ลักษณะการปรากฏอยู่ของเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์และสังกะสีในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

Appearance of Tetramethylthiuram Disulfide and Zinc in Wastes of Concentrated Latex Industry

ดวงกมล กฤตสัมพันธ์

Duangkamol Kritsamphan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ลักษณะการปรากฏอยู่ของเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์และสังกะสีในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ผู้เขียน นางสาวดวงกมล กฤตสัมพันธ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิมป์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

.....กรรมการ

(ดร.ปุญญานิช อินทรพัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวดวงกมล กฤตสัมพันธ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวดวงกมล กฤตสัมพันธ์)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ลักษณะการปรากฏอยู่ของเตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์และสังกะสีในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ผู้เขียน นางสาวดวงกมล กฤตสัมพันธ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการปรากฏอยู่และประเมินความเป็นอันตรายของ tetramethylthiuram disulfide (TMTD) และสังกะสี (Zn) ในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิในภาคสนามที่เกี่ยวข้องและทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้งจาก 4 โรงงานมาศึกษา รวมถึงมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อดูถึงการเปลี่ยนแปลงของ TMTD และ Zn ในน้ำเสียในภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ และในกากขี้แป้ง/กากตะกอนน้ำเสียที่ถูกกักพักไว้ 30 วัน และการใช้ข้อมูลที่ได้มาประเมินความเป็นอันตรายของของเสียในโรงงานน้ำยางข้น ผลการศึกษาพบว่าค่า TMTD และ Zn ในน้ำเสียดิบของโรงงานน้ำยางข้นมีค่าในช่วง 1.32 – 3.31 mg/l และ 2.10 – 59.01 mg/l ตามลำดับ และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้วมีค่า TMTD ในช่วง 0.31 – 0.56 mg/l และ Zn ในช่วง 0.01 – 0.85 mg/l ตามลำดับ ส่วนกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้นพบว่ามีค่า TMTD และ Zn ปนเปื้อนในช่วง 3.58 – 89.55 mg/kg dry wt. และ 0.17 – 0.54 % dry wt. ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและระบบบ่อผึ่ง และจากระบบบ่อเติมอากาศ/AS (activated sludge) มีค่า TMTD ในช่วง 1.54 – 15.40 mg/kg และ 2.57 – 8.71 mg/kg dry wt. ตามลำดับ และพบ Zn ในช่วง 0.04 – 2.41 % และ 0.03 – 1.77 % dry wt. ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลของ Zn และ TMTD ทำให้ได้ข้อสรุปว่าหากมีการใช้ TMTD และ ZnO ในกระบวนการผลิต โดยใช้ในปริมาณ 0.025% ของน้ำยางสด TMTD จะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ในสัดส่วนที่สูงกว่าในน้ำเสียและกากขี้แป้ง แต่ Zn จะปนเปื้อนในน้ำเสียและกากขี้แป้งได้ในสัดส่วนที่มากกว่าในผลิตภัณฑ์ และค่าประสิทธิภาพการกำจัด TMTD ของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นอยู่ในช่วง 77 – 83 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 81 % ค่าอัตราการลดลงของ TMTD ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าเท่ากับ 0.047 และ 0.058 ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าหากมีการกักพักกากขี้แป้ง กากตะกอน AS และกากตะกอนจากบ่อผึ่งไว้ในภาชนะพบว่าค่า TMTD จะสามารถลดลงได้ในช่วง 9.5 – 52 % ใน

เวลากักเก็บ 30 วัน และพบค่าการลดลงของ TMTD ในกากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสีย โดยวิธีการกักพักไว้มีค่าในช่วง 0.0243 – 0.0433 mg/kg ต่อวัน สำหรับ Zn พบว่าหากมีการกักพักกากขี้แป้ง กากตะกอน AS และกากตะกอนจากบ่อผึ่งไว้ในภาชนะพบว่า Zn จะถูกทำให้ลดลงได้ในช่วง 0.095 – 2.174 % ในเวลากักพัก 30 วัน และค่าอัตราการลดลงของ Zn ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยการกักพักไว้มีค่าในช่วง 0.0011 ถึง 0.0103 % น.น.แห้ง ต่อวัน ในการทดสอบการยับยั้งการเติบโตของ bacteria โดยทดสอบกับ TMTD และ Zn พบว่าเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD กับเชื้อ *E.coli* พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย TMTD ที่ 0, 2.5 และ 5.0 mg/l ที่ใช้ในการทดสอบให้ผลคือไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* ได้ ส่วนการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD กับเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของ TMTD มากกว่า 0.1 mg/l จะมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำเสียหลังบำบัดได้ สำหรับการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย Zn กับเชื้อ *E.coli* และเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย Zn เท่ากับ 0.005 mg/l เป็นต้นไปมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำทิ้งหลังบำบัดได้

สำหรับการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยพิจารณาจากของเสียในรูปกากขี้แป้ง น้ำเสีย และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่ากากขี้แป้งจะให้ค่าบ่งชี้ความเป็นอันตรายมากที่สุด รองลงมาคือกากตะกอนน้ำเสีย และน้ำเสีย ตามลำดับ ดังนั้นโรงงานน้ำยางข้นจึงต้องให้การควบคุมและดูแลจัดการอย่างเข้มงวดต่อกากขี้แป้งมากสุด

Thesis Title	Appearance of Tetramethylthiuram Disulfide and Zinc in Wastes of Concentrated Latex Industry
Author	Miss Duangkamol Kritsamphan
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2012

ABSTRACT

This study aimed to investigate the appearance and hazard identification of tetramethylthiuram disulfide (TMTD) and zinc (Zn) in wastes of concentrated latex industry. The study was conducted by collecting relevant secondary data and sampling wastewater, sludge from wastewater treatment system and centrifuged sludge from four plants. It involved laboratory study to investigate the performance of TMTD and Zn in wastewater treatment under aerobic/anaerobic conditions and in centrifuged sludge/wastewater sludge stored for 30 days and data obtained were used to identify hazard of waste in concentrated latex factory. The study found that concentrations of TMTD and Zn in raw wastewater from concentrated latex factory were in the ranges of 1.32 – 3.31 mg/l and 2.10 – 59.01 mg/l. TMTD and Zn in treated effluent were in the ranges of 0.31 – 0.56 mg/l and 0.01 – 0.85 mg/l. The study also found the concentrations of TMTD and Zn in centrifuged sludge from concentrated latex factory were in the ranges of 3.58 – 89.55 mg/kg dry wt. and 0.17 – 0.54% dry wt., respectively. Additionally, sludge from anaerobic pond and polishing ponds, and aerated lagoon/AS (activated sludge), contained TMTD in the ranges of 1.54 – 15.40 mg/kg and 2.57 – 8.71 mg/kg dry wt. ; as well as contained Zn in the ranges of 0.04 – 2.41 % and 0.03 – 1.77 % dry wt. respectively.

From Zn and TMTD mass balance analysis, it was found that using TMTD and ZnO in production process with the amount of 0.025 % of field latex caused TMTD contamination in concentrated latex product with higher proportions than wastewater and centrifuged sludge, but caused Zn contamination in wastewater and centrifuged sludge with higher proportions than concentrated latex product. In addition, TMTD removal efficiency of wastewater treatment system in concentrated latex industry was determined to be 77 – 83 % or to

be equal to an average of 81 %. The reduction rates of TMTD in aerobic and anaerobic wastewater treatment process were 0.047 and 0.058 per day, respectively. The study also found that stored of centrifuged sludge, sludge from activated sludge and sludge from polishing ponds in container within the period of 30 days could reduce 9.5 – 52 % of TMTD concentration. The reduction rate of TMTD in centrifuged sludge and wastewater sludge by storage in container was in range of 0.0243 – 0.0433 mg/kg per day. In the other hand, centrifuged sludge and wastewater sludge stored in container within the period of 30 days could reduce 0.095 – 2.174 % of Zn. The reduction rate of Zn concentration in centrifuged sludge and wastewater sludge by storage in container was ranging from 0.0011 – 0.0103 % dry wt. per day. From bacterial growth inhibition testing with TMTD and Zn, it was found that toxicity test of *Escherichia coli* with 0, 2.5 and 5.0 mg/l of TMTD were not able to inhibit the growth of *Escherichia coli*. In the other hand, toxicity test of bacteria from treated effluent with TMTD, it found that concentration of TMTD higher than 0.1 mg/l was able to inhibit the growth of bacteria from treated effluent. The toxicity test of *Escherichia coli* and bacteria from treated effluent with Zn, it was observed that the concentration of 0.005 mg/l of Zn was able to inhibit the growth of *Escherichia coli* and bacteria from treated effluent.

For hazard identification of TMTD and Zn in waste management system of concentrated latex industry by considering waste, in particularly centrifuged sludge, wastewater and sludge from wastewater treatment system, it was found that centrifuged sludge gave the most severe hazard followed by wastewater sludge and wastewater respectively. Hence, concentrated latex industry should strictly management and control centrifuged sludge.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ และรองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิมป์ และดร.ปุญญานิช อินทรพัฒน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่อง และแนะนำแนวทางในการทำการวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัททัทวินจำกัด บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์กรุ๊ปจำกัด บริษัทฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจำกัด และบริษัทไทยฮั้วยางพาราจำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างของเสียตลอดจนให้ข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในทุกส่วนของหน่วยงานคณะการจัดการสิ่งแวดล้อมที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มจนจบสำเร็จลุล่วงด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวรพงศ์ กฤตสัมพันธ์ และคุณแม่สรัญญา กฤตสัมพันธ์ เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนทุนทรัพย์มาตลอดการศึกษา ตลอดจนให้ความรัก ความห่วงใย ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจเสมอมา

ท้ายสุดขอขอบคุณ คุณจุรีรัตน์ ชูสิงห์ คุณสหัสชัย พิชัยยุทธ์ รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมา

ดวงกมล กฤตสัมพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	35
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	35
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	36
ขอบเขตการวิจัย	36
วัสดุ อุปกรณ์	36
วิธีการวิจัย	39
บทที่ 3 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	47
ผลการศึกษาจากโรงงานที่ศึกษา	47
ผลการศึกษาการคงอยู่/การย่อยสลายของ Zn/TMTD ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	60
ผลการศึกษาการคงอยู่และอัตราการย่อยสลายของ TMTD/Zn ในน้ำเสียที่ภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ	77
ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย	88
การอภิปรายผลของการเปรียบเทียบผลการศึกษาของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียจากการสำรวจภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการ	93
ผลการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย	98
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	99
สรุปผลการวิจัย	99
ข้อเสนอแนะการทำวิจัยเพิ่มเติม	100
เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก ก	106
ภาคผนวก ข	125
ประวัติผู้เขียน	132

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติและความเป็นพิษของ TMTD ระบุโดย US.EPA	4
2	คุณสมบัติและความเป็นพิษของ TMTD ระบุโดย OSHA	5
3	หน้าที่ทางชีวภาพและความเป็นพิษของสังกะสี	7
4	ระดับเกณฑ์มาตรฐานสังกะสีในดิน	8
5	วิธีการวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างกากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่างๆ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	41
6	วิธีการวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างน้ำเสีย	41
7	ผลการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา	48
8	ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น 4 โรงที่ศึกษา	53
9	ร้อยละของการบำบัดเฉลี่ยที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น	54
10	ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น	56
11	ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างกากขี้แป้ง	57
12	ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในกากขี้แป้ง	62
13	ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่กักพักไว้	67
14	ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ	72
15	สมการความสัมพันธ์แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD, Zn และ TN ในกากขี้แป้งและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อกักพักไว้ 30 วัน	76
16	สมการความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD และ Zn ในน้ำเสีย	87

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	สรุปผลที่ได้จากการศึกษา TMTD และ Zn ในตัวอย่างน้ำเสีย กากตะกอนจากน้ำเสียและกากขี้แป้งทั้งจากการสำรวจในภาคสนามและการศึกษาในห้องปฏิบัติการ	94
18	ผลการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	97

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น	13
2	การคำนวณค่า RfD หรือ ADI	23
3	uncertainty factor ที่ใช้ในการอนุมานผลจากสัตว์ทดลองไปสู่ประชากรทั่วไป	23
4	non-linear carcinogenic model	24
5	non-linear carcinogenic model และ MOE	26
6	กรอบแนวคิดการวิจัย	37
7	ชุดทดลองที่ใช้ศึกษาน้ำเสียในสภาวะที่มีอากาศ/ไม่มีอากาศ	44
8	ตำแหน่งที่จะวางแผ่นกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง	45
9	ผังแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา	49
10	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	51
11	สมดุลมวลของ TMTD และ Zn ในโรงงานน้ำยางข้น	59
12	ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นในกากขี้แป้งที่กักพักไว้ในขณะทดลอง	61
13	ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน	63
14	ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน	64
15	ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน	64
16	ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน	65
17	ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่กักพักไว้ในขณะทดลอง	67
18	ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน	68
19	ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน	69
20	ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน	70

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน	70
22	ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่กักพักไว้ในขณะทดลอง	72
23	ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน	73
24	ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน	74
25	ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน	74
26	ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน	75
27	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ	77
28	การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ	78
29	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ	79
30	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ TMTD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ	80
31	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Zn ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ	80
32	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ	81
33	การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ	82
34	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ	83
35	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ TMTD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ	83
36	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Zn ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ	84
37	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ที่พบในระบบ	85

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD	89
39	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD	89
40	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลาย Zn	90
41	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งในการทดสอบด้วยสารละลาย Zn	90
42	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลายผสมระหว่าง TMTD และ Zn	91
43	อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งหลังบำบัดในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD และ Zn	91
44	ลักษณะ inhibition zone ที่เกิดขึ้นของเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังบำบัด	92

บทที่ 1
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เป็นหนึ่งในสินค้าที่ทำรายได้จากการส่งออกปีละเป็นจำนวนมาก โดยพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคใต้ของประเทศ จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับยางพารามากมาย เช่น น้ำยางข้น ยางแท่ง ยางแผ่น ยางรมควัน ถุงมือยาง ยางรถยนต์ และชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งการที่จะนำผลผลิตจากต้นยางพาราไปใช้ประโยชน์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การนำไปใช้ในรูปของยางแห้ง (dry rubber) โดยผ่านกระบวนการผลิตยางแท่ง ยางเครฟ ยางแผ่นอบแห้ง ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง และ 2) การนำไปใช้ในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) โดยผ่านกระบวนการผลิตน้ำยางข้น หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางเหล่านี้จะถูกแปรรูปในอุตสาหกรรมปลายน้ำต่อไป

อุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในภาคใต้ ซึ่งมีวิธีการผลิตที่ทำกันในเชิงการค้าหลายวิธี วิธีที่สำคัญวิธีหนึ่ง คือ การปั่น (centrifugation) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมีการเติมสารเคมีในกระบวนการผลิต สารเคมีที่เติมในน้ำยางสดก่อนการปั่นแยกได้แก่ ammonia (ในรูปสารละลาย), tetramethylthiuram disulfide (TMTD), zinc oxide (ZnO) และ diammonium phosphate (DAP) เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) ซึ่งสาร TMTD และ zinc (Zn) เป็นสารเคมีที่โรงงานน้ำยางข้นใช้เติมในกระบวนการผลิตเพื่อใช้เป็นสาร accelerator และรักษาสภาพของยาง โดยที่ TMTD เป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำและจัดเป็นสารอันตรายตาม Directive 67/548/EEC นอกจากนี้ TMTD สามารถสลายตัวได้ทางชีววิธีและมีความคงทนในดิน รวมทั้งมีรายงานระบุว่าสาร TMTD นี้สามารถก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในรูปของไนโตรซามีนได้ ซึ่งไนโตรซามีนเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) กับเอมีนทุติยภูมิ โดยแหล่งที่มาที่สำคัญของเอมีนทุติยภูมิในอุตสาหกรรมยางคือจากสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (sulfur accelerator) ที่มีหมู่เอมีนทุติยภูมิอยู่ในโครงสร้าง โดยสารตัวเร่งที่ทำให้เกิดไนโตรซามีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ด้วยกัน ดังต่อไปนี้ ซัลฟีนาไมด์ ไดไทโอคาร์บาเมต และไทยูแรม เมื่อเอมีนเข้าทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนออกไซด์ (ปฏิกิริยาไนโตรเซชัน) จะได้ไนโตรซามีน (R_2-N-N=O) ออกมา (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย, 2552) ส่วน Zn ก็จัดเป็นสารอันตรายเช่นเดียวกับสาร TMTD ตาม Directive 67/548/EEC

(ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี, 2551) ซึ่งเป็นระเบียบว่าด้วยสารเคมีของสหภาพยุโรปที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกประเภทความเป็นอันตราย ภาชนะบรรจุ และการติดฉลากสำหรับสารเคมีอันตราย

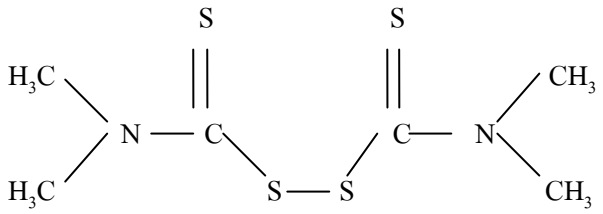
ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นเพื่อเข้าใจถึงลักษณะการปรากฏอยู่และประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น เพื่อจะได้นำผลไปสู่การหาวิธีการจัดการกับของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. Tetramethylthiuram disulfide (TMTD) : ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมี และความเป็นอันตรายของ TMTD จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของกรมควบคุมมลพิษ (2551) มีดังนี้

- ชื่อเคมี IUPAC : Tetramethylthioperoxydicarbonothioic diamine
- ชื่อเคมีทั่วไป : Bis(dimethylthiocarbamoyl)disulfide
- สูตรโมเลกุล : $C_6H_{12}N_2S_4$
- สูตรโครงสร้าง :



- รหัส CAS NO. : 137-26-8
- สถานะ : ผงหรือผลึกของแข็ง
- สี : ขาว-เหลือง-เทาอ่อน
- กลิ่น : เฉพาะตัว
- น้ำหนักโมเลกุล : 240.44
- จุดเดือด (°C) : 129
- จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : 155 – 156

- ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1) : 1.29

- ความดันไอ (มม.ปรอท) : 0 ที่ 20 °C

- ความหนาแน่นไอ (อากาศ = 1) : 8.29

- ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.) : 103

- LD_{50} (มก./กก.) : 780 – 1300 (หนู)

- LC_{50} (มก./$ม^3$.) : 500/4 ชั่วโมง (หนู)

- IDLH (ppm) : 10

- PEL-TWA (ppm) : 5

- TLV-TWA (ppm) : 0.1

- พรบ.วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 : ชนิดที่ 3

- สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ เป็นอันตรายและทำให้วิงเวียนศีรษะ ไอ เจ็บคอ

- สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้เกิดภาวะภูมิไวต่อการสัมผัสทางผิวหนัง

- กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้วิงเวียนศีรษะ

- สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

- การก่อมะเร็งและความผิดปกติอื่นๆ : อวัยวะเป้าหมาย ตับ ไต ระบบประสาทส่วนกลาง

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมี และความเป็นอันตรายของ TMTD จาก US.EPA (2009) แสดงดังตารางที่ 1

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมี และความเป็นอันตรายของ TMTD จาก OSHA (2009) แสดงดังตารางที่ 2

1.1 ปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตและการสลายตัว (fate and degradation)

1.1.1 การปรากฏอยู่ในมนุษย์และสัตว์ (fate in humans and animals)

ในร่างกาย carbon disulfide ถูกเปลี่ยนรูปจากการย่อยสลายของ thiram และมีส่วนทำให้ความเป็นพิษของ thiram ไปสู่ตับ (Edwards *et al*., 1991; Kidd and James, 1991 อ้างโดย

Sharma *et al*., 2003) thiram ไม่ใช่สมาชิกของสารเคมีกลุ่ม ethylene (bis) dithiocarbamate (EBDC) ดังนั้นจึงไม่ทำให้เกิด ethylenethiourea (ETU) (Edwards *et al*., 1991 อ้างโดย Sharma *et al*., 2003)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและความเป็นพิษของ TMTD ระบุโดย US.EPA

Name	Tetramethyl thiuram disulfide
CAS No.	137-26-8
Molecular weight	240.4
Melting Point	145 – 155 °C (decomposes)
Boiling Point	129 °C @ 20 mm Hg (decomposes)
Relative Density	1.3 – 1.4 g/cm^3 @ 25 °C
Vapour Pressure	2.3 x 10^{-5} hPa @ 25 °C
Partition Coefficient (log Pow)	1.73
Water Solubility	30 mg/l @ 20 °C
acute oral LD_{50}	1080 mg/kg
acute dermal LD_{50}	>2000 mg/kg
acute inhalation LC_{50}	4.4 mg/l

ที่มา : US.EPA (2009)

1.1.2 การย่อยสลายในดินและน้ำใต้ดิน (breakdown in soil and groundwater)

thiram มีการคงอยู่ต่ำถึงปานกลาง เกือบจะไม่เคลื่อนที่ในดินเหนียวหรือในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง เพราะว่าละลายในน้ำได้เพียงเล็กน้อย (30 mg L^{-1}) และมีแนวโน้มชัดเจนว่าดูดซับในอนุภาคดิน thiram ถูกคาดว่าไม่น่าจะปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ครึ่งชีวิตในดินสำหรับ thiram มีรายงานว่าอยู่ที่ 15 วัน (Wauchope *et al*., 1992 อ้างโดย Sharma *et al*., 2003) thiram สลายตัวอย่างรวดเร็วในดินที่เป็นกรดและในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง ในดินทรายที่มีฮิวมัส ที่ pH 3.5 thiram ย่อยสลายอย่างสมบูรณ์หลังจาก 4 – 5 สัปดาห์ ในขณะที่ pH 7.0 thiram ย่อยสลายหลังจาก 14 – 15 สัปดาห์ thiram คงอยู่เป็นเวลามากกว่า 2 เดือนในดินทราย แต่หายไปภายใน 1 สัปดาห์จากดินที่หมัก ตัวการเผาผลาญที่สำคัญของ thiram ในดิน คือ copper dimethyldithiocarbamate, dimethylamine และ carbon disulfide (Howard, 1989 อ้างโดย Sharma *et al*., 2003) ในดิน thiram จะสลายตัวโดย

กิจกรรมของจุลินทรีย์หรือโดยปฏิกิริยา hydrolysis ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด thiram จะไม่ระเหยกลายเป็นไอจากผิวดินที่เปียกหรือแห้ง (Howard, 1989 อ้างโดย Sharma *et al*., 2003)

1.1.3 การย่อยสลายในน้ำ (breakdown in water)

ในน้ำ thiram ย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยปฏิกิริยา hydrolysis และ ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยการใช้แสง (photodegradation) โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่เป็นกรด thiram อาจจะถูกดูดซับไปยังอนุภาคแขวนลอยหรือไปยังตะกอน (Wauchope *et al*., 1992 อ้างโดย Sharma *et al*., 2003)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติและความเป็นพิษของ TMTD ระบุโดย OSHA

Name	Thiram
Synonym (s)	bis-(Dimethylthiocarbamoyl)disulfide, Tetramethylthiuram disulfide, TMTD
CAS	137-26-8
Molecular weight	240
Boiling Point	Decomposes
Vapour Pressure	approx. 0 mm
Melting Point	155 – 156 °C
Incompatible	Strong oxidizers and acids, oxidizable materials
OSHA GENERAL INDUSTRY PEL	5 mg/m^3
OSHA CONSTRUCTION INDUSTRY PEL	5 mg/m^3 TWA
ACGIH TLV	1 mg/m^3 TWA
NIOSH REL	5 mg/m^3 TWA

ที่มา : OSHA (2009)

2. สังกะสี (zinc : Zn)

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและเคมี และความเป็นอันตรายของ Zn จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของกรมควบคุมมลพิษ (2551) มีดังนี้

- ชื่อเคมี IUPAC : Zinc

- ชื่อเคมีทั่วไป : Zinc dust

- ชื่อพ้องอื่นๆ : Blue powder; Zinc Powder or Dust

- สูตรโมเลกุล : Zn – ZnO

- รหัส CAS NO. : 7440-66-6

- สถานะ : ผง, ของแข็ง

- สี : เทา

- น้ำหนักโมเลกุล : 65.37

- จุดเดือด (°C) : 906

- จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : 420

- ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1) : 7.1

- ความดันไอ (มม.ปรอท) : 0.99

- ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.) : ไม่ละลาย

- TLV-TWA (ppm) : 10 mg/m^3

- สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นไข้ หนาวสั่น (meal fever) ไอ

- สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง

- กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไปอาจเกิดอาการหนาวสั่น เป็นไข้ ท้องร่วง อาเจียน เป็นตะคริวในท้อง อ่อนเพลีย

- สัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง

- การก่อมะเร็ง : ผงสังกะสี ฝุ่น และฟูม/ก๊าซของสารไม่เป็นพิษต่อมนุษย์โดยการหายใจเข้าไป

- ความผิดปกติ, อื่นๆ : การหายใจเข้าไปทำให้มีรสหวาน, คอแห้ง, ไอ, อ่อนเพลีย, หนาว, เป็นไข้, คลื่นไส้, อาเจียน

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร

- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : ความชื้น

- สารที่เข้ากันไม่ได้ : ก๊าซฮาโลเจน กรด เบส สารออกซิไดซ์ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงหรือเป็นสาเหตุทำให้ไฮโดรเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง

- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ความร้อนจะทำให้เกิดฟูมของซิ้งค์ออกไซด์

- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ฝุ่นปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดลุกไฟขึ้นเองและลุกไฟติดเมื่อสัมผัสอากาศ การสัมผัสกับกรดหรืออัลคาไลด์ไฮดรอกไซด์จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ระเบิดได้ เมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิดซิ้งค์ออกไซด์

สังกะสีเป็นจุลธาตุประจุบวก (cationic micronutrient) จัดเป็นจุลธาตุอาหารซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ช่วงปริมาณพอเหมาะสำหรับพืชก็แคบมาก ซึ่งหมายความได้ว่าหากพืชได้รับจุลธาตุอาหารที่น้อยกว่าช่วงพอเหมาะก็จะแสดงสภาพขาด (deficiency) แต่หากได้รับมากเกินไปเพียงปริมาณไม่มากก็จะเริ่มเกิดสภาพพิษ (toxicity) (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) แต่ก็มีความสำคัญเช่นเดียวกับธาตุอื่นๆ ที่จำเป็นต่อพืช โดยทั่วไปสังกะสีเป็นธาตุที่มีอยู่ในดินน้อยกว่าเหล็กและแมงกานีส ซึ่งเป็นจุลธาตุประจุบวกเช่นกัน (จำเป็น อ่อนทอง, 2550)

สังกะสีเป็นจุลธาตุที่เป็นโลหะธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่ม transition element ในตารางธาตุ มีหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด แต่สังกะสีในปริมาณสูงก็กลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้มากมายเช่นกัน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ซึ่งหน้าที่ทางชีวภาพและความเป็นพิษของสังกะสีแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หน้าที่ทางชีวภาพและความเป็นพิษของสังกะสี

ธาตุ	หน้าที่ทางชีวภาพ	ผลของความเป็นพิษเมื่อมีอยู่มากเกินไป
สังกะสี	alkaline phosphatase, carboxypeptidase, carbonic anhydrase, aldolase, alcohol dehydrogenase	I

หมายเหตุ : I = รบกวนระบบควบคุมหรือกระบวนการเมทาบอลิซึม

ที่มา : Zingaro (1979) อ้างโดย ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2545)

สังกะสีเป็นสารมลพิษที่เกิดปัญหาได้ในระยะสั้น จึงเกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้โดยรวดเร็ว แต่จะมีระดับความเป็นพิษไม่รุนแรงเท่ากับธาตุที่ไม่ใช่จุลธาตุอาหาร และสังกะสีจะเริ่มเป็นพิษต่อพืชก่อนที่มนุษย์และสัตว์จะกินเข้าไป (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

2.1 สังกะสีในดินและพืช

ค่าสูงสุดของสังกะสีที่ถือเป็นค่ายอมรับได้ให้มีอยู่ในดิน โดยที่ไม่เกิดเป็นพิษค่าที่รับได้เท่ากับ 110 ppm และค่าที่เริ่มอาการเป็นพิษในพืชเท่ากับ 250 – 400 ppm (Pendias and

Pendias, 1992 อ้างโดย ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และระดับเกณฑ์มาตรฐานของสังกะสีของแต่ละหน่วยงานแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับเกณฑ์มาตรฐานสังกะสีในดิน

ระดับเกณฑ์พื้นฐาน	สังกะสี
1. ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน (มก./กก.) [1/]	300
2. ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน (มก./กก.) [2/]	70
3. ค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร (มก./กก.) [3/]	3,000
4. ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินในพื้นที่การเกษตรและที่อยู่อาศัย (มก./กก.) [4/]	< 100
5. ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (มก./กก.) [5/]	280 – 300
6. ปริมาณสังกะสีระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (มก./กก.) [6/]	500 – 1,500

หมายเหตุ : [1/] มาตรฐานของโลหะหนักในดิน กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป

[2/] เอกสารวิชาการ “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย

[3/] วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 20 เล่ม 4 ต.ค. – ธ.ค. 2541

[4/] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[5/] Webber *et al.*, 1984

[6/] Channey, 1982

ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมวิชาการเกษตร (2552)

การสลายตัวของแร่สังกะสีทำให้ได้สังกะสีในรูป Zn^{2+} ซึ่งเคลื่อนย้ายได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด แต่เมื่ออยู่ในดินก็จะถูกดูดซับโดยแร่และสารอินทรีย์ จึงพบการสะสมของสังกะสีได้ในดินบน รูปของสังกะสีที่พบได้มากที่สุดในดินคือรูป Zn^{2+} สังกะสีในรูปอื่นอาจปรากฏให้เห็นได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

รูปแคตไอออน : Zn^{2+}, $ZnCl^{+}$, $ZnOH^{+}$, $ZnHCO_3^{+}$

รูปแอนไอออน : ZnO_2^{-}, ZnO_2^{2-}, $Zn(OH)_3^{-}$

สารประกอบ : $Zn(OH)_2$, ZnO, $Zn_3(PO_4)_2.H_2O$, $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$, $ZnCO_3$

(ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

ในดินมีสังกะสี 10 – 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีที่พืชดูดไปใช้คือสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ซึ่งมีอยู่ในสารละลายดินน้อยมาก และ

สังกะสีในสารละลายดินมากกว่าครึ่งหนึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่กับอินทรียวัตถุ (Halvin *et al.*, 1999 อ้างโดย จำเป็น อ่อนทอง, 2550) ซึ่งมีความสามารถในการแพร่กระจายไปยังรากได้ดีกว่าสังกะสีไอออน และถ้าดินมีพีเอชมากกว่า 7.7 สังกะสีในสารละลายดินก็จะอยู่ในรูป $ZnOH^+$ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นประโยชน์กับพืช (จำเป็น อ่อนทอง, 2550)

ประโยชน์ของสังกะสีในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การชุบโลหะ การทำบรอนซ์ ภาชนะโลหะเคลือบ สี น้ำยารักษาคุณภาพไม้ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น โลชั่นบำรุงผิว ยาสระผมกันรังแค ยารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค ในทางเกษตรใช้เป็นสารคลุกเมล็ดฆ่าเชื้อรา (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และอุตสาหกรรมยาง เป็นต้น โดยในที่นี้ขอกล่าวเฉพาะสังกะสีในอุตสาหกรรมยาง โดยจะใช้ในรูป zinc oxide (ZnO) ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตและรักษาสภาพยาง

ข้อมูลพิษวิทยาของ zinc oxide มีทั้งพิษเฉียบพลันและข้อมูลด้านการระคายเคือง โดยพิษเฉียบพลัน LDLO ทางปากของคนเท่ากับ 500 mg/kg LD_{50} ในเยื่อบุช่องท้องของหนู (rat) เท่ากับ 240 mg/kg LD_{50} ทางปากของหนู (mouse) เท่ากับ 7,950 mg/kg LC_{50} การสูดดมของหนู (mouse) เท่ากับ 2,500 mg/m^3 ข้อมูลด้านการระคายเคืองเมื่อได้รับสัมผัสทางผิวหนังและดวงตาของกระต่ายเท่ากับ 500 mg/24 hr

3. การผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นคล้ายน้ำนม มีอนุภาคขนาด 0.05 – 0.5 ไมครอน ในน้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25 – 45 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีการกรีดยาง โดยทั่วไปน้ำยางสดประกอบด้วยสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดร้อยละ 36 เนื้อยางแห้งร้อยละ 33 โปรตีนและไขมันร้อยละ 1.0 – 1.2 คาร์โบไฮเดรตและเถ้าร้อยละ 1.0 ความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิลิตร และมีค่าความเป็นกรด – ด่าง 6.5 – 7.0 ซึ่งต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ และมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้น ช่วยให้เกิดการประหยัดที่ไม่ต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่ใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบในระยะทางไกล ๆ โดยการทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นถึงร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้ง โดยผ่านกรรมวิธีแยกของเหลวออกบางส่วน ซึ่งนอกจากจะทำให้ประหยัดในการขนย้ายแล้วยังทำให้ผลผลิตน้ำยางข้นที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอและดีกว่าน้ำยางสด (ผลชิต บัวแก้ว, 2531)

น้ำยางสดที่ได้จากสวนยาง ถ้าไม่ใส่สารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว น้ำยางจะเสียสภาพ คือ เกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากกรีดยาง ซึ่งการเสียสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียกับสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่น้ำยาง ดังนั้นการที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นน้ำยางข้น จึงจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นน้ำยาง ซึ่งสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด โดยมีรายละเอียดคือ

- แอมโมเนีย :

แอมโมเนียเป็นตัวการสำคัญที่กีดขวางการเจริญของแบคทีเรียที่ปะปนในน้ำยาง ปกติสภาพน้ำยางจะพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย (VFA No., volatile fatty acid No.) ซึ่งจะเป็นค่าบ่งชี้สภาวะการเจริญของแบคทีเรียในน้ำยาง การเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียใน น้ำยางขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้ ช่วงระยะเวลาและการสุขาภิบาลน้ำยางสดตั้งแต่เริ่มไหลออกจากต้น ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้อย่างน้อยต้องพอเพียงรักษาน้ำยางไว้ได้ 1 วัน ขึ้นไป ในทางปฏิบัติมักใช้แอมโมเนีย 0.3 – 0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด

- แอมโมเนียร่วมกับสารช่วย :

การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวรักษาน้ำยางสด ไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ การใช้สารเคมีช่วยซึ่งเป็น secondary preservative เช่น ZnO, tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนียจะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียตามลำพัง

ZnO มีความสามารถทำลายแบคทีเรียในน้ำยางได้ การใช้ ZnO 0.05 เปอร์เซ็นต์กับแอมโมเนีย 0.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด จะรักษาจำนวนกรดไขมันระเหยให้ได้คงที่นานถึง 2 สัปดาห์ และได้มีการทดลองพบว่าการใช้ ZnO ร่วมกับ TMTD ในอัตราส่วนเท่าๆ กัน เพื่อเป็นสารช่วยแอมโมเนียรักษาน้ำยางจะช่วยส่งเสริมการรักษาน้ำยาง TMTD/ZnO ในอัตรา 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด ร่วมกับแอมโมเนียปริมาณ 0.2 – 0.35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด จะรักษาน้ำยางสดที่มี VFA No. ตั้งแต่แรกต่ำกว่า 0.02 ไว้ได้นานถึง 10 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นที่สำคัญ ๆ ได้แก่

1) ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสดให้เป็นขี้แป้ง ซึ่งจะต้องทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 คืน โดยปริมาณการใช้ DAP นั้นขึ้นกับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดคือ ถ้าในน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมมากจะต้องใช้ DAP มากและปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับดินที่ปลูกยางพารา คือ ถ้าดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูง จะทำให้น้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงด้วย โดยน้ำยางสดที่นำมาปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm ในของแข็งทั้งหมด และปริมาณการใช้ DAP ต่อปริมาณแมกนีเซียม คือ Mg : DAP = 1 : 5.5

2) แอมโมเนีย เป็นสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางโดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยางแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) การรักษาสภาพน้ำยางสดที่กรีดได้ก่อนส่งโรงงานซึ่งจะใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นประมาณ 15 – 20 % โดยน้ำหนัก และ (2) การรักษาคุณภาพน้ำยางข้นซึ่งจะเติมหลังจากการปั่นแยก โดยในการเติมปริมาณแอมโมเนียแบ่งตามประเภทการผลิตน้ำยางข้น คือ น้ำยางข้นชนิด low ammonia (LA) : เติมแอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นในปริมาณแอมโมเนียที่น้อยกว่า 0.29 % ของน้ำยาง และน้ำยางข้นชนิด high ammonia (HA) : เติมปริมาณแอมโมเนีย 0.3 – 0.7 % ของน้ำยาง

3) กรดซัลฟูริก เป็นสารเคมีที่ใช้ในการจับตัวของหางน้ำยาง แต่การใช้กรดซัลฟูริกที่มากเกินไปจะทำให้ยางเปื่อยและเสื่อมง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ยางสกิมไม่ได้คุณภาพ นอกจากนี้ปริมาณกรดซัลฟูริกมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางที่เข้าบ่อจับตัว คือ ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมากจะต้องเติมปริมาณกรดซัลฟูริกมากด้วย ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมในการจับตัวของยางสกิม คือ 24 ชั่วโมง ถ้าจำเป็นต้องจับตัวด้วยเวลาที่น้อยกว่านี้จะต้องใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกมากขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

3.2 วิธีการผลิต

วิธีการผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

(1) วิธีระเหยน้ำ น้ำยางข้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่สารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก เช่น การผลิตกาว latex-cement

(2) วิธีการทำให้เกิดครีม โดยเติม creaming agent ต่างๆ เช่น sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่สามารถให้น้ำยางข้นที่บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อย

(3) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า อนุภาคยางที่แขวนลอยในซีรั่มต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บ๊อกซิลิกอิออนที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากซีรั่มได้ โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้ แล้วอนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวขึ้นสูงสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของเซรุ่ม วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นวิธีที่นิยมกัน

(4) วิธีการปั่น เป็นวิธีที่มีการใช้กันโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางมากที่สุดในการผลิตน้ำยางข้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว โดยมีกระบวนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 1

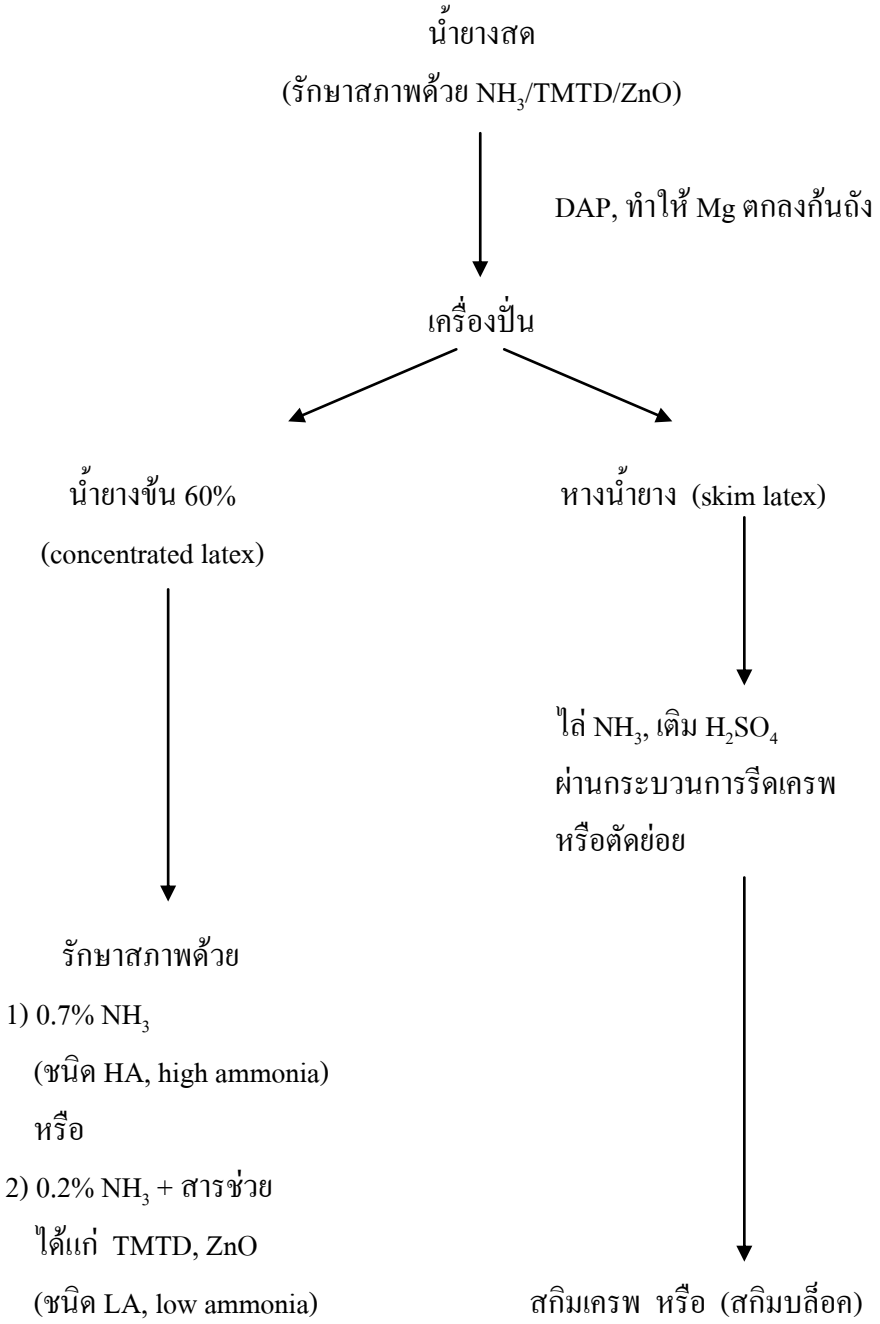
ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีขั้นตอนโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1) การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัวด้วยแอมโมเนียและ TMTD/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด จากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนีย เนื่องจากเกิดการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด นอกจากนี้จำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดทุกวัน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีที่ช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียม และมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดมีการปนเปื้อนได้

2) การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่นแยกด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อให้น้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4 % โดยน้ำหนัก และเติม diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นขี้แป้ง และทิ้งไว้ 1 คืน สำหรับน้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูง ซึ่งน้ำยางที่จะนำมาปั่นแยก ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรเกิน 20 ppm นอกจากนี้ปริมาณกรด (volatile fatty acid : VFA) ไม่ควรเกิน 0.05 % หากเกินให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีค่าไม่เกิน 0.05 %

3) การปั่นแยก อาศัยหลักการคือน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนี่ยน ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นการปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60 % ซึ่งเครื่องปั่นยางขนาดเล็ก สามารถป้อนน้ำยางสดได้ประมาณ 150 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนเครื่องขนาดใหญ่

สามารถป้อนน้ำยางสดได้ 400 – 600 ลิตร/ชั่วโมง และในการปั่นแยกยางจะมีการล้างเครื่องปั่นยางทุก ๆ 2 หรือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากการอุดตันของยางและกากขี้แป้งบริเวณหัวโบว์ลของเครื่องปั่นยาง โดยในการล้างแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการล้างนานประมาณ 10 – 15 นาที



ภาพที่ 1 ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2536)

4) การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะถูกนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวของเนื้อยางเพื่อผลิตยางสกิม เนื่องจากถ้าหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการจับตัวของเนื้อยางเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยางด้วยการใช้ถาดไล่แอมโมเนียหรือเครื่องกวน

5) การผลิตยางสกิม หางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว จะถูกเติมด้วยกรดซัลฟูริกเพื่อให้เนื้อยางจับตัวกัน ในขั้นตอนนี้จะได้ก้อนยางสกิมที่จับตัวกันและสามารถนำไปขายได้ นอกจากนี้ก้อนยางสกิมนี้สามารถนำไปผลิตเป็นยางสกิมเครพหรือสกิมบล็อคต่อไปดังนี้

- การผลิตยางสกิมเครพ โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออกจากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำไปอบในเตาอบแล้วบรรจุหีบห่อ
- การผลิตยางสกิมบล็อค โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออก จากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำยางไปตัดด้วยเครื่องตัดย่อยแล้วนำไปอบในเตาอบ นำมาอัดแท่งและบรรจุหีบห่อ

6) การดักยาง (แยกยางขายจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น การตกค้างในบ่อรับน้ำยางสด เครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางข้นด้วยการเติมโพลิเมอร์ต่าง ๆ หรือจากบ่อดักยาง ซึ่งยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาที่ต่ำเนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

7) การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ในกรณีที่โรงงานไม่ได้ใช้แอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียแห้งหรือแอมโมเนียเหลว แต่ใช้ในรูปสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนีย โรงงานจะต้องเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นประมาณ 10 % ซึ่งในการเตรียมสารละลายแอมโมเนียผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน และส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

3.3 สารทดแทนเพื่อลดปัญหาของเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

จากการศึกษารายงานเอกสารพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเทคนิคการแยกเนื้อยางออกจากกากขี้แป้ง รวมถึงการดึงกลับเนื้อยางจากกระบวนการผลิตยางสกิมของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีดังนี้

1) สารจับตัวน้ำยางสกิมประสิทธิภาพสูง

ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาสารจับตัวน้ำยางสกิมที่มีประสิทธิภาพสูงทดแทนหรือลดการใช้กรดซัลฟูริก โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้เริ่มโครงการพัฒนาจับตัวน้ำยางสกิมประสิทธิภาพสูงหรือ GRASS 0 (GRASS : green rubber recovery agent from skim and sludge) และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องอย่างครบวงจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับตัวน้ำยางสกิม โดยได้พัฒนาสาร GRASS 0 ให้มีความหลากหลายตรงตามความต้องการของโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดย GRASS 0 จะประกอบด้วย GRASS 0.1 และ GRASS 0.2 ซึ่งมีจุดเด่นแตกต่างกัน 2 ชนิดดังต่อไปนี้

(1) GRASS 0.1 : สารจับตัวน้ำยางสกิมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรวบรวมเนื้อยาง สามารถจับตัวเนื้อยางได้เพิ่มขึ้นประมาณ 5 %

(2) GRASS 0.2 : สารจับตัวน้ำยางสกิมเพื่อสิ่งแวดล้อม สามารถลดการใช้กรดในกระบวนการจับตัวน้ำยางสกิม ได้ประมาณ 30 % และน้ำทิ้งเป็นกลาง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2550 อ้างโดย วุฒิไกร คงปาน, 2554)

น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นในกระบวนการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสาร GRASS 0 (GRASS 0.1 และ GRASS 0.2) จะมีค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งละลายน้ำ ใกล้เคียงกับน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นในกระบวนการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟูริก แต่ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำกว่าซัลฟูริก ส่วนปริมาณซัลเฟตและค่าความเป็นกรดด่างของน้ำทิ้งจะขึ้นอยู่กับสาร GRASS 0 ที่เลือกใช้

กระบวนการจับตัวน้ำยางสกิมโดยใช้สาร GRASS 0 สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว เก็บรวบรวมเนื้อยางได้ยางสมบูรณ์ ใช้ได้ทั้งน้ำยางสกิมใหม่และน้ำยางสกิมเก่า ได้เนื้อยางแห้งมีคุณภาพสูง รวมถึงใช้ปริมาณสาร GRASS 0 น้อยและสามารถกำหนดค่าความเป็นกรดด่างของน้ำทิ้งไว้ตามต้องการโดยมีต้นทุนเท่ากับ 47.3 บาท และ 130 บาท ต่อ 1 ตันยางสกิม (สุรพิชญ ลอยกุลนันท์, 2552 อ้างโดย วุฒิไกร คงปาน, 2554)

2) การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางข้นด้วยสาร GRASS 5

ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้พัฒนาสารเคมีชื่อว่า GRASS 5 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางข้น โดยลดการสูญเสียเนื้อยางในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เมื่อนำน้ำยางสดที่มีการเติมสาร GRASS 5 ไปผ่านกระบวนการลดแมกนีเซียมไอออน จะมีตะกอนขี้แป้งที่ก้นถังน้ำยางสดมากกว่าในกรณีของน้ำยางสดที่ไม่มีการเติมสาร GRASS 5 แต่ในทางกลับกันจะมี

ตะกอนขี้แป้งที่หัวโบว์ลของเครื่องเซ็นตริฟิวจ์น้อยกว่า เมื่อนำน้ำยางสดที่มีการเติมสาร GRASS 5 ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงในเครื่องเซ็นตริฟิวจ์ จะได้น้ำยางข้นที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางสูงกว่าในกรณีของน้ำยางสดที่ไม่มีการเติมสาร GRASS 5 แต่ในทางกลับกันจะได้น้ำยางสกิมที่มีความเข้มข้นเนื้อยางต่ำกว่า (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554 อ้างโดย วุฒิไกร คงปาน, 2554)

สาร GRASS 5 สามารถช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อยางในน้ำยางข้นและลดการสูญเสียเนื้อยางในน้ำยางสกิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ สามารถเร่งการตกตะกอนขี้แป้งในบ่อน้ำยางสด และลดการอุดตันของตะกอนขี้แป้งในหัวโบว์ลของเครื่องเซ็นตริฟิวจ์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นการช่วยทำให้การล้างเครื่องเซ็นตริฟิวจ์มีจำนวนครั้งน้อยลง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554 อ้างโดย วุฒิไกร คงปาน, 2554)

3) เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางและสารอนินทรีย์ออกจากกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติ

ห้องปฏิบัติการน้ำยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ได้พัฒนาเทคโนโลยีแยกเนื้อยางออกจากกากตะกอนธรรมชาติขึ้นเรียกว่า GRASS 3 เพื่อทำให้เกิดประโยชน์ของการนำกลับเนื้อยางจากกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถนำเนื้อยางกลับมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้เนื้อยางที่มีคุณภาพดีและได้สารอนินทรีย์ที่มีความบริสุทธิ์สูงเหมาะกับนำไปใช้เป็นปุ๋ย สามารถแยกเนื้อยางออกจากกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติจากเครื่องปั่นเหวี่ยงและก้นบ่อน้ำยางสดได้ปริมาณมากถึง 18 % และ 30 % ตามลำดับ และแยกสารอนินทรีย์ออกจากกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติจากเครื่องปั่นเหวี่ยงและจากก้นบ่อน้ำยางสดได้ปริมาณมากถึง 70 % และ 56 % ตามลำดับ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554 อ้างโดย วุฒิไกร คงปาน, 2554)

4. ของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น

วันชัย แก้วยอด (2540) ได้ดำเนินการสำรวจโรงงานยางจำนวน 9 โรงงานในจังหวัดสงขลา และพบว่าในการผลิตน้ำยางข้น โรงงานส่วนใหญ่ใช้สารเคมีหลักๆ ได้แก่ tetramethyl triuram disulfide (TMTD), zinc oxide (ZnO), ammonia, diammonium phosphate, lauric acid, sodiumsulfide ฯลฯ และในการผลิตจะทำให้เกิดของเสียที่สำคัญขึ้น 2 ประเภท คือ

1) น้ำเสีย ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นมีความแตกต่างกัน ระหว่าง 2.7 – 5.5 ลูกบาศก์เมตรต่อผลผลิตน้ำยางข้น 1 ตัน และมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตยางสกิมเครฟระหว่าง 24.9 – 65.3 ลูกบาศก์เมตรต่อผลผลิตยางสกิมเครฟ 1 ตัน และน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า BOD_5 ระหว่าง 1,825 – 3,766 มก./ล. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยระหว่าง 1,082 – 3,130 มก./ล. มี pH ในช่วง 8.56 – 9.40 และการผลิตยางสกิมเครฟ น้ำเสียมีค่า BOD_5 ระหว่าง 6,533 – 14,566 มก./ล. มีของแข็งแขวนลอยระหว่าง 456 – 933 มก./ล. และมีค่า pH ระหว่าง 1.37 – 6.37 และลักษณะน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละช่วงเวลาจะต่างกัน จึงส่งผลให้การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นอยู่โดยรวมมีประสิทธิภาพไม่สูงเท่าที่ควรและยากต่อการควบคุมระบบบำบัด

2) ของเสียของแข็ง ที่เรียกว่า “กากขี้แป้ง” ซึ่งเป็นตะกอนจากถังพักน้ำยาง และจากการปั่นน้ำยางโดยของเสียนี้เกิดขึ้นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น

สำหรับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น พบว่าส่วนใหญ่จะจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ระบบบ่อปรับเสถียรที่ไม่มีบ่อเติมอากาศ และระบบบ่อปรับเสถียรที่มีบ่อเติมอากาศ และส่วนใหญ่โรงงานจะมีการใช้บ่อดักยางในการบำบัดเบื้องต้นก่อนปล่อยเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีววิธี ระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้ศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ (BOD_5) ระหว่าง 75 – 99% น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดยังคงมีสารอินทรีย์ (BOD_5) ระหว่าง 28 – 1,270 มก./ล. และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยระหว่าง 85 – 635 มก./ล. ซึ่งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539

อาภรณ์ รักเกิด (2542) ได้ทำการประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา และศึกษาวิธีการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวประเภทเกาะผิว ได้รายงานว่า น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้นจะมีสารปนเปื้อนในรูปของ TKN เฉลี่ยต่อโรงเท่ากับ 417 กก.TKN/วัน/โรง และอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 279 กก.NH_3-N/วัน/โรง มีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 138 กก.Org-N/วัน/โรง ในน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นจะมีแอมโมเนียไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 65 ของไนโตรเจนทั้งหมด และมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนร้อยละ 34 และไนไตรทไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่เป็นอยู่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ร้อยละ 52 – 98 น้ำที่บำบัดแล้วยังมีไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 101 มก./ล. แอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 75 มก./ล. และสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 26 มก./ล. คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม 22 กก.TKN/วัน/โรง

ผลจากการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวประเภทเกาะผิวในห้องปฏิบัติการ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกิริยา จะสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกิริยา โดยพบว่าการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เฉลี่ย 41.03 g BOD_5 /m^2.d อัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย 12.95 g TKN/m^2.d และมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบเฉลี่ย 20 วัน จะสามารถบำบัดได้ดีที่สุดทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ร้อยละ 98 และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 92

พงศ์นรินทร์ ปราบนคร (2543) ได้ศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นและศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นด้วยการลอยตัวของตะกอนในบ่อดักยาง พบว่า น้ำเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.18 ลบ.ม./ตันการผลิต และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้นมาจาก 2 แหล่ง คือ จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม ในการผลิตน้ำยางข้นน้ำเสียจะมีค่าซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 1,001 มก./ล. ในขณะที่น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิมมีค่าซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 4,710 มก./ล. และผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาถึงการบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีลอยตัวตะกอนในบ่อดักยาง พบว่าสามารถดำเนินการได้โดยการควบคุมการผสมน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นและการผลิตยางสกิมเข้าด้วยกันโดยให้มีค่า pH เท่ากับ 4.5 จะสามารถลดมลสารในน้ำเสียได้ดีที่สุด โดยสามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 99 ลดค่าซัลเฟตได้ร้อยละ 48 ลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 16 และได้เนื้อยาง 7.29 กรัม/น้ำเสีย 1 ลิตร และผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องพบว่า การให้อากาศตลอดทั้งถังและใช้ระยะเวลาในการเก็บกัก 45 นาที และควบคุมค่า pH เท่ากับ 4.5 จะสามารถลดสารมลพิษในน้ำเสียได้ดีที่สุด โดยลดค่าสารแขวนลอยได้ร้อยละ 98 ค่าบีโอดีได้ร้อยละ 81

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์ (2539) ได้ศึกษาสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้น และได้รายงานว่า น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นจะมีปริมาณซัลเฟตสูง ส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้ ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นคือ ค่าพีเอชและปริมาณสารประกอบซัลเฟตในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ และผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการของบ่อหมักไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นที่มีการควบคุมค่า pH เท่ากับ 6 พบว่า จะมีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นเฉลี่ยในช่วง 24 – 32 มก./ล. และที่ pH เท่ากับ 8 ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7 มก./ล. เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์จากรูป

ซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ pH เท่ากับ 6 มีค่าระหว่าง 28 – 34 ที่ pH เท่ากับ 7 มีค่าระหว่าง 16 – 20 และที่ pH เท่ากับ 8 มีค่าในช่วง 8.3 – 8.4 นอกจากนี้ยังได้รายงานว่าความสัมพันธ์ของปริมาณกลิ่นในรูปของ T.O.N ของน้ำเสียกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้อากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก โดยช่วงค่าที่ทดสอบความสัมพันธ์มีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 4 – 37 มก./ล. และปริมาณกลิ่นมีค่า T.O.N ระหว่าง 229 – 400 ปริมาณกลิ่นที่เกิดจากบ่อหมักไร้อากาศของการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นขึ้นกับหลายปัจจัย ผลจากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักสองปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกลิ่นคือ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบ การควบคุมปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบให้ลดลงเพียงประการเดียวอาจจะยังไม่ประสบผลสำเร็จในการบรรเทาปัญหาเรื่องกลิ่นของน้ำเสียได้

พัฒนวรรณ วิทยกุลและคณะ (2542) ได้ทำการรายงานผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดซัลเฟตในโรงงานน้ำยางข้นของจังหวัดสงขลาจำนวน 5 โรงงานพบว่า น้ำที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นจะมีค่าซัลเฟตลดลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซัลเฟตร้อยละ 83 – 99 % การลดค่าซัลเฟตพบได้สูงในระบบบ่อไร้อากาศมากกว่าระบบบ่อมีอากาศ และผลจากการทดลองใน batch test พบว่า ค่าคงที่การย่อยสลายซัลเฟตมีค่าเท่ากับ 0.200 – 0.240 day^{-1} สำหรับระบบที่มีการป้อนภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงและต่ำตามลำดับ โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายซัลเฟตจะเป็นแบบ first order reaction และผลการทดลองได้ระบุว่าความเข้มข้นของซัลเฟตอาจจะมีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสารอินทรีย์

วราศรี เถกประสิทธิ์ (2543) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเกิดกากขี้แป้ง และลักษณะของกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น รวมถึงทำการทดลองเพื่อนำกากขี้แป้งไปใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นปุ๋ยโดยทดสอบกับหญ้าสนาม ผลการศึกษาพบว่า กากขี้แป้งเกิดขึ้นเท่ากับ 9.7 – 10.3 กก. น้ำหนักเปียก/ตันน้ำยางสดที่ใช้ผลิต จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีพบว่ากากขี้แป้งประกอบด้วย N, P(P_2O_5), K(K_2O), Mg และ Zn เฉลี่ยในช่วง 2.06 – 2.14, 19.6 – 21.6, 1.8 – 2.1, 5.31 – 7.56 และ 0.51 – 1.01 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามลำดับ และพบว่ากากขี้แป้งมีสภาพไม่คงตัว สามารถถูกชะล้างหรือละลายได้ โดยเมื่อนำมาสกัดกับน้ำ กากขี้แป้งละลายได้ และให้ K, N ออกมาระหว่าง 69 – 88% และ 11 – 12% และ P, Mg และ Zn จะละลายออกได้ในช่วง 1% หรือต่ำกว่า และผลจากการทดลองนำกากขี้แป้งไปเป็นปุ๋ยโดยใช้ทดสอบกับหญ้าสนามในระดับห้องทดลอง พบว่า กากขี้แป้งช่วยให้ต้นหญ้าเจริญเติบโตได้ดีและยังแสดงให้เห็นว่าการใช้กากขี้แป้งจะช่วยในการปรับสภาพดินและช่วยทำให้ดินมี pH เป็นกลางได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกหญ้า

5. การประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

วิธีการประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

5.1 การแสดงให้เห็นถึงความเป็นอันตราย (hazard identification)

ขั้นตอนนี้เป็นการประมวลและศึกษาข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ทั้งหมดในเวลานั้นเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเบื้องต้นเพื่อหาว่าสารเคมีนั้นๆ จะเป็นสาเหตุให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพในหมู่ประชากรหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การสัมผัสกับสารเคมีชนิดหนึ่งจะทำให้เกิดมะเร็งหรือไม่ ทำให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทหรือระบบภูมิคุ้มกันหรือไม่ จะมีผลต่อระบบสืบพันธุ์หรือก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพด้านอื่นๆ หรือไม่ ทั้งนี้ถ้ามีข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลข้างเคียงต่อสุขภาพก็ควรทำการประเมินความเสี่ยงใหม่ (re-assessment)

ข้อมูลที่ควรนำมาพิจารณา ได้แก่

- คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของสารเคมี
- วิถีทางและรูปแบบของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย
- ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีกับการเกิดพิษของสารเคมี
- การเกิดเมตาบอลิซึมและเภสัชจลนศาสตร์ของสารเคมี
- การศึกษาในสัตว์ทดลอง ได้แก่ การทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน แบบกึ่งเรื้อรัง และแบบเรื้อรัง รวมถึงการทดสอบความเป็นพิษลักษณะพิเศษ เช่น พิษต่อตัวอ่อน พิษต่อระบบสืบพันธุ์ พิษต่อสารพันธุกรรม พิษต่อระบบประสาทและพฤติกรรม และพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน เป็นต้น
- การศึกษาในมนุษย์ ได้แก่ การศึกษาระบาดวิทยาเชิงพรรณนาและเชิงวิเคราะห์
- การประมวลและวิเคราะห์ผลจากการศึกษาที่เป็นอิสระต่อกัน โดยประสิทธิภาพจะขึ้นกับกระบวนการทำ (procedure) และเกณฑ์การคัดเลือก (criteria) ในการคัดเลือกงานวิจัย รวมถึงความครอบคลุมของงานวิจัยและการให้น้ำหนักแก่งานวิจัย (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552)

การแสดงให้เห็นถึงความเป็นอันตรายหรือการชี้บ่งอันตราย คือการแจกแจงความเป็นอันตราย ที่แอบแฝงอยู่ในสถานที่ทำงานในการประกอบกิจกรรมทั้งหมด ตั้งแต่การเก็บ การขนถ่าย การใช้วัตถุดิบ เชื้อเพลิง สารเคมี ผลิตภัณฑ์ เครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ ตลอดจนกระบวนการผลิต และขั้นตอนวิธีปฏิบัติงาน ต้องมีการชี้บ่งโดยวิธีการดำเนินการสามารถใช้วิธีต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) checklist เป็นวิธีที่ใช้ในการชี้บ่งอันตราย โดยการนำแบบตรวจไปใช้ในการตรวจสอบการดำเนินงานในโรงงาน เพื่อค้นหาอันตราย ซึ่งแบบตรวจประกอบด้วยหัวข้อคำถามที่

เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบว่าได้ปฏิบัติตามมาตรฐานการออกแบบ มาตรฐานการปฏิบัติงาน หรือกฎหมาย เพื่อนำผลจากการตรวจสอบมาทำการชี้บ่งอันตราย

2) what-if-analysis เป็นกระบวนการในการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในการดำเนินงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยการใช้คำถาม " จะเกิดอะไรขึ้นถ้า" (what if) และหาคำตอบในคำถามเหล่านั้นเพื่อชี้บ่งอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในการดำเนินงานในโรงงาน

3) HAZOP (hazard and operability study) เป็นเทคนิคการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายและค้นหาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงานในโรงงาน โดยการวิเคราะห์หาอันตรายและปัญหาของระบบต่าง ๆ ด้วยการตั้งคำถามที่สมมติสถานการณ์ของการผลิตในภาวะต่าง ๆ เป็นต้น

4) fault tree analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุ หรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้น หรือคาดว่าจะเกิดขึ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ เป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการและเหตุผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์ว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้าง และเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร

5) FMEA (failure modes and effects analysis) เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายในการวิเคราะห์ในรูปแบบความล้มเหลว และผลที่เกิดขึ้น เช่นเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ ในแต่ละส่วนของระบบแล้วนำมาวิเคราะห์หาผลที่จะเกิดขึ้น เมื่อเกิดความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์

6) event tree analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเนื่อง เมื่อเกิดเหตุการณ์แรกขึ้น (initiating event) ซึ่งเป็นการคิดคาดการณ์ล่วงหน้าเพื่อวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่จะเกิดขึ้น และมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด (นริศ โรจน์วิศาลทรัพย์, 2553 อ้างโดย สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, 2554)

5.2 การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการสัมผัส (dose-response assessment)

ขั้นตอนนี้ทำเพื่อระบุความสัมพันธ์ทางปริมาณระหว่างปริมาณสารเคมีที่ได้รับกับการบาดเจ็บหรือก่อให้เกิดโรค สารเคมีส่วนใหญ่สามารถก่อให้เกิดอันตรายได้เมื่อบริโภคในปริมาณมากพอ ตัวอย่างเช่น ยาสลบถ้าได้รับในระดับต่ำๆ อาจก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ แต่ใช้

เป็นประโยชน์ในทางการแพทย์เมื่อใช้ในระดับสูง และถ้าใช้ในปริมาณสูงมากเกินไปก็อาจทำให้ถึงตายได้ ดังนั้นการหาความเสี่ยงของสารเคมีด้วยความเชื่อมั่นจะทำไม่ได้เลยถ้าไม่ทราบความสัมพันธ์ของปริมาณการสัมผัสสารเคมีกับการตอบสนอง (dose-response relationship) ซึ่งในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นต้องมีการอนุมานผล (extrapolation) จากการศึกษามาเป็นผลที่ใกล้เคียงสภาพความ เป็นจริงในประชากรมากที่สุด การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณการสัมผัสสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามผลข้างเคียงที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ ได้แก่

5.2.1 สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

สมมุติฐานโดยทั่วไปที่ใช้ คือ ผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นหลังได้รับสารเคมีในปริมาณที่สูงกว่าระดับ threshold ซึ่งสามารถสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น

- LOEL (lowest observable effect level) เป็นปริมาณน้อยที่สุดที่ก่อให้เกิดผลที่สามารถตรวจพบได้

- NOEL (no-observed-effect level) เป็นปริมาณที่ตรวจไม่พบผลทางชีววิทยา

- NOAEL (no-observed-adverse-effect level) เป็นปริมาณที่ตรวจไม่พบผลที่เป็นอันตราย

โดยทั่วไปนักพิษวิทยาต้องการทราบความสัมพันธ์ของปริมาณการสัมผัสสารเคมีกับผลการตอบสนองในหลายรูปแบบ ผ่านการทดสอบในสัตว์ด้วยปริมาณการสัมผัสสารเคมีที่เป็นพิษที่ต้องการศึกษาในระดับที่สูงและต่ำกว่าความเป็นจริงเพื่อช่วยในการหาปริมาณของ threshold ซึ่งระดับการได้รับสารเคมีที่ยอมรับได้หรือถือว่าเป็นปริมาณที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ เรียกว่า reference dose (RfD) หรือ acceptable daily intake (ADI) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{RfD หรือ ADI} = \text{NOAEL} / UF_H \times UF_S \times UF_L \times UF_C \times MF$$

โดย UF ได้แก่ uncertainty factors ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 10 :

UF_H เป็นการอนุมานผลจากสัตว์สู่มนุษย์ ถ้าไม่มีการอนุมานจะมีค่าเท่ากับ 1

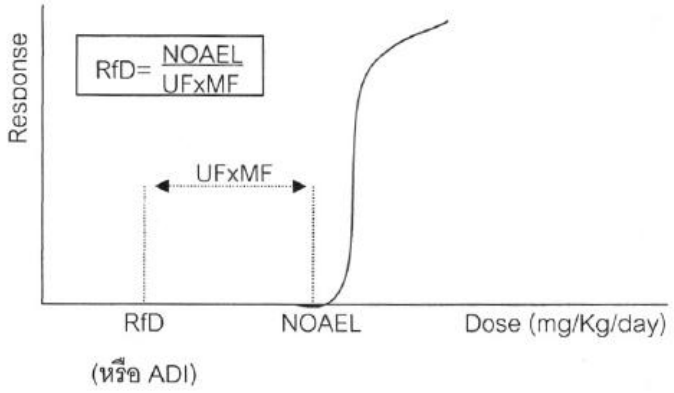
UF_S เป็นการอนุมานผลสำหรับคนที่มีความไวในการตอบสนองสูง เช่น เด็กหรือผู้สูงอายุ เป็นต้น

UF_L เป็นการอนุมานเมื่อใช้ค่า LOAEL แทน NOAEL ถ้าไม่มีการอนุมานจะมีค่าเท่ากับ 1

UF_C เป็นการอนุมานผลจากการทดลองที่ทำระยะสั้นไปสู่ระยะยาว

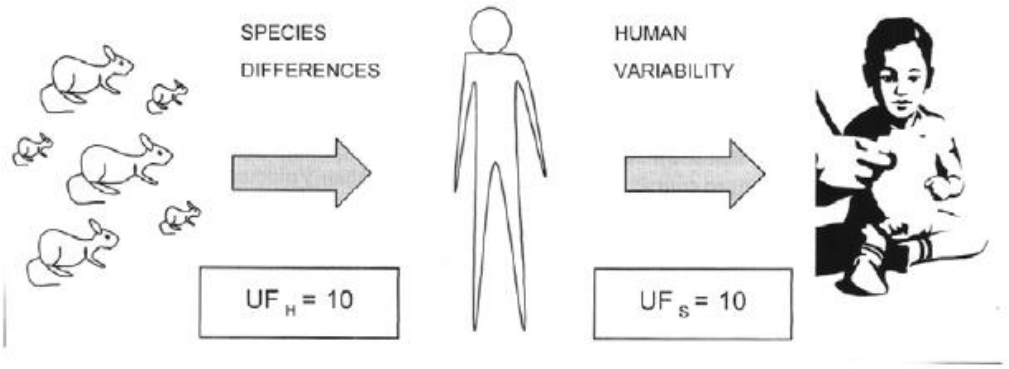
MF ได้แก่ modifying factor ซึ่งดูจากคุณภาพของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้ โดย MF มีค่าตั้งแต่ 1 – 10 (แทนคุณภาพจากมากไปหาน้อย)

การคำนวณหาค่า RfD หรือ ADI แสดงดังภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 การคำนวณค่า RfD หรือ ADI

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2552)



ภาพที่ 3 uncertainty factor ที่ใช้ในการอนุมานผลจากสัตว์ทดลองไปสู่ประชากรทั่วไป

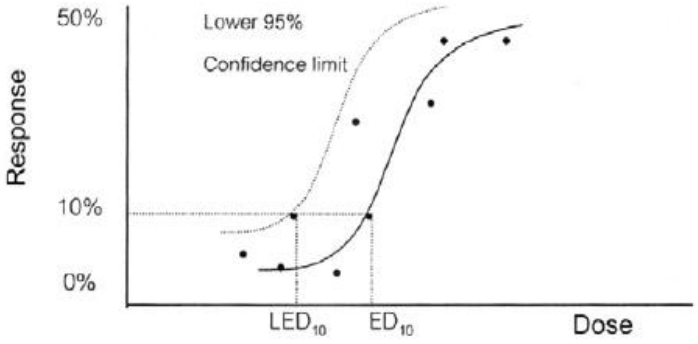
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2552)

5.2.2 สำหรับสารเคมีที่สงสัยว่าก่อให้เกิดมะเร็ง

สมมุติฐานการประเมินโดยทั่วไปจะไม่มี threshold คือว่าสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งแม้ว่าจะได้รับในระดับน้อยที่สุดก็ยังมี ความเสี่ยง แนวคิดนี้ได้ถูกใช้มาเป็นเวลานานมากแล้ว แต่การค้นพบเมื่อเร็วๆ นี้พบว่าการเกิดมะเร็งมีกลไกการทำงานที่มีช่วงกว้างกว่าเดิม ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่เกี่ยวข้องและสารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งบางตัวอาจมี threshold ระดับต่ำที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งด้วย

ในกรณีที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะสนับสนุนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีกับการก่อให้เกิดมะเร็งเป็นแบบ non-linear จะกำหนดจุดมาตรฐานในการอนุมานผลที่เรียกว่า LED_{10}

ซึ่งเท่ากับค่าล่างที่ 95% confidence limit ของปริมาณสารเคมีซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น 10% แสดงในภาพที่ 4 โดยส่วนใหญ่ค่า LED_{10} จะมีค่าเท่ากับค่า NOAEL (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552)



ภาพที่ 4 non-linear carcinogenic model

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2552)

5.3 การประเมินการสัมผัส (exposure assessment)

ขั้นตอนนี้พยายามที่จะระบุธรรมชาติและขนาดของประชากรที่สัมผัสกับสารเคมี การประเมินการสัมผัสอาจเกี่ยวข้องกับการสัมผัสในอดีต ปัจจุบัน หรืออนาคต ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการประเมินการสัมผัส ประกอบด้วย

- วิถีทางการเข้าสู่ร่างกายของสารเคมี เช่น ทางปาก ผิวหนังหรือการสูดดม เป็นต้น
- ตัวกลางที่นำพาสารเคมี เช่น น้ำ หรือไขมัน เป็นต้น
- ความเข้มข้นของสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย
- ความถี่และระยะเวลาที่ได้รับสารเคมี
- ลักษณะกลุ่มประชากรที่ได้/รับสัมผัส

นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การได้รับหรือสัมผัสสารเคมีชนิดหนึ่งจากหลายทาง และการได้รับสารเคมีหลายชนิดในเวลาเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาต่อกันระหว่างสารเคมี เป็นต้น

ในกรณีของสารเคมีในอาหารจะนำข้อมูลด้านลักษณะของการบริโภคมาใช้ในการประเมินการได้รับสัมผัสซึ่งเรียกว่า theoretical maximum daily intake (TMDI) หรือปริมาณสูงสุดของการได้รับสารเคมีที่ตกค้างหรือปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$TMDI = \Sigma(MRL \times F)$$

MRL = maximum residue limit หรือระดับสูงสุดของสารเคมีชนิดหนึ่งที่ยอมให้ตกค้างในอาหารแต่ละประเภท

F = food consumption factor ของอาหารแต่ละประเภทต่อคน (ตามข้อมูลการบริโภคอาหารของ 5 ภูมิภาคในโลกจาก FAO) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552)

5.4 การอธิบายความเสี่ยง (risk characterization)

เป็นการสรุปผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยการรวมข้อมูลต่างๆ ที่พบจาก 3 ขั้นตอนแรกลงในรูปภาพที่รวมเป็นภาพเดียวกันของผลร้ายที่เกิดต่อสุขภาพของประชากรที่สัมผัสสารเคมีให้ออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณซึ่งมี 2 แบบตามลักษณะความเป็นพิษของสารเคมี ได้แก่

- สารที่ไม่ก่อมะเร็ง ความเสี่ยงของสารเคมีประเภทนี้สามารถอธิบายได้โดยค่า margin of safety (MOS) ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

MOS = exposure หรือ TMDI / RfD หรือ ADI

โดย exposure หรือ TMDI เป็นปริมาณสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งถ้าค่า MOS น้อยกว่าหรือใกล้เคียง 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกายได้ แต่ถ้าค่า MOS มากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารเคมีที่ได้รับเกินค่ามาตรฐานหรือถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ

- สารที่ก่อมะเร็ง ความเสี่ยงของสารเคมีประเภทนี้สามารถอธิบายได้โดยค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต (lifetime cancer risk) ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

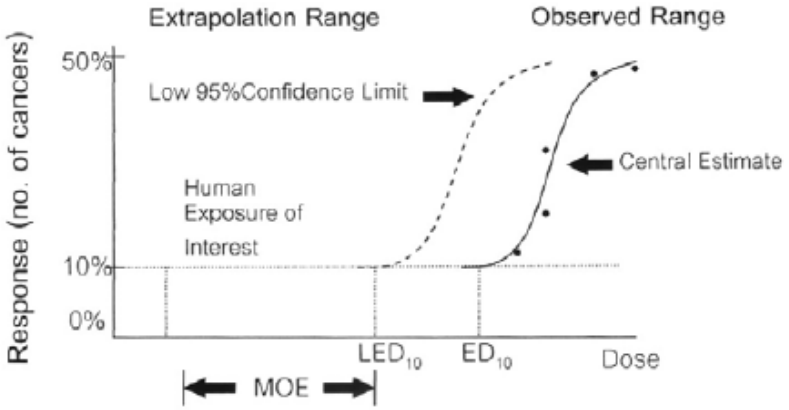
lifetime cancer risk = q_1* x exposure x (years of exposure / years in lifetime)

โดย q_1* คือ cancer potency factor มีหน่วยเป็น cancers / (mg/kg/day)

สำหรับการก่อมะเร็งในลักษณะ non-linear ตามภาพที่ 5 จะอธิบายความเสี่ยงด้วยค่า margin of exposure (MOE) ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

MOE = LED_{10} / exposure

โดย LED_{10} เป็นค่าล่างที่ 95 % confidence limit ของปริมาณสารเคมีซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งเพิ่มมากขึ้น 10 % (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552)



ภาพที่ 5 non-linear carcinogenic model และ MOE

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2552)

6. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอุตสาหกรรม

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีหลายฉบับ แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะฉบับที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้เท่านั้น ได้แก่

1) มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม โดยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่เกิน 5.5 – 9.0

ทีดีเอส (TDS หรือ total dissolved solids) ต้องมีค่าดังนี้

(1) ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารแขวนลอย (suspended solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

โลหะหนักมีค่าดังนี้

(1) ปรอท (mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) เซเลเนียม (selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) แคดเมียม (cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) ตะกั่ว (lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) อาร์เซนิค (arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) โครเมียม (chromium)

(6.1) hexavalent chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6.2) trivalent chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) บาเรียม (barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) นิเกิล (nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) ทองแดง (copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) สังกะสี (zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(11) แมงกานีส (manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซัลไฟด์ (sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไซยาไนด์ (cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารประกอบฟีนอล (phenols compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

คลอรีนอิสระ (free chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เพสติไซด์ (pesticide) ต้องไม่มี

อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

น้ำมันและไขมัน (oil & grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ total kjeldahl nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539)

2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ประกาศฉบับนี้มีสาระสำคัญ ๆ ดังนี้

(1) ความหมายและคำจำกัดความ มีสาระโดยสังเขปคือ

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมายความว่า สิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน รวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ และน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณลักษณะที่เป็นอันตราย

การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมายความว่า การบำบัด ทำลายฤทธิ์ ทิ้ง กำจัด จำหน่ายจ่ายแจก แลกเปลี่ยน หรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการกักเก็บไว้เพื่อทำการดังกล่าว

ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมายความว่า ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ก่อให้เกิดและมีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ในครอบครอง

ผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมายความว่า ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ในครอบครอง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. 2547 และโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ของเสียอันตราย หมายความว่า สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

(2) การกำหนดรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีสาระโดยสังเขปคือ

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วถูกแบ่งออกเป็น 19 หมวดหมู่ ที่ใช้ในการกำหนดรหัสของชนิดและแยกประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

(3) ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีสาระโดยสังเขปคือ

ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ต้องไม่ครอบครองสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ภายในโรงงานเกินระยะเวลา 90 วัน หากเกินกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้ ต้องขออนุญาตต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามแบบ สก. 1

ห้ามผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้นำออกไป เพื่อการจัดการด้วยวิธีการและสถานที่ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ต้องจัดทำแผนการป้องกันอุบัติภัยเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉิน ในกรณีเกิดเหตุรั่วไหลอัคคีภัย การระเบิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วหรือเหตุที่คาดไม่ถึง และต้องมีอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยและอุปกรณ์รองรับเหตุฉุกเฉินภายในบริเวณโรงงาน และมีเส้นทางหนีภัยไปยังที่ปลอดภัย

ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. 3 ภายในวันที่ 1 มีนาคมของปีถัดไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

(4) การรวบรวมและขนส่งของเสียอันตราย มีสาระโดยสังเขปคือ

ผู้ที่ทำการรวบรวมและขนส่งของเสียอันตรายจะต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. 2547

ผู้ที่ทำการรวบรวมและขนส่งของเสียอันตรายจะต้องปฏิบัติตามประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย เรื่อง การขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2545

ผู้ที่ทำการรวบรวมและขนส่งของเสียอันตรายจะต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. 4 ภายในวันที่ 1 มีนาคมของปีถัดไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

(5) ผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีสาระโดยสังเขปคือ

ผู้ประกอบกิจการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วต้องปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ผู้ประกอบกิจการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วต้องรับบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่ได้รับอนุญาตตามเงื่อนไข การประกอบกิจการโรงงานที่กำหนดไว้ในใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานและต้องแจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ใช้บริการทราบถึงประเภทของกิจการที่ได้รับอนุญาต ประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่สามารถรับดำเนินการได้ พร้อมแนบสำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

ผู้ประกอบกิจการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วต้องมีข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ก่อนการดำเนินการบำบัดหรือกำจัด จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ และให้เก็บข้อมูลผลวิเคราะห์ไว้อย่างน้อย 3 ปี เพื่อการตรวจสอบ

ผู้ประกอบกิจการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. 5 ภายในวันที่ 1 มีนาคมของปีถัดไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

(6) ความหมายของของเสียอันตราย มีสาระที่สำคัญดังนี้

ของเสียอันตราย หมายความว่า สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย ตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศ มีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย ดังนี้

ก.สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารไวไฟ (ignitable substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

-เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (flash point) ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ไม่รวมถึงสารละลายที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่น้อยกว่า 24 % โดยปริมาตร

- เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้น หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้น และเมื่อเกิดลุกเป็นไฟจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

- เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (ignitable compressed gas) ซึ่งก๊าซอัดนี้ ให้หมายถึงวัสดุหรือของผสมใด ๆ ที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุที่มีความดันสมบูรณ์ (absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หรือมีความดันสมบูรณ์มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

- เป็นสารออกซิไดเซอร์ (oxidizer) ซึ่งสามารถไปกระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ขึ้นได้ ได้แก่ สารประกอบจำพวก chlorate permanganate inorganic peroxide และ nitrate

ข.สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารกัดกร่อน (corrosive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

-เป็นสารละลาย (aqueous solution) ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า

- เป็นของเหลวที่กัดกร่อนเหล็กกล้าชั้น SAE 1020 ได้ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อปี ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ค. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (reactive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

- เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและอย่างรุนแรงโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

- เป็นสารซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

- เป็นสารซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้ของผสมที่จะระเบิดได้

- เป็นสารซึ่งเมื่อผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

- เป็นสารที่มีองค์ประกอบของไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว สามารถก่อให้เกิดก๊าซพิษ ไอพิษหรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

- เป็นสารซึ่งเมื่อถูกทำให้ร้อนในที่จำกัดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาระเบิดรุนแรงได้

- เป็นสารซึ่งสามารถระเบิดได้ทันทีหรือเกิดปฏิกิริยาระเบิดได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) จะมีปฏิกิริยารุนแรง

ง.สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารพิษ (toxic substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

(a) เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขอนามัยหรือสิ่งแวดล้อม เพราะมีคุณสมบัติของความเป็นสารก่อมะเร็ง สารพิษแบบเฉียบพลัน สารพิษแบบเรื้อรัง สารที่มีคุณสมบัติสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามบัญชีรายชื่อในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2A และกลุ่มที่ 2B ของ International Agency for Research on Cancer เป็นต้น

(b) เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษ ดังต่อไปนี้

เป็นสารที่มีค่า acute oral LD_{50} น้อยกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม เมื่อใช้หนู (rat) เป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า acute inhalation LC_{50} น้อยกว่า 10,000 ส่วนในล้านส่วนในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระต่ายเป็นสัตว์ทดลอง มีค่า acute dermal LD_{50} น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD_{50} หมายถึง ค่า (ปริมาณ) เฉลี่ยของสารพิษ (medium lethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50 %) ค่า LD_{50} มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC_{50} หมายถึง ค่า (ความเข้มข้น) เฉลี่ยของสารพิษ (medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50 %) ค่า LC_{50} มีหน่วยเป็นส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

(c) เป็นสารที่มีค่า acute aquatic 96-hour LC_{50} น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้างทั้งหมด เท่ากับ 40 – 48 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) กับปลา fathead minnows (Pimephales promelas) ปลา rainbow trout (Salmo gairdneri) หรือปลา golden shiners (Notemigonus crysoleucas) ตามที่กำหนดใน Part 800 ของ the “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (16th Edition),” American Public Health Association, 1985

(d) เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารที่ระบุต่อไปนี้ ในปริมาณความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งหรือปริมาณรวมของสารทั้งหมด มากกว่าหรือเท่ากับ 0.001 % โดยน้ำหนัก คือ(1) 2-Acetylaminofluorene (2-AAF) (2) Acrylonitrile (3) 4-Aminodiphenyl (4) Benzidine and its salts (5) bis (Chloromethyl) ether (BCME) (6) Methyl chloromethyl ether (7) 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP) (8) 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB) (9) 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB) (10) Ethyleneimine (EL) (11) alpha-Naphthylamine (1-NA) (12) beta-Naphthylamine (2-NA) (13) 4-Nitrobiphenyl (4-NBP) (14) N-Nitrosodimethylamine (DMN) (15) beta-Propiolactone (BPL) และ (16) Vinyl chloride (VCM)

จ .สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

(a) เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า total threshold limit concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ ดังตัวอย่างเช่น สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี 5,000

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เป็นค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ

(b) สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี waste extraction test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) เท่ากับหรือมากกว่าค่า soluble threshold limit concentration (STLC) ที่กำหนด ตัวอย่างเช่น สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ)

(c) การทดสอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยนำมาสกัดด้วยวิธี waste extraction test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (total concentration) ของสารอันตรายใด ๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดไว้ หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้นไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ (2545) ได้รายงานว่าโรงงานน้ำยางข้นได้มีการใช้สารเคมีสำหรับการผลิต ทั้งนี้เทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยางข้นที่ผลิตได้หรือต่อยางสกิมที่ผลิตได้ โดยข้อมูลของสารเคมีแต่ละโรงงานในแต่ละรายการสารเคมีหลัก ซึ่งได้แก่ แอมโมเนีย, ZnO, TMTD, DAP และ H_2SO_4 พบว่าในโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษามีการใช้สารเคมีในรูปแอมโมเนียในช่วง 5.7 – 24.0 กก./ตันน้ำยางข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.22 กก. NH_3/ตันน้ำยางข้น) และมีการใช้ ZnO และ TMTD ในช่วงที่เท่ากันคือ 0.30 – 2.16 กก. ZnO/ตันน้ำยางข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 กก./ตันน้ำยางข้น) และ DAP ในช่วง 1.28 – 6.25 กก./ตันน้ำยางข้นหรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 กก./ตันน้ำยางข้น นอกจากนี้ยังมีการใช้กรด H_2SO_4 ในการผลิตยางสกิมในช่วง 20.08 – 300 กก./ตันยางสกิม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.0 กก. H_2SO_4/ตันน้ำยางข้น) ข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าพิสัยของการใช้สารเคมีจะแตกต่างกันมากในแต่ละโรงงาน

Radwan (1965) ได้มีการรายงานถึงการคงอยู่ของ tetramethylthiuram disulfide (TMTD) และผลของ TMTD ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในดินโดยทั่วไปและผลของ TMTD ต่อการเกิด nitrifying ของจุลินทรีย์ โดยได้ทำการตรวจสอบดินจากโรงเพาะชำต้นไม้ 2 แห่งใน Washington ทางทิศตะวันตก พบว่า TMTD มีค่าลดลงในดินทั้งสองแห่ง โดยที่อัตราของการลดลงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเคมีและการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน และการเพิ่มของปุ๋ย

ในทางการค้าทำให้การลดลงมีอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น การใช้ปุ๋ยเหล่านี้หรือการเพิ่มอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้ในโรงเพาะชำน่าจะเพิ่มการย่อยสลายของ TMTD ในดิน ซึ่ง TMTD ถูกทำให้ลดลงด้วยกระบวนการ respiration ในดิน และดินสามารถตอบสนองต่อการบำบัดได้แตกต่างกัน แต่ depression เริ่มต้นของการผลิต CO_2 ในดินทั้งสองแห่งจะแปรผันตามความเข้มข้นของ TMTD ในดิน จากการยับยั้งเริ่มต้นในการบำบัดทั้งสองพื้นที่ พบว่ากระบวนการ respiration ถูกกระตุ้นเนื่องจากการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลาย TMTD โดยจุลินทรีย์ และการเกิด nitrification ถูกทำให้ลดลงโดย TMTD สำหรับ 20 วัน แต่เมื่อทดลองนาน 60 วัน ปฏิกิริยาได้กลับคืนมาอย่างสมบูรณ์ในเกือบทุกกรณี

จากการศึกษาของ Shirkot and Gupta (1985) ได้มีการใช้จุลินทรีย์ *Pseudomonas aeruginosa* ในการทำ decontamination ของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับกันเมื่อเร็ว ๆ นี้ แต่ในสิบปีที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาวิจัยที่ (Kearney *et al*., 1969; Clark and Wright, 1970 a, b; McClure, 1972; Daughton and Hsieh, 1977 อ้างโดย Shirkot and Gupta, 1985) แสดงให้เห็นว่าดินที่ปนเปื้อนด้วยยาฆ่าแมลงสามารถขจัดสิ่งปนเปื้อนได้โดยการฉีดด้วยจุลินทรีย์ที่เหมาะสมโดยเฉพาะ โดยได้มีการศึกษาเกี่ยวข้องกับยาฆ่าแมลงและยากำจัดวัชพืชซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยการศึกษาได้มุ่งศึกษาในการปรากฏอยู่ของสารฆ่าเชื้อรามากขึ้น (Woodcock, 1978 อ้างโดย Shirkot and Gupta, 1985)

Priyantha *et al*. (2008) ได้รายงานว่า tetramethylthiuram disulfide ได้มีการใช้เป็นยาฆ่าแมลงและเป็นสารบำบัดดินในภาคเกษตรกรรม ดังนั้นการตรวจวัดในสิ่งแวดล้อมและการตรวจสอบการแพร่กระจายระหว่างสถานะสารละลายและดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัด tetramethylthiuram disulfide ใน $CHCl_3$ และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 280 nm โดยจะให้ calibration curves เป็นเส้นตรง วิธีการตรวจวัดนี้สามารถคำนวณค่า partition coefficient (K_D) ของ tetramethylthiuram disulfide ระหว่างสถานะ $CHCl_3$ และน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม ค่า partition coefficient ถูกใช้เพื่อคำนวณค่า partition coefficient (K_D) ที่เห็นได้ชัดของ tetramethylthiuram disulfide ระหว่างดินที่ร่อนด้วยตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง < 2.0 mm ที่ถูกใช้สำหรับกิจกรรมทางการเกษตรและน้ำที่แสดงปริมาณของ tetramethylthiuram disulfide ในน้ำหลังจากความสมดุลของการดูดซึมกับดินได้มาเนื่องจากขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลายของ tetramethylthiuram disulfide ที่ปนเปื้อนน้ำไปสู่ $CHCl_3$ ค่า K_D ที่คำนวณได้สำหรับความเข้มข้นเริ่มต้นของ tetramethylthiuram disulfide จะแปรผันจาก 3.00 ppm ไปจนถึง 10.00 ppm ซึ่งแสดงแนวโน้มการลดลงและเข้าสู่ระดับคงที่ที่ความเข้มข้นสูง และเป็นการบ่งชี้ถึงพฤติกรรมการดูดซึมของ tetramethylthiuram disulfide ในดินที่มีความเข้มข้นต่ำ วิธีการตรวจวัดที่ถูกเสนอจะมี

ศักยภาพในการคำนวณขอบเขตของการดูดซึมของ tetramethylthiuram disulfide ในดินหรือระดับของ TMTD ในน้ำเมื่อ tetramethylthiuram disulfide ถูกเพิ่มเข้าไปสู่ดินจากกิจกรรมทางการเกษตร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะการปรากฏอยู่ของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น
2. เพื่อประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบข้อมูลลักษณะการปรากฏอยู่ของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ซึ่งทำให้สามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการพัฒนาแนวทางการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมยางพาราที่มีประสิทธิภาพต่อไป

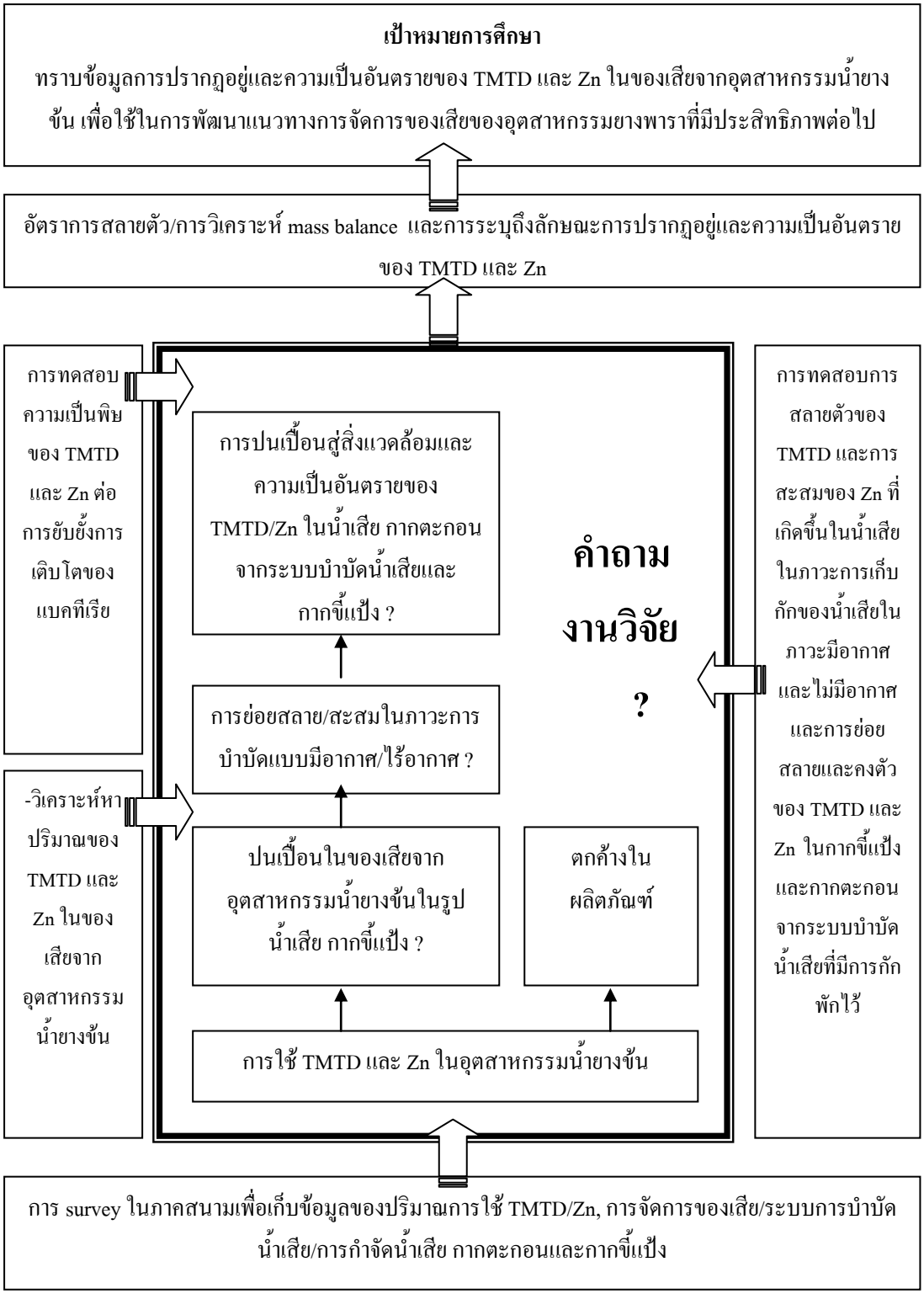
บทที่ 2
วิธีการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาถึงลักษณะการปรากฏอยู่ของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น รวมถึงการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิในภาคสนามที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณการใช้ TMTD และ Zn ในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ศึกษา เป็นต้น และทำการเก็บตัวอย่างของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจากโรงงาน 4 โรงงาน ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียสด กากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กากตะกอนและน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น จากระบบบ่อระบบ AS (activated sludge) มาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของ TMTD และ Zn และมีการทดลองโดยการนำตัวอย่างของเสียทั้งในรูปน้ำเสีย กากขี้แป้ง และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้มาทำการทดสอบการสลายตัวของ TMTD และการคงอยู่ของ Zn ทั้งในสภาวะที่มีอากาศและไร้อากาศ และทำการทดสอบความเป็นพิษของ TMTD และ Zn ต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียเพื่อนำผลสู่การพิจารณาถึงผลของความเป็นอันตรายเบื้องต้น ข้อมูลที่ได้ข้างต้นจากการสำรวจในโรงงานจะนำมาวิเคราะห์ mass balance และทำการประเมินถึงลักษณะการปรากฏอยู่และประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ที่ปรากฏในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และนำเสนอข้อเสนอแนะที่เกิดจากผลการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีประสิทธิภาพต่อไป ตามกรอบแนวคิดการวิจัย (ภาพที่ 6)

วัสดุ อุปกรณ์

1) ตัวอย่างของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ได้แก่ ตัวอย่างน้ำเสียดิบ (น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด) น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อไร้อากาศ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดทั้งหมดแล้ว กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง กากขี้แป้งจากหางน้ำยาง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS โดยทำการเก็บตัวอย่างจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น 4 โรงงานในจังหวัดสงขลา ซึ่งของเสียดังกล่าวที่ใช้ในการศึกษา



ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิจัยได้มาจากบริษัท ทัทวิน จำกัด บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์กรุ๊ป จำกัด บริษัท ฉลอง อุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด และบริษัท ไทยฮั้วยางพารา จำกัด (มหาชน)

2) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ COD, TKN, total nitrogen, TMTD และ Zn

3) เครื่องมือ ได้แก่

(1) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2, 4 ตำแหน่ง

(2) เครื่อง pH meter ผลิตภัณฑ์ Russell รุ่น 150

(3) เครื่อง spectrophotometer ผลิตภัณฑ์ Shimadzu รุ่น UV-1601, Japan

(4) เครื่อง flame atomic absorption spectrophotometer รุ่น spectr AA – 220

(5) เครื่อง inductively coupled plasma optical emission spectrometer ผลิตภัณฑ์ PERKIN ELMER รุ่น Optima 4300 DV

(6) เตาย่อยซีโอดี

(7) ตู้อบ (oven) ผลิตภัณฑ์ Contherm, New Zealand

(8) เตาเผา (muffle furnace) ผลิตภัณฑ์ Thermolyne รุ่น 6000, USA

(9) โถดูดความชื้น (dessicator) ผลิตภัณฑ์ DURAN

(10) ชุดกลั่นแอมโมเนีย

(11) เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) ผลิตภัณฑ์ Heidolph รุ่น unimax 1010

(12) อ่างอังไอน้ำ (water bath) ผลิตภัณฑ์ Memmert รุ่น W 760, Germany

(13) ปั๊มสูญญากาศและชุดกรอง (filtrator) ผลิตภัณฑ์ Gast รุ่น 0823-101 Q-SG 608X

(14) เตาไฟฟ้า (hot plate)

(15) หม้อนึ่งไอน้ำ (autoclave) ผลิตภัณฑ์ Tomy รุ่น SS-325

(16) ตู้บ่มเชื้อ (incubator) ผลิตภัณฑ์ Memmert รุ่น BM 700, BE 500

4) อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ ได้แก่

(1) ถ้วยระเหย (evaporating dish)

(2) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

(3) กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร

(4) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร

(5) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร

(6) แกลลอนพลาสติกขนาด 10 ลิตร

(7) ถุงพลาสติก

(8) ถังบำบัดขนาด 25 ลิตร

(9) ถังขนาด 37 ลิตรที่เปิดฝา

(10) เครื่องเติมอากาศ

(11) เครื่องปั๊มน้ำ

(12) หัวฟู่

(13) สายยาง

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคสนามและการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ จำแนกเป็น

1.1 การสอบถามและรวบรวมข้อมูลจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคสนาม

โดยทำการเก็บข้อมูลจาก 4 โรงงานในจังหวัดสงขลา ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกำลังการผลิต วิธีการใช้ ปริมาณหรืออัตราการใช้ TMTD และ Zn ในแต่ละโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา ขั้นตอนการผลิตต่างๆ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น วิธีการบำบัดและกำจัดของเสีย การนำน้ำเสียหรือกากตะกอนมาใช้ใหม่ เป็นต้น เพื่อจะได้นำข้อมูลในส่วนนี้ไปใช้ประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูลของการปรากฏอยู่และความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ต่อไป

1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณ TMTD และ Zn ในของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

โดยทำการเก็บตัวอย่างของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจากโรงงาน 4 โรงงานในจังหวัดสงขลา ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียดิบ (น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด) น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อไร้อากาศ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้ว กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง กากขี้แป้งจากหางน้ำยาง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS ให้มีปริมาณมากพอกับความต้องการใช้สำหรับการวิเคราะห์ โดยจำนวนตัวอย่างที่

ต้องทำการเก็บตัวอย่างสำหรับน้ำเสีย กากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่างๆ และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะเท่ากับ 13, 10 และ 5 ตัวอย่าง ตามลำดับ

สำหรับตัวอย่างกากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่างๆ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะนำตัวอย่างที่สุ่มเก็บได้มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ ความหนาแน่น (density) ความชื้น (moisture content) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solids : VS) ปริมาณเถ้า (ash) และ total nitrogen ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5 (การศึกษาใช้ VS ในการติดตามปฏิกิริยาทางชีวภาพ เพราะ VS คือตัวแปรที่สามารถใช้ประเมินค่าปริมาณสารอินทรีย์ในกากของเสียอินทรีย์ที่ศึกษาได้ และการศึกษาได้ใช้ ash เป็นตัวแปรศึกษาร่วมด้วย เพราะมีค่าเป็นสัดส่วนกันกับ VS (ของแข็งถูกจำแนกเป็น VS และ ash) การที่กากของเสียอินทรีย์มีสัดส่วนของ ash มากขึ้น หรือ VS น้อยลง แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้เป็นหลักในการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในของเสียอินทรีย์ที่เป็นของแข็งทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะการศึกษาปฏิกิริยาของ compost (ศุวศา กานตวนิชกูร, มปพ.) ส่วนของเสียในรูปน้ำเสียจะนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) COD TDS SS และ TKN ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6 โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) และ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005)

นอกจากนี้ยังนำตัวอย่างน้ำเสียดิบ (น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด) น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้ว กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง กากขี้แป้งจากหางน้ำยาง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS มาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของ TMTD โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุโดย Sharma *et al*. (2005) และวิเคราะห์หาปริมาณของ Zn โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) แสดงดังตารางที่ 5 และ 6 อนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ค่า Zn ได้มีการทำ recovery test ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ที่ได้ ซึ่งผลการทำ recovery test แสดงดังภาคผนวก ข

ข้อมูลความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ทั้งในรูป wet basis และ dry basis ที่ได้นำไปวิเคราะห์ถึงการปรากฏอยู่ของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและการวิเคราะห์สมดุลมวลของสารทั้ง 2 ในระบบโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นต่อไป

ตารางที่ 5 วิธีการวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างกากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่างๆ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
ความหนาแน่น (density)	ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในภาชนะที่ทราบปริมาตร และคำนวณ
ความชื้น (moisture content)	Gravimetric Method*
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	Electrometric Method*
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids)	Gravimetric Method*
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solids)	Gravimetric Method*
ปริมาณเถ้า (ash)	Gravimetric Method*
total nitrogen	Kjeldahl Method*
TMTD	Spectrophotometric Method**
Zn	Flame AAS, ICP-OES*

หมายเหตุ : * เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุโดย Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990)

** เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุโดย Sharma *et al*. (2005)

ตารางที่ 6 วิธีการวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างน้ำเสีย

พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	Electrometric Method*
TKN	Kjeldahl Method*
COD	Closed Reflux Method*
TDS	Gravimetric Method*
SS	Gravimetric Method*
TMTD	Spectrophotometric Method**
Zn	Direct Air – Acetylene Flame Method, ICP-OES*

หมายเหตุ : * เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุโดย Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2005)

** เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุโดย Sharma *et al*. (2005)

2. การศึกษาการคงอยู่/ย่อยสลายของ Zn/TMTD ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและกากขี้แป้ง

โดยนำตัวอย่างกากขี้แป้ง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ มาทำการกักพักไว้ในถังพลาสติกขนาด 37 ลิตรที่เปิดฝา (ออกแบบการทดลองโดยล้อตามวิธีการกักพักกากขี้แป้งและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ถูกกักพักไว้ในพื้นที่โรงงาน/หรือในพื้นที่ที่เป็นบ่อ) จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดสภาพการเปลี่ยนแปลงขึ้นเป็นเวลานาน 30 วัน การทดลองแต่ละชนิดของกากของเสียจะทำการทดลองเป็น 2 ชุด โดยในชุดการทดลองแรกจะใช้ตัวอย่างปกติมาทำการทดลอง ส่วนชุดการทดลองที่สองนั้นตัวอย่างจะถูกทำการเติม TMTD และ Zn เพื่อให้มีความเข้มข้นที่มากกว่าเดิม (เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาที่จะสามารถติดตามค่าการเปลี่ยนแปลงของ TMTD/Zn ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้ ทั้งนี้การเติม TMTD และ Zn ที่มากกว่าเดิมนั้น ทำการเติมในสัดส่วนที่มากกว่าเดิมประมาณ 20 %) ระหว่างการกักพักกากของเสียทั้ง 3 ชนิดจะทำการเก็บตัวอย่างตะกอนทุก ๆ 0, 3, 5, 10, 20 และ 30 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ดังนี้ pH total nitrogen VS ash TMTD และ Zn นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและค่า MC ทุก 3 วัน โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุไว้ในตารางที่ 5

3. การศึกษาการคงอยู่และอัตราการย่อยสลายของ TMTD/Zn ในน้ำเสียที่ภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ

แม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางพาราส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิธีหลักต่าง ๆ ได้แก่ ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ รวมถึงระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เช่น UASB แต่พบว่าจะถูกรองรับด้วยระบบ pond ซึ่งเป็นระบบที่มีสภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ ซึ่งจะใช้ระยะเวลานานในการบำบัด จึงมีอิทธิพลต่อกลไกของการกำจัดของ TMTD และ Zn ในระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อดูผลของภาวะ aerobic/anaerobic ต่อการคงอยู่ของ Zn/TMTD ในน้ำเสีย การทดลองดำเนินการโดยใช้น้ำเสียดิบของโรงงานน้ำยางข้นมาทำการทดลองในภาวะที่ไม่มีอากาศและมีอากาศซึ่งได้จากการเติมอากาศลงในน้ำเสีย โดยการทดลองมีการเติมน้ำเสียใหม่ทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่าง ทดลองนาน 27 วัน จากนั้นใช้น้ำเสียที่ได้ไปทดลองค่าอัตราการย่อยสลายแบบ batch ต่อไป โดยการทดลองแต่ละชุดมีรายละเอียดคือ

3.1 การคงอยู่ของ TMTD/Zn ในน้ำเสียในภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ

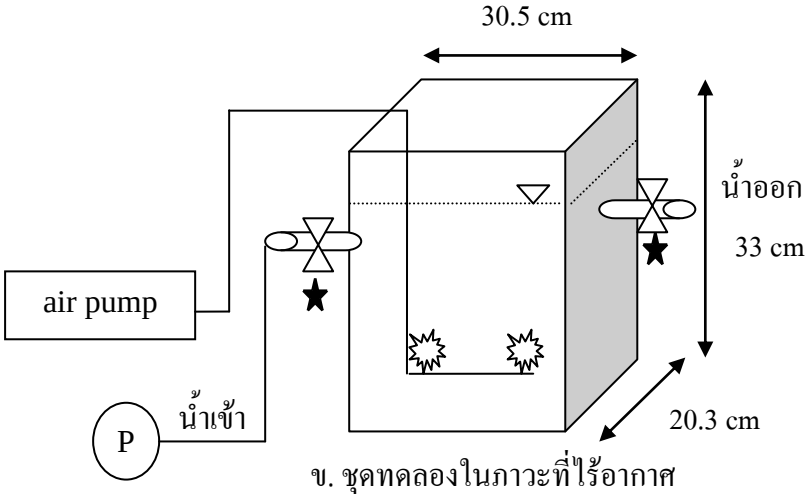
ดำเนินการโดยนำตัวอย่างน้ำเสียดิบมาทำการทดลองในสภาวะที่มีอากาศ/ไม่มีอากาศในระบบทดลองจำลองขนาด 20 ลิตรซึ่งเป็นถังพลาสติก (มี effective volume เท่ากับ 15

ลิตร) การทดลองทั้ง 2 ชุดมีรายละเอียดดังนี้ ในชุดการทดลองแรกจะทำการทดลองในสภาวะที่มีอากาศโดยการเป่าอากาศให้ทางด้านใต้ถังอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ส่วนชุดการทดลองที่สองจะทำการทดลองในสภาวะที่ไม่มีอากาศ โดยการปิดฝาถังและมีท่อระบายก๊าซติดตั้งไว้ (ดังแสดงในภาพที่ 7) ซึ่งระบบทดลองทั้งสองสภาวะได้มีการเติมน้ำเสียแบบป้อนเป็นกะ โดยทำการเติมน้ำเสียดิบเข้าชุดทดลองทุก ๆ 3 วัน เติมน้ำเสียด้วยอัตรา 2 ลิตร/ครั้ง และระบบมีค่าการกักพักของน้ำในระบบ (HRT) ประมาณ 21 วัน (คำนวณมาจากในช่วง 27 วัน มีการเติมน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 16 ลิตร คิดเป็นอัตราการป้อนน้ำเสียเท่ากับ 0.6 ลิตร/วัน และ effective volume เท่ากับ 15 ลิตร) และในขณะเติมน้ำเสียก็จะมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกมาด้วย เพื่อนำน้ำเสียที่ออกมาไปวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียต่อไป ทำการทดลองนาน 27 วัน ตัวอย่างน้ำเสียทั้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบทดลองทั้งสองสภาวะได้นำมาวิเคราะห์ค่า TMTD Zn SCOD SS และ pH วิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 6

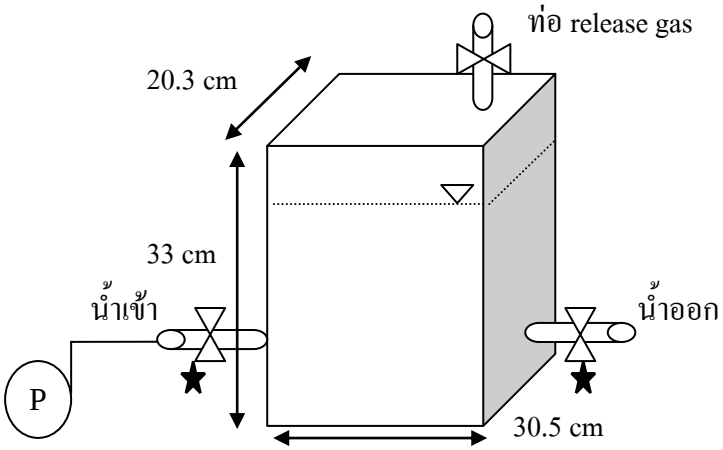
3.2 อัตราการย่อยสลายของ TMTD/Zn ในน้ำเสียในภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ

เมื่อทำการทดลองในข้อ 3.1 แล้วเสร็จได้นำตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละชุดทดลองที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ (ไม่มีอากาศ) มาทดลองต่อ โดยทำการเติม TMTD และ Zn ให้น้ำเสียมีค่าสูงมากขึ้นประมาณ 2 – 4 เท่าตัว แต่ยังอยู่ในช่วงความเข้มข้นของน้ำเสียดิบที่เคยมีการศึกษาเพื่อให้ง่ายต่อการติดตามปฏิกิริยา จากนั้นแต่ละชุดการทดลองดำเนินการให้อยู่ในภาวะมีอากาศ (โดยการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง และสังเกตให้ระบบมีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ แต่การทดลองไม่ได้ศึกษาการกำหนดอัตราการเติมอากาศให้กับระบบ) และไม่มีอากาศโดยทำการปิดฝาถัง ทำการทดลองโดยไม่มีการเติมน้ำเสียเพิ่มอีก ทำการทดลองโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากแต่ละถังโดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 0, 3, 5, 15 และ 30 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ดังนี้ pH SCOD TKN SS TMTD และ Zn โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ที่ระบุไว้ในตารางที่ 6 ค่าต่าง ๆ ที่ศึกษาได้นำมาวิเคราะห์ค่าอัตราการย่อยสลายของ TMTD หรือการคงอยู่ของ Zn ต่อไป

ก. ชุดทดลองในภาวะที่มีอากาศ



ข. ชุดทดลองในภาวะที่ไร้อากาศ



หมายเหตุ : ★ คือจุดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ 7 ชุดทดลองที่ใช้ศึกษาน้ำเสียในสภาวะที่มีอากาศ/ไม่มีอากาศ

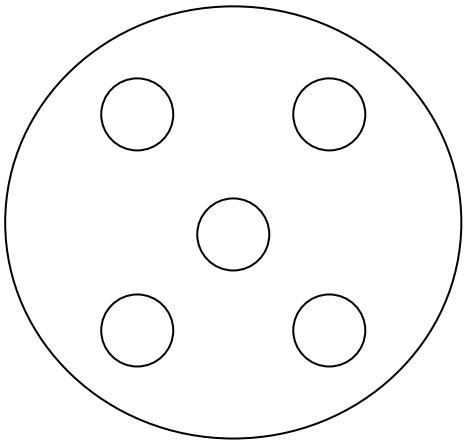
4. การทดสอบความเป็นพิษต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย

เพื่อดูผลของ TMTD/Zn ต่อการเป็นอันตรายต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยการนำเชื้อบริสุทธิ์ของ *Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐาน ATCC 25922 ซึ่งขอความอนุเคราะห์จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มาทดสอบพร้อมทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียตามธรรมชาติที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดของโรงงานน้ำยางข้น (โดยนำน้ำทิ้งหลังการบำบัดแล้วมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร แล้วนำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลวเพื่อเพิ่มจำนวนให้มากพอ แล้วใช้สำหรับใช้ในการทดสอบต่อไป) การทดสอบดำเนินการโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งด้วยวิธี agar diffusion โดยใช้อาหาร plate count agar (PCA) ในการทดสอบ วิธีการทดสอบนั้นได้ใช้วิธีการดัดแปลงของ

วิธี agar disc diffusion (Bauer *et al.,* 1966) ตามมาตรฐานของ National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS) (1997) ซึ่งการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1) ปิเปตเชื้อที่ได้จากการเพิ่มจำนวนไว้ข้างต้น (enrichment) มาปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ และทำการเทอาหาร PCA ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันโดยหมุนจานเพาะเชื้อไปในทางหนึ่ง เสร็จแล้วหมุนไปในทางตรงข้ามอีกครั้งหนึ่ง และทิ้งให้แข็งตัว

2) วางแผ่นกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้วทั้งหมด 5 ตำแหน่งลงในจานเพาะเชื้อ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตำแหน่งที่จะวางแผ่นกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง

3) ทดสอบกับสารละลาย TMTD และ Zn ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย TMTD เท่ากับ 0, 0.1, 2.5 และ 5 mg/l และความเข้มข้นของสารละลาย Zn เท่ากับ 0, 0.005, 0.01 และ 0.1 mg/l รวมถึงทดสอบกับสารละลายที่มี TMTD และ Zn รวมกันที่ความเข้มข้นคือ 0.1 mg/l TMTD และ 0.005 mg/l Zn และที่ความเข้มข้นที่ 5 mg/l TMTD และ 0.1 mg/l Zn (เหตุผลที่เลือกความความเข้มข้นของสารละลาย TMTD และ Zn ดังกล่าว เนื่องจากค่า TMTD และ Zn ที่ตรวจสอบได้จากในตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการบำบัดซึ่งใช้ทดสอบจะมีค่าเท่ากับ 0.5 mg/l และ 0.01 mg/l ตามลำดับ การทดลองจึงใช้ความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ที่ครอบคลุมความเข้มข้นดังกล่าวในช่วงประมาณ 10 เท่า) ทำการหยดสารละลาย TMTD และ Zn ใส่ลงบนแผ่นกระดาษกรองคนละตำแหน่ง ตำแหน่งละ 10 ไมโครลิตร โดยใช้ micropipette ที่ปราศจากเชื้อ รวมทั้งหยดน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วปริมาณ 10 ไมโครลิตรลงบนแผ่นกระดาษกรองที่อยู่ในจานเพาะเชื้อที่ใช้เป็น control

เสร็จแล้วนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้น (inhibition zone) โดยวัดหน่วยเป็นมิลลิเมตร

4) การอ่านผล เมื่อบ่มเชื้อจนครบ 18 ชั่วโมงแล้ว วัดขนาดของโซนใสที่เกิดขึ้น โดยวัดจากขอบโซนข้างหนึ่งไปยังขอบโซนอีกข้างหนึ่ง โดยให้ผ่านจุดศูนย์กลางของ paper disc ด้วย บันทึกหน่วยเป็นมิลลิเมตร (ขอบโซนที่วัดต้องเป็นโซนที่ชัด ถ้ามีเชื้อขึ้นบางๆ ให้ถือว่าบริเวณนั้นยังมีปริมาณสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้) และนำผลที่ได้มาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{อัตราส่วนของ inhibition zone} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโซนใสของเชื้อ}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ negative control}}$$

5. การวิเคราะห์และแปรผล

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อข้างต้นในข้อ 1. – 4. จะนำมาทำการประเมินถึงลักษณะการปรากฏอยู่และประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ที่ปรากฏในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (ในการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ใช้กระบวนการ checklist จากกลุ่มข้อมูล 4 ประเด็นหลักคือ 1) ข้อมูลลักษณะทางเคมี-ฟิสิกส์ของ TMTD และ Zn 2) รูปแบบ/วิธีที่ปรากฏ/คงอยู่ของ TMTD และ Znในกระบวนการจัดการ/บำบัดของเสีย 3) ข้อมูลความเป็นพิษ (toxicity) และ 4) เงื่อนไขของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยแต่ละประเด็นหลักจะมีประเด็นย่อยอีกประมาณ 1 – 3 ประเด็น จากนั้นทำการพิจารณาให้คะแนนแต่ละประเด็นย่อยในช่วง 1 – 3 (1 ระดับคะแนนน้อยสุด, 3 ระดับคะแนนมากสุด) แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของ score ที่พิจารณา โดยเทียบบัญญัติไตรยางศ์ของสัดส่วนคะแนนที่พิจารณาแต่ละกลุ่มของเสียที่ศึกษากับสารเคมีที่พิจารณาคือ TMTD และ Zn) และเสนอข้อเสนอแนะที่เกิดจากผลการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 3
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาจากโรงงานที่ศึกษา

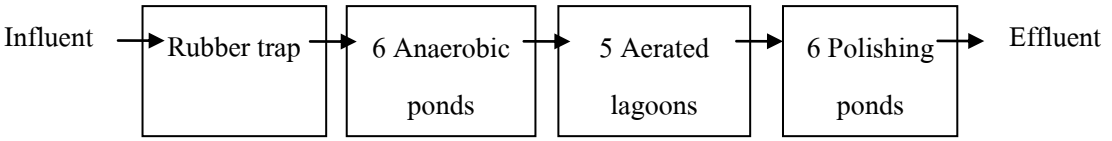
1. ลักษณะการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียและลักษณะการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ได้ทำการเก็บข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น 4 โรงงานในจังหวัดสงขลา ซึ่งได้แก่ บริษัท ทัทวิน จำกัด (A) ในอำเภอหาดใหญ่ บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์กรุ๊ป จำกัด (B) ในอำเภอหาดใหญ่ บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด (C) ในอำเภอจะนะ และบริษัท ไทยฮั้วยางพารา จำกัด (มหาชน) (D) ในอำเภอบางกล่ำ โดยการเก็บข้อมูลดำเนินการโดยการสัมภาษณ์ การสังเกตการณ์ในภาคสนาม และการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้ง เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

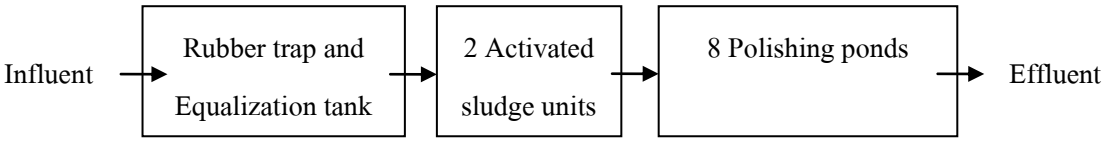
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ดำเนินการศึกษาและเก็บตัวอย่างนั้น ทั้งหมดมีการผลิตน้ำยางข้นเป็นหลัก แต่มี 3 โรงงานที่มีการผลิตยางประเภทอื่นรวมอยู่ด้วย คือ ยางแท่ง STR5L จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ศึกษา โดยการสอบถามและสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ พบข้อมูลของกำลังการผลิตน้ำยางข้น การใช้ TMTD และ ZnO ในโรงงานน้ำยางข้น ปริมาณการเกิดน้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้ง วิธีการบำบัดและกำจัดของเสีย การนำน้ำเสียหรือกากตะกอนมาใช้ใหม่ สรุปเป็นประเด็นได้ดังแสดงในตารางที่ 7 ทั้งนี้การใช้ TMTD และ Zn โดยเฉลี่ย จะมีการใช้ในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน ในอัตรา 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักน้ำยางสด นอกจากนี้พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ทำการศึกษานั้น ส่วนใหญ่จะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียประเภทบ่อ (บ่อปรับเสถียรที่ประกอบด้วยบ่อไร้อากาศ บ่อกึ่งมีกึ่งไร้อากาศ และบ่อผึ่งหรือ polishing ponds) ร่วมกับระบบบำบัดแบบมีอากาศ ซึ่งได้แก่ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) และระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ รวมถึงระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่เป็นระบบปิด คือ ระบบ UASB (up-flow anaerobic sludge blanket) โดยแต่ละโรงงานมีลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของแต่ละโรงงานจะประกอบไปด้วยหน่วยการบำบัดหน่วยย่อย ๆ หลายหน่วยทำหน้าที่ต่อเนื่องกันไปในการบำบัด โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้นส่วนใหญ่ก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจะผ่านบ่อดักยาง (rubber trap) ซึ่งทำหน้าที่ในการบำบัดเบื้องต้น เพื่อทำหน้าที่ในการดักเนื้อยางที่หลุดลอดออกมาจากกระบวนการผลิตหรือจากการล้างเครื่องมือและภาชนะต่าง ๆ โดยให้เนื้อยางเหล่านี้จับตัวกัน

ตารางที่ 7 ผลการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา

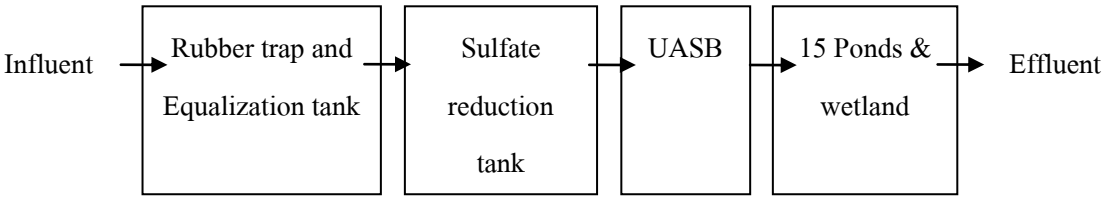
รายละเอียด	โรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา			
	A	B	C	D
1. กำลังการผลิตน้ำยางข้นต่อ เดือน (ตัน)	3,000	2,236	1,250	3,500
2.วิธีการใช้ TMTD และ Zn	ใส่ในรูป emulsion ใช้งานในโรงงาน	เตรียมเป็น solution เพื่อใช้งานในโรงงาน	เตรียมเป็นสารละลายและให้ผู้ขายน้ำยางสดนำไปเติมเอง	เตรียมในรูปสารละลายและจ่ายให้ผู้ขายน้ำยางสดไปเติมเอง
3. ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้น				
- น้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	600	400	800	400
- กากขี้แป้ง (กิโลกรัม/วัน) (นน. เปียก)	1,500	900	420	โรงงานไม่มีการเก็บข้อมูล
- กากตะกอนน้ำเสีย (กิโลกรัม/วัน) (นน. เปียก)	ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้	244	ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้	ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้
4. วิธีการบำบัดน้ำเสีย	บ่อเติมอากาศร่วมกับบ่อปรับเสถียร	ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ร่วมกับบ่อผึ่ง	ระบบ UASB, SRR และบ่อผึ่ง	ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์และบ่อผึ่ง
5.วิธีการจัดการกากขี้แป้ง	เทกองไว้	เทกองไว้	เทกองไว้	เทกองไว้
6. วิธีการจัดการกากตะกอนน้ำเสีย	กักพักไว้	กักพักไว้	ไม่มีการระบายออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย	กักพักไว้
7. การนำน้ำเสียมาใช้ใหม่	มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในการล้างพื้น	มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในการล้างพื้น	มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในการล้างพื้น	มีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในการล้างพื้น



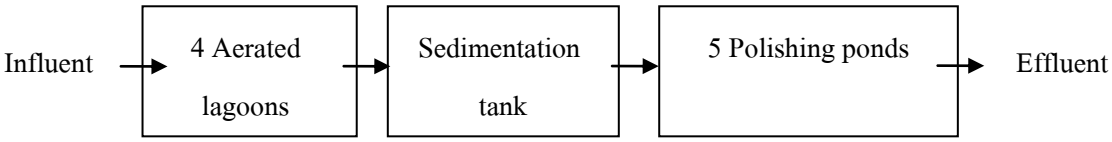
โรงงานน้ำยางข้น A ที่ศึกษา



โรงงานน้ำยางข้น B ที่ศึกษา



โรงงานน้ำยางข้น C ที่ศึกษา



โรงงานน้ำยางข้น D ที่ศึกษา

ภาพที่ 9 ผังแสดงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา

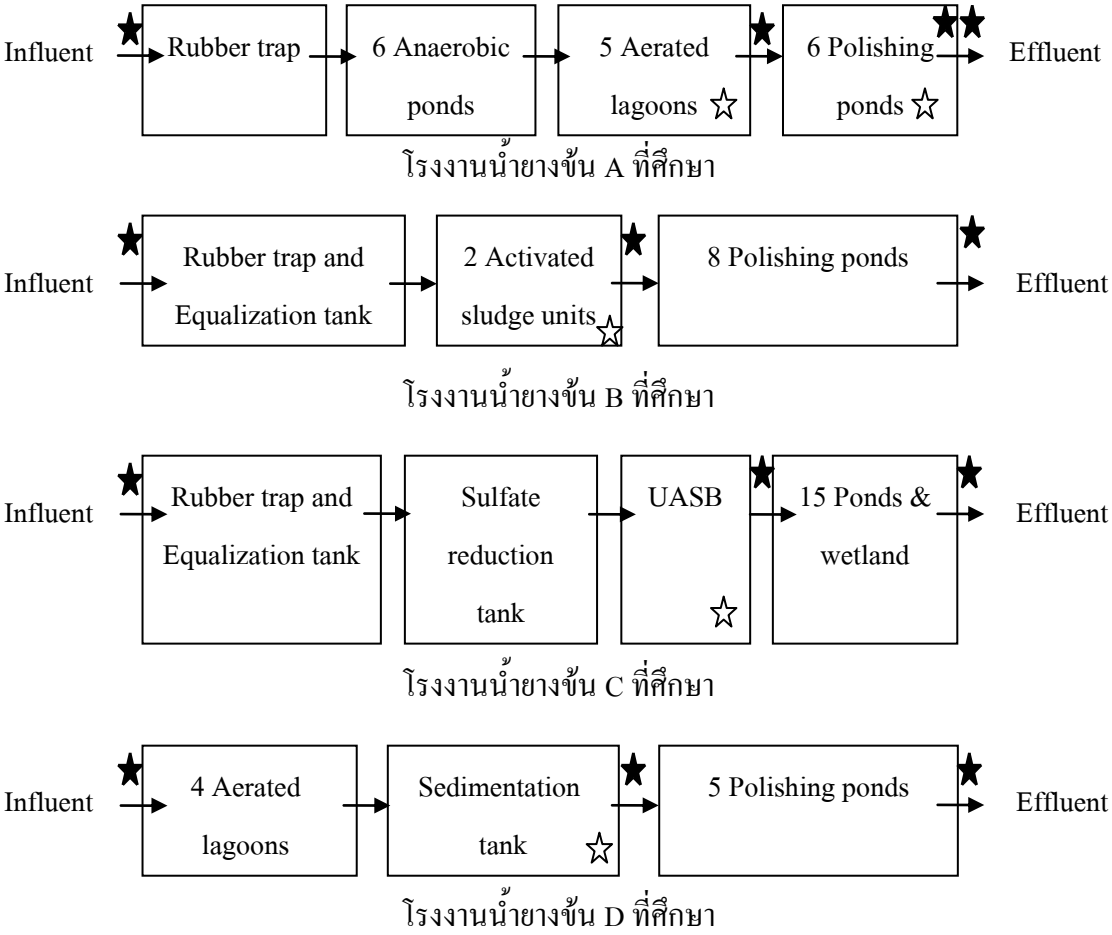
เป็นก้อนขนาดใหญ่อยู่ในบ่อดักยาง และเก็บเกี่ยวกลับขึ้นมาใช้ประโยชน์หรือขายเป็นเนื้อยางเกรดต่ำอีกที ซึ่งสอดคล้องกับที่รายงานโดยสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ (2545) จากนั้นน้ำเสียก็จะถูกส่งต่อไปยังระบบบำบัดน้ำเสียหน่วยย่อยต่อไป ซึ่งได้แก่ บ่อไร้อากาศ หรือบ่อเติมอากาศ หรือระบบ AS หรือระบบ UASB และบ่อผึ่ง เพื่อทำหน้าที่ในการบำบัดให้มีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำหลังการบำบัดดีขึ้นก่อนมีการปล่อยน้ำทิ้งหลังการบำบัดแล้วออกนอกบริเวณโรงงานน้ำยางข้นต่อไป อนึ่งมีข้อสังเกตว่าแม้ทางโรงงานจะมีระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพหลัก เช่น AS, UASB ก็ตาม แต่จะมีระบบ pond ต่อเนื่องเสมอ จึงกล่าวได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นนั้นหน่วยบำบัดน้ำเสียที่เป็นระบบแบบบ่อ (pond system) ยังเป็นหน่วยบำบัดหลักหนึ่งที่พบได้ในทุกโรงงานที่ศึกษา นอกจากนี้การจัดการกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นนั้น ทางโรงงานมักจะเทกองไว้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของวราศรี เถกประสิทธิ์ (2543) ที่ระบุว่าอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีการจัดการกากขี้แป้งโดยนำไปถมที่ เทกองไว้ บางโรงงานก็ทิ้งรวมกับขยะ และบาง

โรงงานกำจัดโดยการเผาทิ้ง รวมถึงสอดคล้องกับผลการศึกษาของทัสมณฑน์ คงสงค์และคณะ (2551) ที่ได้รายงานว่าการจัดการของเสียจำพวกกากขี้แป้งของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้ดำเนินการโดยรวบรวมใส่ในภาชนะต่าง ๆ เช่น ใส่ในถุงปุ๋ย และบางโรงงานมีการนำมาเทกองรวมพักไว้ โดยจะมีการกักเก็บในพื้นที่โรงงานเป็นระยะเวลาประมาณ 1 – 7 วัน เพื่อให้มีปริมาณกากขี้แป้งที่มากเพียงพอกับปริมาณที่ระบายออกโดยรถบรรทุก เพื่อที่จะนำกากขี้แป้งเหล่านั้นนำไปถมถนนในโรงงานและส่วนที่เหลือบางส่วนมีการเผาทิ้ง ตลอดจนการนำไปสู่สวนปาล์ม/ยางพาราด้วยเช่นกัน นอกจากนี้วิธีการจัดการกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นนั้น ทางโรงงานได้นำกากตะกอนน้ำเสียไปกักพักไว้ในพื้นที่ที่เป็นบ่อภายในบริเวณโรงงาน และบางโรงงานก็ไม่ได้ทำการระบายตะกอนออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

อนึ่ง หากพิจารณาถึงอัตราการเกิดน้ำเสียและอัตราการเกิดกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา พบว่าจะมีการเกิดน้ำเสียในอัตราระหว่าง 2.97 – 16.64 m^3/ตันน้ำยางข้น และเกิดกากขี้แป้งในอัตราระหว่าง 0.009 – 0.013 ตัน/ตันน้ำยางข้น ซึ่งข้อมูลที่ศึกษาได้นี้มีความคล้ายคลึงกับรายงานของวันชัย แก้วยอด (2540) ที่ได้มีการรายงานไว้ว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำยางข้นมีความแตกต่างกันระหว่าง 2.7 – 5.5 m^3/ตันน้ำยางข้น รวมถึงคล้ายคลึงกับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ (2545) ที่ระบุว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเมื่อคำนวณเป็นปริมาณน้ำเสียต่อหน่วยตันผลผลิตของน้ำยางข้นพบว่ามีค่าระหว่าง 2.30 – 9.14 m^3/ตันน้ำยางข้น และอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.6 – 50 กก. กากขี้แป้ง/ตันน้ำยางข้น

นอกจากนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียดิบ (น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด) จำนวน 4 ตัวอย่าง น้ำเสียหลังการบำบัดแล้วก่อนปล่อยออกนอกโรงงานน้ำยางข้น จำนวน 4 ตัวอย่าง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบไร้อากาศ จำนวน 1 ตัวอย่าง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์/บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) รวมจำนวน 3 ตัวอย่าง และน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ polishing จำนวน 1 ตัวอย่าง รวมเป็นตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 13 ตัวอย่าง นอกจากนี้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อศึกษา รวมจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยจำแนกเป็น ตะกอนจากระบบบำบัดแบบเติมอากาศและแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์รวม 3 ตัวอย่าง และตะกอนจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และบ่อ polishing จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยจุดที่มีการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 10 และได้ทำการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในแต่ละโรงงาน 3 จุดคือจากจุดถังพักน้ำยาง จากเครื่องปั่นน้ำยาง และจากไลน์การผลิตยางสกิม รวมทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างได้ทำเพียงโรงงานละครั้ง ในช่วงเดือน

มกราคม 2554 ตัวอย่างที่ได้มีการเก็บจะรักษาโดยการแช่เย็น และนำสู่การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป



ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

2. ลักษณะทางกายภาพและเคมี และปริมาณ TMTD และ Zn ที่ปนเปื้อนในของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี และปริมาณ TMTD และ Zn ที่ปนเปื้อนในของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ได้แก่ น้ำเสียดิบ (น้ำเสียรวมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด) น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อไร้อากาศ น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS น้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้ว กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง กากขี้แป้งจากหางน้ำยาง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบบ่อ และตะกอนจาก

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบ AS ของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา มีผลการศึกษาดังนี้

2.1 น้ำเสีย

จากการศึกษาลักษณะทางเคมี และปริมาณการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn ในน้ำเสีย ซึ่งการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (grab sampling) โดยตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้นั้นนำมาวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำ คือ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) COD TDS SS TKN TMTD และ Zn ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 8 โดยข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นส่วนใหญ่มีค่าเป็นกรด มีค่า COD และค่า TKN สูง และเป็นน้ำเสียที่มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น มีการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวยางจากหางน้ำยางเพื่อทำยางสกิม จึงทำให้น้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นกรด และน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากเกิดจากน้ำล้างที่มีการใช้ในกระบวนการผลิตแล้ว ยังเป็นน้ำเสียที่มาจากส่วนของน้ำซีรัมจากน้ำยาง ซึ่งน้ำซีรัมนี้พบว่าประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อื่น ๆ สูง (Visitnonthachai, 2004) จึงทำให้น้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นมีค่า COD ค่าสารของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งละลายในปริมาณความเข้มข้นที่สูง นอกจากนี้ในการผลิตน้ำยางข้นยังมีการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพยาง จึงทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่า TKN ที่สูงมากด้วย (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ, 2545) และสำหรับลักษณะน้ำเสียที่ศึกษาในครั้งนี้พบว่ามีค่า COD pH TKN และ SS คล้ายคลึงกับในหลายรายงานที่ได้มีการศึกษาและรายงานไว้ (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ, 2545 และแกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) แต่ในรายงานที่ผ่านมาพบว่า ไม่มีการระบุถึงค่าความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ในระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น โดยผลจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่า TMTD และ Zn ในน้ำเสียมีค่าในช่วง 1.32 – 3.31 mg/l และ 2.10 – 59.01 mg/l ตามลำดับ เมื่อผ่านระบบบำบัดแบบไร้อากาศและมีอากาศพบว่าค่า TMTD และ Zn มีค่าลดลง โดยพบว่าความสามารถในการบำบัด TMTD และ Zn ของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81 % และ 99 % ตามลำดับ และสำหรับร้อยละของการบำบัด COD SS TKN TDS ของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น พบดังตารางที่ 9 กล่าวคือ น้ำเสียที่ผ่านระบบ pretreatment และตามด้วยระบบบำบัดแบบเติมอากาศหรือระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จะทำให้ค่า TMTD และ Zn ลดลงได้เฉลี่ยเท่ากับ 52 % และ 59 % ตามลำดับ ในขณะที่ระบบ pretreatment และระบบหมักแบบไร้อากาศให้ค่า TMTD และ Zn ลดลงได้เท่ากับ 63 % และ 94 % และน้ำเสียที่ผ่านระบบบ่อที่รองรับกับระบบบำบัดหลักจะทำให้ค่า TMTD และ Zn ลดลงได้เท่ากับ 58 % และ 97 % และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้วมีค่าความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ในช่วง 0.31 – 0.56

ตารางที่ 8 ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น 4 โรงที่ศึกษา

ตัวอย่างน้ำเสีย	pH	COD (mg/l)	TDS (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TMTD (mg/l)	Zn (mg/l)
น้ำเสียดิบ							
- ค่าพิสัย	4.53-5.40	8,464-13,248	2,704-8,228	207-382	640-1,119	1.32-3.31	2.10-59.01
- ค่าเฉลี่ย	4.99	10,488	4,959	278	794	2.52	21.11
- ค่า SD	0.36	2,135	2,346	75	225	0.94	25.67
น้ำทิ้งหลังบำบัดแล้ว							
- ค่าพิสัย	6.51-7.44	41-96	50-1,912	6-10	6-350	0.31-0.56	0.01-0.85
- ค่าเฉลี่ย	6.96	68	598	8	100	0.47	0.23
- ค่า SD	0.38	23	881	2	167	0.11	0.42
น้ำเสียหลังบำบัดด้วยระบบมีอากาศ/AS							
- ค่าพิสัย	5.98-8.15	272-320	893-5,728	21-59	715-2,140	0.72-1.77	0.21-20.46
- ค่าเฉลี่ย	7.26	303	4,021	42	1,314	1.20	8.57
- ค่า SD	1.14	27	2,713	19	739	0.53	10.58
น้ำทิ้งหลังบำบัด							
- จากระบบไร้อากาศ	7.58	6,624	1,340	26	632	0.92	1.19
- จากบ่อผึ่ง	8.09	138	759	15	259	0.69	0.08

mg/l และ 0.01 – 0.85 mg/l โดยค่า Zn COD SS และ pH มีค่าไม่สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของอุตสาหกรรม ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าค่า Zn ต้องไม่เกิน 5.0 mg/l ค่า COD ต้องไม่เกิน 120 mg/l ค่า SS ต้องไม่เกิน 50 mg/l และค่า pH ระหว่าง 5.5 – 9.0 และจากการ

ตารางที่ 9 ร้อยละของการบำบัดเฉลี่ยที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น

ตัวแปรคุณภาพน้ำ / ระบบบำบัดน้ำเสีย	COD (%)	TDS (%)	SS (%)	TKN (%)	TMTD (%)	Zn (%)
ทั้งระบบ	99	88	97	87	81	99
ระบบ pretreatment + ระบบเติมอากาศ/AS	97	19	85	-65	52	59
ระบบ pretreatment + ระบบไร้อากาศ	37*	73*	91*	20*	63*	94*
จากบ่อผึ่ง 1 บ่อ	99*	85*	95*	67*	73*	100*
เฉพาะระบบบ่อซึ่งต่อเนื่องจากระบบบำบัดหลัก	96	82	79	91	58	97

หมายเหตุ : * ไม่ได้เป็นค่าเฉลี่ย แต่คิดจากข้อมูลจากของแต่ละโรงงานที่ศึกษา

เปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์และคณะ (2545) ซึ่งศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมยางน้ำข้นในภาคใต้กว่า 45 โรงงานในช่วงปี 2544 – 2545 พบว่าน้ำเสียหลังบำบัดมีลักษณะทางเคมีที่ค่อนข้างดีกว่ากับที่มีการศึกษามาก่อน กล่าวคือลักษณะทางเคมีของน้ำเสียในด้านตัวแปรคุณภาพน้ำหลังบำบัดที่เคยมีการศึกษามาพบว่ามีค่า pH เป็นด่าง 6.77 – 9.15 มีค่า COD ระหว่าง 24 – 1,272 mg/l มีค่า SS ระหว่าง 48 – 600 mg/l มีค่า TKN ระหว่าง 5.04 – 1,033 mg/l หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรคุณภาพน้ำของค่า COD SS TKN เท่ากับ 489 mg/l 258 mg/l 328 mg/l ตามลำดับ รวมไปถึง % การกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่เคยมีการศึกษามาก่อน พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD โดยเฉลี่ยเท่ากับ 90.4 % มีความสามารถในการกำจัด SS และ TKN โดยเฉลี่ยเท่ากับ 69.6 % และ 68.8 % ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษาในครั้งนี้สามารถกำจัดปริมาณสารปนเปื้อนในรูปสารอินทรีย์ SS และ TKN ได้สูงกว่าที่มีรายงานในอดีต นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าร้อยละของการกำจัด TMTD และ Zn จากหน่วยบำบัดแบบมีอากาศและไม่มีอากาศและระบบบ่อจะมีผลต่อความมากน้อยในการกำจัด TMTD และ Zn ด้วย ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าระบบบ่อ (บ่อผึ่งและระบบไร้อากาศ) จะให้ค่าการกำจัด TMTD และ Zn ได้มากกว่าระบบ

AS/เติมอากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าระยะเวลาการบำบัดของน้ำในหน่วยบำบัดดังกล่าวที่มากกว่า (ค่า HRT ของระบบบ่อผึ่งหรือบ่อไร้อากาศ ส่วนใหญ่มีค่าในช่วง 10 – 30 วันหรือมากกว่า แต่ค่า HRT ของระบบ AS/บ่อเติมอากาศมีค่าในช่วงน้อยกว่า 1 วัน ถึง 2 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) จึงมีผลต่อการย่อยสลายหรือการดูดซับและตกตะกอนของอนุภาค/สารปนเปื้อนในระบบได้มากกว่า ทำให้ระบบมีการกำจัดค่า Zn และ TMTD ได้มากกว่า

2.2 ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี และปริมาณ TMTD และ Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอน 3 ประเภท คือ ตะกอนจากระบบบ่อไร้อากาศ ตะกอนจากระบบบ่อเติมอากาศ/AS และตะกอนจากระบบบ่อผึ่ง โดยตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เก็บได้นั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น ความชื้น pH TS VS ash total nitrogen (TN) TMTD และ Zn ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 10 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดมีค่าไนโตรเจนค่อนข้างสูงในช่วง 1 – 10 % น้ำหนักแห้ง และพบ Zn และ TMTD ในช่วง 0.03 – 2.41 % และ 1.54 – 15.40 mg/kg น้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการศึกษานี้มีความคล้ายคลึงกันกับที่มีการศึกษามาก่อนของณัฐนาท ชุมสวัสดิ์และคณะ (2554) ที่รายงานว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดแบบ AS จะมีค่าความชื้น TS pH VS ash TN และ Zn เท่ากับ 89.86 % 10.14 % 6.7 82.72 % 17.28 % ของของแข็งทั้งหมด 5.19 % และ 3.94 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยมีข้อสังเกตว่าพบ TMTD และ Zn ในกากตะกอนน้ำเสียจากระบบเติมอากาศและจากบ่อหมักไร้อากาศที่สูงกว่าในตะกอนจากระบบบ่อผึ่ง ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมีค่า TMTD และ Zn ปนเปื้อนอยู่นั้น สามารถสะท้อนให้เห็นได้ว่า TMTD และ Zn ในน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นสามารถถูกกำจัดออกโดยกลไกของการดูดซับในตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย หรืออนุภาคต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งระบบเติมอากาศ/บ่อหมักไร้อากาศมักเป็นหน่วยบำบัดต้น ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย จึงมีโอกาสในการดูดซับ TMTD หรือ Zn ได้มากกว่าในระบบบ่อผึ่งซึ่งเป็นระบบบำบัดที่อยู่ด้านท้าย ๆ ของระบบ จึงทำให้ตะกอนจากหน่วยบำบัดแรก ๆ ดังกล่าวมีค่า TMTD/Zn ที่สูงกว่าที่พบในระบบบ่อผึ่ง นอกจากนั้นในส่วนของ TMTD อาจจะถูกกลไกของการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียร่วมด้วย จึงทำให้มี TMTD และ Zn ในน้ำเสียหลังบำบัดแล้วมีค่าลดลง

ตารางที่ 10 ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์								
	ความหนาแน่น (kg/m^3 ,wet wt.)	ความชื้น (%)	pH	TS (%)	VS (% of TS)	Ash (% of TS)	TN (%)*	TMTD (mg/kg)*	Zn (%)*
ตะกอนจากระบบบ่อไร้อากาศ	1,030	95	8.39	5	83	17	7.8	15.40	2.41
ตะกอนจากระบบบ่อเติมอากาศ/ AS	1,010-1,218 (1,079)	74-98 (90)	6.87-8.77 (7.83)	2-26 (10)	12-82 (58)	18-89 (42)	1.0-10.7 (6.7)	2.57-8.71 (5.54)	0.03-1.77 (1.16)
ตะกอนจากระบบบ่อผึ่ง	1,127	86	8.59	14	16	84	1.1	1.54	0.04

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเฉลี่ย และ * หมายถึงเป็นหน่วยน้ำหนักแห้ง

2.3 กากขี้แป้ง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี และปริมาณ TMTD และ Zn ในกากขี้แป้งตามแหล่งกำเนิดต่างๆ ซึ่งการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างกากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง และกากขี้แป้งจากหางน้ำยาง โดยตัวอย่างกากขี้แป้งที่เก็บได้นั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น ความชื้น pH TS VS ash total nitrogen (TN) TMTD และ Zn ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 11 พบว่ากากขี้แป้งจากทั้ง 3 จุดมีลักษณะทางเคมีที่คล้ายคลึงกันและมีค่าในช่วงเดียวกันกับที่มีการศึกษามาก่อนของวราศรี เถกประสิทธิ์ (2543) หรือ สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ (2551) ซึ่งได้รายงานว่าตัวอย่างกากขี้แป้งสดมีค่าความชื้นและค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยในช่วง 57.7 – 64.4 % และ 35.6 – 42.3 % ตามลำดับ ค่า pH ของกากขี้แป้งเฉลี่ยในช่วง 8.63 – 9.0 และค่าความหนาแน่นเฉลี่ยในช่วง 1.0477 – 1.0517 ตัน/ลบ.ม. สำหรับกากขี้แป้งแห้งพบว่าประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ N และ Zn โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยในช่วง 2.06 – 2.14 และ 0.51 – 1.01 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าปริมาณของแข็งระเหยได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ

ตารางที่ 11 ลักษณะทางเคมีในตัวอย่างกากขี้แป้ง

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์								
	ความหนาแน่น (kg/m^3, wet wt.)	ความชื้น (%)	pH	TS (%)	VS (% of TS)	Ash (% of TS)	TN (%)*	TMTD (mg/kg)*	Zn (%)*
กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยาง	1,100-1,145 (1,127)	68-75 (71)	8.84-9.22 (9.05)	25-32 (29)	46-58 (51)	42-54 (49)	3.4-3.9 (3.6)	3.58-11.09 (6.82)	0.17-0.51 (0.32)
กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยาง	1,245-1,262 (1,254)	61-65 (62)	8.55-9.38 (9.14)	35-39 (38)	41-42 (41.5)	58-59 (58.5)	4.4-5.3 (4.8)	7.00-89.55 (30.05)	0.24-0.54 (0.38)
กากขี้แป้งจากการผลิตยางสกิม	1,098-1,160 (1,124)	70-75 (73)	8.50-9.25 (8.98)	25-30 (27)	46-55 (49)	45-54 (51)	3.7-4.2 (4.0)	6.87-12.16 (8.85)	0.23-0.30 (0.27)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเฉลี่ย และ * หมายถึงเป็นหน่วยน้ำหนักแห้ง

53.1 – 55.2 % น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่ากากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นยังมีค่า TMTD ปนเปื้อนอยู่ในช่วง 3.58 – 89.55 mg/kg น้ำหนักแห้ง ระดับการปนเปื้อนของ TMTD ในกากขี้แป้งพบว่ามีค่าที่สูงกว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และเมื่อพิจารณาค่าของ Zn ที่พบในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและกากขี้แป้ง ซึ่งมีค่า Zn อยู่ในช่วง 270 – 1,205 mg/kg น้ำหนักเปียก และ 1,173 – 3,726 mg/kg น้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยเทียบกับค่าที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรมปี 2548 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) ที่ระบุว่าของเสียที่มี Zn เป็นองค์ประกอบจะถูกจัดว่าเป็นของเสียอันตรายเมื่อของเสียนั้นมีค่าความเข้มข้นของ Zn ที่ 5,000 mg/kg น้ำหนักเปียก ทำให้สรุปได้ว่าในเบื้องต้นกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งไม่เป็นกากของเสียอันตรายในด้านที่มี Zn ปนเปื้อนอยู่ แต่จะสรุปให้ได้อย่างชัดเจนก็ต้องมีการนำตัวอย่าง

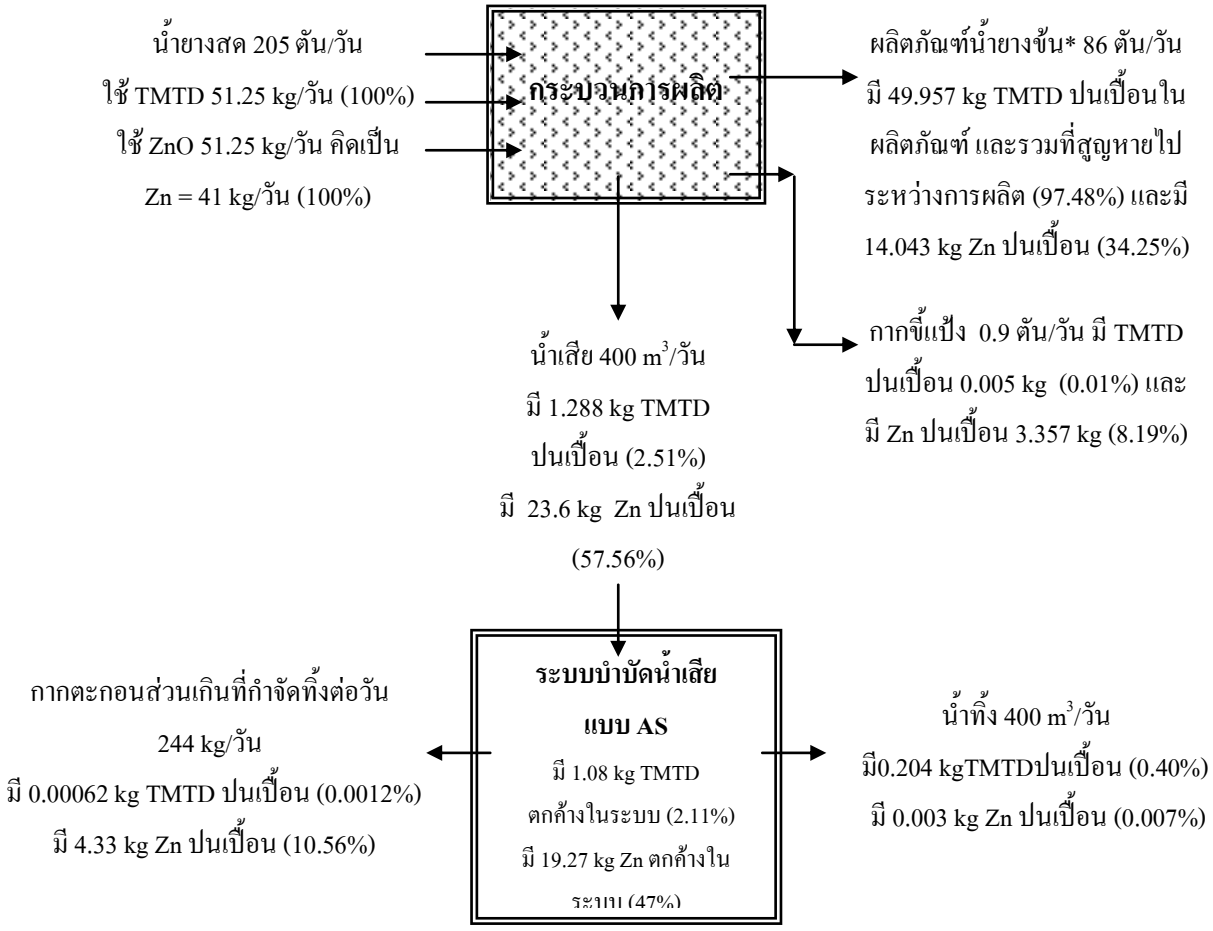
เหล่านี้ไปวิเคราะห์โดยทำ waste extraction test (WET) ต่อเพื่อหาค่าความเข้มข้นของ Zn ในของเหลวที่สกัดได้ว่ามีความเข้มข้นที่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไรก็ตามกากตะกอนและกากขี้แป้งมีการปนเปื้อนด้วย TMTD และ TMTD เป็นสารอันตรายโดยเป็นสารก่อมะเร็งได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้ในเบื้องต้นนี้สามารถระบุได้ว่ากากตะกอนดังกล่าวควรจัดเป็นของเสียอันตราย แต่จะมีความเป็นอันตรายมากน้อยเพียงใดต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป อนึ่งข้อมูลที่ศึกษาได้พบว่ากากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางมีแนวโน้มให้ค่าการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn ที่สูงกว่ากากขี้แป้งจากถังพักน้ำยางและกากขี้แป้งจากการผลิตยางสกิม

3. ผลการดุลมวลของ TMTD และ Zn ของโรงงานน้ำยางข้น

ภาพที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์สมดุลมวลของ TMTD และ Zn ของโรงงานที่ศึกษา (ใช้กรณีศึกษาของโรงงาน B ข้อมูลพื้นฐานบางส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 7) เพราะมีข้อมูลที่ค่อนข้างสมบูรณ์กว่าโรงงานอื่นที่ศึกษา ในการศึกษาการดุลมวลดังกล่าวได้ใช้ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานดังนี้ กำลังการผลิต 2,236 ตัน/เดือน เวลาทำงาน 26 วัน/เดือน อัตราการใช้ TMTD และ Zn เท่ากับ 0.025 % มีน้ำเสียเท่ากับ 400 m^3/วัน น้ำเสียดิบมีค่า TMTD และ Zn เท่ากับ 3.22 mg/l และ 59.01 mg/l ตามลำดับ น้ำทิ้งหลังบำบัดมีค่า TMTD และ Zn เท่ากับ 0.51 mg/l และ 0.0075 mg/l ตามลำดับ โรงงานมีกากขี้แป้งเกิดขึ้นวันละ 900 กก. และกากขี้แป้งมีค่า TMTD และ Zn ปนเปื้อนเท่ากับ 5.82 mg/kg น้ำหนักแห้ง และ 0.373 % ตามลำดับ และมีกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อวันเท่ากับ 244 กก. โดยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่า TMTD และ Zn เท่ากับ 2.57 mg/kg น้ำหนักแห้ง และ 1.775 % ตามลำดับ และมีค่าความชื้นเท่ากับ 98.10 % และคิดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยางข้นประเภท high ammonia ซึ่งหลังการได้น้ำยางข้นแล้วจะไม่มีการเติม TMTD และ ZnO อีกแต่ใช้ NH_3 ที่ความเข้มข้นที่สูงถึง 0.7 % ผลการวิเคราะห์สมดุลมวลของ Zn และ TMTD ของโรงงานน้ำยางข้นดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 ผลการทำสมดุลมวลของ TMTD

จะเห็นได้ว่าจากการเติม TMTD ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้น จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของ TMTD ในส่วนของน้ำเสียคิดเป็นสัดส่วน 2.51 % ของจากที่มีการใช้ในกระบวนการผลิต และมีสัดส่วน 97.48 % ของที่มีการใช้ TMTD ในกระบวนการผลิตจะติดไปในผลิตภัณฑ์น้ำยางข้น/ยางสกิมเครฟ รวมทั้งเกิดการสูญเสีย (การระเหย) ไปในระหว่างกระบวนการผลิตยาง และมีปริมาณสัดส่วน TMTD ที่ปนเปื้อนอยู่ในกากขี้แป้งคิดเป็นเพียง 0.01 % ของปริมาณ TMTD ที่มีการใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับสัดส่วนปริมาณ TMTD ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเมื่อ



หมายเหตุ * เป็นผลิตภัณฑ์น้ำยางข้นประเภท HA

ภาพที่ 11 สมดุลมวลของ TMTD และ Zn ในโรงงานน้ำยางข้น

ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งในระบบ AS และ polishing pond แล้ว พบว่าจะถูกกำจัดออกไปด้วยระบบบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 84 % แต่ยังพบว่า TMTD ยังคงสะสมในกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียของ AS ที่ต้องกำจัดทิ้งในแต่ละวันด้วยสัดส่วนประมาณ 0.0012 % และประเมินได้ว่า TMTD ยังคงค้างในระบบบำบัดน้ำเสียอีก 2.11 % ดังแสดงในภาพที่ 11 อนึ่งกรณีที่ทางโรงงานทำการผลิตน้ำยางข้นแบบ LA ซึ่งจะต้องมีการเติม TMTD และ ZnO เพิ่มเติมอีกร่วมกับ 0.2 % NH_3 ก็จะทำให้มี TMTD และ Zn ปนเปื้อนในตัวผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่าที่ประเมินข้างต้นได้ ทั้งนี้สามารถคำนวณได้หากทราบความเข้มข้นของ TMTD และ ZnO ที่เติมเพิ่มกับ 0.2 % NH_3 ในตัวผลิต (ในการศึกษานี้ไม่ได้คำนวณต่อในส่วนนี้ ด้วยไม่ทราบค่า TMTD และ ZnO ที่เติมในผลิตภัณฑ์ของ LA ที่ชัดเจน)

3.2 ผลการสมดุลมวลของ Zn

จะเห็นได้ว่าจากการเติม ZnO ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นนั้น จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของ Zn ในส่วนของน้ำเสียคิดเป็นสัดส่วน 57.56 % ของจากที่มีการใช้ในกระบวนการผลิต และสัดส่วน 42.44 % ของที่มีการใช้ Zn ในรูปของ ZnO ในกระบวนการผลิตจะติดไปในผลิตภัณฑ์ยางน้ำข้น/ยางสกิมเครฟ และกากขี้แป้งในระหว่างกระบวนการผลิตยาง ซึ่งปริมาณ Zn ที่ปนเปื้อนอยู่ในกากขี้แป้งคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 8.19 % ของปริมาณ Zn ที่มีการใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับปริมาณ Zn ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งในระบบเติมอากาศและ polishing pond แล้ว พบว่าจะถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสียได้ประมาณ 99.98 % และยังพบว่า Zn ยังคงสะสมในกากตะกอนส่วนเกินของระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องกำจัดทิ้งในแต่ละวันด้วยสัดส่วนประมาณ 10.56 % และประเมินได้ว่ายังมี Zn ตกค้างในระบบบำบัดน้ำเสียอีก 47 % ซึ่งข้อมูลจากการวิเคราะห์สมดุลมวลของทั้ง TMTD และ Zn ของโรงงานยางน้ำข้นนี้ ทำให้ได้ข้อสรุปว่าหากมีการใช้ TMTD และ ZnO ในกระบวนการผลิต โดยใช้ในปริมาณ 0.025 % ของน้ำยางสด TMTD จะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ในสัดส่วนที่สูงกว่าในน้ำเสีย แต่ Zn จะปนเปื้อนในน้ำเสียและกากขี้แป้งได้มากกว่าในผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาการคงอยู่/การย่อยสลายของ Zn/TMTD ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

1. กากขี้แป้ง

1.1 ลักษณะกากขี้แป้งเริ่มต้นที่ใช้ทดลอง

จากการศึกษาได้มีการใช้ตัวอย่างกากขี้แป้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งมีความแตกต่างกันคือ ชุดการทดลองแรกได้ใช้ตัวอย่างปกติที่ไม่มีการเติม TMTD และ Zn ลงไปมาทำการทดลอง โดยพบว่ากากขี้แป้งในชุดการทดลองแรกซึ่งไม่ได้เติมสารเคมีใด ๆ มีค่า TMTD 10.84 mg/kg dry wt. ค่า Zn 0.526 % dry wt. ค่า TN 3.69 % dry wt. ค่า pH 8.3 ค่า MC 72 % ค่า VS 45 % และค่า ash 55 % ส่วนชุดการทดลองที่สองซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้มีการเติม TMTD และ Zn ลงไป โดยคิดเป็นเนื้อสารของ TMTD และ Zn เท่ากับ 96 mg และ 15 mg โดยเมื่อเติมแล้วทำการกวนผสมให้เข้ากันอย่างดี ทำให้กากขี้แป้งในชุดการทดลองที่สองมีค่า TMTD และ Zn เพิ่มขึ้นโดยพบว่าเมื่อวิเคราะห์ลักษณะกากขี้แป้งที่เติม TMTD และ Zn ที่ใช้เริ่มทดลองมีลักษณะดังนี้คือ ค่า TMTD 13.40 mg/kg dry wt. ค่า Zn 0.623 % dry wt. ค่า TN 3.86 % dry wt. ค่า pH 8.5 ค่า MC 71 % ค่า VS 46 % และค่า ash 54 % อนึ่งเมื่อพิจารณาตัวอย่างกากขี้แป้งที่ได้หลังจากการเติม TMTD และ

Zn ซึ่งได้จากการคำนวณและค่าทดสอบ พบว่าค่า TMTD ที่ได้จากการคำนวณจะสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบจริง แต่ค่า Zn จะได้ต่ำกว่า (ค่าคำนวณคือ TMTD = 20.98 mg/kg และ Zn = 0.5262 % dry wt.) ทั้งนี้อาจเป็นปัญหาของข้อจำกัดของการกวนผสมกากขี้แป้งกับสารเคมีที่เติมลงไป ดังนั้นเพื่อให้เกิดการใช้ตัวอย่างที่ไม่มีปัญหาจากการแปรปรวนของตัวอย่าง จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างในชุดทดลองแบบ composite sample มาใช้งานเพื่อทดลองต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างกากขี้แป้งชุดที่ใช้ทดลองทั้ง 2 ชุดมีค่า TMTD และ Zn ในช่วงเดียวกับค่า TMTD และ Zn จากผลการศึกษาในส่วนการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งพบค่า TMTD และ Zn ในกากขี้แป้งในช่วง 3.58 – 89.55 mg/kg และ 0.17 – 0.54 % น.น.แห้ง ตามลำดับ

1.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของกากขี้แป้งที่ใช้ทดลอง

ระหว่างการทดลองกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นภายในถังคือ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำที่อยู่ภายในถังขี้แป้งลดลง สีของตัวอย่างเปลี่ยนไปจากเดิม แสดงดังภาพที่ 12 และผลจากการติดตามตัวแปรต่าง ๆ ของกากขี้แป้ง พบว่ามีรายละเอียดดังนี้

ก.) ลักษณะกากขี้แป้งเมื่อเริ่มต้น ข.) กากขี้แป้งเมื่อกักพักไว้ 30 วัน

ภาพที่ 12 ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นในกากขี้แป้งที่กักพักไว้ในขณะทดลอง

1.2.1 ค่า pH MC และอุณหภูมิ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 12 โดยพบว่ากากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีค่า pH ในวันที่ 0 เท่ากับ 8.3 และ 8.5 และมีค่า pH ในวันที่ 30 เท่ากับ

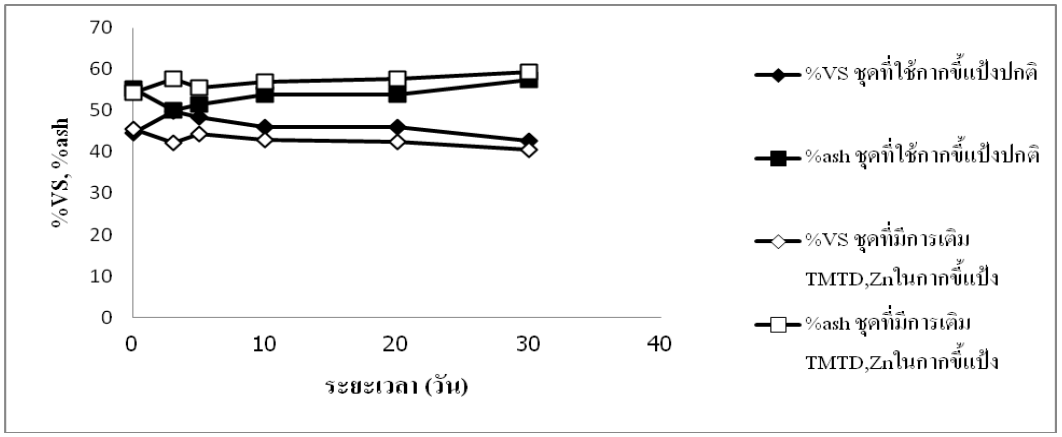
8.2 และ 8.2 ซึ่งค่า pH ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อทำการกักพักไว้นาน 30 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่มาก โดยทั้ง 2 ชุดยังมีค่า pH ที่เป็นด่าง ส่วนค่า MC ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดพบว่าตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทดลองจะมีค่า MC ที่คล้ายคลึงกันทั้ง 2 ชุด โดยมีค่า MC ที่สูงกว่า 70 % (71 – 79 %) แม้สภาพทางกายภาพจะเห็นว่ากากขี้แป้งจะดูเหมือนว่าแห้งขึ้นก็ตาม นอกจากนี้ในด้านค่าอุณหภูมิของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดพบว่าจะมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 0 เท่ากับ 27 ˚C และมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 30 เท่ากับ 29 ˚C เหมือนกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งค่าอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทดลองมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่มาก ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังที่กักพักกากขี้แป้งอาจไม่ใช่ปฏิกิริยาการหมักปุ๋ย (composting) (ปฏิกิริยาของ compost เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์สาร ในขณะเกิดปฏิกิริยาจะให้อุณหภูมิในวัตถุหมักปุ๋ยสูงขึ้นและเกิดได้ทั้งมีอากาศ/ไม่มีอากาศ ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพที่เป็น aerobic/anaerobic ที่พบในน้ำเสียหรือ sludge อินทรีย์ทั่วไปซึ่งเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้แต่ไม่ได้ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเหมือนปฏิกิริยา compost) ทั้งนี้เพราะโดยสภาพจะเห็นว่าภายในระบบกักพักกากขี้แป้งจะมีน้ำอยู่ค่อนข้างมาก แม้ค่า MC ของกากขี้แป้งที่ใช้ทดลองจะพบว่ามีค่าประมาณ 70 % ก็ตาม

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในกากขี้แป้ง

พารามิเตอร์	ชุดที่ใช้กากขี้แป้งปกติ						ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในกากขี้แป้ง					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30
pH	8.3	8.1	7.9	8.2	7.8	8.2	8.5	7.9	8.0	8.1	8.0	8.2
MC (%)	72	77	79	75	72	71	71	77	78	77	73	71
อุณหภูมิ (˚C)	27	27	27	27	28	29	27	27	27	27	28	29

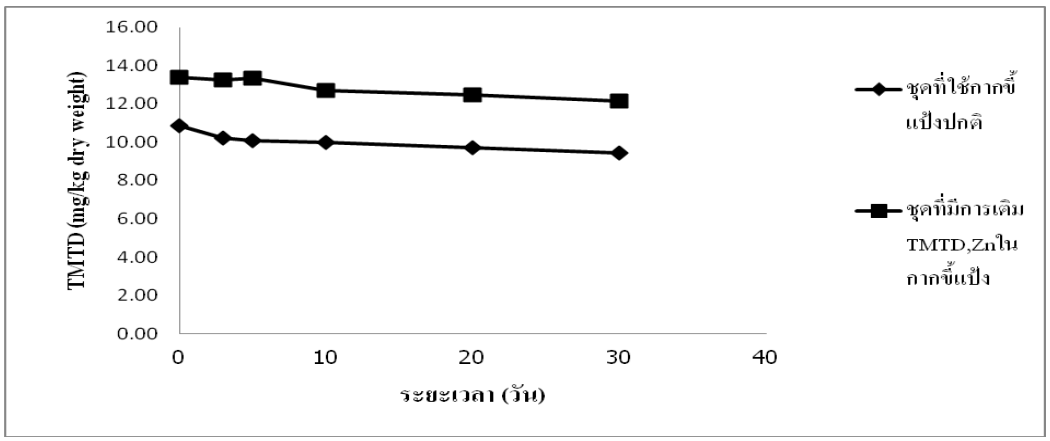
1.2.2 ค่า VS และ ash ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 13 พบว่าชุดการทดลองที่ใช้กากขี้แป้งปกติและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn จะมีค่า VS ในวันที่ 0 เท่ากับ 45 % และ 46 % และมีค่า VS ในวันที่ 30 เท่ากับ 43 % และ 41 % ตามลำดับ ซึ่งค่า VS ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่า ash ของกากขี้แป้งของชุดที่ใช้กากขี้แป้งปกติและชุดที่ได้เติม TMTD และ Zn จะมีค่าในวันที่ 0 เท่ากับ 55 % และ 54 % และมีค่า ash ในวันที่ 30 เท่ากับ 57 %

และ 59 % ตามลำดับ ซึ่งค่า ash มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดภาวการณ์การย่อยสลายทางชีวภาพ (ดังเหตุผลที่กล่าวมาก่อนหน้าแล้วในวิธีการวิจัย) จึงทำให้ % VS ของกากขี้แป้งลดลง และในทางตรงกันข้ามมีค่า % ash มากขึ้น

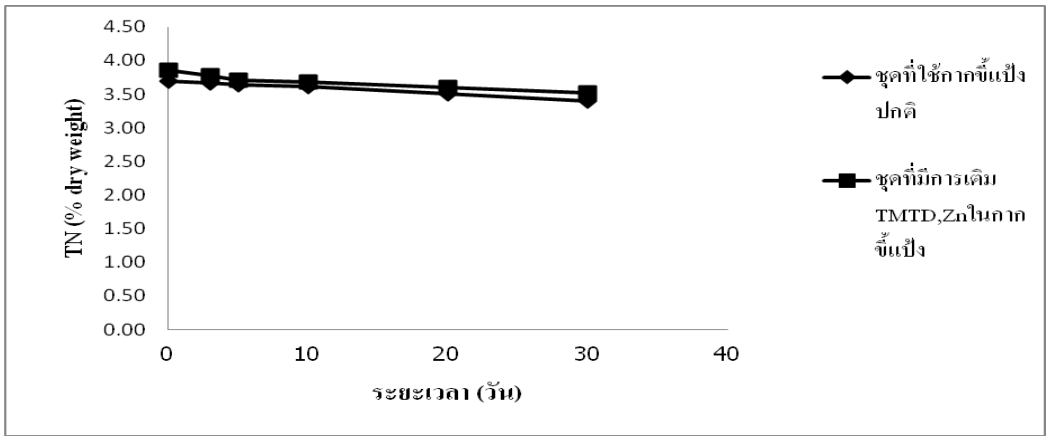


ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน

1.2.3 ค่า TMTD และ TN ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 14 และ 15 โดยพบว่ากากขี้แป้งของชุดการทดลองที่ใช้กากขี้แป้งปกติและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn มีค่า TMTD ในวันที่ 0 เท่ากับ 10.84 mg/kg และ 13.40 mg/kg และมีค่า TMTD ในวันที่ 30 เท่ากับ 9.43 mg/kg และ 12.13 mg/kg ตามลำดับ โดยค่า TMTD ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลากักพักมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับค่า TN ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุด (กากขี้แป้งชุดที่ไม่เติมและชุดที่เติม TMTD และ Zn มีค่า TN ในวันที่ 0 เท่ากับ 3.69 % และ 3.86 % และมีค่า TN ในวันที่ 30 เท่ากับ 3.40 % และ 3.52 % ตามลำดับ) ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกักพักกากขี้แป้งไว้ 30 วัน ค่า TMTD สามารถถูกย่อยสลายได้ถึง 9.5 – 13 % นอกจากนี้ ค่า TN ในกากขี้แป้งที่เติม TMTD และ Zn จะมีค่า TN สูงกว่าชุดกากขี้แป้งปกติ ทั้งนี้เพราะการเติม TMTD จะทำให้มีค่า N สูงขึ้นได้เนื่องจาก TMTD มี N เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองเมื่อกักพักในถังนาน 30 วัน ชุดทดลองที่เป็นกากขี้แป้งที่ไม่ได้เติม TMTD และ Zn จะมีค่าการกำจัด TMTD และ TN คิดเป็น 13 % และ 8 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดทดลองที่เป็นกากขี้แป้งที่ได้มีการเติม TMTD และ Zn ให้ค่าการกำจัด TMTD และ TN เท่ากับ 9.5 % และ 8.8 % ตามลำดับ



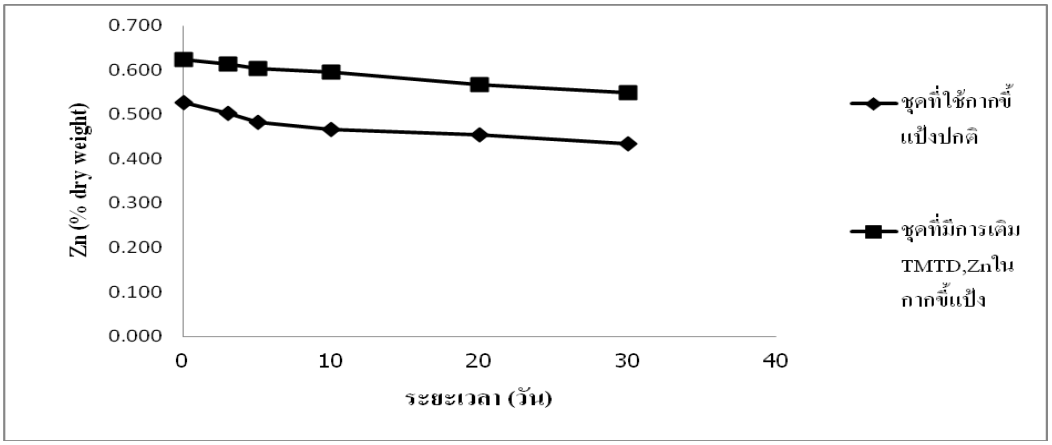
ภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน

1.2.4 ค่า Zn ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 16 พบว่ากากขี้แป้งทั้งชุดที่ไม่เติมและเติม TMTD และ Zn มีค่า Zn ในวันที่ 0 เท่ากับ 0.526 % และ 0.623 % และมีค่า Zn ในวันที่ 30 เท่ากับ 0.433 % และ 0.548 % ตามลำดับ ซึ่งค่า Zn ของกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงผลการศึกษาของณัฐนาท ชุมสวัสดิ์และคณะ (2554) ที่รายงานว่าปริมาณ Zn จากการหมักทำปุ๋ยโดยใช้วัสดุหมักจากกากตะกอนน้ำเสียประเภทตะกอนเร่งและกากขี้แป้ง ซึ่งมีปริมาณ Zn เริ่มต้นของชุดการทดลองอยู่ในช่วง 0.42 – 5.45 % dry wt. แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมีปริมาณ Zn ลดลงอยู่ในช่วง 0.40 – 5.23 % dry wt. อนึ่ง Zn เป็นโลหะหนัก ปกติจะไม่พบการย่อยสลายเหมือนกับกลุ่มมวลสารประเภทอินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ Zn ใน

ตัวอย่างกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดการทดลองอาจเกิดจากการละลายในน้ำที่อยู่รอบ ๆ ตัวอย่างกากขี้แป้งและระเหยออกของ Zn ไปพร้อมกับความชื้นในบางส่วน



ภาพที่ 16 ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในกากขี้แป้งตลอดระยะเวลา 30 วัน

2. ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS

2.1 ลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS เริ่มต้นที่ใช้ทดลอง

จากการศึกษาได้มีการใช้ตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS จำนวน 2 ชุดการทดลอง ซึ่งมีความแตกต่างกันคือ ชุดการทดลองแรกได้ใช้ตัวอย่างตะกอน AS ปกติที่ไม่มีการเติม TMTD และ Zn ลงไปมาทำการทดลอง พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ในชุดการทดลองแรกนี้มีค่า TMTD 2.35 mg/kg dry wt. ค่า Zn 1.915 % dry wt. ค่า TN 10.48 % dry wt. ค่า pH 7.4 ค่า MC 99 % ค่า VS 25 % และค่า ash 75 % ส่วนชุดการทดลองที่สองนั้นตัวอย่างได้มีการเติม TMTD และ Zn ลงไป คิดเป็นเนื้อสารของ TMTD และ Zn เท่ากับ 16.75 mg และ 62.5 mg โดยเมื่อเติมแล้วทำการกวนผสมให้เข้ากันอย่างดี ทำให้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ในชุดการทดลองที่สองมีค่า TMTD และ Zn เพิ่มขึ้นโดยลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่เติม TMTD และ Zn ที่ใช้เริ่มทดลองมีลักษณะดังนี้คือ ค่า TMTD 2.91 mg/kg dry wt. ค่า Zn 2.174 % dry wt. ค่า TN 10.63 % dry wt. ค่า pH 7.6 ค่า MC 98 % ค่า VS 22 % และค่า ash 78 % อนึ่งเมื่อพิจารณาตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ใช้หลังจากการเติม TMTD และ Zn ซึ่งได้จากการคำนวณ (ค่า TMTD = 8.57 mg/kg และ Zn = 1.9173 % น.น.แห้ง) และค่าทดสอบ พบว่าได้ผลคล้ายกับชุดการทดลองของกากขี้แป้งคือ ค่า TMTD จากการคำนวณจะได้ผลมากกว่าค่าการทดสอบและได้ Zn จากการคำนวณต่ำกว่าค่า Zn จากการทดสอบ เหตุผลคล้าย

กับที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น นอกจากนี้อาจเกิดจากลักษณะของการละลายหรือดูดซับในกากตะกอนและส่วนที่เป็นน้ำของ TMTD และ Zn ได้ต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดที่ใช้ทดลองมีค่า TMTD และ Zn ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่า TMTD และ Zn ที่ได้จากผลการศึกษาในส่วนการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งมีค่า TMTD และ Zn ในช่วง 2.57 – 8.71 mg/kg และ 0.03 – 1.77 % น.น.แห้ง ตามลำดับ

2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ใช้ทดลอง

ระหว่างการทดลองกักพักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นภายในถังเมื่อเวลากักพักนานขึ้น ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในถังจะลดลง แต่จะไม่แห้งเหมือนกากขี้แป้ง โดยจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นน้ำแยกส่วนจากส่วนตะกอนได้ชัดเจน สีของตัวอย่างเปลี่ยนไปจากเดิม แสดงดังภาพที่ 17 และผลจากการติดตามตัวแปรต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ได้กักพักไว้ พบว่ามีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ค่า pH MC และอุณหภูมิ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 13 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้งชุดการทดลองซึ่งไม่เติมและเติม TMTD และ Zn จะมีค่า pH ในวันที่ 0 เท่ากับ 7.4 และ 7.6 และมีค่า pH ในวันที่ 30 เท่ากับ 7.2 และ 7.3 ซึ่งค่า pH ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อทำการกักพักไว้นาน 30 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่มาก โดยทั้ง 2 ชุดยังมีค่า pH ที่เป็นกลาง ส่วนค่า MC ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดพบว่าตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทดลองจะมีค่า MC ที่คล้ายคลึงกันทั้ง 2 ชุด โดยมีค่า MC ที่สูงกว่า 97 % (97 – 99 %) ค่าอุณหภูมิของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดพบว่าจะมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 0 เท่ากับ 27 ˚C และมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 30 เท่ากับ 28 ˚C เหมือนกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งค่าอุณหภูมิตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทดลองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ก.) ลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS เมื่อเริ่มต้น

ข.) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS เมื่อกักพักไว้ 30 วัน

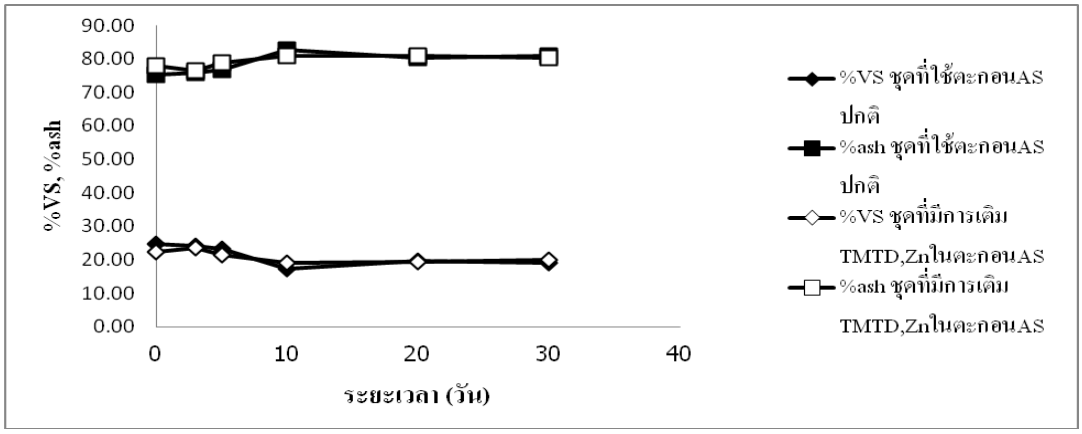
ภาพที่ 17 ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่กักพักไว้ในขณะทดลอง

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่กักพักไว้

พารามิเตอร์	ชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ปกติ						ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30
pH	7.4	7.2	7.3	7.5	7.2	7.2	7.6	7.3	7.1	7.6	7.2	7.3
MC (%)	99	98	98	97	97	97	98	98	98	97	97	97
อุณหภูมิ (°C)	27	27	27	27	28	28	27	27	27	27	28	28

2.2.2 ค่า VS และ ash ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 18 พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ปกติและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn จะมีค่า VS ในวันที่ 0 เท่ากับ 25 % และ 22 % และมีค่า VS ในวันที่ 30 เท่ากับ 19 % และ 20 % ตามลำดับ ซึ่งค่า

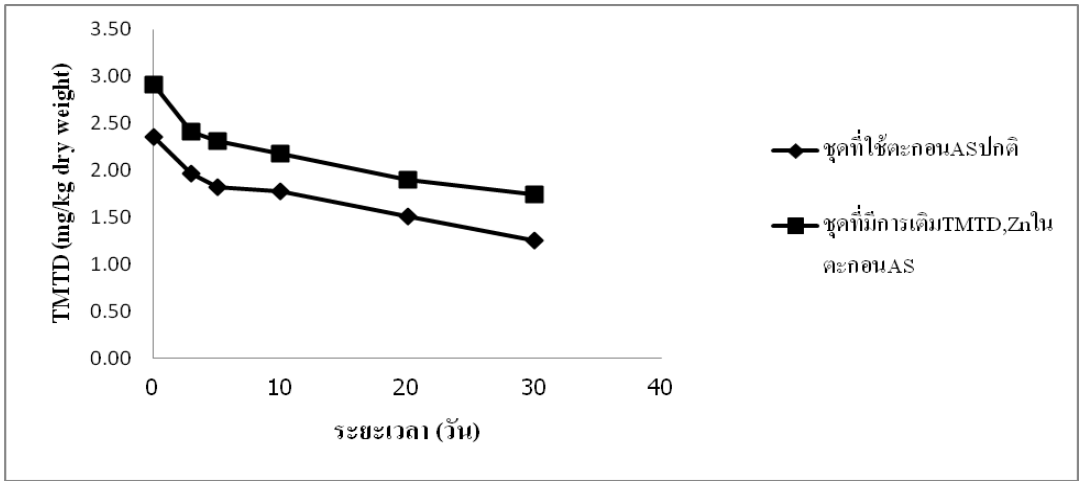
VS ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่า ash ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ของชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ปกติ และชุดที่ได้เติม TMTD และ Zn จะมีค่าในวันที่ 0 เท่ากับ 75 % และ 78 % และมีค่า ash ในวันที่ 30 เท่ากับ 81 % และ 80 % ตามลำดับ ซึ่งค่า ash มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดภาวการณ์การย่อยสลายทางชีวภาพ จึงทำให้ % VS ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ลดลง และในทางตรงกันข้ามมีค่า % ash มากขึ้น



ภาพที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน

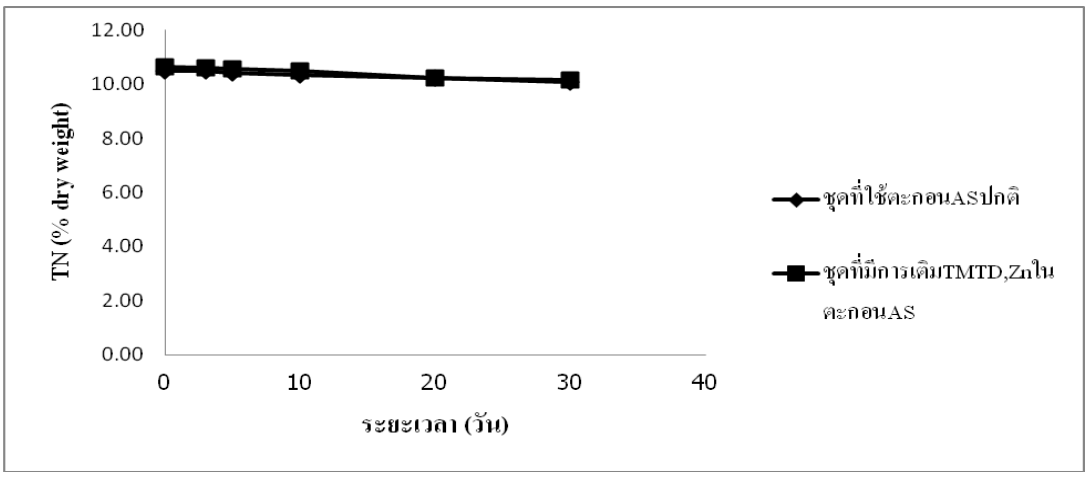
2.2.3 ค่า TMTD และ TN ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 19 และ 20 พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ไม่ได้เติมสารเคมีและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn มีค่า TMTD ในวันที่ 0 เท่ากับ 2.35 mg/kg และ 2.91 mg/kg dry wt. และมีค่า TMTD ในวันที่ 30 เท่ากับ 1.25 mg/kg และ 1.74 mg/kg dry wt. ตามลำดับ โดยค่า TMTD ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลากักพักมากขึ้นเช่นเดียวกับกากขี้แป้ง และมีลักษณะเดียวกับค่า TN คือ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ชุดที่ไม่เติมและชุดที่เติม TMTD และ Zn มีค่า TN ในวันที่ 0 เท่ากับ 10.48 % และ 10.63 % dry wt. และมีค่า TN ในวันที่ 30 เท่ากับ 10.07 % และ 10.15 % ตามลำดับ ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกักพักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ไว้ 30 วัน ค่า TMTD สามารถถูกย่อยสลายได้ถึง 40 – 47 % นอกจากนี้ ค่า TN ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่เติม TMTD และ Zn จะมีค่า TN สูงกว่าชุดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ไม่ได้เติมสารเคมี ทั้งนี้เหตุผลเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาข้างต้นในส่วนของกากขี้แป้ง ทั้งนี้ชุดการทดลองเมื่อกักพักในถังนาน 30 วัน พบว่าชุดตะกอนจากระบบ

บำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ไม่เติม TMTD และ Zn จะมีค่าการกำจัด TMTD และ TN ที่มากกว่ากากขี้แป้งโดยคิดเป็น 47 % และ 4 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ที่ได้มีการเติม TMTD และ Zn ให้ค่าการกำจัด TMTD และ TN เท่ากับ 40 % และ 4.5 % ตามลำดับ

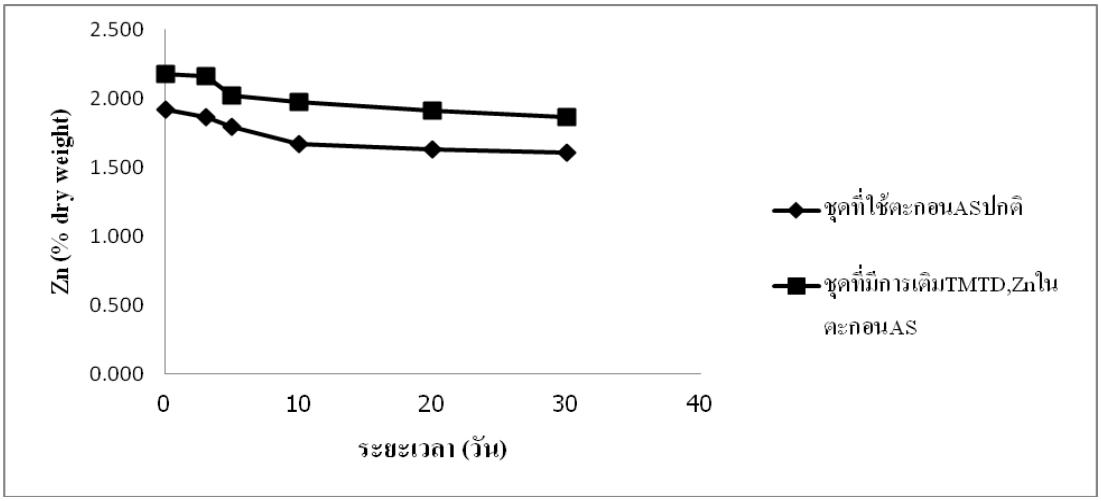


ภาพที่ 19 ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน

2.2.4 ค่า Zn ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 21 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ของชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติม TMTD และ Zn จะมีค่า Zn ในวันที่ 0 เท่ากับ 1.915 % และ 2.174 % และมีค่า Zn ในวันที่ 30 เท่ากับ 1.605 % และ 1.861 % ซึ่งค่า Zn ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับกากขี้แป้ง อนึ่งสาเหตุอาจเกิดจากที่มีการชะล้างออกของ Zn จากเนื้อตะกอนสู่มวลน้ำมากขึ้นทำให้ Zn ที่อยู่ในเนื้อกากตะกอนลดลงได้ อนึ่งการศึกษาไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างส่วนที่เป็นของเหลวของตะกอนน้ำเสียมาวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อให้มีความเชื่อมั่นในการคงอยู่/สูญหายของ Zn ซึ่งเป็นโลหะหนัก เห็นควรมีการวิเคราะห์ค่า Zn ในส่วนที่เป็นของเหลวของกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มเติมด้วย



ภาพที่ 20 ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 21 ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ตลอดระยะเวลา 30 วัน

3. ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ

3.1 ลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเริ่มต้นที่ใช้ทดลอง

จากการศึกษาได้มีการใช้ตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ โดยเก็บตะกอนมาจากบ่อผึ่ง ทำการทดลอง 2 ชุดการทดลองซึ่งมีความแตกต่างกันคือ ชุดการทดลองแรกได้ใช้ตัวอย่างตะกอนปกติที่ไม่มีการเติม TMTD และ Zn ลงไปมาทำการทดลอง พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อนี้มีค่า TMTD 1.53 mg/kg dry wt. ค่า Zn 0.095 % dry wt. ค่า TN 1.09 % dry wt. ค่า pH 8.0 ค่า MC 99 % ค่า VS 26 % และค่า ash 74 % ส่วนชุดการทดลองที่สองซึ่ง

ตัวอย่างได้มีการเติม TMTD และ Zn ลงไป ด้วยเนื้อสารของ TMTD และ Zn เท่ากับ 10 mg และ 1.5 mg โดยเมื่อเติมแล้วทำการกวนผสมให้เข้ากันอย่างดี ทำให้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อในชุดการทดลองที่สองมีค่า TMTD และ Zn เพิ่มขึ้น โดยลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่เติม TMTD และ Zn ที่ใช้เริ่มทดลองมีลักษณะดังนี้คือ ค่า TMTD 2.63 mg/kg dry wt. ค่า Zn 0.130 % dry wt. ค่า TN 1.14 % dry wt. ค่า pH 8.2 ค่า MC 99 % อนึ่งเมื่อพิจารณาตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่ใช้หลังจากการเติม TMTD และ Zn ซึ่งพบว่าค่าจากการคำนวณ (TMTD = 5.08 mg/kg และ Zn = 0.0951 %) จะมีค่าที่แตกต่างจากค่าทดสอบ ซึ่งมีผลคล้ายกับการทดลองของกากขี้แป้งและตะกอนจาก AS อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอย่างกากขี้แป้งทั้ง 2 ชุดที่ใช้ทดลองมีค่า TMTD และ Zn ที่สูงกว่าค่า TMTD และ Zn จากผลการศึกษาในส่วนการสำรวจในภาคสนามเล็กน้อย (ค่า TMTD และ Zn ที่เคยศึกษามาก่อนมีค่าเท่ากับ 1.54 mg/kg dry wt. และ 0.04 % dry wt. ตามลำดับ)

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่ใช้ทดลอง

ระหว่างการทดลองตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดการทดลอง เห็นได้ว่ามีลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นภายในถังเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่กักพักมากขึ้นคือ ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในถังลดลงโดยกากตะกอนจะมีลักษณะแห้งขึ้นโดยมีน้ำอยู่น้อยมาก สีของตัวอย่างเปลี่ยนไปจากเดิม แสดงดังภาพที่ 22 และผลจากการติดตามตัวแปรต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ พบว่ามีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ค่า pH MC และอุณหภูมิ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 14 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติม TMTD และ Zn จะมีค่า pH ในวันที่ 0 เท่ากับ 8.0 และ 8.2 และมีค่า pH ในวันที่ 30 เท่ากับ 7.9 และ 7.9 ซึ่งค่า pH ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อทำการกักพักไว้นาน 30 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่มากเช่นเดียวกับกากขี้แป้งและกากตะกอน AS และทั้ง 2 ชุดการทดลองยังมีค่า pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง ส่วนค่า MC ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดพบว่าตลอดระยะเวลา 30 วันที่ทดลองจะมีค่า MC ที่คล้ายคลึงกันทั้ง 2 ชุด โดยมีค่า MC ที่ลดลงตามช่วงเวลากักพักที่มากขึ้นโดยอยู่ในช่วง 65 – 99 % ค่าอุณหภูมิของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดพบว่าจะมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 0 เท่ากับ 27 ˚C และมีค่าอุณหภูมิในวันที่ 30 เท่ากับ 28 ˚C เหมือนกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ก.) ลักษณะตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเมื่อเริ่มต้น

ข.) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเมื่อกักพักไว้ 30 วัน

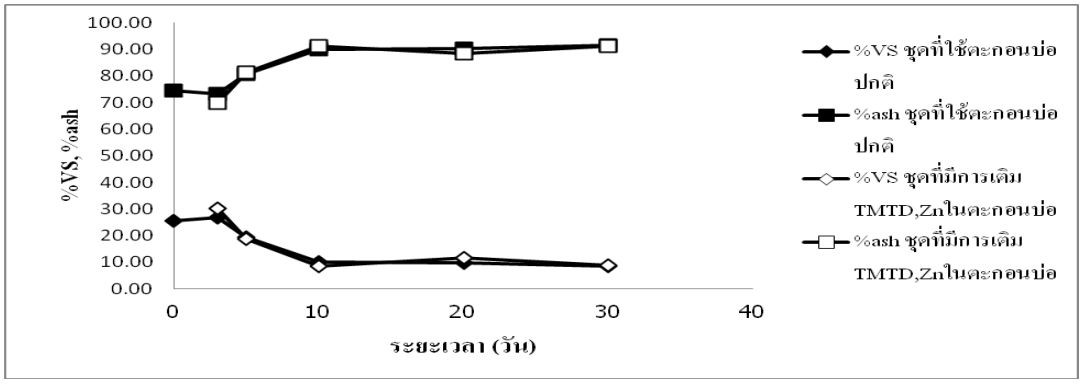
ภาพที่ 22 ลักษณะทางกายภาพที่พบเห็นในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่กักพักไว้ในขณะทดลอง

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่า pH MC และอุณหภูมิในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ

พารามิเตอร์	ชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปกติ						ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 10	วันที่ 20	วันที่ 30
pH	8.0	7.9	7.8	8.7	8.2	7.9	8.2	7.8	7.9	8.4	8.1	7.9
MC (%)	99	98	84	74	65	65	99	99	83	70	72	68
อุณหภูมิ (°C)	27	27	27	27	28	28	27	27	27	27	28	28

3.2.2 ค่า VS และ ash ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 23 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อชุดการทดลองที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อแบบไม่เติมสารเคมีและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn เมื่อกักพักไว้นานขึ้นจะมีค่า VS ทั้ง 2 ชุดทดลองในแนวโน้มลดลง ส่วนค่า ash ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัด

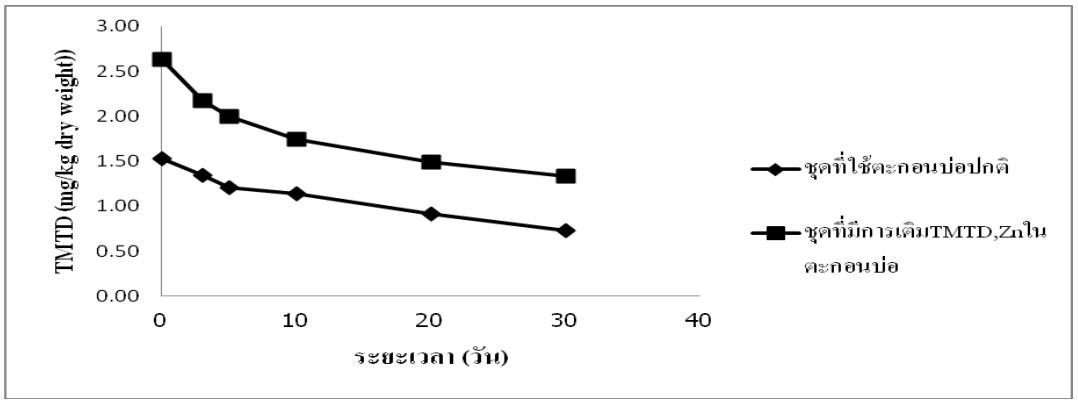
น้ำเสียแบบบ่อแบบไม่เติมและชุดที่ได้เติม TMTD และ Zn จะมีค่า ash ในแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดภาวการณ์การย่อยสลายทางชีวภาพ จึงทำให้ % VS ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อลดลง และในทางตรงกันข้ามมีค่า % ash มากขึ้น



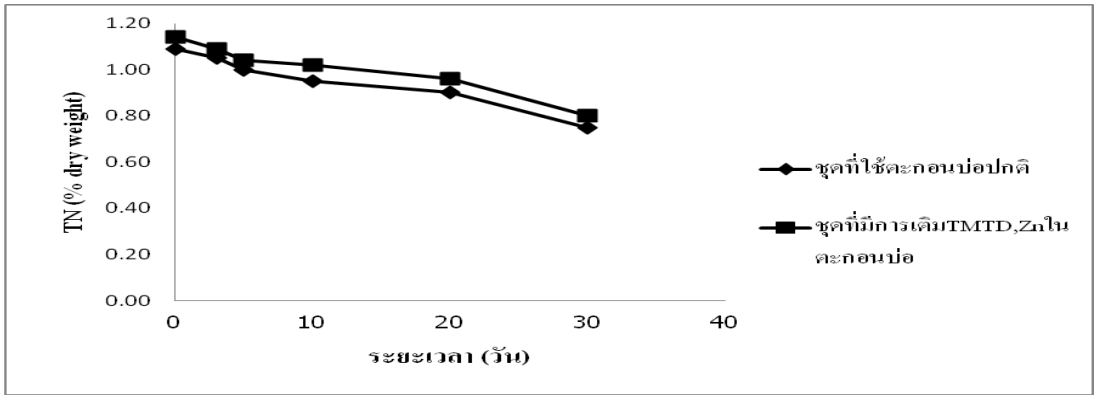
ภาพที่ 23 ผลการวิเคราะห์ค่า VS และ ash ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน

3.2.3 ค่า TMTD และ TN ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 24 และ 25 โดยพบว่าชุดการทดลองที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อแบบไม่เติมและชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn มีค่า TMTD ในวันที่ 0 เท่ากับ 1.53 mg/kg และ 2.63 mg/kg และมีค่า TMTD ในวันที่ 30 เท่ากับ 0.73 mg/kg และ 1.33 mg/kg ตามลำดับ โดยค่า TMTD ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลากักพักมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะเดียวกับค่า TN ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุด (ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อชุดที่ไม่เติมและชุดที่เติม TMTD และ Zn มีค่า TN ในวันที่ 0 เท่ากับ 1.09 % และ 1.14 % และมีค่า TN ในวันที่ 30 เท่ากับ 0.75 % และ 0.80 % ตามลำดับ) ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกักพักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไว้ 30 วัน ค่า TMTD สามารถถูกย่อยสลายได้ถึง 49 – 52 % ทั้งนี้ชุดการทดลองเมื่อกักพักในถังนาน 30 วัน พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่ไม่เติม TMTD และ Zn จะมีค่าการกำจัด TMTD และ TN คิดเป็น 52 % และ 31 % ตามลำดับ ในขณะที่ชุดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อที่ได้มีการเติม TMTD และ Zn ได้ค่าการกำจัด TMTD และ TN เท่ากับ 49 % และ 30 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของกากขี้แป้งและกากตะกอนจาก AS จะเห็นได้ว่ากากตะกอนจากบ่อผึ่ง จะให้ % การกำจัด/หรือการลดลงของ TMTD และ TN ได้สูงกว่ากากขี้แป้งและกากตะกอนจาก AS ทั้งที่มีระยะเวลากักพักเท่า ๆ กัน แสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นปฏิกิริยาทางชีวภาพ (การย่อยสลาย) หรือกายภาพ (การระเหย) ซึ่งมีอิทธิพลจากลักษณะ

ของกากตะกอนที่ถูกกักพักไว้นั้น มีอิทธิพลต่อความสามารถในการกำจัดของ TMTD ที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนแต่ละชนิดได้

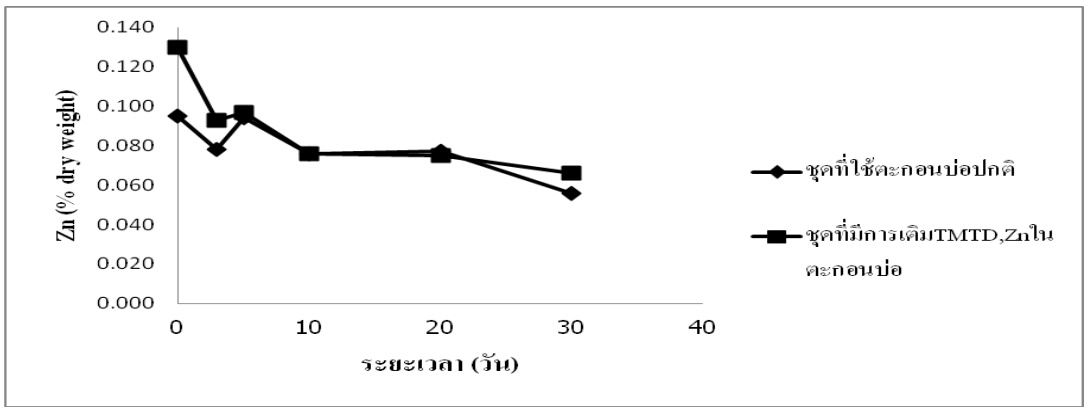


ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ค่า TMTD ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์ค่า TN ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน

3.2.4 ค่า Zn ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 26 พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้งชุดการทดลองที่ไม่เติมและเติม TMTD และ Zn มีค่า Zn ในวันที่ 0 เท่ากับ 0.095 % และ 0.130 % และมีค่า Zn ในวันที่ 30 เท่ากับ 0.056 % และ 0.066 % ตามลำดับ ซึ่งค่า Zn ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อทั้ง 2 ชุดมีแนวโน้มลดลง เหตุผลคาดว่าจะเหมือนกับกรณีของกากตะกอน AS ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 26 ผลการวิเคราะห์ค่า Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อตลอดระยะเวลา 30 วัน

4. การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD, Zn และ TN ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ผลจากการศึกษาการคงอยู่/การย่อยสลายของ TMTD/Zn ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อมีการกักพักไว้ เมื่อทำกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นกับเวลาที่กักพักไว้พบว่ามีแนวโน้มเป็นกราฟเส้นตรง แต่เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแต่ละชุดการทดลองของตัวแปรที่ศึกษา คือ TMTD, Zn และ TN ได้ชัดเจนขึ้นในเชิงปริมาณ (แต่ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ศึกษาค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแต่ละตัวแปรที่ศึกษา) ดังนั้นจึงได้มีการพิจารณาหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD, Zn และ TN โดยใช้ความสัมพันธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นสมการที่ได้คำนวณจากการใช้สูตรการวิเคราะห์ด้วย linear regression ในรูป $Y = aX + b$ เมื่อ Y คือค่าของความเข้มข้น TMTD/Zn หรือ TN ตามแต่ละช่วงเวลา โดยมีหน่วยเป็น mg/kg, % และ mg/kg น.น.แห้ง สำหรับ TMTD, Zn และ TN ตามลำดับ และ X คือค่าของเวลาการกักพักมีหน่วยเป็นวัน และ a คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตามระยะเวลาที่กักพักกากของเสีย มีหน่วยเป็นค่าความเข้มข้นของแต่ละสารเคมีดังกล่าวต่อหน่วยเวลาที่เป็นวัน และค่า b คือค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละสารที่ศึกษามีหน่วยเป็นความเข้มข้นของสารนั้น ๆ จากการคำนวณพบผลจากการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 15 กล่าวคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD ในตะกอน AS ตะกอนจากบ่อผึ่ง และกากขี้แป้ง พบว่าเมื่อมีการเติม TMTD และ Zn จะให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของการลดลงของ TMTD ในแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าไม่ได้เติม และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนักตามชนิดของกากตะกอนที่ศึกษา และสำหรับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TN ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดก็ให้ลักษณะคล้ายกับ TMTD เช่นกัน แต่สำหรับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Zn

กลับพบว่ากาก AS จะมีค่าอัตราการลดลงของ Zn ที่สูงที่สุด ในขณะที่กากขี้แป้งและกากตะกอนจากบ่อผึ่งให้ค่าอัตราการลดลงของ Zn ที่ต่ำกว่า 10 – 20 เท่า ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD, Zn และ TN ที่พบในขณะกักพักกากทั้ง 3 ชนิดที่ให้ค่าแตกต่างกันย่อมมีผลมาจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ เคมี และกายภาพที่เกิดขึ้นภายใน อาทิเช่น ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ดังจะเห็นได้ว่ากาก AS ซึ่งมีสารอินทรีย์สูงเมื่อกักพักไว้นานก็ทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์สารได้ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่าอัตราการย่อยสลาย/การลดลงของ TMTD ได้สูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้อาจเกิดจากปัจจัยด้านการดูดซับ/การละลายในของเหลวของกากตะกอนนั้น ๆ ด้วย ซึ่งจะเป็นปัจจัยใดมากน้อยควรมีการศึกษาวิจัยเชิงลึกต่อไปให้มากขึ้น

ตารางที่ 15 สมการความสัมพันธ์แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD, Zn และ TN ในกากขี้แป้งและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อกักพักไว้ 30 วัน

พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	Regression equation*	R^2
TMTD	ชุดที่ใช้กากขี้แป้ง	y = -0.038x + 10.477	0.82
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในกากขี้แป้ง	y = -0.0433x + 13.371	0.94
	ชุดที่ใช้ตะกอน AS	y = -0.0308x + 2.1277	0.88
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอน AS	y = -0.0326x + 2.6116	0.83
	ชุดที่ใช้ตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0243x + 1.4199	0.94
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0379x + 2.3228	0.84
Zn	ชุดที่ใช้กากขี้แป้ง	y = -0.0027x + 0.5082	0.87
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในกากขี้แป้ง	y = -0.0025x + 0.6201	0.99
	ชุดที่ใช้ตะกอน AS	y = -0.0101x + 1.8591	0.81
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอน AS	y = -0.0103x + 2.133	0.83
	ชุดที่ใช้ตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0011x + 0.0915	0.74
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0016x + 0.108	0.67
TN	ชุดที่ใช้กากขี้แป้ง	y = -0.0096x + 3.6957	0.99
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในกากขี้แป้ง	y = -0.0102x + 3.8069	0.92
	ชุดที่ใช้ตะกอน AS	y = -0.0137x + 10.492	0.98
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอน AS	y = -0.0172x + 10.641	0.98
	ชุดที่ใช้ตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0104x + 1.0746	0.97
	ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนบ่อผึ่ง	y = -0.0101x + 1.1227	0.95

หมายเหตุ : ผลการศึกษาของ regression equation ที่ได้ในครั้งนี้ เป็นผลที่ศึกษาภายใต้ตัวแปรของ Y ในกรณีของ TMTD, Zn และ TN มีค่าในช่วง 0.73 – 13.40 mg/kg, 0.056 – 2.174 % และ 0.75 – 10.63 % น.น.แห้ง ตามลำดับ และ X มีค่าในช่วง 0 – 30 วัน เท่านั้น

ผลการศึกษาการคงอยู่และอัตราการย่อยสลายของ TMTD/Zn ในน้ำเสียที่ภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ

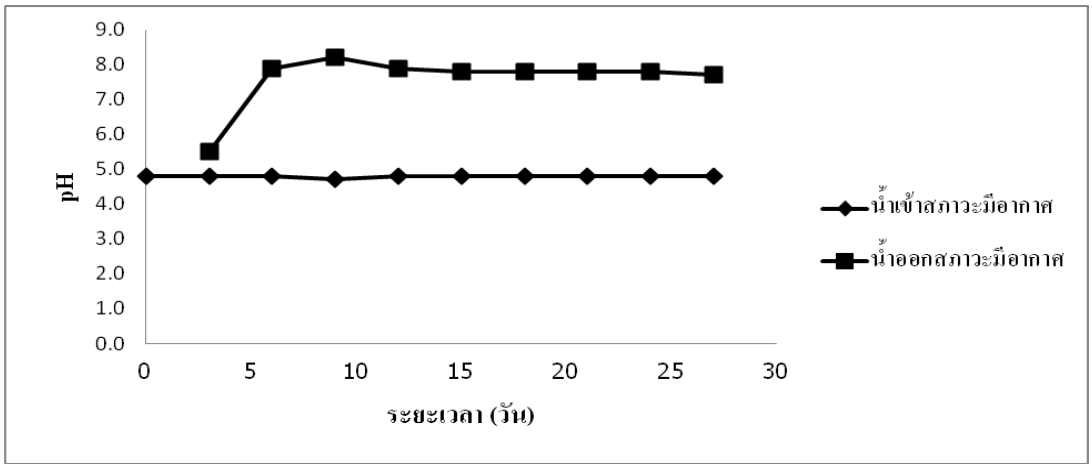
1. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ เมื่อน้ำเสียอยู่ในสภาวะมีอากาศ/ไม่มีอากาศ

1.1 สภาวะมีอากาศ

จากการศึกษาโดยนำตัวอย่างน้ำเสียดิบจากโรงงานน้ำยางข้นมาทำการทดลองในสภาวะที่มีอากาศ (ด้วยการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย) ในระบบทดลองจำลองขนาด 20 ลิตรซึ่งเป็นถังพลาสติกโดยมิได้มีการใช้ seed (หัวเชื้อ) ทั้งนี้เพื่อดูภาวะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอันมีอิทธิพลจากการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย (สภาวะคล้ายช่วง acclimatization) และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบทดลองทุก ๆ 3 วันมาทำการวิเคราะห์ได้ค่าดังรายละเอียดคือ

1.1.1 ค่า pH

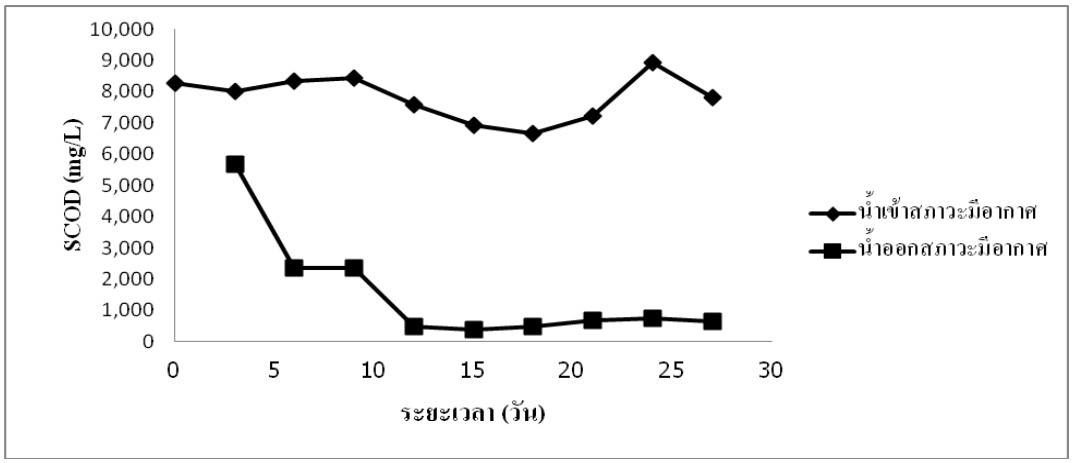
ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 27 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในวันที่ 0 มีค่า pH เท่ากับ 4.8 และมีค่า pH ในวันที่ 27 มีค่าเท่ากับ 4.8 ซึ่งค่า pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่าเป็นกรด เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติมกรดซัลฟูริก ทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีค่าเป็นกรด และพบว่าค่า pH ของน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองที่สภาวะมีอากาศเมื่อทำการทดลองตลอด 27 วัน พบว่าน้ำเสียจะมีค่า pH เป็นกลางมากขึ้น



ภาพที่ 27 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ

1.1.2 ค่า SCOD

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 28 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่า SCOD อยู่ในช่วง 6,650 – 8,930 mg/l แสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียประกอบไปด้วยปริมาณสารอินทรีย์ในความเข้มข้นที่สูง ส่วนน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองในช่วง 27 วันพบว่ามีค่า SCOD ลดลงในช่วง 376 – 5,673 mg/l โดยช่วงวันที่ 0 – 12 วันจะให้ค่า SCOD ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง และเริ่มเปลี่ยนแปลงในลักษณะคงที่หลังวันที่ 12 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ทดลองมีการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นและเข้าสู่การคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 12 วัน โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า SCOD เฉลี่ยคิดเป็น 93 %

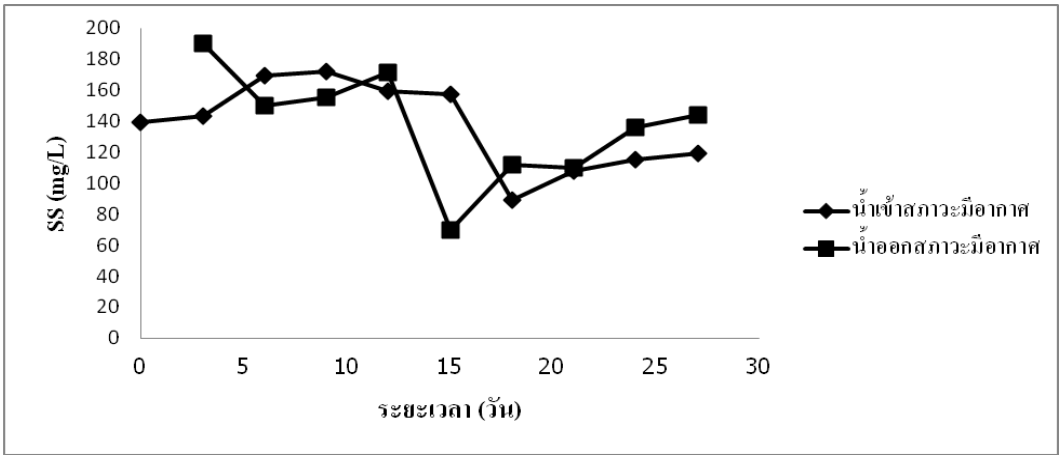


ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ

1.1.3 ค่า SS

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 29 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในช่วงเวลาที่ศึกษามีค่า SS ในช่วง 89 – 172 mg/l ส่วนน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองในช่วงที่ศึกษามีค่า SS ในช่วง 70 – 190 mg/l ซึ่งตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองจะเห็นว่าค่า SS ของน้ำออกจากระบบบางช่วงมีค่าต่ำกว่าน้ำเข้าระบบ และบางช่วงมีค่า SS ที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามในภาพรวมจะเห็นว่าน้ำออกจากระบบมีค่า SS สูงกว่าน้ำเข้าระบบเล็กน้อย (ค่าเฉลี่ยของ SS น้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 137 mg/l ในขณะที่น้ำออกระบบมีค่า SS เฉลี่ยเท่ากับ 138 mg/l) แสดงให้เห็นได้ว่าในระบบได้มีพัฒนาการเกิดขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ จึงมีผลทำให้ค่า SS ของน้ำออกแปรปรวนอยู่บ้างตามภาวะของ cell mass ที่พัฒนาขึ้นในระบบ อนึ่งการศึกษาไม่ได้ทำการเก็บค่า MLSS (mixed liquor suspended

solids) จึงไม่สามารถระบุค่า cell mass ที่เกิดขึ้นในระบบได้ อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นดังเห็นได้จากค่า SCOD ที่มีค่าลดลงดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 29 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ

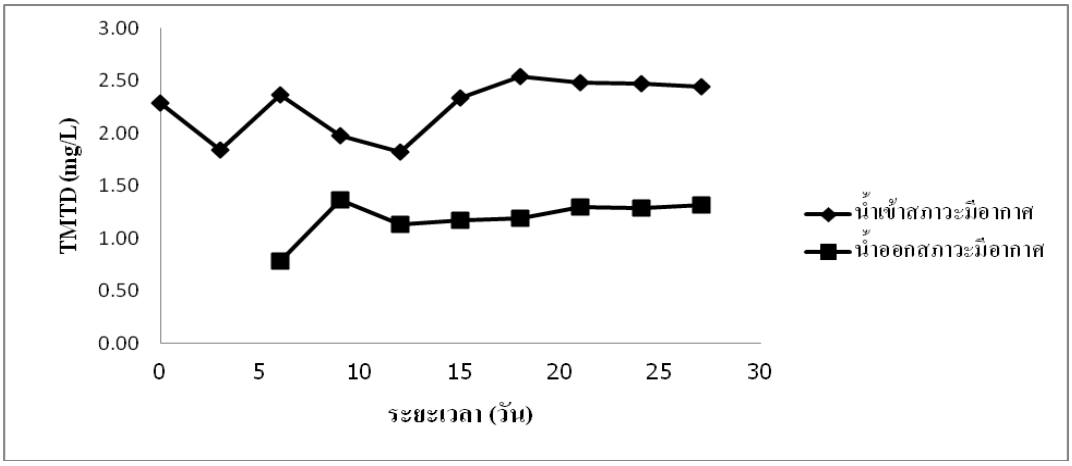
1.1.4 ค่า TMTD

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 30 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในช่วง 27 วันที่ศึกษามีค่า TMTD ในช่วง 1.82 – 2.54 mg/l ซึ่งตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองพบว่าน้ำเสียออกจากระบบมีค่า TMTD ที่มีแนวโน้มลดลง โดยให้ค่า TMTD ของน้ำออกจากระบบในช่วง 0.78 – 1.37 mg/l ทั้งนี้สามารถให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TMTD ได้ในช่วง 31 – 53 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยในการลดค่าหรือบำบัดค่า TMTD เท่ากับ 45 % และเมื่อพิจารณาค่าการลดลงของ TMTD จากการทดลองนี้กับค่าที่ศึกษาได้จากการสำรวจในภาคสนามซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ % removal ของ TMTD จากระบบ AS หรือ aerated lagoon เท่ากับ 52 % พบว่าค่าการบำบัด TMTD จากระบบที่ทดลองให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม

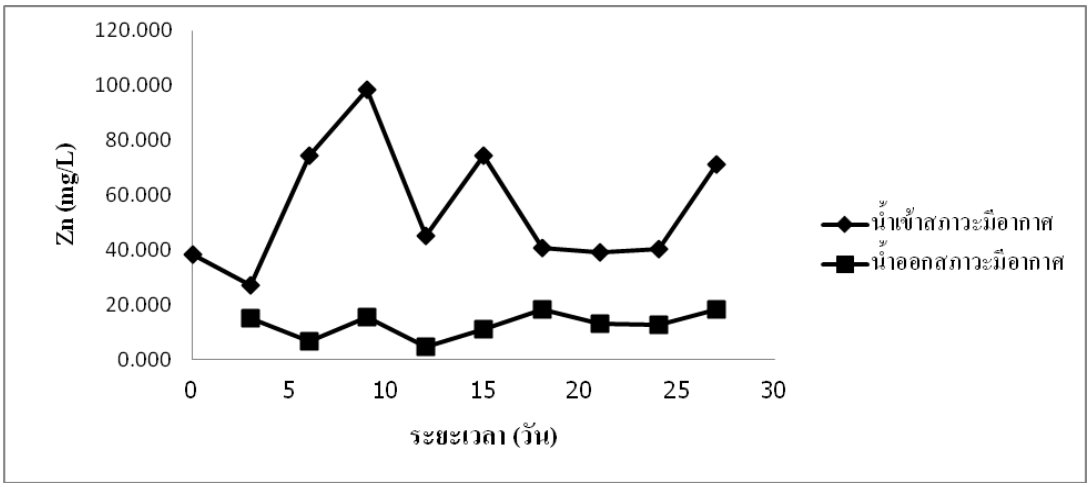
1.1.5 ค่า Zn

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 31 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่าในช่วง 26.98 – 98.35 mg/l ซึ่งพบว่าจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการสำรวจจากภาคสนามก่อนหน้าพอควร และตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองพบว่าน้ำเสียออกจากระบบมีค่า Zn ที่ลดลงโดยพบค่า Zn ในช่วง 4.85 – 18.38 mg/l การลดลงของ Zn ไม่ใช่เกิดจากการย่อยสลายของ Zn จากปฏิกิริยาทางชีวภาพ เนื่องจาก Zn คือโลหะหนัก แต่การที่ Zn ในน้ำเสียออกจากระบบมีค่าลดลงน่าจะเกิดจากการดูดซับของ Zn กับตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งถูกสะสมอยู่ในระบบ อย่างไรก็

ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบให้ค่าการกำจัด Zn ในช่วง 44 – 91 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73 % และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า % removal ของ Zn จากระบบ AS/เติมอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการสำรวจในภาคสนามที่มีค่าเฉลี่ย 59 % จึงกล่าวได้ว่าผลการทดลองนี้ให้ค่าการกำจัด Zn ที่สูงกว่าผลการศึกษาที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามเล็กน้อย



ภาพที่ 30 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ TMTD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ
(หมายเหตุค่าวันที่ 3 ได้ตัดออกเพราะว่าค่าวิเคราะห์ที่ได้สูงมาก ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างที่มีค่า SS สูง)



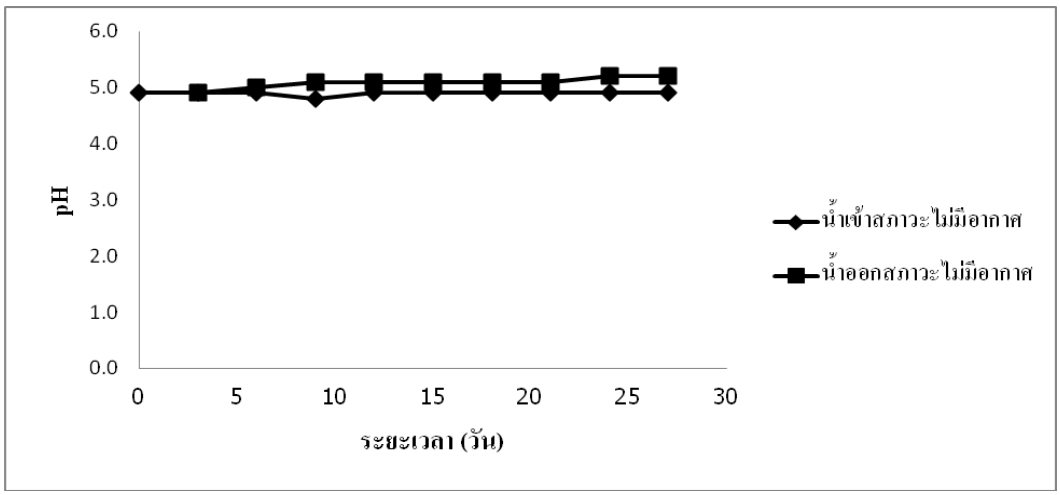
ภาพที่ 31 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Zn ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะมีอากาศ

1.2 สภาวะไม่มีอากาศ

จากการศึกษาโดยนำตัวอย่างน้ำเสียดิบจากโรงงานน้ำยางข้นมาทำการทดลองในสภาวะไม่มีอากาศโดยทดลองในระบบทดลองจำลองขนาด 20 ลิตรซึ่งเป็นถังพลาสติกโดยทำการปิดฝาถังและมีท่อระบายก๊าซติดตั้งไว้ โดยการทดลองเริ่มต้นแรกมิได้มีการใช้ seed ทั้งนี้เพื่อดูภาวะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบทดลองมาทำการวิเคราะห์ได้ค่าดังรายละเอียดคือ

1.2.1 ค่า pH

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 32 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในวันที่ 0 – 27 พบว่าค่า pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่าเป็นกรด (4.8 – 4.9) เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติมกรดซัลฟูริก ทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีค่าเป็นกรด และพบว่าค่า pH ของน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองที่สภาวะไม่มีอากาศเมื่อทำการทดลองไว้นาน 27 วัน ค่า pH ของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่มากโดยยังมีค่าเป็นกรดโดยมีค่าในช่วง 4.9 – 5.2 ซึ่งจะแตกต่างกับค่า pH ของน้ำเสียในระบบทดลองที่สภาวะมีอากาศแล้วซึ่งให้ค่า pH เป็นกลาง

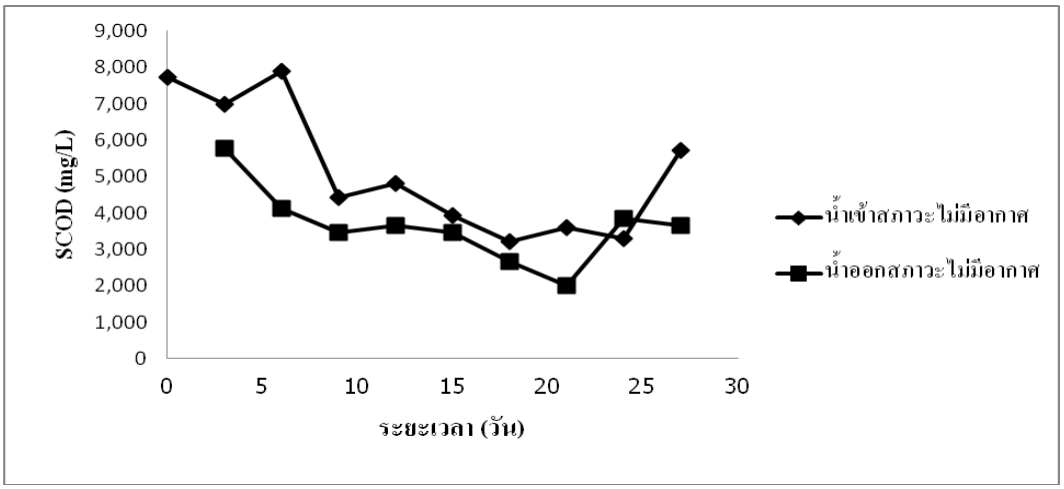


ภาพที่ 32 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ pH ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ

1.2.2 ค่า SCOD

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 33 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่า SCOD อยู่ในช่วง 3,230 – 7,905 mg/l แสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียประกอบไปด้วยปริมาณสารอินทรีย์ในความเข้มข้นที่สูง ส่วนน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองในช่วง 27 วันพบว่ามีค่า SCOD ลดลงโดยมีค่า

ในช่วง 1,995 – 5,766 mg/l โดยช่วง 27 วันที่ทดลองพบว่าค่า SCOD มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ทดลองมีการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้น โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า SCOD ในช่วง 12 – 48 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการกำจัด SCOD ของน้ำเสียในระบบทดลองที่สภาวะมีอากาศ จะเห็นได้ว่าระบบทดลองที่สภาวะมีอากาศจะให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่า SCOD เฉลี่ยที่สูงกว่า (93 %)



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงของค่า SCOD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ

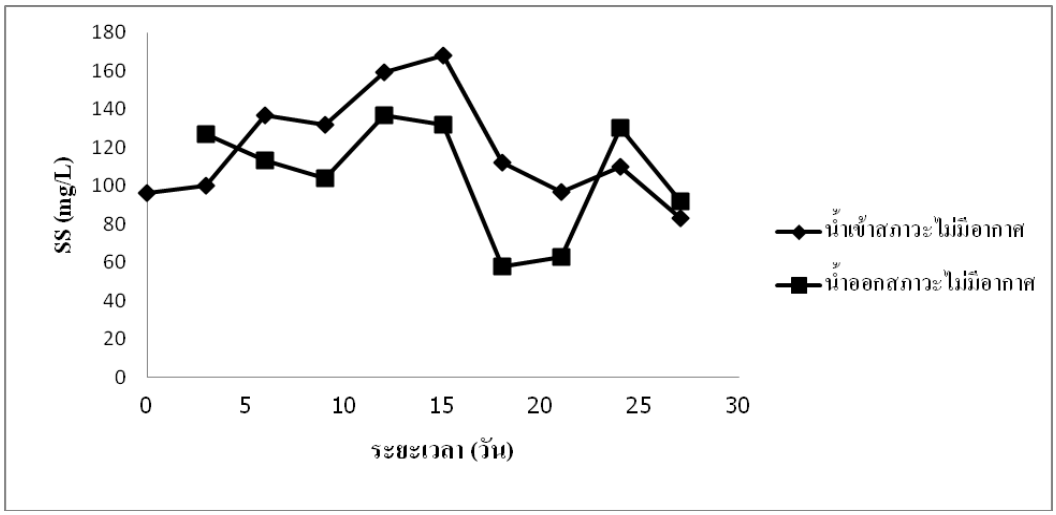
1.2.3 ค่า SS

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 34 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในช่วงเวลาที่ศึกษามีค่า SS ในช่วง 83 – 168 mg/l ส่วนน้ำเสียหลังออกจากระบบทดลองในช่วงที่ศึกษามีค่า SS ในช่วง 58 – 137 mg/l ซึ่งตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองค่าเฉลี่ยของ SS น้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 119 mg/l ในขณะที่น้ำออกระบบมีค่า SS เฉลี่ยเท่ากับ 106 mg/l

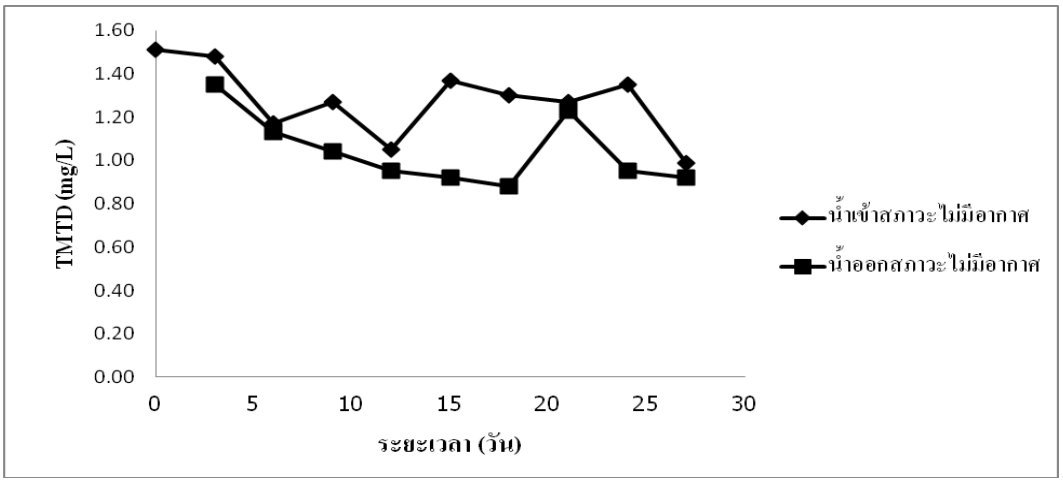
1.2.4 ค่า TMTD

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 35 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองในช่วง 27 วันที่ศึกษามีค่า TMTD ในช่วง 0.99 – 1.51 mg/l ซึ่งตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองพบว่าน้ำเสียออกจากระบบมีค่า TMTD ที่มีแนวโน้มลดลง โดยให้ค่า TMTD ของน้ำออกจากระบบในช่วง 0.88 – 1.35 mg/l ทั้งนี้สามารถให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TMTD ได้ในช่วง 3 – 33 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยในการลดค่าหรือบำบัดค่า TMTD เท่ากับ 16 % และเมื่อพิจารณาค่าการลดลงของ TMTD จากการทดลองนี้กับค่าที่ศึกษาได้จากการสำรวจในภาคสนามซึ่งมีค่า % removal ของ TMTD จากระบบไร้อากาศ มีค่าเท่ากับ 63 % จึงเห็นว่าค่าการบำบัดของ TMTD จากการทดลองนี้ต่างจากผลที่

ได้จากการสำรวจในภาคสนามและผลจากการทดลองในสภาวะที่มีอากาศ โดยผลจากการทดลองนี้ให้ค่าการลดลงของ TMTD ที่ต่ำสุด



ภาพที่ 34 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ SS ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ

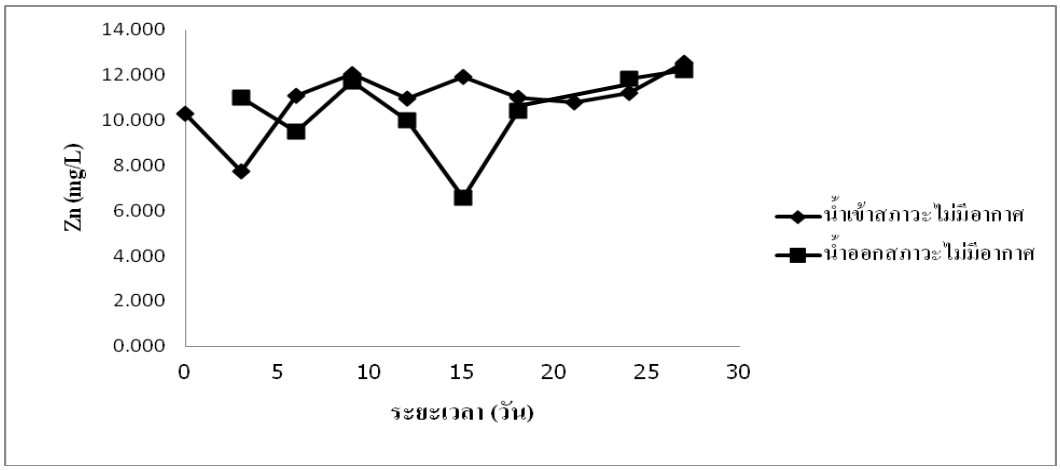


ภาพที่ 35 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ TMTD ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ

1.2.5 ค่า Zn

ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 36 พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบทดลองมีค่าในช่วง 7.75 – 12.55 mg/l ตลอดระยะเวลา 27 วันที่ทดลองพบว่าน้ำเสียออกจากระบบมีค่า Zn ในช่วง 6.55 – 12.98 mg/l ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบให้ค่าการกำจัด Zn ในช่วง 3 – 45 % หรือคิดเป็น

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15 % อนึ่งบางค่าของ Zn ของน้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าระบบในบาง วันที่ทดลองในขณะที่ศึกษา อาจมีอิทธิพลมาจากการที่ตัวอย่างที่วิเคราะห์มี SS สูง และ Zn ได้มีการดูดซับในตะกอนแขวนลอย ทำให้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำออกแล้วมีค่า Zn ที่สูงกว่าน้ำเข้าในบางค่าที่ศึกษา และเมื่อพิจารณาค่าการลดลงของ Zn จากการทดลองนี้กับค่าที่ศึกษาได้จากการสำรวจในภาคสนามซึ่งมีค่า % removal ของ Zn จากระบบไร้อากาศเท่ากับ 94 % จึงเห็นได้ว่าผลการลดลงของ Zn จากการทดลองนี้ต่างจากผลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามและผลจากการทดลองในสภาวะที่มีอากาศ โดยผลจากการทดลองนี้ให้ค่าการลดลงของ Zn ที่ต่ำสุด ทั้งนี้อาจเกิดจากสภาพของการดูดซับของ Zn ในตะกอนจุลินทรีย์ที่น้อยกว่า (ระบบไม่ได้ใช้ seed ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบซึ่งพัฒนาได้ช้ากว่าเพราะเป็นระบบแบบไร้อากาศ มีปริมาณ Zn น้อยจึงดูดซับใน cell mass ในระบบได้น้อย จึงถูกระบายออกจากระบบได้สูงกว่า)



ภาพที่ 36 ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Zn ในน้ำเสียเมื่อทดลองในสภาวะไม่มีอากาศ

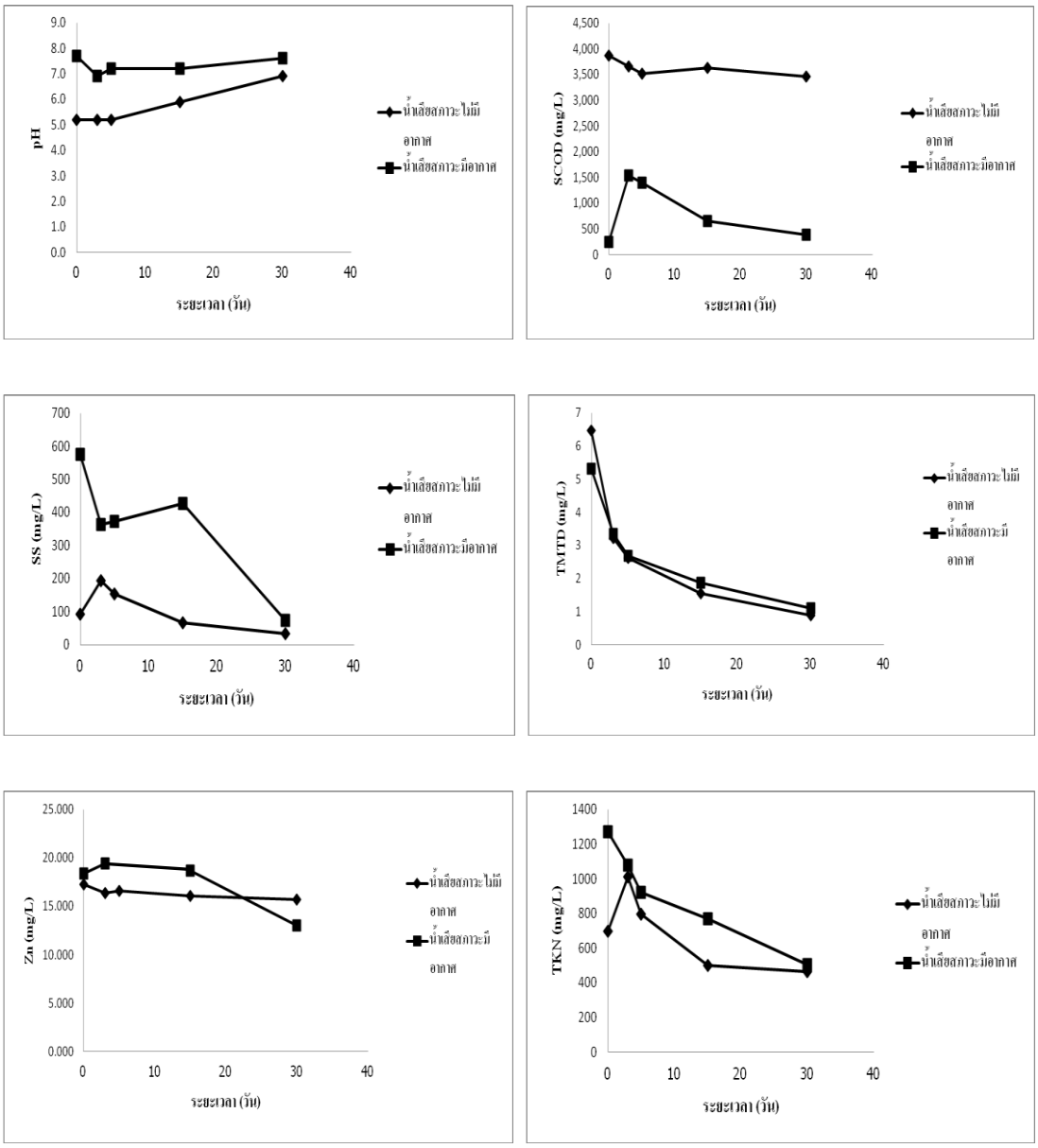
2. อัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD/Zn ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียในภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศโดยการทดลองแบบ batch

2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ที่พบในระบบ

2.1.1 แบบมีอากาศ

จากการศึกษาได้นำตัวอย่างน้ำเสียชุดทดลองที่เติมอากาศซึ่งได้ทดลองมาก่อนหน้ามาทดลองต่อ โดยทำการเติม TMTD และ Zn ลงไปในน้ำเสีย 10 ลิตร และทำให้น้ำเสียมีค่า TMTD และ Zn ในช่วงประมาณ 5 – 6 mg/l และ 18 – 19 mg/l ตามลำดับ (ให้มีค่า TMTD และ Zn ที่ใกล้เคียงกันของทั้งระบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ) จากนั้นดำเนินการทดลองในภาวะมีอากาศ

ต่อไป และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์ โดยผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 37 เมื่อนำน้ำเสียชุดทดลองที่เติมอากาศมาทดลอง โดยทำการเติม TMTD และ Zn ลงไปเพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มต้น และทำการทดลองโดยไม่ได้เติมอะไรอีกเลยในช่วง 30 วัน พบว่าค่า pH ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 6.9 – 7.7 ซึ่งตลอดเวลาที่ทำการศึกษาค่า pH ของน้ำเสียมีค่าเป็นกลางและมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ น้ำเสียมีค่า SCOD อยู่ในช่วง 238 – 1,544 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ศึกษาค่า SCOD มี



ภาพที่ 37 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ที่พบในระบบ

แนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 5 วันแรกและจากนั้นลดลง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ทดลองมีการตายของ cell mass ในช่วงแรกและจากนั้นเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นตามมา จึงทำให้ค่า SCOD ปรากฏดังข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า SS โดยในช่วงเวลาที่ศึกษาที่พบว่าน้ำเสียมีค่า SS ในช่วง 74 – 575 mg/l โดยมีค่าลดลงตามลำดับตามช่วงเวลาที่ทดลอง แสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์ไม่ได้มีการเติบโตขึ้นในระบบ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะระบบขาดอาหาร (ไม่มีการ feed น้ำเสียเข้าระบบ) ทำให้เกิดเป็นปัจจัยจำกัดของการอยู่ในระบบของเชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามการทดลองพบว่าน้ำเสียมีค่า TMTD ในช่วง 1.04 – 5.32 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ทดลองพบว่าน้ำเสียมีค่า TMTD ที่มีแนวโน้มลดลงในช่วง 30 วันที่ศึกษา โดยสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TMTD คิดเป็น 79 % และน้ำเสียมีค่า Zn ในช่วง 13.03 – 19.45 mg/l โดยมีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ และน้ำเสียมีค่า TKN ในช่วง 505 – 1,079 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ทดลองพบว่าน้ำเสียมีค่า TKN ที่มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่า TMTD โดยสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TKN ในช่วง 30 วันคิดเป็น 60 %

2.1.2 แบบไม่มีอากาศ

จากการศึกษาได้นำตัวอย่างน้ำเสียชุดทดลองที่ไม่มีอากาศที่ได้ทำการทดลองก่อนหน้ามาทดลองต่อ โดยทำการเติม TMTD และ Zn ลงไปในน้ำเสีย 10 ลิตรโดยทำให้น้ำเสียมีค่า TMTD และ Zn ในช่วงเดียวกับที่ใช้ทดลองในน้ำเสียที่เติมอากาศ (TMTD และ Zn ในช่วง 5 – 6 mg/l และ 18 – 19 mg/l ตามลำดับ) จากนั้นดำเนินการทดลองในภาวะไม่มีอากาศ และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาทำการวิเคราะห์ในช่วง 30 วัน ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 37 พบว่าเมื่อนำน้ำเสียชุดทดลองที่ไม่มีอากาศมาทดลองซึ่งใช้เวลาทดลอง 30 วันและทำการเติม TMTD และ Zn ลงไปเพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มต้นและไม่ได้เติมน้ำเสียให้กับระบบอีกเลย พบว่าค่า pH ของน้ำเสียในสภาวะไม่มีอากาศอยู่ในช่วง 5.2 – 6.9 โดยมีแนวโน้มเปลี่ยนจากกรดเป็นกลางมากขึ้น น้ำเสียมีค่า SCOD ในช่วง 3,462 – 3,863 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ศึกษาค่า SCOD มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ทดลองมีการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้น โดยพบว่าระบบให้ค่าการกำจัด SCOD คิดเป็น 10 % น้ำเสียมีค่า SS ในช่วง 34 – 194 mg/l โดยช่วงทดลองพบว่าค่า SS ในระบบมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้น้ำเสียมีค่า TMTD ในช่วง 0.89 – 6.47 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ทดลองพบว่าน้ำเสียมีค่า TMTD มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับชุดที่เติมอากาศ โดยสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า TMTD คิดเป็น 86 % และน้ำเสียมีค่า Zn ในช่วง 15.68 – 17.26 mg/l จากผลการศึกษาพบว่าระบบที่ศึกษามี Zn ค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้น้ำเสียมีค่า TKN ในช่วง 464 – 1,013 mg/l ซึ่งตลอดเวลาที่ทดลองน้ำเสียมีค่า TKN ที่มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่า TMTD จากผลการศึกษา 30 วันพบว่ามีค่าการกำจัด TKN คิดเป็น 54 %

2.2 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD และ Zn ในน้ำเสียในภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ

ผลจากการศึกษาการคงอยู่/การย่อยสลายของ TMTD/Zn ในน้ำเสียในสภาวะมีอากาศและสภาวะไม่มีอากาศ พบว่ากราฟของค่าความเข้มข้น TMTD และ Zn กับเวลาที่กักพักมีรูปแบบต่างกัน โดยกราฟของ TMTD จะมีแนวโน้มเป็นรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล แต่ Zn มีแนวโน้มเป็นกราฟเส้นตรง ดังนั้นเพื่อให้สามารถแสดงรูปแบบการเปรียบเทียบของผลการศึกษาในเชิงปริมาณเพื่ออธิบายผลได้ชัดเจนมากขึ้น จึงได้พิจารณาหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD และ Zn โดยใช้ความสัมพันธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ fitting curve ของกลุ่มค่าที่ศึกษาได้ โดย Zn ใช้สมการที่ได้คำนวณจากการใช้สูตรการวิเคราะห์ด้วย linear regression ในรูป $Y = aX + b$ เมื่อ Y คือค่าความเข้มข้นของ Zn ตามแต่ละช่วงเวลามีหน่วยเป็น mg/l และ X คือค่าของเวลากักพักที่ศึกษามีหน่วยเป็นวัน และ a คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงมีหน่วยเป็น mg/l ต่อหน่วยเวลาที่เป็นวัน และค่า b คือค่าคงที่มีหน่วยเป็น mg/l ส่วนของ TMTD ใช้สมการในรูป $Y = be^{aX}$ โดยที่ Y คือค่าความเข้มข้นของ TMTD มีหน่วยเป็น mg/kg น.น.แห้ง X คือค่าเวลาการกักพักที่ศึกษามีหน่วยเป็นวัน และ a คือค่าอัตราของการลดลงของ TMTD มีหน่วยเป็นต่อวัน และค่า b คือค่าคงที่ของการเปลี่ยนแปลงมีหน่วยเป็น mg/kg น.น.แห้ง โดยผลจากการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในระบบที่ไม่มีอากาศ TMTD ในน้ำเสียจะมีค่าอัตราการลดลงเร็วกว่าในระบบมีอากาศ และสำหรับ Zn ให้ผลของอัตราการลดลงในลักษณะตรงข้ามกับ TMTD

ตารางที่ 16 สมการความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TMTD และ Zn ในน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	Regression equation	R^2
TMTD	น้ำเสียในสภาวะมีอากาศ	$y = 4.1019e^{-0.047x}$	0.91
	น้ำเสียในสภาวะไม่มีอากาศ	$y = 4.3793e^{-0.058x}$	0.88
Zn	น้ำเสียในสภาวะมีอากาศ	$y = -0.1882x + 19.638$	0.76
	น้ำเสียในสภาวะไม่มีอากาศ	$y = -0.0433x + 16.866$	0.79

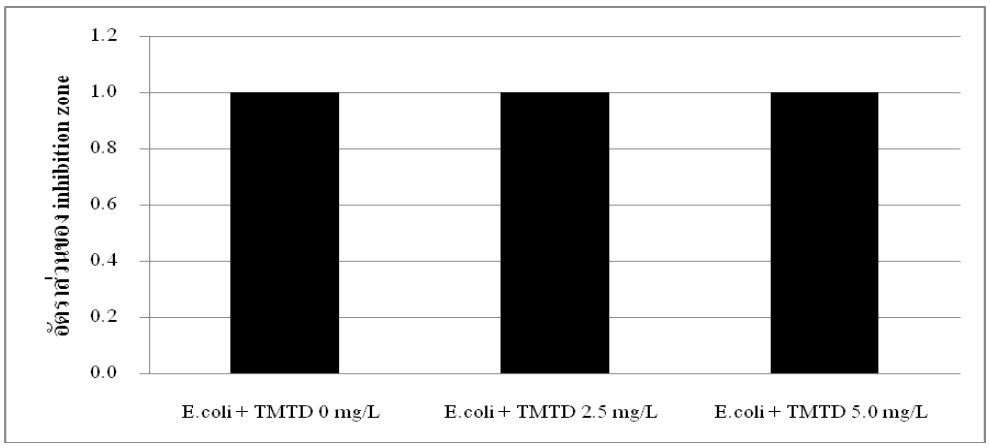
หมายเหตุ : ผลการศึกษาของ regression ที่ได้ในครั้งนี้ เป็นผลที่ศึกษาภายใต้ตัวแปรของ Y ในกรณีของ TMTD และ Zn มีค่าในช่วง 0.89 – 6.47 mg/l และ 13.025 – 19.450 mg/l ตามลำดับ และ X มีค่าในช่วง 0 – 27 วัน

ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย

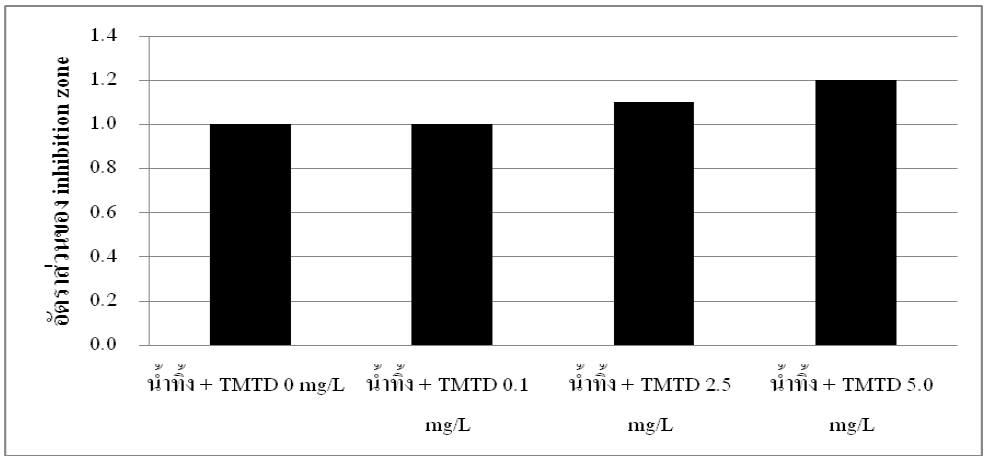
เนื่องจาก TMTD จัดเป็นสารอันตรายที่สามารถก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ และ Zn เป็นโลหะหนัก หากมีปริมาณมากและสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็จะมีผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมได้ จึงนำมาสู่การศึกษานี้เพื่อดูผลของ TMTD/Zn ต่อการเป็นอันตรายต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในระบบสิ่งแวดล้อม เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้นต่อไป โดยการศึกษาได้นำเชื้อบริสุทธิ์ของ *Escherichia coli* มาทดสอบพร้อมทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียตามธรรมชาติที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดของโรงงานน้ำยางข้น (โดยค่าความเข้มข้นของเชื้อทั้ง 2 ที่ทดสอบมีค่า > 3 x 10^{11} CFU/ml ทั้งนี้ได้ผ่านการนำเชื้อไปทำการ enrichment ก่อนนำมาทดสอบกับสารละลาย TMTD และ Zn ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน) ซึ่งได้ทำการทดสอบกับสารละลาย TMTD และ Zn ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย TMTD เท่ากับ 0, 0.1, 2.5 และ 5 mg/l และความเข้มข้นของสารละลาย Zn เท่ากับ 0, 0.005, 0.01 และ 0.1 mg/l รวมถึงทดสอบกับสารละลายที่มี TMTD และ Zn รวมกันที่ความเข้มข้นคือ 0.1 mg/l TMTD และ 0.005 mg/l Zn และที่ความเข้มข้นที่ 5 mg/l TMTD และ 0.1 mg/l Zn (เหตุผลที่เลือกความความเข้มข้นของสารละลาย TMTD และ Zn ดังกล่าวมาทดสอบเนื่องจากค่า TMTD และ Zn ที่ตรวจสอบได้จากในตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการบำบัดซึ่งใช้ทดสอบจะมีค่าเท่ากับ 0.5 mg/l และ 0.01 mg/l ตามลำดับ การทดลองจึงใช้ความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ที่ครอบคลุมความเข้มข้นดังกล่าวในช่วงประมาณ 10 เท่า) ได้ผลการศึกษาดังรายละเอียดคือ

1. ผลการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD

จากการศึกษาได้ทำการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD ที่ความเข้มข้น 0, 2.5 และ 5.0 mg/l กับเชื้อ *E.coli* พบว่าที่ทุก ๆ ความเข้มข้นของสารละลาย TMTD ที่ใช้ในการทดสอบจะให้ผลคือไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* ได้ (ให้ค่า inhibition zone เท่ากับ 1) ส่วนการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD กับเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดนั้นได้ใช้สารละลาย TMTD ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 2.5 และ 5.0 mg/l พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย TMTD ที่สูงขึ้นจะให้ผลอัตราส่วนของ inhibition zone ที่เพิ่มขึ้นด้วย (เมื่อความเข้มข้นของ TMTD มากกว่า 0.1 mg/l) แสดงให้เห็นว่า TMTD มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำเสียหลังบำบัด โดยอัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดเมื่อทดสอบกับสารละลาย TMTD ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0 mg/l พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 38 และ 39



ภาพที่ 38 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD

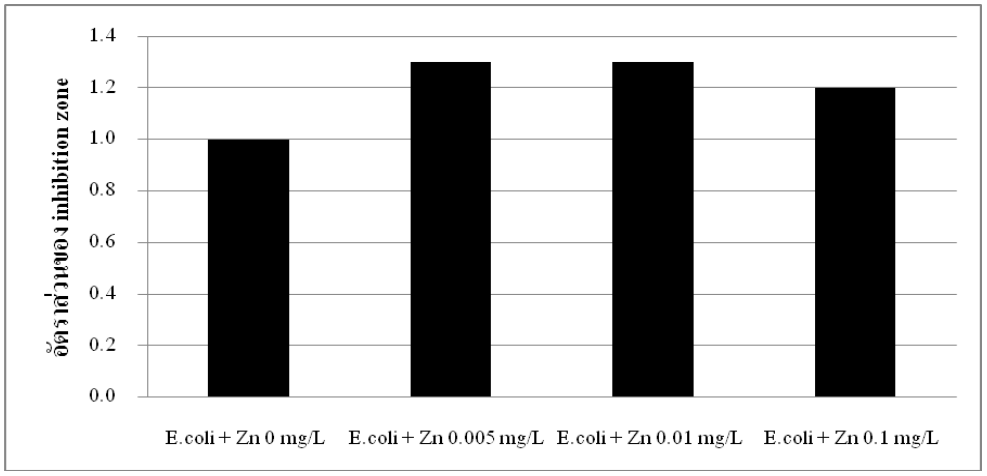


ภาพที่ 39 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD

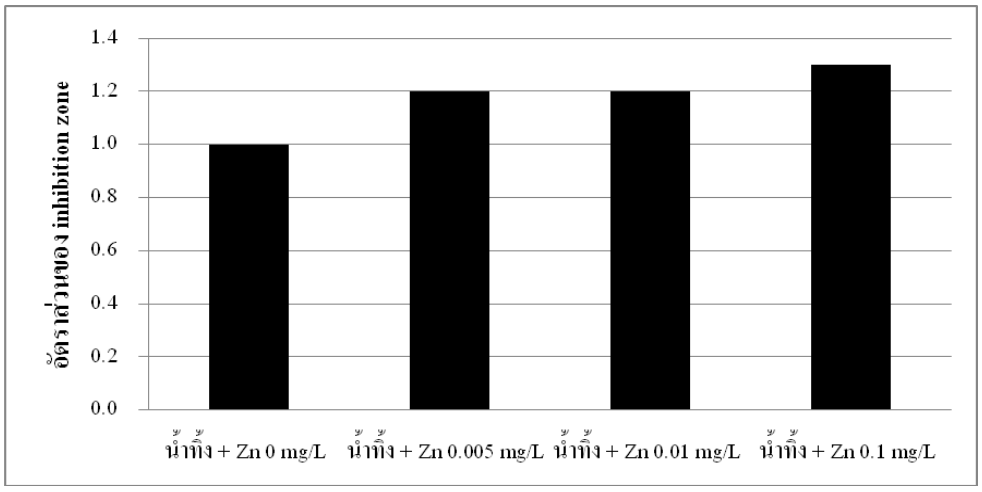
2. ผลการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย Zn

จากการศึกษาได้ทำการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย Zn ที่ความเข้มข้น 0, 0.005, 0.01 และ 0.1 mg/l กับเชื้อ *E.coli* และเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย Zn เท่ากับ 0.005 mg/l จะแสดงถึงผลการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำทิ้งหลังบำบัดโดยให้ค่าอัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* และเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดเท่ากับ 1.3 และ 1.2 ตามลำดับ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย Zn มากขึ้นกว่า 0.005 mg/l ผลการทดสอบก็ให้ค่า inhibition zone ที่มีค่าใกล้เคียงกันหรือสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อทดสอบกับ Zn ที่ 0.005 mg/l เมื่อทดสอบกับเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียจากน้ำเสีย

แสดงให้เห็นว่า Zn มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียจากน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้น 0.005 mg/l เป็นต้นไปทั้งนี้ผล inhibition zone ที่ศึกษาได้แสดงดังภาพที่ 40 และ 41



ภาพที่ 40 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลาย Zn

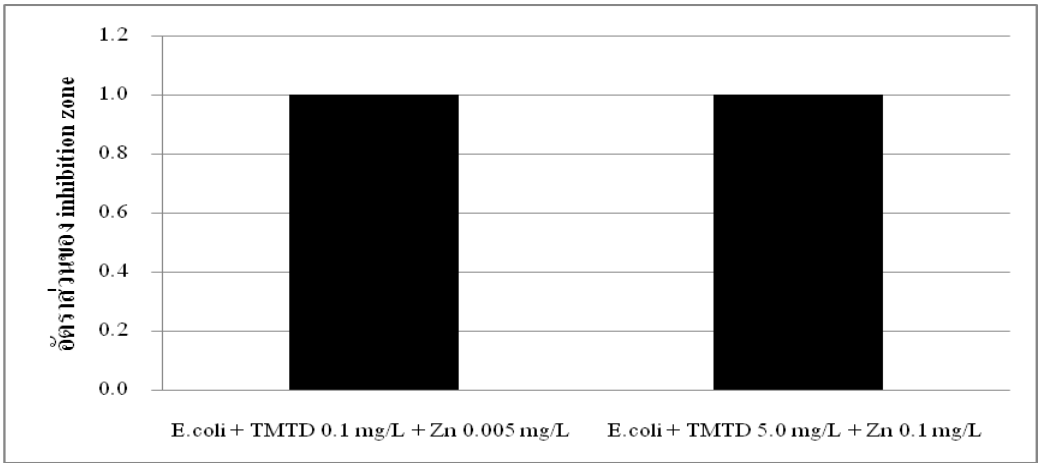


ภาพที่ 41 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งในการทดสอบด้วยสารละลาย Zn

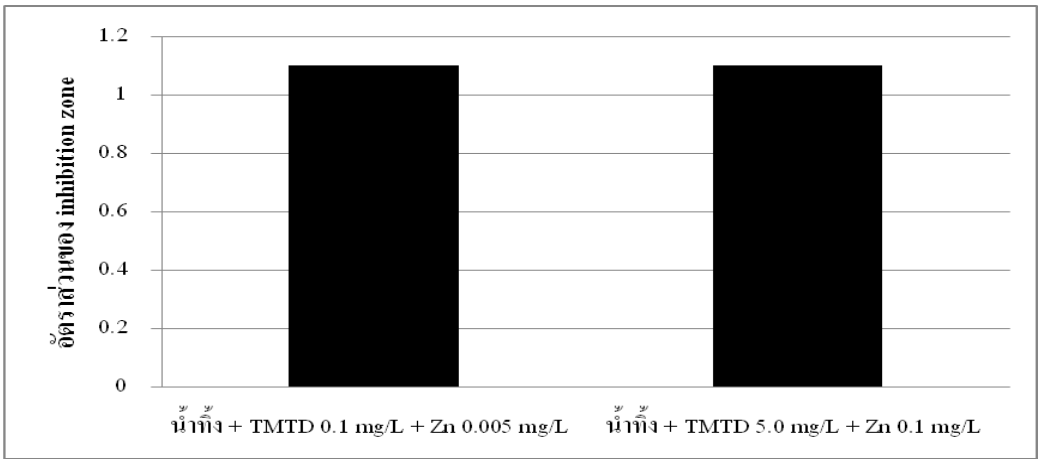
3. ผลการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลายผสมระหว่าง TMTD และ Zn

จากการศึกษาได้ทำการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลายที่มีค่า TMTD และ Zn เท่ากับ 0.1 mg/l และ 0.005 mg/l ตามลำดับ และสารละลายที่มีค่า TMTD และ Zn เท่ากับ 5.0 mg/l และ 0.1 mg/l ตามลำดับ โดยทดสอบกับเชื้อ *E.coli* และเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าเมื่อทำการทดสอบที่ความเข้มข้นดังกล่าวกับเชื้อ *E.coli* พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายผสม

TMTD และ Zn ที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 ความเข้มข้นจะให้ผลคือไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้ แต่เมื่อทำการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลายที่มีค่า TMTD และ Zn ดังกล่าวทั้ง 2 ความเข้มข้นกับเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของทั้ง 2 ชุดของสารละลายผสมระหว่าง TMTD และ Zn จะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัดได้ โดยให้ค่าอัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อได้เท่ากับ 1.1 แสดงดังภาพที่ 42 และ 43

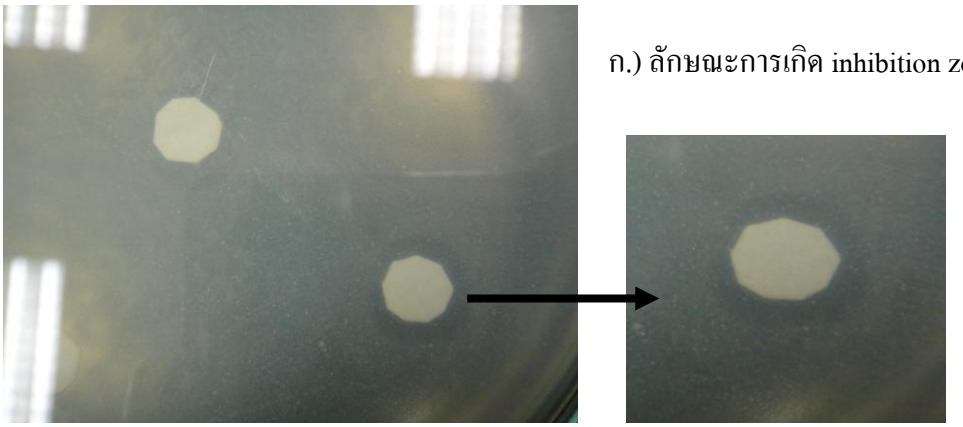


ภาพที่ 42 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อ *E.coli* ในการทดสอบด้วยสารละลายผสมระหว่าง TMTD และ Zn

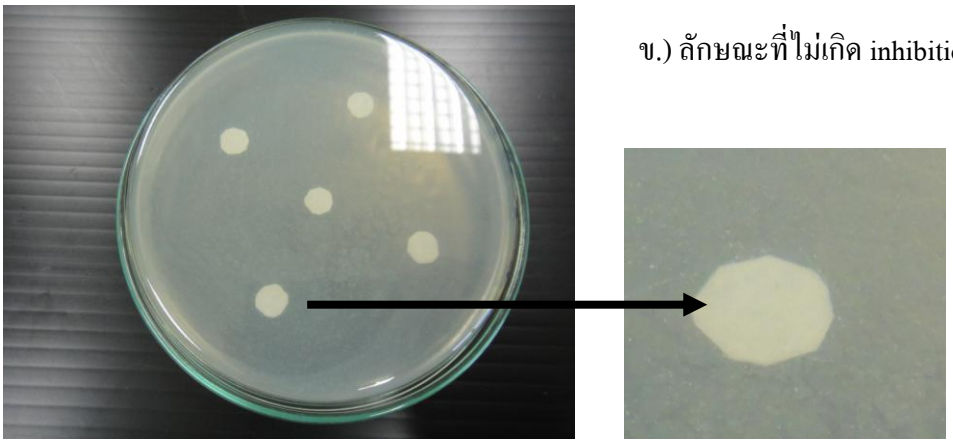


ภาพที่ 43 อัตราส่วนของ inhibition zone ของเชื้อจากน้ำทิ้งหลังบำบัดในการทดสอบด้วยสารละลาย TMTD และ Zn

ผลจากการศึกษาทั้ง 3 ข้อที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงลักษณะของการเกิด inhibition zone ของการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังภาพที่ 44 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษของ TMTD และ Zn โดยมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต โดยสารละลาย TMTD และ Zn ให้ผลยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้น ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 0.1 mg/l เป็นต้นไป และมากกว่า 0.005 mg/l ตามลำดับ และหาก TMTD มีการผสมกับ Zn ก็ให้ผลการยับยั้งเช่นกัน แต่ให้ผลตรงข้ามกับการทดสอบของเชื้อ *E.coli* ซึ่งพบว่า TMTD ในช่วงความเข้มข้น 0 – 5 mg/l ไม่มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของ *E.coli* แต่ Zn ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.005 mg/l ขึ้นไปมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของ *E.coli* เล็กน้อย แต่เมื่อ Zn ที่ระดับให้ผลยับยั้ง *E.coli* ดังกล่าวมีการผสมกับ TMTD กลับพบว่าไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E.coli* แสดงให้เห็นว่า Zn และ TMTD ผสมกันน่าจะเกิดกลไกการต้านฤทธิ์การยับยั้งความเป็นพิษต่อ *E.coli* ได้



ก.) ลักษณะการเกิด inhibition zone ขึ้น



ข.) ลักษณะที่ไม่เกิด inhibition zone

ภาพที่ 44 ลักษณะ inhibition zone ที่เกิดขึ้นของเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังบำบัด

การอภิปรายผลของการเปรียบเทียบผลการศึกษาของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียจากการสำรวจภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการ

เพื่อนำสู่ข้อสรุปของลักษณะการปรากฏอยู่ของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยนำผลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการมาพิจารณาร่วมกัน โดยมีรายละเอียดสรุปในตารางที่ 17 และสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. TMTD

จะเห็นได้ว่า TMTD ซึ่งมีการใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีการปนเปื้อนในของเสียที่เป็นน้ำเสียและกากขี้แป้ง ในส่วนของ TMTD ที่ปนเปื้อนในกากขี้แป้งพบว่ามีระดับการปนเปื้อนในช่วงกว้างระหว่าง 3.58 – 89.55 mg/kg dry wt. TMTD ที่ปนเปื้อนในกากขี้แป้งเมื่อทิ้งไว้โดยการกักพักไว้ในภาชนะ ก็จะมีการย่อยสลายได้ภายใต้ค่าคงที่ของอัตราการลดลงในช่วง 0.038 – 0.0433 mg/kg ต่อวัน อนึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับในกลุ่มของเสียที่เป็นกากตะกอนน้ำเสีย AS และกากตะกอนจากบ่อผึ่งที่ได้นำมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ก็พบว่ามีระดับการปนเปื้อนของ TMTD เช่นกัน แต่มีแนวโน้มการปนเปื้อนน้อยกว่าในกากขี้แป้ง และพบว่าเมื่อนำมากักพักไว้จะให้ค่าคงที่ของอัตราการลดลงของ TMTD ในกากตะกอนน้ำเสีย AS และจากบ่อผึ่งที่มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับที่พบในกากขี้แป้ง ทั้งนี้เมื่อมี TMTD ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสูงจะให้ค่าคงที่ของอัตราการลดลงของ TMTD ในแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย การลดลงของ TMTD ในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งคาดว่ามาจากปฏิกิริยาทางชีวภาพของการย่อยสลายเป็นหลัก ดังเหตุผลที่ใช้เทียบเคียงซึ่งมีการรายงานโดย Sharma *et al*. (2003) ซึ่งได้ระบุถึงการคงอยู่ของสาร thiram (TMTD เป็นกลุ่มสาร thiram) ว่ามีการคงอยู่ต่ำถึงปานกลางในดิน เป็นสารที่ละลายในน้ำได้เพียงเล็กน้อย ถูกดูดซับได้ดีในอนุภาคดิน การสลายตัวของ thiram จะเกิดได้ดีในดินที่เป็นกรดและมีสารอินทรีย์สูง โดยการสลายตัวเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์หรือเป็นปฏิกิริยาจาก hydrolysis ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นอกจากนี้ thiram จะไม่ระเหยกลายเป็นไอจากผิวดินที่เปียกหรือแห้ง

สำหรับในส่วนของน้ำเสียพบว่าน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า TMTD ปนเปื้อนในช่วง 1.32 – 3.31 mg/l และเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นระบบไร้อากาศ/มีอากาศก็จะทำให้ค่า TMTD ลดลงได้เช่นกัน ซึ่งผลการศึกษาจากการสำรวจในภาคสนาม แสดงให้เห็นว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบมีอากาศ/ไร้อากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TMTD ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในห้องปฏิบัติการที่พบว่าสามารถบำบัด TMTD ได้ แม้

ตารางที่ 17 สรุปผลที่ได้จากการศึกษา TMTD และ Zn ในตัวอย่างน้ำเสีย กากตะกอนจากน้ำเสียและกากขี้แป้งทั้งจากการสำรวจในภาคสนามและการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ประเด็นการศึกษา	pH	COD หรือ (VS)	TMTD			Zn		
			ความเข้มข้น	% removal	ค่าอัตราการลดลง [a,b]	ความเข้มข้น	% removal	ค่าอัตราการลดลง [a,b]
1. การศึกษาในภาคสนาม								
น้ำเสีย								
- น้ำเสียดิบ	4.53 – 5.40	8,464 – 13,248 mg/l	1.32 – 3.31 mg/l	-	-	2.10 – 59.01 mg/l	-	-
- ระบบเติมอากาศ/AS	5.98 – 8.15	272 – 320 mg/l	0.72 – 1.77 mg/l	52*	-	0.21 – 20.46 mg/l	59*	-
- ระบบไร้อากาศ	7.58	6,624 mg/l	0.92 mg/l	63	-	1.19 mg/l	94	-
กากขี้แป้ง	8.50 – 9.38	(40.76 – 58.36 %)	3.58 – 89.55 mg/kg (dry wt.)	-	-	0.17 – 0.54 % dry wt.	-	-
กากตะกอน AS/เติมอากาศ	6.87 – 8.77	(11.50 – 82.00 %)	2.57 – 8.71 mg/kg (dry wt.)	-	-	0.03 – 1.77 % dry wt.	-	-
กากตะกอนบ่อไร้อากาศ	8.39	(82.90 %)	15.40 mg/kg (dry wt.)	-	-	2.41 % dry wt.	-	-
2. การศึกษาทดลองกากตะกอน+กากขี้แป้งในห้องปฏิบัติการ								
กากขี้แป้ง	8.2 – 8.5	(41 – 46 %)	10.84 – 13.40 mg/kg (dry wt.)	9.5 – 13 % (ใน 30 วัน)	-0.038 ถึง -0.0433 [a]	0.526 – 0.623 % (dry wt.)	-	-0.0025 ถึง -0.0027 [a]
กากตะกอน AS	7.1 – 7.6	(19 – 25 %)	2.35 – 2.91 mg/kg (dry wt.)	40 – 47 % (ใน 30 วัน)	-0.0308 ถึง -0.0326 [a]	1.915 – 2.174 % (dry wt.)	-	-0.0101 ถึง -0.0103 [a]
กากตะกอนจากบ่อผึ่ง	7.8 – 8.7	(8 – 30 %)	1.53 – 2.63 mg/kg (dry wt.)	49 – 52 % (ใน 30 วัน)	-0.0243 ถึง -0.0379 [a]	0.095 – 0.130 % (dry wt.)	-	-0.0011 ถึง -0.0016 [a]
3. การศึกษาทดลองน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ								
- การทดลองที่มี feed								
- มีอากาศ	5 – 8	6,650 – 8,930 mg/l **	1.82 – 2.54 mg/l	31 – 53 % (45 %)*	-	26.98 – 98.35 mg/l	44 – 91 % (73 %)*	-
- ไม่มีอากาศ	4.8 – 4.9	3,230 – 7,905 mg/l **	0.99 – 1.51 mg/l	3 – 33 % (16 %)*	-	7.75 – 12.55 mg/l	3 – 45 % (15 %)*	-
- การทดลองแบบ batch								
- มีอากาศ	7 – 8	238 – 1,544 mg/l **	5 – 6 mg/l	79 % (ใน 27 วัน)	-0.047 [b]	18 – 19 mg/l	-	-0.1882 [a]
- ไม่มีอากาศ	5 – 6	3,462 – 3,863 mg/l **	5 – 6 mg/l	81 % (ใน 27 วัน)	-0.058 [b]	18 – 19 mg/l	-	-0.0433 [a]

หมายเหตุ : * : ค่าเฉลี่ย, ** : ค่า SCOD, a : หน่วยคือ (mg/kg) ต่อวัน สำหรับ TMTD และ % ต่อวัน สำหรับ Zn และ b : หน่วยคือต่อวัน

ระบบจะมีเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างจำกัด (ระบบทดลองที่ศึกษาไม่ใช้ seed โดยให้เชื้อจุลินทรีย์มีการพัฒนาขึ้นเอง) อนึ่งผลการศึกษาในกรณีที่ระบบมีการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ จะพบว่า TMTD ในระบบเติมอากาศจะถูกกำจัดได้ดีกว่าในระบบไม่เติมอากาศ แต่เมื่อทำให้ค่า TMTD เริ่มต้นใกล้เคียงกันและทำการเปรียบเทียบในภาวะไม่มีการป้อนน้ำเสีย (ทดลองแบบ batch) จะพบว่าระบบแบบ

ไม่มีอากาศจะให้ค่าอัตราการลดลงของ TMTD ได้สูงกว่าระบบที่เติมอากาศเล็กน้อย ซึ่งการลดลงของ TMTD ในน้ำเสียจะเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ และปฏิกิริยาทางเคมีและกายภาพรวมด้วย ทั้งนี้ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะมีอนุภาคแขวนลอยจากกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ ดังนั้นย่อมทำให้มีผลต่อปฏิกิริยาการดูดซับของ TMTD ในอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ได้ ดังเช่นเหตุผลที่กล่าวโดย Sharma *et al*. (2003) ที่ระบุว่าในน้ำนั้น สารกลุ่ม thiram สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วโดยปฏิกิริยา hydrolysis รวมถึงปฏิกิริยาการใช้แสง (photodegradation) โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นอกจากนี้ thiram ยังอาจถูกดูดซับไปยังอนุภาคแขวนลอยหรือตะกอนต่าง ๆ ในน้ำได้ ดังนั้นลักษณะการปรากฏอยู่/คงอยู่/การย่อยสลายของ TMTD ในระบบบำบัดน้ำเสีย ย่อมมีอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย อาทิ pH ในน้ำเสีย ระยะเวลาการบำบัด ปริมาณอนุภาคแขวนลอย/เชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในระบบ รวมทั้งสภาพการได้รับแสงแดดของระบบบำบัดน้ำเสียด้วย เป็นต้น การจะระบุถึงเงื่อนไขที่มีอิทธิพลมากน้อยอย่างไรของปัจจัยดังกล่าวข้างต้นควรมีการวิจัยเพิ่มเติมต่อไป แต่ภาพโดยสรุปแสดงให้เห็นว่า TMTD ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นสามารถถูกบำบัดได้ทั้งที่อยู่ในระบบมีอากาศ/ไม่มีอากาศ และหาก TMTD จะถูกดูดซับในตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย TMTD ในตะกอนดังกล่าวก็จะไม่คงอยู่ตลอดไป เพราะจะถูกการย่อยสลายได้ดังกล่าวถึงแล้วในข้างต้น

2. Zn

Zn เป็นโลหะหนัก ซึ่งปกติโลหะหนักจะไม่ถูกย่อยสลายด้วยทางชีวภาพเหมือนสารกลุ่มอินทรีย์สาร อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาที่ได้ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ ZnO ในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น Zn จะถูกการปนเปื้อนในของเสียที่เกิดขึ้นได้ทั้งในรูปกากขี้แป้ง น้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยผลการศึกษาพบว่ากากตะกอนจากระบบ AS มีแนวโน้มในการปนเปื้อนของ Zn ได้มากกว่ากากขี้แป้ง Zn ในกากขี้แป้ง กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อนำมากักพักไว้ พบว่าค่า Zn ในกากของเสียดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย หรือแม้ในน้ำเสียซึ่งมี Zn ปนเปื้อนแต่เมื่อนำมาผ่านระบบบำบัด ค่า Zn จะถูกทำให้ลดลงได้เล็กน้อย ซึ่งไม่เหมือนกับ TMTD ซึ่งพบว่าลดลงได้มากกว่า ทั้งนี้เพราะ Zn จะสามารถอยู่ในรูปที่เคลื่อนย้ายได้ดีในสภาพกรด และจะถูกดูดซับโดยแร่ธาตุและสารอินทรีย์ หรือเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่กับอินทรียวัตถุได้ (จำเป็น อ่อนทอง, 2550 และศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ในระบบบำบัดน้ำเสีย Zn จะถูกกลไกของการดูดซับ การตกตะกอน แล้วทำให้เกิดการปรากฏอยู่ของ Zn ที่เสมือนถูกกำจัดออกจากระบบได้เล็กน้อย แต่ส่วนหลักยังคงสะสมอยู่ในระบบในรูปกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย อนึ่งผลการศึกษาจากระบบ batch ของการทดลองน้ำเสีย

ในภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ พบว่าค่าอัตราการลดลงของ Zn ในระบบมีอากาศมีค่าสูงกว่าระบบไม่มีอากาศ ปัจจัยที่มีผลทำให้ได้ผลการศึกษาดังกล่าวคาดว่าอาจมีส่วนจากการระเหยของน้ำจากภาวะที่เติมอากาศได้มากกว่าระบบไม่เติมอากาศ ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการศึกษาในตะกอนน้ำเสียและในกากขี้แป้งซึ่งพบว่ามีค่าอัตราการลดลงของ Zn เช่นเดียวกัน ผลการศึกษาที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า Zn ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นไม่ได้มีการสะสมอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียเท่านั้น แต่อาจมีแนวโน้มในการสูญหายไปจากระบบด้วยการระเหยได้ อย่างไรก็ตามข้อสรุปนี้ยังต้องการการศึกษาเชิงลึกให้มากขึ้น

ผลการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

การประเมินความเป็นอันตราย (hazard identification) เป็นขั้นตอนหลักแรกของกระบวนการประเมินความเสี่ยง ซึ่งก็คือการแจกแจงความเป็นอันตรายในระบบที่ศึกษา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้คือระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น เพื่อให้สามารถแสดงถึงความเป็นอันตรายหรือการบ่งชี้ความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จึงได้มีการประมวลข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาได้ทั้งจากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลจากการสำรวจในภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้นำมาพิจารณา อันได้แก่ ข้อมูลของลักษณะทางเคมี – ฟิสิกส์ของ TMTD และ Zn รูปแบบหรือวิถีของ TMTD และ Zn ที่ปรากฏ/คงอยู่ในกระบวนการจัดการ/บำบัดของเสียทั้งในรูปกากขี้แป้ง น้ำเสีย และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ข้อมูลความเป็นพิษ (toxicity) ของ TMTD และ Zn ทั้งจากข้อมูลทุติยภูมิและผลการทดลองความเป็นพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงข้อมูลทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยการพิจารณาจะมีการกำหนด criteria เช่น มาก น้อย ปานกลาง ฯลฯ เพื่อให้สามารถพิจารณาประเมินในเชิงปริมาณได้ โดยใช้วิธีการของ checklist โดยการพิจารณาจากประเด็นข้อมูลดังข้างต้นที่กล่าวมา ซึ่งทำให้ได้ score ของ checklist ทั้งหมดที่พิจารณาได้ โดยตารางที่ 18 แสดงการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของเสียใน 3 รูปแบบ คือน้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลการประเมินความเป็นอันตรายสามารถบ่งชี้ได้ว่ากากขี้แป้งจะเป็นประเด็นที่ให้ค่าบ่งชี้ความเป็นอันตรายสูงสุดทั้งในการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn (มี score เฉลี่ยเท่ากับ 2.29 และ 2.14 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 3) ส่วนกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำเสียจะมีระดับการบ่งชี้อันตรายต่ำลงมาตามลำดับ ผลการ

ตารางที่ 18 ผลการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ข้อมูลที่ใช้ประเมิน	TMTD			Zn			คำชี้แจง/หมายเหตุ
	น้ำเสีย	ตะกอนน้ำเสีย	กากขี้แป้ง	น้ำเสีย	ตะกอนน้ำเสีย	กากขี้แป้ง	
1. ข้อมูลลักษณะทางเคมี – ฟิสิกส์ของสารที่พิจารณา - ความสามารถในการละลาย/การเคลื่อนตัวสู่สิ่งแวดล้อม	3	1	1	2	1	1	TMTD ละลายในน้ำได้ปานกลาง ส่วน Zn ละลายในน้ำได้น้อย
2. รูปแบบ/วิธีที่ปรากฏ/คงอยู่ในกระบวนการจัดการ/บำบัดของเสีย - ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น - การไม่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพทำให้ถูกกำจัดได้น้อย	1	1	1	3	3	3	- ผลการศึกษา TMTD ในน้ำเสียถูกย่อยสลายได้ในภาวะทั้งมีอากาศ/ไร้อากาศ และให้สมการการลดลงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล - TMTD และ Zn ในกากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสียพบว่าเมื่อกักเก็บไว้จะมีค่าลดลงได้โดย TMTD จะถูกกำจัดได้มากกว่า Zn - ระดับการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn ในน้ำเสียพบว่ามีค่าในช่วง 1.32 – 3.31 mg/l และ 2.10 – 59.01 mg/l ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งพบ TMTD และ Zn ในช่วง 2.57 – 89.55 mg/kg และ 0.03 – 2.41 % dry wt. ตามลำดับ
- การดูดซึม/ดูดซับในตัวกลางของเสียและคงอยู่ในระบบได้นานมากขึ้น	1	2	2	3	3	3	
- ฯลฯ - ระดับความเข้มข้นที่ปรากฏในของเสีย	1	2	3	2	3	3	
3. ข้อมูลความเป็นพิษ (toxicity) - เป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็งได้	3	3	3	1	1	1	TMTD สามารถก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในรูปของไนโตรซามีนได้ ส่วน Zn ถูกจัดเป็นสารอันตรายหากมีปริมาณความเข้มข้นสูง และผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่า Zn และ TMTD มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ระดับ 0.005 mg/l และ 0.1 mg/l เป็นต้นไป
- มีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทางธรรมชาติในน้ำทิ้งได้	1	-	-	2	-	-	
- ฯลฯ							
4. เงื่อนไขของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง - จัดเป็นของเสียอันตรายตามข้อกำหนดทางกฎหมาย	3	3	3	1	1	1	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดกากของเสียหากมี Zn ที่ > 5,000 mg/kg wet wt. จึงเป็นของเสียอันตรายและผลการวิเคราะห์พบว่ากากของเสียมี Zn ต่ำกว่า และกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้อุตสาหกรรมยางพาราใช้วิธีฝังกลบกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้น ส่วน TMTD จัดเป็นสารเคมีที่มีผลต่อการก่อให้เกิดมะเร็งได้ ดังนั้นของเสียตามนิยามที่ระบุโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมหากมีสารที่ก่อมะเร็งได้ปนเปื้อนจะถูกกำหนดให้เป็นของเสียอันตราย
- การจัดการของเสียที่ต้องได้มีการดูแลและควบคุมเป็นพิเศษ	-	-	3	-	-	3	
รวม score/คะแนนทั้งหมด	13/21	12/18	16/21	14/21	12/18	15/21	
ค่าเฉลี่ยของ score	1.86	2.00	2.29	2.00	2.00	2.14	คะแนนเต็ม = 3

หมายเหตุ : กำหนดคะแนนดังนี้ 1 : น้อย/ไม่ใช่, 2 : ปานกลาง/กำกึ่ง และ 3 : มาก/ใช่

ศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าในระบบการจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ควรให้ความสำคัญต่อการดูแลและรับผิดชอบต่อกากขี้แป้งมากที่สุด ด้วยมีค่าบ่งชี้ความเป็นอันตรายมากที่สุด นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ mass balance ของระบบโรงงานน้ำยางข้น พบว่า TMTD จะมีสัดส่วนการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์มากกว่าในของเสีย แต่ Zn จะมีสัดส่วนการปนเปื้อนในของเสียมากกว่า ดังนั้นนอกจากจะต้องให้ความสำคัญต่อการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นแล้ว ควรให้ความสำคัญต่อการปนเปื้อนของ TMTD ในผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หากเมื่อพิจารณาถึงความเป็น green product

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

จากผลการประเมินความเป็นอันตรายจากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้นข้างต้น มีข้อเสนอแนะดังนี้

(1) โรงงานน้ำยางข้นควรต้องให้การควบคุมการใช้TMTD และ Zn อย่างเข้มงวดและเท่าที่จำเป็น เพื่อลดภาระต่อการจัดการของเสีย (น้ำเสีย กากตะกอนน้ำเสีย และกากขี้แป้ง) และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นจากการจัดการของเสียโดยเฉพาะกากขี้แป้ง ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้มีการปนเปื้อน TMTD น้อยสุด

(2) ควรมีการพัฒนาหาสารทดแทนการใช้ TMTD และ ZnO ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยพิจารณาให้เป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า/หรือให้ค่าบ่งชี้อันตรายน้อยกว่า หรือเป็นสารที่ให้ความปลอดภัยสูงกว่า โดยให้ผลการใช้งานเทียบเท่าหรือดีกว่าการใช้ TMTD และ ZnO

(3) โรงงานน้ำยางข้นควรมีการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ควบคู่กับการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของ TMTD และ Zn ในของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารความเสี่ยงในด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานได้มากขึ้นในอนาคต

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถมีข้อสรุปดังนี้

1) ค่า TMTD และ Zn ในน้ำเสียดิบของโรงงานน้ำยางข้นมีค่าในช่วง 1.32 – 3.31 mg/l และ 2.10 – 59.01 mg/l ตามลำดับ และน้ำทิ้งหลังบำบัดแล้วมีค่า TMTD ในช่วง 0.31 – 0.56 mg/l และ Zn ในช่วง 0.01 – 0.85 mg/l ตามลำดับ ส่วนกากขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำยางข้น พบว่ามีค่า TMTD และ Zn ปนเปื้อนในช่วง 3.58 – 89.55 mg/kg dry wt. และ 0.17 – 0.54 % dry wt. ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและระบบบ่อผึ่ง และจากระบบบ่อเติมอากาศ/AS มีค่า TMTD ในช่วง 1.54 – 15.40 mg/kg และ 2.57 – 8.71 mg/kg dry wt. ตามลำดับ และพบ Zn ในช่วง 0.04 – 2.41 % และ 0.03 – 1.77 % dry wt. ตามลำดับ

2) จากการวิเคราะห์สมดุลมวลของ Zn และ TMTD ทำให้ได้ข้อสรุปว่าหากมีการใช้ TMTD และ ZnO ในกระบวนการผลิต โดยใช้ในปริมาณ 0.025 % ของน้ำยางสด TMTD จะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ในสัดส่วนที่สูงกว่าในน้ำเสียและกากขี้แป้ง (> 97 %) แต่ Zn จะปนเปื้อนในน้ำเสียและกากขี้แป้งได้ในสัดส่วนที่มากกว่าในผลิตภัณฑ์ (ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ประมาณ 34 %)

3) TMTD เมื่อถูกใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น จะถูกปนเปื้อนในของเสียทั้งในรูปน้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้ง โดย TMTD ในน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดแบบวิธีการบำบัดแบบไร้อากาศ/มีอากาศก็สามารถถูกย่อยสลายได้ โดยพบค่าประสิทธิภาพการกำจัด TMTD ของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นได้ในช่วง 77 – 83 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 81 % และผลจากการทดลองพบค่าอัตราการลดลงของ TMTD ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าเท่ากับ 0.047 และ 0.058 ต่อวัน ตามลำดับ และสำหรับ TMTD ในกากขี้แป้ง กากตะกอน AS และกากตะกอนจากบ่อผึ่ง พบว่าหากมีการกักเก็บไว้ในภาชนะพบว่าค่า TMTD จะสามารถลดลงได้ในช่วง 9.5 – 52 % ในเวลากักเก็บ 30 วัน และผลจากการทดลองพบค่าอัตราการลดลงของ TMTD ในกากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสีย โดยวิธีการกักพักไว้มีค่าในช่วง 0.0243 – 0.0433 mg/kg ต่อวัน ทั้งนี้กักพักไว้ 30 วัน โดยปฏิกิริยาที่ทำให้ TMTD ถูกกำจัดออกจากระบบการบำบัดของเสียจะเป็นปฏิกิริยาจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

4) Zn เมื่อถูกใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้น พบว่าจะทำให้เกิดการปนเปื้อนในของเสียทั้งในรูปน้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และกากขี้แป้ง โดย Zn ซึ่งเป็นโลหะหนัก เมื่อปนเปื้อนในน้ำเสียแล้วผ่านการบำบัดแบบวิธีไร้อากาศ/มีอากาศก็พบว่า Zn จะถูกกำจัดได้เล็กน้อย โดยเกิดปฏิกิริยาจากการดูดซับในเชื้อจุลินทรีย์ของระบบบำบัด และ Zn ในกากขี้แป้ง กากตะกอน AS และกากตะกอนจากบ่อผึ่ง พบว่าหากมีการกักเก็บไว้ในภาชนะพบว่า Zn จะถูกทำให้ลดลงได้ในช่วง 0.095 – 2.174 % ในเวลากักเก็บ 30 วัน และผลจากการทดลองพบค่าอัตราการลดลงของ Zn ในกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยการกักเก็บไว้มีค่าในช่วง 0.0011 – 0.0103 (% น.น.แห้ง) ต่อวัน ทั้งนี้สาเหตุการทำให้ Zn ลดลงคาดว่ามาจากการระเหยออกพร้อมกับความชื้นที่อยู่รอบกาก

5) ผลจากการทดสอบการยับยั้งการเติบโตของ bacteria โดยทดสอบกับ TMTD และ Zn ที่ความเข้มข้นในช่วง 0 – 5 mg/l และ 0 – 0.1 mg/l ตามลำดับ โดยทดสอบกับเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้น เมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD กับเชื้อ *E.coli* พบว่าที่ทุก ๆ ความเข้มข้นของสารละลาย TMTD ที่ใช้ในการทดสอบจะให้ผลคือไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* ได้ ส่วนการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย TMTD กับเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของ TMTD มากกว่า 0.1 mg/l ขึ้นไปมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำเสียหลังบำบัดได้ สำหรับการทดสอบความเป็นพิษด้วยสารละลาย Zn กับเชื้อ *E.coli* และเชื้อที่ได้จากน้ำทิ้งหลังการบำบัด พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย Zn เท่ากับ 0.005 mg/l เป็นต้นไปมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตของเชื้อ *E.coli* และเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำทิ้งหลังบำบัดได้

6) จากการประเมินความเป็นอันตรายของ TMTD และ Zn ในระบบการจัดการของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยพิจารณาจากของเสียในรูปกากขี้แป้ง น้ำเสีย และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่ากากขี้แป้งจะให้ค่าบ่งชี้ความเป็นอันตรายมากที่สุด รองลงมาคือกากตะกอนน้ำเสีย และน้ำเสีย ตามลำดับ ดังนั้นโรงงานน้ำยางข้นจึงต้องให้การควบคุมและดูแลจัดการอย่างเข้มงวดต่อกากขี้แป้งมากสุด

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยเพิ่มเติม

1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำตัวอย่างของเสียในรูปกากขี้แป้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียไปวิเคราะห์โดยทำ waste extraction test (WET) ต่อเพื่อหาค่าความเข้มข้นของ Zn ในของเหลวที่สกัดได้ว่ามีความเข้มข้นที่สูงกว่าค่ามาตรฐานของของเสียอันตรายที่กำหนดไว้โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือไม่

2) แม้ผลการทดลองในการศึกษาการคงอยู่/การย่อยสลายของ Zn/TMTD ในของเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจะทำให้เห็นข้อมูลบางประการ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการทดสอบโดยการใช้ความเข้มข้นของ TMTD และ Zn ที่มีความเข้มข้นที่สูงมากกว่าการศึกษาครั้งนี้ และทำการทดลองที่ละเอียดมากขึ้น เช่น ในกรณีของน้ำเสียควรศึกษา TMTD และ Zn ทั้งในรูปของ total, รูปของการละลายและในรูปที่ติดกับของแข็งแขวนลอย (SS) เพื่อจะได้เห็นข้อมูลความแตกต่างได้ชัดเจนขึ้น และนำมาอธิบายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดได้ชัดเจนมากขึ้น

3) ทำการศึกษาถึงการปนเปื้อนและการคงอยู่ของ TMTD และ Zn ในผลิตภัณฑ์น้ำยางข้น และผลกระทบที่เกิดขึ้น

4) ศึกษาถึงสถานการณ์การใช้สารทดแทน TMTD/Zn หรือ DAP ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม และผลกระทบที่เกิดขึ้น ทั้งนี้พบว่ามีความรู้ในการใช้สารเหล่านี้อยู่บ้าง (เทคโนโลยี GRASS ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) แต่ยังไม่ได้นำสู่การใช้งานจริงในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่กว้างขวางมากนัก

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. การผลิตน้ำยางข้น (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName=rubbertree.pdf (23 พฤษภาคม 2556)

กรมควบคุมมลพิษ. 2551.TMTD (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=796 (15 ธันวาคม 2551)

กรมควบคุมมลพิษ. 2551.Zn (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=222 (15 ธันวาคม 2551)

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง เกณฑ์การออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน และภาคผนวกแนบท้ายประกาศฯ. เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 726 ราชกิจจานุเบกษา (8 มิถุนายน 2553)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2539. มาตรฐานน้ำทิ้ง (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www2.diw.go.th/PIC/download/info/water1.pdf (20 กรกฎาคม 2552)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws/00180774.pdf (20 กรกฎาคม 2552)

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักในดิน + กรมวิชาการเกษตร (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://210.246.186.28/oard5/05gap/document/05/05/05.doc (12 ตุลาคม 2552)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2552. Hazard assessment + ขั้นตอน (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2551_HRATC.pdf (7 กันยายน 2552)

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์. 2539. “การประเมินสภาพปัญหาไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อหมักไร้อากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง. 2550. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. 2551. Directive 67/548/EEC (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.chemtrack.org/White/AnnexI.pdf (15 ธันวาคม 2551)

ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์, ทัศนี นนทฤทธิ์ และสัจจมาศ เรืองน้อย. 2554. การหมักทำปุ๋ยโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียประเภทตะกอนเร่งกับกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น. โครงงานนักศึกษา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ทัสมณฑน์ คงสงค์ และภาวิณี เพชรจำรัส. 2551. ความแตกต่างของคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และสภาพการอยู่ตัวของกากขี้แป้งจากแต่ละแหล่งกำเนิดในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ผลชิต บัวแก้ว. 2531. การผลิตน้ำยางข้น. สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

พงศ์นรินทร์ ปราบนคร. 2543. “การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นโดยวิธีการลอยตัวของตะกอนในบ่อดักยางสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พัฒนวรรณ วิทยกุล, สุขประโชค เอื้อกฤดาธิการ และสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. 2542. ประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์และซัลเฟตของโรงงานน้ำยางข้น. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. วันที่ 20 – 22 ตุลาคม 2542 ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน. พิษณุโลก. หน้า 976 – 977.

วิชาการเกษตร, กรม. สถาบันวิจัยยาง. 2531. การผลิตยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ.

วุฒิไกร คงปาน และศุภรัตน์ กุศลสุข. 2554. การใช้กรด-ด่างในการ recovery ยางจากกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

วันชัย แก้วยอด. 2540. “การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2536. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการ เรื่องยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วราศรี เถกประสิทธิ์. 2543. “การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุวศา กานตวนิชกูร. มปพ. เทคโนโลยีการหมุนเวียนทรัพยากรมาใช้ใหม่. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. 2552. ไนโตรซามีนและยาง (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.rubbercenter.org/files/nitrosamine.pdf (21 สิงหาคม 2552)

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, อุดมผล พืชไพบูลย์, จรัญ บุญกาญจน์, เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี, นิทัศน์ เพราแก้ว, อัษฎาวุธ หิรัญรักษ์, สุวลักษณ์ วิสุนทร, วิบูลย์ ป้องกันภัย และนฤเทพ บุญเรืองขาว. 2545. รายงานโครงการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้นภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. 2551. โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องการพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อการนำกากของเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมาใช้ใหม่: กรณีศึกษาของกากขี้แป้ง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. 2554. การจัดการสิ่งแวดล้อมด้วย CT (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด). สุราษฎร์ธานี.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางข้นด้วยสาร GRASS 5 (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.rubbercenter.org/files/Grass5s.pdf (23 พฤษภาคม 2556)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2556. การผลิตน้ำยางข้น (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/10021-treatment-nitrate (23 พฤษภาคม 2556)

อาภรณ์ รักเกิด. 2542. “การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. U.S.A. : AOAC, Inc.

APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Washington D.C. : American Public Health Association.

Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C., Turck, M., 1966. Antibiotic susceptibility testing by Standardized single disk method, Am. J. Clin. Pathol, volume 45: 493-496

National Committee for Clinical Laboratory Standards. 1997. Approved Standards M2-A6.Performa standards for antimicrobial disk susceptibility testing 6th.ed. NCCLS, Wayne. 26 p.

OSHA. 2009.TMTD and OSHA (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_271700.html (12 ตุลาคม 2552)

Priyantha, N., Navaratne, A., Ekanayake, C.B., Ratnayake, A., 2008. Solvent extraction followed by ultraviolet detection for investigation of tetramethylthiuram disulfide at soil-water interface, International Journal of Environment Science and Technology, volume 5: 547-554

Radwan, M.A., 1965. Persistence and effect of TMTD on soil respiration and nitrification in two nursery soils, Forest Science, volume 11, No. 2: 152-159

Sharma, V.K., Aulakh, J.S., Malik, A.K., 2003. Thiram: degradation, application and analytical methods, J. Environ. Monit, volume 5: 717-723

Sharma, V.K., Aulakh, J.S., Malik, A.K., 2005. Fourth derivative spectrophotometric determination of fungicide thiram (tetramethyldithiocarbamate) using sodium molybdate and its application, Talanta, volume 65: 375-379

Shirkot, C.K., Gupta, K.G., 1985. Accelerated Tetramethylthiuram Disulfide (TMTD) Degradation in Soil by Inoculation with TMTD-utilizing Bacteria, Bull. Environ. Contam. Toxicol, volume 35: 354-361

US.EPA. 2009.TMTD and US.EPA (ออนไลน์).สืบค้นจาก : http://www.epa.gov/HPV/pubs/summaries/thiurmct/c13348tp.pdf (12 ตุลาคม 2552)

Visitnonthachai, D. 2004. Characterization of non-isoprene components and their effects on mixing properties of un-vulcanized raw natural rubber, Master of Science (Biochemistry) Thesis, Graduate School, Kasetsart University

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตัวอย่างของเสีย

ตารางผนวก ก 1 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำจากโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา

ตัวอย่างน้ำ	พารามิเตอร์						
	pH	COD (mg/l)	TDS (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TMTD (mg/l)	Zn (mg/l)
น้ำเสียดิบโรงงาน A	5.05	8,464	4,120	279	640	1.32	11.13
น้ำเสียจากระบบบ่อเติมอากาศโรงงาน A	8.15	272	893	21	715	0.72	0.21
น้ำเสียจากบ่อผึ่งโรงงาน A	8.09	138	759	15	259	0.69	0.08
น้ำทิ้งหลังการบำบัดโรงงาน A	6.90	41	146	7	26	0.56	0.03
น้ำเสียดิบโรงงาน B	4.53	13,248	8,228	245	1,119	3.22	59.01
น้ำเสียจากระบบ AS โรงงาน B	7.66	316	5,728	59	2,140	1.10	20.46
น้ำทิ้งหลังการบำบัดโรงงาน B	6.51	63	50	10	6	0.51	0.01
น้ำเสียดิบโรงงาน C	5.40	9,200	2,704	382	774	2.22	2.09
น้ำเสียจากระบบไร้อากาศโรงงาน C	7.58	6,624	1,340	26	632	0.92	1.19
น้ำทิ้งหลังการบำบัดโรงงาน C	6.98	71	285	6	17	0.31	0.01
น้ำเสียดิบโรงงาน D	4.98	11,040	4,782	207	643	3.31	12.19
น้ำเสียจากระบบ AS โรงงาน D	5.98	320	5,443	47	1,088	1.77	5.04
น้ำทิ้งหลังการบำบัดโรงงาน D	7.44	96	1,912	8	350	0.49	0.85

ตารางผนวก ก 2 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวอย่างกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา

ตัวอย่างกากขี้แป้ง	พารามิเตอร์								
	ความหนาแน่น (kg/m^3, wet wt.)	ความชื้น (%)	pH	TS (%)	VS (% of TS)	Ash (% of TS)	TN (%)*	TMTD (mg/kg)*	Zn (%)*
กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยางโรงงาน A	1,137	70.88	9.081	29.12	47.49	52.51	3.61	11.09	0.51
กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางโรงงาน A	1,258	64.57	8.552	35.43	40.76	59.24	4.77	13.54	0.40
กากขี้แป้งจากการผลิตยางสกิมโรงงาน A	1,098	70.26	9.207	29.74	55.07	44.93	3.65	12.16	0.30
กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยางโรงงาน B	1,145	75.17	9.219	24.83	46.05	53.95	3.90	3.58	0.28
กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางโรงงาน B	1,252	62.17	9.269	37.83	41.47	58.53	5.26	7.00	0.54
กากขี้แป้งจากการผลิตยางสกิมโรงงาน B	1,160	74.96	9.246	25.04	47.16	52.84	4.20	6.87	0.29
กากขี้แป้งจากถังพักน้ำยางโรงงาน C	1,100	68.41	8.844	31.59	58.36	41.64	3.40	5.80	0.17
กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางโรงงาน C	1,245	61.16	9.367	38.84	41.23	58.77	4.72	89.55	0.33
กากขี้แป้งจากการผลิตยางสกิมโรงงาน C	1,113	75.27	8.498	24.73	45.68	54.32	4.02	7.53	0.23
กากขี้แป้งจากถังปั่นน้ำยางโรงงาน D	1,262	61.29	9.383	38.71	41.84	58.16	4.36	10.11	0.24

หมายเหตุ : * หมายถึงเป็นหน่วยน้ำหนักแห้ง

ตารางผนวก ก 3 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นที่ศึกษา

ตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย	พารามิเตอร์								
	ความหนาแน่น (kg/m^3, wet wt.)	ความชื้น (%)	pH	TS (%)	VS (% of TS)	Ash (% of TS)	TN (%)*	TMTD (mg/kg)*	Zn (%)*
ตะกอนจากระบบบ่อเติมอากาศโรงงาน A	1,218	73.80	8.766	26.20	11.50	88.50	1.04	5.33	0.03
ตะกอนจากระบบบ่อผึ่งโรงงาน A	1,127	85.54	8.594	14.46	16.49	83.51	1.13	1.54	0.04
ตะกอนจากระบบ AS โรงงาน B	1,010	98.10	7.861	1.90	79.26	20.74	10.71	2.57	1.77
ตะกอนจากระบบบ่อไร้อากาศโรงงาน C	1,030	94.53	8.388	5.47	82.90	17.10	7.83	15.40	2.41
ตะกอนจากระบบ AS โรงงาน D	1,010	97.49	6.868	2.51	82.00	18.00	8.33	8.71	1.69

หมายเหตุ : * หมายถึงเป็นหน่วยน้ำหนักแห้ง

ตารางผนวก ก 4 ค่า pH ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทดลอง

วันที่เก็บ ตัวอย่างน้ำ	เก็บวันที่ 0	เก็บวันที่ 3	เก็บวันที่ 6	เก็บวันที่ 9	เก็บวันที่ 12	เก็บวันที่ 15	เก็บวันที่ 18	เก็บวันที่ 21	เก็บวันที่ 24	เก็บวันที่ 27
น้ำเข้าสภาวะมีอากาศ	4.8	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
น้ำออกสภาวะมีอากาศ	-	5.5	7.9	8.2	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7
น้ำเข้าสภาวะไม่มี อากาศ	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
น้ำออกสภาวะไม่มี อากาศ	-	4.9	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2

ตารางผนวก ก 5 ค่า SCOD ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทดลอง (หน่วย mg/l)

วันที่เก็บ ตัวอย่างน้ำ	เก็บวันที่ 0	เก็บวันที่ 3	เก็บวันที่ 6	เก็บวันที่ 9	เก็บวันที่ 12	เก็บวันที่ 15	เก็บวันที่ 18	เก็บวันที่ 21	เก็บวันที่ 24	เก็บวันที่ 27
น้ำเข้าสภาวะมีอากาศ	8,277	7,998	8,352	8,448	7,584	6,912	6,650	7,220	8,930	7,802
น้ำออกสภาวะมีอากาศ	-	5,673	2,350	2,350	470	376	475	665	752	658
น้ำเข้าสภาวะไม่มีอากาศ	7,719	6,975	7,905	4,416	4,800	3,936	3,230	3,610	3,290	5,734
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ	-	5,766	4,136	3,478	3,666	3,478	2,660	1,995	3,854	3,666

ตารางผนวก ก 6 ค่า SS ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทดลอง (หน่วย mg/l)

วันที่เก็บ ตัวอย่างน้ำ	เก็บวันที่ 0	เก็บวันที่ 3	เก็บวันที่ 6	เก็บวันที่ 9	เก็บวันที่ 12	เก็บวันที่ 15	เก็บวันที่ 18	เก็บวันที่ 21	เก็บวันที่ 24	เก็บวันที่ 27
น้ำเข้าสภาวะมีอากาศ	139	143	169	172	159	157	89	108	115	119
น้ำออกสภาวะมีอากาศ	-	190	150	155	171	70	112	110	136	144
น้ำเข้าสภาวะไม่มีอากาศ	96	100	137	132	159	168	112	97	110	83
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ	-	127	113	104	137	132	58	63	130	92

ตารางผนวก ก 7 ค่า TMTD ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทดลอง (หน่วย mg/l)

วันที่เก็บ ตัวอย่างน้ำ	เก็บวันที่ 0	เก็บวันที่ 3	เก็บวันที่ 6	เก็บวันที่ 9	เก็บวันที่ 12	เก็บวันที่ 15	เก็บวันที่ 18	เก็บวันที่ 21	เก็บวันที่ 24	เก็บวันที่ 27
น้ำเข้าสภาวะมีอากาศ	2.29	1.84	2.37	1.98	1.82	2.34	2.54	2.48	2.47	2.44
น้ำออกสภาวะมีอากาศ	-	-	0.78	1.37	1.13	1.17	1.19	1.30	1.29	1.32
น้ำเข้าสภาวะไม่มีอากาศ	1.51	1.48	1.17	1.27	1.05	1.37	1.30	1.27	1.35	0.99
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ	-	1.35	1.13	1.04	0.95	0.92	0.88	1.23	0.95	0.92

ตารางผนวก ก 8 ค่า Zn ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบทดลอง (หน่วย mg/l)

วันที่เก็บ ตัวอย่างน้ำ	เก็บวันที่ 0	เก็บวันที่ 3	เก็บวันที่ 6	เก็บวันที่ 9	เก็บวันที่ 12	เก็บวันที่ 15	เก็บวันที่ 18	เก็บวันที่ 21	เก็บวันที่ 24	เก็บวันที่ 27
น้ำเข้าสภาวะมีอากาศ	38.450	26.975	74.550	98.350	45.075	74.225	40.800	39.175	40.475	71.325
น้ำออกสภาวะมีอากาศ	-	15.125	6.575	15.550	4.850	11.275	18.375	12.975	12.700	18.225
น้ำเข้าสภาวะไม่มีอากาศ	10.275	7.750	11.075	12.050	10.950	11.925	10.975	10.800	11.200	12.550
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ	-	10.975	9.475	11.700	9.975	6.550	10.425	-	11.825	12.225

ตารางผนวก ก 9 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำออกจากระบบทดลองสภาวะมีอากาศ

วันที่เก็บตัวอย่างน้ำออก	พารามิเตอร์					
	pH	SCOD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TMTD (mg/l)	Zn (mg/l)
เก็บวันที่ 0	7.7	238	575	1,269	5.32	18.370
เก็บวันที่ 3	6.9	1,544	364	1,079	3.34	19.450
เก็บวันที่ 5	7.2	1,390	372	923	2.69	-
เก็บวันที่ 15	7.2	653	426	770	1.87	18.675
เก็บวันที่ 30	7.6	388	74	505	1.10	13.025

ตารางผนวก ก 10 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำออกจากระบบทดลองสภาวะไม่มีอากาศ

วันที่เก็บตัวอย่างน้ำออก	พารามิเตอร์					
	pH	SCOD (mg/l)	SS (mg/l)	TKN (mg/l)	TMTD (mg/l)	Zn (mg/l)
เก็บวันที่ 0	5.2	3,863	91	699	6.47	17.260
เก็บวันที่ 3	5.2	3,652	194	1,013	3.22	16.400
เก็บวันที่ 5	5.2	3,517	154	798	2.63	16.625
เก็บวันที่ 15	5.9	3,629	66	501	1.56	16.075
เก็บวันที่ 30	6.9	3,462	34	464	0.89	15.675

ตารางผนวก ก 11 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกากขี้แป้งชุดที่ใช้กากขี้แป้งปกติ

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	8.3	71.60	44.61	55.39	10.84	3.69	0.526	27
เก็บวันที่ 3	8.1	76.96	49.87	50.13	10.23	3.67	0.502	27
เก็บวันที่ 5	7.9	78.81	48.45	51.55	10.08	3.64	0.483	27
เก็บวันที่ 10	8.2	75.04	46.03	53.97	10.00	3.61	0.466	27
เก็บวันที่ 20	7.8	71.94	46.04	53.96	9.70	3.51	0.454	28
เก็บวันที่ 30	8.2	70.55	42.58	57.42	9.43	3.40	0.433	29

ตารางผนวก ก 12 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกากขี้แป้งชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn ในกากขี้แป้ง

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	8.5	71.39	45.63	54.37	13.40	3.86	0.623	27
เก็บวันที่ 3	7.9	76.99	42.24	57.76	13.23	3.78	0.614	27
เก็บวันที่ 5	8.0	78.41	44.43	55.57	13.32	3.71	0.604	27
เก็บวันที่ 10	8.1	77.13	43.02	56.98	12.71	3.68	0.595	27
เก็บวันที่ 20	8.0	72.71	42.43	57.57	12.49	3.60	0.568	28
เก็บวันที่ 30	8.2	70.72	40.65	59.35	12.13	3.52	0.548	29

ตารางผนวก ก 13 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ปกติ

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	7.4	98.67	24.74	75.26	2.35	10.48	1.915	27
เก็บวันที่ 3	7.2	98.46	24.14	75.86	1.96	10.48	1.862	27
เก็บวันที่ 5	7.3	98.37	23.19	76.81	1.82	10.41	1.791	27
เก็บวันที่ 10	7.5	97.22	17.26	82.74	1.78	10.34	1.665	27
เก็บวันที่ 20	7.2	97.08	19.58	80.42	1.51	10.24	1.633	28
เก็บวันที่ 30	7.2	97.05	19.13	80.87	1.25	10.07	1.605	28

ตารางผนวก ก 14 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	7.6	98.43	22.23	77.77	2.91	10.63	2.174	27
เก็บวันที่ 3	7.3	98.22	23.48	76.52	2.41	10.59	2.163	27
เก็บวันที่ 5	7.1	98.09	21.30	78.70	2.31	10.58	2.021	27
เก็บวันที่ 10	7.6	97.13	19.02	80.98	2.18	10.48	1.972	27
เก็บวันที่ 20	7.2	97.04	19.24	80.76	1.90	10.25	1.909	28
เก็บวันที่ 30	7.3	97.33	19.79	80.21	1.74	10.15	1.861	28

ตารางผนวก ก 15 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อชุดที่ใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปกติ

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	8.0	98.53	25.61	74.39	1.53	1.09	0.095	27
เก็บวันที่ 3	7.9	97.78	26.81	73.19	1.34	1.05	0.078	27
เก็บวันที่ 5	7.8	84.39	19.25	80.75	1.21	1.00	0.094	27
เก็บวันที่ 10	8.7	74.41	10.17	89.83	1.14	0.95	0.076	27
เก็บวันที่ 20	8.2	65.21	9.69	90.31	0.92	0.90	0.077	28
เก็บวันที่ 30	7.9	64.74	8.43	91.57	0.73	0.75	0.056	28

ตารางผนวก ก 16 ค่าการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อชุดที่มีการเติม TMTD และ Zn ในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	pH	MC (%)	VS (%)	ash (%)	TMTD (mg/kg)	TN (%)	Zn (%)	อุณหภูมิ (°C)
เก็บวันที่ 0	8.2	99.57	-	-	2.63	1.14	0.130	27
เก็บวันที่ 3	7.8	98.83	30.25	69.75	2.17	1.09	0.093	27
เก็บวันที่ 5	7.9	83.13	18.71	81.29	2.00	1.04	0.097	27
เก็บวันที่ 10	8.4	70.18	8.69	91.31	1.74	1.02	0.076	27
เก็บวันที่ 20	8.1	71.77	11.57	88.43	1.49	0.96	0.075	28
เก็บวันที่ 30	7.9	67.69	8.80	91.20	1.33	0.80	0.066	28

ตารางผนวก ก 17 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย

ตัวอย่าง	ขนาดของโซนใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร)*	อัตราส่วนของ Inhibition zone เฉลี่ย
E.coli + TMTD 0 mg/L	0	1.0
E.coli + TMTD 2.5 mg/L	0	1.0
E.coli + TMTD 5.0 mg/L	0	1.0
E.coli + Zn 0 mg/L	0	1.0
E.coli + Zn 0.005 mg/L	1.7	1.3
E.coli + Zn 0.01 mg/L	1.8	1.3
E.coli + Zn 0.1 mg/L	1.4	1.2
น้ำทิ้ง + TMTD 0 mg/L	0	1.0
น้ำทิ้ง + TMTD 0.1 mg/L	0	1.0
น้ำทิ้ง + TMTD 2.5 mg/L	0.6	1.1
น้ำทิ้ง + TMTD 5.0 mg/L	0.8	1.2

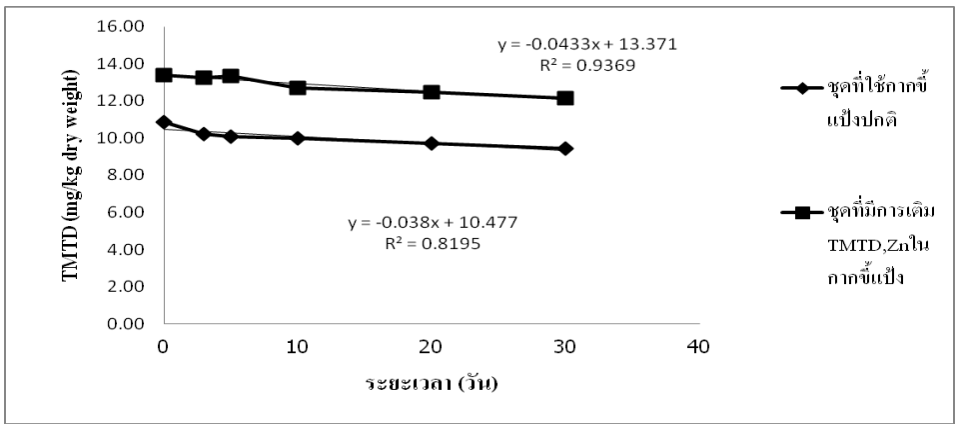
ตารางผนวก ก 17 (ต่อ) ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย

ตัวอย่าง	ขนาดของโซนใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร)*	อัตราส่วนของ Inhibition zone เฉลี่ย
น้ำทิ้ง + Zn 0 mg/L	0	1.0
น้ำทิ้ง + Zn 0.005 mg/L	1.3	1.2
น้ำทิ้ง + Zn 0.01 mg/L	1.4	1.2
น้ำทิ้ง + Zn 0.1 mg/L	1.5	1.3
E.coli + TMTD 0.1 mg/L + Zn 0.005 mg/L	0	1.0
E.coli + TMTD 5.0 mg/L + Zn 0.1 mg/L	0	1.0
น้ำทิ้ง + TMTD 0.1 mg/L + Zn 0.005 mg/L	0.6	1.1
น้ำทิ้ง + TMTD 5.0 mg/L + Zn 0.1 mg/L	0.8	1.1

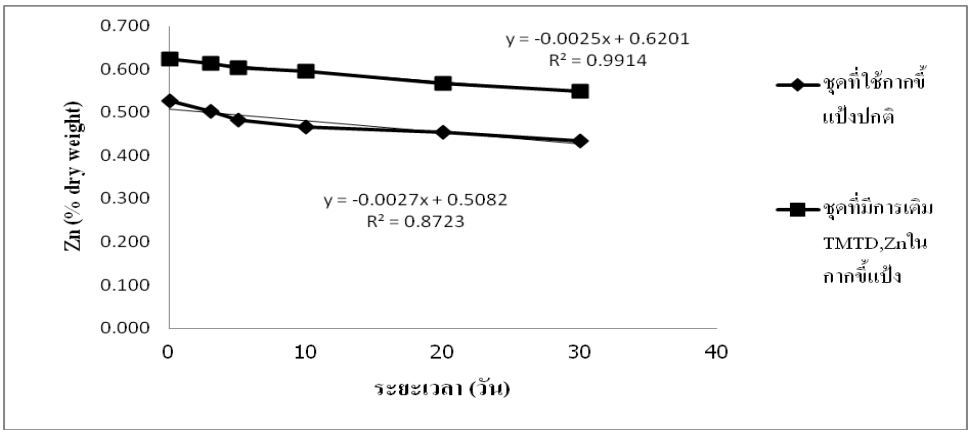
หมายเหตุ : คำนวณจากผลการศึกษา จำนวน 8 – 10 โซนของแต่ละการทดลอง (ทำ 2 ซ้ำแต่ละชุดการทดลอง ซ้ำละ 5 จุด)

ภาคผนวก ข

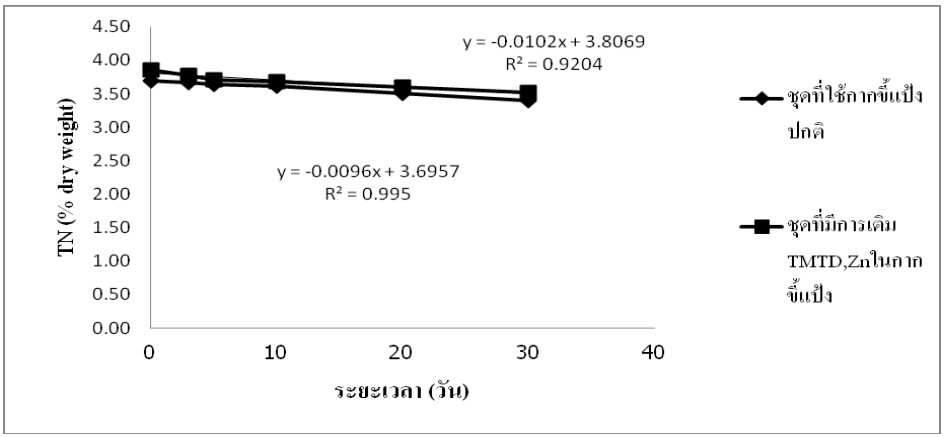
ผลการทำ Regression analysis และ % Recovery ของ Zn



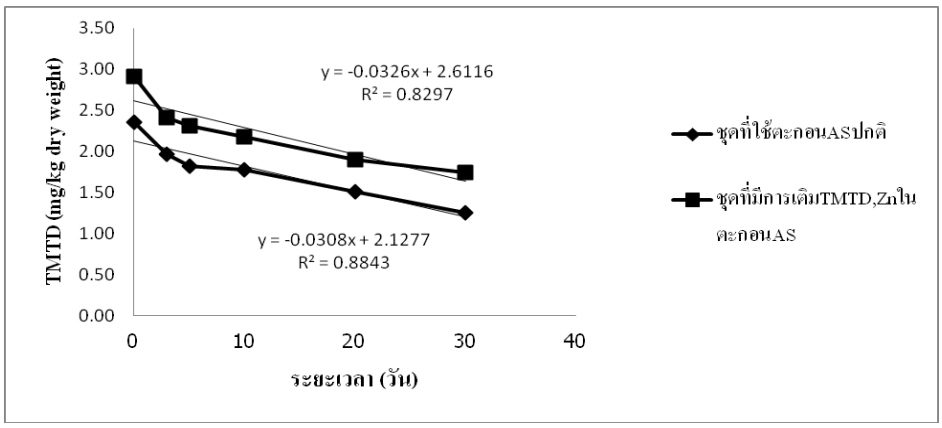
ภาพผนวก ข 1 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TMTD ในกากขี้แป้ง



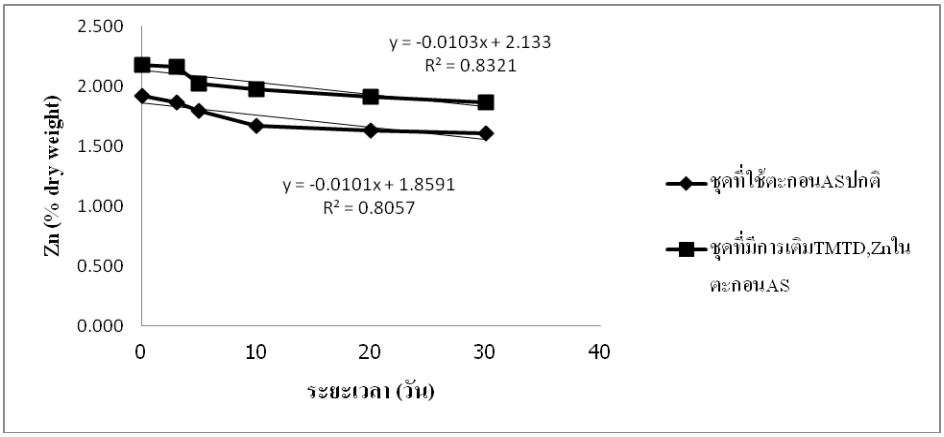
ภาพผนวก ข 2 ผลการทำ Regression analysis ของค่า Zn ในกากขี้แป้ง



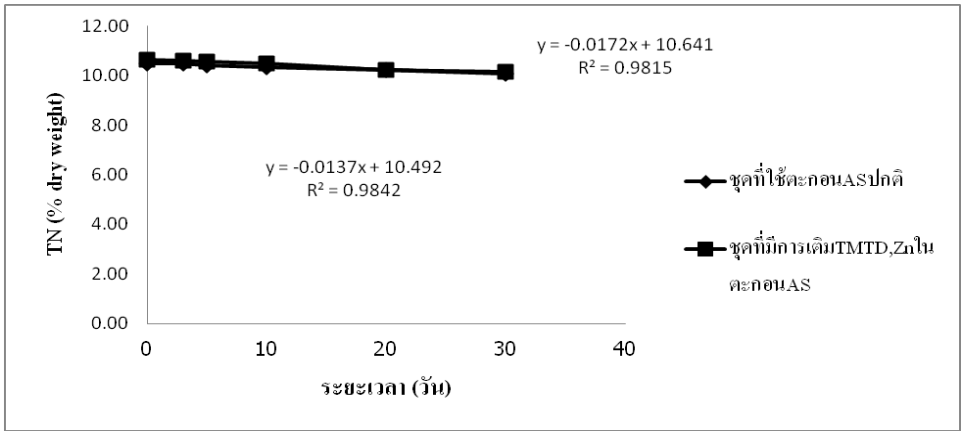
ภาพผนวก ข 3 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TN ในกากขี้แป้ง



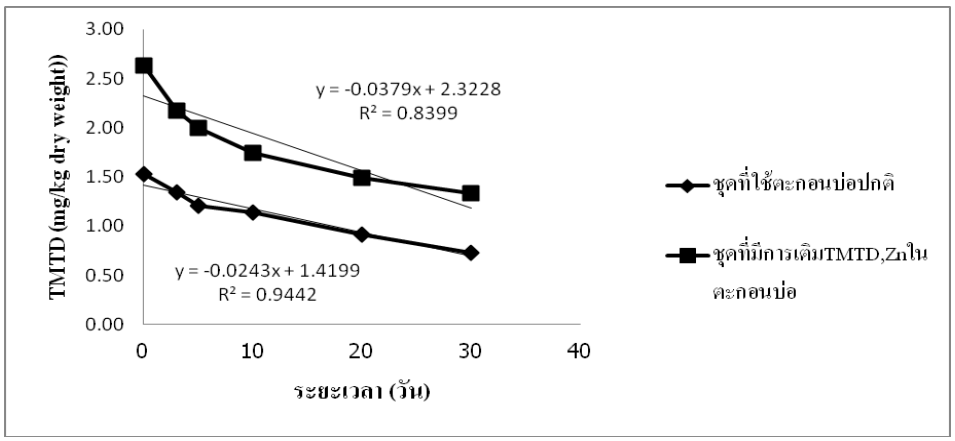
ภาพผนวก ข 4 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TMTD ในตะกอน AS



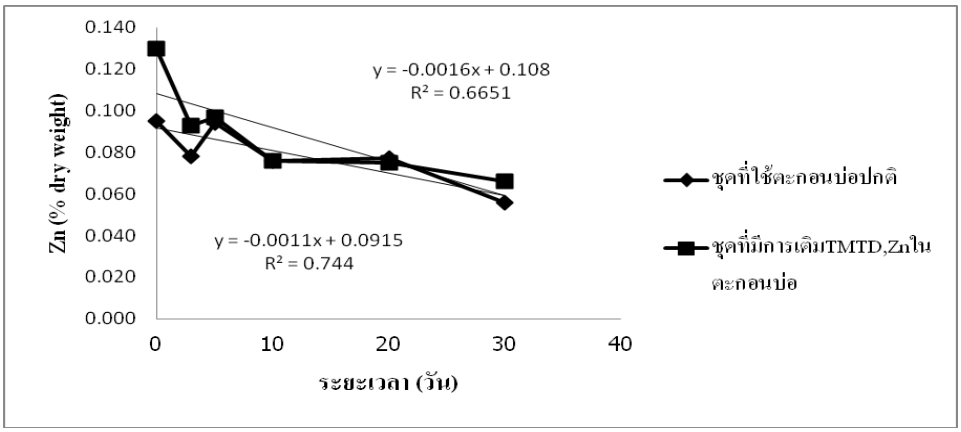
ภาพผนวก ข 5 ผลการทำ Regression analysis ของค่า Zn ในตะกอน AS



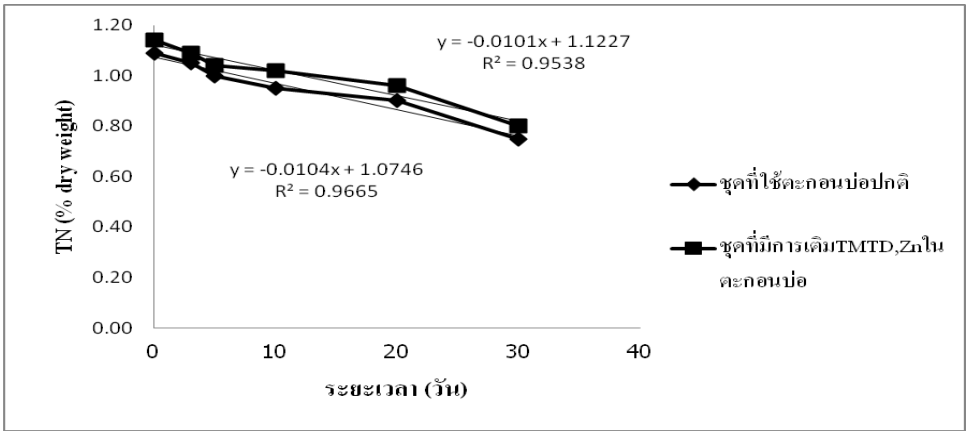
ภาพผนวก ข 6 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TN ในตะกอน AS



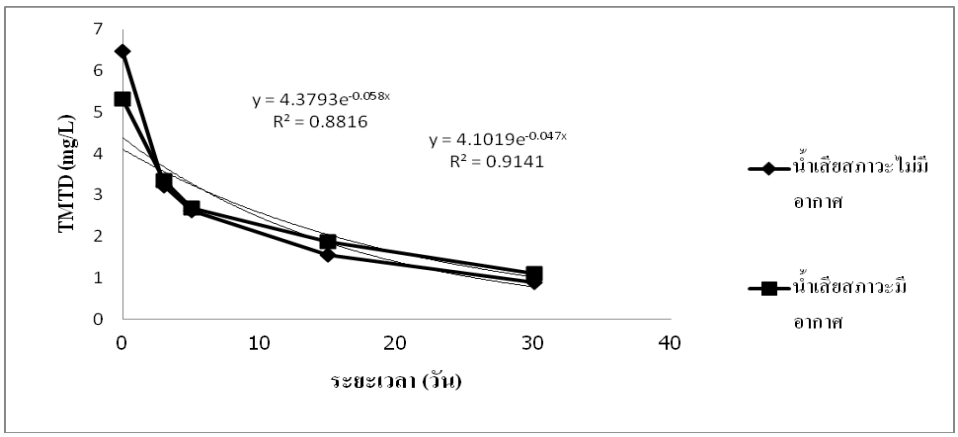
ภาพผนวก ข 7 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TMTD ในตะกอนบ่อ



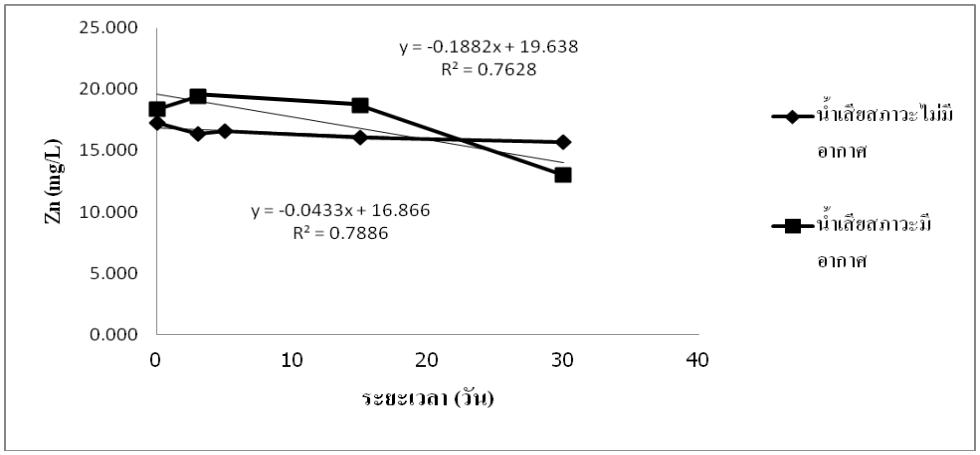
ภาพผนวก ข 8 ผลการทำ Regression analysis ของค่า Zn ในตะกอนบ่อ



ภาพผนวก ข 9 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TN ในตะกอนบ่อ



ภาพผนวก ข 10 ผลการทำ Regression analysis ของค่า TMTD ในน้ำเสีย



ภาพผนวก ข 11 ผลการทำ Regression analysis ของค่า Zn ในน้ำเสีย

ตารางผนวก ข 1 % Recovery ในการวิเคราะห์ตัวอย่างกากขี้แป้งและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ตัวอย่าง	% Recovery
กากขี้แป้ง ชุดที่ใช้กากขี้แป้งปกติ เก็บตัวอย่างวันที่ 5 + Zn 0.1 ppm	104
กากขี้แป้ง ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในกากขี้แป้ง เก็บตัวอย่างวันที่ 20 + Zn 0.1 ppm	95
ตะกอน AS ชุดที่ใช้ตะกอน AS ปกติ เก็บตัวอย่าง วันที่ 10 + Zn 0.1 ppm	93
ตะกอน AS ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอน AS เก็บตัวอย่างวันที่ 20 + Zn 0.1 ppm	102
ตะกอนบ่อ ชุดที่ใช้ตะกอนบ่อปกติ เก็บตัวอย่าง วันที่ 30 + Zn 0.1 ppm	97
ตะกอนบ่อ ชุดที่มีการเติม TMTD, Zn ในตะกอนบ่อ เก็บตัวอย่างวันที่ 0 + Zn 0.1 ppm	96

ตารางผนวก ข 2 % Recovery ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่าง	% Recovery
น้ำออกสภาวะมีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 6 + Zn 0.2 ppm	113
น้ำออกสภาวะมีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 15 + Zn 0.2 ppm	88
น้ำออกสภาวะมีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 21 + Zn 0.2 ppm	113
น้ำออกสภาวะมีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 27 + Zn 0.2 ppm	112
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 3 + Zn 0.2 ppm	87
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 12 + Zn 0.2 ppm	112
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 18 + Zn 0.2 ppm	113
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ เก็บตัวอย่างวันที่ 24 + Zn 0.2 ppm	88
น้ำออกสภาวะมีอากาศ การทดลองแบบ batch เก็บตัวอย่างวันที่ 5 + Zn 0.2 ppm	87
น้ำออกสภาวะมีอากาศ การทดลองแบบ batch เก็บตัวอย่างวันที่ 30 + Zn 0.2 ppm	88
น้ำออกสภาวะไม่มีอากาศ การทดลองแบบ batch เก็บตัวอย่างวันที่ 15 + Zn 0.2 ppm	88

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวดวงกมล กฤตสัมพันธ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110920009

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

ดวงกมล กฤตสัมพันธ์, สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, พนาลี ชีวกิดาการ และพรทิพย์ ศรีแดง. เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์และสังกะสีในระบบบำบัดน้ำเสียและกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 3. 23 พฤศจิกายน 2555. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.