

การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม



นางสาวกนกวรรณ สุขรัมย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SUBSTANCE FLOW ANALYSIS OF MERCURY FROM DENTAL AMALGAM WASTE

Miss Kanokwan Sukrak



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม
โดย	นางสาวกนกวรรณ สุขรัชช์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศรี วัจนละญาณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชกรกิจ)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศรี วัจนละญาณ)
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา สุริยวงค์)
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ณรงค์ศักดิ์ ไชยสิทธิ์)

กนกวรรณ สุขรัชช์ : การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม (SUBSTANCE FLOW ANALYSIS OF MERCURY FROM DENTAL AMALGAM WASTE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.เพ็ญศรี วัจนละญาณ, 134 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเส้นทางและปริมาณการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม โดยการเก็บตัวอย่างและทำสมดุลมวลของอะมัลกัมที่ใช้อุดฟันคนไข้ พบว่า มีปรอทที่ติดกับฟัน (In Teeth) ประมาณร้อยละ 43.76 ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) ร้อยละ 31.49 และส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ร้อยละ 24.73 โดยแบ่งเป็นส่วนที่ติดกับสำลี (SW) คิดเป็นร้อยละ 14.95 และส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) ร้อยละ 9.78 และพบปรอทติดอยู่ในส่วนของเปลือกแคปซูลและถุงพลาสติกที่บรรจุปรอทภายในแคปซูลร้อยละ 0.02 หรือ 0.082 มิลลิกรัมต่อแคปซูล เมื่อนำมาคิดเป็นสัดส่วนการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อม โดยอนุมานว่า ในปี พ.ศ.2557 มีจำนวนฟันที่ได้รับการอุดด้วยอะมัลกัมจำนวน 31,800,326 ซึ่ง จะพบว่า มีปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับสำลี ส่วนที่หลุดรอดไปกับน้ำทิ้ง ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม และส่วนที่ติดไปกับเปลือกแคปซูลเกิดขึ้นประมาณ 2.18 1.43 4.11 และ 0.002516 ตันต่อปี ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณปรอทที่ระบายสู่สิ่งแวดล้อมจากการอุดฟันสูงเท่ากับ 7.71 ตันต่อปี และจากการศึกษาแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมโดยการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัม ในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ระบบสามารถลดการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของมลพิษทางน้ำได้ประมาณร้อยละ 81.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ปีการศึกษา	2557	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5570103321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS:ปรอท (MERCURY) / อะมัลกัม (AMALGAM) / การวิเคราะห์การไหลของสาร (SUBSTANCE FLOW ANALYSIS : SFA) / การลดของเสีย (WASTE MINIMIZATION)

KANOKWAN SUKRAK: SUBSTANCE FLOW ANALYSIS OF MERCURY FROM DENTAL AMALGAM WASTE. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. PENSRI WATCHALAYANN, Ph.D., 134 pp.

This study investigated the flow and amount of mercury from dental amalgam waste. The sample of amalgam each patient was collected and mass balance calculated by case by case. It was found that the fraction of mercury in In teeth was 43.76%, residual amalgam (RA) was 31.49% and carved surplus of amalgam (Carving) was 24.74%, that can contribution to attached with cotton gauze (SW) 14.95% and flowing through the sewer system (DWW) 9.78%., and capsule cover was 0.02 or 0.082 mg/capsule. The proportion of mercury emissions into the environment can prediction by the number of teeth with amalgam fillings of Thailand in 2557 B.E. It was found that fraction of mercury contain with SW, DWW, RA and Capsule Cover was 2.18 1.43 4.11 and 0.002516 ton per year, respectively and 7.71 ton of total mercury which has the potential to be discarded in the environment. The efficiency of amalgam separator, its install 6 dental clinics, can be removed mercury from sewer system was 81.95%.

Department: Environmental
Engineering

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถัย ขวาลภาฤทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศรี วัจนละภูณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา สุริยวงค์ และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ดร.ณรงค์ศักดิ์ ไชยสิทธิ์ จากบริษัท เบเกี่แมนน์ เมอร์คิวรี เทคโนโลยี แอปซิฟิค (บีเอ็มทีพี) จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนและเครื่องมืออุปกรณ์ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ และชี้แนะข้อผิดพลาดเพื่อทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในการประสานงานและลงพื้นที่เก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่จากหน่วยทันตกรรมทุกแห่งที่ยินดีอำนวยความสะดวกและสละเวลาช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลวิจัยอย่างเต็มที่ ขอขอบพระคุณผู้บริหาร และเจ้าหน้าที่จากบริษัท ยูโนเด็ต แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด (ยูเออี) และบริษัทบีเอ็มทีพี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย สนับสนุนอุปกรณ์ และให้คำแนะนำในการวิจัยด้วยความยินดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิธีรัมย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิกา สุนทรไชยกุล คุณนวรรณ์ เกี้ยวมาศ คุณอริกา รงค์สวัสดิ์ คุณชลธิชา พลายชุม และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ช่วยให้คำปรึกษา สนับสนุนทั้งทางด้านทุนทรัพย์ ส่งเสริมและให้กำลังใจในทุกขั้นตอนการดำเนินงาน จนทำให้การศึกษาค้นคว้านี้ ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ปะรอตในสิ่งแวดล้อม	5
2.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปะรอต.....	7
2.1.2 รูปแบบ (Form) ของปะรอตที่พบในธรรมชาติ	9
2.1.3 การเปลี่ยนรูปและการแพร่กระจายสารปะรอตในสิ่งแวดล้อม	9
ปะรอตในบรรยากาศ.....	10
ปะรอตในดิน	10
ปะรอตในแหล่งน้ำ.....	11
2.1.4 การเคลื่อนย้ายปะรอตในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม	12
2.1.5 พิษของสารปะรอต	12
2.1.6 แผนผังการไหลของสารปะรอต (Mass Flow Analysis :MFA).....	17
2.1.7 แนวทางการจัดการสารปะรอตที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม	18
2.2 ปะรอตในงานทันตกรรม.....	21

2.2.1 อะมัลกัม (Amalgam).....	21
2.2.2 ปริมาณการใช้ปรอทในงานทันตกรรม	26
2.2.3 ของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรม	27
2.2.4 การปล่อยของเสียปรอทจากงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม	30
2.2.5 แนวทางการจัดการของเสียปรอทจากงานทันตกรรม.....	34
2.2.6 แนวทางการจัดการปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งในงานทันตกรรม	36
2.3 การจัดการของเสียปรอทจากงานทันตกรรมในประเทศไทย.....	38
2.3.1 ความเป็นมา.....	38
2.3.2 สถานการณ์และปัญหาการใช้ปรอทในวิชาชีพทันตกรรม	38
ปัญหาผลกระทบต่อผู้รับบริการและทันตบุคลากร.....	38
ปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	39
1.เปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม.....	39
2.ไอปรอทจากสถานทันตกรรม.....	40
3.น้ำเสียจากสถานทันตกรรม.....	41
4.กากของเสียจากสถานทันตกรรม	42
2.3.3 สถานภาพการจัดการและควบคุมการใช้ปรอทในวิชาชีพทันตกรรม.....	42
2.3.4 ข้อเสนอการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม	43
ระยะสั้น (1-2 ปี)	44
ระยะกลาง (2-5 ปี).....	44
ระยะยาว (5-10 ปี).....	44
2.3.5 แนวทางการดำเนินงานจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม	45
2.3.6 การจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมของประเทศไทย	45
2.4 การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis).....	47

2.5 แนวทางการลดของเสีย (Waste Minimization)	49
2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	50
2.6.1 ปริมาณของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรม	51
2.6.2 การบำบัดปรอทในน้ำเสียจากงานทันตกรรม	54
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	57
3.1 การศึกษาเส้นทางและวงจรของสารปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม	57
3.2 การประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ...	58
3.2.1 การเก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง.....	59
3.2.2 การเก็บข้อมูลจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case)	61
1.อะมัลกัมแคปซูล (AMG)	61
2.ส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth).....	62
3.ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving).....	62
3.1 ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW).....	63
3.2 ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)	63
4.ส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (Residual Amalgam; RA)	63
5.เปลือกแคปซูล (Capsule Cover).....	64
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) และทดสอบประสิทธิภาพ	65
3.3.1 รูปแบบการติดตั้งระบบดักจับเศษอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม	66
3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม	67
แนวทางการเก็บตัวอย่างและรักษาคุณภาพน้ำทิ้ง	67
การวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม	69
การคำนวณประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม	69
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล	70

4.1 ผลการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่ สิ่งแวดล้อม	70
4.1.1 ข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง ...	70
4.1.2 ข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case).....	72
1.ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมแคปซูล (AMG)	72
1) การชั่งน้ำหนักอะมัลกัมแต่ละแคปซูล	72
2) การวิเคราะห์โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)...	73
3) การวิเคราะห์ด้วยวิธี U.S.EPA 3051A (Microwave Digestion) and Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method.....	74
2.ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน	75
1) ผลการคำนวณจากสมมูลมวล.....	75
2) ผลการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์.....	76
3) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุ ของอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่าโดยใช้เทคนิค SEM-EDS...	78
3.ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving)	80
3.1 ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW)	81
1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case	81
2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุ ของอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS.....	82
3.2 ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)	83
1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case	83

2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS.....	84
4.ปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (Residual Amalgam; RA).....	85
1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case	85
2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (RA) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS.....	86
5.ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover).....	88
1) ผลการวิเคราะห์โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200).....	88
2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมด ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B เพื่อเปรียบเทียบกับค่า TTLC	88
3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดด้วยวิธี U.S.EPA 7473 เพื่อเปรียบเทียบกับค่า STLC	91
4.1.3 เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case.....	93
4.1.4 ผลการวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม.....	95
4.1.5 การประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม.....	99
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม.....	103
4.2.1 หน่วยทันตกรรมที่ 1.....	104
4.2.2 หน่วยทันตกรรมที่ 2.....	106
4.2.3 หน่วยทันตกรรมที่ 3.....	108
4.2.4 หน่วยทันตกรรมที่ 4.....	110
4.2.5 หน่วยทันตกรรมที่ 5.....	112

4.2.6 หน่วยพันตกรรมที่ 6.....	114
4.2.7 สรุปข้อมูลปริมาณ Loading ของสารปรอท	116
4.2.8 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมล็กัม	117
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	118
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.1.1 สรุปผลการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมล็กัมที่ปล่อย สู่สิ่งแวดล้อม	118
5.1.2 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมล็กัมในหน่วยพันตกรรม.....	122
5.2 ข้อเสนอแนะ	123
รายการอ้างอิง	125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	134

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	สมบัติทางกายภาพของปรอท 8
ตารางที่ 2-2	รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของปรอท 13
ตารางที่ 2-3	วิธีการบำบัดปรอทที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม และการนำไปใช้ในงานต่างๆ..... 19
ตารางที่ 2-4	เปรียบเทียบวิธีการบำบัดปรอท 20
ตารางที่ 2-5	องค์ประกอบของอะมลัมม์ 23
ตารางที่ 2-6	ข้อมูลแสดงจำนวนการอุดฟันในประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างปี ค.ศ.2005 -2007 (รวมระยะเวลา 1 ปี) ในสถานทันตกรรมเอกชน..... 26
ตารางที่ 2-7	การคาดการณ์ปริมาณปรอทจากงานทันตกรรมในอเมริกา ปี ค.ศ.2006..... 27
ตารางที่ 2-8	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทแต่ละรูปฟอร์มที่พบในน้ำเสียจากงานทันตกรรม... 36
ตารางที่ 2-9	การจัดการของเสียอะมลัมม์ในโรงพยาบาลที่ทำการสำรวจ..... 47
ตารางที่ 2-10	ตารางสรุปผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนปรอทในน้ำเสีย จากงานทันตกรรม (รวบรวมโดย Shraim และคณะ (2011))..... 56
ตารางที่ 3-1	ข้อมูลของเสียปรอทจากอะมลัมม์ที่เก็บรวบรวมได้ต่อหนึ่งหน่วยทันตกรรม 60
ตารางที่ 4-1	ปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมลัมม์ในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง 71
ตารางที่ 4-2	ปริมาณสารปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ ในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง..... 72
ตารางที่ 4-3	ปริมาณปรอทจากการซั้หน้าหน้าอะมลัมม์ 73
ตารางที่ 4-4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากอะมลัมม์แคปซูลโดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)..... 73
ตารางที่ 4-5	สัดส่วนของปรอทโดยมวล (%น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของอะมลัมม์ทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill 74
ตารางที่ 4-6	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวล..... 75
ตารางที่ 4-7	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์ 76
ตารางที่ 4-8	องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมลัมม์ส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า 79

ตารางที่ 4-9	ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (ผลรวมของ SW และ DWW).....	80
ตารางที่ 4-10	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW).....	81
ตารางที่ 4-11	องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW).....	83
ตารางที่ 4-12	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW).....	83
ตารางที่ 4-13	องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วน และเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)	85
ตารางที่ 4-14	ปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA).....	86
ตารางที่ 4-15	องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA)	87
ตารางที่ 4-16	ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200).....	88
ตารางที่ 4-17	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมดที่เปลือกแคปซูล ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B.....	89
ตารางที่ 4-18	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทจากเปลือกแคปซูลที่นำมาสกัด ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดด้วยวิธี U.S.EPA 7473.....	92
ตารางที่ 4-19	เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case.....	94
ตารางที่ 4-20	ปริมาณปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case) จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกราม 1 ซี่.....	96
ตารางที่ 4-21	การคำนวณจำนวนซีฟันที่ได้รับการอุดด้วยวัสดุอะมัลกัมในปี พ.ศ. 2557	99
ตารางที่ 4-22	การประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2557.....	100
ตารางที่ 4-23	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 1	104
ตารางที่ 4-24	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 2	106

ตารางที่ 4-25	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยบำบัดกรรมที่ 3	108
ตารางที่ 4-26	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยบำบัดกรรมที่ 4	110
ตารางที่ 4-27	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยบำบัดกรรมที่ 5	112
ตารางที่ 4-28	ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยบำบัดกรรมที่ 6	114
ตารางที่ 5-1	สรุปปริมาณปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case) จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกรรม 1 ซี่	120



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1	แหล่งกำเนิดปรอทและเส้นทางการปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม 6
รูปที่ 2-2	ข้อมูลความต้องการใช้สารปรอทในกิจกรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ และ สัดส่วนการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก 7
รูปที่ 2-3	วัฏจักรชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนรูปทางเคมีของปรอทในสิ่งแวดล้อม 11
รูปที่ 2-4	วงจรการเคลื่อนย้ายปรอทในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม 12
รูปที่ 2-5	การได้รับสารปรอทเข้าสู่ร่างกาย..... 14
รูปที่ 2-6	Health Data from Inhalation Exposure 17
รูปที่ 2-7	แผนผังการไหลของสารปรอทในยุโรป ปี ค.ศ.2000 (หน่วย ต้นต่อปี) 18
รูปที่ 2-8	รูปแบบอะมัลกัมอัลลอยที่ใช้ในคลินิกปัจจุบัน 22
รูปที่ 2-9	แผนภาพอย่างง่ายขององค์ประกอบในแคปซูลอะมัลกัม 23
รูปที่ 2-10	แสดงโครงสร้างของอะมัลกัม 25
รูปที่ 2-11	ลักษณะฟันที่อุดด้วยวัสดุอะมัลกัม 25
รูปที่ 2-12	แผนภาพเส้นทางของเสีย (Waste Stream) จากงานทันตกรรม..... 28
รูปที่ 2-13	อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมที่ติดกับเตียง (Chairside Trap) และภาพถ่ายอย่างหลัง ผ่านการใช้งาน 5 วัน 29
รูปที่ 2-14	ภาพถ่ายของเสียอะมัลกัมที่ขูดออกในกระบวนการอุดฟัน โดยใช้กล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy :SEM)..... 30
รูปที่ 2-15	แผนผังการไหลของอะมัลกัมในกระบวนการอุดฟัน..... 31
รูปที่ 2-16	วงจรปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม 32
รูปที่ 2-17	วิธีทางในการปล่อยปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม 33
รูปที่ 2-18	สมมูลมวลของสารปรอทจากงานทันตกรรม (ตัน), U.S. 2009..... 33
รูปที่ 2-19	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคอะมัลกัมในน้ำเสียจากงานทันตกรรม..... 37

รูปที่ 2-20	แผนภาพแนวทางการจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมของประเทศไทย	46
รูปที่ 2-21	ผังอย่างง่ายแสดงการไหลของสาร (หรือวัสดุ ผลิตภัณฑ์) อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์	48
รูปที่ 2-22	ลำดับขั้นของการจัดการของเสีย (Waste Management Hierarchy)	50
รูปที่ 3-1	วงจรปรอทจากอะมัลกัม 1 แคปซูล ที่ใช้ในกระบวนการอุดฟันกราม 1 ซี่.....	58
รูปที่ 3-2	ตัวอย่างแผนภาพการวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม.....	59
รูปที่ 3-3	การเก็บข้อมูลของเสียปรอทจากหน่วยทันตกรรม	60
รูปที่ 3-4	อะมัลกัมแคปซูลชนิด 1 Spill และ 2 Spill ที่ปนผสมแล้ว.....	61
รูปที่ 3-5	การศึกษาปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์	62
รูปที่ 3-6	สรุปแนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างแบบ Case by Case.....	65
รูปที่ 3-7	แบบการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม (Amalgam Separator).....	66
รูปที่ 3-8	อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม (Amalgam Separator).....	66
รูปที่ 3-9	แผนภาพการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมัลกัม	67
รูปที่ 3-10	เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม	69
รูปที่ 4-1	เปรียบเทียบปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลและการทดลองอุดฟันจริง	77
รูปที่ 4-2	ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Sample T-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลและการทดลองอุดฟันจริง	78
รูปที่ 4-3	ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิวโดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM).....	79

รูปที่ 4-4	ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) 82
รูปที่ 4-5	ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)..... 85
รูปที่ 4-6	ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (RA) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) 87
รูปที่ 4-7	ปริมาณความเข้มข้นของปรอทที่เปลือกแคปซูลอะมัลกัม 91
รูปที่ 4-8	ปริมาณความเข้มข้นของปรอทจากเปลือกแคปซูล ที่นำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)..... 93
รูปที่ 4-9	เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัม จากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case 94
รูปที่ 4-10	ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Sample T-test เปรียบเทียบ ข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัม จากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case..... 95
รูปที่ 4-11	สัดส่วนปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case) จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกราม 1 ซี่ 97
รูปที่ 4-12	สัดส่วนการกระจายของปรอทโดยเฉลี่ยต่อการใช้อะมัลกัมอุดฟันกราม 1 ซี่..... 98
รูปที่ 4-13	แผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม 98
รูปที่ 4-14	แผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในปี พ.ศ.2557..... 101
รูปที่ 4-15	ปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม 101
รูปที่ 4-16	ปริมาณสารปรอทที่นำมาใช้งานในประเทศและปริมาณการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม.. 102
รูปที่ 4-17	ปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม 102
รูปที่ 4-18	การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมัลกัม 103
รูปที่ 4-19	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยทันตกรรมที่ 1 105

รูปที่ 4-20	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยพันตกรรรมที่ 2.....	107
รูปที่ 4-21	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยพันตกรรรมที่ 3.....	109
รูปที่ 4-22	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยพันตกรรรมที่ 4.....	111
รูปที่ 4-23	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยพันตกรรรมที่ 5.....	113
รูปที่ 4-24	เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบใน หน่วยพันตกรรรมที่ 6.....	115
รูปที่ 4-25	ปริมาณ Loading ของสารปรอทในน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมัลกัม	116
รูปที่ 4-26	กราฟแสดงข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม เปรียบเทียบระหว่างหน่วยพันตกรรรมที่ 1-6.....	117
รูปที่ 5-1	สรุปสัดส่วนการกระจายของปรอทโดยเฉลี่ยต่อการใช้อะมัลกัมอุตสาหกรรม 1 ซี. 120	
รูปที่ 5-2	ค่า Distribution Factor และแผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัม ในงานพันตกรรรม	121
รูปที่ 5-3	ข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งในหน่วยพันตกรรรม ทั้ง 6 แห่ง.....	122

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพบโลหะปรอทปนเปื้อนอยู่ในทุกตัวกลางสิ่งแวดล้อม โดยปรอทส่วนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มาจากการผุพังของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ และบางส่วนปะปนมากับก๊าซภูเขาไฟ และการระเหยจากมหาสมุทร นอกจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติแล้ว การที่มนุษย์นำปรอทมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การเกษตร การแพทย์และงานทางทันตกรรม ทำให้ปรอทแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และหมุนเวียนไปยังตัวกลางต่างๆ ได้แก่ อากาศ น้ำ ตะกอนดิน และสิ่งมีชีวิต ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น (UNEP, 2002) และก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์ เมื่อได้รับสัมผัส ผ่านช่องทางหายใจ การกิน และการสัมผัสทางผิวหนัง ระบบประสาททำงานผิดปกติ และเป็นสาเหตุของโรคมินามาตะ (Minamata) ซึ่งมีอาการ มือ และใบหน้าเกิดอาการบวมและเจ็บ บางคนอาจเกิดอาการเหน็บชาบางส่วนจนเป็นอัมพาต

ในงานทันตกรรม มีการใช้ปรอทเป็นส่วนผสมของวัสดุอุดฟันที่เรียกว่า อะมัลกัม ซึ่งมีปรอทเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 42-52 โดยน้ำหนัก ถูกนำมาใช้ในการบูรณะฟันมานานกว่า 150 ปี ทั้งในโพรงฟันที่มีขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ เนื่องจากอะมัลกัมเป็นวัสดุที่ใช้งานง่าย มีความแข็งแรง ทนทาน และราคาถูก และแม้ว่าจะมีความพยายามที่จะเลิกใช้อะมัลกัมเพราะข้ออ้างเรื่องความเป็นพิษของปรอท แต่ทันตแพทย์สมาคมแห่งประเทศไทยยังคงยืนยันผลงานวิจัยที่ผ่านมาร่วมกับองค์กรระดับนานาชาติ เช่น องค์การอนามัยโลก (WHO) สมาคมทันตแพทย์อเมริกา (ADA) รวมทั้งสภาทันตแพทย์ (FDI) ว่า อะมัลกัมเป็นวัสดุที่ปลอดภัยและมีความทนทาน และเป็นทางเลือกในการอุดฟันที่เหมาะสม ซึ่งต้องมีการใช้งานอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและระมัดระวัง ปฏิบัติตามแนวทางการใช้สารปรอททางทันตกรรมอย่างเข้มงวดเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์, 2554)

ปัจจุบันทั่วโลกมีการอภิปรายและให้ความสำคัญในประเด็นเกี่ยวกับผลกระทบของสารปรอทต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ จากการใช้อะมัลกัม และเกิดการขับเคลื่อนของกลุ่มประเทศสมาชิกของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) เพื่อพัฒนามาตรการทางกฎหมายระหว่างประเทศด้านการจัดการสารปรอท ในการรับรองอนุสัญญามินามาตะ (The Minamata Convention on Mercury) ที่อาจมีผลกระทบในระยะยาวต่อการดำเนินงานทันตกรรมทั่วโลกในอนาคต (Mackay และคณะ, 2013)

สำหรับประเทศไทย อะมัลกัมเป็นวัสดุหลักที่ยังมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการอุดฟันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้จะปีแนวโน้มการใช้จะน้อยลงไปบ้างแล้วก็ตาม เนื่องจากมีการใช้วัสดุสีเหมือนฟันเข้ามาทดแทนการใช้อะมัลกัม แต่มีข้อมูลปรากฏว่ายังขาดแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการและในการใช้งานปรอทในงานทันตกรรมดังเช่นในหมู่ประเทศตะวันตก เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ สแกนดิเนเวีย และอีกหลายประเทศในยุโรป ที่กำหนดเป็นแนวปฏิบัติ ให้สถานบริการและบุคลากรทางทันตกรรมดำเนินการปฏิบัติอย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งมีการใช้มาตรการทางกฎหมายบังคับใช้ในการจัดการเศษอะมัลกัมอย่างถูกวิธีอีกชั้นหนึ่ง ทั้งในส่วนของปฏิบัติในสถานบริการและการกำจัดออกนอกสถานบริการทันตกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (กรมการแพทย์, สถาบันทันตกรรม, 2553) ซึ่งในการที่ประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดและกฎหมายบังคับใช้ ประกอบกับของเสียอะมัลกัมที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับของเสียจากงานทันตกรรมชนิดอื่น จึงยังขาดความตระหนักในการจัดการของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรมทั้งในภาคปฏิบัติงาน และในภาคการรับกำจัดของเสียอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาปรอทที่ใช้ในงานทันตกรรม จะมีผลกระทบต่อผู้รับบริการและทันตบุคลากร รวมทั้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่ในรูปของไอปรอท น้ำเสีย กากของเสีย และวนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะนำไปสู่การปนเปื้อนปรอทสู่สิ่งแวดล้อมเป็นวงจรต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุด ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ จากการได้รับสัมผัสพิษของปรอทตามมา

อะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรมนั้น จะปนผสมกับโลหะปรอทให้อยู่ในสถานะที่สามารถปั้นแต่งได้แล้วนำไปใช้ในการอุดฟัน ซึ่งจากการสำรวจโรงพยาบาลนาร่องเบื้องต้นพบว่ามีเศษอะมัลกัมเหลือเก็บอยู่จำนวนไม่มากนัก และบางส่วนปล่อยทิ้งออกสู่สภาพแวดล้อมโดยปะปนกับขยะในการรักษาทางทันตกรรมทั่วไปหรือออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่หลุดรอดผ่านตัวกรองหยابชั้นต้นที่ติดตั้งกับเตียงซึ่งตัวกรองนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เฉลี่ยมากกว่า 5 ปี และด้วยวิธีการทำความสะอาดที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งไม่มีการเปลี่ยนตัวกรองชุดใหม่ตั้งแต่เริ่มใช้งาน จึงเป็นช่องทางที่ปรอทจากอะมัลกัมจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม โดยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ด้วยเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาทบทวนสถานะปัจจุบันของการจัดการสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในงานทันตกรรมของประเทศ และนำมาวิเคราะห์การไหลของสารปรอทที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้อะมัลกัม เพื่อเป็นข้อมูลในการคาดการณ์ปริมาณสารปรอทที่ปล่อยจากงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม นำไปสู่การจัดหาแนวทางในการลดการเกิดของเสียปรอทจากอะมัลกัม และนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเส้นทางและปริมาณการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้สารอะมัลกัมในงานทันตกรรม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางในการลดสารปรอทจากของเสียของอะมัลกัมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากงานทันตกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและปฏิบัติการ ทำการศึกษาทบทวนสถานะปัจจุบันของการจัดการสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในงานทันตกรรมของประเทศ และวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม (Substance Flow Analysis–SFA) เพื่ออธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า-ออก ของสารปรอท จากจุดที่เริ่มต้น ผ่านขั้นตอนการใช้งานจนถึงขั้นตอนการกำจัด รวมถึงการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของมลพิษทางน้ำ และขยะของเสีย โดยใช้หลักการทำสมดุลมวลสาร (Mass Balance) ในการวิเคราะห์ปริมาณสารขาเข้า (Import) ปริมาณสารขาออก (Export) และปริมาณสารสะสมของระบบรวมทั้งหมด (Stock) จากการใช้อะมัลกัมในงานทันตกรรม นำมาซึ่งข้อเสนอแนะที่เหมาะสมในการกำหนดแนวทางการลดของเสียปรอทจากสารอะมัลกัมที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัยดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาเส้นทางและวงจรของสารปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม และประเมินปริมาณสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยการเก็บข้อมูลจำนวนซี่ฟันที่อุดด้วยอะมัลกัม ปริมาณของเสียอะมัลกัมที่เกิดขึ้นในหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง เป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน
- 1.3.2 ประเมินปริมาณ สัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) จำนวน 15 ราย เพื่อเป็นข้อมูลร่วมในการประเมินปริมาณการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม
- 1.3.3 เสนอแนะแนวทางในการลดการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อม โดยการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) บริเวณท่อน้ำเสียรวมของหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง และวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทก่อนและหลังผ่าน Amalgam Separator เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อมของระบบเมื่อนำมาใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 6 เดือน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปรอท ณ ห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ขั้นสูง บริษัท เบ็กแมนน์ เมอร์คิวรี เทคโนโลยี แอปพลิเค (บีเอ็มทีพี) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ และ บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด (ยูเออี) กรุงเทพมหานคร

จากขั้นตอนการศึกษาข้างต้น จะเป็นข้อมูลนำไปสู่การคาดการณ์ปริมาณของเสียปรอท จากอะมัลกัมในงานทันตกรรมในระดับประเทศ และมีแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อการลดของเสียปรอท (Waste Minimization) ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งในส่วนของการกำหนดนโยบายเพื่อลดหรือยกเลิกการใช้อะมัลกัม (Phase Down & Phase Out) และนโยบายที่ต้องทำการคัดแยกปรอท โดยนำไปสกัดแยกบริสุทธิ์และจัดการของเสียที่มีสารปรอทเจือปนอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ก่อนนำไปกำจัดทิ้งในขั้นตอนต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย

- 1.4.1 ได้รับข้อมูลการไหลของสาร (SFA) เป็นฐานข้อมูลการปล่อยสารปรอทเพื่อใช้ในการบริหารจัดการของเสียปรอทในงานทันตกรรม
- 1.4.2 ทราบถึงประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) ในการลดการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อนำมาใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 6 เดือน
- 1.4.3 มีแนวทางในการลดการปล่อยของเสียปรอทจากงานทันตกรรมของประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรอท เป็นองค์ประกอบหลักของอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษหลายระดับในรูปแบบที่ต่างกัน สามารถปล่อยออกสู่เส้นทางของการเกิดมลพิษ (Waste Stream) ในรูปของขยะมูลฝอยชุมชน หรือระบบระบายน้ำเสีย และสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจนกลายเป็นปัญหามลพิษหลักได้ จากการศึกษาในต่างประเทศที่ผ่านมาพบว่า ร้อยละ 10 – 70 ของของเสียจากงานทันตกรรม สามารถปล่อยภาระบรรทุกของสารปรอทในแต่ละวันสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (Berglund, 1999)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้อะมัลกัมในการอุดฟันประมาณ 90 – 100 ตันต่อปี (WHO, 1991) โดยองค์ประกอบของอะมัลกัมที่ใช้จะมีความหลากหลายตามแต่ละผู้ผลิตและผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม ส่วนผสมพื้นฐานของอะมัลกัมโดยน้ำหนักประกอบด้วย เงิน ร้อยละ 20-34 ดีบุก ร้อยละ 8-15 ทองแดง ร้อยละ 1-5 โลหะชนิดอื่น ร้อยละ 0-5 และปรอท ร้อยละ 42-52 (Brien, 1997) โดยในขั้นตอนการปฏิบัติงานทางทันตกรรมทำให้เกิดของเสียผสมต่างกันระหว่างของเหลว และอนุภาคของแข็ง องค์ประกอบหลักของของเสียผสมคืออนุภาคของอะมัลกัมที่มีขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ไปจนถึงขนาดเล็กในระดับไมครอน จากงานวิจัยของ Arenholt-Bindselv (1992) ได้จำแนกของเสียจากงานทันตกรรมออกเป็น 2 ชนิดคือ อนุภาคอะมัลกัม (Primary Amalgam Particles) และน้ำเสีย (Sewage) โดยในการศึกษานี้จะประยุกต์ใช้หลักการทำสมดุลมวลสาร (Material Flow Balance) เพื่อศึกษาปริมาณของเสียปรอทจากอะมัลกัมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในงานทันตกรรม

2.1 ปรอทในสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลรายงานการประเมินปริมาณปรอทในสิ่งแวดล้อมทั่วโลกจากแหล่งกำเนิด การปล่อยมลพิษ และการเคลื่อนย้ายสู่สิ่งแวดล้อม ที่จัดทำโดยโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP, 2008) พบว่า แหล่งกำเนิดของปรอท มีทั้งจากแหล่งธรรมชาติ เช่น จากการผุพังของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งบางส่วนปะปนมากับก๊าซจากการระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่าและการระเหยจากมหาสมุทร และแหล่งอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ การทำเหมืองโลหะ และอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งปรอทเหล่านี้จะถูกปล่อยในรูปของมลพิษที่เป็น By-Product และแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (ดังรูปที่ 2-1)

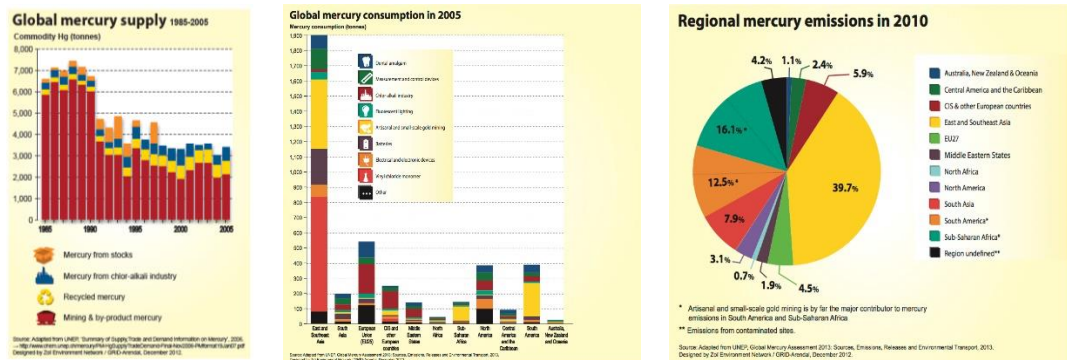


Note : Mercury comes from both natural and anthropogenic sources and has many pathways to ecosystems and humans.

ที่มา : UNEP Chemicals Branch, 2008. The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. UNEP-Chemicals, Geneva.

รูปที่ 2-1 แหล่งกำเนิดปรอทและเส้นทางการปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลการประเมินปริมาณสารปรอททั่วโลกของ UNEP ในปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548) ได้ประเมินปริมาณความต้องการใช้สารปรอทในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลกอยู่ระหว่าง 3,000-3,900 ตัน ซึ่งลดลงจากเมื่อ 50 ปีที่แล้ว (ค.ศ. 1950-1960) ที่มีการใช้สารปรอทมากถึง 9,000 ตัน และลดลงเหลือ 4,000 ตันในช่วงทศวรรษ 1980-1990 ซึ่งเห็นได้ว่าความต้องการสารปรอทลดลง เนื่องจากมีการรับทราบถึงความเป็นพิษของปรอท และสามารถใช้อื่นๆ ทดแทนได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความต้องการสารปรอทในแต่ละภูมิภาคของโลกแล้ว พบว่า ในปี ค.ศ. 2005 ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีความต้องการสารปรอทมากกว่าภูมิภาคอื่นๆ และเป็นเช่นนั้นเรื่อยมา ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการปลดปล่อยที่พบว่า ทวีปเอเชียมีส่วนการปล่อยปรอทสู่บรรยากาศมากที่สุด ประมาณร้อยละ 50 ของทั่วโลก ประเทศจีนปล่อยสารปรอทประมาณ 3 ใน 4 ของพื้นที่ดังกล่าว หรือคิดเป็น 1 ใน 3 ของสารปรอทที่ปล่อยทั่วโลก ทั้งนี้มีรายงานข้อมูลเพิ่มเติมจาก Artisanal And Small Scale Gold Mining (ASGM) ว่ามีการปล่อยปรอทเพิ่มขึ้นในแถบทวีปอเมริกาใต้ และแถบทะเลทรายซาฮารา ทวีปแอฟริกา โดยเป็นการคาดการณ์ปริมาณการปล่อยสารปรอทที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองคำในพื้นที่ ซึ่งเป็นมลพิษหลักที่พบมากกว่าทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ และกลุ่มประเทศและหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก รายละเอียดดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ข้อมูลความต้องการใช้สารปรอทในกิจกรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ และสัดส่วนการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก

2.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท

ในอดีตมีการนำปรอทมาใช้ประโยชน์ในอาณาจักรอียิปต์โบราณตั้งแต่ 1,500 ปีก่อนคริสตกาล และนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ในประเทศจีนและทิเบตโบราณ ปรอทมีสัญลักษณ์คือ Hg เป็นธาตุลำดับที่ 80 ในตารางธาตุ อยู่ในกลุ่มของโลหะทรานสิชัน หมู่ 2B อยู่แถวท้ายสุดของแถว d ในตารางธาตุ โดยทั่วไปปรอทอาจอยู่ในรูปของโลหะบริสุทธิ์ (Metallic form) ในสถานะของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงและไม่มีสมบัติทางแม่เหล็ก รวมถึงอาจอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Mercury Compound) หรือในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Mercury compound) ปรอทที่อยู่ในรูปของโลหะ โดยส่วนมากจะบริสุทธิ์และไม่ผสมกับสารอื่นแต่สามารถเกิดเกลือเป็นสารประกอบเฮไลด์ได้ โดยสารประกอบเฮไลด์ที่สำคัญคือ เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous Chloride) มีสูตร Hg_2Cl_2 มีลักษณะเป็นตะกอนสีขาว สามารถละลายน้ำได้ สารประกอบของปรอทมักมีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง +1 และ +2 โดยเมื่อเลขออกซิเดชันเป็น +1 จะเรียกสารประกอบนั้นว่า เมอร์คิวรัส (Mercurous) เมื่อเป็น +2 เรียกว่า เมอร์คิวริก (Mercuric) อย่างไรก็ตาม สารประกอบเมอร์คิวรัสมีปรอทสองอะตอมอยู่คู่กันเสมอ เรียกว่าเกิดเป็นไดเมอร์ (Dimer) ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำจะอยู่เป็นประจุคู่เสมอคือเป็น Hg_2^{2+} แต่สมบัติทางเคมีอื่นๆ คล้ายคลึงกับประจุเดี่ยวทั่วไป ส่วนสารประกอบเฮไลด์ของปรอทที่เสถียรในรูปสารละลาย ได้แก่ Hg_2X_2 (X = Cl, Br, I) อาจพบเป็นแร่อิสระหรือพบในรูปของ HgS ซึ่งมีสีแดงกระจายอยู่ในเนื้อหินที่เรียกว่า Cinnabar โดยลักษณะดังกล่าวมักพบอยู่ในธรรมชาติ (ยคินทร์ ยางทอง, 2554)

โดยทั่วไปปรอทในรูปของธาตุปรอท (Hg^0) สามารถรวมเป็นสารประกอบ (Complex) กับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้อย่างแข็งแรง จากนั้นจึงตกตะกอนรวมกับตะกอนอื่นๆ ซึ่งปรอท (Hg^0) จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น Bivalent (Hg^{2+}) โดย Hg^{2+} จะถูกเปลี่ยนไปเป็น Methylmercury (CH_3Hg^+) และ Dimethylmercury (CH_3HgCH_3) ในขณะที่ Methylmercury จะจมอยู่ในน้ำ และ

สะสมในปลา สาหร่าย และสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ในน้ำส่วน Dimethylmercury จะไม่เสถียรและจะถูกเปลี่ยนไปเป็น Methylmercury ในที่สุด

ปรอทจะอยู่ในสถานะของเหลว มีความหนืดต่ำระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายและมักจะอยู่ในสภาพเป็น Mono atomic ในอุณหภูมิห้อง ปรอทมีจุดหลอมเหลวต่ำ มีจุดเดือดสูง สามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าโลหะอื่น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มออกซิเจนลงไป สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย เนื่องจากปรอทมี Inter atomic force ต่ำมาก นอกจากนี้ ปรอทยังละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เช่น นอร์มัลเฮกเซน (2.7×10^{-7} กรัม ต่อ 100 กรัม ที่ 40 องศาเซลเซียส) ในเบนซีน (2.0×10^{-7} กรัมต่อ 100 กรัม ที่ 20 องศาเซลเซียส) ในเมทานอล (3.6×10^{-7} กรัมต่อ 100 กรัม ที่ 63 องศาเซลเซียส) และในไดออกเซน (7.0×10^{-7} กรัม ต่อ 100 กรัม ที่ 25 องศาเซลเซียส) ปรอททำปฏิกิริยากับฮาโลเจนโดยตรงที่อุณหภูมิห้องแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ถ้าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จะได้ HgO ปรอทไม่ทำปฏิกิริยากับไฮโดรด์ของ HF, HCl, H₂S, NH₃, PH₃ และ AsH₃ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส แต่ทำปฏิกิริยากับ HBr, HI ที่อุณหภูมิห้อง สมบัติต่างๆ ทางกายภาพของปรอทแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สมบัติทางกายภาพของปรอท

สมบัติทางกายภาพ	ค่า
เลขอะตอม (Atomic number)	80
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)	200.59
จุดหลอมเหลว (Melting Point, °C)	-38.87
จุดเดือด (Boiling Point, °C)	356.57
HFUSION, (Enthalpy of Fusion, kcal mole ⁻¹)	0.5486
SFUSION, (Entropy of Fusion, cal deg ⁻¹ mole ⁻¹)	2.37
ความดันไอ (Vapor Pressure)	1 mmHg ที่ 126.°C, 10 mmHg ที่ 184 °C, 100 mmHg ที่ 261 °C
ความหนาแน่น (Density)	13.534 g/cm ³ ที่ 25 °C
ค่าการละลายน้ำ (Solubility in Water 100 g)	6x10 ⁻⁶ g ที่ 25 °C
Ohmic resistance	95.76x10 ⁻⁸ ohm m ที่ 20 °C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	13.545

ที่มา : ยศินทร์ ยางทอง, 2554

2.1.2 รูปแบบ (Form) ของปรอทที่พบในธรรมชาติ

สารปรอทในธรรมชาติ มี 3 รูปแบบหลัก คือ

- 1) **โลหะปรอท (Elemental Mercury หรือ Metallic Mercury; Hg^0)** เป็นปรอทเหลว ระเหยกลายเป็นไอปรอทเมื่อมีอุณหภูมิสูง ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตคลอรีน เทอร์โมมิเตอร์ บาร์โรมิเตอร์ แบตเตอรี่ และอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น
- 2) **สารประกอบปรอทอนินทรีย์ (Inorganic Mercury Compounds)** เกิดจากรวมตัวของสารปรอทกับสารอื่น เช่น คลอรีน ซัลเฟอร์ ออกซิเจน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกลือปรอท ใช้ผสมเครื่องสำอางบางชนิด สารต้านฆ่าเชื้อ วัสดุอะมัลกัมที่ใช้อุดฟัน และสีทาบ้าน เป็นต้น
- 3) **สารปรอทอินทรีย์ (Organic Mercury)** เป็นรูปแบบของปรอทที่ถูกเมทิลเลท (Methylated Forms) และเป็นรูปแบบที่เป็นพิษมากที่สุด ได้แก่ สารประกอบอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkyl Mercury) เช่น เมทิลเมอร์คิวรี (Methyl Mercury), ไดเมทิลเมอร์คิวรี (Dimethyl Mercury) และเอทิลเมอร์คิวรี (Ethyl Mercury) เมทิลเมอร์คิวรีมีความเป็นพิษสูงมาก เนื่องจากละลายได้ดีในไขมัน จึงสะสมในร่างกายได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อเยื่อสมองและสามารถเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อ BBB (Blood-Brain Barrier) ได้ เมทิลเมอร์คิวรี เดิมใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อราในเมล็ดพืช ผสมในสีทาบ้าน และในอุตสาหกรรมการผลิตยาต่างๆ เป็นต้น

สารประกอบของปรอทในรูปแบบโครงสร้างทางเคมีต่างๆ ในธรรมชาติจะพบในปริมาณที่ไม่เท่ากัน และแต่ละรูปแบบก็มีความเป็นพิษแตกต่างกัน โดยทั่วไปในบรรยากาศจะพบไอของธาตุปรอทส่วนในน้ำและตะกอนดินจะพบในรูปปรอทอนินทรีย์ สำหรับในเนื้อเยื่อมนุษย์และสัตว์จะสะสมอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์ (หลุทัย อภัยรัตน์, 2552)

2.1.3 การเปลี่ยนรูปและการแพร่กระจายสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

ตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ปรอทเป็นธาตุที่หนักที่สามารถรวมเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้อย่างแข็งแกร่งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ตกตะกอนร่วมกับตะกอนอื่นๆ โดยปรอทจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น Bivalent Ion (Hg^{+2}) ในแหล่งน้ำ และ Hg^{+2} จะถูก Methylate ไปเป็น Methyl Mercury และ Dimethyl Mercury และถ่ายถอดสะสมในปลา สาหร่ายตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ในขณะที่ Dimethyl Mercury มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปกับก๊าซออกสู่บรรยากาศภายนอก ภายใต้อุณหภูมิที่เย็นและมีแสงอัลตราไวโอเล็ต Dimethyl Mercury จะไม่คงตัว และถูกเปลี่ยนไปเป็น

Methyl Mercury ซึ่งอาจตกตะกอนหรือถูกเปลี่ยนไปเป็นธาตุปรอท กระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

ปรอทในสิ่งแวดล้อมสามารถเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างทางเคมีได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติ ปรอทในรูปสารประกอบปรอทอนินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปปรอทอินทรีย์ซึ่งมีความเป็นพิษสูง โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนปรอทอนินทรีย์เป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี โดยกระบวนการเมทิลเลชัน (Methylation) โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศ (Anoxic) เช่น บริเวณตะกอนท้องน้ำที่อยู่ลึกจากผิวน้ำของทะเลสาบ และแม่น้ำ ซึ่งเมื่อปรอทเข้าสู่แหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นรูปสารประกอบอนินทรีย์หรือสารประกอบอินทรีย์ จะไม่สลายตัวหายไป แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างทางเคมี ปรอทอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมที่พบมากและเป็นรูปแบบที่เป็นพิษมากที่สุด คือ โมโนเมทิลเมอร์คิวรีหรือ CH_3Hg^+ ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างทางเคมีที่สะสมได้ดีในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ โดยปรอทอินทรีย์จะสะสมในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตอื่นผ่านทางห่วงโซ่อาหาร การสะสมจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร (Trophic Level) และพบว่าปรอทที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อปลาจะอยู่ในรูปของ Methyl Mercury มากกว่า 90%

ปรอทในบรรยากาศ

ปรอทในบรรยากาศมี 2 รูปแบบ คือ ไอปรอท (Hg^0) โดยกระแสลมในบรรยากาศจะพัดพาไอปรอทให้ไปได้ไกลหรือใกล้จากแหล่งกำเนิดก็ได้ ส่วนปรอทในรูปประจุบวก (Cation) (Hg^{2+}) ซึ่งจะเกาะอยู่กับอนุภาค โดยส่วนใหญ่จะตกสะสมไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด แต่ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค และกระแสลมด้วย ไอปรอทในบรรยากาศตกลงสู่พื้นดินและพื้นน้ำได้โดยกระบวนการ 2 ประเภท คือ แบบแห้ง โดยปรอทในรูปอนุภาค เช่น ปรอทที่เกาะอยู่กับอนุภาคพวกเขม่า จะตกลงสู่พื้นโดยแรงโน้มถ่วง และแบบเปียก โดยหยาดน้ำฝน ละอองน้ำประเภทต่างๆ ซึ่งจะชะปรอททั้งประเภทที่ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไอออนและปรอทที่เป็นอนุภาคให้ตกลงสู่พื้นดิน ซึ่งปริมาณปรอทที่มีอยู่ในอากาศตามแหล่งต่างๆ จะแตกต่างกัน เช่น พื้นที่ชนบทจะมีปรอทเจือปนอยู่ในบรรยากาศประมาณ 1-5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในเขตชุมชนหรือเมืองต่างๆ มีปรอทประมาณ 7-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (हत्यै अर्धरत्न, 2552)

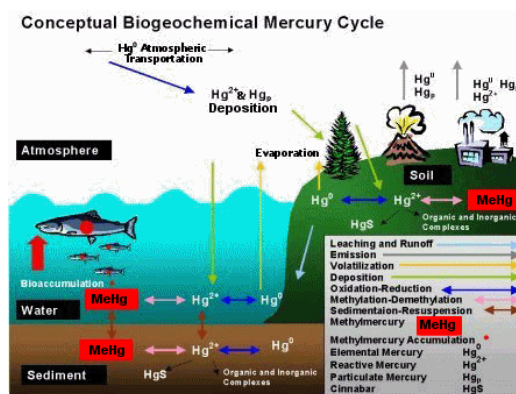
ปรอทในดิน

ปรอทที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ในดินจะถูกเปลี่ยนให้เป็นเมอร์คิวริกไอออน (Hg^{+2}) และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นสารประกอบที่มีความคงตัว เช่น เมอร์คิวริซัลไฟด์ หรือเป็นไอปรอทเมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas* spp. ซึ่งอยู่ในดินบริเวณรากพืช จะเป็นตัวกั้นขวางการดูดซึม ทำให้มีการสะสมของปรอทในดินบริเวณนั้นมากขึ้น ซึ่งปรอทที่สะสมในดินมักจะ

อยู่ในรูปสารประกอบร่วมกับสารอื่นในดิน กลายเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อมีกิจกรรมการใช้ที่ดิน เช่น การเกษตร การพัฒนาที่ดินเพื่ออยู่อาศัย การขุดดิน การทำเหมืองการทำถนน ฯลฯ จะทำให้สารประกอบปรอทเหล่านี้เปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมี การเปิดหน้าดินทำให้ปรอทถูกชะกร่อนและถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ทำให้ปรอทเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีมาอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้มากขึ้น และส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของปรอทจากดินเข้าสู่แหล่งน้ำ สำหรับดินที่ไม่มีการปนเปื้อน ความเข้มข้นของปรอทในดินมีค่าในระดับค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยประมาณ 0.07 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนดินบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่หรือดินที่มีการปนเปื้อน (Polluted Soils) จะมีความเข้มข้นของปรอทบางแห่งสูงเกินกว่า 500 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีระยะเวลาการคงตัว (Residence Time) อยู่ในดินนานถึง 1,000 ปี

ปรอทในแหล่งน้ำ

ปรอทที่ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะถูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำ และในที่สุดจะสะสมอยู่ในตะกอนดิน การเพิ่มขึ้นของระดับปรอทในแหล่งน้ำที่อยู่ห่างไกลชุมชนหรือในพื้นที่ธรรมชาติ บ่งชี้ว่าปรอทที่ปนเปื้อนเข้าไปในบรรยากาศเป็นแหล่งที่มาสำคัญของการปนเปื้อนของปรอทในแหล่งน้ำ แม้แต่ในทะเลที่ห่างไกลออกไปจากแผ่นดินก็ยังมี การปนเปื้อนของปรอทเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปนเปื้อนของสารปรอทในตะกอนดินในแหล่งน้ำนี้เอง จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งจากการกลืนกินโดยตรงหรือจากที่ปล่อยออกจากตะกอนดิน ถ่ายทอด และสะสมในสิ่งมีชีวิตตามลำดับขั้นผู้บริโภคที่สูงขึ้นในห่วงโซ่อาหาร สิ่งมีชีวิตในลำดับผู้บริโภคที่สูงจึงมีความเข้มข้นของปรอทสะสมในร่างกายสูง เช่น ปลา ปู กุ้ง สัตว์น้ำต่างๆ และแม้แต่สัตว์บกก็มีโอกาสได้รับปรอทด้วย รูปที่ 2-3 แสดงวัฏจักรทางชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนรูปทางเคมีของปรอทเมื่อถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ บางส่วนจะยึดติดอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำในเวลาต่อมา ซึ่งปรอทที่สะสมอยู่ในตะกอนดินท้องน้ำจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบทางเคมี เช่นเดียวกับที่เกิดในดิน

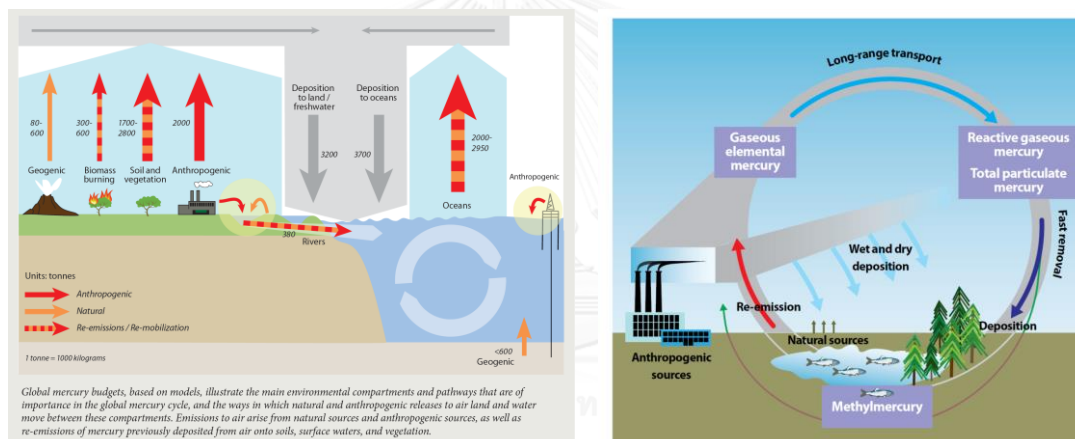


ที่มา: <http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EH/EN/eh-b.cfm>

รูปที่ 2-3 วัฏจักรชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนรูปทางเคมีของปรอทในสิ่งแวดล้อม

2.1.4 การเคลื่อนย้ายปรอทในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม

ในวงจรของปรอทที่ปล่อยสู่บรรยากาศนั้น พบว่า ปรอทสามารถเคลื่อนที่ย้อนกลับและปล่อยเข้าสู่บรรยากาศได้อีก (Re-Mobilized and Re-Emitted) โดยการเคลื่อนที่ซ้ำของปรอทจะปรากฏเมื่อมีการไหลเวียนของอากาศเกิดขึ้นซ้ำ ยกตัวอย่างเช่น ปรอทที่สะสมอยู่ในดินหรือตะกอนอาจจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับฝนหรือน้ำที่ท่วมสะสม และเข้าสู่ระบบแหล่งน้ำ ปรอทที่พืชสะสมไว้ สามารถปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกครั้งในระหว่างไฟไหม้ป่าหรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล นอกจากนี้การปล่อยซ้ำจะเกิดขึ้นเมื่อมีการปล่อยสารปรอทที่สะสมอยู่ในพื้นผิวดินเข้าสู่อากาศอีกครั้ง แม้ว่าจะไม่สามารถแยกได้ว่ามลพิษที่ปล่อยซ้ำนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเป็นสิ่งที่มนุษย์ก่อขึ้น แต่สิ่งเหล่านี้สามารถสะท้อนถึงปริมาณมลพิษตั้งต้นที่มีอยู่เดิม ซึ่งส่วนที่ Deposited อยู่ในอากาศสามารถปล่อยออกมาได้อีกหลายครั้งตราบเท่าที่ปรอทยังคงไหลเวียนอยู่ในชั้นบรรยากาศ (ดังรูปที่ 2-4)



Note : Mercury is transported throughout the world, undergoing chemical reactions, deposition, and re-emission as it cycles through the environment and into food webs. ที่มา : UNEP Chemicals Branch, 2008. The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. UNEP-Chemicals, Geneva.

รูปที่ 2-4 วงจรการเคลื่อนย้ายปรอทในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม

2.1.5 พิษของสารปรอท

เนื่องจากโลหะปรอทสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบได้ทั้ง รูปสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ พิษของสารปรอทจึงมีลักษณะแตกต่างกันไปตามรูปของสารประกอบนั้นๆ โดยสารประกอบอินทรีย์ของปรอท (Organo Mercury Compound) เป็นสารประกอบปรอทที่เป็นพิษมากที่สุด อาทิเช่น สารประกอบจำพวกอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkyl Mercury) ซึ่งได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรีที่มีพิษและความสามารถในการขัดขวางปฏิกิริยาในร่างกายได้มากที่สุด นอกจากนี้ยังมีสารประกอบจำพวก Aryl mercury โดยเฉพาะ CH_3Hg^+ (Methyl Mercury) ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายได้ดี

ในไขมัน ซึ่งเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ร่างกายสามารถดูดซึม Methyl mercury ในทางเดินอาหารได้สูงถึง 95–98% แต่ร่างกายสามารถขับออกมาเป็นของเสียได้น้อยมาก โปรทูปนี้ยังมีความสามารถในการยึดติดกับเม็ดเลือดแดงและแพร่กระจายไปยังทุกส่วนของร่างกาย โดยพบว่าประมาณ 15 % มักจะถูกสะสมอยู่ในสมอง เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวสามารถผ่านเนื้อเยื่อ Blood-brain Barrier (BBB) ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อสมองในส่วนของระบบประสาทส่วนกลาง สารปรอทอินทรีย์จึงสามารถทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถาวร โดยส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในสมองส่วนเซเลเบลลัม (Cerebellum) และเซเลเบลคอร์เท็กซ์ (Cerebral Cortex) ซึ่งทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อสมองส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึก ทำให้ผู้รับสารปรอทมีอาการผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาท การมองเห็นและความรู้สึก ในส่วนสารประกอบปรอทที่อยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous Chloride, Hg_2Cl_2) ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีขาว มีพิษอย่างร้ายแรง เรียกว่าคาลอเมล (Calomel) ซึ่งสามารถระเหิดได้และมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง แต่ถูกดูดซึมผ่านทางเดินอาหารได้น้อย ส่วนปรอทในรูปโลหะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังและลมหายใจได้ง่าย โปรทูปที่อันตรายต่อชีวิตมนุษย์มากที่สุดคือ ในรูปไอระเหย ซึ่งสามารถทำให้เกิดพิษเฉียบพลันถ้าหายใจเข้าไปในช่วงความเข้มข้น 1,200–8,500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้นความเป็นพิษของสารปรอทมักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีที่ปรากฏในสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของปรอท

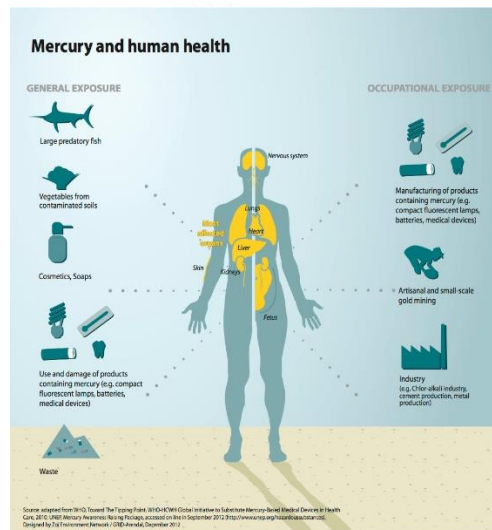
รูปแบบ	ลักษณะความเป็นพิษ
Hg^0	โลหะปรอทบริสุทธิ์: ค่อนข้างเฉื่อยและไม่เป็นพิษ แต่ส่วนของไอปรอทเป็นพิษอย่างร้ายแรงเมื่อสูดเข้าไป
Hg_2^{2+}	ประจุเมอร์คิวรัส: ไม่ละลายน้ำสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบคลอไรด์มีความเป็นพิษน้อย
Hg^{2+}	ประจุเมอร์คิวริก: เป็นพิษ มีสัมพรรคภาพ (Affinity) สูงกับกลุ่มไทออล (Thiol Group, SH) สามารถจับตัวกับซัลเฟอร์ในเม็ดเลือดแดง เซรัม (Serum) และในโปรตีนชนิดต่างๆ แต่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อเลือกผ่าน เช่น Blood-brain Barrier ได้ สามารถสะสมและทำอันตรายต่อไต
RHg^+	สารปรอทอินทรีย์เชิงเดี่ยว: มีความเป็นพิษสูงโดยเฉพาะ CH_3Hg^+ (Methyl Mercury) ทำลายระบบประสาทและสมองอย่างถาวร สามารถเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อเลือกผ่าน เช่น Blood-brain Barrier ได้ สามารถสะสมได้ดีในเนื้อเยื่อไขมัน
R_2Hg	สารปรอทอินทรีย์เชิงคู่: มีความเป็นพิษต่ำแต่สามารถถูกเปลี่ยนรูปแบบเป็น RHg^+ ได้ในตัวกลางที่เป็นกรด
HgS	สารประกอบปรอทซัลไฟด์ไม่ละลายในน้ำและไม่เป็นพิษ พบตามธรรมชาติ เช่น ในดิน

ที่มา : ยศินทร์ ยางทอง, 2554

การได้รับปรอทเข้าสู่ร่างกาย

สารปรอทที่แพร่กระจายหรือปนเปื้อนอยู่ในดินและแหล่งน้ำจะมีการถ่ายเทสู่สิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ได้ 3 ทางเช่นเดียวกับสารพิษชนิดอื่นๆคือ

- 1) ทางหายใจ โดยการสูดหายใจเอาผงหรือไอระเหยของปรอทเข้าสู่ปอดซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างบริเวณจมูกและทำอันตรายต่อกระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูก
- 2) ทางปาก โดยการรับประทานเข้าไปมักจะเป็นอุบัติเหตุปะปนกับอาหารและน้ำดื่ม
- 3) ทางผิวหนัง คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับปรอทจะได้รับฝุ่นละอองหรือไอระเหยของปรอทและเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้ ทำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคืองและเป็นโรคผิวหนังได้



รูปที่ 2-5 การได้รับสารปรอทเข้าสู่ร่างกาย

เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วสารปรอทผ่านเข้าไปในกระแสเลือดและกระจายไปตามเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ อวัยวะที่มีการสะสมปรอทได้มากที่สุด คือ ไต รองลงมา ได้แก่ ตับ ม้าม สมอง ผนังลำไส้เล็ก หัวใจ และปอด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สารปรอทบางส่วนจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายโดยผ่านทางไตและลำไส้ใหญ่ และมีจำนวนเล็กน้อยถูกขับออกมาทางน้ำดี เหงื่อ และน้ำลาย ปรอทจะทำอันตรายต่อร่างกายมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับเหตุการณ์และปัจจัยดังนี้

- 1) ทางที่พิษเข้าสู่ร่างกาย เช่น ทางผิวหนัง ทางระบบหายใจ หรือทางระบบย่อยอาหาร
- 2) ปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย
- 3) ชนิดของสารปรอทที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายปรอทในรูปเมทิลหรืออัลคิล เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีพิษมากที่สุด

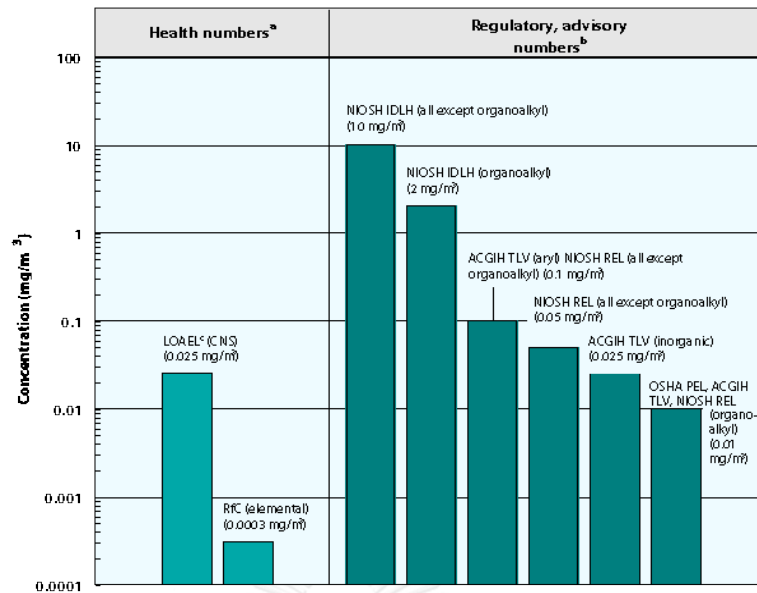
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าปรอทในธรรมชาติมีอยู่หลายรูปแบบทั้งปรอทอินทรีย์และปรอทอนินทรีย์ และยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีโดยแบคทีเรียสัตว์หรือพืชบางชนิด ปรอทแต่ละรูปแบบจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตไม่เท่ากัน ปรอทในรูปสารอินทรีย์เป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษที่สุด ได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรี ร่างกายสามารถดูดซึมเมทิลเมอร์คิวรีในทางเดินอาหารได้สูงสุดถึง 95-98% แต่ขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมากเนื่องจากเป็นสารที่เสถียรไม่ค่อยแตกตัว ปรอทรูปนี้สามารถยึดติดกับเม็ดเลือดแดงและแพร่กระจายไปยังทุกส่วนของร่างกาย โดยพบว่าประมาณ 15% จะสะสมอยู่ในสมอง สามารถเข้าไปขัดขวางการทำงานของระบบประสาททำให้ระบบประสาททำงานผิดปกติและเป็นสาเหตุของโรคมินามาตะ (Minamata) นอกจากนี้สารประกอบปรอทอินทรีย์ ยังสามารถซึมผ่านรกเข้าสู่ทารกในครรภ์มารดา ทำให้ทารกที่เกิดมามีอาการผิดปกติทางระบบประสาทและภูมิปัญญา และทำให้เกิดการผิดปกติทางโครโมโซมของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะยาวทางกรรมพันธุ์ (ATSDR, 1999) ส่วนปรอทในรูปโลหะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังและลมหายใจได้ง่าย ปรอทรูปที่อันตรายต่อชีวิตมนุษย์มากที่สุด คือ รูปีเอระเหย ซึ่งสามารถทำให้เกิดพิษเฉียบพลันถ้าหายใจเข้าไปในช่วง 1,200 – 8,500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจะเกิดพิษเรื้อรังเมื่อหายใจเข้าไปในปริมาณต่ำสุดที่อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Minimal Risk Levels (MRLs)) เท่ากับ 0.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ATSDR, 2015) นอกจากนี้ สำหรับค่าต่ำสุดที่อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากการการรับสัมผัสสารปรอทในรูปเมทิลเมอร์คิวรีผ่านการกิน (MRLs) มีค่าเท่ากับ 0.0003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทมีความเป็นพิษน้อยที่สุดเพราะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารได้น้อยมากไม่เกิน 2% และยิ่งกว่านั้นยังถูกขับออกจากร่างกายได้ง่าย (NOAA,1996)

การเกิดพิษจากสารปรอทมีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง พิษชนิดเฉียบพลันมักเกิดจากอุบัติเหตุโดยการกลืนกินสารปรอทเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย และทำให้คนตายได้โดยเฉลี่ยประมาณ 0.02 กรัม อาการที่เกิดจากการกลืนกินปรอท คือ อาเจียน ปากพอง แดงไหม้ อักเสบ และเนื้อเยื่ออาจหลุดออกมาเป็นชิ้นๆ เลือดออก ปวดท้องอย่างแรง เนื่องจากปรอทก่ระบบทางเดินอาหารมีอาการท้องร่วงอย่างแรง อุจจาระเป็นเลือด เป็นลม สลบเนื่องจากร่างกายเสียเลือดมากเมื่อเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิต ปรอทจะไปทำลายไต ทำให้ปัสสาวะไม่ออก หรือปัสสาวะเป็นเลือด และตายในที่สุด หรือกรณีการหายใจสูดไอปรอทเข้าไปในร่างกายทำให้เกิดอาการไอหอบเหนื่อย แน่นหน้าอก หนาวสั่นไข้ อ่อนเพลีย การหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้น ปวดท้องท้องเสีย ลื่นได้รับรสโลหะ กรณีรุนแรงเกิดเนื้อเยื่อปอดอักเสบอาจมีอาการปวดศีรษะและการมองเห็นผิดปกติ

สำหรับอาการพิษชนิดเรื้อรังนั้น เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะไปทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งได้แก่ สมอง และไขสันหลัง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขน ขา

การพูด และยังทำให้ระบบประสาทรับรู้เสียไป เช่น การได้ยิน การมองเห็น ซึ่งอันตรายเหล่านี้ เมื่อเป็นแล้วไม่สามารถรักษาให้กลับคืนดังเดิมได้ อาการที่เป็นพิษมากเกิดจากการหายใจ ปอดอักเสบ มีอาการเจ็บหน้าอก มีไข้ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออกและตายได้ พรอทที่สะสมอยู่ในร่างกายส่งผลต่อระบบประสาทพรอทสามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มสมองเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในสมองส่วนเซเลเบลลัม (cerebellum) และเซเลเบลคอร์เท็กซ์ (Cerebrul Cortex) ซึ่งทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อสมองส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึกทำให้ผู้รับสารพรอทมีอาการผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาทการมองเห็นและความรู้สึก (Sastri and Sharma, 1980) นอกจากนี้พิษของพรอทสามารถทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ที่กระจายไปถึง เช่น ทำลายเนื้อเยื่อตับ ไพบอร์ของกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดไต กระเพาะ และลำไส้ส่วนดูโอดินัม (Duodenum) และทำให้การผลิตเซลล์เม็ดเลือดแดงของไขกระดูกลดลง (Hajeb et al., 2009; Kershaw, Clarkson and Dhahir, 1980) เมื่อพรอทเข้าสู่ร่างกายจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ประเภทที่มีกลุ่มซัลไฮดริล (Sulphydryl Group) โดยมีผลขัดขวางหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เช่นทำให้ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์น้อยลงหรือทำให้การเผาผลาญอาหารในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ไม่เกิดขึ้นเป็นต้น (Hajeb et al., 2009)

องค์การอนามัยโลกแนะนำว่าคนปกติไม่ควรได้รับพรอทในรูปของพรอทอินทรีย์เข้าสู่ร่างกายเกิน (Provisional tolerable weekly intake; PTWI) 3.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ (WHO, 1972; 1976; 2000) ต่อมาในปีพ.ศ. 2546 ได้ปรับลดค่า PTWI เป็น 1.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสตรีมีครรภ์และเด็กส่วนใหญ่อาจรับได้มากกว่านี้ (JECFA, 2006) สำหรับแผนภูมิรูปที่ 2-6 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารพรอทที่กำหนดไว้ในข้อแนะนำ และกฎหมายขององค์การอนามัยโลก และ NIOSH ในรูปต่างๆ เพื่อป้องกันอันตรายจากสารพรอทต่อสุขภาพ โดยสำหรับประเทศไทย มีการกำหนดสารพรอทในอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 อนุญาตให้อาหารมีพรอทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมสำหรับอาหารทะเลและไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมสำหรับอาหารอื่น



The health and regulatory values cited in this factsheet were obtained in December 1999.

^aHealth numbers are toxicological numbers from animal testing or risk assessment values developed by U.S.EPA.

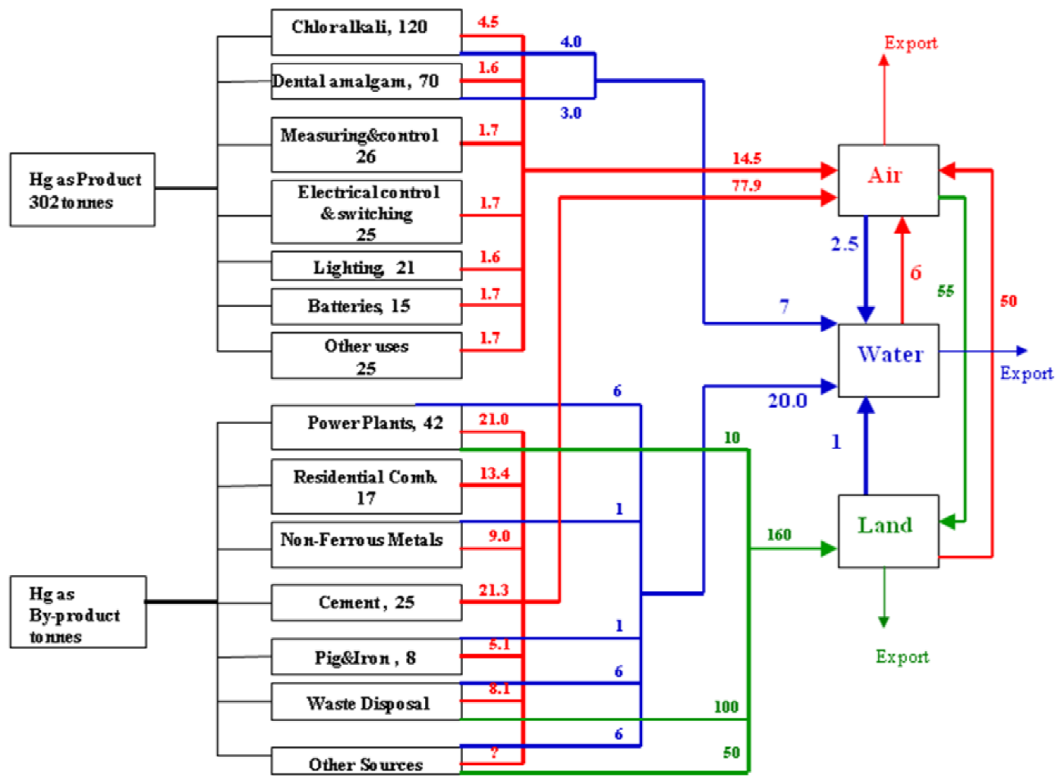
^bRegulatory numbers are values that have been incorporated in Government regulations, while advisory numbers are nonregulatory values provided by the Government or other groups as advice. OSHA numbers are regulatory, whereas NIOSH and ACGIH numbers are advisory.

^cThe LOAEL is from the critical study used as the basis for the EPA RfC for elemental mercury.

รูปที่ 2-6 Health Data from Inhalation Exposure

2.1.6 แผนผังการไหลของสารปรอท (Mass Flow Analysis :MFA)

ปรอท เป็นมลพิษที่สำคัญที่ต้องมีความตระหนกอย่างต่อเนื่องในบรรดามลพิษสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั่วโลก การปนเปื้อนของสารปรอทสู่แหล่งน้ำเกิดจากกระบวนการผลิตและการใช้งานที่สำคัญเส้นทางหลักของการปนเปื้อนปรอทสู่แหล่งน้ำมีทั้งทางตรงและทางอ้อมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ โดยแหล่งกำเนิดสำคัญที่ปล่อยปรอทสู่แหล่งน้ำโดยตรงมาจากกระบวนการ chlor-alkali รองลงมาคือจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม ส่วนทางอ้อม แหล่งกำเนิดปรอทที่สำคัญมาจากการผลิตไฟฟ้า กระบวนการทำเหล็กและอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่เหล็ก รวมทั้งส่วนที่ปล่อยไปพร้อมกับกำจัดของเสีย โดยหน่วยงานในกลุ่มประเทศยุโรป (SOCOPSE, 2008) ได้ทำการวิเคราะห์การไหลปรอทในปี ค.ศ. 2000 โดยพบว่าปรอทตั้งต้น 302 ตันจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Hg as Product) และส่วนที่เกิดขึ้นทางอ้อม 92 ตัน (Hg as By-product) สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ทางอากาศ รวม 148.4 ตัน แหล่งน้ำ -30.5 ตัน และดิน 215 ตัน รายละเอียดเส้นทางการไหลของสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมแสดงดังรูปที่ 2-7



ที่มา : SOCOPSE : Source Control of Priority Substances in Europe, 2008 (An Inventory and Assessment of Options for Reducing Emissions:Mercury)

รูปที่ 2-7 แผนผังการไหลของสารปรอทในยุโรป ปี ค.ศ.2000 (หน่วย ตันต่อปี)

2.1.7 แนวทางการจัดการสารปรอทที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

ทางเลือกสำหรับลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การควบคุมที่แหล่งกำเนิด (Source Control) และการควบคุมที่ปลายท่อ (End-of-Pipe) โดยใช้เทคโนโลยีในการบำบัด โดยตารางที่ 2-3 แสดงรายละเอียดแหล่งที่มาของการปล่อยปรอทและมาตรการในการลดปรอทที่สามารถทำได้ และตารางที่ 2-4 แสดงการเปรียบเทียบวิธีที่ใช้ในการบำบัดปรอท ซึ่งเป็นวิธีที่มักใช้ในการดำเนินงานในปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2-3 วิธีการบำบัดปรอทที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม และการนำไปใช้ในงานต่างๆ

วิธีการบำบัด		แหล่งกำเนิด							
		อุตสาหกรรมขนาดใหญ่	อุตสาหกรรมผลิตเหล็กและเหล็กกล้า	อุตสาหกรรม (ไม่เกี่ยวข้องกับเหล็ก)	ใช้กับ				
					Chlor alkali	อุปกรณ์ตรวจวัด/ควบคุม	อุปกรณ์ไฟฟ้า	เกดซ์กรรม	งานทันตกรรม
การควบคุมที่แหล่งกำเนิด									
กระบวนการ	การรีไซเคิลและการใช้ซ้ำ	X	X	X					
	การใช้เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น	X	X	X	X				
	กระบวนการ Run-off management	X	X	X	X				
การใช้วัสดุทดแทน	วัสดุทดแทนในกระบวนการ Chlor alkali				X				
	วัสดุทดแทนในงานทางทันตกรรม								X
	วัสดุทดแทนในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า						X		
การจัดการ	การคัดแยก รวบรวมเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี					XP	XP	XP	
	แนวปฏิบัติที่ดี				XPC	XPC	XPC	XPC	XPC
การควบคุมที่ปลายทาง									
อากาศ	การลดการสะสมในอากาศ	X							
	การเผา (ใช้เทคโนโลยีที่สามารถลดมลพิษได้)								X
น้ำเสีย (วิธีทั่วไป)	สภาวะที่เหมาะสมในบำบัดน้ำเสียทั่วไป*	X	X	X	X	XP	XP	XP	
	การแลกเปลี่ยนไอออน	X	X	X	X	XP	XP	XP	
	กระบวนการดูดซับ			X	X				
	กระบวนการฟื้นฟูทางชีวภาพ				XE				
น้ำเสีย (วิธีพิเศษ)	การกรองด้วยเยื่อเมมเบรน	X	X	X	X	XP	XP	XP	
	การกรองในระบบนาโน (Nanofiltration)								X
	รีเวิร์สออสโมซิส Reverse osmosis	X					X	X	
	กระบวนการไฟฟ้าเคมี							X	

หมายเหตุ : * กระบวนการตกตะกอนผลึก การรวมตะกอน การตกตะกอน การกรอง และการทำให้เป็นกลาง

X = มาตรการที่นำไปปฏิบัติได้ XP = โดยผู้ผลิต XC = โดยผู้ใช้งาน และ XE = มาตรการใหม่

ที่มา : An Inventory and Assessment of Options for Reducing Emissions: Mercury, 2009.

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบวิธีการบำบัดปรอท

	วิธีการบำบัด	ความเป็นไปได้ด้านเทคนิค	คุณสมบัติ	ค่าใช้จ่าย	ความทันสมัย	ศักยภาพในการลด
อากาศ	การเผา (ใช้เทคโนโลยีที่ลดมลพิษได้)	- มลพิษที่กระจาย - ความซับซ้อนของการทำงานระดับปานกลาง - ข้อจำกัดค่อนข้างต่ำ	- ประสิทธิภาพสูง - พลังงานที่ใช้ค่อนข้างต่ำ - มีของเสียเกิดขึ้น	- การลงทุนระดับปานกลาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบค่อนข้างต่ำ	- ใช้เทคนิคที่ดีที่สุด - ไม่ค่อยแพร่หลายมากนัก	ลดมลพิษในระดับปานกลาง
น้ำเสีย (วิธีทั่วไป)	ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป*	- ความซับซ้อนของการทำงานระดับไม่ยุ่งยาก - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 99% - ใช้พลังงานปานกลาง - จำเป็นต้องใช้สารเคมี - มีของเสียเกิดขึ้น	- ต้นทุนสูง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	- ใช้เทคนิคที่ดีที่สุด - มีการใช้แพร่หลาย	ลดมลพิษในระดับปานกลาง มักเป็นระบบที่ถูกใช้เพื่อปรับปรุงในโรงงานเดิม
	Ion exchange	- ความซับซ้อนของการทำงานระดับไม่ยุ่งยาก - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 99% - ใช้พลังงานปานกลาง - มีของเสียเกิดขึ้นปานกลาง	- ต้นทุนสูง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	- ใช้เทคนิคที่ดีที่สุด	ลดมลพิษได้มาก หากมีสภาวะที่เหมาะสม
	กระบวนการดูดซับ	- ความซับซ้อนของการทำงานระดับไม่ยุ่งยาก - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 99% - ใช้พลังงานปานกลาง - มีของเสียเกิดขึ้นปานกลาง	- ต้นทุนปานกลาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	- ใช้เทคนิคที่ดีที่สุด	ลดมลพิษได้มาก หากมีสภาวะที่เหมาะสม
	กระบวนการทางชีวภาพ	- ความซับซ้อนของการทำงานระดับไม่ยุ่งยาก - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 80% - ใช้พลังงานปานกลาง - มีของเสียเกิดขึ้นปานกลาง	- ต้นทุนต่ำ - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	- ใช้กรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน	ลดมลพิษได้มาก หากมีสภาวะที่เหมาะสม
น้ำเสีย (วิธีพิเศษ)	Membrane filtration	- ความซับซ้อนของการทำงานระดับไม่ยุ่งยาก - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 99% - ใช้พลังงานปานกลาง - มีของเสียเกิดขึ้นต่ำ	- ต้นทุนปานกลาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	- ใช้เทคนิคที่ดีที่สุด	ลดมลพิษได้มาก หากมีสภาวะที่เหมาะสม
	Nanofiltration	-	-	-	-	-
	Reverse osmosis	-	-	-	-	-
	กระบวนการไฟฟ้าเคมี	- ไม่มีความซับซ้อนในการทำงาน - ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย	- ประสิทธิภาพมากกว่า 99% - ใช้พลังงานปานกลาง - มีของเสียเกิดขึ้นต่ำ	- ต้นทุนปานกลาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ	-	ลดมลพิษได้น้อย

หมายเหตุ * กระบวนการตกตะกอนผลึก การรวมตะกอน การตกตะกอน การกรอง และการทำให้เป็นกลาง

- ไม่มีข้อมูล

ที่มา : An Inventory and Assessment of Options for Reducing Emissions: Mercury, 2009.

2.2 พรอทในงานทันตกรรม

ในงานทันตกรรม พรอทถูกใช้เพื่อเป็นส่วนผสมของอะมัลกัมสำหรับใช้ในการอุดฟัน ซึ่งมีอัตราส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของส่วนผสมวัสดุอุดฟันชนิดนี้ เป็นวิธีที่ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1826 (Björklund, 1989) โดยทันตแพทย์ชาวฝรั่งเศสได้นำเอาเหรียญเงิน (Silver Coin) มาตะไบเป็นผงผสมกับพรอทโดยการบดในโถงเพื่อนำไปอุดฟัน อะมัลกัมนิยมใช้สำหรับอุดฟันผู้ที่มีโพรงขนาดใหญ่ เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความทนทาน และประกอบด้วยอนุภาคของโลหะผสมและสารพรอทในรูปของธาตุประมาณร้อยละ 42-52 โดยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้วัสดุทางเลือกอื่นเพิ่มขึ้น เช่น เรซิน คอมโพสิท (Resin Composite) ซีเมนต์ กลาส ไอโอโนเมอร์ (Glass Ionomer Cements) เซรามิก (Ceramics) และโลหะผสมทอง (Gold Alloy) เนื่องจากคุณสมบัติด้านความสวยงาม และความกังวลเรื่องสุขภาพที่น้อยกว่าการเลือกใช้อะมัลกัม

2.2.1 อะมัลกัม (Amalgam)

อะมัลกัม หรือ โลหะเข้าพรอท หมายถึงโลหะเจือที่ได้จากการผสมระหว่างพรอทกับโลหะอื่นๆ ในทางทันตกรรมได้นำโลหะหลายชนิดมาหลอมรวมกัน โดยมีเงินเป็นโลหะหลัก มีดีบุกและทองแดงเป็นโลหะรอง นอกจากนี้อาจมีโลหะอื่นผสมอยู่บ้าง เช่น สังกะสี หรืออินเดียม เป็นต้น เมื่อนำโลหะเงินเจือผสมกับพรอทได้สารประกอบใหม่คือ อะมัลกัมเงิน (Dental Silver Amalgam) หรือที่เรียกกันว่า อะมัลกัม มีลักษณะอ่อนนุ่มอยู่ในสภาวะบั่นแต่งได้ อะมัลกัมมีระยะเวลาในการอ่อนตัวพอเหมาะที่จะใช้ในการอุดฟันและแต่งให้ได้รูปร่างฟันตามธรรมชาติที่ดี (ซัซรี สุชาติล้ำพงศ์ และคณะ, 2539)

อะมัลกัมเป็นวัสดุที่ใช้ในการอุดฟันมานานตั้งแต่สมัยต้นศตวรรษที่ 19 และได้ใช้มาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน โดยได้มีการพัฒนาวัสดุให้มีคุณภาพดีขึ้นจนอาจกล่าวได้ว่า อะมัลกัมเป็นวัสดุอุดฟันที่ใช้ได้มีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ได้ง่าย ทนทาน แข็งแรง แต่ยังมีข้อด้อยอยู่ เช่น การต้านแรงอัดระยะเริ่มแรกมีน้อย เปลี่ยนสีได้ และอาจแตกได้ นอกจากนี้การที่มีพรอทเป็นส่วนประกอบจึงทำให้เป็นข้อโต้แย้งว่าอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งจากประการหลังนี้ ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์อ้างอิงทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถสรุปได้ว่ามีผู้ใดได้รับอันตรายจากการอุดฟันด้วยอะมัลกัม อย่างไรก็ตาม ปัญหาจากการใช้อะมัลกัมที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัดคือการที่มีสารพรอทปนเปื้อนในน้ำทิ้งสู่ทางระบายน้ำสาธารณะ จึงมีความจำเป็นต้องได้รับการพิจารณาแก้ไขให้ถูกต้อง เช่น การทำช่องพักน้ำในเครื่องทำฟัน บำบัดน้ำทิ้งให้สะอาดก่อนปล่อยออกสู่ท่อระบายน้ำรวม หรือเร่งการพัฒนาวัสดุอุดฟันที่ไม่ต้องใช้พรอทเข้ามาทดแทน (วิลารรณ จันท์ประทีน, 2542)

ในการใช้งาน จะนำโลหะเจือผสมกับปรอทผ่านขบวนการผสมที่เรียกว่า การบั่นอะมัลกัม จะได้อะมัลกัมที่ใช้ในการบูรณะฟัน ซึ่งในปัจจุบันมีการบรรจุอะมัลกัมให้เลือกใช้งานได้ 2 รูปแบบคือ

1. Alloy Tablet ซึ่งผลิตในรูปแบบเม็ด ในการใช้งานจะต้องมีแคปซูลเพื่อใส่โลหะเจือชนิดเม็ดและปรอท เพื่อนำไปบั่นเป็นอะมัลกัม ซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการใช้งานแล้วเนื่องจากจะทำให้เกิดการหกหล่นของปรอทในระหว่างการผสม

2. Precapsulated Alloy จะผลิตในรูปโลหะเจือและปรอทซึ่งบรรจุรวมผสมในแคปซูล โดยมีการคำนวณปริมาณในสัดส่วนที่พอเหมาะ ซึ่งแคปซูลจะใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เป็นที่ได้รับความนิยมในการใช้งานในปัจจุบันเนื่องจากใช้งานง่าย

รูปแบบอะมัลกัมอัลลอยที่ใช้ในคลินิกปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 2-8



Alloy Tablet



Precapsulated Alloy

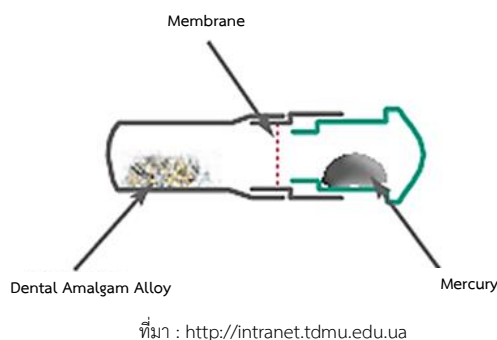
ที่มา : กรมการแพทย์, สถาบันทันตกรรม, 2551

รูปที่ 2-8 รูปแบบอะมัลกัมอัลลอยที่ใช้ในคลินิกปัจจุบัน

ส่วนประกอบของอะมัลกัม

อะมัลกัมประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- โลหะผสมอะมัลกัมทางทันตกรรม (Dental Amalgam Alloy) คือ โลหะผสมที่เป็นส่วนผสมของอะมัลกัมกับโลหะอื่นๆ อาจอยู่ในรูปผง หรืออยู่ในรูปเม็ด แล้วแต่บริษัทผู้ผลิต
- ปรอท (Mercury) ควรเป็นปรอทบริสุทธิ์ ปราศจากสารหนู และต้องมีส่วนเกินที่ระเหยเป็นไอได้ไม่เกินร้อยละ 0.02



รูปที่ 2-9 แผนภาพอย่างง่ายขององค์ประกอบในแคปซูลอะมัลกัม

Louis และ Owen (2003) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของอะมัลกัมที่ใช้ในทางการค้า 71 ชนิดในอเมริกา พบว่า อะมัลกัม มีปรอทเป็นองค์ประกอบหลัก ร้อยละ 42.0 – 58.3 รองลงมาคือเงิน ร้อยละ 20.5 – 40.0 ดีบุก ร้อยละ 4.6 – 17.2 และทองแดง ร้อยละ 0.7 – 15.7 และยังพบส่วนประกอบรอง ได้แก่ สังกะสี อินเดียม พาลาเดียม และแพลทตินัม สรุปรายละเอียดดังตารางที่ 2-5

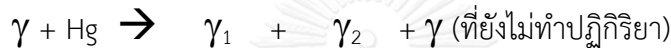
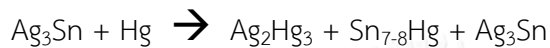
ตารางที่ 2-5 องค์ประกอบของอะมัลกัม

องค์ประกอบ	ร้อยละ
องค์ประกอบหลัก	
ปรอท (Hg)	42.0 – 58.3
เงิน (Ag)	20.5 – 50.0
ดีบุก (Sn)	4.6 - 17.2
ทองแดง (Cu)	0.7 – 15.7
องค์ประกอบรอง	
สังกะสี (Zn)	0.0 – 0.5
อินเดียม (In)	0.0 – 1.8
พาลาเดียม (Pd)	0.0 – 0.3
แพลทตินัม (Pt)	0.0 – 0.03

ที่มา : Louis and Owen, 2003

ปฏิกิริยาเคมีของการผสมอะมัลกัม

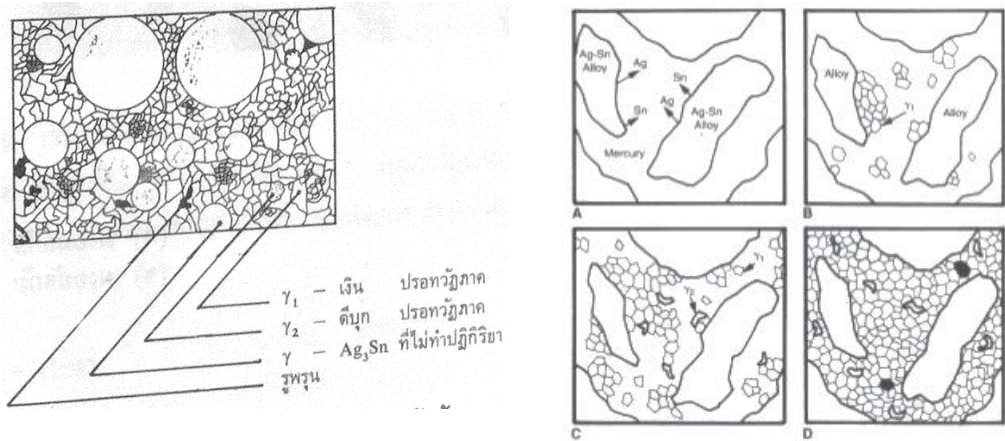
ผงอะมัลกัมหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าผงอะมัลกัมทองแดงต่ำหรือสัญญาณ (Low Copper Amalgam or Conventional) เป็นโลหะที่มีส่วนผสมของเงินและดีบุกเป็นหลักโดยมีทองแดงเป็นองค์ประกอบเสริมที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง และมีสังกะสีเสริมเพื่อช่วยขจัดออกไซด์ของโลหะและช่วยในการไหลแผ่หลังผสมกับปรอท โดยวิภาคของเงินและดีบุก เมื่อถูกหลอมและปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิของบรรยากาศ จะได้สารประกอบ Ag_3Sn ซึ่งเป็นสูตรตามอัตราส่วนของเงินและดีบุก แต่ไม่ใช่สูตรสมการทางปฏิกิริยาเคมี เมื่อผสมกับปรอทจะมีการแตกตัวของเงินและดีบุกไปรวมกับปรอทในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังสมการ



เมื่อผสมวิภาคแกมมาซึ่งเป็น Ag_3Sn กับปรอทโดยการแตกตัวออกเป็น 2 วิภาคใหม่คือ

- **เงินรวมกับปรอท** ได้วิภาคของ Ag_2Hg_3 เรียกว่า แกมมา I (γ_1) มีโครงสร้างผลึกลูกบาศก์แบบอะตอมอยู่กลาง (BCC) γ_1 วิภาคนี้ทำให้กำลังความแข็งแรงของอะมัลกัมสูง กำลังความแข็งแรงของ γ_1 วิภาคสูง 9,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (633 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 63 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)
- **ดีบุกรวมกับปรอท** ได้วิภาคของ $Sn_{7-8}Hg$ เรียกว่า แกมมา II (γ_2) มีโครงสร้างผลึกหกเหลี่ยม (HCP) กำลังความแข็งแรง 3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (253 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 24.8 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร) โดย γ_2 วิภาค ทำให้อะมัลกัมมีกำลังความแข็งแรงลดลง และลดการต้านทานการกัดกร่อน

เมื่อนำอะมัลกัมหลังผสมปรอทกัดด้วยไอโอดีนแล้วส่องกล้อง พบว่า เกล็ดของอะมัลกัมที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาถูกห้อมล้อมด้วย γ_1 และ γ_2 แล้วมีช่องว่างกระจายทั่วไปในพื้นที่ของ γ_1 และ γ_2 ดังรูปที่ 2-10 ถ้าเกล็ดของอะมัลกัมที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยากับปรอทที่ตกค้าง ทำให้เกิดการขยายตัวของอะมัลกัม และถ้ามีช่องว่างจำนวนมากจะลดความแข็งแรงของอะมัลกัม โดยอะมัลกัมที่แข็งตัวแล้วจะประกอบด้วย γ_1 , γ และ γ_2 ปริมาณร้อยละ 55 33 และ 12 ตามลำดับ

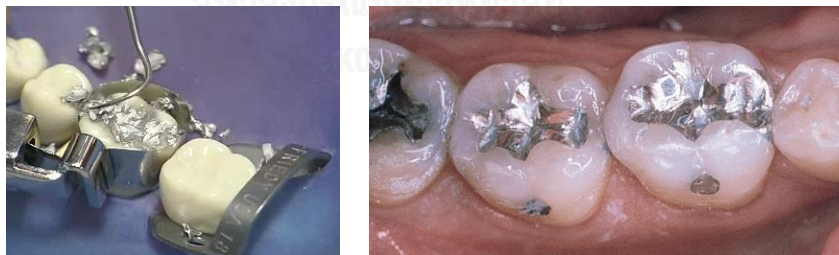


ที่มา : เจน รัตนไพศาล, ทันตวัสดุศาสตร์, 2533 : 229

A - D แสดงการผสมกันระหว่างโลหะผสมอะมัลกัมกับปรอท

รูปที่ 2-10 แสดงโครงสร้างของอะมัลกัม

การอุดฟันด้วยอะมัลกัม ส่วนใหญ่จะใช้ในการอุดฟันกราม และฟันกรามน้อย โดยจะมองเห็นวัสดุที่ใช้อุดเป็นสีเทาเข้ม แบบโลหะ เป็นวัสดุอุดที่แข็งแรง ถ้าอุดบนด้านบดเคี้ยว จะสามารถรับแรงบดเคี้ยวได้ใกล้เคียงกับฟันเดิม เพราะอะมัลกัมเป็นวัสดุอุดที่เป็นโลหะผสมหลายชนิด ที่ได้มีการศึกษาวิจัยแล้วว่าเมื่อแข็งตัวสมบูรณ์แล้ว จะมีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของการบดเคี้ยวได้ โดยก่อนอุดฟันด้วยอะมัลกัม ทันตแพทย์จะต้องเตรียมฟันหรือบริเวณที่จะอุดก่อน เพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้อุด ถ้าเป็นฟันที่ผุ ต้องกรอรอยผุออกจนหมด เหลือแต่เนื้อฟันส่วนที่แข็งแรงดีไว้ ฟันที่แตก บิ่น หรือสึก อาจต้องกรอแต่งฟัน เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างเหมาะสมที่วัสดุอุดจะยึดอยู่กับเนื้อฟัน และมีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงบดเคี้ยวอาหารได้



รูปที่ 2-11 ลักษณะฟันที่อุดด้วยวัสดุอะมัลกัม

โดยทั่วไป การอุดฟัน 1 ด้าน จะใช้แคปซูลอะมัลกัมประเภท 1 spill ซึ่งจะมีปรอทเป็นส่วนผสมในแคปซูลประมาณ 400 มิลลิกรัม ส่วนการอุด 2 ด้าน และตั้งแต่ 3 ด้านขึ้นไป จะใช้ประเภท 2 spill และ 3 spill ซึ่งจะมีปรอทเป็นส่วนผสมในแคปซูลประมาณ 600 และ 800 มิลลิกรัม ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ จากการลงพื้นที่สำรวจการใช้อะมัลกัมของโรงพยาบาลนาร่องในประเทศไทย พบว่า ทันตแพทย์จะนิยมใช้แบบ 1 และ 2 spill ในการอุดฟันผู้ป่วย

2.2.2 ปริมาณการใช้ปรอทในงานทันตกรรม

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้สารปรอทจากงานทันตกรรมในประเทศสหรัฐอเมริกา (European Environmental Bureau, 2012) คำนวณจากจำนวนครั้งของการอุดฟันวัสดุที่ใช้ (อะมัลกัม /เรซิน คอมโพสิท) และขนาดของรอยที่ทำการอุด (1 ด้าน 2 ด้าน และ 3 ด้านขึ้นไป) โดยจากการรายงานของสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา (The American Dental Association : ADA) ในปี ค.ศ.2007 ซึ่งทำการสำรวจข้อมูลการอุดฟันใน 1 ปี (ในช่วงปี ค.ศ.2005 ถึงต้นปี 2006) พบว่า จำนวนครั้งของการอุดฟันโดยใช้วัสดุอะมัลกัม แบบ 2 ด้าน สูงเป็นลำดับที่ 3 รองจากการอุดด้วยเรซิน แบบ 1 และ 2 ด้าน รายละเอียดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ข้อมูลแสดงจำนวนการอุดฟันในประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างปี ค.ศ.2005 - 2007 (รวมระยะเวลา 1 ปี) ในสถานทันตกรรมเอกชน

รูปแบบการอุด	จำนวนครั้งในการอุดฟัน
อะมัลกัม - 1 ด้าน	16,763,750
อะมัลกัม - 2 ด้าน	22,972,950
อะมัลกัม - 3+ ด้าน	12,455,470
เรซิน - 1 ด้าน (ฟันหน้า)	19,432,890
เรซิน - 2 ด้าน (ฟันหน้า)	15,115,060
เรซิน - 3+ ด้าน (ฟันหน้า)	11,619,760
เรซิน - 1 ด้าน (ฟันหลัง)	33,623,950
เรซิน - 2 ด้าน (ฟันหลัง)	29,196,240
เรซิน - 3+ ด้าน (ฟันหลัง)	13,679,050

ที่มา : ADA, 2007

ข้อมูลจำนวนครั้งในการอุดฟันข้างต้นนี้ เป็นข้อมูลที่ดำเนินการสำรวจเฉพาะสถานทันตกรรมเอกชนเท่านั้น ยังไม่รวมจากแหล่งอื่น เช่น สถานพยาบาลภาครัฐ สถาบันการศึกษาทางทันตกรรม หน่วยบริการสาธารณสุข เป็นต้น ดังนั้น ข้อมูลดังแสดงในตารางจึงน้อยกว่าสถานการณ์จริงประมาณร้อยละ 10 ถึง 20 และจากการคาดการณ์จำนวนครั้งของการอุดฟันด้วยอะมัลกัมในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้อุดฟันหลัง พบว่ามีแนวโน้มลดลงประมาณร้อยละ 3.5 ถึง 4 ต่อปี (Beazoglou และคณะ, 2007)

นอกจากนี้ จากการคาดการณ์ปริมาณปรอทที่เกิดขึ้นจากการอุดฟันโดยใช้อะมัลกัมในปี ค.ศ. 2009 ทั้งในส่วนของอะมัลกัมที่ใช้อุดฟันใหม่ และส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า พบว่า มีปรอทรวมเกิดขึ้นประมาณ 32.8 ตัน เทียบเท่ากับปริมาณปรอท 583.5 มิลลิกรัม ที่ใช้ในการอุดฟันโดยเฉลี่ยต่อครั้งซึ่งจะรวมปรอทใหม่ที่ต้องกลายเป็นของเสียโดยตรงด้วย ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 การคาดการณ์ปริมาณปรอทจากงานทันตกรรมในอเมริกา ปี ค.ศ.2006

ขนาดของรอยอุดด้วยวัสดุอะมัลกัม	จำนวนครั้งในการอุดฟันปี 2009	ปรอทที่ใช้ต่อการอุด 1 ครั้ง (มิลลิกรัม)	ปริมาณปรอทรวม (กิโลกรัม)	ปริมาณปรอทรวม (ตัน)*
1 ด้าน	16,386,566	400	6,555	7.225
2 ด้าน	22,456,059	600	13,474	14.852
3+ ด้าน	12,175,222	800	9,740	10.737
รวม	51,017,846	-	29,768	32.814

ที่มา : European Environmental Bureau, 2012

หมายเหตุ : ปริมาณปรอท 1 ตัน เท่ากับ 907 กิโลกรัม

2.2.3 ของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรม

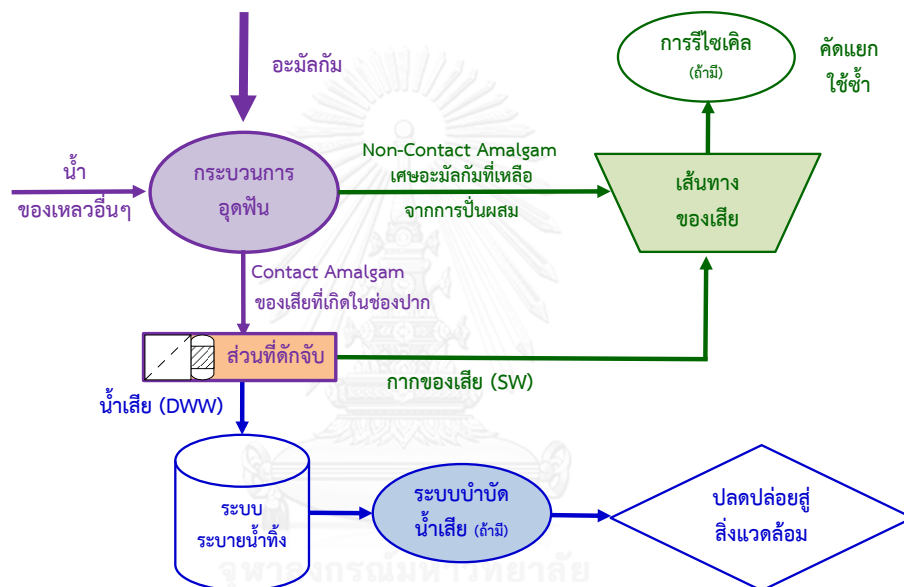
เส้นทางของเสีย (Waste Stream) จากขั้นตอนการปฏิบัติงานในหน่วยทันตกรรมที่มีระบบดูดน้ำลายด้วยความเร็วสูง (High-Speed Evacuation) ซึ่งต่อเข้ากับอ่างน้ำบ้วนปาก (Cuspidor Bowl) ก่อนลงสู่ระบบท่อน้ำทิ้ง (Line Trap) แสดงดังรูปที่ 2-12 โดยมีองค์ประกอบที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

- **ของเสียรวมจากงานทันตกรรม (Dental Waste : DW)** เป็นของเสียรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างการอุดฟัน การรื้อถอน และการขัดแต่งอะมัลกัมก่อนที่จะผ่านเข้าสู่อ่างน้ำบ้วนปากหรือระบบดูดน้ำลาย ซึ่งของเสียเหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นอนุภาค ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น อะมัลกัม เนื้อฟัน ส่วนที่เคลือบฟัน เนื้อเยื่อช่องปาก แบคทีเรีย ฯลฯ และส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ น้ำลาย เลือด เกล็ดเลือด สารลดแรงตึงผิว น้ำยาบ้วนปาก ฯลฯ
- **ของเสียที่เป็นของแข็ง (Solid Waste : SW)** เป็นส่วนที่ติดค้างอยู่บนตัวกรองชั้นต้นที่ติดกับเตียง ซึ่งเป็นส่วนที่ป้องกันการอุดตันในระบบเส้นท่อ โดยตัวกรองนี้มีรูตะแกรงขนาดประมาณ 700 ไมโครเมตร

- น้ำเสียจากงานทันตกรรม (Dental Waste Water : DWW) เป็นส่วนที่เกิดจากของเสีย (DW) และน้ำในเส้นท่อจากระบบดูดน้ำลาย (DWW = DW - SW)

ของเสียรวมทั้ง 3 ประเภทข้างต้น เรียกโดยรวมว่า **Contact Amalgam** ซึ่งเป็นอะมัลกัมในส่วนที่สัมผัสกับช่องปาก

- อะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (Residual Amalgam : RA) เป็นอะมัลกัมส่วนเกินที่ไม่ได้ใช้ในการอุดฟัน ซึ่งไม่ได้สัมผัสกับช่องปาก เรียกว่า **Non-Contact Amalgam** สามารถคัดแยกเพื่อนำไปรีไซเคิลได้



ที่มา Michael D., 2002 (Characteristics and Treatment of the Dental Waste Water Stream)

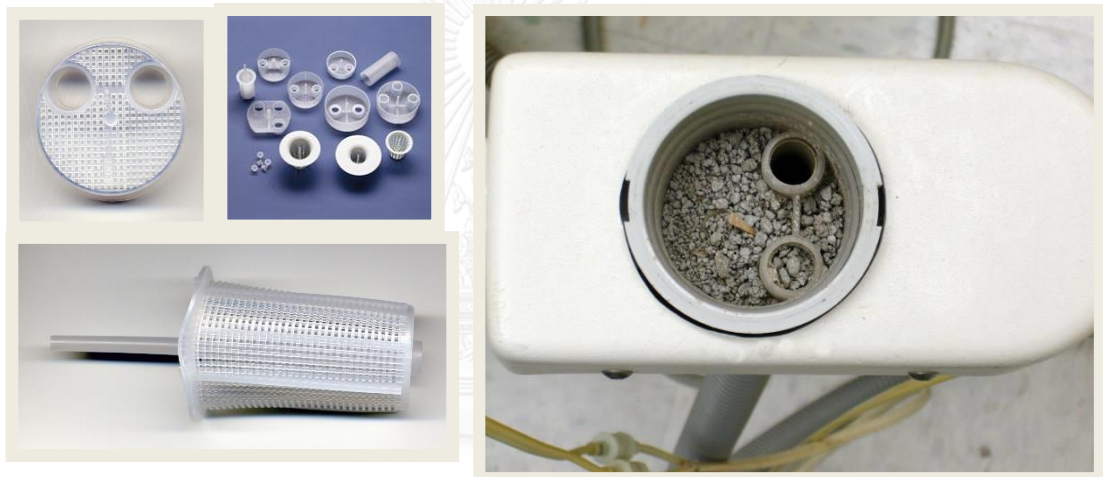
รูปที่ 2-12 แผนภาพเส้นทางของเสีย (Waste Stream) จากงานทันตกรรม

ทั้งนี้ แบ่งประเภทของของเสียอะมัลกัมที่เกิดขึ้นในงานทันตกรรมได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่

- เศษอะมัลกัม (Scrap Amalgam) มีทั้งส่วนที่สัมผัสกับช่องปาก (Contact) และส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับช่องปาก (Non-Contact)
- แคปซูลที่ใช้แล้ว (Used Capsules)
- ส่วนที่ดักจับได้จากระบบที่เตียง (Chairside Traps)
- ส่วนที่ขูดออกจากฟันเก่า (Extracted Teeth with Amalgam Fillings, Carving)

- ส่วนที่ดักจับได้จากเครื่องแยกอะมัลกัม และระบบกรองแบบสุญญากาศ (Amalgam from Amalgam Separators and Vacuum Pump Filters)

ในส่วนของอุปกรณ์ดักจับ (Chairside Traps) ที่ติดกับเตียงนั้น ส่วนมากจะถูกติดตั้งอยู่กับเตียงอยู่แล้ว ซึ่งส่วนนี้ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการแยกเศษอะมัลกัมโดยเฉพาะ แต่ก็สามารถแยกอะมัลกัมจำนวนมากได้ โดย Chairside Traps นี้ออกแบบมาเพื่อดักจับและนำกลับส่วนที่หลุดรอดออกไปกับระบบดูด (Suction) และยังป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนขนาดใหญ่เศษของเสียต่างๆ ไปอุดตันระบบท่อสุญญากาศ ซึ่งโดยทั่วไปขนาดของรูตะแกรงของ Chairside Traps จะมีขนาดประมาณ 700 ไมโครเมตร โดยรูปที่ 2-13 แสดงถึงลักษณะของ Chairside Traps ที่ติดอยู่กับระบบดูดน้ำลายและอ่างน้ำบ้วนปาก และแสดงภาพตัวอย่างของเศษของเสียที่ติดอยู่หลังผ่านการใช้งานแล้ว 5 วัน



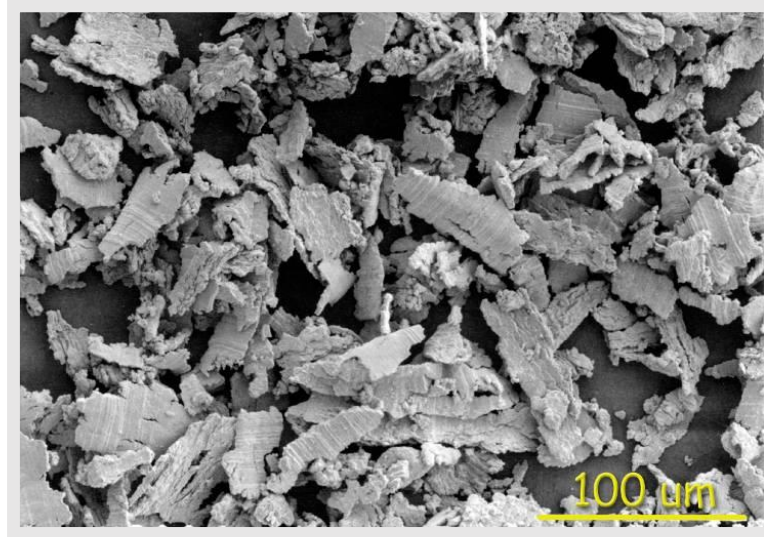
Trap used in Dental chairs.

Example of an inline chairside trap after 5 days of use

ที่มา : Naval Institute for Dental and Biomedical Research, 2007 (Dental Mercury Update-Issues and Programs)

รูปที่ 2-13 อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมที่ติดกับเตียง (Chairside Trap) และภาพตัวอย่างหลังผ่านการใช้งาน 5 วัน

เมื่อนำของเสียอะมัลกัมที่เกิดจากการหลุดออกในขั้นตอนของการอุดฟันมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงภาพขยายกำลังสูง จะพบลักษณะของเศษอนุภาคเป็นเศษเสี้ยว มีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-14



ที่มา : Naval Institute for Dental and Biomedical Research, 2007 (Dental Mercury Update-Issues and Programs)

รูปที่ 2-14 ภาพถ่ายของเสียอะมัลกัมที่หลุดออกในกระบวนการอุดฟัน
โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy :SEM)

อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เป็นกลไกหนึ่งที่ใช้ในการลดปรอท โดยจากการวิจัยของ Naval Institute for Dental and Biomedical Research (2007) แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีศักยภาพในการลดการปล่อยสารปรอทที่จะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ และสามารถป้องกันไม่ให้เศษอะมัลกัมไปอุดตันในระบบท่อ

2.2.4 การปล่อยของเสียปรอทจากงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม

ของเสียปรอทจากงานอะมัลกัมในขั้นตอนของการดำเนินงานทางทันตกรรมสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

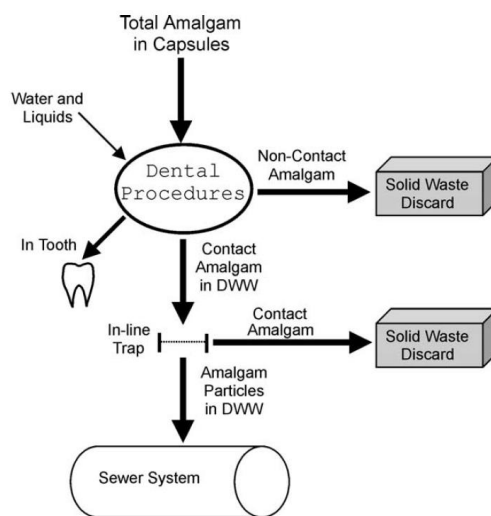
- 1) ส่วนที่เป็นกากของแข็ง (Solid Waste: SW) เกิดจากขั้นตอนของการอุดฟันโดยใช้อะมัลกัม ประกอบด้วย อะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ่มผสม (Residual Amalgam) อะมัลกัมส่วนที่หลุดออกจากการตกแต่ง และอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า โดยอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ่มผสมสามารถนำไปรีไซเคิลได้โดยการสกัดแยกเงินออกจากอะมัลกัม แต่ทั้งนี้ ในบางกรณีการรีไซเคิลที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล และหลักวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ก็สามารถปล่อยปรอทออกมาในรูปของไอปรอท และระเหยสู่บรรยากาศได้อีก
- 2) ส่วนที่เป็นน้ำทิ้ง (Dental Wastewater: DWW) เกิดจากอะมัลกัมที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 700 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถหลุดรอดผ่านตัวกรองขั้นต้นที่ติดกับเตียง ออกสู่

ระบบท่อน้ำทิ้ง ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวม ถ้าระบบไม่ได้ออกแบบเพื่อการกำจัด โลหะหนัก จะทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

- 3) ส่วนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Air Emission) เกิดจากปรอทและอนุภาคฝุ่นที่ออกสู่บรรยากาศโดยตรง โดยเฉพาะขั้นตอนของการกรอ (Drilling) เพื่อรีถอนอะมัลกัมที่ติดอยู่กับฟัน

สำหรับอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับฟันที่ถูกถอนออก ถ้าไม่มีการกำจัดที่ถูกต้องก็สามารถเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน เช่นเดียวกับอะมัลกัมที่ติดอยู่กับฟันของผู้ตาย ในกรณีที่ทำการฝัง ก็ จะเกิดการชะละลายของปรอทสู่แหล่งดิน น้ำใต้ดิน และน้ำผิวดิน ส่วนการเผา ก็จะทำให้เกิดไอปรอทระเหยสู่บรรยากาศได้

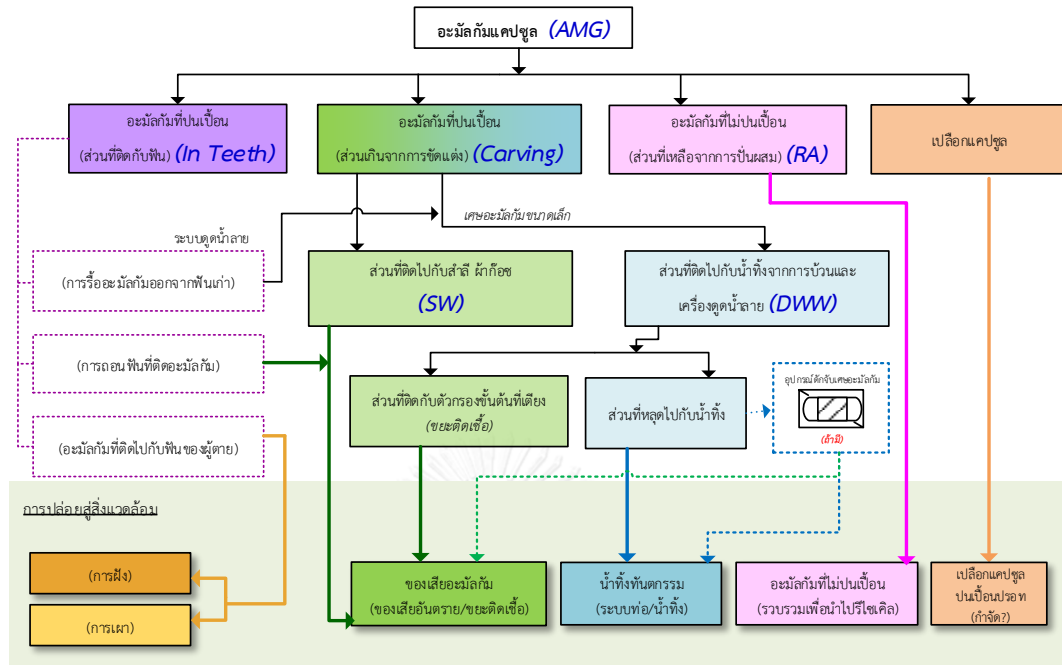
ทั้งนี้ แผนภาพสรุปแผนผังการไหลของอะมัลกัมที่ใช้ในการอุดฟัน และรายละเอียดของวงจร ปรอทในงานทันตกรรม แสดงดังรูปที่ 2-15 และ รูปที่ 2-16



ที่มา : Drummond, 2003. (Mercury generation potential from dental waste)

รูปที่ 2-15 แผนผังการไหลของอะมัลกัมในกระบวนการอุดฟัน

วงจรปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม
(Mercury Cycle from Dental Amalgam)

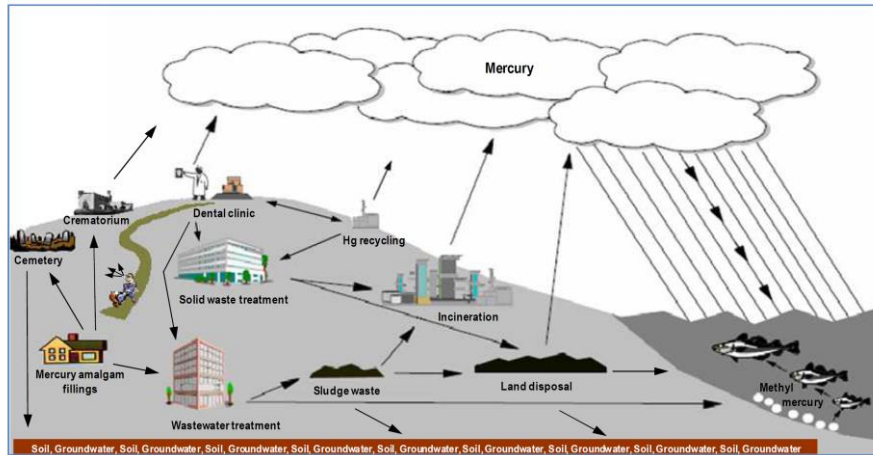


ที่มา : ดัดแปลงจาก Horsted-Bindslev และคณะ ,1991, as cited by the Wisconsin Mercury Sourcebook ,1999

รูปที่ 2-16 วงจรปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม

การปนเปื้อนของของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรม จะเกิดขึ้นจากกระบวนการอุดฟัน โดยใช้อะมัลกัม โดยบางส่วนจะปนเปื้อนสู่บรรยากาศในรูปของไอปรอท และบางส่วนปนเปื้อนไปในขั้นตอนของการบำบัดกากของเสียและน้ำเสีย ซึ่งส่วนที่เป็นกากตะกอนจะถูกนำไปกำจัดโดยการเผาและฝังกลบ ทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และดิน และสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหารสะสมในสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะสัตว์น้ำ เช่น ปลา หอย เป็นต้น

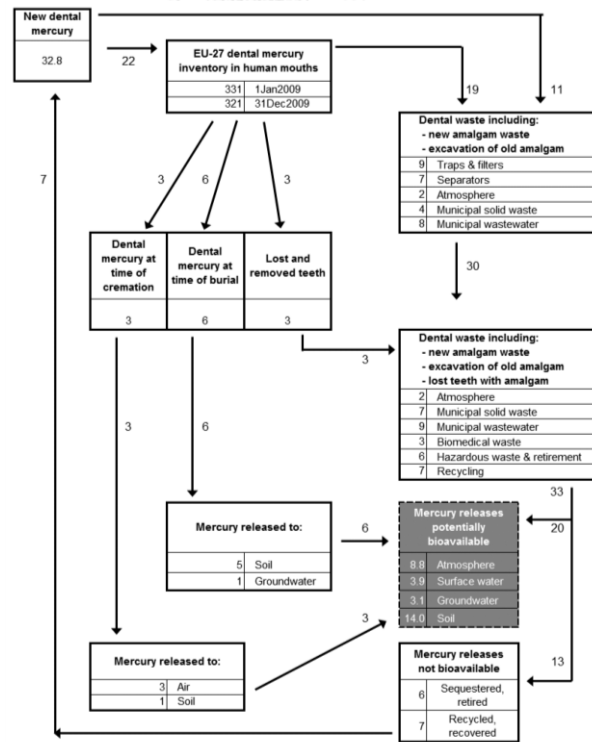
นอกจากนี้ ปรอทจากอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับฟันของผู้ที่เสียชีวิตก็สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการเผาซึ่งจะระเหยเป็นไอปรอทสู่บรรยากาศ และการฝัง จะเกิดการชะละลายปนเปื้อนสู่ดิน น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ โดยแผนภาพแสดงวิถีทางในการปล่อยปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2-17



ที่มา : EEB, 2007

รูปที่ 2-17 วิธีการในการปล่อยปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมสู่สิ่งแวดล้อม

จากการพิจารณาสมดุลมวลของสารปรอทจากงานทันตกรรม (U.S., 2009) พบว่า มีปรอทที่เกิดจากการทำฟัน ประมาณ 33 ตัน ปรอททั้งหมดจะถูกปล่อยและสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารประมาณ 20 ตัน ส่วนที่เหลือประมาณ 13 ตัน จะถูกแยกออกและนำไปรีไซเคิลเพื่อกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 สมดุลมวลของสารปรอทจากงานทันตกรรม (ตัน), U.S. 2009

จากแผนภาพข้างต้น พบว่า พรอทตั้งต้น 32.8 ตัน จะกลายเป็นของเสียและปนเปื้อนในของเสียอื่นๆ ประมาณ 11 ตัน

พรอท ประมาณ 22 ตัน รวมกับพรอทที่ใช้ในงานทันตกรรมของประเทศ EU 27 ประเทศ ประมาณ 10 ตัน (ข้อมูล ณ ปี 2009) จะปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในเส้นทางหลักๆ ได้แก่ ปนเปื้อนในรูปของของเสีย รวม ประมาณ 19 ตัน เกิดจากการเผา ประมาณ 3 ตัน การฝัง ประมาณ 6 ตัน และพื้นที่ถอนซึ่งมีพรอทเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 3 ตัน

พรอทที่สามารถแยกได้และไม่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม รวมประมาณ 13 ตัน ส่วนที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ใหม่ มีประมาณ 7 ตัน

พรอทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม จะมีเส้นทางปนเปื้อนหลัก 4 เส้นทาง ได้แก่

1. การปนเปื้อนในดิน ประมาณ 14 ตัน
2. การปนเปื้อนในอากาศ ประมาณ 9 ตัน
3. การปนเปื้อนในน้ำผิวดิน ประมาณ 4 ตัน
4. การปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ประมาณ 3 ตัน

2.2.5 แนวทางการจัดการของเสียพรอทจากงานทันตกรรม

สมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา (ADA, 2007) ได้กำหนดแนวปฏิบัติในการจัดการของเสียอะมัลกัมไว้ (Best Management Practices for Amalgam Waste โดยมีรายละเอียดดังนี้

อะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม ไม่ได้สัมผัสกับช่องปาก Non-Contact (Scrap) amalgam หรือ Residual Amalgam

- นำใส่ภาชนะบรรจุปากกว้าง พร้อมติดฉลากว่า “Non-Contact Amalgam Waste for Recycling”
- มั่นใจว่ามีการปิดฝาภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้ว
- เมื่อภาชนะบรรจุเต็ม ส่งไปรีไซเคิล

แคปซูลอะมัลกัม (Capsules)

- เก็บแยกแคปซูลอะมัลกัมตามแต่ละขนาด
- หลังจากบั่นผสมอะมัลกัมแล้ว นำเปลือกแคปซูลใส่ลงในภาชนะปากกว้างที่ปิดสนิท พร้อมติดฉลากว่า “Amalgam Capsule Waste for Recycling”

- มั่นใจว่ามีการปิดฝาภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้ว
- เมื่อภาชนะบรรจุเต็ม ส่งไปรีไซเคิล

การกำจัดส่วนที่ถูกดักจับที่เตียง (Disposable Chairside Traps)

- เปิดอุปกรณ์ดักจับที่ติดกับเตียง
- นำส่วนที่ดักจับได้ใส่ลงในภาชนะปากกว้างที่ปิดสนิท พร้อมติดฉลากว่า “Contact Amalgam Waste for Recycling”
- มั่นใจว่ามีการปิดฝาภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้ว
- เมื่อภาชนะบรรจุเต็ม ส่งไปรีไซเคิล
- เศษของเสียบางส่วนที่ดักจับได้ ต้องมีการจัดการให้ถูกสุขลักษณะ และอาจทิ้งลงในถังขยะปกติได้

การนำอุปกรณ์ดักจับมาใช้ใหม่ (Reusable Chairside Traps)

- ปฏิบัติเช่นเดียวกับ Disposable Chairside Traps
- นำอุปกรณ์ดักจับใส่ในที่เดิม และห้ามนำอุปกรณ์ดักจับไปล้างน้ำแบบไหลผ่านเพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่เส้นทางของเสีย (Waste Stream) ได้

เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Pump Filter)

- เปลี่ยนตัวกรองตามคำแนะนำของผู้ผลิตที่กำหนดไว้ และในการเตรียมเก็บเพื่อส่งกำจัด ควรทำตามคำแนะนำของผู้รีไซเคิลแต่ละราย เพราะอาจมีวิธีการเก็บที่แตกต่างกัน
- ปิดฝาทัวกรองให้สนิทและนำไปใส่กล่องบรรจุ เมื่อกล่องเต็ม ส่งไปกำจัดต่อไป

อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separators)

- เลือกใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมตามข้อกำหนดของ ISO 11143
- ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเพื่อการบำรุงรักษาและกระบวนการรีไซเคิลที่ถูกต้อง

การทำความสะอาดเส้นท่อ (Line Cleaner)

- ใช้สารทำความสะอาดที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาซักฟอกขาว และไม่มีส่วนผสมของคลอรีนในการล้างเส้นท่อ เพื่อจะลดการชะละลายของอะมัลกัม

2.2.6 แนวทางการจัดการปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งในงานทันตกรรม

ปรอทที่ปล่อยสู่น้ำทิ้งในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นธาตุปรอทซึ่งมีพันธะอยู่ในอนุภาคของอะมัลกัม (Elemental Mercury Bound to Amalgam Particulate) ส่วนที่เป็นปรอทอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในรูปของไอออน (Ionic Mercury) ส่วนที่เป็นธาตุปรอท (Elemental Mercury) และส่วนที่เป็นปรอทอินทรีย์ซึ่งอยู่ในรูปของ Monomethyl Mercury (Stone และคณะ, 2002) โดยตารางที่ 2-8 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทที่วัดได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากเตียงทำฟัน โดยรูปฟอร์มของปรอทที่พบเป็นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของของแข็งมากกว่าร้อยละ 99.6

ตารางที่ 2-8 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทแต่ละรูปฟอร์มที่พบในน้ำเสียจากงานทันตกรรม

รูปฟอร์มของปรอท	ความเข้มข้นที่วัดได้	ร้อยละของปรอทที่พบ
ปรอทรวมทั้งหมด (Total Mercury)	21.438 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)	100.00
MeHg (Monomethyl Mercury)	277.74 นาโนกรัมต่อลิตร (ppt)	0.001296
Hg ⁰ (Elemental Mercury)	24.06 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)	0.112231
Hg ²⁺ (Ionic Mercury)	54 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)	0.251889
Hg ⁰ (Elemental Mercury Bound to Amalgam Particulate)	21.360 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)	99.636160

ที่มา : USEPA, 2008 อ้างถึงใน Stone, 2004

สารปรอทส่วนที่ละลายน้ำ จะเป็นส่วนที่ทำให้น้ำเสียจากงานทันตกรรมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาเหตุของการที่สามารถละลายและกระจายการปนเปื้อนไปในน้ำเสียได้อย่างกว้างขวาง บางงานวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณปรอทละลายมีความเข้มข้นสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (Stone, 2004) ซึ่งปรอทที่ละลายน้ำนี้เป็นที่น่าห่วงกังวลเนื่องจากสามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี (Methyl Mercury: MeHg) โดยแบคทีเรียชนิด *Desulfobacteraceae* และ *Desulfovibrionaceae* ที่มีอยู่ในน้ำเสีย (ACS, 2008) โดยนักวิจัยได้ตรวจพบความเข้มข้นของ MeHg ในน้ำเสียจากงานทันตกรรม ในช่วง 0.90 – 26.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นที่วัดได้ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น มหาสมุทร ทะเลสาบ น้ำฝน เป็นต้น ซึ่งอยู่ในช่วง 0.05 – 10.0 นาโนกรัมต่อลิตร (Stone และคณะ, 2002) และแม้ว่าความเข้มข้นของ MeHg ในน้ำเสียจากงานทันตกรรมจะมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปรอทรวมทั้งหมด แต่ MeHg นั้นเป็นส่วนที่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหาร ในเนื้อเยื่อปลา และเมื่อบริโภคปลาที่ปนเปื้อน MeHg จะ

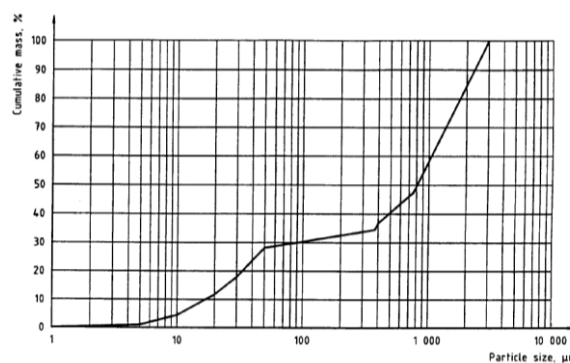
เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยมีผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง สูญเสียความสามารถในการทรงตัว การพูด การมองเห็นและการได้ยินและอาจทำให้เสียชีวิตได้ (WIDNR, 1997)

วิธีการที่นิยมใช้ในการจัดการปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากงานทันตกรรมส่วนใหญ่มักใช้อุปกรณ์ในการดักจับส่วนที่เป็นอนุภาคของแข็งที่เรียกว่า Amalgam Separator โดยจากข้อกำหนด ISO 11143:2008 ว่าด้วยเรื่องของการใช้งานอุปกรณ์การดักจับอะมัลกัม ได้จำแนกประเภทของวิธีการในการแยกอะมัลกัมออกจากน้ำทิ้งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. การใช้ระบบปั่นเหวี่ยง (Centrifugal System)
2. การใช้ระบบการตกตะกอน (Sedimentation System)
3. การใช้ระบบการกรอง (Filter System)
4. การใช้งานร่วมกันของวิธีที่ 1 2 และ 3

และได้ระบุเกณฑ์ในการเลือกใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมไว้ว่า ต้องมีประสิทธิภาพในการแยกอะมัลกัมไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 (โดยสัดส่วนมวล) และนอกจากนี้ได้มีการจำแนกสัดส่วนของขนาดอนุภาคอะมัลกัมออกเป็น 3 ชนิด โดยชนิดแรก จะมีขนาดของอนุภาคมากกว่า 0.5 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 3.15 มิลลิเมตร (พบประมาณร้อยละ 60 โดยมวล) ชนิดที่สองมีขนาดของอนุภาคมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร (พบประมาณร้อยละ 10 โดยมวล) และชนิดที่สาม มีขนาดของอนุภาคน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร (พบประมาณร้อยละ 30 โดยมวล)

ทั้งนี้ ในข้อกำหนดของ ISO 11143 ได้มีการศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอะมัลกัมในน้ำเสีย (Particle Size Distribution) โดยสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา ดัชต์ และเยอรมัน ซึ่งนำไปใช้ในการอธิบายสัดส่วนของมวลดังกล่าวข้างต้น และพบว่าโดยส่วนมากร้อยละ 60 ของมวลทั้งหมดจะมีขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2-19



ที่มา : ISO 11143:2008, Annex D (Informative), Particle Size Distribution of Amalgam in Dental Waste Water

รูปที่ 2-19 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคอะมัลกัมในน้ำเสียจากงานทันตกรรม

2.3 การจัดการของเสียปรอทจากงานทันตกรรมในประเทศไทย

จากการประชุมระดมสมองเพื่อวิเคราะห์แนวทางการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม ณ โรงแรม มิราเคิล แกรนด์ กรุงเทพฯ ในวันที่ 14 สิงหาคม 2552 โดยสถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้มีการนำเสนอประเด็นสถานการณ์เกี่ยวกับปรอทในวิชาชีพทันตกรรมและข้อเสนอแนวทางการจัดการที่เหมาะสม ประกอบด้วย 5 ประเด็นหลัก ได้แก่

1. ความเป็นมา
2. สถานการณ์เกี่ยวกับปรอทในวิชาชีพทันตกรรม
3. สถานภาพการจัดการและควบคุมการใช้ปรอทในวิชาชีพทันตกรรม
4. ข้อเสนอการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม
5. แนวทางการดำเนินงาน

ทั้งนี้ รายละเอียดของแต่ละประเด็นมีดังนี้

2.3.1 ความเป็นมา

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ได้ทำการประเมินผลกระทบของการปนเปื้อนของปรอทพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น จึงจัดให้มี Mercury Program ให้ประเทศต่างๆ ร่วมมือในการลดปรอท มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ออก Policy Paper “Mercury in Health Care” เมื่อเดือน สิงหาคม พ.ศ.2548 เรียกร้องให้ประเทศต่างๆ ดำเนินการควบคุมการใช้ปรอทที่เกี่ยวข้องกับการรักษาพยาบาล และจัดการกับกากของเสียจากปรอทให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมถึง อะมัลกัม ที่ใช้ในงานทันตกรรม สำหรับในส่วนของประเทศไทย โดยสถาบันทันตกรรม กระทรวงสาธารณสุข เริ่มดำเนินการจัดทำ “มาตรฐานการใช้ปรอทอย่างปลอดภัย” และโครงการพัฒนาแนวนโยบายในการควบคุมการใช้ปรอท ในปี พ.ศ. 2551

2.3.2 สถานการณ์และปัญหาการใช้ปรอทในวิชาชีพทันตกรรม

ปัญหาผลกระทบต่อผู้รับบริการและทันตบุคลากร

งานวิจัยในประเทศไทย : งานวิจัยของ มหาวิทยาลัยมหิดล โดย แสงศิรินาวัน และ พริ้งศุลกะ (2531) มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อจะศึกษาว่า การใช้อะมัลกัม ซึ่งมีปรอทเป็นส่วนผสมในการอุดฟัน จะมีผลอย่างไรต่อปริมาณปรอทในปัสสาวะและในเส้นผมของทันตบุคลากรเปรียบเทียบกับบุคคลทั่วไป โดยผลการวิจัยพบว่า ทันตบุคลากร 201 คน มีระดับปรอทในปัสสาวะและในเส้นผม

สูงกว่าคนทั่วไป 57 คน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากแบบสอบถามพบว่า พันตบุคลากรส่วนใหญ่ ชาติความระมัดระวังในการใช้ปรอทอย่างถูกวิธี

งานวิจัยในยุโรป : คณะกรรมาธิการด้านวิทยาศาสตร์ในการกำกับดูแลความเสี่ยงด้านสุขภาพ ที่เกิดขึ้นใหม่ของยุโรป (European Commission) ในประเด็นด้านความปลอดภัยของอะมัลกัมที่ใช้ ในงานทันตกรรมและทางเลือกของการใช้วัสดุบูรณะฟันสำหรับผู้ป่วยและผู้ใช้ (ทันตแพทย์) โดยได้ ดำเนินการค้นคว้ารวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับอะมัลกัมและวัสดุทดแทน ที่มีในยุโรป พร้อมทั้งประชุม ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง จัดทำเป็นรายงานที่ได้ผ่านการจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นโดยสาธารณะ หรือการทำประชาพิจารณ์ (public consultation) เสนอต่อกรรมาธิการยุโรปแล้ว เมื่อเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2551 โดยสรุปว่า อะมัลกัม เป็นวัสดุอุดฟันที่ยังใช้ได้ดี และยังไม่มียุทธศาสตร์ทาง วิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ได้ว่า อะมัลกัม ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดโรคหรือผลกระทบใดๆ ต่อ บุคคลผู้เข้ารับบริการอุดฟัน ยกเว้นในกรณีของผู้ป่วยสงสัยว่า จะมีอาการแพ้ต่อส่วนผสมของอะมัลกัม และในส่วนของบุคลากรทางทันตกรรมนั้น ปรอทที่ปล่อยออกมาในช่วงของการทำฟันนั้น อาจมี ผลกระทบต่อบุคลากรได้ แต่สิ่งเหล่านี้ สามารถทำให้ลดลงเหลือน้อยที่สุดด้วยการใช้เทคนิคทันตกรรม ที่เหมาะสม และยังไม่มียุทธศาสตร์ศึกษาใดที่แสดงว่า บุคลากรทางทันตกรรม ประสบปัญหาการได้รับ ผลกระทบจากพิษปรอท อันเนื่องมาจากกิจกรรมของงานทันตกรรม

งานวิจัยในอเมริกา : U.S.EPA ได้รายงานไว้ว่า ตามที่ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (CDC, 2004) ได้มีการทบทวนงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ดำเนินการเพื่อบริการสาธารณสุขของอเมริกา พบว่า ไม่มีหลักฐานที่เพียงพอในการเชื่อมโยงระหว่างการใช้ปรอทจากงานทันตกรรมและปัญหาสุขภาพที่ เกิดขึ้น ยกเว้นในกรณีของผู้ที่มีอาการแพ้. นอกจากนี้ องค์การอาหารและยาแห่งอเมริกา (FDA) ได้ ให้คำแนะนำในการระมัดระวังการใช้ปรอทกับหญิงตั้งครรภ์และผู้ที่มีปัญหาสุขภาพซึ่งจะไวต่อ การรับสัมผัสปรอท และควรเสนอแนะทางเลือกในการรักษาทางทันตกรรมเพื่อป้องกันปัญหาสุขภาพ ต่อไป

ปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.เปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ปรอทจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์มีปริมาณเท่าๆ กัน คือประมาณร้อยละ 50 โดยสมาคมทันตแพทย์ของสหรัฐอเมริกา (ADA, 2007) รายงานว่า ปรอท ร้อยละ 53 เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ร้อยละ 34 เกิดจากการเผาไหม้ของเสีย ร้อยละ 13 เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และการบริโภค โดยภาคส่วนของงานทันตกรรมมีส่วนในการปล่อยปรอทน้อยกว่าร้อยละ 1 เท่านั้น นอกจากนี้ ในปี ค.ศ.2002 เมืองออนตาริโอ ประเทศแคนาดา รายงานว่าเตาเผาขยะเป็นแหล่งที่

ปล่อยปรอทปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมากเป็นลำดับที่ 4 และจากการรายงานของ USEPA ในปี ค.ศ. 1997 พบว่า เต่าเผาขยะทางการแพทย์สามารถปล่อยของเสียปรอทถึงร้อยละ 10

สำหรับประเทศอังกฤษมีปริมาณของปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรมปีละประมาณ 7.41 ตัน ที่ถูกระบายลงสู่ท่อน้ำทิ้ง บรรยากาศ และพื้นดิน โดยปรอท 11.5 ตัน ถูกส่งไปรีไซเคิลหรือกำจัดไปพร้อมกับของเสียทางการแพทย์ ทั้งนี้ ประเทศไทย มีการนำเข้าปรอท 14 ตันต่อปี เพื่อใช้ผลิตโซดาไฟ ผงซูลัส หลอดไฟ หรือขายตามโรงพยาบาลและคลินิก และเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการและอุดฟัน (สถาบันทันตกรรม, 2552)

องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้รายงานข้อมูลเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2548 ว่า เต่าเผาขยะและเต่าเผาศพ เป็นแหล่งที่ปล่อยปรอทที่สำคัญ โดยหลายประเทศ เช่น อามีเนีย คาเมรูน ฮอนดูรัส ปากีสถาน และเปรู ตระหนักถึงปัญหาการปนเปื้อนของปรอท จากแหล่งต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์จากโรงพยาบาล อะมัลกัมจากทันตกรรม ของเสียจากโรงพยาบาล และการเผาขยะจากโรงพยาบาล แต่ไม่มีข้อมูลด้านปริมาณที่เพียงพอ โดย WHO ได้สรุปว่า “ถึงแม้ว่าจะไม่มีข้อมูลที่เพียงพอ แต่ก็มีเหตุผลที่ทำให้เชื่อว่า ปรอท ที่ปล่อยออกมาจาก กิจกรรมทางการแพทย์ มีปริมาณมากพอสมควร ซึ่งเป็นปัญหาที่จะต้องได้รับการแก้ไข”

2. ปรอทจากสถานทันตกรรม

ในปี พ.ศ.2534 WHO ได้รายงานไว้ว่า นอกเหนือจากกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีกิจกรรมทางทันตกรรมที่เป็นแหล่งสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดไอปรอท ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อประชาชนที่เกี่ยวข้อง ในระดับที่อาจเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีในบรรยากาศได้

รูบิน และ ยู (พ.ศ. 2539) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ไอปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยออกทางระบบดูดอากาศของสถานทันตกรรม ที่อยู่รอบเมืองซีแอตเติล รัฐวอชิงตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า ระดับความเข้มข้นของไอปรอท ที่ระบายออกมาจากสถานทันตกรรมเก่ามีค่าสูงกว่าสถานทันตกรรมใหม่ และสามารถวัดไอปรอทได้ จากสถานทันตกรรมเก่า ถึงแม้เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีการรักษาผู้ป่วยใดๆ โดยผู้วิจัย สรุปว่า ไอปรอทที่วัดได้ เกิดจากเศษเหลือทิ้งของอะมัลกัม ที่ตกค้างอยู่ในท่อ ซึ่งระดับของไอปรอทอาจมีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่มีของเสียอะมัลกัมตกค้าง จึงควรได้รับการพิจารณาแก้ไข

3. น้ำเสียจากสถานทันตกรรม

WHO รายงานว่า กิจกรรมทางการแพทย์มีส่วนสำคัญในการปล่อยปรอทลงสู่แหล่งน้ำอันเนื่องมาจากการทิ้งน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำ โดยรายงานในปี พ.ศ.2542 ระบุว่า กิจกรรมทางการแพทย์ อาจเป็นแหล่งปล่อยปรอทลงสู่แหล่งน้ำถึงร้อยละ 5 ของปรอทที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทั้งหมด

ประเทศไทยโดย กรมควบคุมมลพิษ จัดทำรายงานการประเมินปรอทของประเทศไทย (Mercury Assessment Thailand) ส่งให้ UNEP เมื่อปี พ.ศ.2544 ระบุว่า ปริมาณความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในแม่น้ำและทะเลชายฝั่งของประเทศไทย วัดในช่วงปี พ.ศ. 2539-2544 ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยแหล่งปล่อยลงสู่แหล่งน้ำที่สำคัญ คือ แท่นขุดเจาะน้ำมัน และกิจกรรมอื่นๆ แต่ยังไม่สามารถหาข้อมูลด้านปริมาณได้

จากการศึกษาของ สุชาติ ล้ำพงศ์ และคณะ (2536) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กับศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากท่อน้ำทิ้ง จากสถานทันตกรรมที่มีการบริการทางทันตกรรมมาก คือ คณะทันตแพทยศาสตร์ 5 คณะ (จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เชียงใหม่ สงขลา มหิดล และจุฬาฯ) และโรงพยาบาลฟันอีก 2 แห่ง (โรงพยาบาลฟัน และแผนกทันตกรรม โรงพยาบาลศิริราช) รวม 7 แห่ง พบว่า ปรอทในน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ โรงพยาบาลฟันไม่เกินค่ามาตรฐาน โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ใช้อะมัลกัมชนิดแคปซูล และโรงพยาบาลฟัน ใช้เครื่องทำฟันเป็นเครื่องมือที่ใช้งานเพียงปีเศษ

พิบูลย์ เกิดโภคทรัพย์ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาคูณภาพน้ำทิ้งภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ปริมาณปรอทในน้ำทิ้งของอาคารส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (0.005 มิลลิกรัม/ลิตร) ยกเว้นน้ำทิ้งของอาคารทันต 5 ซึ่งเป็นคลินิกรวม, อาคารทันต 10 ซึ่งเป็นโรงอาหาร และอาคารทันต 15 มีค่าเฉลี่ยของปรอทในน้ำทิ้งเกินกว่ามาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดจากการเก็บตัวอย่างน้ำอยู่ในช่วงที่มีการให้บริการทางทันตกรรมหนาแน่นที่สุด ปริมาณปรอทที่มาจากวัสดุอุดฟันส่วนเกินอาจปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งสูงกว่าปกติ และระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารที่มีอยู่ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบเติมอากาศ ไม่ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้กำจัดโลหะหนัก จึงควรแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนทิ้งลงท่อระบายน้ำ ปรอทส่วนเกิน กากวัสดุเหลือใช้ หรือวัสดุที่รื้อถอนออกจากฟันของผู้ป่วยควรทิ้งในภาชนะที่จัดเตรียมไว้แล้วนำไปกำจัดในภายหลัง

4. กากของเสียจากสถานทันตกรรม

ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 สมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา (ADA) ได้แนะนำวิธีการปฏิบัติที่ดีในการจัดการของเสียอะมัลกัมจากงานทันตกรรม (Best Management Practice for Amalgam Waste: BMP) โดยระบุประเด็นสำคัญว่าไม่ควรทิ้งไปกับขยะปกติ หรือ ขยะทางการแพทย์ และไม่ควรร้าง ลงท่อน้ำทิ้ง เพราะในบางชุมชนกำจัดขยะโดยการเผา ทั้งขยะชุมชน ขยะทางการแพทย์ และกากจากการบำบัดน้ำเสีย และแนะนำวิธีที่ดีที่สุดในในการจัดการของเสียอะมัลกัม คือ การนำกลับไปใช้ใหม่

สำหรับประเทศไทย มีผู้รับซื้อกากของเสียอะมัลกัม และขายต่อให้ผู้คัดแยกเพื่อสกัดเงินออกจากอะมัลกัม โดยนำไปรีไซเคิลอย่างไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลและวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้คัดแยก และปรอทอาจถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงได้ นอกจากนี้ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการรีไซเคิลของเสียอะมัลกัม แต่ยังไม่มีการศึกษาและดำเนินการสำรวจเกี่ยวกับปัญหาเรื่องการรีไซเคิลของเสียอะมัลกัมในประเทศไทย

2.3.3 สถานภาพการจัดการและควบคุมการใช้ปรอทในวิชาชีพทันตกรรม

ในยุโรป นอร์เวย์ เป็นประเทศแรกในโลกที่ประกาศข้อบังคับในการห้ามใช้อะมัลกัมในการอุดฟันในปี ค.ศ.2008 นอกจากนี้ ประเทศสวีเดนได้มีการประกาศห้ามใช้อะมัลกัมกับเด็กและวัยรุ่นตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน ค.ศ.2009 แต่ยังคงใช้ได้กับผู้ใหญ่ในหน่วยทันตกรรมของโรงพยาบาลจนถึงปี ค.ศ. 2012 และสำหรับประเทศเดนมาร์ค ฟินแลนด์ และเบลเยียม ได้ดำเนินการแนะนำเพื่อสิ่งแวดล้อมโดยการจำกัดและควบคุมการใช้อะมัลกัมในงานทันตกรรม

EC-SCENIHR (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้วัสดุอะมัลกัมและวัสดุทางเลือกอื่นในการบูรณะฟันสำหรับผู้ป่วยและผู้ใช้ โดยคณะกรรมการสรุปว่าอะมัลกัมยังคงเป็นวัสดุอุดฟันที่มีประสิทธิภาพ ยังไม่มีความเสี่ยงในการทำงานหากมีการจัดการที่ดี แนวโน้มการใช้งานในอนาคตอาจลดลงเนื่องจากการใช้วัสดุทดแทนที่มีมากขึ้นและปริมาณการผลิตปรอทโดยรวมที่ลดลง

ในอเมริกา ได้เสนอวิธีการปฏิบัติที่ดีในการจัดการของเสียอะมัลกัมจากงานทันตกรรม (ADA, 2007) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ในการดักจับอะมัลกัมและนำของเสียอะมัลกัมส่วนที่ดักจับได้ไปกำจัดโดยการรีไซเคิลต่อไป ซึ่งการใช้อุปกรณ์ดักจับนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอะมัลกัมได้สูงถึงร้อยละ 95 และได้จำแนกรูปแบบของวัสดุที่ใช้ในการอุดฟันซึ่งมี 6 ประเภท ได้แก่ อะมัลกัม เรซินคอมโพสิท กลาสไอโอโนเมอร์ เรซินไอโอโนเมอร์ พอร์ซเลน และโลหะผสมทอง โดยแต่ละประเภทมีปัจจัยในการเลือกใช้ที่แตกต่างกันทั้งในด้านของราคา ความคงทนแข็งแรง ระยะเวลาที่ใช้ในการอุดฟัน ตำแหน่ง

ของรอยอุด และด้านความสวยงาม ซึ่งจะเป็นประเด็นที่สำคัญในการเลือกใช้วัสดุ โดย ADA ได้ทำการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการอุดฟันไว้แล้ว

ในการควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม USEPA ได้มีข้อกำหนดในการปล่อยมลพิษสู่น้ำเสีย แต่ยังไม่มียกข้อบังคับที่แน่ชัดในการควบคุมการปล่อยปรอทจากงานทันตกรรม ซึ่งจะมีแนวทางการปฏิบัติในการลดการปล่อยปรอททั้งโดยบังคับและโดยสมัครใจในแต่ละรัฐและพื้นที่แตกต่างกันไป และในปี ค.ศ.2008 มี 11 รัฐ และอย่างน้อยที่สุด 19 แห่ง ที่มีการบังคับใช้อุปกรณ์ดักจับอะมีนัลกัมเพื่อเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนปล่อยน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม

สำหรับประเทศไทย ได้มีการควบคุมการใช้อะมีนัลกัมโดยความสมัครใจ โดยในปี พ.ศ.2551 สถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้เสนอแนะแนวทางปฏิบัติทางทันตกรรมในการใช้ปรอทอย่างปลอดภัย แต่ยังคงขาดการศึกษา การติดตามตรวจสอบและการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพการจัดการปรอทในสถานทันตกรรมต่างๆ และยังไม่มีความหมายในการควบคุมการปลดปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากงานทันตกรรม โดยประเทศไทยได้กำหนดปรอทเป็นวัตถุอันตราย ตามบัญชี ก. แนบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2538 ลำดับที่ 45 ของเสียจากการรักษาพยาบาลหรือโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทางทันตกรรม ทันตกรรม การรักษาสัตว์ และที่เกิดจากโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลอื่นๆ

ทั้งนี้ ถ้ามีการจัดการควบคุมปรอทในสถานทันตกรรมอย่างเหมาะสม ปัญหาไอปรอทและปัญหาน้ำเสียจะลดลงมาก แต่ยังคงพบปัญหาการกากของเสียที่จะต้องมีการนำกลับมาใช้ใหม่และมีการกำจัดอย่างถูกต้อง โดยพิจารณาจัดลำดับความสำคัญซึ่งเน้นที่การจัดการที่ดีในสถานทันตกรรม และการจัดการกากของเสียโดยการนำกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดอย่างปลอดภัย ซึ่งจะเป็นการพัฒนาหลักการจัดการที่เหมาะสม

2.3.4 ข้อเสนอการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม

จากการประชุมระดมสมองเพื่อวิเคราะห์แนวทางการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม โดยสถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2552) ได้มีข้อเสนอการจัดการปรอทในวิชาชีพทันตกรรม ซึ่งเสนอให้มีแผนงานในการจัดการปรอททั้งในระยะสั้น (1-2 ปี) ระยะกลาง (2-5 ปี) และระยะยาว (5-10 ปี) โดยมีแนวทางดังนี้

ระยะสั้น (1-2 ปี)

- เผยแพร่ความรู้ “แนวทางปฏิบัติทางทันตกรรมในการใช้ปรอทอย่างปลอดภัย”
- การฝึกอบรมและให้ความรู้ตามสถานทันตกรรมต่างๆ
- การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพการใช้สารทันตกรรมในประเทศ
- การศึกษาวิจัย ผลกระทบต่อผู้รับบริการและทันตบุคลากร
- การศึกษาวิจัย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การจัดทำแผนดำเนินการร่วมกันอย่างเป็นองค์รวม

ระยะกลาง (2-5 ปี)

- การปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เหมาะสมในสถานทันตกรรม
- การประสานดำเนินการเพื่อให้เกิดความร่วมมือในการจัดการกากของเสียจากสถานทันตกรรม โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดอย่างปลอดภัย
- การฝึกอบรมและให้ความรู้ตามสถานทันตกรรมต่างๆ
- การศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารปรอทในงานทันตกรรมและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ระยะยาว (5-10 ปี)

- การพิจารณาออกกฎหมายควบคุมการจัดการ และการปฏิบัติงานในสถานทันตกรรม
- การพิจารณาออกกฎหมายควบคุมมลพิษจากอากาศเสีย น้ำเสีย และกากของเสียจากสถานทันตกรรม
- การจัดให้มีระบบการติดตามตรวจสอบที่ต่อเนื่องและยั่งยืน
- การฝึกอบรมและให้ความรู้ตามสถานทันตกรรมต่างๆ
- การศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารปรอทในงานทันตกรรมและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

2.3.5 แนวทางการดำเนินงานจัดการปรอทในวิชาซีฟทันตกรรม

ที่ประชุมฯ ได้เสนอให้มีแนวทางการดำเนินงานดังนี้

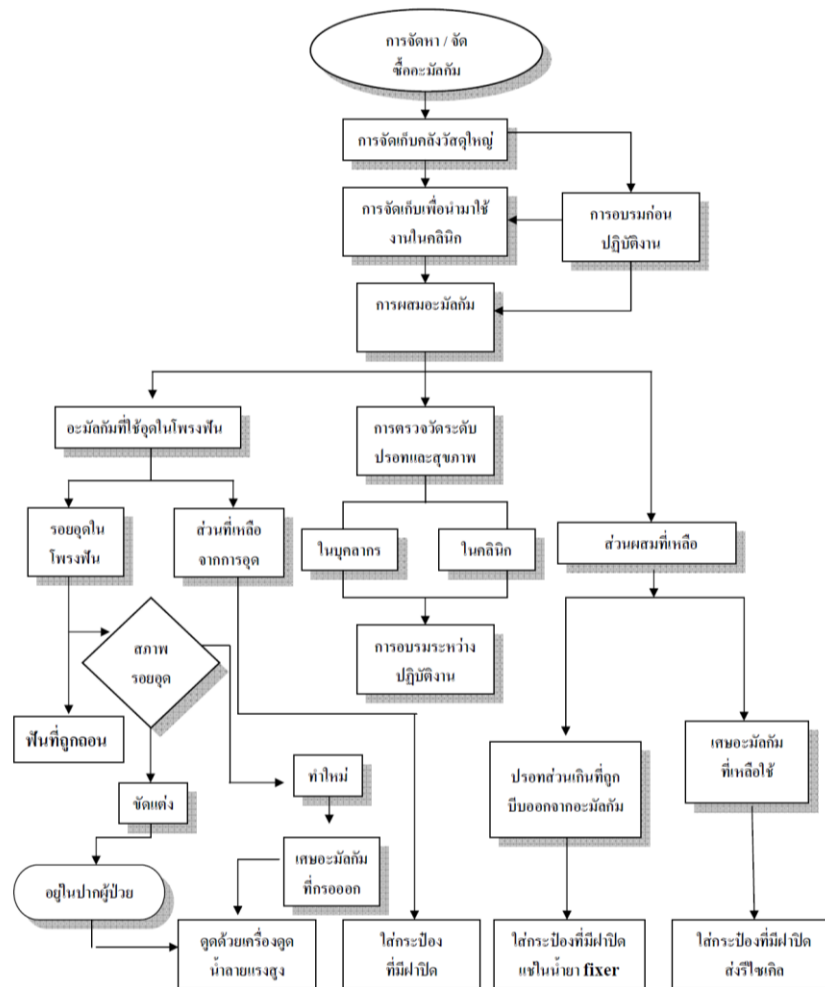
- การกำหนดหน่วยงานหลักเพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงาน และหน่วยงานองค์กรสนับสนุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน
- การตั้งคณะกรรมการหรือคณะทำงาน เพื่อกำกับดูแลและให้คำปรึกษา
- การจัดทำแผนการดำเนินงานร่วมกันอย่างเป็นองค์รวม
- การสร้างเครือข่ายการดำเนินงานอย่างมีส่วนร่วมของผู้เกี่ยวข้อง (ทันตแพทย์สมาคมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมาคมทันตแพทย์เอกชนไทย คณะทันตแพทยศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยต่างๆ กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฯลฯ)

2.3.6 การจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมของประเทศไทย

จากการที่ประเทศไทยได้เริ่มดำเนินการจัดการสารปรอทในงานทันตกรรมอย่างเป็นรูปธรรมมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 จึงได้มีการรวบรวมข้อมูลและอธิบายขั้นตอนในการจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมจากการใช้วัสดุอะมัลกัมในการอุดฟันผู้ป่วย เริ่มตั้งแต่การจัดหาจัดซื้ออะมัลกัม สู่ขั้นตอนการจัดเก็บเพื่อเตรียมใช้งาน และการผสม ซึ่งต้องมีการอบรมก่อนปฏิบัติงาน จากนั้นอะมัลกัมส่วนที่ปนผสมแล้วจะมีการนำไปใช้อุดในโพรงฟันของผู้ป่วย ซึ่งจะมีส่วนที่เหลือจากการอุดและส่วนผสมที่เหลือจากการปั่นผสม จะนำไปใส่ภาชนะบรรจุที่มีฝาปิดมิดชิด และส่งไปกำจัดในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ได้มีการตรวจวัดระดับปรอทและสุขภาพทั้งในส่วนของบุคลากรและสภาพแวดล้อมในกรปฏิบัติงานของคลินิก และมีการอบรมระหว่างปฏิบัติงานด้วย

แผนภาพการจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมในรูปที่ 2-20 เป็นที่น่าสังเกตว่า เศษอะมัลกัมที่เกิดจากขั้นตอนการขัดแต่งและที่กรอออกในระหว่างการอุดจะถูกดูดด้วยเครื่องดูดน้ำลายแรงสูง และเข้าสู่ระบบท่อน้ำทิ้งโดยไม่มีการแยกเศษอะมัลกัมออกก่อน ดังนั้นจึงเป็นช่องทางหนึ่งที่ทำให้ปรอทในส่วนนี้สามารถปนเปื้อนในน้ำทิ้งได้

การจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรม



ที่มา : http://203.157.7.27/km2/tiki-download_file.php?fileId=1042 [ออนไลน์],

รูปที่ 2-20 แผนภาพแนวทางการจัดการปรอทในคลินิกทันตกรรมของประเทศไทย

จากการลงพื้นที่สำรวจโรงพยาบาลนาร่องในประเทศไทย ทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก เพื่อศึกษาสถานการณ์ในการจัดการของเสียปรอทในงานทันตกรรมในช่วงระหว่างเดือนมกราคม ถึงกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ.2557 ที่ผ่านมพบว่า หน่วยทันตกรรมส่วนใหญ่ไม่มีการดำเนินงานจัดการสารปรอทจากอะมัลกัมที่หลุดไปกับน้ำทิ้ง แต่สำหรับส่วนที่เป็นกากของเสียที่เหลือจากการปั้นผสมและเหลือจากการใช้อุดฟัน จะมีการรวบรวมใส่ภาชนะบรรจุที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อรอส่งไปกำจัด โดยการขายให้กับผู้รับซื้อเครื่องเงินเพื่อนำไปสกัดแยกโลหะเงินและนำกลับไปใช้ใหม่ ทั้งนี้รายละเอียดการจัดการของเสียอะมัลกัมในโรงพยาบาลที่ทำการสำรวจสรุปได้ดัง ตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 การจัดการของเสียอะมลัมในโรงพยาบาลที่ทำการสำรวจ

ชนิดของของเสีย	รายละเอียด
เปลือกแคปซูล	แยกใส่ภาชนะพลาสติกมีฝาปิดและส่งให้บริษัทรับกำจัดนำไปเผา
เศษอะมลัมที่เหลือจากการผสม	ใส่ภาชนะพลาสติกมีฝาปิดและแช่ด้วย Fixer และมีผู้มารับซื้อที่โรงพยาบาล
พื้นที่ถอนออกมีอะมลัมติด	นำไปทิ้งรวมกับขยะติดเชื้อ และจะถูกส่งไปเผาในเตาเผาขยะ
ตัวกรองข้างเตียง (Chairside Trap)	ล้างในอ่างชำระในห้องทันตกรรม และนำเศษทิ้งรวมเป็นขยะอันตราย
น้ำทิ้งจากเตียงทันตกรรม	ปล่อยผ่านตะแกรงกรองพิเศษ ที่ติดตั้งอยู่ในโต๊ะเพื่อกรอง และตัวกรองนำไปเคาะเศษรวมเป็นขยะอันตรายและล้างในอ่างชำระของเสียพิเศษของรพ.
ผ้าก๊อตเปื้อนเลือดปนเปื้อนเศษอะมลัม	ทิ้งรวมกับขยะติดเชื้อ และสำหรับเตียงเป็นรุ่นที่มีที่ระบบริกรอง 2 ชั้น เศษอะมลัมที่เกิดในขณะทำการอุดฟันและจากการกรอของเกาท์ จะถูกดูดเข้า เครื่อง High Power Suction ทั้งนี้เศษที่เก็บได้จะถูกทิ้งรวมกับขยะติดเชื้อและนำไปเผาที่เตาเผาขยะ

2.4 การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis)

สุพัต ครอบงษากุล (2009) อธิบายถึงแนวทางในการวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis-SFA) ว่าสามารถใช้อธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า-ออก ของสารเฉพาะตัวหนึ่งๆ (เช่น ปุ๋ย ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น) จากจุดที่สารนั้นเริ่มต้น เช่น การแยกสกัดได้จากการทำเหมืองแร่ ผ่านขั้นตอนทั้งหมด ของกระบวนการผลิต นำไปใช้เป็นส่วนผสม หรือส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ สินค้าและบริการต่างๆ เพื่ออุปโภคบริโภค จนถึงขั้นตอนการกำจัด รวมถึง การปล่อยสารนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของมลพิษทางอากาศ ทางน้ำ และขยะของเสีย บางท่าน อาจเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การทำบัญชีการไหลของสารหรือวัสดุ (ทางกายภาพ)

สิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของสาร คือ

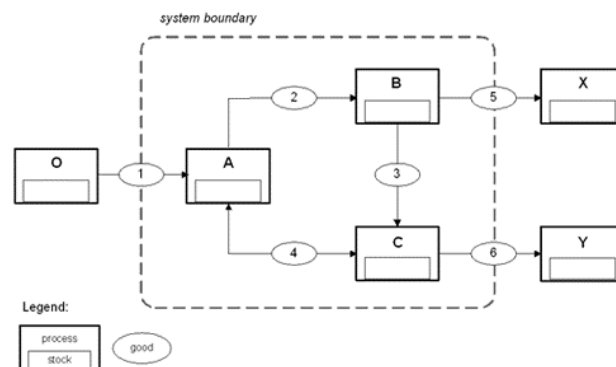
- ปริมาณสารขาเข้าของแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด
- ปริมาณสารขาออกของแต่ละกระบวนการย่อย (หน่วย) และระบบรวมทั้งหมด
- ปริมาณสารสะสม (สต็อก) ในแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด

หลักในการวิเคราะห์ จะใช้หลักการทำ สมดุลมวลสาร (Mass Balance) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐาน ของกฎการอนุรักษ์มวล ว่า มวลสารไม่สูญหาย หรือถูกทำลายไป ถ้าพิจารณาระบบ (ดังแสดง

ในรูปที่ 2-21) ที่มีมวลสารไหลผ่านเข้าออก สมการทั่วไป ของสมดุลมวลสาร ในแต่กระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมคือ

$$\text{สารที่สะสมในระบบ} = \text{สารที่เข้าสู่ระบบ} - \text{สารที่ออกจากระบบ}$$

ในการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นเราจะสมมติว่า ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) หมายถึง สารที่เข้าและออกคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



ที่มา : (Baccini and Brunner, 1991; Baccini and Bader, 1996; Moore 1997; Brunner and Rechberger 2004)

รูปที่ 2-21 ผังอย่างง่ายแสดงการไหลของสาร (หรือวัสดุ ผลิตภัณฑ์) อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์

ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์การไหลของสาร อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การวิเคราะห์ระบบ และการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถแยกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ดังนี้ (Baccini and Bader, 1996; Brunner and Rechberger, 2004; Kwonpongsagoon et al ., 2007)

1. เลือกขอบเขตของระบบ (System boundary) สารหรือวัสดุ (Substance, Material) และระยะเวลาที่สนใจจะศึกษาเก็บข้อมูล
2. ระบุผลิตภัณฑ์สินค้า กระบวนการผลิต ขนส่ง แปรรูป ที่เกี่ยวข้องกับสารที่สนใจ
3. เขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย และการไหลของสาร
4. เก็บข้อมูล เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์สินค้า (การผลิต ขนส่ง อุบัติเหตุบริโภค) ปริมาณสินค้าที่หมดสภาพกลายเป็นขยะเพื่อทิ้ง กำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นั้นๆ รวมถึงปริมาณมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม
5. คำนวณปริมาณการไหลของสาร ใช้หลักสมดุลมวลสารที่กล่าวแล้วข้างต้น
6. เขียนแผนภูมิเชิงปริมาณสรุปผลการวิเคราะห์ แสดงการไหลของสารทั้งระบบ

ด้วยหลักการและวิธีวิเคราะห์การไหลของสารเบื้องต้น จะทำให้ได้ข้อมูลสนับสนุน นโยบาย การบริหารจัดการสารเคมี ทำให้เข้าใจถึงสาเหตุ ของปัญหาในภาพรวม ทั้งระบบก่อนการตัดสินใจ ดำเนินการใดๆ

เครื่องมือนี้ได้รับการคิดค้นพัฒนาเพื่อใช้สนับสนุนนโยบาย การจัดการสิ่งแวดล้อมในประเด็น ต่างๆ ในประเทศแถบยุโรปมานาน โดยเฉพาะ สวิตเซอร์แลนด์ ออสเตรีย เนเธอร์แลนด์ เดนมาร์ค และสวีเดน สำหรับประเทศไทย เครื่องมือชนิดนี้ ยังไม่ค่อยเป็นที่รู้จัก งานวิจัยมีน้อย เมื่อเทียบกับ เครื่องมือชนิดอื่นๆ หรือมีอยู่บ้าง ก็เป็นเพียงขั้นพื้นฐาน และยังไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้สนับสนุนเชิง นโยบายอย่างจริงจัง

2.5 แนวทางการลดของเสีย (Waste Minimization)

“ของเสีย” หรือ “Waste” จาก The UK Environmental Protection Act 1990 (EPA 1990) สามารถระบุความหมายได้ 2 กรณีคือ

- เป็นสิ่งหรือสารใดๆ ที่เป็นวัสดุ Scrap หรือสิ่งที่ปล่อยออกมา หรือสารที่ไม่ต้องการอื่นๆ ที่ได้มาจากกระบวนการ
- เป็นสิ่งหรือสารใดๆ หรือชิ้นส่วนใดๆ ที่ต้องการจะกำจัด เนื่องด้วยการแตกหัก ฉีกขาด ปนเปื้อน หรือถูกทำให้เสียหาย

การลดของเสีย หรือ Waste Minimization เกี่ยวข้องกับเทคนิค กระบวนการ หรือกิจกรรม ใดๆ ที่จะหลีกเลี่ยง กำจัด หรือลดจำนวนของเสียที่แหล่งกำเนิด โดยปกติจะรวมอยู่ในหน่วยการผลิต หรือเป็นการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการใช้หมุนเวียนที่เรียกว่า การรีไซเคิล (Recycle) การลดของเสีย มีชื่อเรียกต่างกันไป ดังนี้

- Waste Minimization
- Waste Reduction
- Clean or Cleaner Technologies, Engineering, Processing
- Pollution Prevention/Reduction
- Environmental Technologies
- Low and Non-Waste Technologies

การลดของเสีย (Waste Minimization) เป็นช่องทางที่สำคัญในการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเทคนิคในการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด สามารถแบ่งได้เป็น 4 หมวด ประกอบด้วย

- การปฏิบัติหรือการจัดการที่ดี (Good Practice)
- การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี (Technological Changes) ได้แก่ การปรับปรุงอุปกรณ์ (Retrofitting) และกระบวนการสะอาด (Cleaner Processes)
- การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ (Input Material Changes)
- การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ (Product Changes)

ในการจัดการของเสีย สิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องปฏิบัติเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นคือ การลดที่แหล่งกำเนิด หรือการนำกลับมาใช้ซ้ำ รองลงมาคือ การนำไปรีไซเคิล การนำกลับพลังงาน และการบำบัดและกำจัดของเสีย ซึ่งวิธีหลังนี้ควรเลือกเป็นวิธีการสุดท้ายที่จะปฏิบัติเพื่อจัดการของเสีย โดยลำดับชั้นของการจัดการของเสีย (Hierarchy of Waste Management Practices) ที่ควรปฏิบัติ แสดงดังรูปที่ 2-22



ที่มา : U.S.EPA, 2013

รูปที่ 2-22 ลำดับชั้นของการจัดการของเสีย (Waste Management Hierarchy)

2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(American Journal of Dental Science. Massachusetts, U.S: Harvard University; 1845. American Society of Dental Surgeons; p. 170.) รายงานว่า ในปี ค.ศ.1843 สมาคมศัลยศาสตร์ช่องปากในนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา (The American Society of Dental Surgeon : ASDS) ได้ประกาศถึงอันตรายของโลหะปรอทในอะมัลกัม และเสนอให้มีการระงับใช้วัสดุอุดฟันชนิดนี้ โดยอ้างว่าเป็นอันตรายโดยตรงต่อผู้ป่วยและทันตแพทย์ และการประกาศนี้เป็นจุดเริ่มต้นถึงการ

ถกเถียงกันถึงอันตรายของอะมัลกัมตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ในปี ค.ศ. 1859 ได้มีการก่อตั้งสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทย (The American Dental Association : ADA) องค์กรนี้ไม่เห็นด้วยกับการระงับการใช้อะมัลกัม และได้เข้ามารับผิดชอบควบคุมมาตรฐานความปลอดภัยของการใช้อะมัลกัมในคลินิก ปี ค.ศ. 1991 สถาบันวิจัยทางทันตแพทยศาสตร์ ซึ่งเป็นหน่วยงานของสถาบันสุขภาพแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา และองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้ทำการศึกษาถึงอันตรายของอะมัลกัมและพบว่าไม่มีหลักฐานที่พบว่าโลหะปรอทในอะมัลกัมส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยและทันตแพทย์ แต่อย่างไรก็ตาม อันตรายจากการใช้อะมัลกัมก็ยังคงมีการตีพิมพ์แพร่หลายในวารสารต่างๆ อย่างต่อเนื่อง

2.6.1 ปริมาณของเสียปรอทที่เกิดขึ้นจากงานทันตกรรม

Drummond และคณะ (2003) ทำการศึกษาปริมาณอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม ในมลรัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเมินสัดส่วนของเสียจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอุดฟัน ทั้งในส่วนที่หลีกเลี่ยงจากการบั่นผสม ซึ่งไม่ได้สัมผัสกับช่องปาก (Non-Contact) ส่วนที่เป็นของเสียที่สัมผัสกับช่องปากซึ่งถูกดักจับด้วยตัวกรองหยาบชั้นต้นที่ติดกับเตียง (Contact) และส่วนที่ติดอยู่กับฟัน (In Tooth) โดยเก็บข้อมูลจากสถานทันตกรรม 6 แห่ง จำนวน 40 รายที่ออกแบบ 1 และ 2 ด้าน ในฟันกรามหลัง (Molar) และฟันข้างกราม (Bicuspid) ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยกลาง (Median) ส่วนที่เป็น Non-Contact เกิดขึ้นประมาณ 421 มิลลิกรัมต่อวันต่อเตียง ส่วนที่เป็น Contact เกิดขึ้น 64 มิลลิกรัมต่อวันต่อเตียง และพบเป็นสัดส่วนของ In Tooth Non-Contact และ Contact ร้อยละ 46 ± 20 , 43 ± 19 และ 11 ± 4 ตามลำดับ เมื่อคาดการณ์ปริมาณปรอท ซึ่งร้อยละ 50 ของอะมัลกัมโดยน้ำหนักมีปรอทเป็นส่วนผสม พบว่า ทันตแพทย์จำนวน 6,455 รายในมลรัฐอิลลินอยส์ จะทำให้มีปรอทส่วนที่เป็น Non-Contact เกิดขึ้น 947 กิโลกรัมต่อปี โดยในส่วนนี้สามารถนำไปรีไซเคิลได้ และส่วนที่เป็น Contact เกิดขึ้น 144 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และเมื่อคาดการณ์เทียบกับจำนวนทันตแพทย์ทั้งหมดในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 123,641 ราย พบว่า จะทำให้มีปรอทส่วนที่เป็น Non-Contact เกิดขึ้น 18,159 กิโลกรัมต่อปี และส่วนที่เป็น Contact เกิดขึ้น 2,763 กิโลกรัมต่อปี

EEB (2007) ทำการศึกษาและประเมินการปล่อยสารปรอทจากงานทันตกรรมและจากชุมชนออกสู่สิ่งแวดล้อมในยุโรป (EU) ซึ่งผ่านแต่ละเส้นทางหลัก ดังนี้

เส้นทาง	ปรอทในน้ำเสีย จากคลินิกกระเหย ในบรรยากาศ	ของเสีย จากชุมชน	ระบบ บำบัดน้ำ เสียชุมชน	ของเสีย ชีวภาพ	ของเสีย อันตราย	การ รีไซเคิล	ฝังกลบ	เผา
บรรยากาศ	100%	10%	30%	30%	2%	2%	0%	80%
น้ำผิวดิน	0%	20%	25%	10%	0%	0%	0%	0%
น้ำใต้ดิน	0%	10%	10%	10%	0%	0%	20%	0%
ดิน	0%	60%	35%	30%	0%	2%	80%	20%
วัสดุที่ถูก นำมาใช้ใหม่	0%	0%	0%	20%	98%	96%	0%	0%

และผลจากการศึกษาสมดุลมวลสารของปรอทจากงานทันตกรรมพบว่า ปริมาณปรอทที่เกิดจากการทำฟัน 109 ตัน และปรอทที่มีอยู่ในฟันของผู้ที่เสียชีวิตแล้ว รวม 123 ตัน

- ส่วนที่ไม่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ประมาณ 46 ตัน (ถูกรีไซเคิลและนำมาใช้ใหม่ ประมาณ 22 ตัน)
- ส่วนปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ประมาณ 77 ตัน โดยปนเปื้อนในดิน 30 ตัน ปนเปื้อนในบรรยากาศ 23 ตัน ปนเปื้อนในน้ำผิวดิน 14 ตัน ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน 10 ตัน และปรอทบางส่วนอาจจะปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตและห่วงโซ่อาหารในรูปของเมทิลเลท (Methylate)

นอกจากนี้ ยังมีผลการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการลดปริมาณปรอทในงานทันตกรรมและประเมินค่าใช้จ่าย แสดงรายละเอียดดังนี้

ผู้ศึกษาวิจัย	กิจกรรม	สถานที่ / ปี	ค่าใช้จ่าย (เหรียญ สหรัฐต่อ 1 กิโลกรัม)	ระดับการลด ปรอท
Jackson และคณะ (2000)	ดักจับปรอทที่เตียงผู้ป่วย	รัฐมินนิโซตา ประเทศ สหรัฐอเมริกา / 1999	240	ปานกลาง
Bender (2002)	ใช้เครื่องแยกอะมัลกัม	ประเทศสหรัฐอเมริกา / 2002	2,000 – 4,000	ปานกลางถึง มาก
AMSA (2002)	ใช้เครื่องแยกอะมัลกัม	ประเทศสหรัฐอเมริกา / 2002	8400 – 17,700	ปานกลางถึง มาก
OSPAR (2003)	บำบัดปรอทจากก๊าซที่เกิดจาก การเผาไหม้	การประเมินของโครงการ OSPAR	50,000 – 75,000	ปานกลางถึง มาก
Hylander และ Goodsite (2006)	ใช้วัสดุดูดซับแทนอะมัลกัมใน คลินิกทันตกรรม	ประเทศสวีเดน / 2004	129,000	มาก
Hylander และ Goodsite (2006)	แยกอะมัลกัมก่อนฝังกลบหรือ เผา	ประเทศสวีเดน / 2004	400	มาก
Hylander และ Goodsite (2006)	ดูดซับไอปรอทด้วยถ่านกัมมันต์ จากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้	ประเทศสวีเดน / 2004	170,000 – 340,000	ปานกลางถึง มาก
Hylander และ Goodsite (2006)	ดูดซับไอปรอทด้วยถ่านกัมมันต์ จากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้	สหราชอาณาจักร / 2004	29,000	ปานกลางถึง มาก

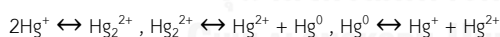
Hardman และคณะ (2000) ศึกษาพิษจลศาสตร์ของปรอท (Mercury Toxicokinetics) ในมนุษย์ ผลการศึกษาพบว่า ปรอทในรูปของธาตุสามารถเข้าสู่ร่างกายด้วยวิธีการหายใจ ร้อยละ 75-85 ส่วนในรูปของเมทิลเมอร์คิวรีจะเข้าสู่ร่างกายด้วยวิธีการกิน ร้อยละ 95 เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเข้าไปสะสมยังสมอง ไต เลือด ตับ ม้าม และหัวใจ แสดงรายละเอียดดังนี้

รายละเอียด	ธาตุปรอท	ไอออนิกของปรอท	เมทิลเมอร์คิวรี
เส้นทางเข้าสู่ร่างกาย			
ทางหายใจ	75% - 85%	ละอองในอากาศ	ไอระเหย
ทางกิน	< 0.01%	7% - 15%	95%
ทางผิวหนัง	<3%	2% - 3%	3% - 5%
การแพร่กระจาย			
อวัยวะเป้าหมาย	สมอง, ไต, เลือด	ไต, เลือด	เลือด สมอง ตับ หัวใจ ม้าม ไต
B/B, B/P Barrier	กระจายได้อย่างรวดเร็ว	กระจายอย่างช้าๆ	กระจายได้อย่างรวดเร็ว
ค่าครึ่งชีวิต (ในเลือด)	45 วัน	19.7 - 65.6 วัน	50 วัน
เปลี่ยนรูปทางชีวภาพ	$Hg^0 \rightarrow Hg^{2+}$	$Hg^{+2} \rightarrow CH_3-Hg^+$	$CH_3-Hg^+ \rightarrow Hg^{2+}$
การกำจัดออกจากร่างกาย			
ค่าครึ่งชีวิตที่กำจัดออก (Half-Life Elimination)	58 วัน	1-2 เดือน	70-80 วัน
รูปของปรอท (เส้นทาง)	Hg^0 (อากาศที่หายใจออก เหงื่อ น้ำลาย) Hg^{2+}	Hg^{2+} (ปัสสาวะ อุจจาระ)	CH_3-Hg^+ (น้ำนม) Hg^{2+} (ปัสสาวะ อุจจาระ)

หมายเหตุ : B/B (Blood-Brain) การส่งผ่านทางเลือดสู่สมอง

B/P (Blood-Placenta) การส่งผ่านทางเลือดสู่รกไปยังทารกในครรภ์

การเปลี่ยนรูปของปรอท Hg^+ เปลี่ยนไปสู่ Hg^{2+} หรือ Hg^{2+} เปลี่ยนไปสู่ Hg^0 อย่างรวดเร็ว



Adegbembo และ Watson (2004) ทำการศึกษาปริมาณปรอทจากอะมัลกัมที่คั่งค้างอยู่ในน้ำเสียที่ปล่อยโดยทันตแพทย์สู่ระบบน้ำเสียในเมืองออนตาริโอ ประเทศแคนาดา โดยการสำรวจปริมาณของอะมัลกัมที่ใช้และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการแยกโดยอุปกรณ์ดักจับของคลินิกทั้งในส่วนที่ปฏิบัติตาม ISO 11143 และไม่ได้ปฏิบัติตาม ผลการศึกษาพบว่า จากการสำรวจทันตแพทย์จำนวนร้อยละ 44 ของทันตแพทย์ทั้งหมดในเมืองออนตาริโอ มีการแยกปรอทออกมาได้ประมาณ 940.16 กิโลกรัม ในปี ค.ศ.2002 โดยปรอท 564.10 กิโลกรัม จะปล่อยสู่ระบบน้ำเสียในเมืองออนตาริโอ ถ้าไม่มีการใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) และมีรายงานว่าประมาณร้อยละ 22 ที่ทันตแพทย์มีการใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม เมื่อสำรวจคลินิกในส่วนที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมพบว่า จะมีปรอทเกิดขึ้นประมาณ 430.89 กิโลกรัม หรือประมาณ 170.72 มิลลิกรัมต่อทันตแพทย์ต่อวัน ในปี ค.ศ.2002 ซึ่งถ้าทันตแพทย์ทั้งหมดมีการใช้อุปกรณ์ในการดักจับอะมัลกัมจะ

สามารถลดปริมาณปรอทที่จะปล่อยลงสู่ระบบน้ำเสียได้ประมาณ 6.21 กิโลกรัม หรือประมาณ 2.46 มิลลิกรัมต่อพันดแพทย์ต่อวัน

2.6.2 การบำบัดปรอทในน้ำเสียจากงานทันตกรรม

Batchu และคณะ (1996) ทำการศึกษาลักษณะอนุภาคของอะมัลกัมในน้ำเสียจากงานทันตกรรม ผลจากการทดลองพบว่า อนุภาคของอะมัลกัมจะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เมื่อทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง จะสามารถแยกคอลลอยด์ออกจากน้ำเสียได้ และหากทำการวิเคราะห์หาค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) ของอนุภาคอะมัลกัมและอนุภาคของฟันที่มีสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ติดอยู่ เมื่อนำไปใส่น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) พบว่าอนุภาคทั้งสองจะแยกออกจากกัน และวัดค่าศักย์ซีต้า เท่ากับ -13 และ -23 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.8

Stone และคณะ (2000) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดปรอทขั้นต้น โดยใช้กระบวนการตกตะกอน การกรอง และการดูดซับปรอท จากน้ำเสียของงานทันตกรรม จำนวน 35 คน ทำให้เกิดน้ำเสียปริมาณ 16 แกลลอนต่อวัน น้ำเสียจะถูกนำมาทิ้งไว้ให้ตกตะกอน และนำไปแยกอะมัลกัมออกด้วยการผ่านตัวกรอง ขนาด 25 มิลลิเมตร และถูกรอง ขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปผ่านคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับชนิด Keyle:X แล้วผ่านตัวกรองขนาด 1 มิลลิเมตรอีกครั้ง ผลจากการศึกษาพบว่า น้ำเสียก่อนบำบัด มีปรอทเข้มข้น เฉลี่ย 6.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัดน้ำเสียมีปรอทเข้มข้นน้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ เท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร)

Stone และคณะ (2002) ทำการศึกษาปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากคลินิกหรือโรงพยาบาลทันตกรรมที่มีจำนวนเตียง อยู่ในช่วง 30 – มากกว่า 100 เตียง และทดสอบความเป็นพิษของปรอทด้วยวิธี Toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) โดย RCRA กำหนดให้ความเข้มข้นของปรอท เท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการศึกษากัดปรอทออกจากน้ำเสียด้วยวิธี USEPA 7471 นำไปทดสอบความเป็นพิษด้วยวิธี USEPA 1311 และวิเคราะห์ด้วยวิธี USEPA 7470A (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry) ผลจากการศึกษาพบว่า ในน้ำเสียจากงานทันตกรรมมีปริมาณปรอทส่วนที่ตกค้างเฉลี่ย 29.6 กรัมต่อกิโลกรัม และความเข้มข้นของปรอทที่ถูกชะล้างออกมาอยู่ในช่วง 0.0179 - 0.396 มิลลิกรัมต่อลิตร และเฉลี่ย 0.1153 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ RCRA กำหนดไว้ และปรอทส่วนที่อยู่ในกากตะกอนสามารถเคลื่อนออกสู่ภายนอกได้ จากการออกซิไดซ์กับสารที่ใช้ทำความสะอาด

Cailas และคณะ (2002) ทำการศึกษาปริมาณปรอทและเงินที่เกิเกิดขึ้นจากการอุดฟันด้วยอะมัลกัมและปนเปื้อนในน้ำเสียจากคลินิกทันตกรรม ซึ่งตั้งอยู่ในเขต Great Lake Naval Base และแผนกทันตกรรมของมหาวิทยาลัยต่างๆ ในมลรัฐอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้ง วิธีการบำบัดปรอทในน้ำเสียดังกล่าว จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณปรอทและเงินในของเสียที่ติดอยู่บนตัวกรองที่ติดตั้งไว้กับเก้าอี้ผู้ป่วย เท่ากับ 799 และ 533 มิลลิกรัมต่อวันต่อเก้าอี้ ตามลำดับ ปริมาณปรอทและน้ำเสียที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากคลินิกทันตกรรม เท่ากับ 498 และ 300 มิลลิกรัมต่อวันต่อเก้าอี้ ตามลำดับ ดังนั้น ของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการอุดฟันด้วยอะมัลกัมจะมีปรอทและเงินปนเปื้อน รวม 1,297 และ 833 มิลลิกรัมต่อวันต่อเก้าอี้ เมื่อนำน้ำเสียผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 การตกตะกอน นานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวิธีที่ 2 กระบวนการ Coagulation-Flocculation โดยการเติมสารเพอร์ริกซัลเฟต และวิธีที่ 3 การตกตะกอนร่วมกับกระบวนการ Coagulation-Flocculation พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดปรอทได้มากกว่า ร้อยละ 90, 98 และ 99.9 ตามลำดับ

Vandeven และ McGinnis (2005) ทำการศึกษการใช้และการกำจัดปรอทในประเทศสหรัฐอเมริกาผลจากการศึกษาพบว่าประเทศสหรัฐอเมริกามีอุตสาหกรรมผลิตอะมัลกัมประมาณ 35.2 ตัน (31.9 ลูกบาศก์เมตร) ใช้ปรอทในกระบวนการผลิตประมาณ 29.7 ตัน (26.9 ลูกบาศก์เมตร) มีปริมาณน้ำเสียปนเปื้อนปรอทจากคลินิกทันตกรรมที่ใช้อะมัลกัมประมาณ 6.5 ตัน (5.9 ลูกบาศก์เมตร) ในขณะที่มาจากแหล่งอื่นๆ ประมาณ 5.8 ตัน (5.3 ลูกบาศก์เมตร) เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน รวม 12.3 ตัน (11.2 ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งมีความเข้มข้นของปรอทเท่ากับ 225 นาโนกรัมต่อลิตร เมื่อระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพบำบัดปรอทได้ ร้อยละ 95 ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 12 นาโนกรัมต่อลิตร ส่วนสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดจะนำไปเผาซึ่งจะปล่อยปรอทสู่บรรยากาศรวม 0.4 ตัน หากใช้ระบบดังกล่าวบำบัดปรอทจะต้องใช้งบประมาณ 380 ล้านเหรียญถึง 1.14 พันล้านต่อตัน

Shraim และคณะ (2011) ทำการศึกษาชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากคลินิกทันตกรรม 3 แห่ง ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของ Al-Madinah Al-Munawarah (KSA) ประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระยะ 2 เดือน และทำการวิเคราะห์โลหะด้วยเครื่อง ICP-MS ความเข้มข้น ผลจากการทดลอง พบว่า น้ำเสียมีความเข้มข้นของปรอท เงิน ดีบุก ทองแดง และสังกะสี เฉลี่ย 5.3 ± 11.1 , 0.49 ± 0.96 , 3.0 ± 10.7 , 10.0 ± 14.5 และ 76.7 ± 106 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ความเข้มข้นสูงของโลหะอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก สตรอนเซียม และแบเรียม เฉลี่ย 14.4 ± 15.2 , 3.0 ± 4.6 , 3.0 ± 4.5 , 1.6 ± 2.4 และ 6.9 ± 10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าโลหะหนักบางชนิดมีความเข้มข้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 2-10 ตารางสรุปผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนปรอทในน้ำเสียจากงาน
ทันตกรรม (รวบรวมโดย Shraim และคณะ (2011))

ผู้วิจัย	รายละเอียด	ปริมาณปรอท (มิลลิกรัมต่อวัน ต่อทันตแพทย์)	ปริมาณ ปรอทรวม (ตันต่อปี)*
King Country (1991)	ศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจาก คลินิกทันตกรรม	35	2
Barruci และคณะ (1992)	ประเมินการควบคุมปรอทจากแหล่งกำเนิด และการป้องกันมลพิษจากปรอท	35	2
Naleway (1994)	ศึกษาคุณสมบัติของอะมัลกัมในน้ำเสียจาก งานทันตกรรม	484	24
NEORSD (1997)	ประเมินการควบคุมปรอทจากแหล่งกำเนิด และการป้องกันมลพิษจากปรอท	44	2
Rourks (2000)	ประเมินการควบคุมปรอทจากแหล่งกำเนิด และการป้องกันมลพิษจากปรอท	98	5
Berglund (2001)	ประเมินการควบคุมปรอทจากแหล่งกำเนิด และการป้องกันมลพิษจากปรอท	234	11

หมายเหตุ : * จำนวนหมอฟัน 175,000 คน และวันทำงาน 250 วันต่อปี

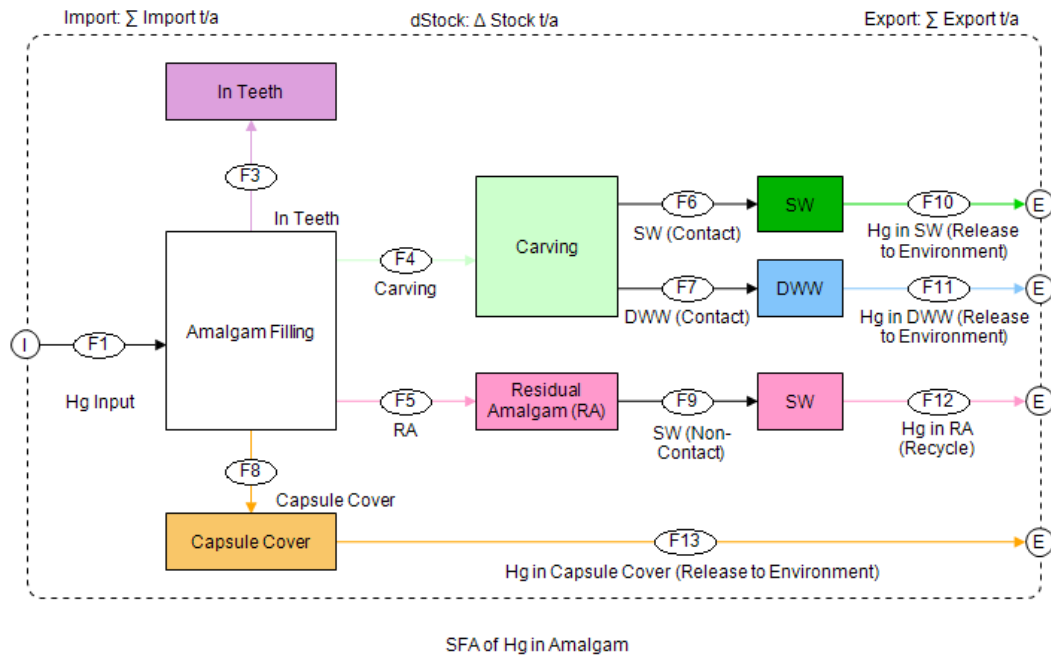
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นศึกษาทบทวนสถานะปัจจุบันของการจัดการสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในงานทันตกรรมของประเทศ และทำการวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม (Substance Flow Analysis–SFA) เพื่ออธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า-ออก ของสารปรอท จากจุดที่เริ่มต้น ผ่านขั้นตอนการใช้งานจนถึงขั้นตอนการกำจัดและการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของมลพิษทางน้ำ และขยะของเสีย โดยใช้หลักการทำสมดุลมวลสาร (Mass Balance) ในการประเมินปริมาณสารปรอทขาเข้า (Import) ขาออก (Export) และสารปรอทที่สะสมของระบบรวมทั้งหมด (Stock) จากการใช้อะมัลกัมในงานทันตกรรม นำมาซึ่งข้อเสนอแนะที่เหมาะสมในการกำหนดแนวทางการจัดการเพื่อลดของเสียปรอทจากสารอะมัลกัมที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 การศึกษาเส้นทางและวงจรของสารปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรม

เป็นการรวบรวมข้อมูลเส้นทางการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้อะมัลกัม โดยพิจารณาจากวงจรปรอทในงานทันตกรรมดังรูปที่ 3-1 ซึ่งกำหนดให้ขอบเขตของระบบ (Boundary System) ที่ศึกษาเริ่มจากการใช้สารปรอทจากอะมัลกัม 1 แคปซูล ในกระบวนการอุดฟันกราม 1 ซี่ โดยจะพบว่าเส้นทางการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัม (AMG) จะแบ่งออกส่วนต่างๆ ดังนี้

ปริมาณสารปรอทขาเข้า (Import)	- อะมัลกัมแคปซูล (AMG)
ปริมาณปรอทสะสม (Stock)	- อะมัลกัมที่ปนเปื้อน : ส่วนที่ติดกับฟัน (In teeth)
ปริมาณสารปรอทขาออก (Export)	- อะมัลกัมที่ปนเปื้อน : ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ได้แก่ <ul style="list-style-type: none">● ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW)● ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) - อะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน : ส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (Residual Amalgam; RA) - เปลือกแคปซูล (Capsule Cover) รวมถุงพลาสติกที่บรรจุปรอทภายในแคปซูล



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างแผนภาพการวิเคราะห์การไหลของสารปรอท
จากอะมล็กัมในงานทันตกรรม

ทั้งนี้รายละเอียดขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.2.1 การเก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในการประสานงานเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมล็กัมในหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง โดยได้คัดเลือกตัวแทนหน่วยทันตกรรมดังกล่าวจากความพร้อมของสถานที่ในการติดตั้งระบบดักจับเศษอะมล็กัม (Amalgam Separator) ซึ่งหน่วยทันตกรรมแต่ละแห่งได้กำหนดระยะเวลาการติดตั้งประมาณ 6 เดือน โดยสามารถจำแนกประเภทข้อมูลของเสียปรอทจากอะมล็กัมที่เก็บรวบรวมได้ต่อหนึ่งหน่วยทันตกรรมได้ดังตารางที่ 3-1 และรูปที่ 3-3

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลของเสียปรอทจากอะมัลกัมที่เก็บรวบรวมได้ต่อหนึ่งหน่วยทันตกรรม

ประเภทข้อมูลที่เก็บ	วิธีการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล
1) ปรอทจากอะมัลกัมที่ปนเปื้อน : ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) <i>SW ส่วนที่ติดกับตัวกรองชั้นต้นที่เตียง</i> 1.1 ปรอทจากเศษอะมัลกัมที่ติดตะแกรง (Strainer) <i>SW ส่วนที่ติดไปกับล้าสี ผ้าก๊อซ</i> 1.2 ปรอทจากเศษอะมัลกัมที่ปนเปื้อน (Contact) <i>DWW ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย</i> 1.3 ปรอทจากถังพักน้ำทิ้ง (EQ) 1.4 ปรอทจาก Amalgam Separator	เก็บรวบรวมในห้องทันตกรรมตลอดระยะเวลา 6 เดือน โดยนำไปใส่ในภาชนะบรรจุที่ติดป้ายฉลากเตรียมไว้ จากนั้น นำมาทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็น ปริมาณปรอท (ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม) หลังจากติดตั้งระบบครบ 6 เดือนเก็บตัวอย่างน้ำและ ตะกอนภายในถังไปวิเคราะห์ความเข้มข้น และคำนวณ ปริมาณ Loading ของปรอท ตลอดระยะเวลา 6 เดือน
2) ปรอทจากอะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน : ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (Residual Amalgam; RA)	เก็บรวบรวมในห้องทันตกรรมตลอดระยะเวลา 6 เดือน โดยนำไปใส่ในภาชนะบรรจุที่ติดป้ายฉลากเตรียมไว้ จากนั้น นำมาชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท (ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม)



ก) ภาชนะบรรจุอะมัลกัม



ข) ถังพักน้ำทิ้ง (EQ) และ Amalgam Separator

รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลของเสียปรอทจากหน่วยทันตกรรม

ทั้งนี้ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนซีฟันที่อุดด้วยอะมัลกัมโดยใช้แบบบันทึกข้อมูล ตัวอย่าง แสดงดังภาคผนวก และจากข้อมูลที่รวบรวมได้ตลอดระยะเวลาประมาณ 6 เดือนข้างต้น สามารถ นำมาคำนวณเพื่อประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรม แต่ละแห่งที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อการอุดฟัน 1 ซี โดย

- ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมที่ปนเปื้อน : ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) เท่ากับ ผลรวมของปริมาณปรอทจากเศษอะมัลกัมที่ติดตะแกรง ปรอทจากเศษอะมัลกัมที่ปนเปื้อน ปรอทจากถังพักน้ำทิ้ง (EQ) และปรอทจาก Amalgam Separator ทหารด้วย จำนวนซีฟันที่อุดด้วยอะมัลกัม
- ปรอทจากอะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน : ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (Residual Amalgam; RA) เท่ากับ ปริมาณปรอทจากส่วนที่เหลือจากการบั่นผสมหารด้วยจำนวนซีฟันที่อุดด้วยอะมัลกัม

3.2.2 การเก็บข้อมูลจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case)

จากข้อมูลวงจรปรอทจากอะมัลกัมที่ใช้ในงานทันตกรรมดังรูปที่ 3-1 ข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้มีการเก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนต่างๆ จากคนไข้ที่มารับบริการอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) คละด้าน ทั้งแบบอุด 1 ด้าน อุด 2 ด้าน และอุด 3 ด้าน จำนวน 15 ราย ซึ่งมีการใช้อะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill คละกันแต่ละราย โดยพิจารณาใช้การสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Availability Sampling) เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคาดการณ์สัดส่วนการปล่อยสารปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของของเสียอะมัลกัมที่เป็นของเสียอันตราย/ขยะติดเชื้อ น้ำทิ้งทันตกรรม อะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน และเปลือกแคปซูลปนเปื้อนปรอท โดยจะมีข้อมูลทั้งสิ้น 15 ชุดข้อมูล และคำนวณปริมาณปรอทจากอะมัลกัม โดยรายละเอียดขั้นตอนการเก็บข้อมูลและการประเมินปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนต่างๆ มีดังนี้

1.อะมัลกัมแคปซูล (AMG)

1) นำตัวอย่างอะมัลกัมแคปซูลทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill ที่บั่นผสมแล้ว จำนวนชนิดละ 10 ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักอะมัลกัมแต่ละชนิด และคำนวณเป็นปริมาณปรอทร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม



รูปที่ 3-4 อะมัลกัมแคปซูลชนิด 1 Spill และ 2 Spill ที่บั่นผสมแล้ว

2) ศึกษาปริมาณสัดส่วนของปรอทจากอะมัลกัมแคปซูลเบื้องต้น จำนวน 5 ตัวอย่าง ด้วยวิธี U.S.EPA Method 6200 (Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the Determination of Elemental Concentrations in Soil and Sediment)

3) ศึกษาปริมาณปรอทจากอะมัลกัมต่อ 1 แคปซูล ทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill ที่ปนผสมแล้ว จำนวนชนิดละ 10 ตัวอย่าง ด้วยวิธี U.S.EPA 3051A (Microwave Digestion) and Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method

2. ส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth)

1) คำนวณจากสมดุลมวล โดยใช้สมการ In Teeth = AMG – (SW+DWW+RA)

2) ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างฟันกรามแท้จำนวน 15 ซี่ คละด้าน นำไปให้ทันตแพทย์กรอ ตกแต่งและอุดใหม่เสมือนการอุดฟันจริง จากนั้นแกะออกมาเพื่อชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม



รูปที่ 3-5 การศึกษาปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์

3) วิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS)

3. ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving)

ศึกษาปรอทจากอะมัลกัมส่วนเกินจากการขัดแต่ง โดยจำแนกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) และส่วนที่หลุดรอดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) ผลรวมของ SW และ DWW คือปริมาณปรอทส่วนนี้ (Carving = SW+DWW)

3.1 ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW)

1) เก็บตัวอย่างสำลีที่ใช้สำหรับการอุดฟันของคนไข้แต่ละราย ใส่ถุงซิปลงไปแยกเศษอะมัลกัมออกจากสำลีที่ห้องปฏิบัติการ และกรองเศษอะมัลกัมด้วยชุดกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร และทำให้แห้งโดยทิ้งไว้ในตู้ดูดความชื้น Desiccator เป็นเวลา 15 วัน ชั่งน้ำหนักทุกวันจนน้ำหนักเริ่มคงที่ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 30 นาที นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณเป็นปริมาณปรอทร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม

2) วิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS)

3.2 ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)

1) เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลายของคนไข้แต่ละราย ใส่ขวดแก้วมีฝาปิดมิดชิด นำไปแยกเศษอะมัลกัมออกจากน้ำบ้วนที่ห้องปฏิบัติการ และกรองเศษอะมัลกัมด้วยชุดกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร และทำให้แห้งโดยทิ้งไว้ในตู้ดูดความชื้น Desiccator เป็นเวลา 5 วัน ชั่งน้ำหนักทุกวันจนน้ำหนักเริ่มคงที่ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 30 นาที นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม

2) วิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS)

4. ส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (Residual Amalgam; RA)

1) เก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนที่ไม่ได้ใช้อุดในช่องปากของคนไข้แต่ละรายใส่ถุงซิปลงไป น้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม

2) วิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS)

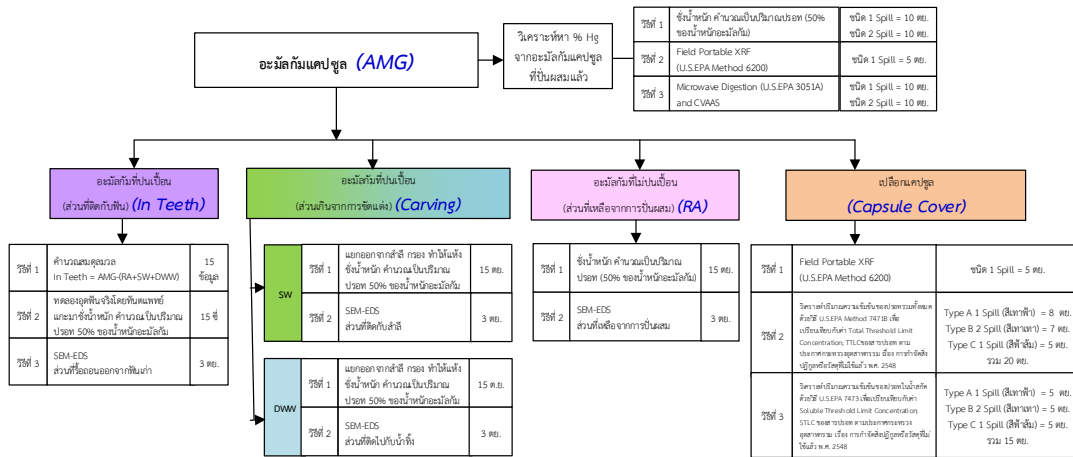
5.เปลือกแคปซูล (Capsule Cover)

1) ศึกษาปริมาณปรอทที่ติดกับเปลือกแคปซูลและถุงพลาสติกที่บรรจุในแคปซูล ด้วยวิธี U.S.EPA Method 6200 (Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the Determination of Elemental Concentrations in Soil and Sediment) จำนวน 5 ตัวอย่าง

2) เก็บตัวอย่างเปลือกแคปซูลของแต่ละรายใส่ถุงซิปลงไปวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมด ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B (Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)) เพื่อเปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration; TTLC ของสารปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยใช้เปลือกแคปซูลจากการเก็บตัวอย่าง case by case จำนวน 15 ตัวอย่าง ประกอบด้วย Type A 1 Spill (สีเทาฟ้า) 8 ตัวอย่าง และ Type B 2 Spill (สีเทาเทา) จำนวน 7 ตัวอย่าง และวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยใช้เปลือกแคปซูล ชนิด Type C 1 Spill (สีฟ้าส้ม) จำนวน 5 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาความแตกต่างกันของปริมาณปรอทที่ติดอยู่กับเปลือกแคปซูลแต่ละชนิด

3) ทำการทดสอบปริมาณโลหะปรอทของน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลอะมัลกัม ซึ่งเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดเพื่อเปรียบเทียบกับค่า Soluble Threshold Limit Concentration; STLC ของสารปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยใช้วิธี U.S.EPA 7473 (Thermal Decomposition Amalgamation and Atomic Absorption Spectrometric Method) จำนวน 15 ตัวอย่าง แบ่งเป็น Type A 1 Spill (สีเทาฟ้า) Type B 2 Spill (สีเทาเทา) และ Type C 1 Spill (สีฟ้าส้ม) ชนิดละ 5 ตัวอย่าง

จากรายละเอียดดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปแนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี Case by Case ได้ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 สรุปแนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างแบบ Case by Case

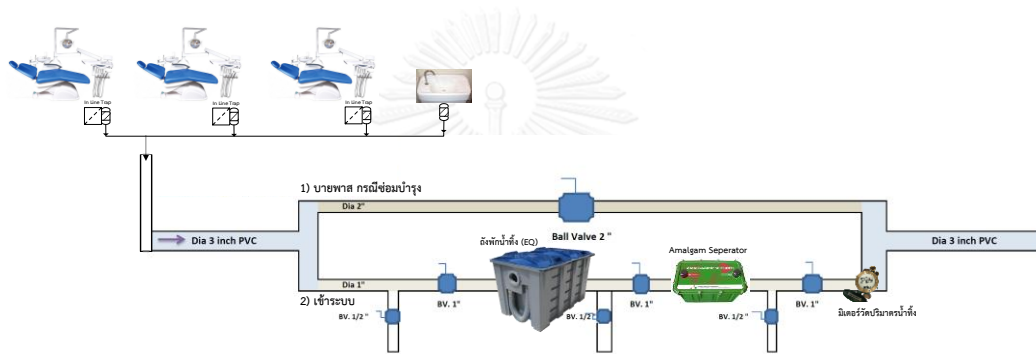
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) และทดสอบประสิทธิภาพ

ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับเศษอะมัลกัมบริเวณท่อน้ำเสียรวมของหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ซึ่งดำเนินการคัดเลือกตัวแทนหน่วยทันตกรรมโดยคณะทำงานโครงการพัฒนาระบบบริหารจัดการที่ดีในการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ การใช้อุปกรณ์ทดแทน และการจัดการของเสียที่มีการปนเปื้อนสารปรอทในสถานบริการสาธารณสุข ระยะที่ 1 สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

ในการเตรียมการติดตั้งระบบ ได้ทำการปรับปรุงระบบท่อน้ำทิ้งของหน่วยทันตกรรมแต่ละแห่งเพื่อรวบรวมน้ำทิ้งจากเตียงทำฟันรวมถึงอ่างล้างอุปกรณ์มายังท่อรวมก่อนเข้าระบบ และดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทก่อนและหลังผ่าน Amalgam Separator เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดการปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อมของอุปกรณ์เมื่อนำมาใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 รูปแบบการติดตั้งระบบดักจับเศษอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม

ในการติดตั้งระบบดักจับเศษอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรมของหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง ได้มีการปรับปรุงระบบท่อรวมน้ำทิ้งจากเตียงทำฟันและอ่างล้างมือล้างอุปกรณ์ (ถ้ามี) โดยรวมท่อน้ำทิ้งเข้าด้วยกัน จากนั้นต่อผ่านเข้าระบบโดยแบ่งเป็น 2 เส้นทางคือ 1) ส่วนบายพาส ซึ่งเตรียมไว้สำหรับกรณีซ่อมบำรุง และส่วนที่ 2) ส่วนเข้าระบบ โดยได้พิจารณาให้มีการติดตั้งถังพักน้ำ (Equalization: EQ) เพื่อช่วยในการปรับสภาพน้ำ ลดอัตราการไหลของน้ำทิ้ง และช่วยในการตกตะกอนชิ้นตัน ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการยืดอายุการใช้งานและลดการอุดตันของตะกอนใน Amalgam Separator ทั้งนี้ แบบเบื่องต้นในการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัมในน้ำทิ้งของหน่วยทันตกรรม แสดงดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 แบบการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม (Amalgam Separator)

พิจารณาอุปกรณ์ดักจับเศษอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม (รูปที่ 3-8) โดยได้ติดตั้งต่อจากถัง EQ ภายในอุปกรณ์จะประกอบไปด้วยแผ่นตะแกรงกั้นและชั้นกรองเศษตะกอน ซึ่งมีหน้าที่ในการดักจับเศษตะกอน (รวมเศษอะมัลกัมซึ่งจะมีอนุภาคขนาดตั้งแต่ น้อยกว่า 0.1 ถึง 3.15 มิลลิเมตร)



กว้าง x ยาว x สูง = 270 x 160 x 170 มม.

ก) ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์



ข) ภายในอุปกรณ์



ค) ชั้นกรองเศษตะกอนอะมัลกัม



ง) ตัวอย่างการติดตั้ง

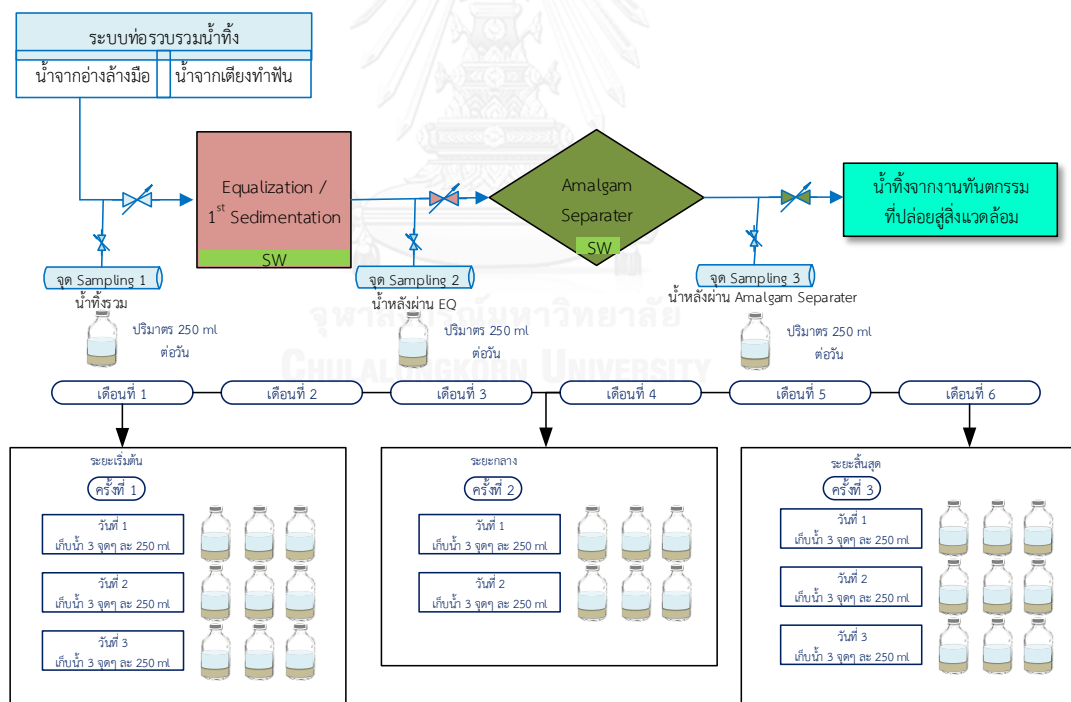
รูปที่ 3-8 อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัมในน้ำทิ้งทันตกรรม (Amalgam Separator)

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบเพื่อศึกษาความสามารถในการลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมของระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งในหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างและรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำทิ้ง จากหน่วยทันตกรรม เพื่อนำมาวิเคราะห์ปรอท รวมทั้งการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณปรอทในน้ำทิ้ง ดำเนินการดังนี้

แนวทางการเก็บตัวอย่างและรักษาคุณภาพน้ำทิ้ง

ในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง จะดำเนินการเก็บจากระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งในแต่ละหน่วยทันตกรรม โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 3 จุด (ครั้งที่ 1 และ 3 เก็บเป็นเวลา 3 วัน ส่วนครั้งที่ 2 เก็บเป็นเวลา 2 วัน) รวมเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหน่วยทันตกรรมแห่งละ 8 วัน รวมทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง ต่อหน่วยทันตกรรม 1 แห่ง โดยมีจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุดประกอบด้วย 1) จุดน้ำทิ้งรวม 2) จุดหลังออกจากถัง EQ และ 3) จุดหลังออกจาก Amalgam Separator รายละเอียดดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แผนภาพการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมัลกัม

ก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม ได้มีการควบคุมคุณภาพในภาคสนามตามระบบมาตรฐานของการตรวจวิเคราะห์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่างโดยการสวมถุงมือชนิดไม่มีแป้ง เตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่าง และขวดเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่เป็นขวดแก้วมีฝาปิดชนิด

เทฟลอน ซึ่งมีการล้างและแช่ด้วยกรดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน พร้อมเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1:1 ประมาณ 2 ml ลงในขวด และติดป้ายฉลากกำกับขวดตัวอย่าง จากนั้นจึงดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีผสม (Composite samples) คือ ตัวอย่างน้ำที่เก็บ ณ จุดเดียวกัน แต่ต่างเวลากันนำมาผสมกัน ซึ่งถือว่าเป็นตัวอย่างเฉลี่ยภายใต้สภาวะเดียวกัน

ทั้งนี้ มีการควบคุมคุณภาพด้วยตัวอย่าง Blank ได้แก่ Trip Blank คือการตรวจสอบการปนเปื้อนของภาชนะบรรจุ และการขนส่งตัวอย่าง และตรวจสอบการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อม ขณะดำเนินการเก็บตัวอย่างด้วย Field Blank สำหรับรายละเอียดวิธีการเก็บตัวอย่างมีดังนี้

- 1.) เตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่าง และขวดเก็บรักษาตัวอย่างน้ำจุดละ 1 ขวด โดย
 - จุด Sampling 1 : เก็บบริเวณจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้า EQ
 - จุด Sampling 2 : เก็บบริเวณจุดหลังจากออกจากถัง EQ
 - จุด Sampling 3 : เก็บบริเวณจุดหลังจากออกจาก Amalgam Separator
- 2) บันทึกมิเตอร์น้ำ เตรียม Field Blank เปิดฝาขวดและวางไว้บริเวณใกล้จุดเก็บตัวอย่าง
- 3) เปิดวาล์วน้ำทั้ง 3 จุด ให้น้ำทิ้งไหลหยดทิ้งวันตลอดระยะเวลาทำการของคลินิกทันตกรรม (ประมาณ 1 หยดต่อ 1 วินาที) โดยนำภาชนะบรรจุตัวอย่างมารองน้ำไว้แต่ละจุด พร้อมใส่กรดไนตริกเข้มข้น 1:1 ประมาณ 4-5 หยด ลงไปในน้ำตัวอย่าง โดยระหว่างนี้ ควบคุมความเร็วของน้ำที่หยดแต่ละจุดให้มีความเร็วเท่าๆ กัน
- 4) เมื่อครบเวลาคลินิกปิดทำการ ปิดวาล์วแต่ละจุด นำน้ำตัวอย่างแต่ละจุด ถ่ายใส่ขวดเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่เป็นขวดแก้วมีฝาปิดชนิดเทฟลอน ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 5) ปิดขวดตัวอย่าง และขวด Field Blank ให้สนิท นำใส่ถุงซิปล็อก 1 ชั้น จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ในถังน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิ $\leq 6^{\circ}\text{C}$ เตรียมนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัท เบเกิแมนน์ เมอร์คิวรี เทคโนโลยี แอปซิฟิค (บีเอ็มทีพี) จำกัด

ตัวอย่างน้ำทิ้งทั้งหมดที่เก็บ มีการรักษาสภาพตามวิธีมาตรฐานใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA, AWWA และ WEF ร่วมกันกำหนด โดยในการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำประเภทปรอททั้งหมดจะรักษาสภาพตัวอย่างโดยการเติมกรดไนตริก HNO_3 ให้ $\text{pH} < 2$ และแช่เย็นที่อุณหภูมิ $> 0^{\circ}\text{C}$, $< 6^{\circ}\text{C}$ พร้อมบันทึกข้อมูลในใบกำกับ (Chain of Custody)

การวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม

ย่อยตัวอย่างน้ำทิ้ง โดยใช้วิธี U.S.EPA Method 3015A (Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts) และวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้ Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method



ก) Microwave Digestion



ข) Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS)

รูปที่ 3-10 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม

การคำนวณประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทในน้ำตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) และข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อวัน) นำมาคำนวณปริมาณ Loading ของสารปรอทได้ โดย

$$\text{Mercury Loading (mg/day)} = \text{Conc.Hg (mg/l)} \times \text{Flow Rate (l/day)}$$

และสามารถคำนวณประสิทธิภาพในการลดสารปรอทในน้ำทิ้งหลังผ่านถัง EQ และหลังผ่าน Amalgam Separator ได้โดย

$$\% \text{ Efficiency} = (\text{Inlet} - \text{Outlet}) / (\text{Inlet}) \times 100\%$$

สำหรับรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้การศึกษาวิจัยปริมาณอะมัลกัม ปริมาณปรอทจากอะมัลกัม การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปรอทจากอะมัลกัม เปลือกแคปซูล และน้ำทิ้งทันตกรรมแสดงดังภาคผนวก

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

ขอบเขตการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก โดยส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม เพื่อประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง โดยผลการประเมินปริมาณปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมและผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

ในขั้นตอนของการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ดำเนินการ 2 วิธี คือ 1) เก็บข้อมูลจำนวนซีฟันที่อุดด้วยอะมัลกัม ปริมาณของเสียอะมัลกัมที่เกิดขึ้นในหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง เป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน และ 2) เก็บข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) จำนวน 15 ราย เพื่อเป็นข้อมูลร่วมเพิ่มเติมในการประเมินปริมาณการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ที่ได้จากการศึกษาทั้ง 2 วิธีมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง

จากการศึกษาปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง ตลอดระยะเวลา 6 เดือน พบว่า มีปริมาณปรอทจากอะมัลกัมที่ปนเปื้อน ซึ่งเป็นส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) อยู่ในช่วง 5.55-12.85 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.31 ± 2.80 กรัม และมีปรอทจากอะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (Residual Amalgam; RA) อยู่ในช่วง 9.21-168.54 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 57.56 ± 61.28 กรัม (ดังตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 ปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง

หน่วย ทันต กรรม	จำนวน ซีฟันที่ อุดด้วย อะมัลกัม (ซี)	ปริมาณปรอทที่พบตลอดระยะเวลา 6 เดือน (กรัม)					
		ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving)				รวม (Carving)	ส่วนที่เหลือ จากการปั่น ผสม (RA)
		<i>SW ส่วนที่ติดกับ ตัวกรองชั้นต้นที่เดียว</i>	<i>SW ส่วนที่ติดไปกับ สำลี ผ้าก๊อซ</i>	<i>DWW ส่วนที่ติดไปกับน้ำทั้งจาก การปั่นและเครื่องคูดน้ำลาย</i>			
		1.1 ปรอทจาก เศษอะมัลกัมที่ติด ตะแกรง (Strainer)	1.2 ปรอทจาก เศษอะมัลกัมที่ ปนเปื้อน (Contact)	1.3 ปรอท จากถังพัก น้ำทิ้ง (EQ)	1.4 ปรอทจาก Amalgam Separator		
หน่วย 1	568	2.85	0.24	8.40	0.20	(11.69)	31.89
หน่วย 2	296	3.65	5.53	0.36	0.03	(9.57)	11.73
หน่วย 3	698	4.86	7.81	0.05	0.13	(12.85)	168.54
หน่วย 4	723	0	5.12	1.17	0.44	(6.73)	36.29
หน่วย 5	131	1.03	0	4.31	0.21	(5.55)	9.21
หน่วย 6	575	0	9.32	0.03	0.09	(9.44)	87.72
ค่าต่ำสุด	131	0	0	0.03	0.03	(5.55)	9.21
ค่าสูงสุด	723	4.86	9.32	8.40	0.44	(12.85)	168.54
ค่าเฉลี่ย	498.5	2.07	4.67	2.39	0.18	(9.31)	57.56
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	235.35	2.03	3.84	3.36	0.14	(2.80)	61.28

หมายเหตุ : ปริมาณปรอท (กรัม) จากถังพักน้ำทิ้ง (EQ) และจาก Amalgam Separator คำนวณจากความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัมต่อลิตร) คูณด้วยปริมาตรน้ำในถัง (ลิตร)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี ในหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ข้อมูลมีความหลากหลาย (Variation) โดยพบปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) อยู่ในช่วง 0.0093-0.0424 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0232 ± 0.0120 กรัมต่อซี โดยส่วนนี้แบ่งออกเป็นส่วนที่เป็นกากของเสีย (SW) และส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้ง (DWW) เฉลี่ยเท่ากับ 0.0143 ± 0.0097 และ 0.0089 ± 0.0138 กรัมต่อซี ตามลำดับ นอกจากนี้พบปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) อยู่ในช่วง 0.0396-0.2415 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.1017 ± 0.0796 กรัมต่อซี รายละเอียดดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ปริมาณสารปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ ในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง

หน่วย ทันตกรรม	ปริมาณปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ (กรัมต่อซี่)			
	ส่วนเกินจากการขีดแต่ง (Carving)			ส่วนที่เหลือจากการ บั่นผสม (RA)
	SW	DWW	รวม (Carving)	
หน่วย 1	0.0054	0.0151	(0.0206)	0.0561
หน่วย 2	0.0310	0.0013	(0.0323)	0.0396
หน่วย 3	0.0182	0.0003	(0.0184)	0.2415
หน่วย 4	0.0071	0.0022	(0.0093)	0.0502
หน่วย 5	0.0079	0.0345	(0.0424)	0.0703
หน่วย 6	0.0162	0.0002	(0.0164)	0.1526
ค่าต่ำสุด	0.0054	0.0002	(0.0093)	0.0396
ค่าสูงสุด	0.0310	0.0345	(0.0424)	0.2415
ค่าเฉลี่ย	0.0143	0.0089	(0.0232)	0.1017
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.0097	0.0138	(0.0120)	0.0796

4.1.2 ข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case)

จากการเก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนต่างๆ จากคนไข้ที่มาใช้บริการอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) ซึ่งมีการอุดคละด้าน ทั้งแบบอุด 1 ด้าน อุด 2 ด้าน และอุด 3 ด้าน จำนวน 15 ราย โดยมีการใช้อะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill คละกันแต่ละราย ได้นำมาเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการคาดการณ์สัดส่วนการปล่อยสารปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของของเสียอะมัลกัมที่เป็นของเสียอันตราย/ขยะติดเชื้อ (SW) น้ำทิ้งทันตกรรม (DWW) อะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) และเปลือกแคปซูลปนเปื้อนปรอท (Capsule Cover) โดยจะมีข้อมูลทั้งสิ้น 15 ชุดข้อมูล รายละเอียดผลการประเมินปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนต่างๆ มีดังนี้

1. ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมแคปซูล (AMG)

1) การชั่งน้ำหนักอะมัลกัมแต่ละแคปซูล

จากการชั่งน้ำหนักอะมัลกัมที่บั่นผสมแล้ว โดยจำแนกตามชนิดของแคปซูล 1 Spill และ 2 Spill ชนิดละ 10 ตัวอย่าง และนำมาคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัมพบว่า อะมัลกัมชนิด 1 Spill มีปรอทอยู่ในช่วง 0.3506-0.3696 กรัมต่อแคปซูล ในขณะที่อะมัลกัมชนิด 2 Spill มีปรอทอยู่ในช่วง 0.5370-0.5425 กรัมต่อแคปซูล โดยทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill มีปริมาณปรอทโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.3659 และ 0.5410 กรัมต่อแคปซูล ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ปริมาณปรอทจากการชั่งน้ำหนักอะมัลกัม

ตัวอย่างที่	น้ำหนักอะมัลกัม (กรัม)		น้ำหนักปรอท (กรัม)	
	1 Spill	2 Spill	1 Spill	2 Spill
1	0.7392	1.0833	0.3696	0.5417
2	0.7260	1.0837	0.3630	0.5419
3	0.7391	1.0834	0.3696	0.5417
4	0.7387	1.0842	0.3694	0.5421
5	0.7376	1.0822	0.3688	0.5411
6	0.7372	1.0825	0.3686	0.5413
7	0.7369	1.0806	0.3685	0.5403
8	0.7366	1.0818	0.3683	0.5409
9	0.7260	1.0850	0.3630	0.5425
10	0.7012	1.0741	0.3506	0.5370
ค่าต่ำสุด	0.7012	1.0741	0.3506	0.5370
ค่าสูงสุด	0.7392	1.0850	0.3696	0.5425
ค่าเฉลี่ย	0.7319	1.0821	0.3659	0.5410
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0119	0.0031	0.0059	0.0015

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทจากอะมัลกัมแคปซูลเพิ่มเติม 2 วิธีโดยใช้เครื่องมือ Field Portable XRF และ Microwave Digestion and Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนทางทฤษฎีที่มีการรายงานว่าจะพบปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม โดยผลการศึกษาแสดงดังนี้

2) การวิเคราะห์โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)

จากการวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมแคปซูล โดยใช้เครื่องมือ Field Portable XRF ในการตรวจสอบสัดส่วนความเข้มข้นเบื้องต้น (Screening) ของอะมัลกัมชนิด 1 Spill จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่า มีปรอทอยู่ในช่วงร้อยละ 13.83-14.48 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 14.12 ± 0.2844

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมแคปซูลโดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)

ตัวอย่างที่	ปริมาณปรอท (ร้อยละ)
1	14.36±0.2074
2	14.48±0.1980
3	13.91±0.1105
4	14.03±0.1782
5	13.83±0.1061
ค่าเฉลี่ย	14.12±0.2844

3) การวิเคราะห์ด้วยวิธี U.S.EPA 3051A (Microwave Digestion) and Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method

จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทจากอะมัลกัมที่ปนผสมแล้ว โดยจำแนกตามชนิดของแคปซูล 1 Spill และ 2 Spill ชนิดละ 10 ตัวอย่าง พบว่า สัดส่วนของปรอทโดยมวล (% น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของอะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 38.87-68.34 และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 51.26 โดยมีมวล ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 สัดส่วนของปรอทโดยมวล (%น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของอะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill

ตัวอย่างที่	สัดส่วนของปรอทโดยมวล (%น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ของอะมัลกัม	
	1 Spill	2 Spill
1	42.51	43.18
2	51.26	68.34
3	59.25	41.21
4	64.56	51.67
5	46.02	58.02
6	67.54	44.11
7	59.18	38.87
8	47.29	46.69
9	39.37	50.12
10	42.19	63.87
ค่าต่ำสุด	39.37	38.87
ค่าสูงสุด	67.54	68.34
ค่าเฉลี่ย	51.917	50.608
ค่าเฉลี่ยรวมของ Spill 2 ชนิด	51.26	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.04	9.92

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทจากอะมัลกัมแคปซูลทั้ง 2 วิธีข้างต้น จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของปรอทที่วิเคราะห์โดยใช้ Field Portable XRF จะมีค่าประมาณร้อยละ 14.12 ค่อนข้างต่ำกว่าค่าที่พบทางทฤษฎี (ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม) ซึ่งโดยคุณสมบัติของเครื่องมือ จะเป็นการตรวจสอบเบื้องต้น (Qualitative Analysis) ไม่สามารถรายงานข้อมูลในเชิงปริมาณได้โดยตรง ในขณะที่การวิเคราะห์โดยใช้วิธี U.S.EPA 3051A (Microwave Digestion) and Cold Vapor Technique, Atomic Absorption Spectrometric Method เป็นวิธีการตรวจสอบเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) สามารถรายงานเป็นค่าความเข้มข้นได้โดยตรง ซึ่งจากการทดลองพบว่าจะมีค่าประมาณร้อยละ 51.26 ใกล้เคียงกับค่าที่พบทางทฤษฎี

2. ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน

1) ผลการคำนวณจากสมมูลมวล

จากการศึกษาปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันโดยใช้หลักการสมมูลมวลที่ว่า ปรอทส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) จะเท่ากับ ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมแคปซูลตั้งต้น (AMG) ลบด้วยผลรวมของ ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (SW+DWW) และปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) ดังสมการ $In\ Teeth = AMG - (SW+DWW+RA)$ โดยผลการคำนวณ พบว่า มีปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันอยู่ในช่วง 0.0156-0.4074 กรัมต่อซี่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2051 ± 0.1300 กรัมต่อซี่ รายละเอียดดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวล

ตัวอย่างที่	รหัสซี่ฟัน	จำนวน ด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
1	15OP	2	0.2778
2	16OP	2	0.1489
3	26OP	2	0.1526
4	16OM	2	0.1238
5	26P	1	0.0571
6	36B	1	0.0403
7	16O	1	0.0156
8	36OB	2	0.3836
9	26O	1	0.0584
10	27OM	2	0.2324
11	14MOD	3	0.3613
12	15MOD	3	0.4074
13	36OB	2	0.2918
14	37OB	2	0.2709
15	24OM	2	0.2546
ค่าต่ำสุด			0.0156
ค่าสูงสุด			0.4074
ค่าเฉลี่ย			0.2051
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.1300

ทั้งนี้ รายละเอียดผลการคำนวณปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน โดยใช้สมการ $In\ Teeth = AMG - (SW+DWW+RA)$ แสดงดังหัวข้อ 4.1.4

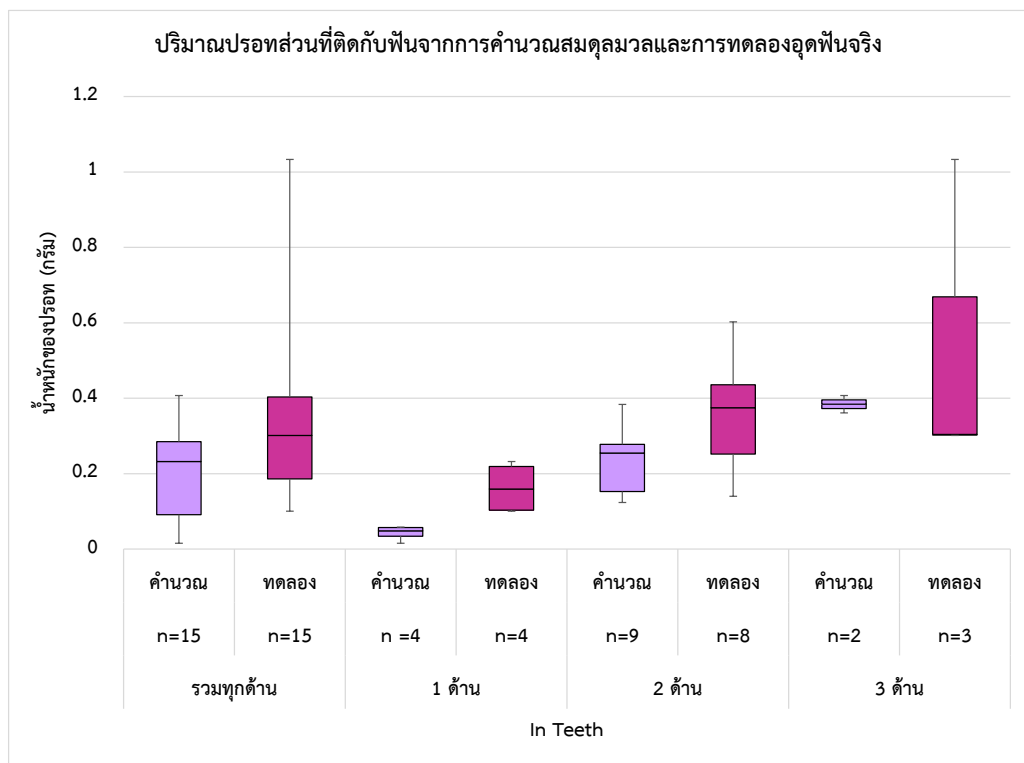
2) ผลการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์

จากการทดลองอุดฟันจริงจำนวน 15 ซี่ คละด้าน โดยนำไปให้ทันตแพทย์กรอตกแต่งและอุดใหม่เสมือนการอุดฟันจริง จากนั้นแกะออกมาเพื่อชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม พบว่า ปริมาณปรอทส่วนที่ติดอยู่กับฟัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.0753-0.7751 กรัมต่อซี่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2579 ± 0.1775 กรัมต่อซี่

ตารางที่ 4-7 ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์

ตัวอย่างที่	รหัสซี่ฟัน	จำนวนด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
1	OM	2	0.3229
2	O	1	0.1610
3	O	1	0.0753
4	O	1	0.1743
5	Ant, Pst	2	0.1122
6	MOD	3	0.2281
7	OD	2	0.3391
8	OD	2	0.2123
9	Ant, OP	3	0.2259
10	OB	2	0.2804
11	OM	2	0.1263
12	OMLi	3	0.7751
13	O	1	0.0833
14	OD	2	0.3010
15	OB	2	0.4521
ค่าต่ำสุด			0.0753
ค่าสูงสุด			0.7751
ค่าเฉลี่ย			0.2579
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.1775

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลและการทดลองดูดฟันจริง โดยใช้แผนภาพกล่อง (Box Plot)¹ ดังรูปที่ 4-1 พบว่า ปริมาณปรอทจากการคำนวณสมมูลมวลมีค่าต่ำกว่าปริมาณปรอทจากการทดลองดูดฟันจริงเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Samples T-Test โดยตั้งสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณ ไม่แตกต่างกันกับการทดลองดูดฟันจริง ผลการทดสอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของปรอทที่ติดกับฟันจากการศึกษาทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน ($Sig > 0.05$) (รูปที่ 4-2)

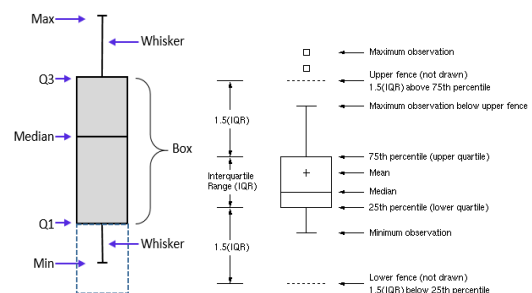


หมายเหตุ : n หมายถึงจำนวนตัวอย่างที่ทำการศึกษา

รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลและการทดลองดูดฟันจริง

¹ แผนภาพกล่อง (Box Plot) เป็นแผนภาพที่ใช้สรุปลักษณะของข้อมูล โดยใช้ค่าที่คำนวณได้ในข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ย, มาตรฐานเบี่ยงเบน, ค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุด, ค่ากลาง, ค่าการกระจาย, ลักษณะการแจกแจงข้อมูล และค่าผิดปกติของข้อมูล

- ลักษณะของแผนภาพ : ประกอบด้วยค่าควอไทล์ (Q1, Q2 และ Q3) เป็นกล่องที่มีค่า Q1 และ Q3 เป็นค่าต่ำและค่าสูงของกล่องที่วางตามแนวนอนหรือแนวตั้งก็ได้
- ความยาวของกล่อง คมข้อมูล 50% ของทั้งหมด ค่า Q2 หรือ median แบ่งกล่องออกเป็น 2 ส่วนที่มีอยู่ข้างละจำนวนเท่าๆ กัน และสามารถบอกลักษณะการแจกแจงว่าเป็นแบบเบ้ซ้ายหรือแบบเบ้ขวา
- การวัดค่ากลางของข้อมูล จะพิจารณาจากค่ามัธยฐาน (Median) ถ้าค่ามัธยฐานอยู่ตรงกลางของกล่อง แสดงว่าการแจกแจงของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ
- การวัดการกระจายของข้อมูล จะพิจารณาจากความกว้างของกล่อง ถ้าความกว้างของกล่องมาก แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ถ้าความกว้างของกล่องน้อย แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย
- ข้อมูลผิดปกติ (Outlier) คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำหรือสูงมากเกินกว่าค่า Q1 + 1.5 เท่าของความยาวกล่อง หรือ Q3 + 1.5 เท่าของความยาวกล่อง



Group Statistics				
1 Cal 2 Actual	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
InTeeth Calculation	15	.205100	.1299813	.0335610
Experiment	15	.257953	.1775099	.0458329

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
InTeeth	Equal variances assumed	.100	.754	-.930	28	.360	-.0528533	.0568066	-.1692164	.0635098
	Equal variances not assumed			-.930	25.661	.361	-.0528533	.0568066	-.1696962	.0639895

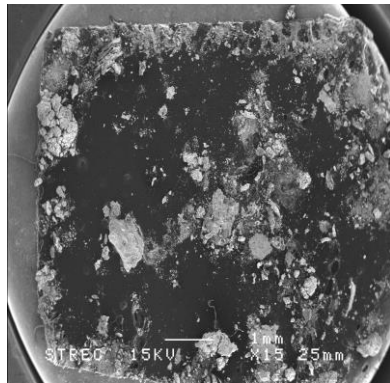
รูปที่ 4-2 ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Sample T-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลและการทดลองอุดฟันจริง

โดยสามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันจากการคำนวณสมมูลมวลมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองอุดฟันจริงโดยทันตแพทย์ และสามารถใช้งาน In Teeth = AMG – (SW+DWW+RA) ในการหาปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟันได้

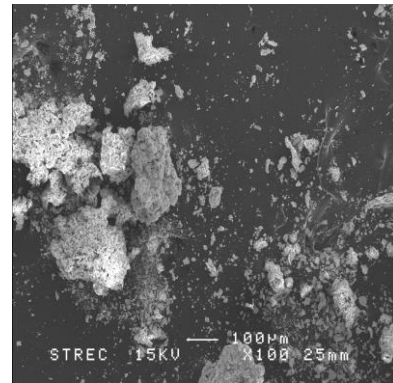
ทั้งนี้ จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้สารปรอทจากงานทันตกรรมในประเทศสหรัฐอเมริกา โดย (European Environmental Bureau, 2012) ได้รายงานว่า ข้อมูลปริมาณปรอทที่ใช้ในการอุดฟันตามขนาดรอยอุด (จำนวนด้านฟัน) ทั้ง 1 2 และ 3 ด้าน มีค่าเท่ากับ 0.4 0.6 และ 0.8 กรัมต่อซี่ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลจากการวิจัยครั้งนี้

3) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม ส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่าโดยใช้เทคนิค SEM-EDS

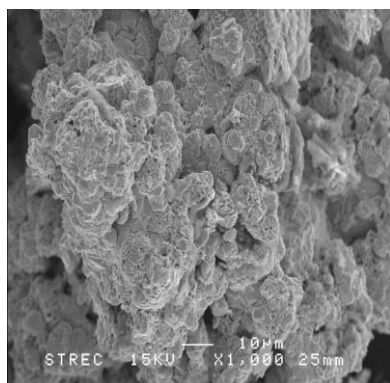
งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างของเสียอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า นำมากรอง ทำให้แห้ง และวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS) ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอน มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 100 ไมโครเมตร – 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 4-3) ทั้งนี้ องค์ประกอบธาตุต่างๆ ที่พบในของเสียอะมัลกัมส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า ประกอบด้วยคาร์บอน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท เฉลี่ยร้อยละ 27.45 ± 2.22 27.80 ± 4.91 4.74 ± 0.27 8.77 ± 0.37 1.71 ± 0.46 9.02 ± 0.61 5.30 ± 0.99 และ 15.21 ± 0.95 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-8)



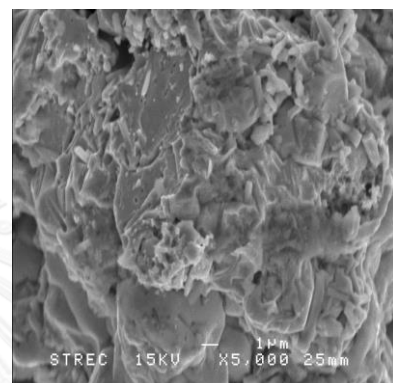
ก) ภาพขยาย 15 เท่า



ข) ภาพขยาย 100 เท่า



ค) ภาพขยาย 1,000 เท่า



ง) ภาพขยาย 5,000 เท่า

รูปที่ 4-3 ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่รีถอนจากฟันเก่า แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)

ตารางที่ 4-8 องค์ประกอบธาตุของของเสี้ยวอะมัลกัมส่วนที่รีถอนจากฟันเก่า

การวิเคราะห์	C	O	P	Ca	Cu	Ag	Sn	Hg	Total
ครั้งที่ 1	26.27	31.49	5.04	8.80	1.18	8.58	4.20	14.44	100
ครั้งที่ 2	30.01	22.22	4.51	9.13	2.04	9.71	6.11	16.27	100
ครั้งที่ 3	26.07	29.68	4.68	8.39	1.90	8.77	5.60	14.92	100
ค่าเฉลี่ย	27.45	27.80	4.74	8.77	1.71	9.02	5.30	15.21	100
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.22	4.91	0.27	0.37	0.46	0.61	0.99	0.95	0

ทั้งนี้ กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum, Qualitative analysis) ของของเสี้ยวอะมัลกัมส่วนที่รีถอนจากฟันเก่าแสดงดังภาคผนวก

3.ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving)

ปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนเกินจากการขัดแต่ง จำแนกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) และส่วนที่หลุดรอดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) ผลรวมของ SW และ DWW คือปริมาณปรอทส่วนนี้ (Carving = SW+DWW)

ผลการศึกษาปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนเกินจากการขัดแต่ง (ผลรวมของ SW และ DWW) ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้และอาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพหากไม่มีวิธีการจัดการที่ดี มีค่าอยู่ในช่วง 0.0430-0.2556 กรัมต่อซี่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1134 ± 0.0564 กรัมต่อซี่ รายละเอียดดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (ผลรวมของ SW และ DWW)

ตัวอย่างที่	รหัสซี่ฟัน	จำนวน ด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนเกินจากการขัดแต่ง (ผลรวมของ SW และ DWW)
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
1	15OP	2	0.2556
2	16OP	2	0.1796
3	26OP	2	0.1126
4	16OM	2	0.1335
5	26P	1	0.0452
6	36B	1	0.0533
7	16O	1	0.0881
8	36OB	2	0.1509
9	26O	1	0.0555
10	27OM	2	0.1307
11	14MOD	3	0.1070
12	15MOD	3	0.1337
13	36OB	2	0.0430
14	37OB	2	0.1047
15	24OM	2	0.1084
ค่าต่ำสุด			0.0430
ค่าสูงสุด			0.2556
ค่าเฉลี่ย			0.1134
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.0564

3.1 ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW)

1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case

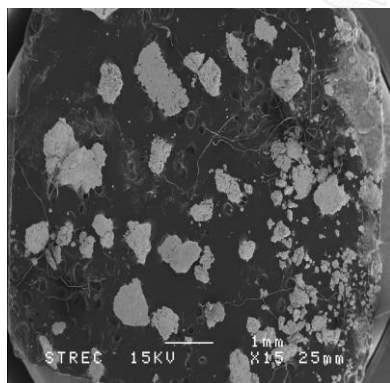
จากการเก็บตัวอย่างสำลีที่ใช้สำหรับการอุดฟันของคนไข้แต่ละราย นำมาแยกเศษอะมัลกัมออกจากสำลี กรอง ทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม พบว่า มีปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) อยู่ในช่วง 0.0209-0.2211 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0685 ± 0.0519 กรัมต่อซี่ รายละเอียดดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ปริมาณปรอทส่วนที่ติดส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW)

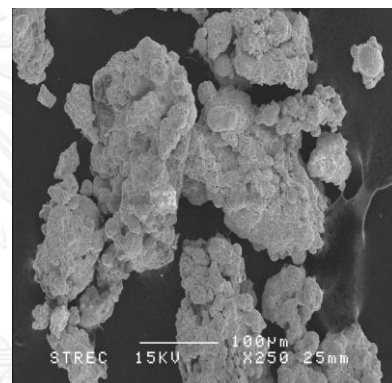
ตัวอย่างที่	รหัสซีฟัน	จำนวน ด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW)
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
1	15OP	2	0.2211
2	16OP	2	0.0286
3	26OP	2	0.0428
4	16OM	2	0.0877
5	26P	1	0.0397
6	36B	1	0.0286
7	16O	1	0.0699
8	36OB	2	0.0981
9	26O	1	0.0425
10	27OM	2	0.0292
11	14MOD	3	0.0632
12	15MOD	3	0.1301
13	36OB	2	0.0209
14	37OB	2	0.0711
15	24OM	2	0.0547
ค่าต่ำสุด			0.0209
ค่าสูงสุด			0.2211
ค่าเฉลี่ย			0.0685
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.0519

2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS

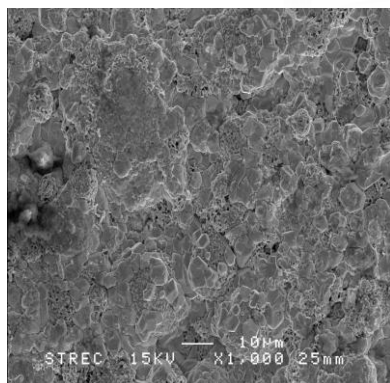
จากการเก็บตัวอย่างของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) นำมากรอง ทำให้แห้ง และวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม โดยใช้เทคนิค จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS) ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของอะมัลกัม ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) มีขนาดตั้งแต่ 100 ไมโครเมตร – 1.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 4-4) ทั้งนี้ องค์ประกอบธาตุต่างๆ ที่พบในของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) ประกอบด้วย ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท เฉลี่ยร้อยละ 5.37 ± 1.82 20.21 ± 2.09 21.43 ± 5.53 และ 53.00 ± 5.18 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-11)



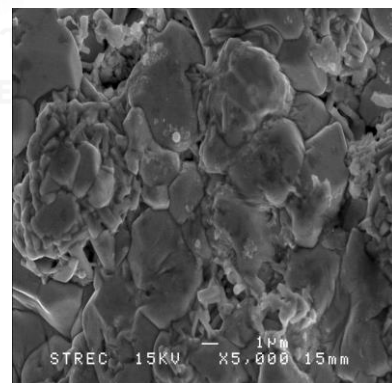
ก) ภาพขยาย 15 เท่า



ข) ภาพขยาย 250 เท่า



ค) ภาพขยาย 1,000 เท่า



ง) ภาพขยาย 5,000 เท่า

รูปที่ 4-4 ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)

ตารางที่ 4-11 องค์ประกอบธาตุของของเสี้ยวอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW)

การวิเคราะห์	Cu	Ag	Sn	Hg	Total
ครั้งที่ 1	4.92	20.15	22.12	52.81	100
ครั้งที่ 2	7.37	18.15	26.58	47.91	100
ครั้งที่ 3	3.82	22.32	15.59	58.27	100
ค่าเฉลี่ย	5.37	20.21	21.43	53.00	100
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.82	2.09	5.53	5.18	0

ทั้งนี้ กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum, Qualitative analysis) ของของเสี้ยวอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW) แสดงดังภาคผนวก

3.2 ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)

1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case

จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลายของคนไข้แต่ละราย นำมาแยกเศษอะมัลกัมออกจากน้ำลาย กรอง ทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม พบว่า มีปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) อยู่ในช่วง 0.0035-0.1510 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0449 ± 0.0391 กรัมต่อซี่ (ตารางที่ 4-12)

ตารางที่ 4-12 ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)

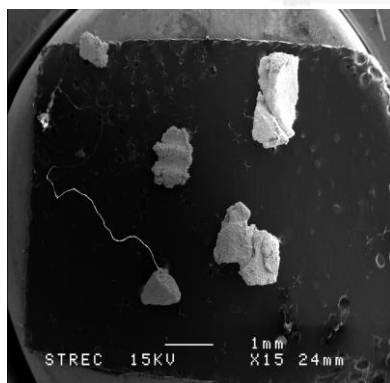
ตัวอย่างที่	รหัสซีฟัน	จำนวน ด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วน และเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
1	15OP	2	0.0345
2	16OP	2	0.1510
3	26OP	2	0.0698
4	16OM	2	0.0457
5	26P	1	0.0055
6	36B	1	0.0247
7	16O	1	0.0182
8	36OB	2	0.0528
9	26O	1	0.0130
10	27OM	2	0.1015
11	14MOD	3	0.0437
12	15MOD	3	0.0035
13	36OB	2	0.0221
14	37OB	2	0.0337
15	24OM	2	0.0537

ตารางที่ 4-12 ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)

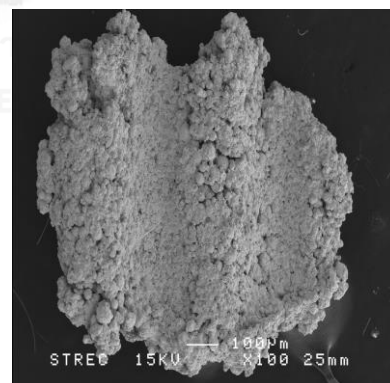
ตัวอย่างที่	รหัสซีฟัน	จำนวน ด้านฟัน	ปริมาณปรอทส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วน และเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)
		ค่าต่ำสุด	0.0035
		ค่าสูงสุด	0.1510
		ค่าเฉลี่ย	0.0449
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0391

2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม
ส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS

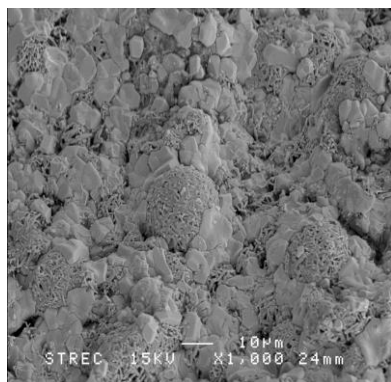
จากการเก็บตัวอย่างของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) นำมาแยกออกจากน้ำลาย กรอง ทำให้แห้ง และวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS) ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้ง (DWW) มีขนาดตั้งแต่ 0.5– 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 4-5) ทั้งนี้ องค์ประกอบธาตุต่างๆ ที่พบในของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้ง (DWW) ประกอบด้วย ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท เฉลี่ยร้อยละ 6.53 ± 1.92 19.87 ± 2.06 22.88 ± 4.98 และ 50.71 ± 4.57 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-13)



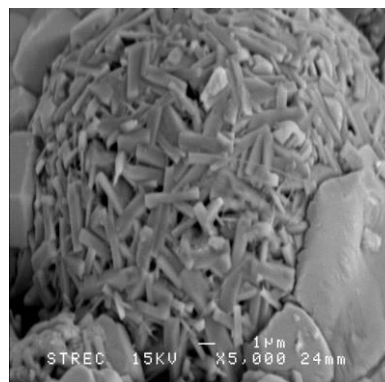
ก) ภาพขยาย 15 เท่า



ข) ภาพขยาย 100 เท่า



ค) ภาพขยาย 1,000 เท่า



ง) ภาพขยาย 5,000 เท่า

รูปที่ 4-5 ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)

ตารางที่ 4-13 องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)

การวิเคราะห์	Cu	Ag	Sn	Hg	Total
ครั้งที่ 1	8.74	17.57	27.72	45.98	100
ครั้งที่ 2	5.29	20.50	23.15	51.06	100
ครั้งที่ 3	5.57	21.55	17.78	55.10	100
ค่าเฉลี่ย	6.53	19.87	22.88	50.71	100
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.92	2.06	4.98	4.57	0

ทั้งนี้ กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum, Qualitative analysis) ของของเสียอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) แสดงดังภาคผนวก

4. ปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (Residual Amalgam; RA)

1) ผลการเก็บตัวอย่าง Case by Case

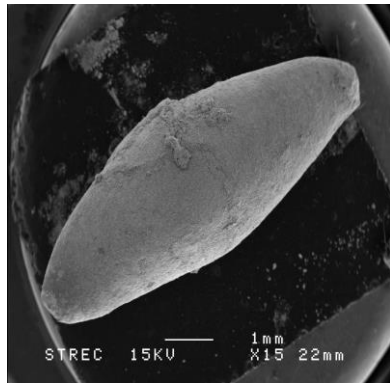
จากการเก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนที่ส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (RA) ซึ่งไม่ได้ใช้อุดในช่องปากของคนไข้แต่ละรายใส่ถุงซิบบ นามาชั่งน้ำหนัก และคำนวณเป็นปริมาณปรอท ร้อยละ 50 ของน้ำหนักอะมัลกัม พบว่า มีปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (RA) อยู่ในช่วง 0-0.2723 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1291 ± 0.1064 กรัมต่อซี่ รายละเอียดดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA)

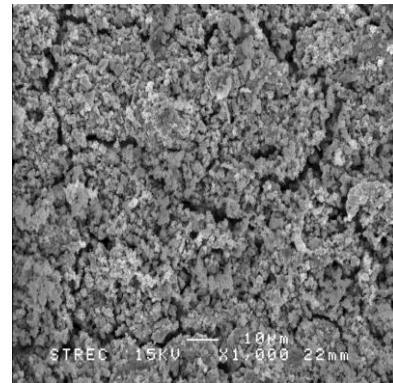
ตัวอย่างที่	รหัสซีพิน	จำนวน ด้านพิน	ปริมาณปรอทส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA)
			น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี)
1	15OP	2	0.0077
2	16OP	2	0.2126
3	26OP	2	0.1008
4	16OM	2	0.1087
5	26P	1	0.2637
6	36B	1	0.2723
7	16O	1	0.2623
8	36OB	2	0.0066
9	26O	1	0.2521
10	27OM	2	0.1780
11	14MOD	3	0.0728
12	15MOD	3	0
13	36OB	2	0.0311
14	37OB	2	0.1654
15	24OM	2	0.0029
ค่าต่ำสุด			0
ค่าสูงสุด			0.2723
ค่าเฉลี่ย			0.1291
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.1064

2) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม ส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) โดยใช้เทคนิค SEM-EDS

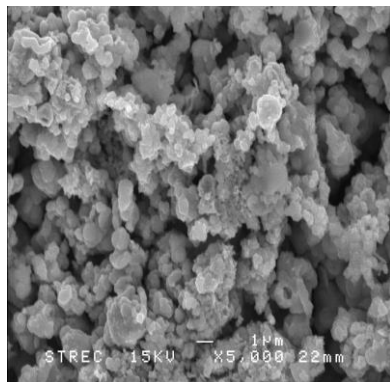
จากการเก็บตัวอย่างของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) นำมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS) ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) มีขนาดตั้งแต่ 4 มิลลิเมตร (รูปที่ 4-6) ทั้งนี้ องค์ประกอบธาตุต่างๆ ที่พบในของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) ประกอบด้วย ออกซิเจน ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท เฉลี่ยร้อยละ 24.81 ± 4.77 5.56 ± 0.75 7.10 ± 1.98 34.11 ± 2.35 28. และ 43 ± 4.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-15)



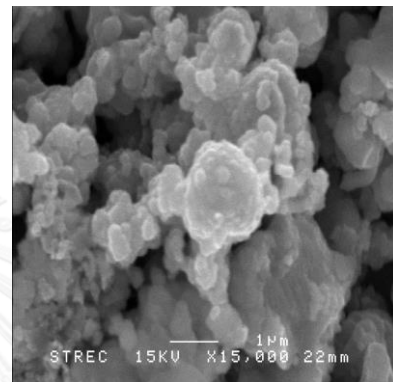
ก) ภาพขยาย 15 เท่า



ข) ภาพขยาย 1,000 เท่า



ค) ภาพขยาย 5,000 เท่า



ง) ภาพขยาย 15,000 เท่า

รูปที่ 4-6 ภาพถ่ายอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) แสดงขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM)

ตารางที่ 4-15 องค์ประกอบธาตุของของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA)

การวิเคราะห์	O	Cu	Ag	Sn	Hg	Total
ครั้งที่ 1	20.46	6.18	8.85	31.93	32.58	100
ครั้งที่ 2	24.05	5.78	7.50	33.80	28.87	100
ครั้งที่ 3	29.91	4.72	4.95	36.59	23.83	100
ค่าเฉลี่ย	24.81	5.56	7.10	34.11	28.43	100
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.77	0.75	1.98	2.35	4.39	0

ทั้งนี้ กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum, Qualitative analysis) ของของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) แสดงดังภาคผนวก

5.ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover)

1) ผลการวิเคราะห์โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)

จากการวิเคราะห์ปริมาณปรอทที่ติดกับเปลือกแคปซูลและถุงพลาสติกบรรจุปรอทในแคปซูลที่ใช้งานแล้ว โดยใช้เครื่องมือ Field Portable XRF ในการตรวจสอบสัดส่วนความเข้มข้นเบื้องต้น (Screening) จำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่า มีปรอทที่ติดกับเปลือกแคปซูลอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0132-0.0321 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.0235±0.007221 และมีปรอทที่ถุงพลาสติกบรรจุปรอทอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4406-1.3500 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.4235±0.3733 ดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) โดยใช้ Field Portable XRF (U.S.EPA Method 6200)

ตัวอย่างที่	ปริมาณปรอท (ร้อยละ)	
	เปลือกแคปซูล	ถุงพลาสติกบรรจุปรอทในแคปซูล
1	0.0269±0.000755	1.3500±0.0822
2	0.0255±0.000738	0.4406±0.0064
3	0.0199±0.000626	0.6011±0.0343
4	0.0321±0.000856	0.5908±0.0072
5	0.0132±0.000484	0.4849±0.0300
ค่าเฉลี่ย	0.0235±0.007221	0.4235±0.3733

2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมด ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B เพื่อเปรียบเทียบกับค่า TTLC

ในการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมดที่เปลือกแคปซูล จำนวน 20 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็นชนิด Type A 1 Spill 8 ตัวอย่าง Type B 2 Spill 7 ตัวอย่าง และ Type C 1 Spill 5 ตัวอย่าง พบว่า ค่าความเข้มข้นของปรอทที่เปลือกแคปซูลทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 11.93-110.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.82±30.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 0.0000817±0.0000563 กรัมต่อแคปซูล รายละเอียดดังตารางที่ 4-17 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันของปริมาณปรอทที่ติดอยู่กับเปลือกแคปซูลแต่ละชนิด โดยใช้แผนภาพกล่อง (Box Plot) ดังรูปที่ 4-7 พบว่า เปลือกแคปซูลทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณปรอทอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยชนิด Type A 1 Spill มีปริมาณปรอทสูงกว่า Type B 2 Spill และ Type C 1 Spill เพียงเล็กน้อย เมื่อวัดการกระจายของข้อมูล พบว่า Type C 1 Spill มีการกระจายของข้อมูลต่ำที่สุด ทั้งนี้ เปลือกแคปซูลทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill พบปริมาณปรอทไม่แตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ของสารปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมตอกิโลกรัม พบว่า ปริมาณปรอทที่เปลือกแคปซูลเกินค่าที่กำหนด จัดเป็นของเสียอันตรายตามประกาศฯ ควรมีการจัดการโดยการบำบัดทำลายฤทธิ์ ทั้ง กำจัด อย่างถูกวิธี เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

**ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมดที่เปลือกแคปซูล
ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B**

ตย.	ชนิด Spill	ประเภท Type	น้ำหนักเปลือกแคปซูล (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัมตอกิโลกรัม)	ความเข้มข้นของปรอท (กรัมต่อแคปซูล)
SF1	2	B	1.8254	96.05	0.0001753
SF2	2	B	1.8149	21.59	0.0000392
SF3	1	A	1.8233	83.34	0.0001519
SF4	1	A	1.8189	12.32	0.0000224
SF5	1	A	1.8256	87.52	0.0001598
SF6	1	A	1.8183	26.30	0.0000478
SF7	1	A	1.8224	38.13	0.0000695
SF8	2	B	1.8005	17.53	0.0000316
SF9	1	A	1.8250	58.44	0.0001066
SF10	2	B	1.8238	18.49	0.0000337
SF11	2	B	1.8097	80.54	0.0001457
SF12	2	B	1.8022	11.93	0.0000215
SF13	1	A	1.8179	53.80	0.0000978
SF14	2	B	1.8127	14.89	0.0000270
SF15	1	A	1.8158	31.35	0.0000569
GO1	1	C	1.8245	25.51	0.0000465
GO2	1	C	1.8197	30.64	0.0000558
GO3	1	C	1.8341	110.06	0.0002019
GO4	1	C	1.8303	33.88	0.0000620
GO5	1	C	1.8252	44.09	0.0000805
ค่าต่ำสุด			1.8005	11.93	0.0000215
ค่าสูงสุด			1.8341	110.06	0.0002019
ค่าเฉลี่ย			1.8195	44.82	0.0000817
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.0085	30.78	0.0000563

ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งหมดที่เปลือกแคปซูล
ด้วยวิธี U.S.EPA Method 7471B

ตย.	ชนิด Spill	ประเภท Type	น้ำหนักเปลือกแคปซูล (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ความเข้มข้นของปรอท (กรัมต่อแคปซูล)
-----	------------	-------------	----------------------------	---	------------------------------------

หมายเหตุ : - SF1 –SF15 เป็นแคปซูลจากการเก็บตัวอย่างโดย Case by Case

- GO1-GO5 เป็นแคปซูลจากหน่วยทันตกรรมอื่นที่นำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม

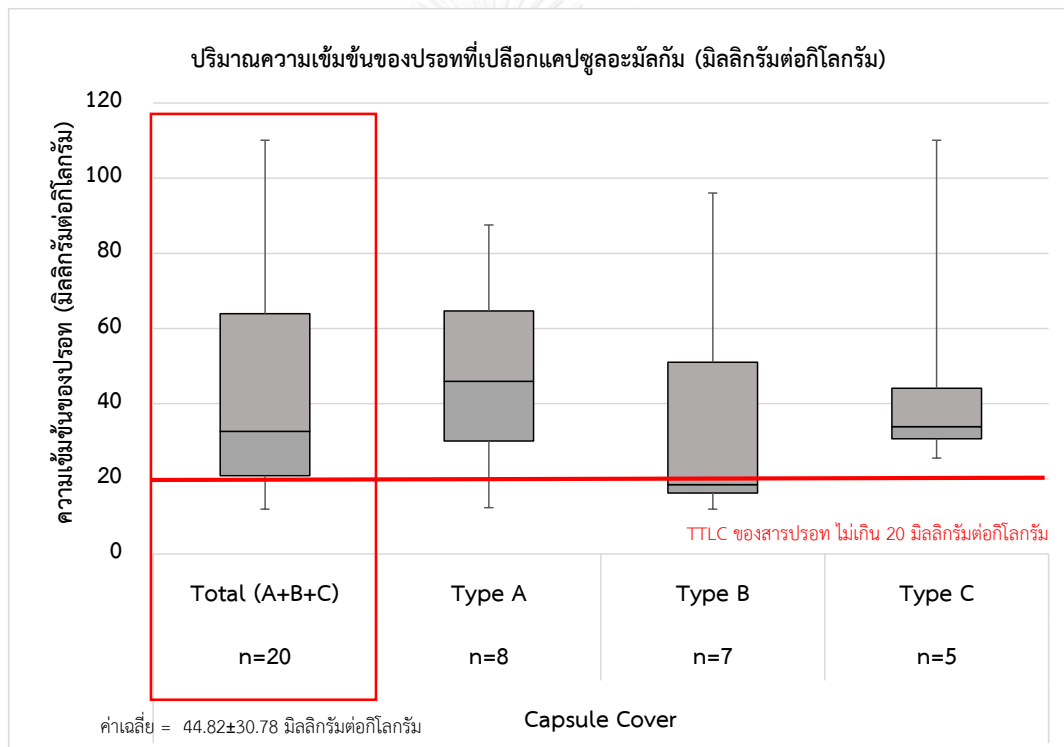
- Type A 1 Spill (สีเทาฟ้า) จำนวน 8 ตัวอย่าง

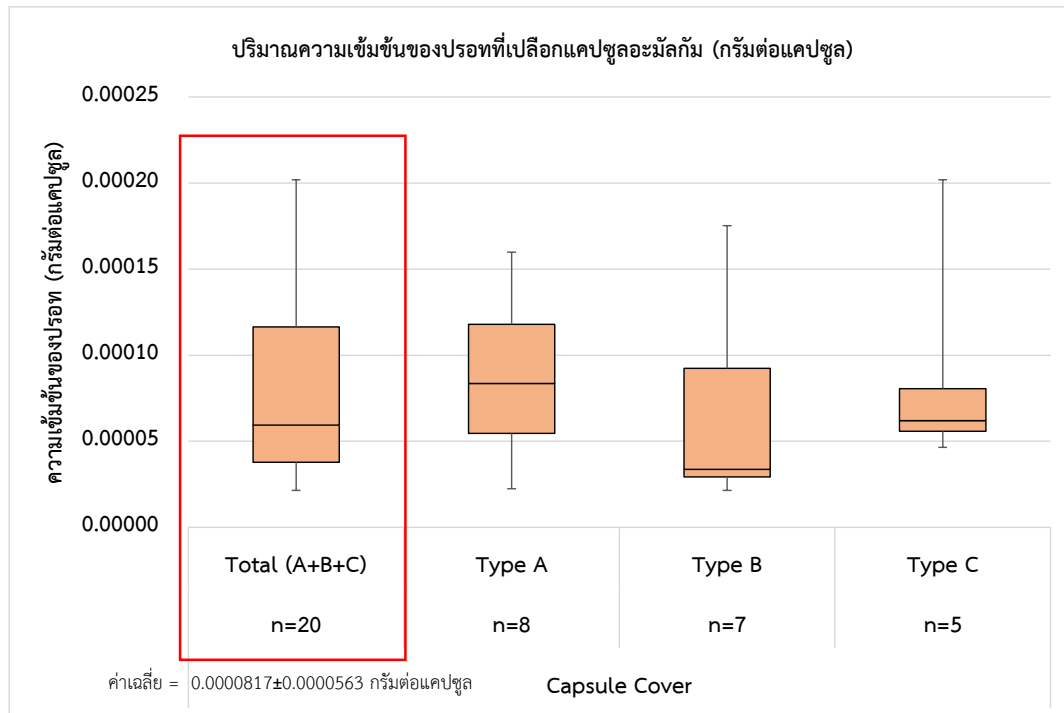
- Type B 2 Spill (สีเทาเทา) จำนวน 7 ตัวอย่าง

- Type C 1 Spill (สีฟ้าส้ม) จำนวน 5 ตัวอย่าง

- U.S.EPA Method 7471B (Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique))

- ค่า Total Threshold Limit Concentration (TTL) ของสารปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 กำหนดไว้เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม





รูปที่ 4-7 ปริมาณความเข้มข้นของปรอทที่เปลือกแคปซูลอะมัลกัม

3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดด้วยวิธี U.S.EPA 7473 เพื่อเปรียบเทียบกับค่า STLC

จากการทดสอบปริมาณโลหะปรอทของน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลอะมัลกัม จำนวน 15 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็นชนิด Type A 1 Spill Type B 2 Spill และ Type C 1 Spill ชนิดละ 5 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และนำมาวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้น พบว่า ปรอทในน้ำที่สกัดจากเปลือกแคปซูลทั้ง 3 ชนิด มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01-0.1469 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06095 ± 0.04110 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันของปริมาณปรอทในน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลแต่ละชนิด โดยใช้แผนภาพกล่อง (Box Plot) ดังรูปที่ 4-8 พบว่า ปริมาณปรอทในน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยชนิด Type B 2 Spill มีปริมาณปรอทสูงกว่า Type A 1 Spill และ Type C 1 Spill เล็กน้อย เมื่อวัดการกระจายของข้อมูล พบว่า Type C 1 Spill มีการกระจายของข้อมูลต่ำที่สุด ทั้งนี้ น้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill พบปริมาณปรอทไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับค่า Soluble Threshold Limit Concentration; STLC ของสารปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปริมาณปรอทของน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลไม่เกินค่าที่กำหนด

ตารางที่ 4-18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทจากเปลือกแคปซูลที่นำมาสกัด
ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดด้วยวิธี
U.S.EPA 7473

ลำดับ	ชนิด Spill	ประเภท Type	น้ำหนักเปลือกแคปซูล (กรัม)	ความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของปรอท (กรัมต่อแคปซูล)
WET1	1	A	1.8105	0.12430	0.00000022505
WET2	1	A	1.8299	0.03734	0.00000006833
WET3	1	A	1.8360	0.07312	0.00000013425
WET4	1	A	1.8256	ND ^{1/}	ND ^{1/}
WET5	1	A	1.8181	0.04702	0.00000008549
WET6	2	B	1.8132	0.04927	0.00000008934
WET7	2	B	1.8145	0.08118	0.00000014730
WET8	2	B	1.8180	0.08882	0.00000016147
WET9	2	B	1.8175	ND ^{1/}	ND ^{1/}
WET10	2	B	1.8312	0.14690	0.00000026900
WET11	1	C	1.8088	ND ^{1/}	ND ^{1/}
WET12	1	C	1.8162	0.04119	0.00000007481
WET13	1	C	1.8337	0.09964	0.00000018271
WET14	1	C	1.8249	0.04692	0.00000008562
WET15	1	C	1.8032	0.04862	0.00000008767
ค่าต่ำสุด			1.8032	0.01000	0.00000001809
ค่าสูงสุด			1.8360	0.14690	0.00000026900
ค่าเฉลี่ย ^{1/}			1.8201	0.06095	0.00000011104
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.0097	0.04110	0.00000007503

หมายเหตุ : ^{1/} ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์ของวิธีการตรวจวัด Detection Limit = 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

^{2/} คำนวณค่าเฉลี่ย (n=15) โดยกำหนดให้ค่าที่มีการรายงานเป็น ND เท่ากับค่า Detection Limit คือ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

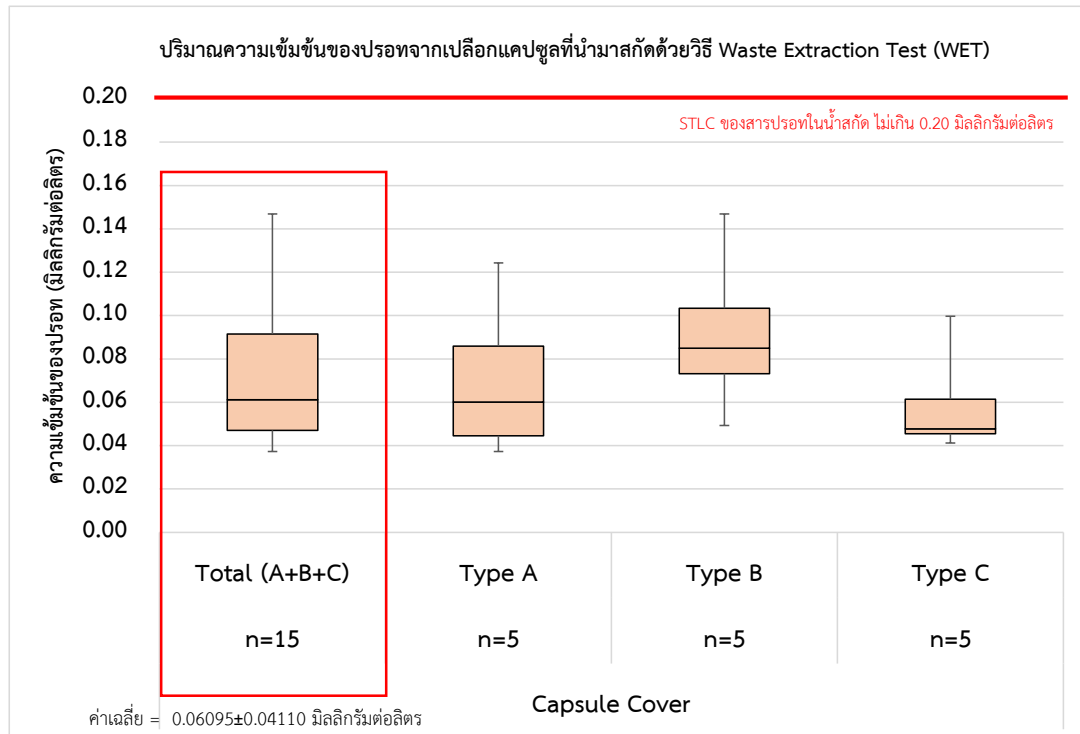
- Type A 1 Spill (สีเทาฟ้า) จำนวน 5 ตัวอย่าง

- Type B 2 Spill (สีเทาเทา) จำนวน 5 ตัวอย่าง

- Type C 1 Spill (สีฟ้าส้ม) จำนวน 5 ตัวอย่าง

- U.S.EPA 7473 (Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition Amalgamation and Atomic Absorption Spectrometric Method)

- ค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ของสารปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 กำหนดไว้เท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4-8 ปริมาณความเข้มข้นของปรอทจากเปลือกแคปซูล
ที่นำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

4.1.3 เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case

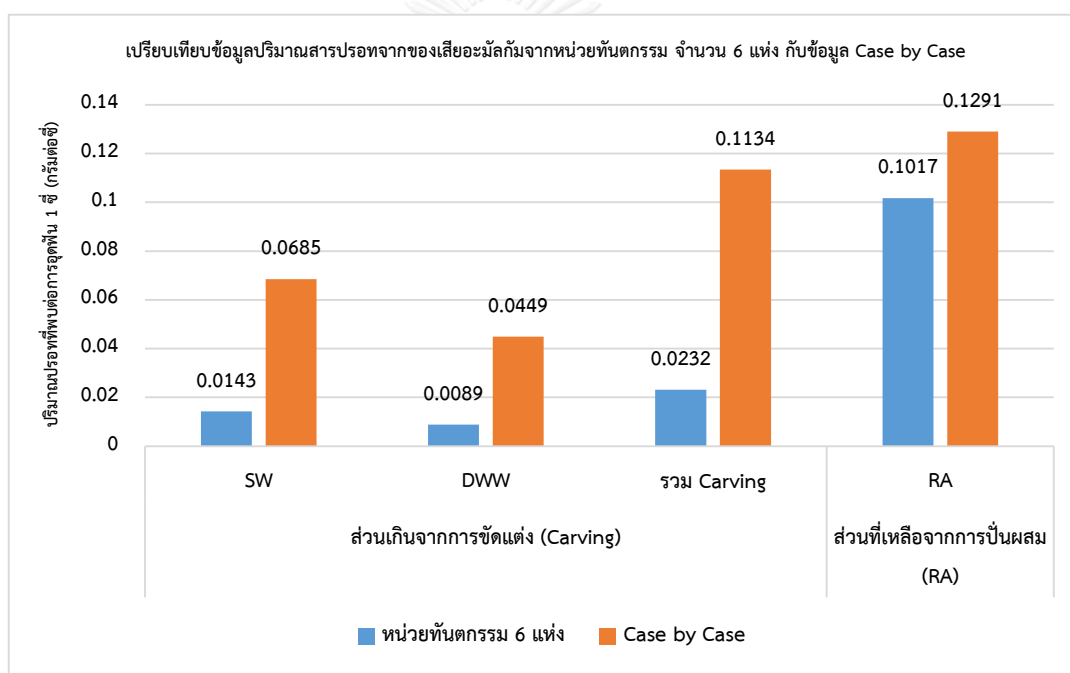
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่เก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง เป็นระยะเวลา 6 เดือน กับการเก็บข้อมูลจากวิธี Case by Case จำนวน 15 ราย (ดังตารางที่ 4-19 และรูปที่ 4 8) พบว่า ปริมาณปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ ทั้งในส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนที่เป็นกากของเสีย (SW) และน้ำทิ้ง (DWW) และส่วนที่เหลือจากการปั่นผสม (RA) ที่เก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง มีค่าต่ำกว่าการเก็บข้อมูลโดยวิธี Case by Case เนื่องจากการเก็บข้อมูลของเสียอะมัลกัมระหว่างการดำเนินงานจริงในคลินิกทันตกรรมตลอดระยะเวลาประมาณ 6 เดือนในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง จะมีความละเอียดของข้อมูลน้อยกว่าการเก็บโดยวิธี Case by Case โดยข้อมูลบางส่วนไม่สามารถเก็บได้ครบถ้วน (เก็บไม่ครบทุกครั้ง) เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของวิธีการปฏิบัติงานในการคัดแยกเศษอะมัลกัมซึ่งปนเปื้อนขยะติดเข้ามาใส่ในภาชนะบรรจุที่เตรียมไว้ให้ ทั้งในส่วนของสำลี ผ้าก๊อช และส่วนที่ติดตะแกรง ซึ่งวิธีการปฏิบัติงานไม่ได้สม่ำเสมอ ดังนั้น ในการคำนวณสมมูลมวลจึงเลือกใช้ข้อมูลจากการเก็บด้วยวิธี Case by Case ไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณสารปรอทที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากข้อมูลมีความละเอียด และไม่

มีการสุ่มหาของข้อมูลระหว่างการดำเนินการเก็บข้อมูล สามารถเก็บข้อมูลปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการอุดฟัน 1 ซี่ ได้อย่างครบถ้วน

ตารางที่ 4-19 เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case

ข้อมูล	ปริมาณปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ (กรัมต่อซี่)			
	ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving)			ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA)
	SW	DWW	รวม Carving	
หน่วยทันตกรรม 6 แห่ง	0.0143±0.0097	0.0089±0.0138	(0.0232±0.0120)	0.1017±0.0796
Case by Case	0.0685±0.0519	0.0449±0.0391	(0.1134±0.0564)	0.1291±0.1064

หมายเหตุ : เปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมจากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case

เมื่อทำการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Samples T-Test โดยตั้งสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณปรอทจากการเก็บข้อมูลจาก 6 หน่วยทันตกรรม ไม่แตกต่างกันกับการเก็บตัวอย่างแบบ Case by Case ผลการทดสอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของปรอทที่พบในส่วน Carving ทั้ง SW และ DWW จากการเก็บตัวอย่าง 2 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig.<0.05) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของปรอทที่พบในส่วน RA จากการเก็บตัวอย่าง 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน (Sig.>0.05) ดังรูปที่ 4-10

Group Statistics					
Type Collecting Data	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
SW	6 Clinic	6	.014300	.0096925	.0039569
	Case by Case	15	.068547	.0519021	.0134011
DWW	6 Clinic	6	.008933	.0137557	.0056157
	Case by Case	15	.044893	.0390796	.0100903
Carving	6 Clinic	6	.023233	.0120058	.0049013
	Case by Case	15	.113453	.0563656	.0145535
RA	6 Clinic	6	.101717	.0796352	.0325109
	Case by Case	15	.129133	.1064035	.0274733

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
SW	Equal variances assumed	3.397	.081	-2.505	19	.022	-.0542467	.0216545	-.0995700	-.0089233
	Equal variances not assumed			-3.882	16.203	.001	-.0542467	.0139730	-.0838381	-.0246553
DWW	Equal variances assumed	2.196	.155	-2.172	19	.043	-.0359600	.0165588	-.0706179	-.0013021
	Equal variances not assumed			-3.114	18.931	.006	-.0359600	.0115478	-.0601357	-.0117843
Carving	Equal variances assumed	3.892	.063	-3.829	19	.001	-.0902200	.0235602	-.1395321	-.0409079
	Equal variances not assumed			-5.875	16.752	.000	-.0902200	.0153567	-.1226563	-.0577837
RA	Equal variances assumed	2.146	.159	-.567	19	.577	-.0274167	.0483316	-.1285759	.0737426
	Equal variances not assumed			-.644	12.427	.531	-.0274167	.0425646	-.1198043	.0649710

รูปที่ 4-10 ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Independent Sample T-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณสารปรอทจากของเสียอะมัลกัม จากหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง กับข้อมูล Case by Case

4.1.4 ผลการวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม

ข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากการเก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนต่างๆ จากคนไข้ที่มารับบริการอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) ซึ่งมีการอุดคละด้าน ทั้งแบบอุด 1 ด้าน อุด 2 ด้าน และอุด 3 ด้าน จำนวน 15 ราย โดยมีการใช้อะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill คละกันแต่ละราย นำมาคำนวณสมมูลมวล เพื่อประเมินปริมาณปรอทที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูลในการอุดฟันกราม 1 ซี่ โดยจะมีข้อมูลทั้งสิ้น 15 ชุดข้อมูลในการประเมินปริมาณปรอท ผลการศึกษาพบว่า โดยเฉลี่ย มีปรอทจากอะมัลกัมตั้งต้น 0.4476 ± 0.0904 กรัมต่อการใช้อุดฟันกราม 1 ซี่ โดยส่วนนี้จะกระจายไปอยู่ในรูปของอะมัลกัมส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) เท่ากับ 0.2051 ± 0.1300 ส่วนที่เป็นของเสียอันตราย/ขยะติดเชื้อ (SW) เท่ากับ 0.0685 ± 0.0519 ส่วนน้ำทิ้งทันตกรรม (DWW) เท่ากับ 0.0449 ± 0.0391 และส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) เท่ากับ 0.1291 ± 0.1064 กรัมต่อซี่ โดยเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) พบปริมาณปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 0.00007912 กรัมต่อแคปซูล รายละเอียดผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4-20

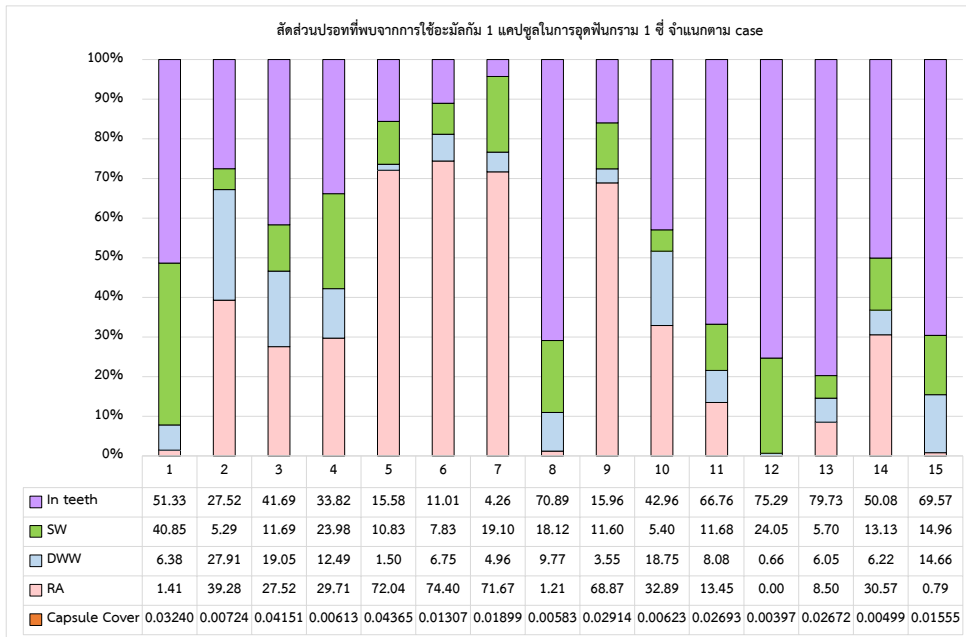
ตารางที่ 4-20 ปริมาณปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case) จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกราม 1 ซี่

ราย ที่	รหัส ซี่ฟัน	จำนวนด้านฟัน	ชนิดSpill	น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)						
				อะมัลกัม ตั้งต้น	ติดกับฟัน ^{1/}	ติดกับ ลำลิ ^{1/}	ไปกับน้ำ ทิ้ง ^{1/}	ส่วนเกิน จากการ ขัดแต่ง ^{1/}	เหลือจาก การบั่น ผสม ^{2/}	ติดกับเปลือก แคปซูล
				(AMG)	In Teeth = AMG - (SW+DWW+RA)	(SW)	(DWW)	(Carving)= SW+DWW	(RA)	(Capsule Cover)
SF1	15OP	2	2	0.5410	0.2778	0.2211	0.0345	(0.2556)	0.0077	0.00017534
SF2	16OP	2	2	0.5410	0.1489	0.0286	0.1510	(0.1796)	0.2126	0.00003918
SF3	26OP	2	1	0.3659	0.1526	0.0428	0.0698	(0.1126)	0.1008	0.00015195
SF4	16OM	2	1	0.3659	0.1238	0.0877	0.0457	(0.1335)	0.1087	0.00002242
SF5	26P	1	1	0.3659	0.0571	0.0397	0.0055	(0.0452)	0.2637	0.00015979
SF6	36B	1	1	0.3659	0.0403	0.0286	0.0247	(0.0533)	0.2723	0.00004782
SF7	16O	1	1	0.3659	0.0156	0.0699	0.0182	(0.0881)	0.2623	0.00006949
SF8	36OB	2	2	0.5410	0.3836	0.0981	0.0528	(0.1509)	0.0066	0.00003157
SF9	26O	1	1	0.3659	0.0584	0.0425	0.0130	(0.0555)	0.2521	0.00010665
SF10	27OM	2	2	0.5410	0.2324	0.0292	0.1015	(0.1307)	0.1780	0.00003373
SF11	14MOD	3	2	0.5410	0.3613	0.0632	0.0437	(0.1070)	0.0728	0.00014575
SF12	15MOD	3	2	0.5410	0.4074	0.1301	0.0035	(0.1337)	0	0.00002150
SF13	36OB	2	1	0.3659	0.2918	0.0209	0.0221	(0.0430)	0.0311	0.00009780
SF14	37OB	2	2	0.5410	0.2709	0.0711	0.0337	(0.1047)	0.1654	0.00002700
SF15	24OM	2	1	0.3659	0.2546	0.0547	0.0537	(0.1084)	0.0029	0.00005692
ค่าต่ำสุด				0.3659	0.0156	0.0209	0.0035	(0.0430)	0	0.00002150
ค่าสูงสุด				0.5410	0.4074	0.2211	0.1510	(0.2556)	0.2723	0.00017534
ค่าเฉลี่ย				0.4476	0.2051	0.0685	0.0449	(0.1134)	0.1291	0.00007912
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.0904	0.1300	0.0519	0.0391	(0.0564)	0.1064	0.00005564

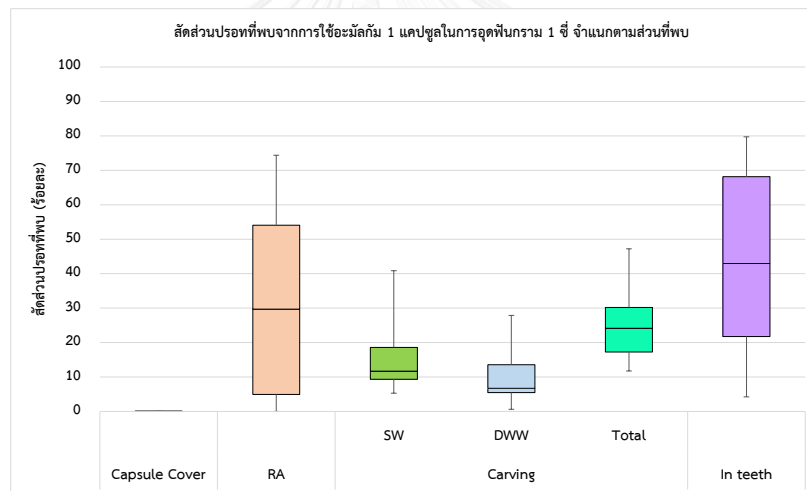
หมายเหตุ : ^{1/} หมายถึง อะมัลกัมที่ปนเปื้อน (Contact Amalgam)

^{2/} หมายถึง อะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน (Non-Contact Amalgam)

เมื่อพิจารณาคำนวณสัดส่วนของปรอท โดยกำหนดให้สัดส่วนปรอทเริ่มต้นทั้งหมดจากอะมัลกัม 1 แคปซูล (AMG) + (Capsule Cover) เท่ากับร้อยละ 100 จะมีปรอทกระจายไปอยู่ในส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) ส่วนที่เป็นของเสียอันตราย/ขยะติดเชื้อ (SW) ส่วนน้ำทิ้งทันตกรรม (DWW) ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) และเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 43.76±25.19 14.95±9.40 9.78±7.51 31.49±28.27 และ 0.01882±0.01370 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4-11)



ก) จำแนกตาม case

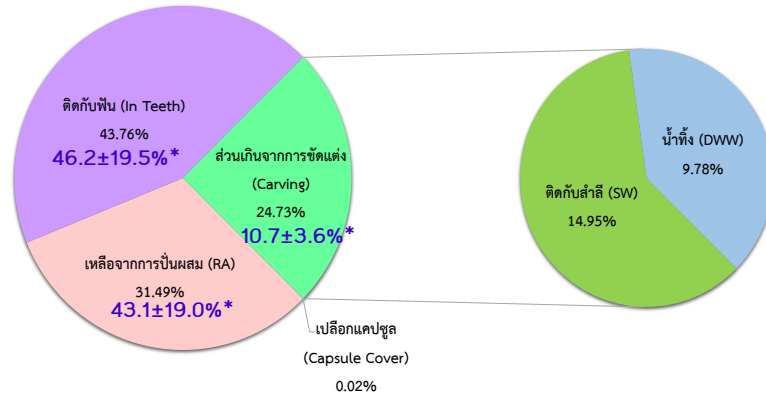


ข) จำแนกตามส่วนที่พบ

รูปที่ 4-11 สัดส่วนปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case)
จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกราม 1 ซี่

จากผลการศึกษาสมมูลมวลของสารปรอทจากการใช้อะมัลกัมในการอุดฟัน 1 ซี่ พบว่า จะมีปรอทส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) ร้อยละ 43.76 ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) ร้อยละ 31.49 ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ร้อยละ 24.73 โดยส่วนนี้แบ่งออกเป็นส่วนที่ติดกับสำลี (SW) ร้อยละ 14.95 (คิดเป็นร้อยละ 60.45 ของปริมาณ Carving) และส่วนน้ำทิ้ง (DWW) ร้อยละ 9.78 (คิดเป็นร้อยละ 39.55 ของปริมาณ Carving) และพบปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) ร้อยละ 0.01882 หรือประมาณร้อยละ 0.02 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ

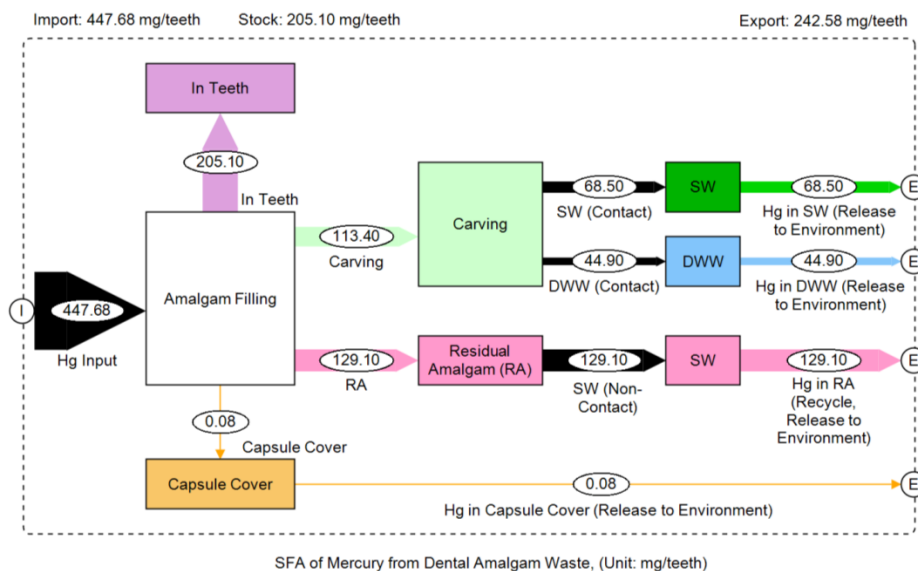
Drummond และคณะ (2003) ดังรูปที่ 4-12 พบว่า ปริมาณปรอทส่วนที่ติดกับฟัน และส่วนที่เหลือจากการบั่นผสมจากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันกับงานวิจัยดังกล่าว ในขณะที่ส่วนเกินจากการขัดแต่งมีค่าต่ำกว่าประมาณ 2 เท่า



*ที่มา : Drummond, J.L., Cailas, MD. and Croke, K. 2003. Mercury generation potential from dental waste. *Journal of Dentistry*, 31: 493-501

รูปที่ 4-12 สัดส่วนการกระจายของปรอทโดยเฉลี่ยต่อการใช้อะมัลกัมอุดฟันกราม 1 ซี่

พิจารณาจัดทำแผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมโดยใช้ซอฟต์แวร์ STAN 2.5² ดังรูปที่ 4-13 โดยกำหนดให้เป็นค่า Distribution Factor ในหน่วยน้ำหนักปรอทต่อฟัน 1 ซี่ สำหรับการคำนวณปริมาณปรอทนำเข้า (Import) ส่วนที่สะสมในระบบ (Stock) และส่วนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Export) ต่อไป



รูปที่ 4-13 แผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม

² STAN (short for subSTance flow ANalysis) is a freeware that helps to perform material flow analysis according to the Austrian standard ÖNorm S 2096 (Material flow analysis - Application in waste management)

4.1.5 การประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลรายงานผลการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติ ครั้งที่ 7 ประเทศไทย พ.ศ. 2555 โดยสำนักทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้รายงานค่าดัชนีฟันผุ ถอน อุด (DMFT = Decayed Missing and Filled Teeth) (ซี่ต่อคน) ในประชากรไทยกลุ่มอายุต่างๆ ซึ่งจากข้อมูลส่วนนี้ นำมาคำนวณเทียบกับจำนวนประชากรเพื่อคาดการณ์จำนวนซี่ฟันที่ได้รับการอุดต่อปี

ทั้งนี้จากการลงพื้นที่สอบถามข้อมูลปริมาณการใช้วัสดุต่างๆ ในการอุดฟัน โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (Indepth Interview) ทันตแพทย์ในหน่วยทันตกรรมที่ทำการสำรวจเบื้องต้นใน 4 ภูมิภาคของประเทศ ทั้งในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ได้รับการรายงานว่ามีสัดส่วนการเลือกใช้อะมัลกัมในการอุดฟันคิดเป็นร้อยละ 50 โดยเฉลี่ย ซึ่งส่วนที่เหลือทันตแพทย์จะพิจารณาใช้วัสดุอื่นทดแทน เช่น คอมโพสิทเรซิน กลาสไอโอโนเมอร์ เป็นต้น ดังนั้น จึงอนุมานว่า ร้อยละ 50 ของจำนวนซี่ฟันทั้งหมดได้รับการอุดโดยใช้วัสดุอะมัลกัม โดยจะพบว่า จำนวนฟันที่อุดด้วยอะมัลกัมในปี พ.ศ.2557 มีประมาณ 31,800,326 ซี่ (ดังตารางที่ 4-21)

ตารางที่ 4-21 การคำนวณจำนวนซี่ฟันที่ได้รับการอุดด้วยวัสดุอะมัลกัมในปี พ.ศ. 2557

อายุ	ค่าเฉลี่ยฟันอุด ^{1/} (ซี่ต่อคน)	จำนวนประชากร ^{2/} (คน)	จำนวนฟันที่อุด ทั้งหมด (ซี่)	จำฟันที่อุด ด้วยอะมัลกัม (ซี่)
3-4	0.1	1,527,526	152,753	76,376
5-11	0.3	5,537,746	1,661,324	830,662
12-14	0.7	1,630,620	1,141,434	570,717
15-34	1.0	19,017,106	19,017,106	9,508,553
35-43	1.6	9,461,811	15,138,898	7,569,449
44-59	1.6	14,665,380	23,464,608	11,732,304
60-74	0.4	6,633,833	2,653,533	1,326,767
75-79	0.4	649,700	259,880	129,940
80-89	0.1	1,111,176	111,118	55,559
รวม		60,234,898	63,600,653	31,800,326

ที่มา : ^{1/}รายงานผลการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติ ครั้งที่ 7 ประเทศไทย พ.ศ. 2555 โดยสำนักทันตสาธารณสุข กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (พฤษภาคม 2555)

^{2/} จำนวนประชากรแยกรายอายุ ทั่วประเทศ เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 โดยกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

เมื่อนำข้อมูลจำนวนฟันที่หลุดด้วยอะมัลกัมในปี พ.ศ.2557 ประมาณ 31,800,326 ซึ่งมาคำนวณปริมาณปรอทที่เกิดขึ้นจากการใช้อะมัลกัม พบว่า มีปริมาณปรอทในส่วนต่างๆ โดยเฉลี่ยดังนี้

- ส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) = 6.52 ± 4.13 ตันต่อปี
- ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) = 3.61 ± 1.79 ตันต่อปี ซึ่งแบ่งออกเป็น
 - ส่วนที่ติดกับสำลี (SW) = 2.18 ± 1.65 ตันต่อปี
 - ส่วนที่ไปกับน้ำทิ้ง (DWW) = 1.43 ± 1.24 ตันต่อปี
- ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) = 4.11 ± 3.38 ตันต่อปี
- ส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) = 0.002516 ± 0.001769 ตันต่อปี

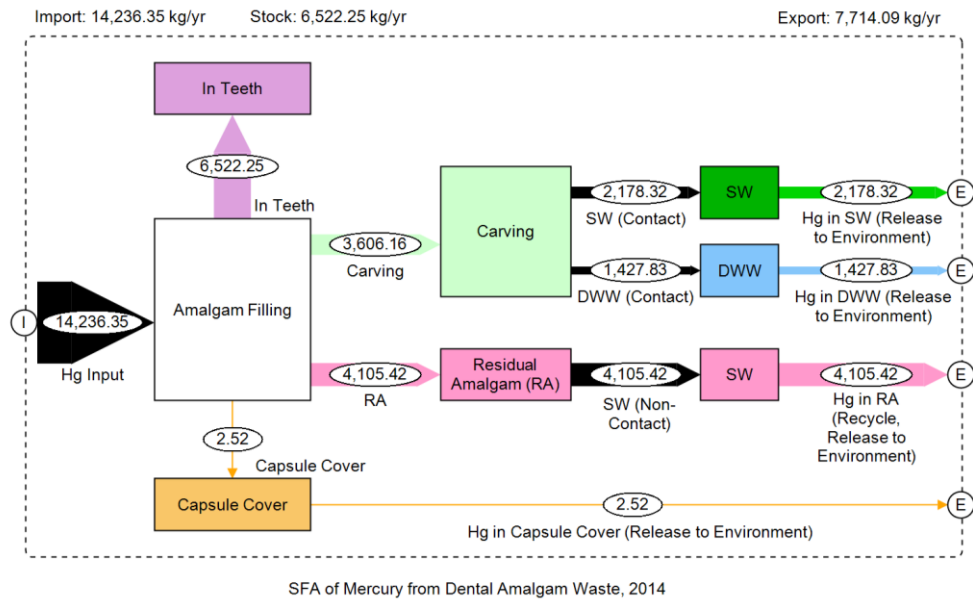
ทั้งนี้ รายละเอียดการประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2557 แสดงดังตารางที่ 4-22 และสามารถเขียนแผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมได้ดังรูปที่ 4-14

ตารางที่ 4-22 การประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในปี พ.ศ. 2557

ปริมาณปรอท		อะมัลกัมตั้งต้น	ติดกับฟัน ^{1/}	ติดกับสำลี ^{1/}	ไปกับน้ำทิ้ง ^{1/}	ส่วนเกินจากการขัดแต่ง ^{1/}	เหลือจากการบั่นผสม ^{2/}	ติดกับเปลือกแคปซูล
		(AMG)	In Teeth = AMG - (SW+DWW+RA)	(SW)	(DWW)	(Carving)= SW+DWW	(RA)	(Capsule Cover)
ปริมาณปรอท (กรัมต่อซี่)	Min	0.3659	0.0156	0.0209	0.0035	(0.0430)	0	0.00002150
	Max	0.5410	0.4074	0.2211	0.1510	(0.2556)	0.2723	0.00017534
	Avg	0.4476	0.2051	0.0685	0.0449	(0.1134)	0.1291	0.00007912
	SD	0.0904	0.1300	0.0519	0.0391	(0.0564)	0.1064	0.00005564
ปริมาณปรอท (ตันต่อปี)	Min	11.64	0.50	0.66	0.11	1.37	0.00	0.000684
	Max	17.20	12.96	7.03	4.80	8.13	8.66	0.005576
	Avg	14.23	6.52	2.18	1.43	3.61	4.11	0.002516
	SD	2.87	4.13	1.65	1.24	1.79	3.38	0.001769

หมายเหตุ : ^{1/} หมายถึง อะมัลกัมที่ปนเปื้อน (Contact Amalgam)

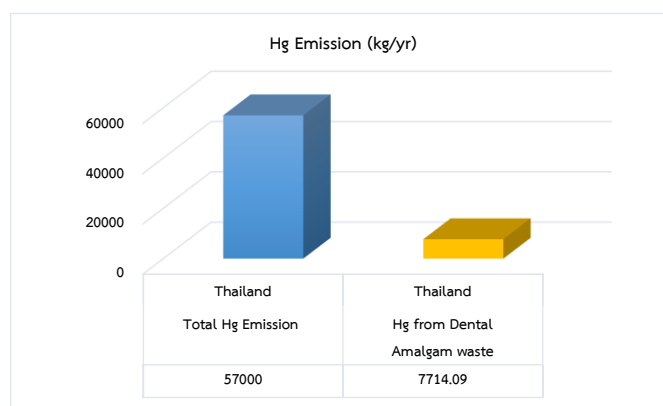
^{2/} หมายถึง อะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน (Non-Contact Amalgam)



รูปที่ 4-14 แผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในปี พ.ศ.2557

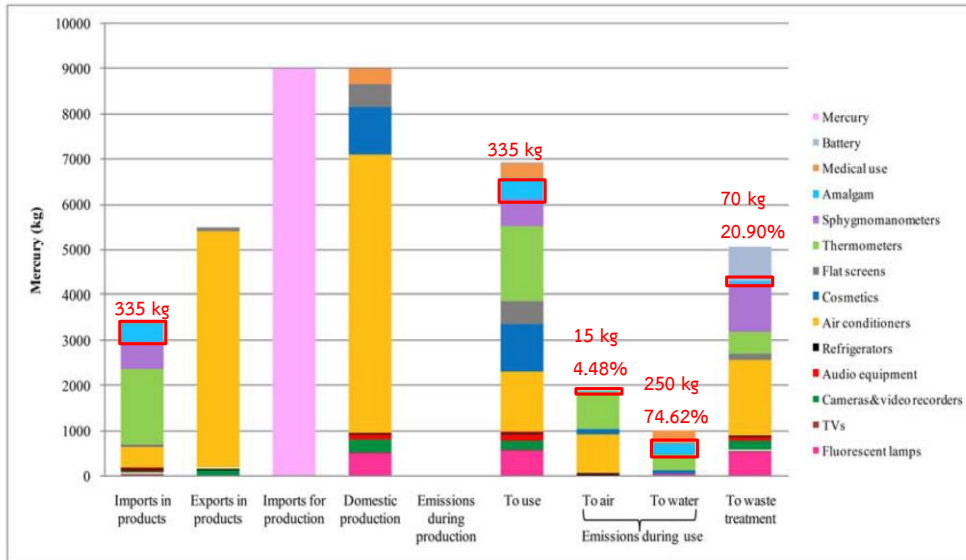
Wongsoonthornchai และคณะ (2015) ได้จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์การไหลของสารปรอทในประเทศไทย โดยรายงานว่ ในปี พ.ศ.2553 ประเทศไทยมีการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมปริมาณรวม 57,000 กิโลกรัม ซึ่งปล่อยสู่แหล่งดิน ร้อยละ 61 ปล่อยสู่บรรยากาศ ร้อยละ 35 และปล่อยสู่แหล่งน้ำ ร้อยละ 4 โดยปริมาณปรอทที่สะสมในระบบทั้งหมด (Stock) เท่ากับ 28,000 กิโลกรัม ซึ่งพบว่า ปรอทจากอะมัลกัมเป็นแหล่ง Stock ที่พบมากที่สุดในประเทศไทย คิดเป็นร้อยละ 36 หรือ 10,260 กิโลกรัม ของปริมาณ Stock ทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมสิ่งแวดล้อมจากการศึกษาครั้งนี้กับข้อมูลในงานวิจัยข้างต้น พบว่า ปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมคิดเป็นร้อยละ 13.53 ของปริมาณปรอทรวมทั้งหมดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 4-15 ปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

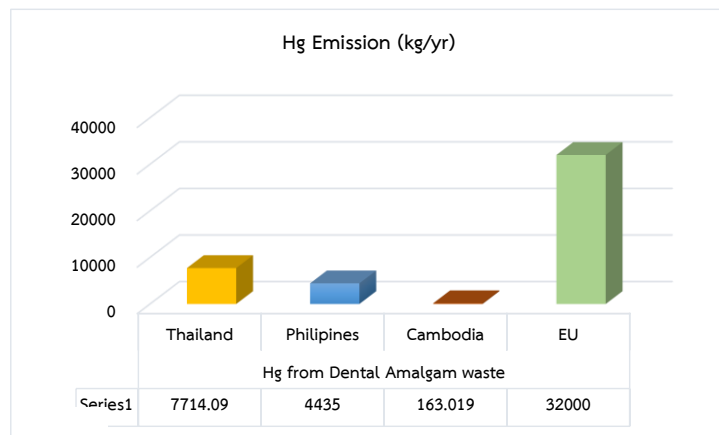
จากรูปที่ 4-16 มีการนำปรอทจากอะมัลกัมมาใช้งานปีละประมาณ 335 กิโลกรัม โดยระหว่างการใช้งานมีการปล่อยสารปรอทจากอะมัลกัมสู่แหล่งน้ำประมาณ 250 กิโลกรัมต่อปี ปล่อยสู่บรรยากาศ ประมาณ 15 กิโลกรัมต่อปี และเป็นกากของเสียที่ต้องบำบัดประมาณ 70 กิโลกรัมต่อปี



ที่มา : Wongsoonthornchai, M., Kwonpongsgoon, S., and Scheidegger, R. (2015). Modeling Mercury Flows in Thailand on the Basis of Mathematical Material Flow Analysis. Clean-Soil Air Water (Accepted)

รูปที่ 4-16 ปริมาณสารปรอทที่นำมาใช้งานในประเทศและปริมาณการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยสารปรอทจากอะมัลกัมสู่สิ่งแวดล้อมกับงานวิจัยในประเทศฟิลิปปินส์ กัมพูชา และกลุ่มประเทศยุโรป พบว่า ประเทศไทยมีการปล่อยสารปรอทประมาณ 7.7 ตันต่อปี ในขณะที่ประเทศฟิลิปปินส์ กัมพูชา และกลุ่มประเทศยุโรปมีการปล่อยสารปรอท ประมาณ 4.4 0.16 และ 32 ตันต่อปี ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4-17)



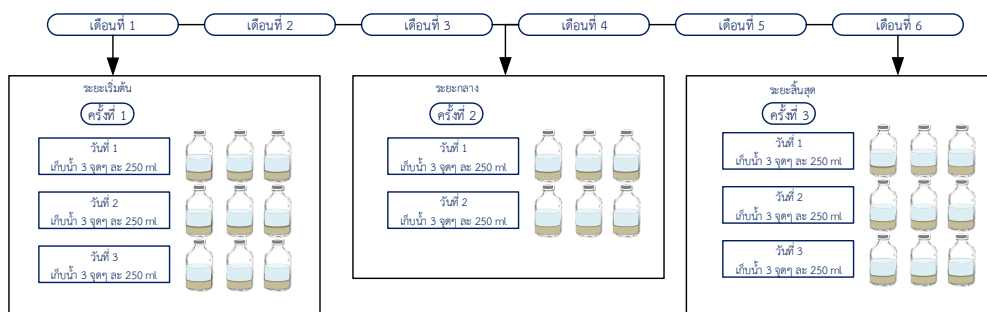
รูปที่ 4-17 ปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม

จากการทดลองติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง เป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม โดยหน่วยทันตกรรมแต่ละแห่ง ได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งไปวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในรูปปรอทรวม (Total Mercury) โดยเก็บจากจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบ จุดหลังออก EQ และจุดหลังออก Amalgam Separator จำนวน 3 ครั้ง โดย ครั้งที่ 1 เป็นข้อมูลระยะเริ่มต้น เก็บหลังจากติดตั้งระบบแล้วเสร็จ เป็นเวลา 3 วัน (รวม 9 ตัวอย่าง) ครั้งที่ 2 เป็นข้อมูลระยะกลาง เก็บหลังจากดำเนินระบบแล้วประมาณ 3 เดือน โดยเก็บเป็นเวลา 2 วัน (รวม 6 ตัวอย่าง) และครั้งที่ 3 เป็นข้อมูลระยะสิ้นสุด เก็บหลังจากติดตั้งระบบแล้วประมาณ 6 เดือน เก็บเป็นเวลา 3 วัน (รวม 9 ตัวอย่าง) รวมเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหน่วยทันตกรรมแห่งละ 8 วัน (ดังรูปที่ 4-18) พร้อมกันนี้ ได้มีการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำทิ้งในวันที่เก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาคำนวณปริมาณ Loading ของปรอทในแต่ละจุดสำหรับใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม



ก) จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง



ข) แผนการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

รูปที่ 4-18 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมัลกัม

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทรวม (Total Hg) ในน้ำทิ้งและข้อมูล ปริมาณน้ำที่บันทึกได้ในแต่ละวันที่เก็บตัวอย่าง นำมาคำนวณปริมาณ Loading ของสารปรอทที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้โดย

$$\text{Loading (mg/day)} = \text{Hg Concentration (mg/L)} \times \text{Flow Rate (L/day)}$$

จากนั้นนำข้อมูล Loading มาคำนวณประสิทธิภาพในการลดสารปรอทในน้ำทิ้งหลังผ่านถัง EQ และหลังผ่าน Amalgam Separator ได้โดย

$$\% \text{ Efficiency} = (\text{Inlet} - \text{Outlet}) / (\text{Inlet}) \times 100\%$$

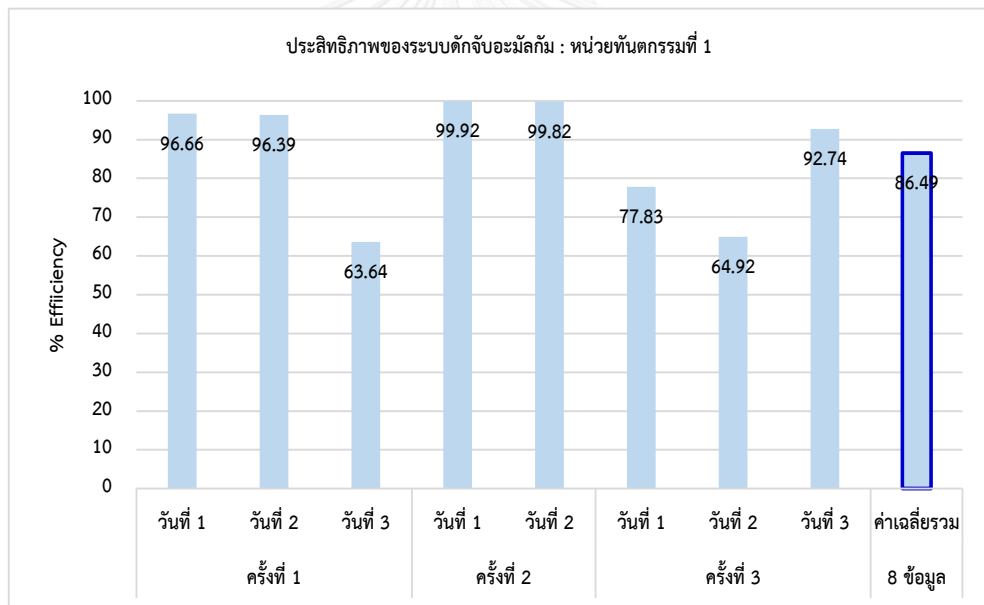
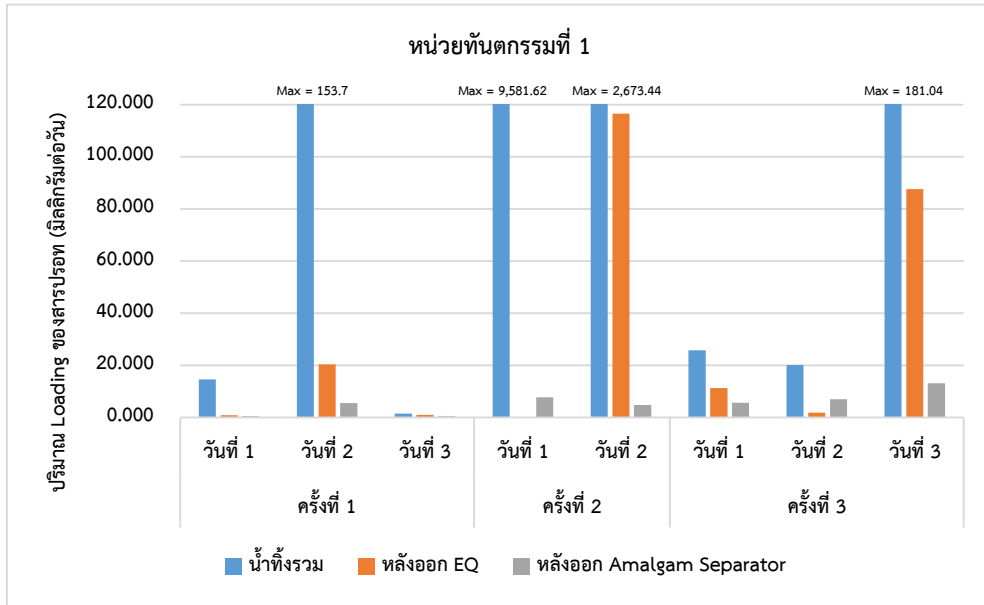
รายละเอียดปริมาณ Loading และประสิทธิภาพของแต่ละหน่วยทันตกรรมมีดังนี้

4.2.1 หน่วยทันตกรรมที่ 1

จากข้อมูลในตารางที่ 4-23 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณ น้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถัง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ ยกเว้นผลของครั้งที่ 2 ในวันที่ 1 และครั้งที่ 3 ในวันที่ 2 ที่ปริมาณ Loading ของสารปรอทเพิ่มขึ้นหลังจากออกจากถัง EQ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม ก่อนเข้าระบบและจุดหลังออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณ ประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 63.64-99.82 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 86.49 รายละเอียดดังรูปที่ 4-19

ตารางที่ 4-23 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสาร ปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 1

วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	0.3118	47	187.875	51	0.46	56
	หลังออก EQ	0.0190		0.0005		0.202	
	หลังออก Amalgam separator	0.0104		0.1510		0.102	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	0.7763	198	34.72	77	0.325	62
	หลังออก EQ	0.1031		1.5140		0.03	
	หลังออก Amalgam separator	0.0280		0.0627		0.114	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.0382	38			2.48	73
	หลังออก EQ	0.0277				1.2	
	หลังออก Amalgam separator	0.0139				0.18	



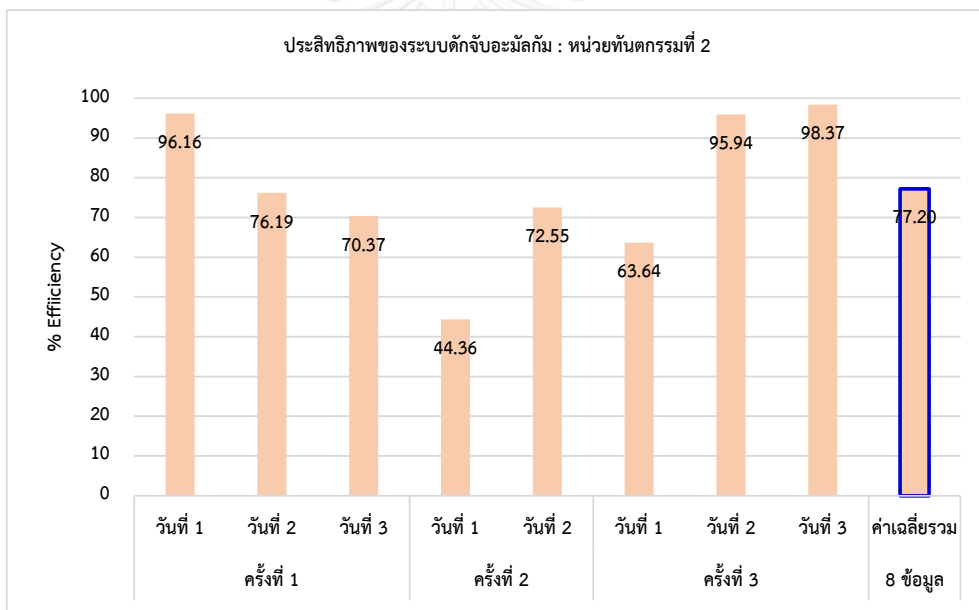
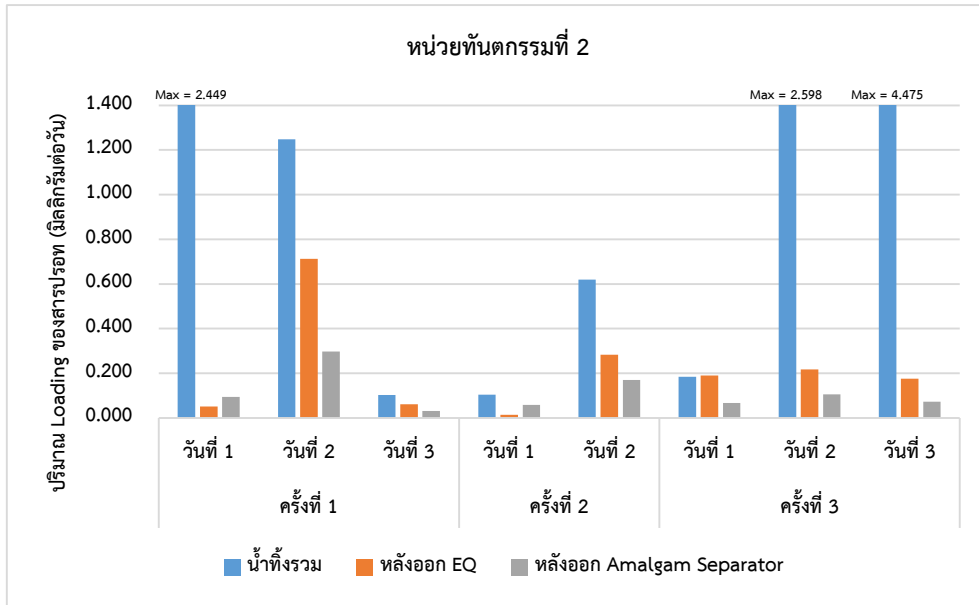
รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 1

4.2.2 หน่วยทันตกรรมที่ 2

จากข้อมูลในตารางที่ 4-24 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณน้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถึง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ ยกเว้นผลของครั้งที่ 1 ในวันที่ 1 ที่ปริมาณ Loading ของสารปรอทเพิ่มขึ้น หลังจากออกจากถัง EQ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบและจุดหลังออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 44.36-98.37 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 77.20 รายละเอียดรูปที่ 4-20

ตารางที่ 4-24 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 2

วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	0.0521	94	0.00204	57	0.0033	57
	หลังออก EQ	0.0011		0.000278		0.0034	
	หลังออก Amalgam separator	0.002		0.001135		0.0012	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	0.0063	58	0.00805	58	0.0419	58
	หลังออก EQ	0.0036		0.003675		0.0035	
	หลังออก Amalgam separator	0.0015		0.00221		0.0017	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.0027	83			0.0613	57
	หลังออก EQ	0.0016				0.0024	
	หลังออก Amalgam separator	0.0008				0.001	



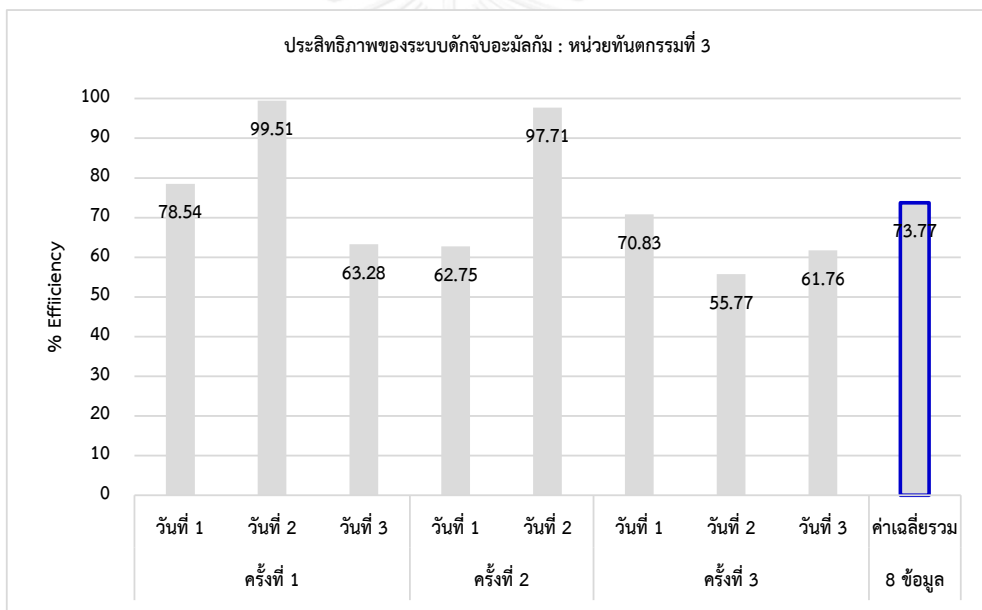
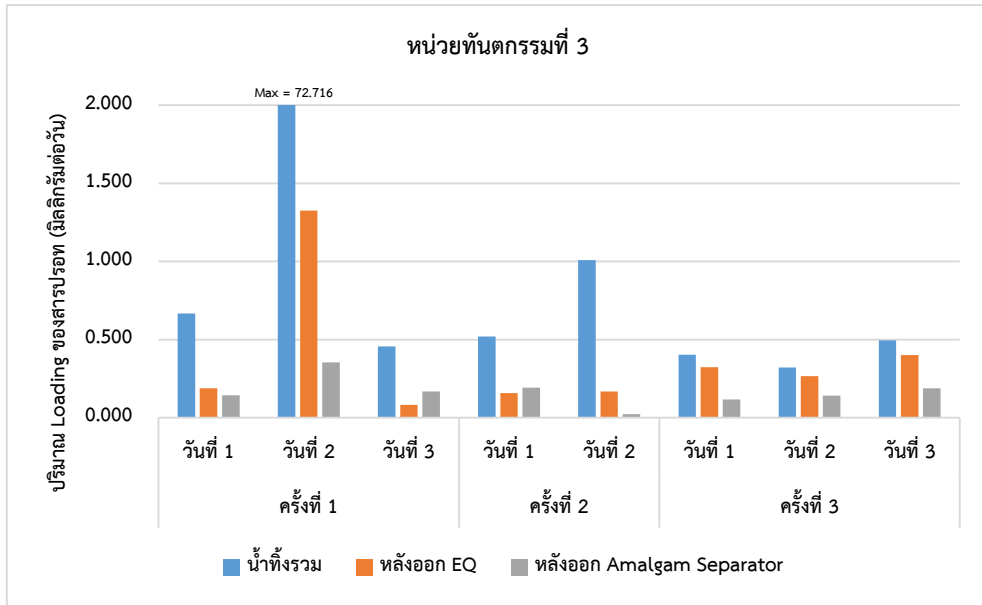
รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 2

4.2.3 หน่วยทันตกรรมที่ 3

จากข้อมูลในตารางที่ 4-25 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณน้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถึง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ ยกเว้นผลของครั้งที่ 1 ในวันที่ 3 และครั้งที่ 2 ในวันที่ 1 ที่ปริมาณ Loading ของสารปรอทเพิ่มขึ้นหลังจากออกจากถึง EQ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม ก่อนเข้าระบบและจุดหลังจากออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังจาก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 55.77-99.51 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 73.77 รายละเอียดดังรูปที่ 4-21

ตารางที่ 4-25 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 3

วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	0.01418	162	0.0102	154	0.0072	150
	หลังออก EQ	0.004015		0.0031		0.0058	
	หลังออก Amalgam separator	0.003043		0.0038		0.0021	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	0.36725	131	0.0131	139	0.0052	145
	หลังออก EQ	0.0067		0.0022		0.0043	
	หลังออก Amalgam separator	0.00179		0.0003		0.0023	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.012044	151			0.0068	139
	หลังออก EQ	0.00218				0.0055	
	หลังออก Amalgam separator	0.004422				0.0026	



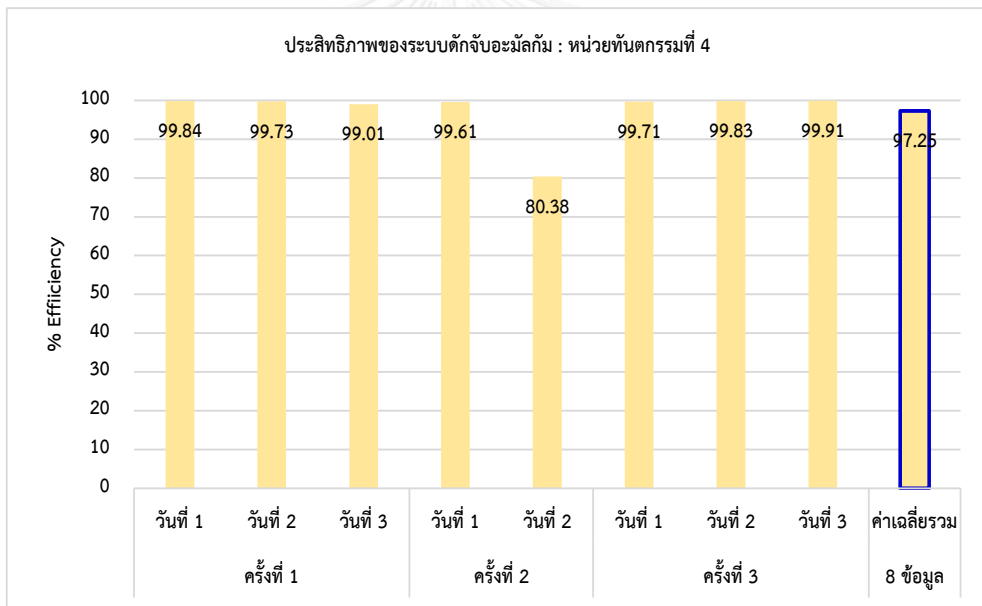
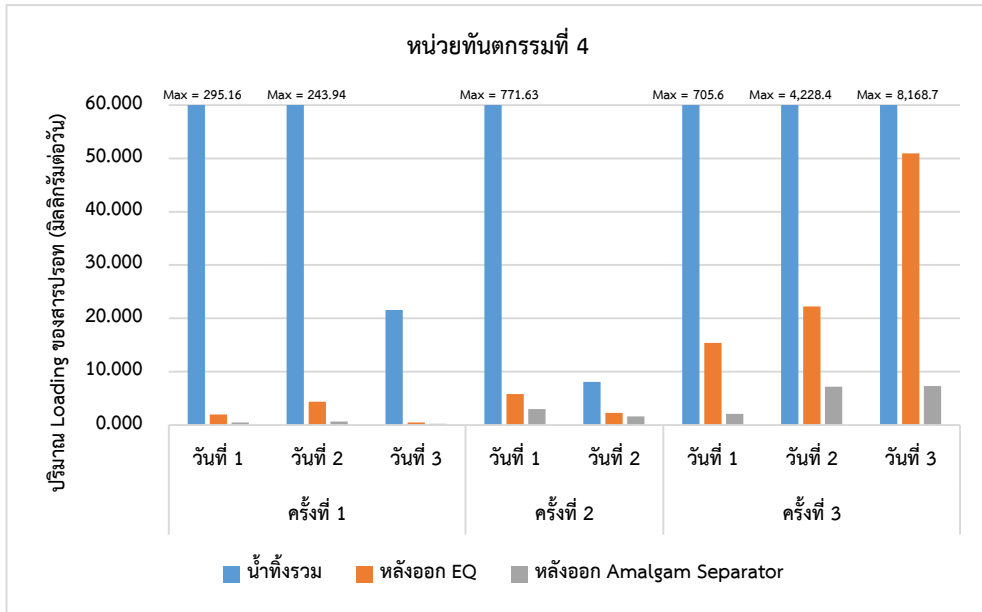
รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 3

4.2.4 หน่วยทันตกรรมที่ 4

จากข้อมูลในตารางที่ 4-26 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณน้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถึง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบและจุดหลังออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 80.38-99.91 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 97.25 รายละเอียดดังรูปที่ 4-22

ตารางที่ 4-26 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 4

วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/l)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	6.28	67	15.13	72	12.6	65
	หลังออก EQ	0.0421		0.1138		0.275	
	หลังออก Amalgam separator	0.0098		0.0587		0.03663	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	1.232	59	0.1045	64	68.2	70
	หลังออก EQ	0.0221		0.0294		0.358	
	หลังออก Amalgam separator	0.0033		0.0205		0.116	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.568	72			111.9	52
	หลังออก EQ	0.0117				0.698	
	หลังออก Amalgam separator	0.0056				0.0998	



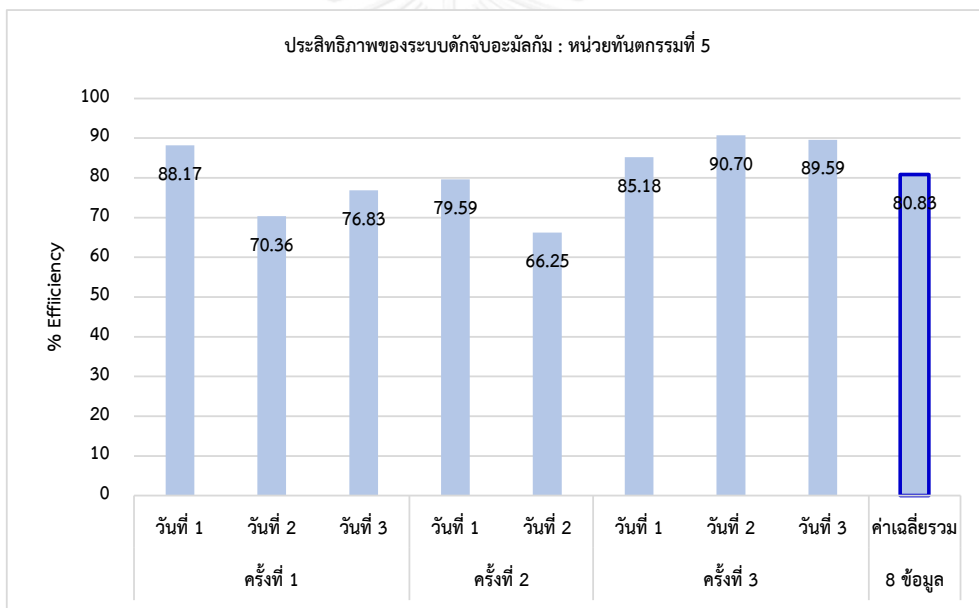
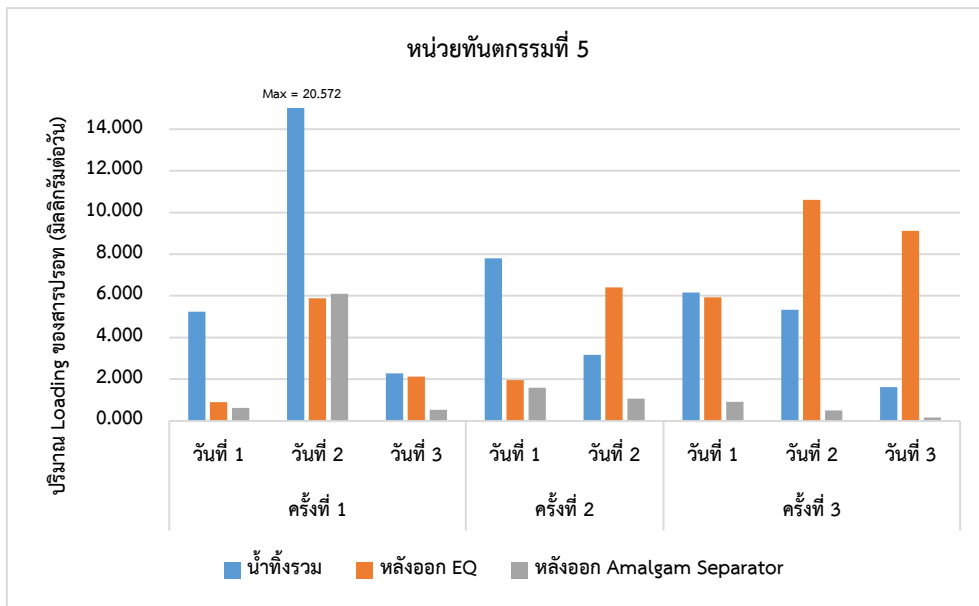
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 4

4.2.5 หน่วยทันตกรรมที่ 5

จากข้อมูลในตารางที่ 4-27 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณน้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถึง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ ยกเว้นผลของครั้งที่ 1 ในวันที่ 2 ที่ปริมาณ Loading ของสารปรอทเพิ่มขึ้น หลังจากออกจากถัง EQ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบและจุดหลังออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบ ในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 66.25-90.70 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 80.88 รายละเอียดดังรูปที่ 4-23

ตารางที่ 4-27 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 5

วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	0.1116	268	0.1529	212	0.11	201
	หลังออก EQ	0.019		0.03842		0.106	
	หลังออก Amalgam separator	0.0132		0.0312		0.0163	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	0.1039	305	0.0411	201	0.086	210
	หลังออก EQ	0.0297		0.08325		0.171	
	หลังออก Amalgam separator	0.0308		0.01387		0.008	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.06	168			0.0221	212
	หลังออก EQ	0.0561				0.125	
	หลังออก Amalgam separator	0.0139				0.0023	



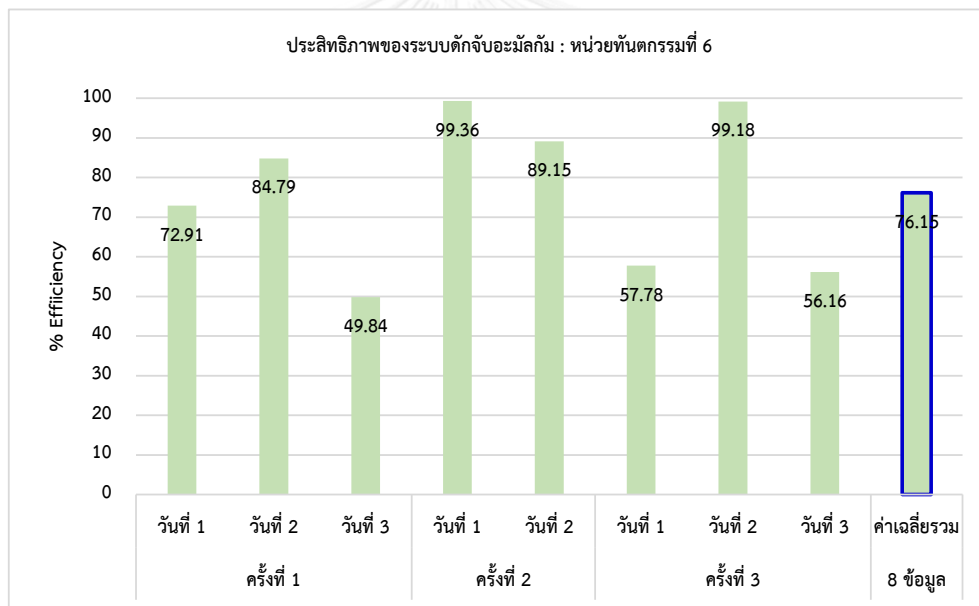
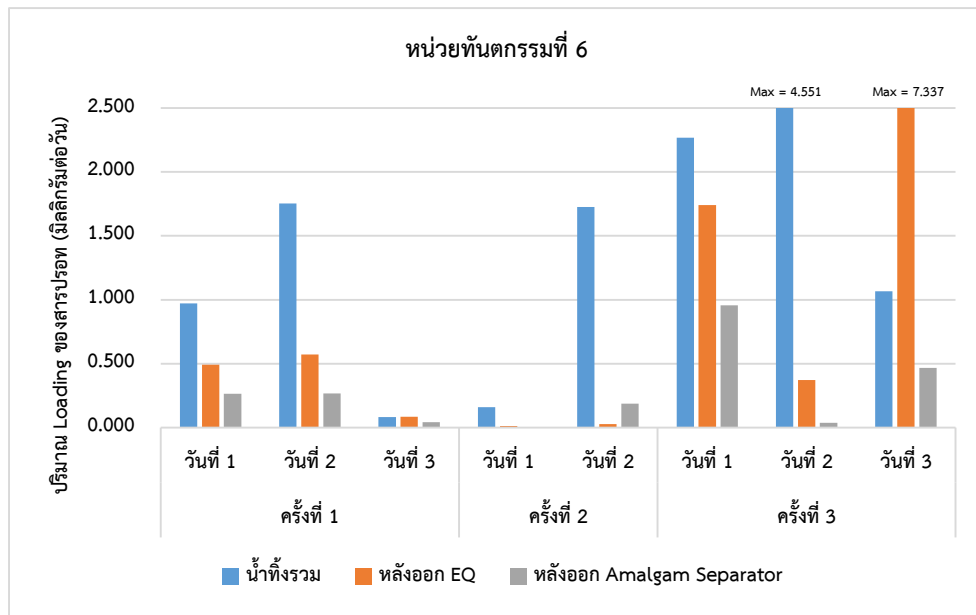
รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 5

4.2.6 หน่วยทันตกรรมที่ 6

จากข้อมูลในตารางที่ 4-28 นำความเข้มข้นของปรอทในน้ำทิ้งที่ทำการตรวจวัด และปริมาณน้ำทิ้งที่บันทึกในแต่ละวัน มาคำนวณหาปริมาณ Loading ของสารปรอทในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ Loading ของสารปรอทจะลดลงหลังจากผ่านถึง EQ และ Amalgam Separator ตามลำดับ ยกเว้นผลของครั้งที่ 2 ในวันที่ 2 ที่ปริมาณ Loading ของสารปรอทเพิ่มขึ้น หลังจากออกจากถัง EQ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบและจุดหลังออกจาก Amalgam Separator จะพบว่าทุกวันที่ทำการตรวจวัดปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลง ซึ่งระบบที่ติดตั้งสามารถลดการปล่อยสารปรอทได้จริง และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator พบว่า จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 49.84 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 76.15 รายละเอียดดังรูปที่ 4-24

ตารางที่ 4-28 ข้อมูลความเข้มข้นของปรอท ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน และ Loading ของสารปรอทในหน่วยทันตกรรมที่ 6

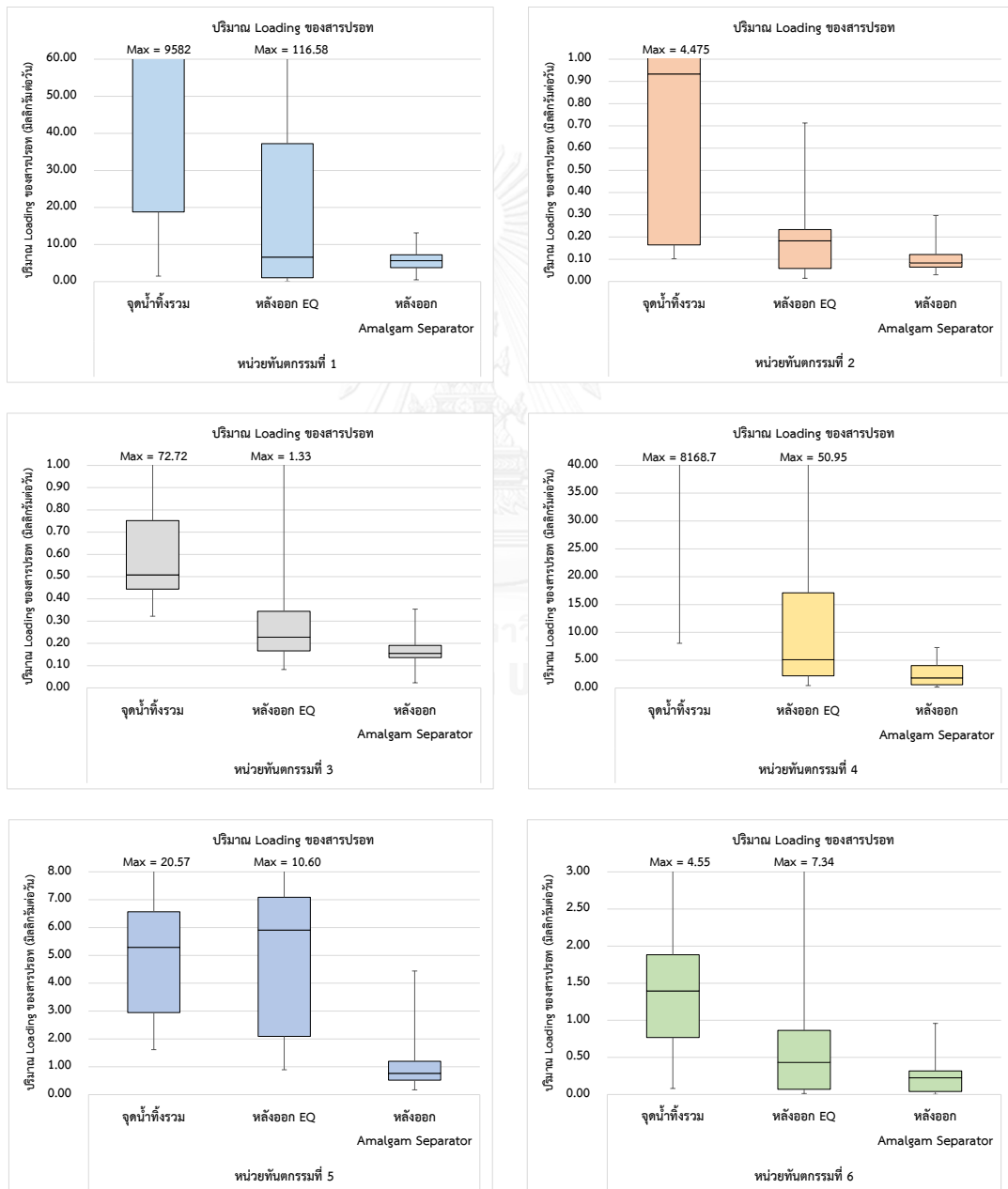
วัน	จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 1	
		Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)	Hg (mg/L)	Flow Rate (L/day)
วันที่ 1	น้ำทิ้งรวม	0.020660	246	0.003135	167	0.0405	150
	หลังออก EQ	0.010460		0.000245		0.0311	
	หลังออก Amalgam separator	0.005596		0.00002		0.0171	
วันที่ 2	น้ำทิ้งรวม	0.008861	283	0.02242	110	0.0734	126
	หลังออก EQ	0.002881		0.0003382		0.006	
	หลังออก Amalgam separator	0.001348		0.002432		0.0006	
วันที่ 3	น้ำทิ้งรวม	0.002145	181			0.0146	142
	หลังออก EQ	0.002203				0.1005	
	หลังออก Amalgam separator	0.001076				0.0064	



รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบปริมาณ Loading ของสารปรอท และประสิทธิภาพของระบบในหน่วยทันตกรรมที่ 6

4.2.7 สรุปข้อมูลปริมาณ Loading ของสารปรอท

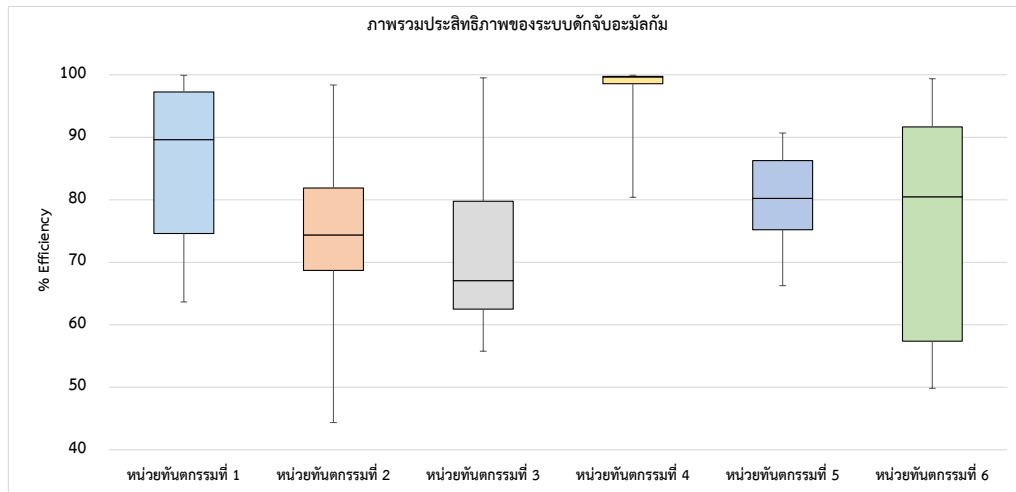
โดยหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง ที่มีการติดตั้งระบบดักจับอะมีัลกัม มีปริมาณ Loading ของปรอทในน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบเกิดขึ้นในแต่ละวันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.082-9582 มิลลิกรัมต่อวัน หลังจากผ่านถึง EQ ปริมาณ Loading ของปรอทลดลง โดยพบค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.012-116.6 มิลลิกรัมต่อวัน และเมื่อผ่าน Amalgam Separator ปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลงอีก โดยพบค่าอยู่ในช่วง 0.001-13.14 มิลลิกรัมต่อวัน



รูปที่ 4-25 ปริมาณ Loading ของสารปรอทในน้ำทิ้งจากระบบดักจับอะมีัลกัม

4.2.8 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม

พิจารณาเฉพาะปริมาณ Loading ของสารปรอทระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator นำมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม โดยจะพบว่าประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งทั้ง 6 หน่วยทันตกรรม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 44.36-99.92 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.95 ± 16.51 ดังรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-26 กราฟแสดงข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัม
เปรียบเทียบระหว่างหน่วยทันตกรรมที่ 1-6

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขอบเขตการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก โดยส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม เพื่อประเมินปริมาณสารปรอทจากอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง โดยสรุปผลการประเมินปริมาณปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมและผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 สรุปผลการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

วิธีการประเมินปริมาณและสัดส่วนของสารปรอทจากของเสียอะมัลกัมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้มี 2 วิธี คือ 1) เก็บข้อมูลจำนวนชิ้นฟันที่อุดด้วยอะมัลกัมและปริมาณของเสียอะมัลกัมที่เกิดขึ้นในหน่วยทันตกรรม จำนวน 6 แห่ง เป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน และ 2) เก็บข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากคนไข้ที่มาอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) จำนวน 15 ราย เพื่อเป็นข้อมูลร่วมเพิ่มเติมในการประเมินปริมาณการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณปรอทที่พบต่อการอุดฟัน 1 ซี่ ทั้งในส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนของเสีย (SW) และน้ำทิ้ง (DWW) และส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) ที่เก็บข้อมูลจากหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง มีค่าต่ำกว่าการเก็บข้อมูลโดยวิธี Case by Case เนื่องจากการเก็บข้อมูลของเสียอะมัลกัมระหว่างการดำเนินงานจริงในคลินิกทันตกรรมตลอดระยะเวลาประมาณ 6 เดือนในหน่วยทันตกรรม 6 แห่ง มีความละเอียดของข้อมูลน้อยกว่าการเก็บโดยวิธี Case by Case โดยข้อมูลบางส่วนไม่สามารถเก็บได้ครบถ้วน เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของวิธีการปฏิบัติงานในการคัดแยกเศษอะมัลกัมซึ่งปนเปื้อนขยะติดเชื้อมาใส่ในภาชนะบรรจุที่เตรียมไว้ให้ ทั้งในส่วนของสำลี ผ้าก๊อช และส่วนที่ติดตะแกรง ดังนั้น ในการคำนวณสมมูลมวลจึงเลือกใช้ข้อมูลจากการเก็บด้วยวิธี Case by Case ไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณสารปรอทที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากข้อมูลมีความละเอียด และไม่มีการสูญหายของข้อมูลระหว่างการดำเนินการเก็บข้อมูล สามารถเก็บข้อมูลปริมาณปรอทจากอะมัลกัมส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการอุดฟัน 1 ซี่ ได้อย่างครบถ้วน

จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของปรอทรวมทั้งที่เปลือกแคปซูล จำนวน 20 ตัวอย่าง พบว่า ค่าความเข้มข้นของปรอทที่เปลือกแคปซูล มีค่าอยู่ในช่วง 11.93-110.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.82 ± 30.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 0.0000817 ± 0.0000563 กรัมต่อแคปซูล เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ของสารปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ปริมาณปรอทที่เปลือกแคปซูลเกินค่าที่กำหนด จัดเป็นของเสียอันตรายตามประกาศฯ ควรมีการจัดการโดยการบำบัดทำลายฤทธิ์ ที่ กำจัด อย่างถูกวิธี เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

เมื่อทดสอบปริมาณโลหะปรอทของน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลอะมัลกัม จำนวน 15 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และนำมาวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้น พบว่า ปรอทในน้ำที่สกัดจากเปลือก มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01-0.1469 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06095 ± 0.04110 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับค่า Soluble Threshold Limit Concentration; STLC ของสารปรอท ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปริมาณปรอทของน้ำสกัดจากเปลือกแคปซูลไม่เกินค่าที่กำหนด

นอกจากนี้ จากการเก็บตัวอย่างของเสียอะมัลกัมส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนที่รื้อถอนจากฟันเก่า ส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) น้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) และส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) นำมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โครงสร้างพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของอะมัลกัม โดยใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งและจุลวิเคราะห์ (Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM and EDS) ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคของอะมัลกัมส่วนต่างๆ มีขนาดตั้งแต่ ต่ำกว่า 100 ไมโครเมตร-2 มิลลิเมตร โดยองค์ประกอบธาตุต่างๆ ที่พบในของเสียอะมัลกัม ประกอบด้วย ทองแดง เงิน ดีบุก และปรอท เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 1.71-6.53 7.10-20.21 5.3-34.11 และ 15.21-53 ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณของเสียอะมัลกัมจากการเก็บตัวอย่างอะมัลกัมส่วนต่างๆ จากคนไข้ที่มารับบริการอุดฟันกราม 1 ซี่ (Case by Case) ซึ่งมีการอุดคละด้าน ทั้งแบบอุด 1 ด้าน อุด 2 ด้าน และอุด 3 ด้าน จำนวน 15 ราย โดยมีการใช้อะมัลกัมทั้งชนิด 1 Spill และ 2 Spill คละกันแต่ละราย นำมาคำนวณสมมูลมวล เพื่อประเมินปริมาณปรอทที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูลในการอุดฟันกราม 1 ซี่ โดยจะมีข้อมูลทั้งสิ้น 15 ชุดข้อมูลในการประเมินปริมาณปรอท ผลการศึกษาพบว่า โดยเฉลี่ย มีปรอทจากอะมัลกัมตั้งต้น 0.4476 ± 0.0904 กรัมต่อการใช้อุดฟันกราม 1 ซี่ โดยส่วนนี้จะกระจายไปอยู่ในรูปของอะมัลกัมส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) เท่ากับ 0.2051 ± 0.1300

ส่วนที่เป็นของเสียอันตราย/ขยะติดเชื้อ (SW) เท่ากับ 0.0685 ± 0.0519 ส่วนน้ำทิ้งทันตกรรม (DWW) เท่ากับ 0.0449 ± 0.0391 และส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) เท่ากับ 0.1291 ± 0.1064 กรัมต่อซี โดยเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) พบปริมาณปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 0.00007912 กรัมต่อแคปซูล สรุปผลการประเมินปริมาณปรอทแสดงดังตารางที่ 5-1

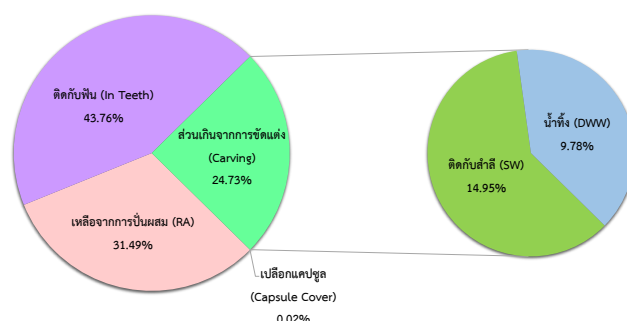
ตารางที่ 5-1 สรุปปริมาณปรอทที่พบในส่วนต่างๆ (Case by Case) จากการใช้อะมัลกัม 1 แคปซูล อุดฟันกราม 1 ซี่

ราย ที่	รหัส ซี่ฟัน	จำนวนต้นฟัน	ชนิดSpill	น้ำหนักปรอท (กรัมต่อซี่)						
				อะมัลกัม ตั้งต้น	ติดกับฟัน ^{1/}	ติดกับ สำลี ^{1/}	ไปกับน้ำ ทิ้ง ^{1/}	ส่วนเกิน จากการ ขัดแต่ง ^{1/}	เหลือจาก การบั่น ผสม ^{2/}	ติดกับเปลือก แคปซูล
				(AMG)	In Teeth = AMG - (SW+DWW+RA)	(SW)	(DWW)	(Carving)= SW+DWW	(RA)	(Capsule Cover)
			ค่าต่ำสุด	0.3659	0.0156	0.0209	0.0035	(0.0430)	0	0.00002150
			ค่าสูงสุด	0.5410	0.4074	0.2211	0.1510	(0.2556)	0.2723	0.00017534
			ค่าเฉลี่ย	0.4476	0.2051	0.0685	0.0449	(0.1134)	0.1291	0.00007912
			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0904	0.1300	0.0519	0.0391	(0.0564)	0.1064	0.00005564

หมายเหตุ : ^{1/} หมายถึง อะมัลกัมที่ปนเปื้อน (Contact Amalgam)

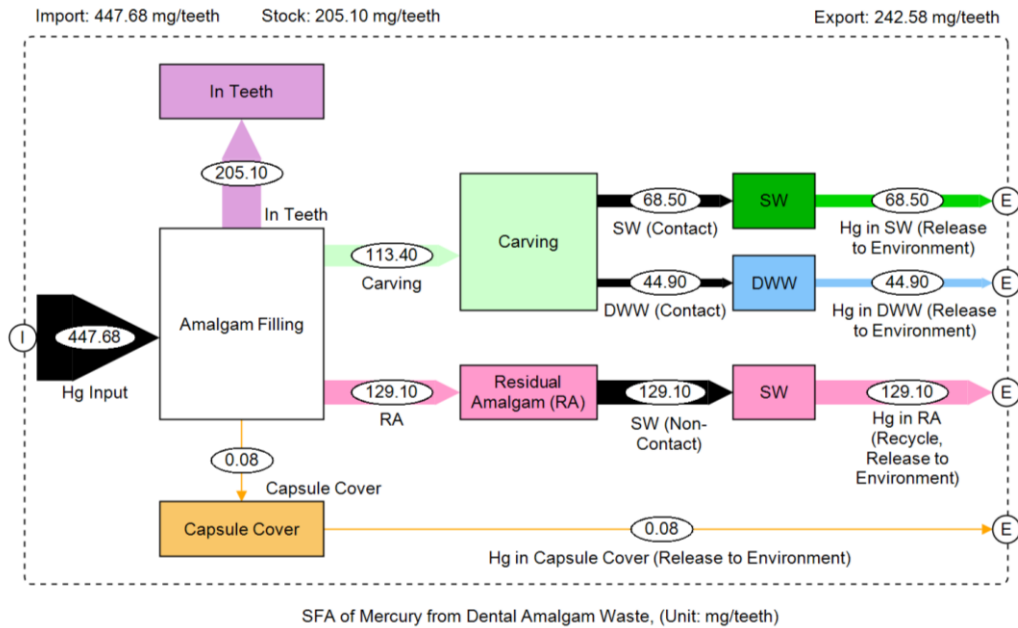
^{2/} หมายถึง อะมัลกัมที่ไม่ปนเปื้อน (Non-Contact Amalgam)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนสมมูลมวลของสารปรอทจากการใช้อะมัลกัมในการอุดฟัน 1 ซี่ พบว่า จะมีปรอทส่วนที่ติดกับฟัน (In Teeth) ร้อยละ 43.76 ส่วนที่เหลือจากการบั่นผสม (RA) ร้อยละ 31.49 ส่วนเกินจากการขัดแต่ง (Carving) ร้อยละ 24.73 โดยส่วนนี้แบ่งออกเป็นส่วนที่ติดกับสำลี (SW) ร้อยละ 14.95 (คิดเป็นร้อยละ 60.45 ของปริมาณ Carving) และส่วนน้ำทิ้ง (DWW) ร้อยละ 9.78 (คิดเป็นร้อยละ 39.55 ของปริมาณ Carving) และพบปรอทส่วนที่ติดกับเปลือกแคปซูล (Capsule Cover) ร้อยละ 0.01882 หรือประมาณร้อยละ 0.02 ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 สรุปลักษณะการกระจายของปรอทโดยเฉลี่ยต่อการใช้อะมัลกัมอุดฟันกราม 1 ซี่

พิจารณาจัดทำแผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรมโดยใช้ซอฟต์แวร์ STAN 2.5 ดังรูปที่ 5-2 โดยกำหนดให้เป็นค่า Distribution Factor ในหน่วยน้ำหนักปรอทต่อฟัน 1 ซี่ (มิลลิกรัม/ซี่) สำหรับใช้การคำนวณปริมาณปรอทนำเข้า (Import) ส่วนที่สะสมในระบบ (Stock) และส่วนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Export) ต่อไป



SFA of Mercury from Dental Amalgam Waste, (Unit: mg/teeth)

รูปที่ 5-2 ค่า Distribution Factor

และแผนผังการไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในงานทันตกรรม

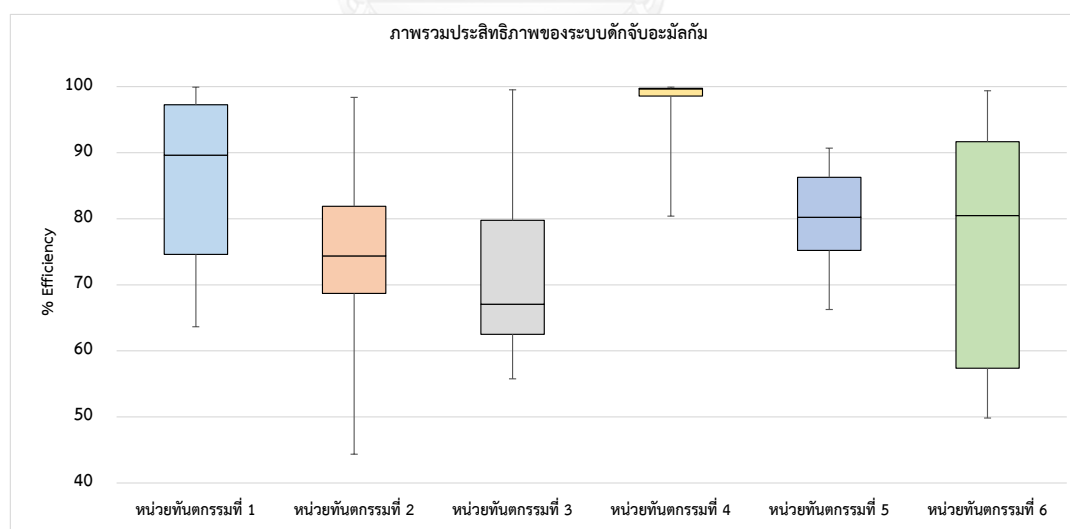
แม้ว่าส่วนที่เหลือจากการบ่มผสม มีสัดส่วนมากกว่าส่วนที่ติดไปกับสำลีและน้ำทิ้ง แต่ยังสามารถจัดการได้โดยการนำไปรีไซเคิล ในขณะที่เศษอะมัลกัมส่วนที่เกิดจากการขัดแต่ง (Carving) ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อช (SW) น้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW) มีวิธีการจัดการที่ยากกว่า เนื่องจากไม่มีวิธีการปฏิบัติที่สามารถแยกเศษอะมัลกัมออกจากสำลีและน้ำทิ้งได้ และเมื่อนำเศษอะมัลกัมที่ติดกับสำลีไปกำจัดโดยวิธีการเผาในเตาเผาขยะติดเชื้อ ก็เป็นช่องทางหนึ่งที่ทำให้มีการปล่อยปรอทออกสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ ส่วนของเศษอะมัลกัมที่หลุดรอดไปกับน้ำทิ้ง บางส่วนจะถูกสะสมในระบบท่อน้ำทิ้ง (ค้ำท่อ) และบางส่วนจะไหลไปยังปลายท่อ หากไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถกำจัดปรอทได้ ก็จะเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ทำให้ปรอทจากงานทันตกรรมถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยอาจสะสมในดิน น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน และอาจเกิดผลกระทบตามมาได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้มีการศึกษาแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้ง โดยการทดลองติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separator) ในหน่วยทันตกรรมจำนวน 6 แห่ง ซึ่งเป็นคลินิกทันตกรรมภายในโรงพยาบาลรัฐ สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศ ซึ่งมีจำนวนเตียงทำฟัน ตั้งแต่ 2-8 เตียง โดยได้กำหนดระยะเวลาศึกษาเป็นเวลา 6 เดือน

5.1.2 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมในหน่วยทันตกรรม

หน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง ที่มีการติดตั้งระบบดักจับอะมัลกัม มีปริมาณ Loading ของปรอทในน้ำทิ้งรวมก่อนเข้าระบบเกิดขึ้นในแต่ละวันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.082-9582 มิลลิกรัมต่อวัน หลังจากผ่านถึง EQ ปริมาณ Loading ของปรอทลดลง โดยพบค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.012-116.6 มิลลิกรัมต่อวัน และเมื่อผ่าน Amalgam Separator ปริมาณ Loading ของปรอทจะลดลงอีก โดยพบค่าอยู่ในช่วง 0.001-13.14 มิลลิกรัมต่อวัน

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณ Loading ของสารปรอทระหว่างจุดน้ำทิ้งรวม และจุดหลังออก Amalgam Separator นำมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม โดยจะพบว่าประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งทั้ง 6 หน่วยทันตกรรม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 44.36-99.92 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.95 ± 16.51 โดยข้อมูลประสิทธิภาพของหน่วยทันตกรรมแต่ละแห่งแสดงดังรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 ข้อมูลประสิทธิภาพของระบบดักจับอะมัลกัมที่ติดตั้งในหน่วยทันตกรรมทั้ง 6 แห่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลในการคาดการณ์ปริมาณการปล่อยสารปรอทสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้อะมัลกัมในงานทันตกรรม นำไปสู่การจัดหาแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดของเสียปรอทจากอะมัลกัม (Waste Minimization) โดยใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology) ดังนี้

1) การลดการเกิดของเสียที่แหล่งกำเนิด โดยอาศัยหลักการ 3R ได้แก่

- Reduce : ลดการใช้อะมัลกัมในการอุดฟัน โดยพิจารณาใช้วัสดุอื่นทดแทน
- Reuse&Recycle : (กรณีเศษอะมัลกัมปนเปื้อนไม่สามารถทำได้)
- Recovery : นำของเสียอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบั่นผสมมาสกัดแยกปรอท และโลหะมีค่า เช่น เงิน ทองแดง ดีบุก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

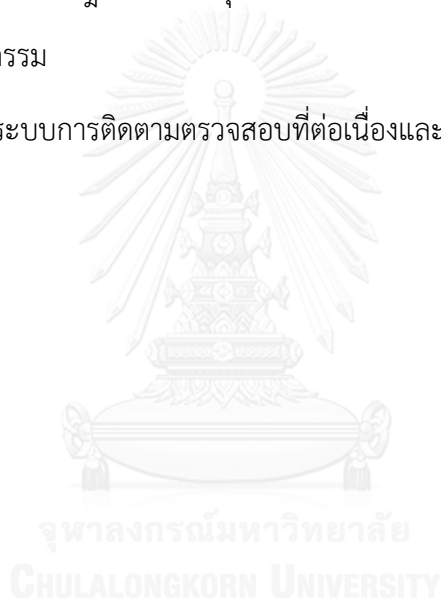
2) การจัดการที่ดี (Good Housekeeping) เช่น ปฏิบัติตามคู่มือแนวทางปฏิบัติทางทันตกรรมในการใช้ปรอทอย่างปลอดภัย ของสถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข รวมถึงปฏิบัติตามข้อกำหนดต่างๆ ที่เป็นแนวทางการจัดการที่ดี (Best Management Practice for Amalgam Waste) ของสมาคมทันตแพทย์แห่งอเมริกา (ADA, 2007) เช่น เปลือกแคปซูล เศษอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการผสม ส่วนที่เป็นกากของเสีย (SW) ฟันที่ถอนออกซึ่งมีอะมัลกัมติด เศษอะมัลกัมจากตัวกรองข้างเตียง สำลี ผ้าก๊อช ที่ปนเปื้อนเศษอะมัลกัม ให้รวบรวมใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด มีป้ายฉลากติดกำกับ ปิดฝาภาชนะให้เรียบร้อย เมื่อภาชนะบรรจุเต็ม ส่งไปรีไซเคิล และเลือกใช้สารทำความสะอาดเส้นท่อ ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยาซักฟอกขาว และไม่มีส่วนผสมของคลอรีน ในการล้างเส้นท่อ เพื่อจะลดการชะละลายของปรอทจากอะมัลกัม เป็นต้น

3) การบำบัดของเสีย (Waste Treatment) เช่น การติดตั้ง Amalgam Separator เพื่อลดการปล่อยสารปรอทจากน้ำทิ้งทันตกรรมลงสู่แหล่งน้ำ โดยเลือกใช้อุปกรณ์ดักจับอะมัลกัม (Amalgam Separators) ตามข้อกำหนดของ ISO 11143 และปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเพื่อการบำรุงรักษา และกระบวนการรีไซเคิลที่ถูกต้อง และทำการคัดแยกปรอทจากอะมัลกัมโดยนำไปสกัดแยกบริสุทธิ์ ใช้เทคโนโลยีการจัดการของเสียที่มีสารปรอทเจือปนอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยก่อนนำไปกำจัดทิ้งในขั้นตอนต่อไป

4) การกำจัดทิ้ง (Waste Disposal) เช่น การนำไปฝังกลบ (Secure Landfill) อย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล การนำไปเผาในเตาเผาขยะที่มีการควบคุมการปล่อยสารปรอทสู่บรรยากาศ เป็นต้น

ทั้งนี้ ควรจัดทำแผนการดำเนินงานในระยะยาวเพื่อให้เกิดเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ดีในการจัดการและในการใช้งานปรอทในงานทันตกรรมที่สามารถทำได้จริง เช่น

- การประสานดำเนินการเพื่อให้เกิดความร่วมมือในการจัดการกากของเสียปนเปื้อนปรอทจากสถานทันตกรรมทุกแห่งทั่วประเทศอย่างถูกวิธี โดยให้สถานบริการและบุคลากรทางทันตกรรมดำเนินการปฏิบัติอย่างเคร่งครัด
- พิจารณาใช้มาตรการทางกฎหมายบังคับใช้ในการปฏิบัติงานในสถานทันตกรรม เพื่อควบคุม จัดการของเสียปนเปื้อนปรอทในสถานทันตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ
- การพิจารณาออกกฎหมายควบคุมมลพิษจากอากาศเสีย น้ำเสีย และกากของเสีย จากสถานทันตกรรม
- การจัดให้มีระบบการติดตามตรวจสอบที่ต่อเนื่องและยั่งยืน



รายการอ้างอิง



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจน รัตน์ไพศาล. 2533. ทันตวัสดุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ชัชรี สุชาติล้ำพงศ์ และคณะ. 2539. รายงานการวิจัยและพัฒนาการผลิตเจือเพื่อการบูรณะฟัน “อะมัลกัม”. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (อัสสัณณ)

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ, สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, ส่วนสารอันตราย. 2552. แนวทางการคัดประมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. คพ.04-123.

เบญจมาศ เจริญตรา. 2546. ประสิทธิภาพการกำจัดปรอทจากน้ำเสียอมัลกัมทางทันตกรรมโดยการดูดซับด้วยแร่ดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิบูลย์ เกิดโภคทรัพย์ และคณะ. การศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วารสารทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 31 : (2551) : 283-94

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. 2554. เอกสารการสอนชุดวิชาสถิติและการวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ หน่วยที่ 1-7. พิมพ์ครั้งที่ 10. นนทบุรี : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ยสินทร์ ยางทอง. 2554. การสกัดแยกไอออนปรอทในรูปของ $(\text{HgCl}_4)^{2-}$ ออกจากน้ำทิ้งที่ได้จากหลุมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงและ การทำนายผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิลาวรรณ จันทรประทีน. 2542. การกำจัดปรอทและการแยกโลหะเงินออกจากโลหะเจืออะมัลกัมที่เหลือทิ้งจากการบูรณะฟัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม (สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริวิมล ศรีสวัสดิ์. Amalgam Status Update. ข่าวสารทันตแพทย์ ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2554) : 5

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมการแพทย์, สถาบันทันตกรรม. 2551. แนวปฏิบัติในการใช้ปรอททางทันตกรรมอย่างปลอดภัย. กรุงเทพมหานคร: แคนนา กราฟฟิค.

สาธารณสุข, กระทรวง. กรมการแพทย์, กองทุนสนับสนุนวิชาการ. 2553. สรุปการอบรมวิชาการ สัจจรการใช้ปรอทอย่างปลอดภัยในงานทันตกรรม ในรอบปีงบประมาณ 2553. เอกสารประกอบโครงการ ต่อเนื่อง การพัฒนาขบวนการจัดการและใช้ปรอท ตามมาตรฐานควบคุมการใช้ปรอทอย่างปลอดภัยทางทันตกรรม.

สุพัต ควรพงษากุล. 2557 การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis – SFA) [ออนไลน์], 9 ธันวาคม 2557. แหล่งที่มา <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a8.shtml>

หฤทัย อภัยรัตน์, 2552. ระดับของปรอทที่ปนเปื้อนในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบสและการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อรทัย ชวาลภาฤทธิ. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท จุดทองจำกัด.

ภาษาอังกฤษ

- ADA. 2007. American Dental Association. Best Management Practices For Amalgam Waste. Updated July 2007. DNC 04244
- Adegbembo AO and Watson PA. 2004. Estimated Quantity of Mercury in Amalgam Waste Water Residue Released by Dentists into the Sewerage System in Ontario, Canada. Journal of the Canadian Dental Association Vol.70 No.11: 759-759f
- AMSA. 2002. Review of American Dental Association (ADA) Scientific Assessment Evaluation of Mercury in Dental Facility Wastewater.
- APHA, AWWA and WEF. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st edition. Washington DC: American Public Health Association.
- Arenholt-Bindslev, D. and Larsen, AH. 1996. Mercury levels and discharge in waste water from dental clinics. Water Air Soil Pollution 86: 93-9.
- Batchu, H., Naleway, C.A., Fan, P.L., Meyer, D. and Stone, M. 1996. Electro Kinetic Properties of Colloidal Dental Wastewater. Journal of Dental Research 75:37 #163.
- Bender, M. 2002. Dentist the Menace. The Uncontrolled Release of Dental Mercury, Mercury Policy Project/Tides Center, Montpelier VT, USA,
- Berglund, P. 1999. Evaluation of mercury and dental amalgam discharged to a WWTP. In: Controlling dental facility discharges to wastewater, Alexandria, Virginia: Water Environment Federation : p. 15-38.
- Bjørklund G. The history of dental amalgam. 1989 Tidsskr Nor Laegeforen. ;109 :3582–3585. [PubMed]
- Cailas MD, Drummond JL, Croke K, Wu T-Y. and Ovsey VG. 2002. Characteristics and treatment of the dental waste water stream. Champaign, IL: The Illinois Waste Management and Research Center : p. 1-43; 68820.

- Cailas, M.D., Drummond, J.L., Wu, T. and Ovsey, V.G. 2002. Characteristics and Treatment of the Dental Waste Water Stream. WMRC Report Waste Management and Research Center, University of Illinois Chicago.
- Drummond, J.L., Cailas, M.D. and Croke, K. 2003. Mercury generation potential from dental waste. Journal of Dentistry 31: 493-501
- EPA. 2008. Health Services Industry Detailed study : Dental Amalgam. August.
- European Environmental Bureau. 2007. Mercury in Dental Use: Environmental Implications for The European Union. Boulevard De Waterloo 34. B-100 Brussels. Belgium.
- European Environmental Bureau. 2012. The Real Cost of Dental Mercury. The Mercury Policy Project, and Consumers for Dental Choice for.
- Hylander, H.D. and Goodsite, M.E. 2006. Environmental costs of mercury pollution, Science of the Total Environment. Elsevier.
- Hardman, J.G. Limbird, L.E., Molinoff, P.B., Ruddon, R.W. and Gilman, A.G. 2000. Toxicological Effects of Methylmercury. National Academy Press. Washington, DC.
- Jackson, A.M., Swain E.B., Andrews, C.A. and Rae, D. 2000. Minnesota's mercury contamination reduction initiative. Fuel Process Technol 65: p. 79–99.
- Louis, M.S. and Owen E.B. 2003. MVSSolutions Conducting the Business of science. Environmental and toxicological concerns of dental amalgam and mercury. U.S.
- Mackey, T.K., Contreras, J.T. and Liang, B.A. 2014. The Minamata Convention on Mercury: Attempting to address the global controversy of dental amalgam use and mercury waste disposal. Science of the Total Environment. 472: 125-129
- OSPAR. 2003. Mercury emissions from crematoria and their control in the OSPAR Convention Area. OSPAR Commission, London.

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks The safety of dental amalgam and alternative dental restoration materials for patients and users

The SCENIHR adopted this opinion via written procedure on 6 May 2008, after public consultation.

SOCOPSE, Source Control of Priority Substances in Europe. 2009. An Inventory and Assessment of Options for Reducing Emissions: Mercury. Specific Targeted Research Project

Shraim, A., Alsuhaimee, A. and Al-Thakafy, JT. 2011. Dental clinics: a point pollution source, not only of mercury but also of other amalgam constituents. Chemosphere. 84 (8): p. 1133-1139.

Stone, E.D., Pederson, G.K., Jone, R.S., Karaway, R.A. and Auxer, S.L. and Cannon J. 2000. Evaluation of an Integrated System to Remove Mercury from Dental-Unit Wastewater. Journal of Dental Research 79:545 #3216.

Stone, M.E., Kuehne, J.C., Karaway, R.S. and Gullett, J.M. 2002. TCLP Analysis and Residual Mercury Levels in Dental Wastewater. Lines Naval Dental Research Institute, USA.

Stone, M.E., Pederson E.D., Cohen, M.E., Ragain J.C., Karaway, R.S., Auxer R.A. and Saluta A.R. 2002. Residual mercury content and leaching of mercury and silver from used amalgam capsules. Dental Materials :18 289-294

Vandeven, J.A. and McGinnis, S.L. 2005. An Assessment of Mercury in the Form of Amalgam in Dental Wastewater in the United States. Water, Air, and Soil Pollution June 2005, Volume 164, Issue 1-4, p. 349-366.

WHO. 2010. Future Use of Materials for Dental Restoration. Report of the meeting convened at WHO HQ, Geneva, Switzerland.

Wongsoonthornchai, M., Kwonpongsagoon, S., and Scheidegger, R. 2015. Modeling Mercury Flows in Thailand on the Basis of Mathematical Material Flow Analysis. Clean-Soil Air Water (Accepted).



- ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลจำนวนซีฟัน

โครงการวิจัยร่วม : การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในคลินิกทันตกรรม

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลฉบับใช้ทั้งหมด ระยะเวลา 6 เดือน
สำหรับโรงพยาบาลที่ตั้งชื่อ Amalgam Separator

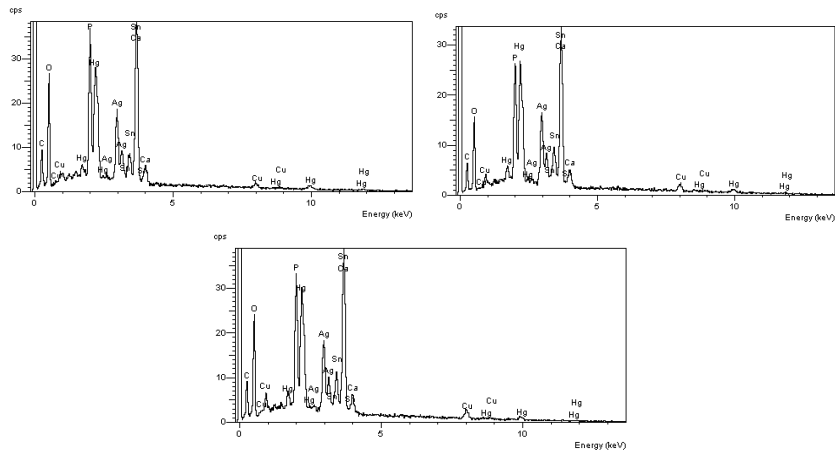
สำนักงานสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ระยะเวลา 3 เดือน									
ชื่อโรงพยาบาล :	ประเภท : <input type="checkbox"/> รพท. <input type="checkbox"/> รพช. <input type="checkbox"/> รพต.			จำนวนเตียงจำฟัน :	จัดการครองเตียง :				
ที่อยู่ :				จำนวนทันตแพทย์ :	อัตราส่วน ทด: คนไข้ :				
โทรศัพท์ :	โทรสาร :	อีเมล :		จำนวนผู้ช่วยทันตแพทย์ :	อัตราส่วน ผู้ช่วย: คนไข้ :				
ชื่อผู้ติดต่อ :	ฝ่าย :			จำนวนคนใช้รวมระยะเวลา 3 เดือน :	จำนวนคนใช้เฉพาะระยะเวลา 3 เดือน :				
โครงการ :	โครงการวิจัยร่วม : การวิเคราะห์การไหลของสารปรอทจากอะมัลกัมในคลินิกทันตกรรม (Substance Flow Analysis (SFA) of Mercury from Dental Amalgam Waste)			ผู้ประสานงาน (กรมอนามัย) : คุณปริยฉวี โขมเจริญศรี (คุณต๋อ) นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการ โทรศัพท์ 02-5904255, มือถือ 089-515-4307 อีเมล : priyanti.makaramai@mail.go.th	ผู้ประสานงาน (นิสิต) : น.ส.กนกวรรณ สุวรรักษ์ (ปอ) นิสิตปริญญาโททันตแพทย์ โทรศัพท์ 02-361-7451, มือถือ 084-166-1164 อีเมล : kankwan.sukrak@gmail.com				

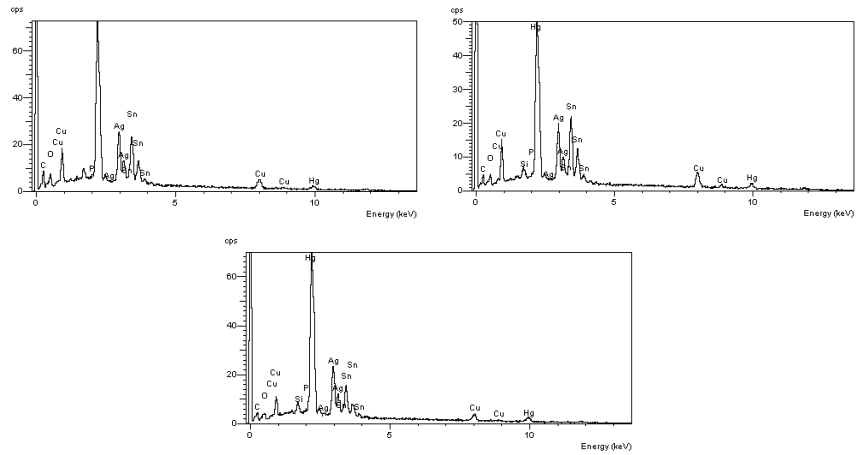
วันที่	รายชื่	อายุ	เพศ	จุดฟันบน	ฉาบฟัน	กิจกรรม						แหล่งข้อมูลซีฟันที่ใช้		การจัดการอะมัลกัม					หมายเหตุ							
						การรีไซเคิลอะมัลกัม			การกำจัดอะมัลกัม			ซีฟัน	ชนิด	ส่วนที่รับจาก		ส่วนที่เป็นของกับ		ส่วนที่เก็บทิ้ง								
						ซี	ด้าน	วัสดุที่ใช้จุด	ซี	ด้าน	การปนเปื้อน			การปนเปื้อน	สำหรับ	สำหรับ	สำหรับ	สำหรับ		สำหรับ						
						จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	จำนวน	วัสดุที่ใช้	

รูปที่ 1 ตัวอย่างแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลจำนวนซีฟัน

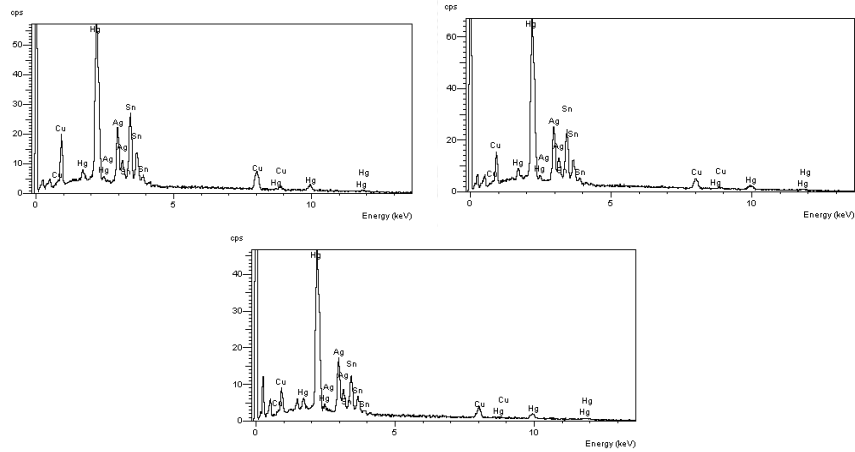
- กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum) ของของเสียอะมัลกัมส่วนต่างๆ



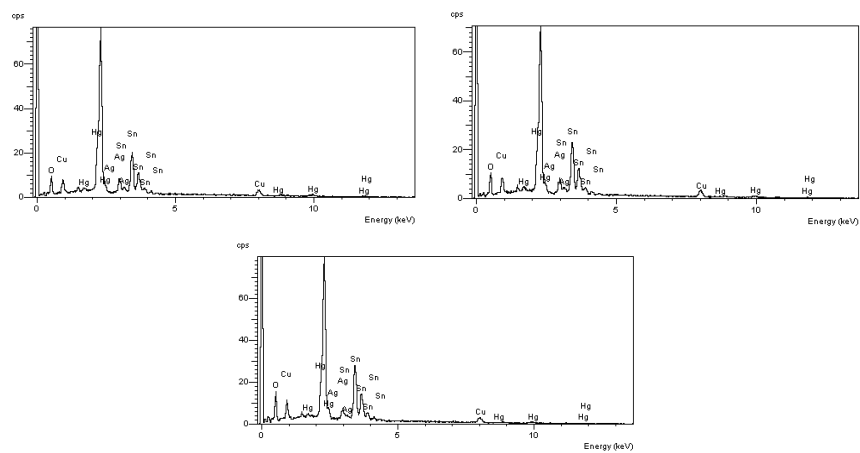
กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum) ของของเสียอะมัลกัมส่วนที่รีดถอนจากฟันเก่า



กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum)
ของของเสียอะมัลกัมอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับสำลี ผ้าก๊อซ (SW)



กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum)
ของของเสียอะมัลกัมอะมัลกัมส่วนที่ติดไปกับน้ำทิ้งจากการบ้วนและเครื่องดูดน้ำลาย (DWW)



กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุ (EDS X-ray spectrum)
ของของเสียอะมัลกัมอะมัลกัมส่วนที่เหลือจากการบ้วนผสม (RA)

- วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

สำหรับการเก็บข้อมูล Case by case	สำหรับการเก็บและวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำทิ้งทันตกรรม	สารเคมี
<ul style="list-style-type: none"> - อะมัลกัมบรรจุในแคปซูลชนิดปั้นผสมพร้อมใช้งาน - ถังซิปปลาสติกขนาด 4x3 นิ้ว และขนาด 8x12 นิ้ว และขวดแก้วมีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร กรวยพลาสติก และ คีมคีบ (Forceps) สแตนเลส - ชุดกรองสูญญากาศ และกรวยกรองบุคเนอร์ ความจุ 250 มิลลิลิตร และกระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) พร้อมถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับใส่กระดาษกรอง - เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด Mettler Toledo รุ่น AB204-S/FACT - ตู้ดูดความชื้น (Auto Desiccator) Northman รุ่น D 120 Northman - เครื่องแก้วต่างๆ เช่น ปีเปต ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดวัดปริมาตร ฯลฯ - เครื่องเขย่า Rotary Extractor สำหรับการทำ Waste Extraction Test (WET) - เตา Hot Plate 	<ul style="list-style-type: none"> - ขวดแก้วรักษาตัวอย่างน้ำ Pyrex แบบมีฝาปิดชนิดโพลีเอททิลีน ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่แช่ด้วยสารละลายกรด HNO₃ และล้างน้ำกลั่นแล้ว พร้อมติดป้ายกำกับชื่อตัวอย่าง - ถังใส่น้ำแข็ง พร้อมน้ำแข็งชนิดบดละเอียด - เครื่อง Microwave Digestion ของ PerkinElmer's รุ่น Titan MPSTM Microwave Sample Preparation System - เครื่องมือวิเคราะห์โลหะปรอท Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS) ของ PerkinElmer's รุ่น PinAAcle 900F 	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำกลั่น Distilled Water - สารละลายกรดไนตริก (HNO₃) ความเข้มข้น 1:1 v/v - สารละลายมาตรฐานปรอท (Hg) 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร - สารละลายกรด HCl - สารละลาย KMnO₄ ความเข้มข้น 5% - สารละลาย Sodium chloride-hydroxylamine sulfate ความเข้มข้น 5% - สารละลาย Potassium Dicromate ความเข้มข้น 5% - สารละลายกรดซิดริก - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ - สารละลาย NaBH₄

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวกนกวรรณ สุขรัชช์

เกิด วันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ที่กรุงเทพมหานคร

การศึกษา

พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2555 เข้าศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2553 ฝ้ายศึกษาและจัดการสิ่งแวดล้อม บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิ
เนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม
แห่งชาติ ครั้งที่ 14 โดย สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 27-29
พฤษภาคม พ.ศ.2558 ณ โรงแรม โลตัส ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY