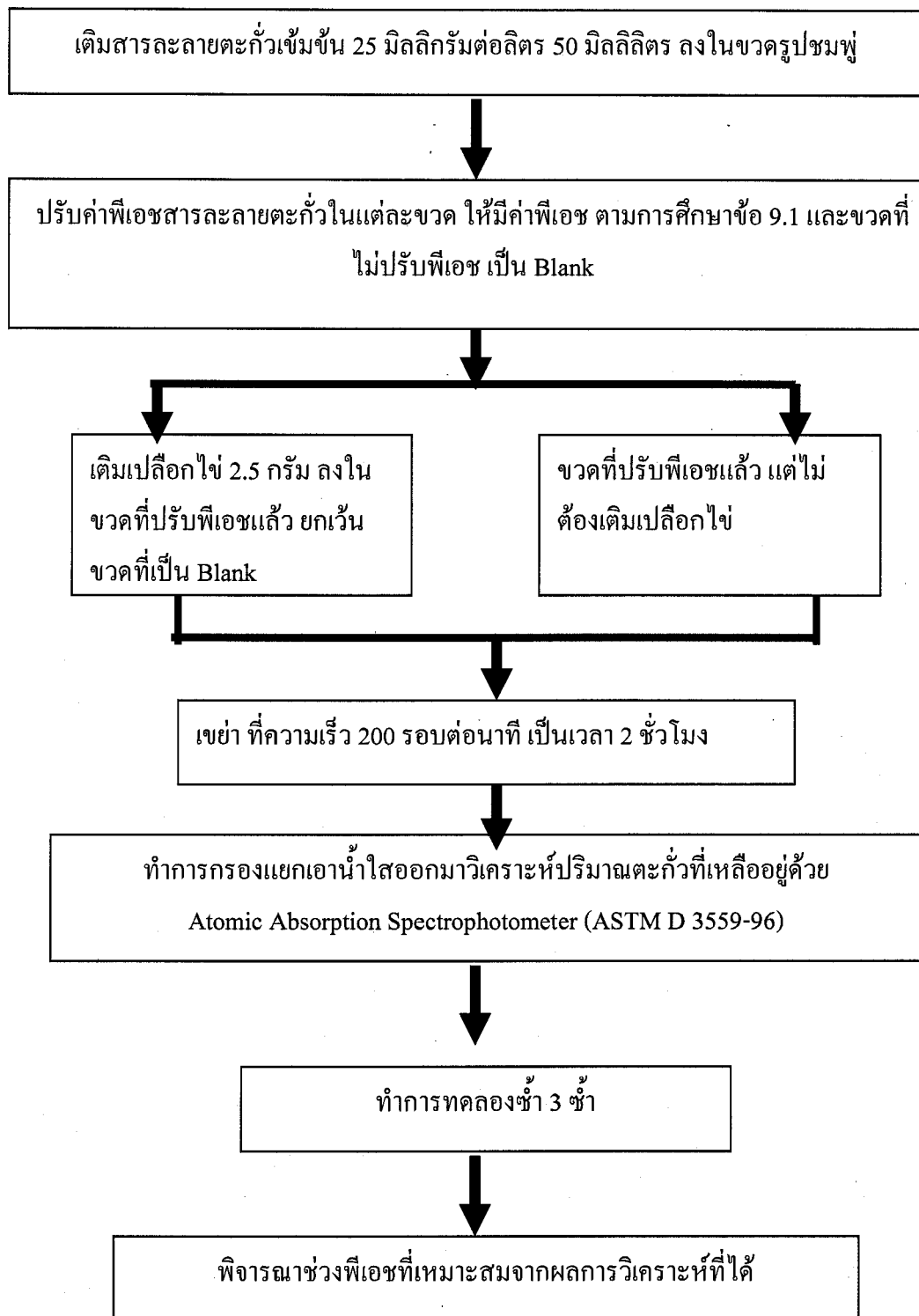
เติมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับค่าพีเอช โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นตัวปรับค่าพีเอช โดยมีค่าพีเอชเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2 และให้ทำการปรับค่าพีเอชเพิ่มขึ้นทีละ 1 และสังเกตลักษณะของสารละลายตะกั่วเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น เพื่อหาค่าพีเอชที่สูงที่สุดที่ทำให้ตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์ไม่ตกตะกอนดังภาพแสดงที่ 3.1

9.2 การศึกษาเพื่อหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

เติมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และทำการปรับค่าพีเอชในขวดต่างๆ ให้มีค่าตามผลการศึกษาข้อที่ 9.1 ขวดที่เหลือเป็น blank (ไม่เติมเปลือกไข่และไม่ปรับค่าพีเอช) ทำการทดลองเปรียบเทียบ เป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ปรับค่าพีเอชไม่เติมเปลือกไข่ เติมเปลือกไข่ไก่ และ เปลือกไข่เป็ด โดยเติมเปลือกไข่ 2.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบที่ได้ปรับพีเอชไว้แล้ว ยกเว้นขวดที่เป็น blank นำทุกขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงแยกเปลือกไข่ออกโดยการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำน้ำที่เหลือมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยทำตามวิธีการทดสอบ ASTM D 3559-96 ทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพจากการกำจัดตะกั่ว ดังภาพแสดงที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการตกตะกอนของสารละลายตะกั่ว



ภาพที่ 3.2 แผนภูมิการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว

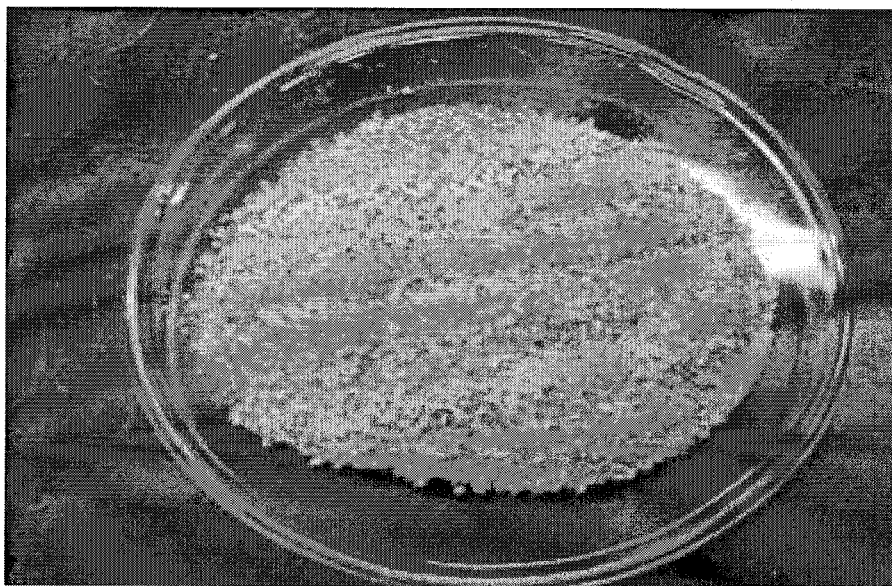
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

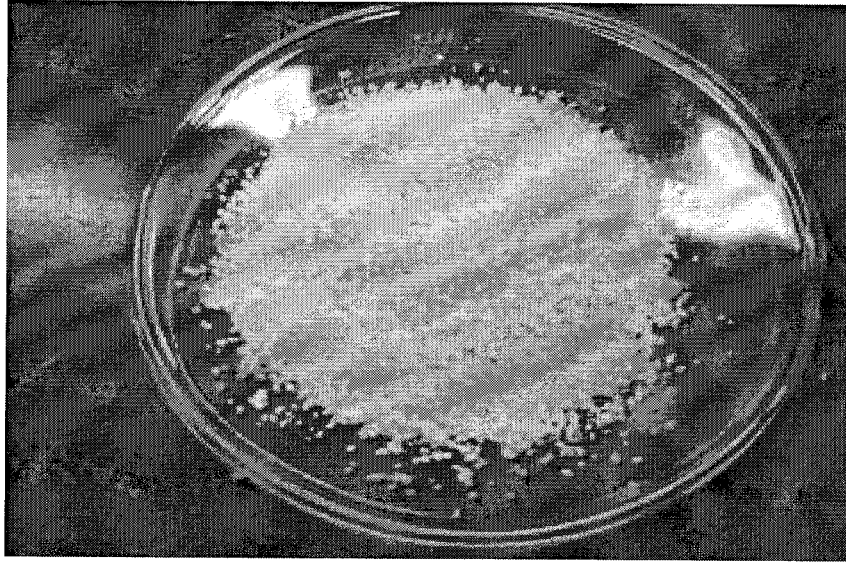
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ของเปลือกไข่ โดยการใช้เปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด ซึ่งในส่วนของ การเตรียมเปลือกไข่ มีรายละเอียดในการเตรียมเปลือกไข่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อที่ 7 และการศึกษาผลของ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วของเปลือกไข่ ผู้ทำการวิจัยได้เสนอผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ในรูปแบบของภาพประกอบ ตาราง และกราฟ ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมเปลือกไข่

การศึกษาในขั้นตอนนี้ จะเป็นการเตรียมเปลือกไข่ ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ คือ ขนาด 0.3-0.85 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะทั่วไปหลังจากทำการร่อนเพื่อเลือกขนาดของเปลือกไข่แล้วจะ ได้ขนาดดังภาพ ที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างของเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการร่อนเลือกขนาดแล้ว



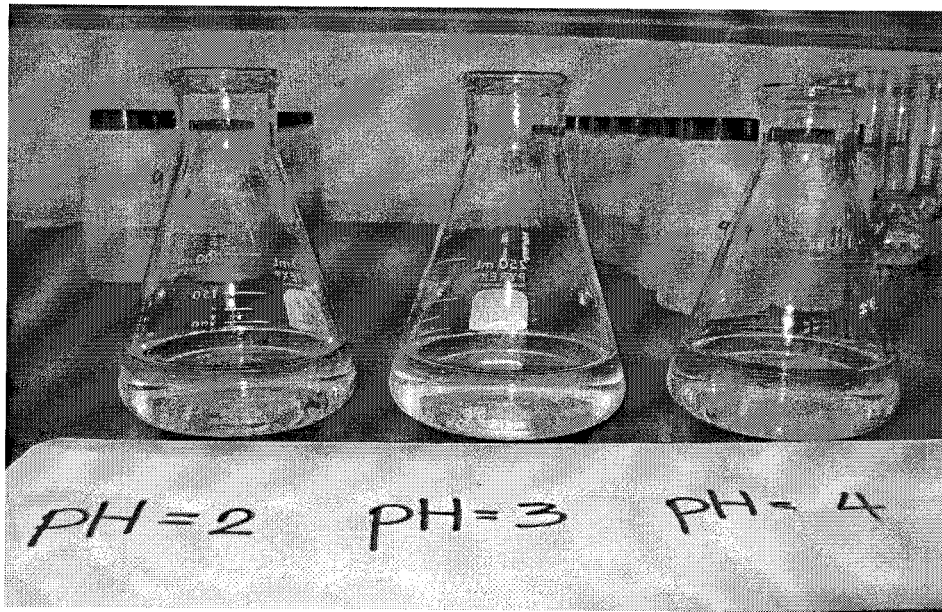
ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างของเปลือกไข่เปิดที่ผ่านการร่อนเล็กลงมาแล้ว

2. การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วที่ละลายในน้ำ

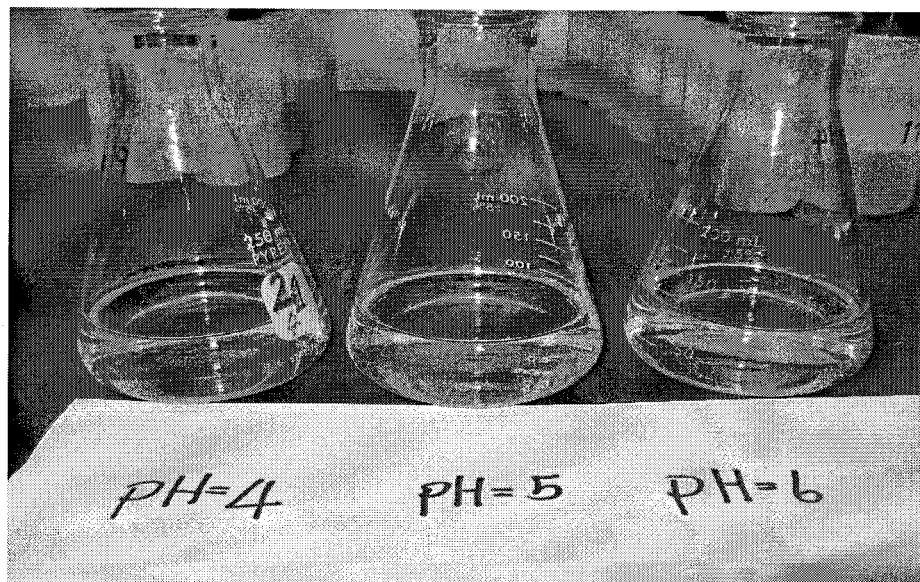
จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น ให้มีปริมาณตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการศึกษาค่าพีเอชต่อการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลของการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1 และตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชแล้วแสดงดังภาพที่ 4.3-4.6

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาค่าพีเอชในการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

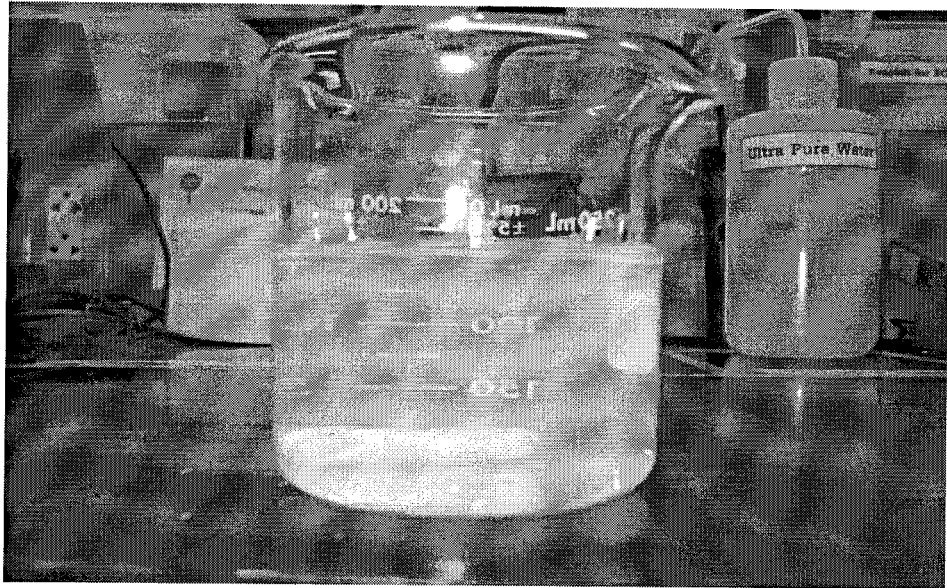
ค่าพีเอชเริ่มต้น	ลักษณะของสารละลาย
2	ใส
3	ใส
4	ใส
5	ใส
6	ใส
6.2	เริ่มตกตะกอน
7	ตกตะกอนสีขาวขุ่น



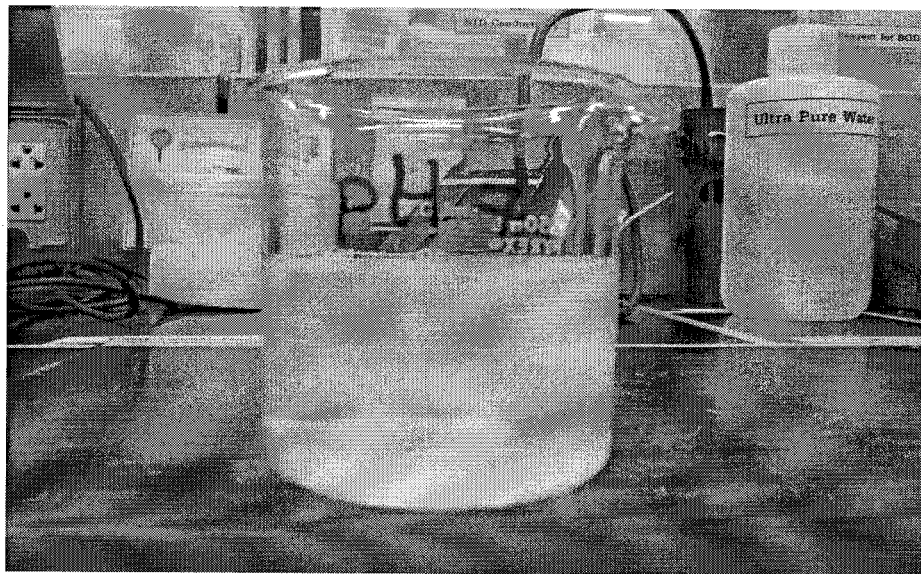
ภาพที่ 4.3 แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 2, 3 และ 4



ภาพที่ 4.4 แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6



ภาพที่ 4.5 แสดงตัวอย่างเมื่อเริ่มตกตะกอนที่ค่าพีเอช 6.2



ภาพที่ 4.6 แสดงตัวอย่างเมื่อทำการปรับค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 7

จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียดังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น ให้มีปริมาณตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วโดยใช้เปลือกไข่ ผลของการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.2 - 4.6 และกราฟแสดงผลของความสัมพันธ์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.7-4.11

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียดังเคราะห์ที่ไม่เติมเปลือกไข่ที่ pH เริ่มต้นต่างๆ

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออก (มก./ล.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	24.29	24.70	24.75
3	24.3	24.39	24.24
4	24.14	24.28	24.27
5	24.00	24.00	23.88
6	20.34	21.10	21.23

หมายเหตุ Blank = 24.58 มก./ล.

หมายเหตุ: ค่า Detection Limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Hitachi Model Z-8200 ซึ่งค่า Detection Limit นี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ppm.

ตาราง ที่ 4.3 แสดงผลการค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกที่ไม่ได้เติมเปลือกไข่และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

pH	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตะกั่วในน้ำออก (มก./ล)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน(S.D.)
2	24.58	0.25
3	24.31	0.08
4	24.23	0.08
5	23.96	0.07
6	20.89	0.48

หมายเหตุ : ค่า Detection Limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Hitachi Model Z-8200 ซึ่งค่า Detection Limit นี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ppm.

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ที่พีเอช เริ่มต้นต่างๆ

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออก (มก./ล.)					
	เปลือกไข่ไก่			เปลือกไข่เป็ด		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	ND	ND	ND	2.01	2.04	1.80
3	0.70	0.79	0.81	2.33	2.15	2.39
4	0.32	0.35	0.30	9.31	9.84	9.68
5	0.14	0.17	0.19	9.47	10.31	10.05
6	0.18	0.15	0.13	9.29	10.07	10.8

หมายเหตุ pH 2, 3 และ 4 Blank = 24.1 มก./ล.

pH 5 และ 6 Blank = 23.92 มก./ล.

หมายเหตุ : ND (Not Detected) หมายถึงปริมาณตะกั่วในตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าค่า Detection Limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Hitachi Model Z-8200 ซึ่งค่า Detection Limit นี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ppm.

ตาราง ที่ 4.5 แสดงผลการค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

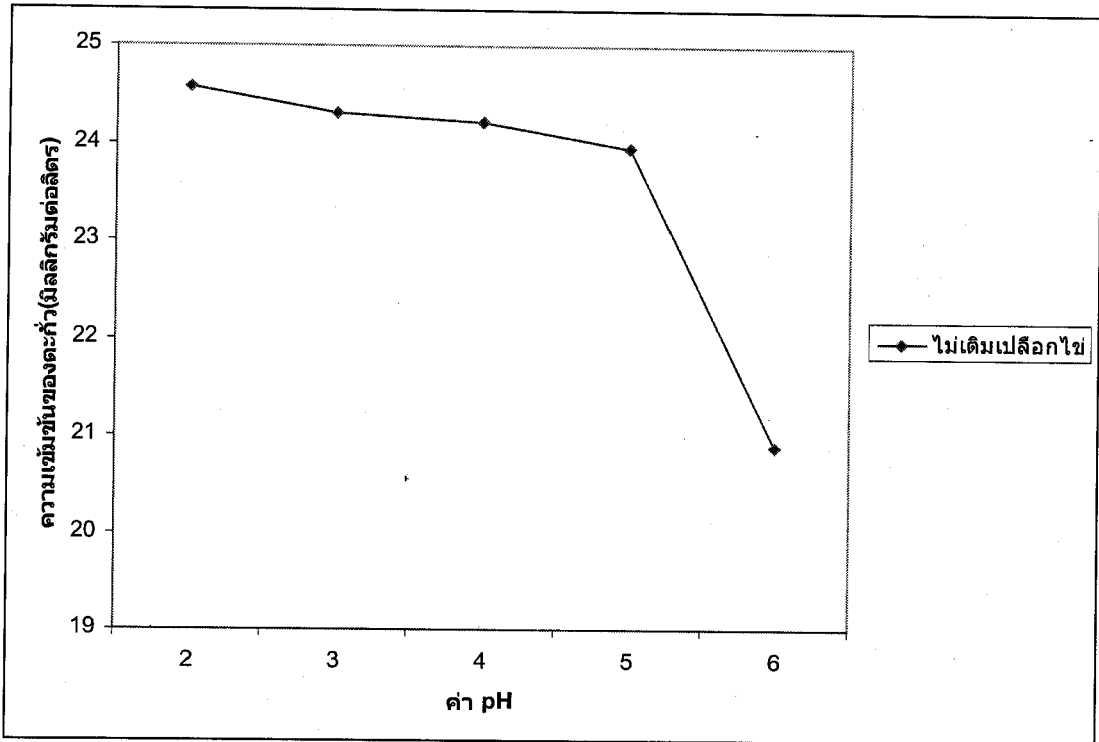
pH	เปลือกไข่ไก่		เปลือกไข่เป็ด	
	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตะกั่วในน้ำออก (มก./ล)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน(S.D.)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตะกั่วในน้ำออก (มก./ล)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน(S.D.)
2	ND	0.09	1.95	0.12
3	0.77	0.06	2.29	0.13
4	0.32	0.03	9.61	0.27
5	0.17	0.03	9.94	0.43
6	0.15	0.03	10.05	0.76

หมายเหตุ : ND (Not Detected) หมายถึงปริมาณตะกั่วในตัวอย่งมีค่าต่ำกว่าค่า Detection Limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Hitachi Model Z-8200 ซึ่งค่า Detection Limit นี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ppm.

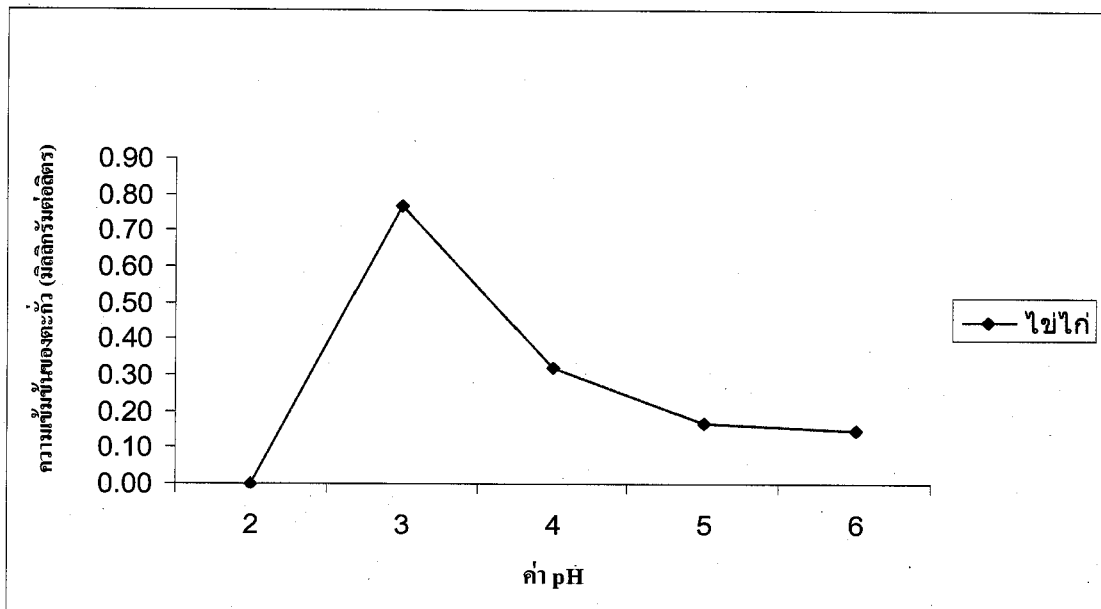
ตาราง ที่ 4.6 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชต่างกัน

pH	เปลือกไข่ไก่		เปลือกไข่เป็ด	
	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตะกั่วในน้ำออก (มก./ล)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ตะกั่วในน้ำออก (มก./ล)	ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)
2	ND	100	1.95	99.91
3	0.77	96.82	2.29	90.50
4	0.32	98.66	9.61	60.12
5	0.17	99.3	9.94	58.43
6	0.15	99.36	10.05	57.97

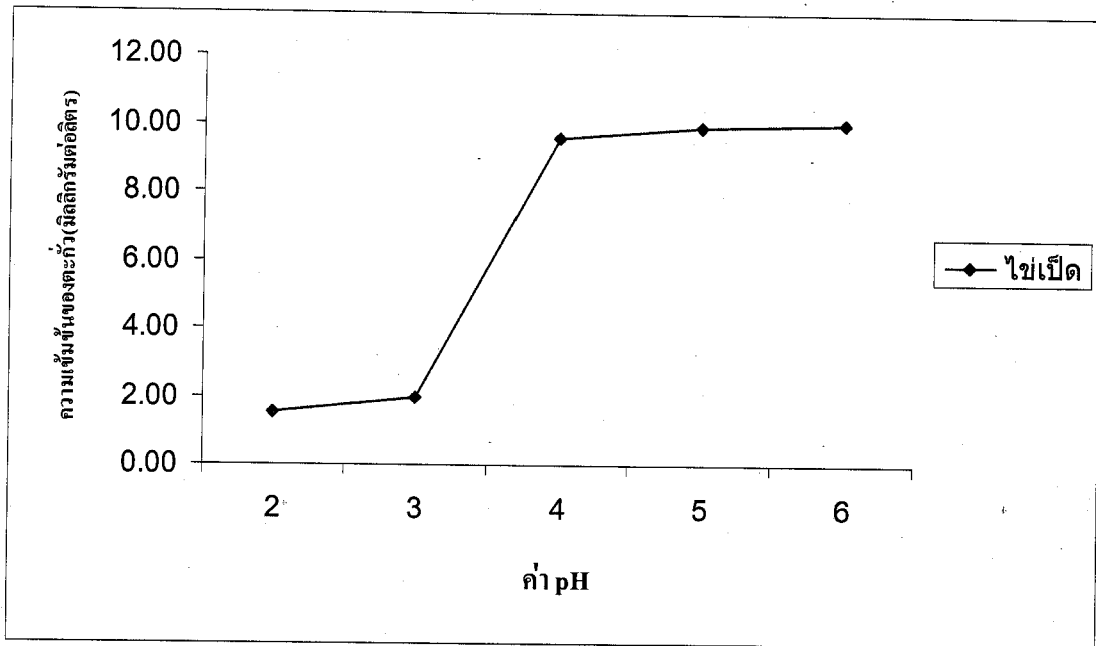
หมายเหตุ : ND (Not Detected) หมายถึงปริมาณตะกั่วในตัวอย่างไม่ต่ำกว่าค่า Detection Limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Hitachi Model Z-8200 ซึ่งค่า Detection Limit นี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ppm.



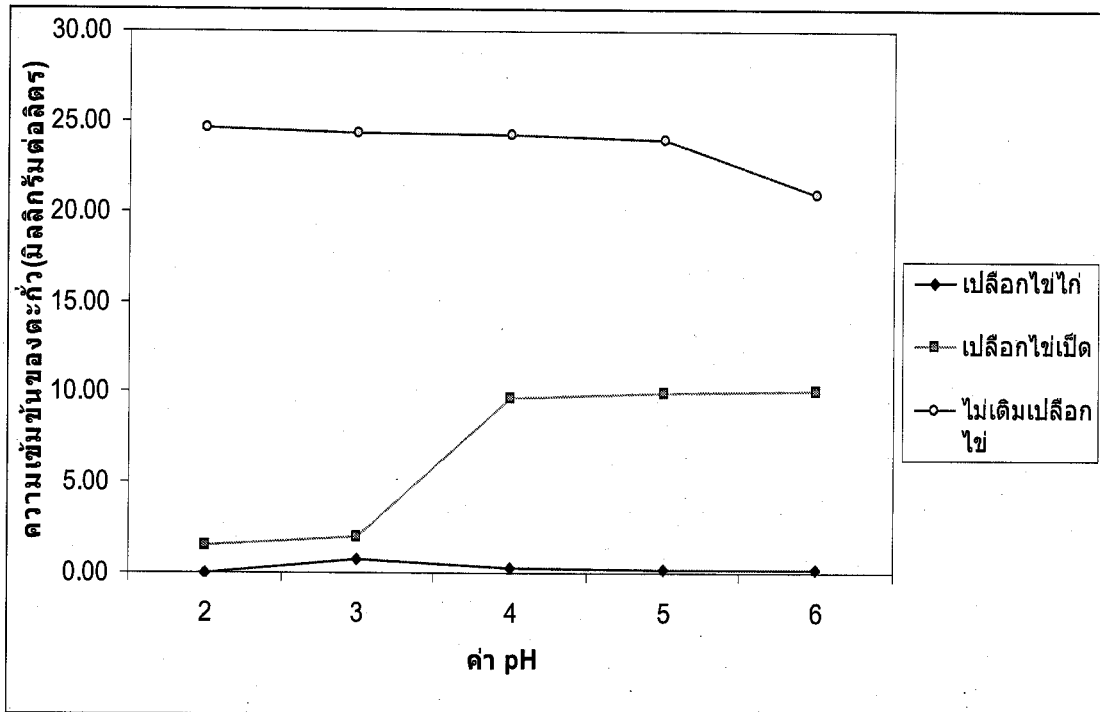
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่ pH ต่างกัน
ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติมเปลือกไข่



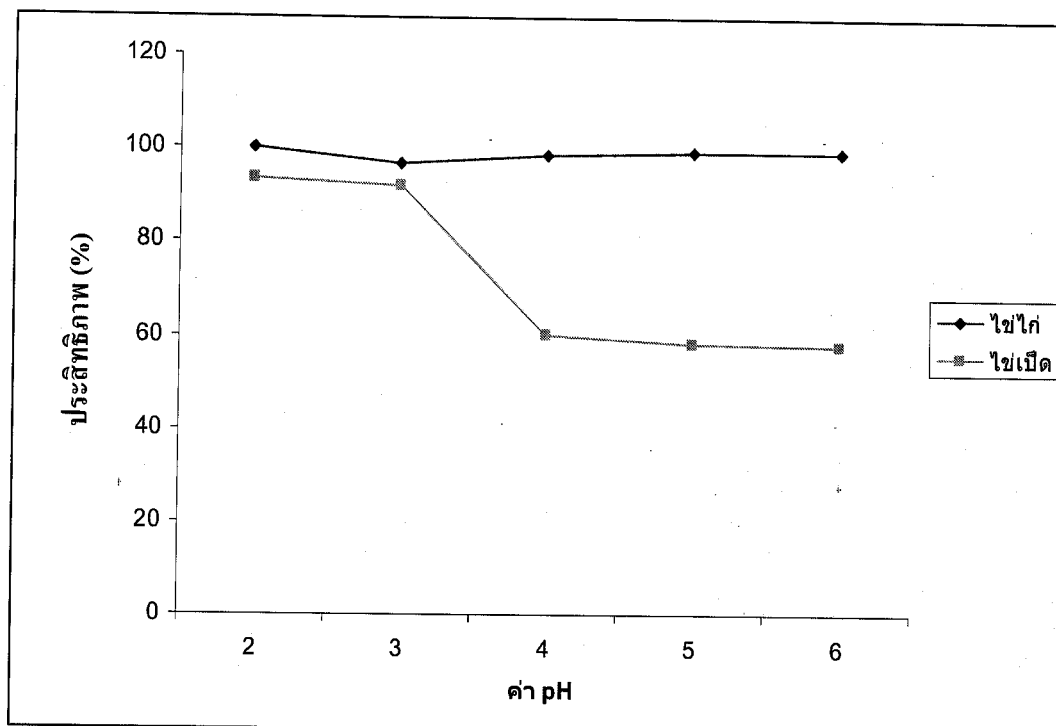
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่พีเอชต่างกัน
ของเปลือกไข่ไก่



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่พีเอชต่างกันของเปลือกไขเป็ด



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และปริมาณตะกั่วในน้ำออกที่พีเอชต่างกันของแบบเติมเปลือกไข่และแบบไม่เติมเปลือกไข่



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพีเอช และประสิทธิภาพของการกำจัด ตะกั่วของเปลือกไข่

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 เป็นการศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

พิจารณาจากตารางผลการทดลองที่ 4.1 พบว่า เมื่อทำการปรับค่าพีเอชให้สูงขึ้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์จะเริ่มตกตะกอนที่ค่าพีเอช 6.20 และเมื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับ 7 ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์จะตกตะกอนสีขาวขุ่นแสดงดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 ในการศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ค่าพีเอชที่มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 6 ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่

ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.6 เป็นการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่

พิจารณาจากภาพที่ 4.11 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอช ของสารละลายสูงขึ้น โดยจะเห็นว่าเปลือกไข่ไก่จะมี

ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 100 เมื่อค่าพีเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 2 แต่เมื่อมีการปรับค่าพีเอช ของสารละลายให้มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่จะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ในกรณีของเปลือกไข่เป็ดจะเห็นได้ชัดว่าค่าพีเอชของสารละลายมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่เป็ด ซึ่งจะดูได้จากภาพที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าพีเอชมีค่าเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 99.91 แต่เมื่อทำการปรับค่าพีเอชของสารละลายให้สูงขึ้น จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นช่วงของพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย คือ เปลือกไข่ไก่ให้ใช้ในช่วงพีเอช เท่ากับ 2 ถึง 6 และเปลือกไข่เป็ดให้ใช้ช่วงพีเอช เท่ากับ 2 ถึง 4

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาค้นคว้าทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สรุปการวิจัย

1.1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

ศึกษาการนำเปลือกไข่มาใช้ในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

1.1.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด ที่ระดับ พีเอชต่างๆ

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง มีดังนี้

1) เปลือกไข่ไก่ โดยการนำเปลือกไข่ไก่ มาล้างทำความสะอาดและทำการลอกเนื้อเยื่อออก จากนั้นผ่านกระบวนการอบแห้ง บด ให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh และค้ำอยู่บนตะแกรง 50 Mesh

2) เปลือกไข่เป็ด โดยการนำเปลือกไข่เป็ด มาล้างทำความสะอาดและทำการลอกเนื้อเยื่อออก จากนั้นผ่านกระบวนการอบแห้ง บด ให้มีขนาดเล็ก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh และค้ำอยู่บนตะแกรง 50 Mesh

3) น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นน้ำเสียที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยมีความเข้มข้นของตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) จำนวนตัวอย่าง ในขั้นตอนการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำจำนวน $5 \times 2 \times 3 = 30$ ตัวอย่าง

1.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

- 1) อุปกรณ์ในการวิจัย (ในการทดลองเชิงวิจัย)
- 2) อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3) เครื่องคำนวณ
- 4) เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์
- 5) อื่นๆ ได้แก่ อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ

1.2.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง มีดังนี้

1) การศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อหาค่าพีเอชที่สูงที่สุดที่ไม่ทำให้ตะกั่วตกตะกอนในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อใช้ในการศึกษาการหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่

2) เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากปัจจัย คือ ค่าพีเอช โดยใช้ปริมาณของเปลือกไข่คงที่ และระยะเวลาการสัมผัสคงที่ เพื่อดูประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิด ที่ดีที่สุดในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ของประสิทธิภาพที่ได้จากเปลือกไข่ จากปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ พีเอช ที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว

2) วิเคราะห์ระดับพีเอชในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ 2 ชนิด ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต และเส้นกราฟ

3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ทั้ง 2 ชนิด ด้วยค่าร้อยละ และกราฟเส้น

1.3 ผลการวิจัย

พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอช ของสารละลายสูงขึ้น โดยจะเห็นว่าเปลือกไข่ไก่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด

ตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 100 เมื่อค่าพีเอช ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 2 แต่เมื่อมีการปรับค่าพีเอช ของสารละลายให้มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่จะมีค่าลดลงเพียง เล็กน้อย แต่ในกรณีของเปลือกไข่เป็ดจะเห็นได้ชัดว่าค่าพีเอช ของสารละลายมีผลต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่เป็ด ซึ่งจะดูได้จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าความเข้มข้นของสารละลาย มีค่าเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 99.91 แต่เมื่อทำการปรับค่าพีเอช ของสารละลายให้สูงขึ้น จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ ชัด ดังนั้นช่วงของพีเอช ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดตะกั่วในน้ำเสีย คือ เปลือกไข่ไก่ให้ใช้ในช่วง พีเอช เท่ากับ 2 ถึง 6 และเปลือกไข่เป็ดให้ใช้ช่วงพีเอชเท่ากับ 2 ถึง 4

2. การอภิปรายผล

การศึกษาค่าพีเอช ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วใน น้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอช ของ สารละลายมีค่าลดลง โดยเปลือกไข่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ดี ในสภาวะที่สารละลาย มีสภาพเป็นกรด จากการศึกษาพบว่าเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่ในการ กำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ 100 แต่เมื่อทำการปรับค่าพีเอช ของสารละลายให้มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพ ในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ไก่จะมีค่าลดลงแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนเปลือกไข่เป็ดเมื่อค่าพี เอชเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของเปลือกไข่เป็ดในการกำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ 99.91 แต่เมื่อทำการ ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่เป็ดจะมีค่า ลดลงซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะได้ช่วงพีเอช ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดตะกั่ว สำหรับเปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด คือ ช่วงค่าพีเอชเท่ากับ 2 ถึง 6 และ ช่วงค่าพีเอช 3 ถึง 4 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของเปลือกไข่ ไก่และไข่เป็ด มีค่าแตกต่างกัน ก็เนื่องมาจากเปลือกไข่ไก่มีพื้นที่ผิวและพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่า เปลือกไข่เป็ด แต่ขนาดรูของเปลือกไข่ของไข่ไก่นั้นมีขนาดใหญ่กว่าของเปลือกไข่เป็ด นอกจากนั้น เปลือกไข่ไก่ก็มีความหนาแน่นมากกว่าเปลือกไข่เป็ด ซึ่งจะทำให้เราเมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่เท่ากัน จะมีเนื้อของเปลือกไข่ไก่มากกว่าเปลือกไข่เป็ด

3. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำไปใช้ในระบบการกรองตติวิ เพื่อเป็นการหาความสูงของชั้นกรองที่เหมาะสม และอายุการใช้งานของเปลือกไข่ในการบำบัดตะกั่วในน้ำเสีย
2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่ ในการกำจัด โลหะชนิดต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง ปรอท โดยใช้เปลือกไข่ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของเปลือกไข่
3. ควรนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วของเปลือกไข่ ในน้ำเสียจริง
4. เนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้เปลือกไข่แล้ว น้ำที่ได้ออกมาจะมีกลิ่นคาวของเปลือกไข่ ควรทำการศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นคาวของเปลือกไข่ในน้ำที่ผ่านการบำบัด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2537) สถานการณ์คุณภาพน้ำใน
โครงการพัฒนาคุณภาพน้ำบริโภคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรุงเทพมหานคร
โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์
- จันทนา จันทร์ภักดี (2536) “การปนเปื้อนของสารตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยา” วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์) สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- คาริวรรณ เศรษฐธรรม, วรรณภา อธิตะ (2542) “การศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ปล่อยทิ้ง
ในระบบบำบัดน้ำเสียรวม ในเขตเทศบาลขอนแก่น” วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม :
2540, 7(7) 19-22
- ฉัตรสินี สุรเสน (2545) “การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเปลือกไข่”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธงชัย ภูจินานนท์ (2526) “การสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์)
สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- วินัย สมบูรณ์ และคณะ (2533) การใช้วัสดุธรรมชาติในการบำบัดโลหะในน้ำเสีย
วารสารวิจัยสภาพสิ่งแวดล้อม 2530 ,2 (2) : 29-32
- นัยนา หาญวโรดม (2536) “การลดปริมาณสารละลายตะกั่วโดยใช้เส้นผม”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นริศรา โพธิมูล (2522) “การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ถ้ำ
แคลบดำ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนด
มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (2539,13 กุมภาพันธ์) ราชกิจจานุเบกษา
เล่มที่ 113 ตอนที่ 13

- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพ
น้ำในแหล่งผิวดิน (พ.ศ. 2537,24 กุมภาพันธ์) ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16
ฝ่ายเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 สระบุรี (2539) “สถานการณ์
คุณภาพน้ำบริโภค ปี 2532-2537” กรุงเทพมหานคร
- ประภต เลิศจรสรามดี (2539) การกำจัดตะกั่ว และปรอท ในน้ำเสียด้วยการใช้ซีลีเยอ ฟาง
ข้าว และขุยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ.
- พรสวรรค์ มหาโชควัฒนา (2530) “การกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบตเตอร์
โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พรพิมล วราทร (2548) ปัญหาตะกั่วในลุ่มน้ำปัดตานี คั่นคืนวันที่ 8 มีนาคม 2551 จาก
<http://www.anamai.moph.go.th/facsheetenvi3-6.htm>.
- ไมตรี สุทธิจิตต์ (2532) สารพิษรอบตัวเรา กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ดาว
มันสิน ตันทุลเวศม์ (2538) คู่มือการวิเคราะห์น้ำ พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ยุวดี คาคการณ์ไกล (2542) สถานการณ์ด้านสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยจากอดีตสู่
ปัจจุบัน โครงการตำรากรมอนามัย สำนักวิชาการ
- วรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์ และคนอื่นๆ (2541) “ปริมาณพิษแลคตอสนิกในแหล่งน้ำเพื่อการ
พักผ่อนหย่อนใจในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
- ศราวุธ แก้วกล้า (2538) “การศึกษาค่า pH และตะกอนโลหะหนักของน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี
และการติดตั้งเครื่องกวนในบ่อปรับ pH ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำ “ วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล
- สังข์ เวลารัชตระกูล (2540) “การลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ”
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล
- สุวรรณ สุวรรณเกษตร (2522) ไข่และเนื้อไก่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 396 น.
- สุวรรณา เรื่องกาญจนเศรษฐ์ (2533) “พิษจากสารตะกั่วในเด็ก” คลินิก 8, 10 : 699-706

- สุชาติ นุกูล (2548) “การดูดซับตะกั่วด้วยเส้นใยสับปะรด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช
- สำนักบริการการนำเข้าสินค้า “รายงานการบริโภคไข่ไก่ กุมภาพันธ์ 2550
- สมบูรณ์ กฤตลักษณ์ (2532) “ผลกระทบของตะกั่วต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์”
กรมควบคุมมลพิษ (จุลสารสภาวะแวดล้อม)
- อุไรวรรณ อิทรม่วง และคนอื่นๆ “ปริมาณโลหะหนักตกค้างในตะกอนท้องน้ำของลำน้ำพอง” วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 2539 , 5(5) : 28-31
- อำพัน บุษรังสี (2538) “ความเป็นพิษของแคดเมียมและตะกั่วต่อเห่น”
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- อรัญ ขวัญปาน (2547) “การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาลูกตาลโตนด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช
- Bhrgava Ds, Cupta MS, Varshhney BS.(1995) “Use of Sawdust for the adsorption of heavy metals.” Asian Env. : 29-37
- Kuh, S.E and D.S. Kim. 2000. Removal Characteristics of cadmium ion by waste egg Shell Envi. Tech. 21 : 883-890
- Okubo, T.S.A. and H. Hatta 1997. Struture of Hen Eggs and Physiology of Egg Laying. Pp 1-5 . In Takehiko Yamamoto. “Hen Egg” Their Basic and Applied Science. CRC press.
- Stademan, W.J. and J.C. Owen. 1995. Egg Scince and Technology 4th ed. Food Product press. 204 p.
- Suyama, K.F.Y. and Y.Umetsu. 1994. A new biomaterial, hen egg shell membrane to eliminate heavy metal ion form their dilute waste solution. Applied Biochemistry and Biotecology. 45-46(10): 871-879.
- Tan, W.T. 1988. Remove of Lead, Cadmium and Zinc by Waste Tea Leaves.

Envi. Tech. Letter. 112p.

Tellet, S.G. 1985. Egg Shell Formation and Quality. Pp 123-154. In C.G.

Belyavin. Poultry Science Symposium Number Twenty. Butterworths
Publish, England.

Veenman, H. and N.V., Zonew. 1996. Egg Shell Quality and Microstructure as
Affected by Vitamin C, Other Feed Additive and High Environmental
Temperature. The Netherland Communication Agricultural University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองและการคำนวณค่าต่างๆ

ตารางที่ 1-ก ผลการศึกษาค่าพีเอชในการตกตะกอนของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าพีเอชเริ่มต้น			ลักษณะของสารละลาย		
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2.03	2.03	2.02	ใส	ใส	ใส
3.03	3.05	3.04	ใส	ใส	ใส
4.07	4.04	4.06	ใส	ใส	ใส
5.06	5.03	5.05	ใส	ใส	ใส
6.07	5.98	6.03	ใส	ใส	ใส
6.20	6.19	6.20	เริ่มตกตะกอน	เริ่มตกตะกอน	เริ่มตกตะกอน
7.03	7.06	7.05	ตกตะกอนสีขาวขุ่น	ตกตะกอนสีขาวขุ่น	ตกตะกอนสีขาวขุ่น

ตารางที่ 2-ก ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ได้เติมเปลือกไข่ที่ pH เริ่มต้นต่างๆ

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออก (มก./ล.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	24.29	24.70	24.75
3	24.30	24.39	24.24
4	24.14	24.28	24.27
5	24.00	24.00	23.88
6	20.34	21.10	21.23

หมายเหตุ Blank = 24.58 มก./ล.

ตารางที่ 3-ก ผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ที่ pH เริ่มต้นต่างๆ

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออก (มก./ล.)					
	เปลือกไข่ไก่			เปลือกไข่เป็ด		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	-0.38	-0.30	-0.21	2.01	2.04	1.80
3	0.70	0.79	0.81	2.33	2.15	2.39
4	0.32	0.35	0.30	9.31	9.84	9.68
5	0.14	0.17	0.19	9.47	10.31	10.05
6	0.18	0.15	0.13	9.29	10.07	10.8

หมายเหตุ ครั้งที่ 1 pH 2, 3 และ 4 Blank = 24.1 มก./ล.

ครั้งที่ 2 pH 5 และ 6 Blank = 23.92 มก./ล.

คำการทำ Calibration Curve ก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ครั้งที่ 1 วิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่ได้เติมเปลือกไข่ (Control)

ตารางที่ 4-ก ตารางแสดงค่าการทำ Calibration curve ครั้งที่ 1

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (ppm)	ค่าดูดกลืนคลื่นแสง (nm)
0	-0.0004
5	0.0607
10	0.1163
15	0.1605
20	0.2067
25	0.2481
30	0.2870

ค่า $R^2 = 0.9937$ (อ่านจากเครื่องเมื่อทำ Calibration Curve เสร็จ)

ครั้งที่ 2 วิเคราะห์ตัวอย่าง pH 2,3,4

ตารางที่ 5-ก ตารางแสดงค่าการทำ Calibration curve ครั้งที่ 2

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (ppm)	ค่าดูดกลืนคลื่นแสง (nm)
0	0.0002
5	0.0556
10	0.1043
15	0.1484
20	0.1902

ค่า $R^2 = 0.9967$ (อ่านจากเครื่องเมื่อทำ Calibration Curve เสร็จ)

ครั้งที่ 3 วิเคราะห์ตัวอย่าง pH 5 และ 6

ตารางที่ 6-ก ตารางแสดงค่าการทำ Calibration curve ครั้งที่ 3

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (ppm)	ค่าดูดกลืนคลื่นแสง (nm)
0	0.0003
5	0.0541
10	0.1022
15	0.1444
20	0.1857

ค่า $R^2 = 0.9964$ (อ่านจากเครื่องเมื่อทำ Calibration Curve เสร็จ)

การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตะกั่วในน้ำออกโดยไม่เติมเปลือกไข่
(control) เป็นตัวดูดซับ

ตาราง 7-ก แสดงการหาค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกเมื่อไม่ได้เติมเปลือกไข่เมื่อค่า pH ต่างๆ

Statistics

		pH2	pH3	pH4	pH5	pH6
N	Valid	3	3	3	3	3
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		24.5800	24.3100	24.2300	23.9600	20.8900
Std. Deviation		.25239	.07550	.07810	.06928	.48073

pH2

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	24.29	1	33.3	33.3	33.3
	24.70	1	33.3	33.3	66.7
	24.75	1	33.3	33.3	100.0
Total		3	100.0	100.0	

pH3

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	24.24	1	33.3	33.3	33.3
	24.30	1	33.3	33.3	66.7
	24.39	1	33.3	33.3	100.0
Total		3	100.0	100.0	

pH4

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	24.14	1	33.3	33.3	33.3
	24.27	1	33.3	33.3	66.7
	24.28	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH5

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	23.88	1	33.3	33.3	33.3
	24.00	2	66.7	66.7	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH6

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	20.34	1	33.3	33.3	33.3
	21.10	1	33.3	33.3	66.7
	21.23	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตะกั่วในน้ำออกโดยใช้เปลือกไข่ไก่เป็นตัว
ดูดซับ

ตาราง 8-ก แสดงการหาค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกของไข่ไก่เมื่อค่า pH ต่างๆ

Statistics

		ph2	ph3	ph4	ph5	ph6
N	Valid	3	3	3	3	3
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		-.2967	.7667	.3233	.1667	.1533
Std. Deviation		.08505	.05859	.02517	.02517	.02517

pH 2

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-.38	1	33.3	33.3	33.3
	-.30	1	33.3	33.3	66.7
	-.21	1	33.3	33.3	100.0
Total		3	100.0	100.0	

pH 3

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.70	1	33.3	33.3	33.3
	.79	1	33.3	33.3	66.7
	.81	1	33.3	33.3	100.0
Total		3	100.0	100.0	

pH 4

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.30	1	33.3	33.3	33.3
	.32	1	33.3	33.3	66.7
	.35	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH5

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.14	1	33.3	33.3	33.3
	.17	1	33.3	33.3	66.7
	.19	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH6

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.13	1	33.3	33.3	33.3
	.15	1	33.3	33.3	66.7
	.18	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตะกั่วในน้ำออกโดยใช้เปลือกไข่เปิดเป็น
ตัวดูดซับ

ตาราง 9-ก แสดงการหาค่าเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำออกของไข่เปิดเมื่อค่า pH ต่างๆ

Statistics

		ph2	ph3	ph4	ph5	ph6
N	Valid	3	3	3	3	3
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		1.9500	2.2900	9.6100	9.9433	10.0533
Std. Deviation		.13077	.12490	.27185	.43004	.75514

pH 2

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1.80	1	33.3	33.3	33.3
	2.01	1	33.3	33.3	66.7
	2.04	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH 3

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	2.15	1	33.3	33.3	33.3
	2.33	1	33.3	33.3	66.7
	2.39	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH 4

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	9.31	1	33.3	33.3	33.3
	9.68	1	33.3	33.3	66.7
	9.84	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH 5

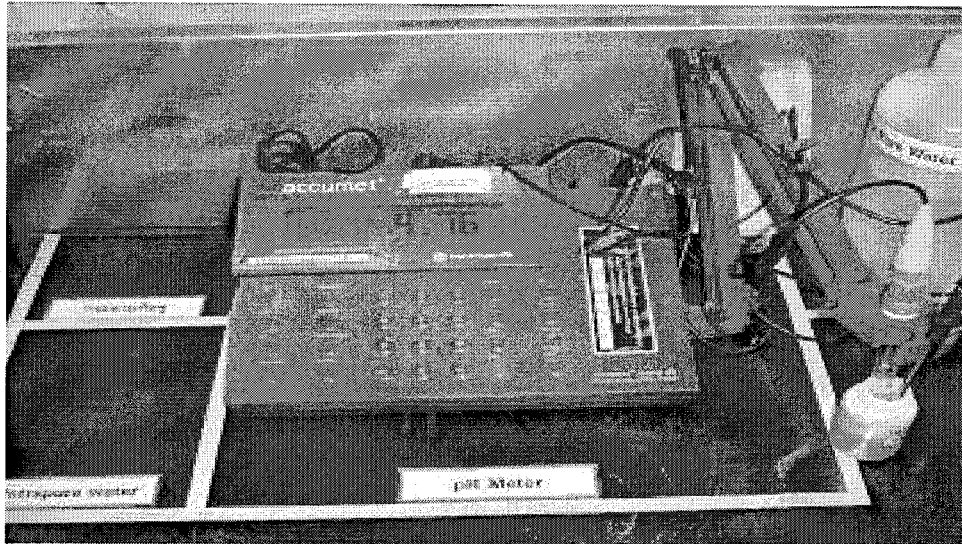
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	9.47	1	33.3	33.3	33.3
	10.05	1	33.3	33.3	66.7
	10.31	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

pH 6

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	9.29	1	33.3	33.3	33.3
	10.07	1	33.3	33.3	66.7
	10.80	1	33.3	33.3	100.0
	Total	3	100.0	100.0	

ภาคผนวก ข
ภาพเครื่องมือและวิธีการทดลอง

ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

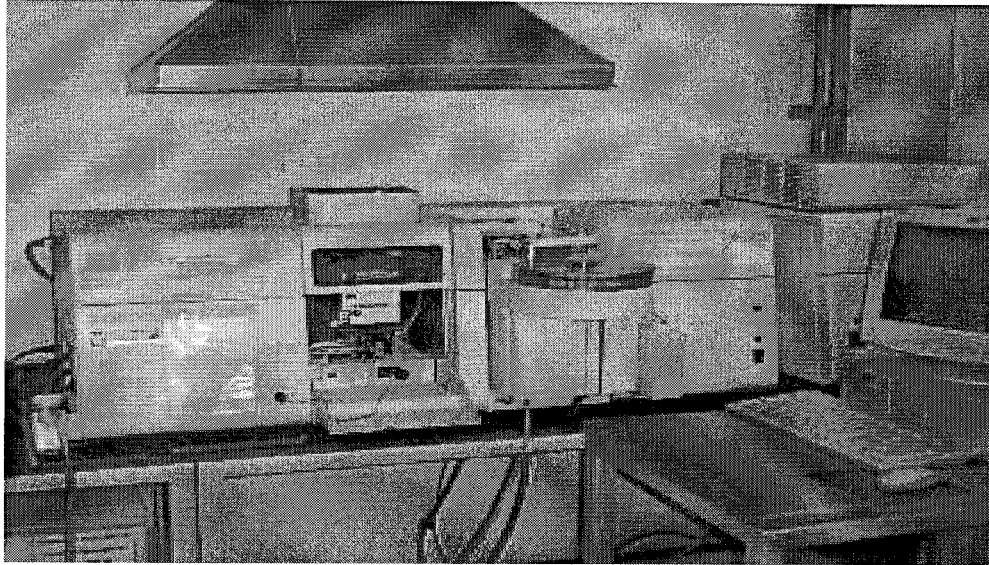


ภาพที่ 1-ข เครื่องพีเอชมิเตอร์ : Accumet Model 50.



ภาพที่ 2-ข เครื่องเขย่าสาร : Shaker Serial No. 80215122

DAE HAN Sciencetific Co.



ภาพ 3.1-ก

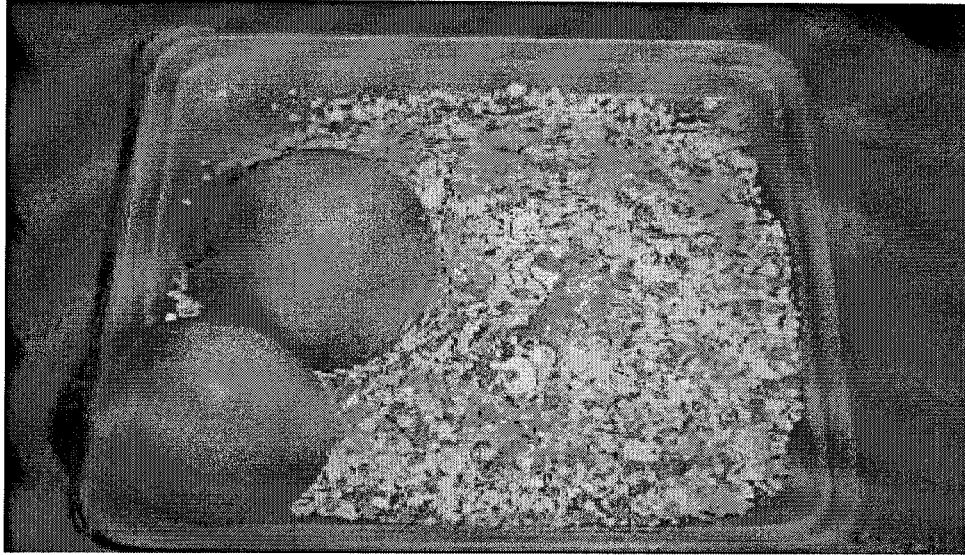


ภาพ 3.2-ข

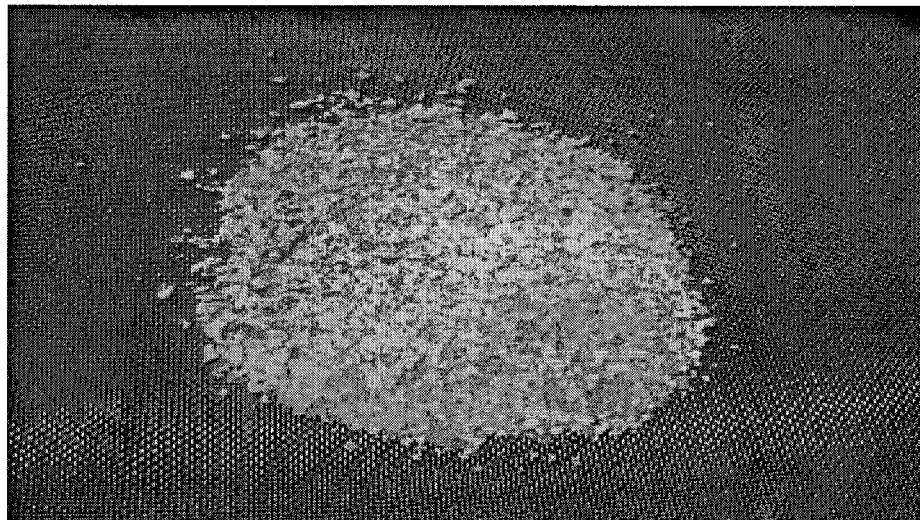
ภาพที่ 3.1-ข และ 3.2-ข เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

: Hitachi Model Z-8200

ภาพแสดงการเตรียมเปลือกไข่



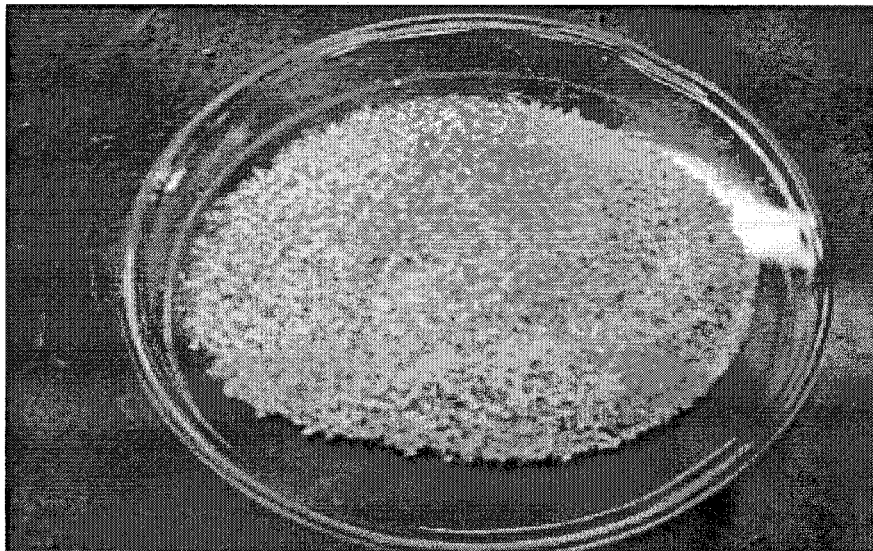
ภาพที่ 4 -ข เปลือกไข่บด



ภาพที่ 5-ข เปลือกไข่ร่อนบนตะแกรง 20 Mash

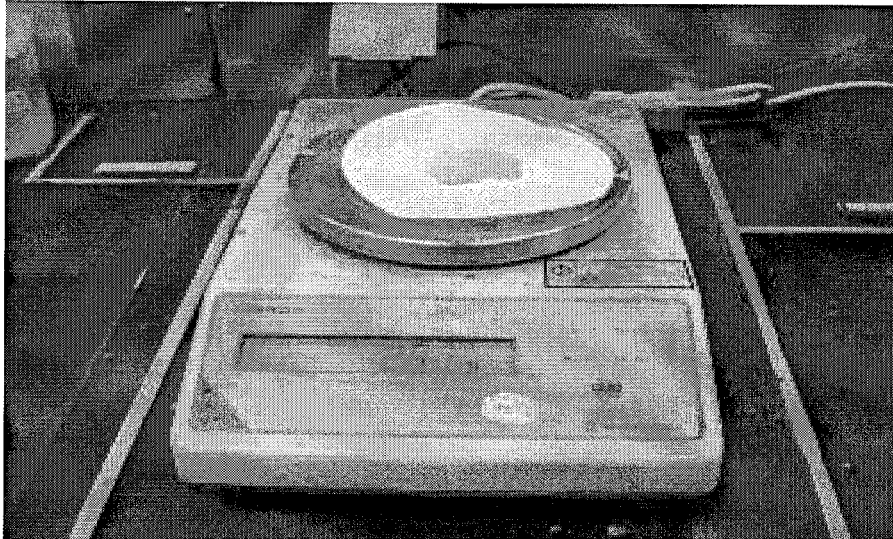


ภาพที่ 6-ข เปลือกไข่ร่อนบนตะแกรง 50 Mash

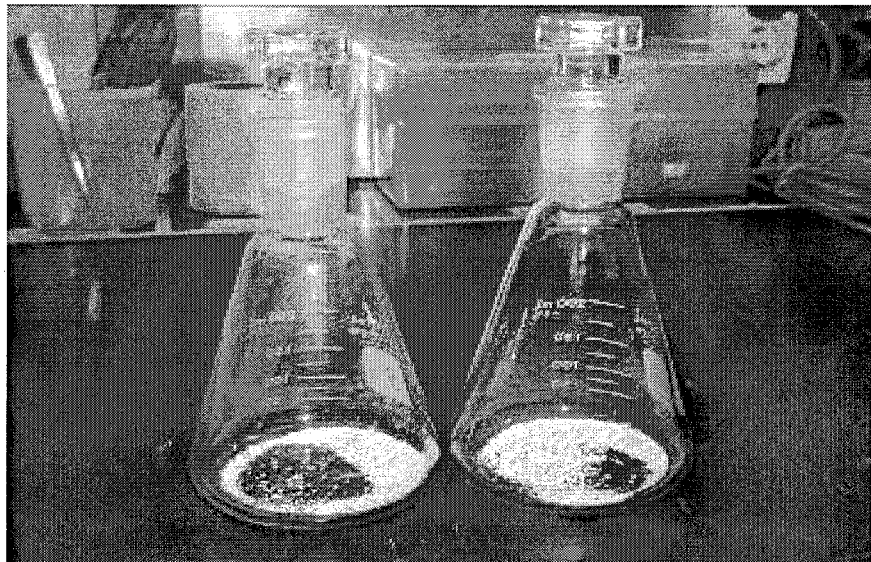


ภาพที่ 7-ข เปลือกไข่ที่ผ่านการร่อนเลือกขนาดแล้ว

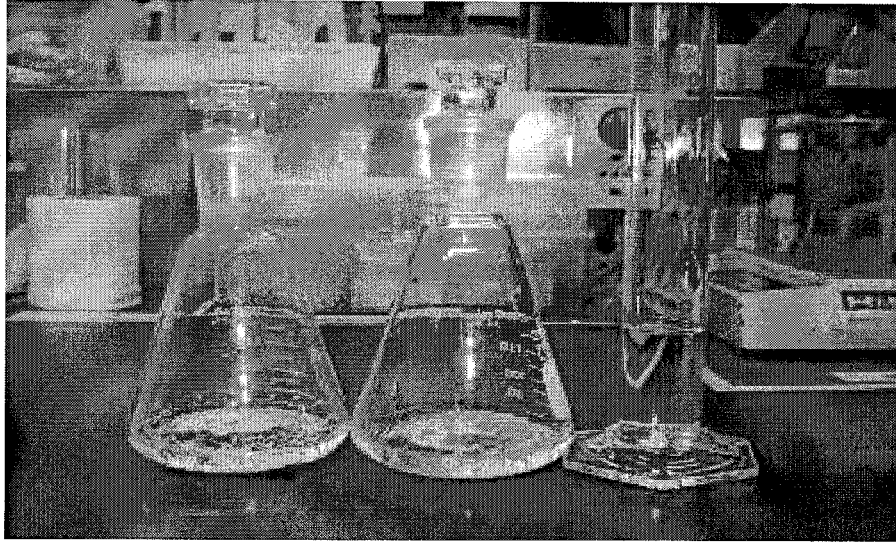
ภาพแสดงการทดลองการใช้เปลือกไข่ในการดูดซับตะกั่ว



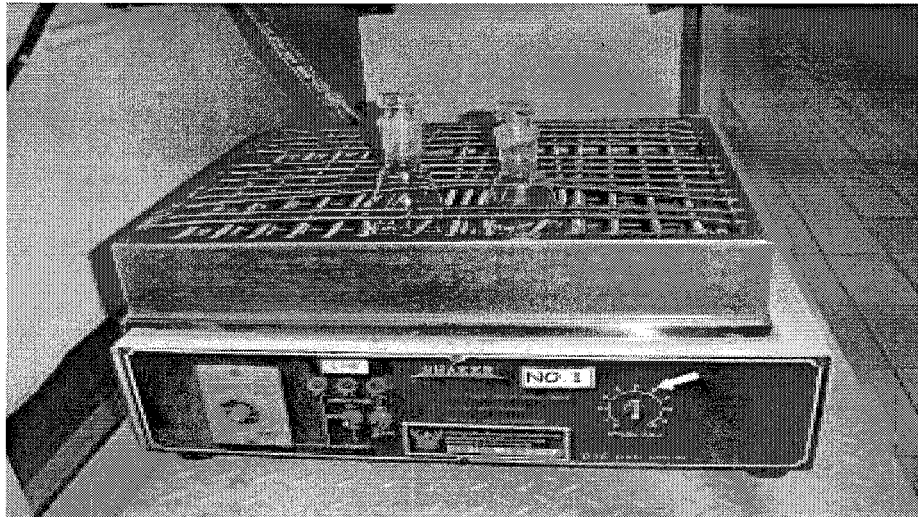
ภาพที่ 8-ข การชั่งเปลือกไข่



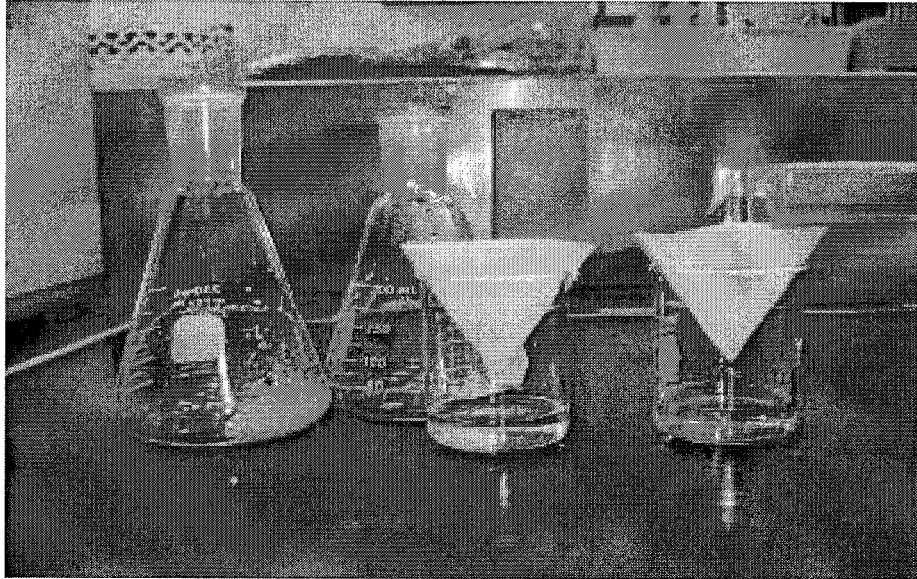
ภาพที่ 9-ข นำเปลือกไข่ใส่ในขวด Erlenmeyer Flask



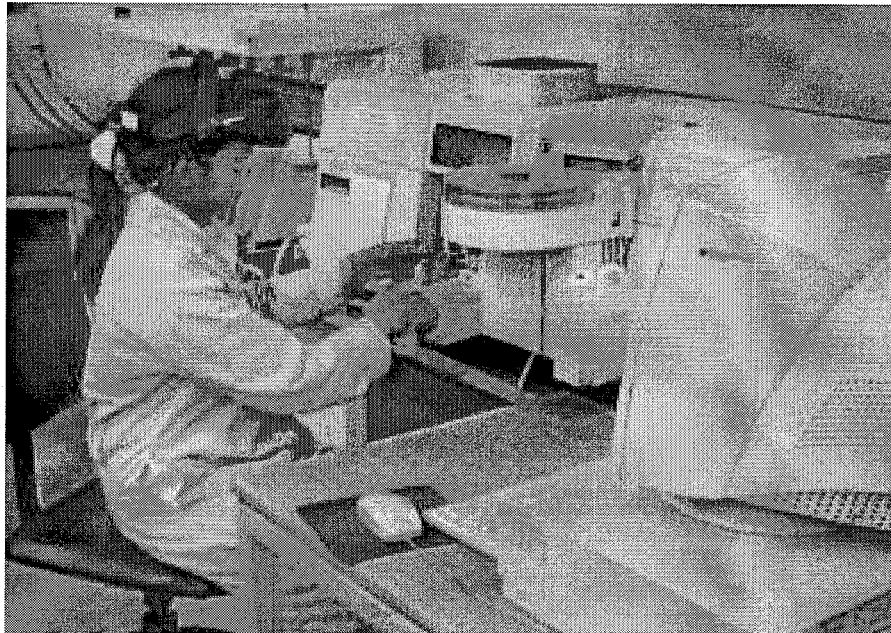
ภาพที่ 10-ข เติมน้ำเสียสังเคราะห์ลงในขวดที่มีเปลือกไข่



ภาพที่ 11-ข นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า



ภาพที่ 12-ข การกรองตัวอย่าง



ภาพที่ 13-ข นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)



ภาพที่ 14-ข เปลือกไข่ที่เหลือจากการกรอง

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นายพูนพิพัฒน์ ฉาโรสง
วัน เดือน ปี	20 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอ สูงเนิน จังหวัด นครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	สาธารณสุขศาสตร์ (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช ปีการศึกษา 2546
สถานที่ทำงาน	บริษัทกรุงเทพชินริติกส์ จำกัด ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการส่วนควบคุมคุณภาพ