เอกสารรายงาน เล่มที่ 1

รายวิชา 617481 สัมมนา ปัญหาพิเศษ/ปัญหาด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2547

คำนำ

เอกสารรายงานสัมมนาฉบับนี้ เป็นการรวบรวมรายงานรายวิชา 617481 สัมมนา ปัญหาพิเศษ/ปัญหาด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ ซึ่งเป็นรายวิชาที่ศึกษากระบวนการสัมมนาทางวิชาการ โดยนำความรู้เกี่ยวกับวิชาชีพมาจัดการประชุมสัมมนาเพื่อแสดงความรู้ในประเด็นที่เกี่ยวกับปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน สถานการณ์ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม และวิทยาการที่น่าสนใจจากข้อมูลทั้งในและต่างประเทศ

เอกสารฉบับนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมรายงานการสัมมนาโดยคณะนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม ประจำภาคการศึกษาที่ 3/2547 ซึ่งได้จำแนกเป็นบทดังนี้

บทที่ 1 การคัดแยกมูลฝอยและการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

บทที่ 2 ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

บทที่ 3 การจัดการเศษเหลือทิ้ง ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE)

บทที่ 4 จากน้ำเสีย ... สู่น้ำใสด้วยพืชบำบัดน้ำตามแนวพระราชดำริ

บทที่ 5 การพัฒนาห้องปฏิบัติการสู่ มอก.17025 (ISO/IEC 17025)

บทที่ 6 ภาวะโลกร้อน “Global Warming” หรือ ปรากฏการณ์เรือนกระจก “Greenhouse effect”

บทที่ 7 การควบคุมการผลิตด้วย GMP เส้นทางสู่ “อาหารปลอดภัย (Food Safety)

บทที่ 8 “ไบโอดีเซล” พลังงานทดแทนของไทย

บทที่ 9 การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม

สำหรับเอกสารทั้ง 9 บทนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 เล่ม คือเล่มที่ 1 บทที่ 1 ถึง บทที่ 4 และ เล่มที่ 2 บทที่ 5 ถึงบทที่ 9

เอกสารฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก อ.ดร. นเรศ เชื้อสุวรรณ อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาในการตรวจพิจารณาความเหมาะสมของเนื้อหาและรายละเอียดของรายงานสัมมนา ตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์คณาจารย์สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนในด้านวิชาการแก่คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างสูงว่า เอกสารรายงานการสัมมนาเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและผู้ค้นคว้าเป็นอย่างยิ่ง หากมีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

บทที่ 1

การคัดแยกมูลฝอย

และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

ขนิษฐา วงษ์ตาแพง	B4460060
พนมไพร ไชยภา	B4460671
ฤทัยรัตน์ รัตนบุรี	B4460954
ฤหัสดี ทองกลม	B4460961
วิไลลักษณ์ แต้มงาม	B4461098

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

ตอนที่ หน้า

สารบัญ.....ก

สารบัญตาราง.....ข

สารบัญรูป.....ค

ตอนที่ 1 บทนำ.....1-1

ตอนที่ 2 การคัดแยกมูลฝอย และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่.....1-2

2,1 การคัดแยกมูลฝอย.....1-2

2.2 การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่.....1-13

ตอนที่ 3 เศรษฐศาสตร์การหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่.....1-22

ตอนที่ 4 กรณีศึกษา.....1-31

โครงการจัดการและกำจัดมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....1-31

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....1-37

บรรณานุกรม.....1-40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการคัดแยกมูลฝอย.....1-3
ณ แหล่งกำเนิด และสถานที่กำจัด

ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของแต่ละทางเลือก.....1-4

ตารางที่ 1.3 แสดงความถี่ในการเก็บรวบรวมมูลฝอย.....1-32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่1.1 แสดงเครื่องหมายบอกประเภทของพลาสติก.....1-10

รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่.....1-15

รูปที่ 1.3 แสดงกระบวนการหมุนเวียนขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่.....1-17

รูปที่ 1.4 แสดงกระบวนการหมุนเวียนพลาสติกกลับมาใช้ใหม่.....1-19

รูปที่ 1.5แสดงกระบวนการหมุนเวียนอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่.....1-21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 1
บทนำ

การพัฒนาอุตสาหกรรม การเพิ่มจำนวนประชากร และการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนไทย มีผลทำให้ปริมาณของมูลฝอยจากแหล่งอุตสาหกรรมและชุมชนระดับเมืองเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2535 มีปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศเกิดขึ้นประมาณ 10.8 ล้านตัน และได้เพิ่มจำนวนเป็น 14.3 ล้านตัน ในปีพ.ศ. 2545 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.4 มูลฝอยดังกล่าวนี้ มีสัดส่วนองค์ประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ในอัตราที่สูงถึงร้อยละ 90 โดยสามารถนำมารีไซเคิลได้ร้อยละ 40 และนำมาหมักทำปุ๋ยได้ร้อยละ 50 แต่ปัจจุบันอัตราการนำมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มีเพียงร้อยละ 18 ซึ่งยังคงเป็นอัตราที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับมูลฝอยที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นหากมีวิธีการจัดการที่เป็นระบบและครบวงจรจะสามารถเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยได้ ซึ่งจะส่งผลให้ประหยัดทรัพยากรและลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศได้ปีละหลายหมื่นบาท (สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมไทย, 2545)

แนวทางการลดและใช้ประโยชน์มูลฝอยในชุมชน สามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอน ลด ใช้ซ้ำ และรีไซเคิล (Reduce-Reuse-Recycle) โดยเริ่มที่การลดปริมาณขยะมูลฝอย และการคัดแยกมูลฝอยก่อนทิ้ง รวมทั้งจัดให้เกิดกระบวนการนำกลับไปแปรรูปเพื่อใช้ใหม่การทิ้งมูลฝอยรวมกันจะทำให้เกิดการปนเปื้อนสกปรก ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่หรือได้แต่คุณภาพต่ำ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดค่อนข้างสูง

ดังนั้น การคัดแยกมูลฝอย และการหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการจัดการมูลฝอยในปัจจุบัน และสนับสนุนให้มีการนำมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ตอนที่2
การคัดแยกมูลฝอย และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

2.1 การคัดแยกมูลฝอย (Solid Waste Separation)

การคัดแยกมูลฝอย หมายถึง การแยกมูลฝอยประเภทต่างๆ เช่น กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ ฯลฯ ออกจากกันโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่

การคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ (เกียรติพงษ์ ศรีสว่าง, 2545)

1. แหล่งกำเนิด คือ การคัดแยกมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดมาหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยเจ้าของบ้านจะคัดแยกมูลฝอยที่อยู่ในสภาพนำกลับมาใช้ใหม่ได้ออกเป็นแต่ละชนิด เช่น กระดาษ แก้ว พลาสติก โลหะ ขวด เป็นต้น เมื่อแยกเสร็จก็นำมูลฝอยที่ได้ไปขายแก่พ่อค้ารับซื้อของเก่า มูลฝอยต่างๆ จะถูกขายต่อไปยังโรงงานแปรรูปต่อไป ซึ่งเป็นการลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัด และลดปริมาณมูลฝอยที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากจะช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติแล้วยังก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจด้วย

2. สถานที่กำจัดมูลฝอย คือ คัดแยกมูลฝอยบริเวณที่กำจัดมูลฝอย เป็นการนำมูลฝอยมาผ่านกระบวนการคัดแยกมูลฝอยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Material recovery process) โดยใช้เครื่องจักรกลหรือแรงงานทำการคัดแยกวิธีการนี้จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด และสถานที่กำจัด

การคัดแยก ณ แหล่งกำเนิด	การคัดแยก ณ สถานที่กำจัด
1. เงินลงทุน – ค่าดำเนินการต่ำกว่า 2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า 3. คุณภาพวัสดุที่คัดแยกมีค่าสูงกว่า 4. ประชาชนมีส่วนร่วม และรับผิดชอบในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม	1. เงินลงทุน – ค่าดำเนินการสูงกว่า 2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า 3. คุณภาพวัสดุที่คัดแยกมีค่าต่ำกว่า 4. ประชาชนไม่มีส่วนร่วม และรับผิดชอบในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

ที่มา : กรมการปกครอง (2540) อ้างถึงใน (เกียรติพงษ์ ศรีสว่าง, 2545)

การลดปริมาณมูลฝอยให้ได้ผลดีต้องเริ่มต้นที่การคัดแยกมูลฝอยก่อนทิ้ง เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อน ทำให้ได้วัสดุเหลือใช้ที่มีคุณภาพสูงสามารถนำไป Reuse – Recycle ได้ง่ายรวมทั้งปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัดมีปริมาณน้อยลงด้วย ทั้งนี้การคัดแยกมูลฝอย สามารถดำเนินการได้ 4 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 การคัดแยกมูลฝอยทุกประเภท และทุกชนิด

ทางเลือกที่ 2 การคัดแยกมูลฝอย 4 ประเภท (Four cans)

ทางเลือกที่ 3 การคัดแยกขยะสด ขยะแห้ง และขยะอันตราย (Three cans)

ทางเลือกที่ 4 การคัดแยกขยะสด และขยะแห้ง (Two cans)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของแต่ละทางเลือก

ทางเลือก	รูปแบบ	ภาชนะรองรับมูลฝอย	ข้อดี	ข้อเสีย
1	แยกมูลฝอยที่ใช้ได้ใหม่ทุกประเภทและแยกมูลฝอยที่ต้องนำไปกำจัดแต่ละวิธีได้	แบ่งตามประเภทมูลฝอย	วัสดุที่นำกลับไปใช้ประโยชน์มีคุณภาพดีมาก	- พาหนะเก็บขนต้องมีประสิทธิภาพสูงสามารถเก็บขนมูลฝอยที่แยกได้หมด - เพิ่มจำนวนภาชนะรองรับมูลฝอยมากขึ้น
2	แยกมูลฝอย4 ประเภท (Four cans)	แบ่งเป็นถัง ขยะรีไซเคิล ขยะทั่วไป ขยะย่อยสลายได้ และขยะอันตราย	วัสดุที่นำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่มีคุณภาพดี	- เพิ่มจำนวนภาชนะรองรับมูลฝอยมากขึ้น
3	แยกขยะสด ขยะแห้ง และขยะอันตราย (Three cans)	แบ่งเป็นถัง ขยะสด ขยะแห้งและขยะอันตราย	ง่ายต่อการนำขยะสดไปใช้ประโยชน์ และขยะอันตรายไปกำจัด	- วัสดุที่นำกลับไปใช้ประโยชน์ยังปะปนกันอยู่ไม่ได้แยกประเภท
4	แยกขยะสด และขยะแห้ง (Two cans)	แบ่งเป็นถัง ขยะแห้ง และขยะเปียก	ง่ายต่อการนำขยะเปียกไปใช้ประโยชน์	- สับสนต่อคำนิยามคำว่าขยะเปียก ขยะแห้ง ทำให้ทิ้งไม่ถูกต้องกับถังรองรับ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547)

จากตารางที่ 1.2 จะเห็นว่า ทางเลือกที่ 1 สามารถรวบรวมวัสดุที่จะนำมาใช้ใหม่ได้ในปริมาณมาก และมีคุณภาพดีมาก แต่เนื่องจากประชาชนอาจจะยังไม่สะดวกต่อการคัดแยกมูลฝอยทุกประเภท

ดังนั้น ในเบื้องต้นเพื่อเป็นการสร้างความคุ้นเคยต่อการคัดแยกมูลฝอยควรเริ่มที่ทางเลือกที่ 2 คือ แบ่งการคัดแยกออกเป็น 4 กลุ่ม (ขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ขยะย่อยสลายได้ ขยะทั่วไป และขยะอันตราย) ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่สามารถนำมูลฝอยกลับไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ และสะดวกต่อการกำจัด

2.1.1. กระดาษ

กระดาษ หมายถึง วัสดุสำหรับใช้เขียน ใช้พิมพ์ ใช้ทำภาชนะบรรจุและห่อของ รวมทั้งใช้ในการทำความสะอาดและดูดซับ ตลอดจนใช้งานด้านอุตสาหกรรม ด้านศิลป์ ด้านงานฝีมือ ฯลฯ กระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากวัสดุเส้นใยของพืช ซึ่งเป็นเซลล์ที่สร้างความแข็งแรงให้แก่ลำต้นพืช ถือเป็นทรัพยากรที่สร้างขึ้นได้ (Renewable natural resource) จึงถือว่าพืชมีลักษณะที่สำคัญสำหรับจะใช้พิจารณาในแง่ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมได้ดี นอกจากพืชแล้วเศษกระดาษที่ใช้แล้วก็ยังสามารถนำกลับมาผลิตกระดาษได้อีก

ปัญหาใหญ่ของมูลฝอยอีกประเภทหนึ่งคือ ผลิตภัณฑ์ในรูปกระดาษที่ผลิตออกมามีจำนวนมาก และในจำนวนที่ผลิตออกมาอย่างมหาศาลนี้มีเพียงไม่ถึง 30 เปอร์เซ็นที่ได้มีการนำกระดาษที่ใช้แล้วไปทำผลิตภัณฑ์ใหม่อีกครั้ง จำนวนที่เหลือจึงกลายเป็นมูลฝอยอยู่ในแหล่งทิ้งมูลฝอย

คนไทยใช้กระดาษเฉลี่ย 34 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ทั่วประเทศมีความต้องการกระดาษ 13 ล้านตันต่อปี และมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในกระบวนการผลิตกระดาษ 1 ตัน ใช้ต้นไม้ถึง 17 ต้น ใช้น้ำ 31,500 ลิตร ปล่อยคลอรีนเป็นของเสียกว่า 7 กิโลกรัม แบ่งเป็นกระดาษที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตามลำดับคุณภาพสูงไปหาต่ำดังนี้ (เกียรติพงษ์ ศรีสว่าง, 2545)

1. กระดาษพิมพ์ กระดาษถ่ายเอกสาร
2. กระดาษที่ใช้ในการโฆษณา เช่น โปสเตอร์ นามบัตร การ์ดเชิญ และอื่นๆ
3. กล่องกระดาษ ถุงกระดาษสีน้ำตาล
4. หนังสือพิมพ์ (กระดาษปรู๊ฟ)
5. เศษกระดาษที่ปะปนกัน

ในการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่กระดาษที่ใช้จะต้องสะอาด เนื่องจากกระดาษที่สกปรกและมีสิ่งเจือปน เมื่อนำไปทำเยื่อกระดาษจะให้เส้นใยที่ไม่แข็งแรง ดังนั้นในการตลาดการรับซื้อกระดาษใช้แล้วถ้ากระดาษที่สะอาดจะมีราคาสูงกว่ากระดาษที่สกปรกหรือมีสิ่งเจือปน

การใช้ประโยชน์จากกระดาษเก่า

กระดาษทุกชนิดส่วนใหญ่มาจากเนื้อเยื่อของต้นไม้ และมีกระดาษหลายชนิดที่เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษบันทึก กระดาษสำเนา กระดาษพิมพ์ดีด กระดาษคอมพิวเตอร์ บัตรรายการ และซองจดหมายสีขาว สำหรับกระดาษที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น กระดาษที่ติดกาวหรืออาบน้ำมัน เนื่องจากความร้อนจะทำให้สารเคลือบกระดาษละลายแล้วไปอุดตันเครื่องจักรทำให้เกิดความเสียหายได้ ในการหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่จะเริ่มต้นด้วยกระบวนการใช้น้ำมันและสารเคมีกำจัดหมึกที่ปนเปื้อนออกไปทำให้กระดาษเหล่านั้นกลายเป็นเนื้อเยื่อเพื่อนำเข้ากระบวนการผลิตเส้นใยเป็นกระดาษต่อไป

กระดาษที่ใช้แล้วเมื่อนำมาผลิตขึ้นใช้ใหม่มีกระบวนการค่อนข้างซับซ้อนโดยเฉพาะจะต้องกำจัดสีที่ปนเปื้อนออกให้หมดเพราะการเจือปนแม้เพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้กระดาษที่ผลิตใหม่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ เนื่องจากไฟเบอร์ในกระดาษจะลดน้อยลงทุกขั้นตอนของกระบวนการในการหมุนเวียนกระดาษใช้ใหม่ ดังนั้นกระดาษที่ผลิตขึ้นมาใหม่จึงมีคุณภาพด้อยลง มีเพียงร้อยละ 3 ของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่านั้นที่สามารถนำไปผลิตเป็นสิ่งพิมพ์ได้ใหม่ การหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่ส่วนใหญ่จึงเหมาะสำหรับทำเป็นกล่องบรรจุสินค้าทำเป็นฝ้าเพดาน หรือฉนวนกันความร้อน การนำกระดาษที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ใหม่ จะช่วยให้ลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัดให้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยรวมทั้งช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วย

2.1.2. แก้ว

แก้วเป็นวัสดุที่มีผิวราบเรียบแข็งใสเปราะบางและแตกร้าวได้ง่าย มนุษย์ผลิตแก้วขึ้นจากการหลอมละลายของวัสดุธรรมชาติ คือ ทราย เถ้าโซดา หินปูน และแร่เฟลด์สปาร์โดยสามารถหลอมให้เป็นรูปร่างและสีสันแปลกๆ แตกต่างกันได้ไม่รั่วง่าย จึงนิยมนำแก้วมาทำเป็นภาชนะใส่ของต่างๆ เช่น อาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง ฯลฯ เพราะแก้วไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ ที่จะให้สารที่ใส่ภาชนะแก้วนั้นๆ ต้องเปลี่ยนคุณสมบัติ แก้วจึงเป็นภาชนะที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด

ในแต่ละปีประเทศไทยจะมีขวดแก้วที่ผ่านการใช้แล้วไม่ต่ำกว่า 28 พันล้านใบ ที่ถูกทิ้งให้เป็นขยะออกสู่สิ่งแวดล้อมแก้วบางชนิดสามารถนำมาล้างทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรคและหมุนเวียนนำกลับมาบรรจุใหม่ได้อย่างน้อยถึง 30 ครั้งโดยผู้ผลิตสินค้าประเภทเดิม เช่น ขวดเครื่องดื่มแก้วบางชนิดผลิตขึ้นเป็นเนื้อแก้วบางเบาเพื่อความสะดวกในการพกพา ซึ่งไม่สามารถนำมาล้างเพื่อใช้ใหม่ได้ แต่สามารถรวบรวมส่งคืนโรงงาน เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตขึ้นใหม่ที่เรียกว่า กระบวนการหมุน

เวียนกลับมาใช้ใหม่ โดยแก้วที่เข้าสู่กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะถูกทุบ และบดให้แตกละเอียดก่อนที่จะนำไปหลอมในเตาหลอมรวมกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเพื่อเป็นส่วนในการผลิตแก้วใหม่

การหมุนเวียนแก้วกลับมาใช้ใหม่สามารถช่วยลดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตได้มากกว่าการผลิตแก้วจากวัตถุดิบธรรมชาติ ซึ่งพลังงานที่ประหยัดได้จากแก้วการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 1 ใบ จะเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไฟฟ้าขนาด 400 วัตต์ นานถึง 4 ชั่วโมง

2.1.3. พลาสติก

พลาสติก ผลิตขึ้นมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และอาจผลิตเพื่อให้มีสีต่างๆ ใส แข็ง หรืออ่อนก็ได้และยังสามารถหลอมละลายเป็นรูปต่างๆได้โดยใช้แรงดันและความร้อนและคุณสมบัติของพลาสติกคือ ไม่ละลาย

ประโยชน์ของพลาสติก คือ น้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการถือหิ้ว และการขนส่งตลอดจนมีความทนทานอยู่ได้เป็นเวลานาน และเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้มากพลาสติกจึงเข้ามาแทนวัสดุธรรมชาติอย่างอื่นอย่างรวดเร็ว

พลาสติกที่รู้จักกันทั่วๆไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามคุณสมบัติ คือ (ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา, 2547)

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด มีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดหนึ่งก็จะหลอมเหลว ซึ่งแต่ละชนิดใช้ความร้อนในการหลอมเหลวไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของพลาสติกนั้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของพลาสติกแต่ละชนิดแตกต่างกัน คุณสมบัติพิเศษที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเทอร์โมพลาสติก คือ สามารถนำกลับมาหลอม และผลิตเป็นเครื่องใช้ได้อีก (Recycle) ซึ่งพลาสติกประเภทนี้ มีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิด คือ

1.1 Polyethylene: PE เป็นพลาสติกที่มีผู้นิยมใช้กันมากสามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องใช้ได้หลายชนิด มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิดมีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) และชนิดมีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE)

1.1.1 HDPE (High Density Polyethylene) เป็น Polyethylene ที่ถูกทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นจนเกือบเท่าน้ำ โดยทั่วไปใช้ทำขวดใส่ผลิตภัณฑ์น้ำนม ใส่แชมพู ใส่สบู่เหลว เป็นต้น ที่เป็นขวดนมจะไม่มีการเติมหรือผสมสีหรือรงควัตถุ เนื้อมีลักษณะขาว ไม่ทึบ–ไม่โปร่งแสง คือ แสงผ่านได้บ้าง แต่ไม่ใส เนื้อ HDPE ประเภทนี้เป็นเนื้อธรรมชาติ เพราะไม่มีการเติมสีใดๆ เป็นเนื้อที่มีมูลค่าสำหรับการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่สูงสุด เนื่องจากผู้นำไปหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่สามารถทำได้หลายสีในภายหลัง ส่วนภาชนะ HDPE ที่มีสีจะถูกหลอมรวมกันในโรงงานการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ และนำไปผลิตเป็นภาชนะที่มีสีดำ กระบวนการหมุนเวียน HDPE กลับมาใช้ใหม่ เป็นกระบวนการแบบง่ายๆ เศษ HDPE จะถูกตัดบดจนเป็นเกล็ดเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 ซม. แล้วเข้าขบวนการล้าง ซึ่งจะหมุนเวียนให้เศษ HDPE ลอยขึ้นผิวน้ำแยกสิ่งสกปรกที่จมน้ำออกไป จากนั้นนำไปอบด้วยลมร้อน โรงงานบางแห่งทำเพียงขั้นตอนนี้โดยนำเกล็ด HDPE ที่สะอาดและแห้งที่ได้มาบรรจุกล่องขายให้โรงงานอีกต่อหนึ่ง โรงงานที่มีอุปกรณ์มากกว่านี้ก็สามารถเติมสี และหลอมเป็นเม็ดเหมือนของใหม่ได้ ซึ่งเหมาะกับการนำไปเข้าเครื่องฉีดเพื่อขึ้นรูปผลิตเป็นภาชนะต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำจากพลาสติกการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นี้ได้แก่ ท่อพลาสติก ถังขยะ ขวดที่ไม่ใช้บรรจุอาหาร เป็นต้น

1.1.2 LDPE (Low Density Polyethylene) มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกันกับ HDPE แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และอ่อนตัวกว่าแผ่นพลาสติก PE (Polyethylene) ที่เห็นทั่วไป เช่น ถุงพลาสติกเป็น LDPE มีทั้งที่ใส่สีและไม่ใส่สี ซึ่งโรงงานการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะแยกออกจากกัน การหมุนเวียน LDPE กลับมาใช้ใหม่ ก็เหมือนกับ HDPE ยกเว้นแต่จะต้องใช้เครื่องตัดบดที่สามารถใช้กับแผ่นพลาสติกบางและนิ่มของ LPDE ได้ เศษ LPDE ที่ล้างสะอาดแล้วอาจจะถูกนำไปใช้โดยตรงหรือหลอมเป็นเม็ด (repelletized) เพื่อขายต่อ ผลิตภัณฑ์ที่นิยมทำจากพลาสติกที่ได้จากการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นี้ ได้แก่ ถุงใส่ขยะ ท่อ แผ่นพลาสติกใช้ในการเกษตร เป็นต้น

1.2 Polypropylene: PP เป็นพลาสติกที่มีผู้ใช้กันมากเช่นเดียวกับ PE ทั้งนี้เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก แต่ที่แตกต่างกัน คือ ความคงทนต่อไขมันได้ดีกว่า ทนความร้อนได้สูงกว่า ดังนั้นจึงนิยมใช้ผลิตถุงร้อน แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร เป็นต้น

1.3 Polyvinychloride: PVC เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็ง เมื่อจะทำให้มีความนิ่มและยืดหยุ่นจะต้องเติมสารปรุงแต่ง (Plasticizers) เป็นพลาสติกที่สามารถทนต่อไขมันและแอลกอฮอล์ได้ดี สามารถทนต่อความร้อนได้สูงใกล้จุดน้ำเดือด แต่ไม่สามารถทนต่อแสงแดด

คือ เมื่อถูกแสงแดดนาน ๆ จะทำให้เปราะและแตกได้ เหมาะสำหรับทำภาชนะบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำมันพืช หรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์

1.4 Polystyrene: PS เป็นพลาสติกที่มีลักษณะโปร่งใส แต่เปราะ มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถทนกรดและด่างได้ดี แต่ไม่สามารถรับแรงกระแทกได้มาก ถ้านำไปผสมสารบางชนิด จะทำให้สามารถรองรับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่จะไม่โปร่งใส ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจาก PS ส่วนใหญ่ คือ ชาม ถ้วยน้ำ ของเล่นเด็ก ฉนวนไฟฟ้า และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด

1.5 Expandable Polystyrene: EPS เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีขั้นตอนการผลิตแยกมาจาก PS สามารถนำมาผลิตเป็นโฟม (Foam) เรียกว่า PS Foam โฟมดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผลิตถ้วยไอศกรีม ถ้วยเครื่องดื่ม ถาด หรือกระบะใส่อาหารสำเร็จรูปประเภทฟาสต์ฟู้ด ถังเก็บของสด หรือถังน้ำแข็ง เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษในการรักษาอุณหภูมิได้ดี เป็นพลาสติกที่มีสีขาวสะอาด สามารถใช้ในการหีบห่อของแตกง่าย มีน้ำหนักเบา

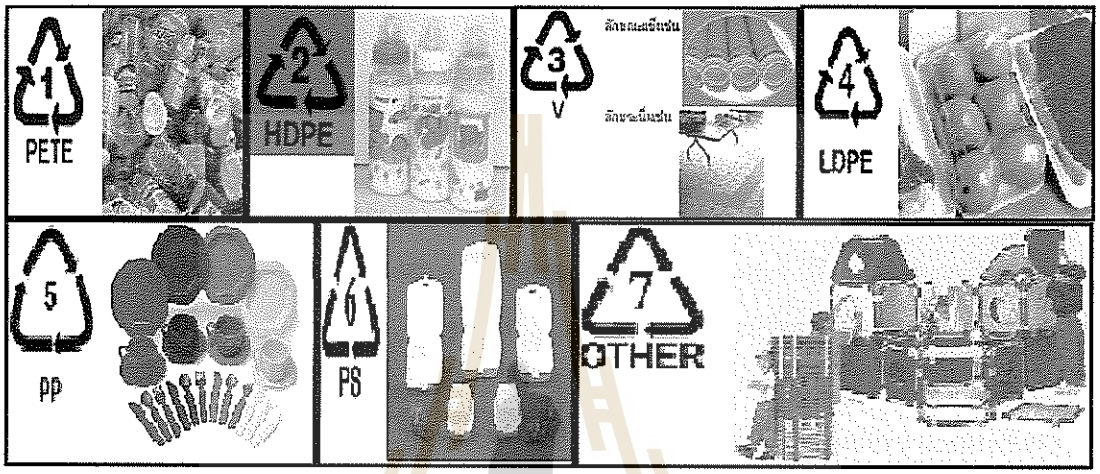
2. เทอร์โมเซทติ้งพลาสติก (Thermosetting Plastic)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปฏิกิริยาทางเคมีได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ที่เขี่ยบุหรี่ เป็นต้น รู้จักกันมากในรูปของเมลามีน (Melamine) นอกจากนั้นยังมีพวกใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่ทอเป็นเสื้อผ้าบ้าง ผ้าใบบ้าง ไฟเบอร์กลาส (Fiber Glass) ที่ทำเป็นหลังคารถยนต์ (รถกระบะ) โพลียูรีเทน (Polyurethane) ที่ใช้ทำเป็นพื้นรองเท้า และพื้นของสนามกีฬาแห่งชาติ ก็ใช้พลาสติกประเภทนี้เป็นส่วนประกอบอันหนึ่ง ลักษณะที่แตกต่างจากพลาสติกชนิดแรก ๆ คือ เมื่อนำไปผลิตเป็นเครื่องใช้แล้ว ไม่สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้อีก

Poly Ethylene Terepthalat: PET เป็นรูปแบบหนึ่งของ polyester หรือ mylar ซึ่งแข็งแรงและมีประโยชน์มาก ขวดเครื่องดื่มหรือโหลใส่อาหารหลายชนิดทำจาก PET กระบวนการหมุนเวียน PET กลับมาใช้ใหม่ คล้ายกับ LDPE และ HDPE คือ ขั้นแรกขวด PET ที่มีสีก็จะถูกแยกไว้ต่างหาก ต่อมาเป็นขบวนตัดบดแล้วทำความสะอาด (ที่แตกต่างออกไป คือ PET จมน้ำ แต่ฝาขวดและฉลากพลาสติกลอยน้ำ) จากนั้นเป็นการอบแห้งแล้วทำเป็นเม็ด

PET ที่ได้จากกระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ใช้ประโยชน์ได้มาก คือ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ บริษัทผู้ผลิตพรมปกติจะใช้ PET ที่ได้จากการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นี้ในการ

ผลิตพรมชนิดโพลีเอสเตอร์ ซึ่งมีสีสันและเนื้อพรมต่าง ๆ กัน นอกจากนี้สามารถนำไปผลิตเป็นใยฝ้ายเทียม เพื่อใช้ในเครื่องนอน เช่น หมอน ฟูก ผ้านวม หรือนำไปทำเป็นฟิล์มใส เพื่อห่อสินค้า เช่น ห่อตลับเทปคาสเซทหรือตลับวีดีโอ หรืออาจนำกลับไปผลิตเป็นขวดหรือภาชนะใส่อาหาร



รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องหมายบอกประเภทของพลาสติก

ประโยชน์ของพลาสติก

1. เป็นเครื่องใช้ภายในบ้าน ได้แก่ ถ้วย ชาม จาน แปรงสีฟัน หลอดยาสีฟัน ขวดบรรจุแชมพู ถุงใส่อาหารทั้งถุงร้อนและถุงเย็น ถุงใส่น้ำ อ่างซักผ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า ฯลฯ
2. เป็นวัสดุตกแต่งบ้าน รวมทั้งสิ่งก่อสร้าง ได้แก่ ท่อประปา วัสดุหุ้มสายไฟ วัสดุปูพื้น (กระเบื้องยาง) ผนัง ฝ้าบ้านพลาสติก เฟอร์นิเจอร์พลาสติกตกแต่งบ้าน ฯลฯ
3. เป็นฉนวนกันความร้อน กันสะเทือน และกันของแตก ได้แก่ โฟมบุผนังด้านในของตู้เย็น โฟมป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแตกหักในระหว่างการขนส่ง หมวกกันน็อค ฯลฯ
4. เป็นอุปกรณ์การเรียนการสอน ได้แก่ ปากกา ไม้บรรทัด ดินสอกด whiteboard ชิ้นส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ
5. เป็นเครื่องประดับของชำร่วยและของเล่นเด็ก ได้แก่ ต่างหู ตุ๊กตา ดอกไม้พลาสติก ของขวัญพวกกิ๊ฟชอพ ฯลฯ
6. เป็นอุปกรณ์เครื่องนุ่งห่มและสวมใส่ เช่น เสื้อกันฝน เสื้อไนล่อน รองเท้าฟองน้ำ รองเท้าหนังเทียม ฯลฯ

7. เป็นอุปกรณ์การประมง เช่น เชือก แห อวน ฯลฯ
8. เป็นอุปกรณ์ในรถยนต์ เช่น กันชนรถยนต์ ท่อน้ำร้อน เครื่องยนต์ หม้อแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนรถยนต์ ฯลฯ

2.1.4. อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีสีขาวคล้ายเงิน น้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติที่อ่อนตัว ซึ่งสามารถทำเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ในการผลิตอะลูมิเนียม จึงมักผสมทองแดงและสังกะสี เพื่อเพิ่มความแกร่งให้กับเนื้ออะลูมิเนียม เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นภาชนะที่สามารถซึมซับความเย็นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้อะลูมิเนียมเป็นที่นิยมในการนำมาผลิตเป็นกระป๋องบรรจุน้ำดื่ม และวัสดุอีกหลายชนิด เช่นน้ำอัดลม เบียร์ โซดา กระดาษตะกั่ว ถาดใส่อาหาร ภาชนะในครัว ฯลฯ ปัจจุบัน อะลูมิเนียมนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด และมีข้อดี คือ สามารถนำไปการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ กระป๋องอะลูมิเนียมทุกใบสามารถส่งคืนโรงงานเพื่อนำไปผลิตเป็นกระป๋องใหม่ได้โดยไม่มีขีดจำกัดจำนวนครั้งของการผลิต เมื่อกระป๋องอะลูมิเนียมถูกส่งเข้าโรงงานแล้วจะถูกบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วหลอมเป็นแท่งแข็ง จากนั้นส่งต่อไปยังโรงงานผลิตกระป๋อง เพื่อทำกระป๋องอะลูมิเนียมใหม่

กระบวนการหมุนเวียนกระป๋องอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ประหยัดพลังงานความร้อนได้ถึง 20 เท่า และช่วยลดมลพิษทางอากาศได้ถึงร้อยละ 95 ของการผลิตกระป๋องใหม่โดยใช้อะลูมิเนียมจากธรรมชาติ สำหรับกระป๋องที่ผลิตขึ้นจากเหล็กกล้าจะมีส่วนผสมของดีบุกอยู่เล็กน้อยเพื่อป้องกันการเกิดสนิมนั้นใช้บรรจุอาหารกระป๋องสำเร็จรูป ผลไม้กระป๋อง น้ำผลไม้กระป๋อง ฯลฯ ซึ่งกระป๋องเหล่านี้เมื่อใช้แล้วสามารถนำมากลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ โดยเริ่มจากการกำจัดดีบุกที่เคลือบกระป๋องออกก่อน และเหลือไว้เฉพาะส่วนที่เป็นเหล็กกล้าแล้วจึงนำไปหลอมเพื่อผลิตเป็นกระป๋องใหม่ กระบวนการหมุนเวียนกระป๋องดีบุกกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดพลังงานในการผลิตกระป๋องใหม่ที่ได้จากธรรมชาติได้ถึงร้อยละ 75

กระป๋องอะลูมิเนียมที่ใช้แล้วสามารถเก็บรวบรวมแล้วนำกลับมาใช้ได้หลายทางด้วยกัน วิธีการหนึ่ง คือ ผู้ขายสินค้าคิดค่ามัดจำกระป๋องและคืนเงินให้เมื่อลูกค้านำมาคืน ระบบนี้ในประเทศไทยยังไม่มีบริษัทใดนำมาใช้ แม้ว่าวิธีนี้จะได้ผลมากที่สุด แต่ก็มีปัญหาคือ ค่ามัดจำกระป๋องทำให้มูลค่าการหมุนเวียนกระป๋องกลับมาใช้ใหม่สูงเกินไป วิธีการที่นิยมกันมากคือ โรงงานที่มีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะรับซื้อกระป๋องเก่าจากพ่อค้าของเก่า ปัจจุบันรัฐได้รณรงค์ให้ประชาชนแยกทิ้งของใช้ที่สามารถนำไปการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ลงในถังขยะสีน้ำเงิน แล้วของในถังขยะนั้นก็จะถูกส่งไปแยกประเภท

และขายให้โรงงานอีกต่อหนึ่งโดยหน่วยงานของรัฐหรือผู้รับสัมปทานเป็นผู้ดำเนินการ ในอนาคตระบบนี้อาจจะกระทบกระเทือนต่อกิจการรับซื้อของเก่าทั่วไปมากขึ้น

ผู้รับซื้อจะคัดแยก ทำความสะอาด แล้วใช้เครื่องบีบอัดกระป๋องให้แบนรวมเป็นก้อนใหญ่เหมาะต่อการขนส่งเพื่อขายต่อให้โรงงานอะลูมิเนียม ทั้งนี้ มีการกำหนดแรงบีบอัดและขนาดไว้เป็นสเป็คต่างๆ กัน

เนื่องจากโรงงานจะต้องผลิตแผ่นอะลูมิเนียมที่แข็งแรงแต่บางเฉียบเพื่อนำไปผลิตกระป๋องอีกทุกๆ สเป็คจึงต้องสะอาดจริงๆ ไม่มีคราบไขมัน น้ำมัน หรือสิ่งสกปรกใดๆ ปนเปื้อน ซึ่งโรงงานจะเข้มงวดมากๆ ถ้าหากโรงงานพบเศษตะกั่ว ดีบุก ทองแดง ทองเหลือง หรือเศษโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กโรงงานก็จะรีเจ็กทันที ดังนั้น ก่อนการบีบอัดจึงต้องทำความสะอาดเอาเศษกระดาษ เศษพลาสติก สิ่งสกปรกต่างๆ ออกให้หมด โรงงานหลายแห่งยอมให้มีความชื้นได้ถึง 4 % หากความชื้นสูงกว่านี้ก็จะถูกหักเงินชดเชยความชื้นทุกๆ 2 % ที่เกินขึ้นไป

กรณีตัวอย่างจากประเทศบราซิล ในช่วงปีที่ผ่านมาประเทศบราซิลสามารถนำกระป๋องอะลูมิเนียมแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 5,500 ล้านกระป๋อง คิดเป็น 65 % ของจำนวนที่ผลิต ขณะที่อเมริกาทำได้เพียง 63 % ส่วนหนึ่งของความสำเร็จมาจากกลุ่มคนที่มีอาชีพเก็บกระป๋องอะลูมิเนียมไปขาย ซึ่งสามารถทำรายได้จากการเก็บกระป๋องไปให้กับโรงงานได้ถึง 2,000 บาทต่อวัน หากนักเก็บกระป๋องขยันทำงาน จะสามารถทำรายได้ถึง 10,000 บาทต่อเดือน ทั้งนี้ เนื่องจากราคารับซื้อกระป๋องอะลูมิเนียมในบราซิลแพงกว่ากระดาษถึง 9 เท่าตัว ทำให้คนบราซิลจำนวนมากหันมาเลี้ยงชีพด้วยการเก็บกระป๋อง นอกจากนี้ยังมีโรงเรียน โบสถ์ ค่ายทหาร ที่เก็บกระป๋องเพื่อนำไปแลกกับคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องถ่ายเอกสาร หรือแม้แต่เก้าอี้เข็นคนพิการ ปัจจุบันบราซิลมีแผนที่จะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่กระป๋องให้ได้ถึง 70 % โดยจะมีผลดีต่อการประหยัดพลังงาน

สำหรับประเทศไทย มีการนำเข้าอะลูมิเนียมปีละประมาณ 3 แสนตัน มูลค่ากว่า 20,000 ล้านบาท เพื่อผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นส่วนใหญ่ มีเศษอะลูมิเนียมหมุนเวียนตกปีละ 100,000 ตัน ส่งออกในราคาต่ำกลับไปต่างประเทศปีละ 40,000 ตัน ที่เหลือถูกนำกลับมาเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยโรงงานถลุงเหล็ก ซึ่งยังมีแนวทางการจัดการที่ยังไม่ได้มาตรฐาน ขณะนี้กรมทรัพยากรธรณีกำลังดำเนินการศึกษาการลงทุนตั้งโรงงานถลุงเศษอะลูมิเนียมโดยจะส่งเสริมให้เอกชนเป็นผู้ดำเนินการคาดว่าจะใช้เงินลงทุนประมาณ 200 ล้านบาท หากทำสำเร็จจะช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศได้มาก

ส่วนกระป๋องประเภทเหล็กกล้าที่มีส่วนผลิตของดีบุก ได้แก่ กระป๋องที่ใช้สำหรับบรรจุอาหารสำเร็จรูป ผลไม้กระป๋อง ผักกระป๋อง น้ำผลไม้ ฯลฯ กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่สามารถ

ดำเนินการโดยการกำจัดดีบุกที่เคลือบกระป๋องออกก่อนและเหลือไว้เฉพาะส่วนที่เป็นเหล็กกล้าแล้วจึงนำไปหลอมเพื่อผลิตเป็นกระป๋องใหม่

2.2 การหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)

การหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ หมายถึง การแยกวัสดุที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำออกจากมูลฝอยและรวบรวมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าขึ้นใหม่ หรือที่รู้จักกันว่า "การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่" (Recycle) ขั้นตอนนี้เป็นการนำวัสดุของใช้มาใช้ใหม่เช่นกัน แต่ต่างจากขั้นตอนการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) คือ ขั้นตอนนี้ต้องมีการนำวัสดุผ่านกระบวนการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่ เช่น กระป๋อง อะลูมิเนียม หรือขวดแก้วต้องมีการหลอมและผ่านเป็นกระป๋องหรือขวดใบใหม่ วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ได้แก่ กระดาษชนิดต่างๆ ขวดแก้ว โถแก้ว กระป๋องอะลูมิเนียม พลาสติก เศษเหล็ก ผ้า น้ำมันเครื่อง กล่องนม และกล่องผลไม้ เป็นต้น

สำหรับมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ เศษอาหาร ก็สามารถแยกไปทำสารย่อยสลาย (Composting) เพื่อเป็นปุ๋ยธรรมชาติหรือให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ปุ๋ยธรรมชาติที่เกิดจากการย่อยสลายนี้เป็นปุ๋ยหรือดินที่มีคุณภาพสูง โดยลักษณะเนื้อดินจะมีสีดำและมีฮิวมัสสูงเหมาะแก่การเพาะปลูก ที่สำคัญคือ ปราศจากสารพิษและสามารถช่วยลดปริมาณมูลฝอยลงทำให้สามารถยืดอายุการใช้หลุมฝังกลบได้นานขึ้น

2.2.1 ระดับของการหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่

1. การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ปฐมภูมิ (Primary recycling) เป็นการนำมูลฝอยที่ต้องการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงหรือเหมือนกับของเดิม ยกตัวอย่างเช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นกระดาษหนังสือพิมพ์ใหม่ เป็นต้น การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทนี้จัดได้ว่ามีคุณค่าสูงสุดกว่าการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทอื่นๆ

2. การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ทุติยภูมิ (Secondary recycling) เป็นการนำมูลฝอยที่ต้องการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้นมาผลิตเป็นชิ้นใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติด้อยกว่าของเดิมโดยมีขั้นตอนการผลิตที่ทำให้ได้สินค้าใหม่ที่แตกต่างไปจากสินค้าเริ่มต้น เช่น การทำฝาหรือเพดานจากกระดาษที่เหลือใช้จากการทำไฟเบอร์กลาสจากขวดพลาสติก การทำพรมจากขวดพลาสติก เป็นต้น การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทนี้ระดับคุณภาพของวัสดุอาจจะลดลงไปจากเดิมได้บ้าง

3. การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ตติยภูมิ (Tertiary recycling) เป็นการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารเคมีหรือพลังงานจากมูลฝอย เช่น การนำแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วมาสกัดตะกั่ว การนำมูลฝอยมาหมักเพื่อให้ได้แก๊สชีวภาพ เป็นต้น ในกระบวนการหมุนเวียนมูลฝอยประเภทนี้กลับมาใช้ใหม่ จะเกิดการสูญเสียสภาพเดิมของวัตถุดิบ และจะไม่สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้อีก

2.2.2 กระบวนการหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่มีขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นที่ 1: กระดาษจะถูกเก็บรวบรวมจากแหล่งต่างๆ เช่น บ้านเรือน โรงเรียน สำนักงานเป็นต้น

ขั้นที่ 2: กระดาษจะถูกนำมาแยกประเภทแล้วมัดรวมกัน และเก็บไว้ในพื้นที่เก็บรวบรวมเพื่อเตรียมเข้าสู่ กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

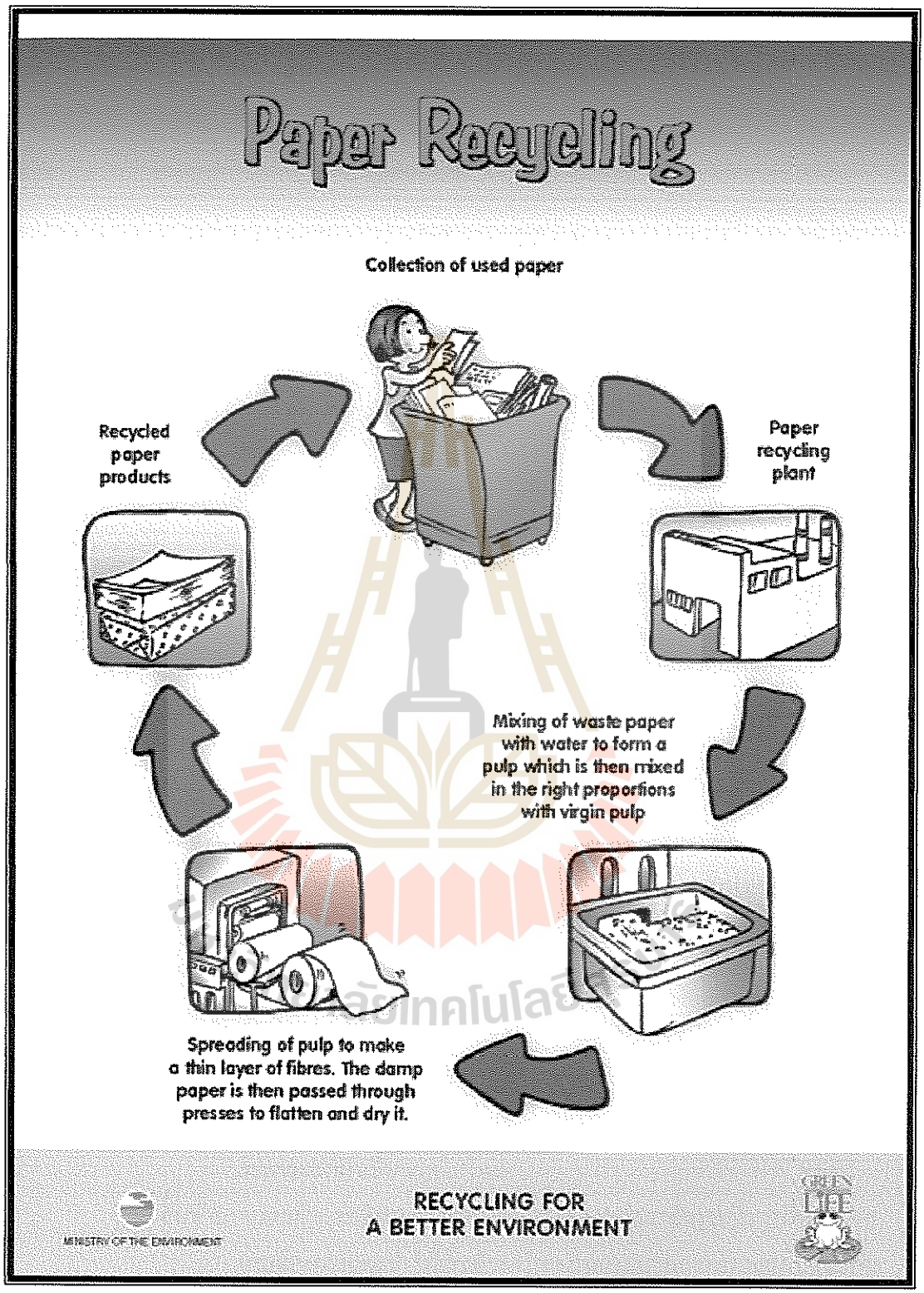
ขั้นที่ 3: เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่กระดาษจะถูกตีเยื่อเพื่อหลอมละลายเยื่อ

ขั้นที่ 4: กระดาษที่ผ่านการหลอมละลายเยื่อจะถูกส่งเข้าเครื่องบดเยื่อเพื่ออัดแผ่นเยื่อ

ขั้นที่ 5: กระดาษที่อัดเป็นแผ่นแล้วจะถูกนำมาอบให้แห้งเพื่อบีบน้ำออกจากกระดาษ

ขั้นที่6: หลังจากผ่านเครื่องอบแห้ง กระดาษจะถูกส่งเข้าเครื่องกรอแบ่งเป็นม้วนและพร้อมที่จะนำไปผลิตเป็นกระดาษใหม่อีกครั้ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการหมุนเวียนกระดาษกลับมาใช้ใหม่

2.2.3 กระบวนการหมุนเวียนขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่

ขวดแก้วที่เข้านำเข้าสู่กระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ขวดแก้วดี และขวดแก้วแตก

2.2.3.1 กระบวนการหมุนเวียนขวดแก้วดีกลับมาใช้ใหม่

ขั้นที่ 1: ขวดแก้วดีจะถูกนำมาคัดแยกตามชนิดและประเภทที่บรรจุสินค้า เช่น แบ่งเป็นขวดแม่โขง ขวดน้ำปลา ขวดเบียร์ ขวดซอส ขวดโค้กวันเวย์ ขวดสปอนเซอร์ ขวดยาเคมีบางชนิด ฯลฯ

ขั้นที่ 2: ขวดแก้วดีที่ผ่านกระบวนการคัดแยกตามประเภทและชนิดแล้ว จะถูกส่งกลับเข้าโรงงานเพื่อนำไปล้างให้สะอาดฆ่าเชื้อโรคและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหน (Reuse)

ในทุกๆ ปีจะมีขวดแก้วที่ผ่านการใช้แล้วไม่ต่ำกว่า 28 พันล้าน ใบ ซึ่งถูกทิ้งให้เป็นขยะออกสู่สิ่งแวดล้อม มีขวดแก้วบางส่วนที่ถูกนำไปฝังกลบซึ่งความจริงแล้วขวดแก้วเหล่านั้นบางชนิด ภายหลังการใช้แล้วสามารถนำกลับมาล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้บรรจุสินค้าใหม่ได้อย่างน้อยเป็นจำนวน 30 ครั้ง โดยสามารถจัดการและบริหารได้จากผู้ผลิตสินค้าประเภทเดิมรายนั้นๆ

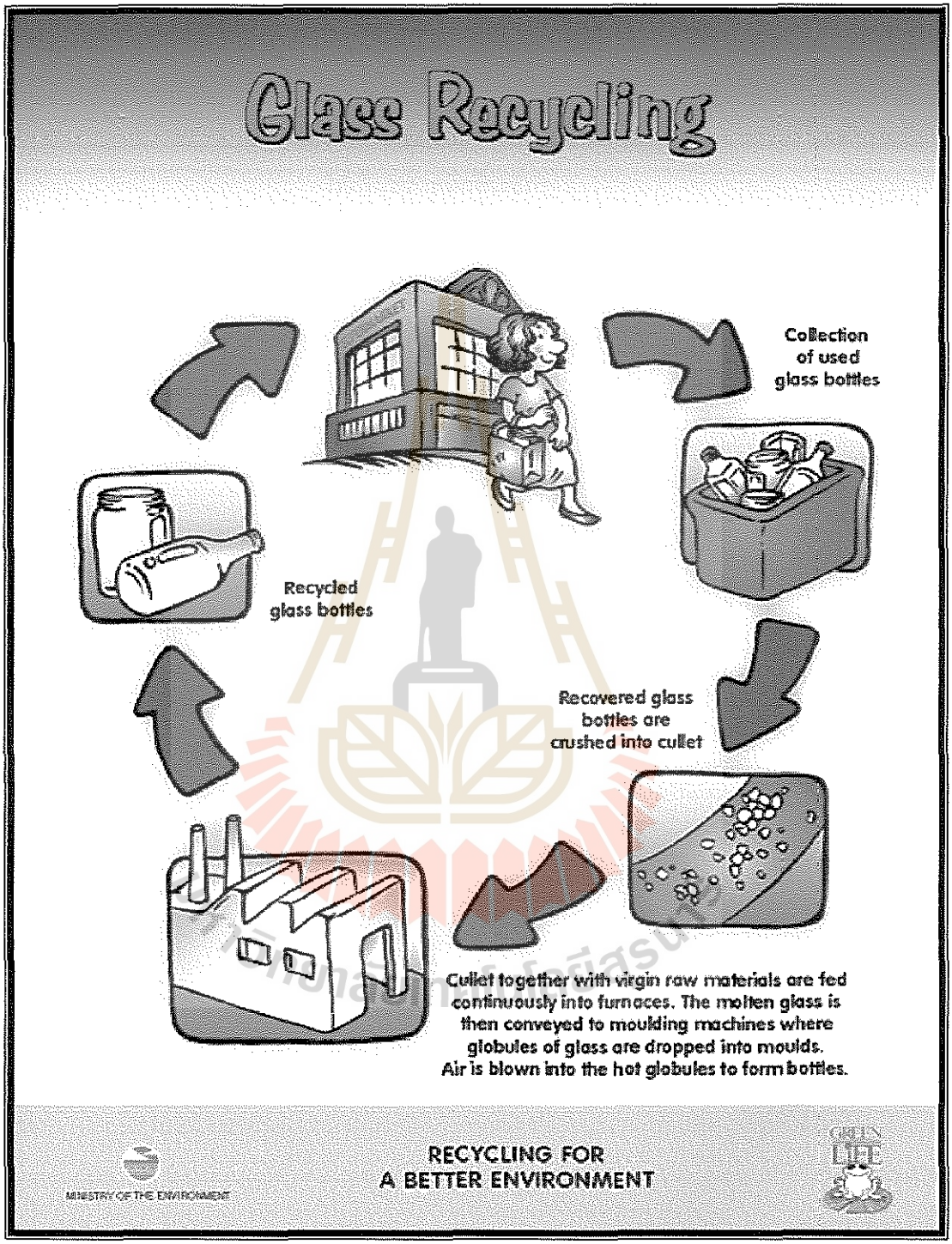
2.2.3.2 กระบวนการหมุนเวียนขวดแก้วแตกกลับมาใช้ใหม่

ขั้นที่ 1: ขวดแก้วแตกที่เก็บรวบรวมจะถูกนำมาคัดแยกสี โดยแบ่งเป็น
- ขวดแก้วขาว
- ขวดแก้วสีชา และขวดแก้วเขียว

ขั้นที่ 2: เมื่อขวดแก้วแตกถูกแยกสีแล้วจะนำมาทุบและบดให้ละเอียดแล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาเคมี

ขั้นที่ 3: ขวดแก้วแตกที่ผ่านการทำความสะอาดจะถูกส่งเข้าเตาหลอมเพื่อหลอมละลายออกมาเป็นขวดใบใหม่

ขั้นที่ 4: ขวดแก้วแตกที่ผ่านการหลอมละลายจะถูกนำมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ ตามต้องการและทำให้เย็นตัวลงโดยผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ สุดท้ายจะได้ขวดแก้วที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่พร้อมนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง



รูปที่ 1.3 แสดงกระบวนการหมุนเวียนขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่

2.2.4 กระบวนการหมุนเวียนพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการหมุนเวียนพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ มีขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นที่ 1: นำพลาสติกมาคัดแยกประเภทสี แล้วนำมาเข้าเครื่องโม่เพื่อบดย่อยให้เป็นพลาสติกชิ้นเล็กๆ

ขั้นที่ 2: นำพลาสติกที่ผ่านการบดย่อยเข้าสู่เครื่องล้าง ซึ่งจะใส่ผงเคมีและโซดาไฟ (โซเดียมซัลเฟต)

ขั้นที่ 3: นำเข้าเครื่องสลัดให้แห้งหมาดๆ

ขั้นที่ 4: ส่งเข้าเครื่องอบให้แห้งโดยใช้ความร้อน

ขั้นที่ 5: หลังจากอบแห้งแล้วจะนำเข้าเครื่องผสมสีตามต้องการ

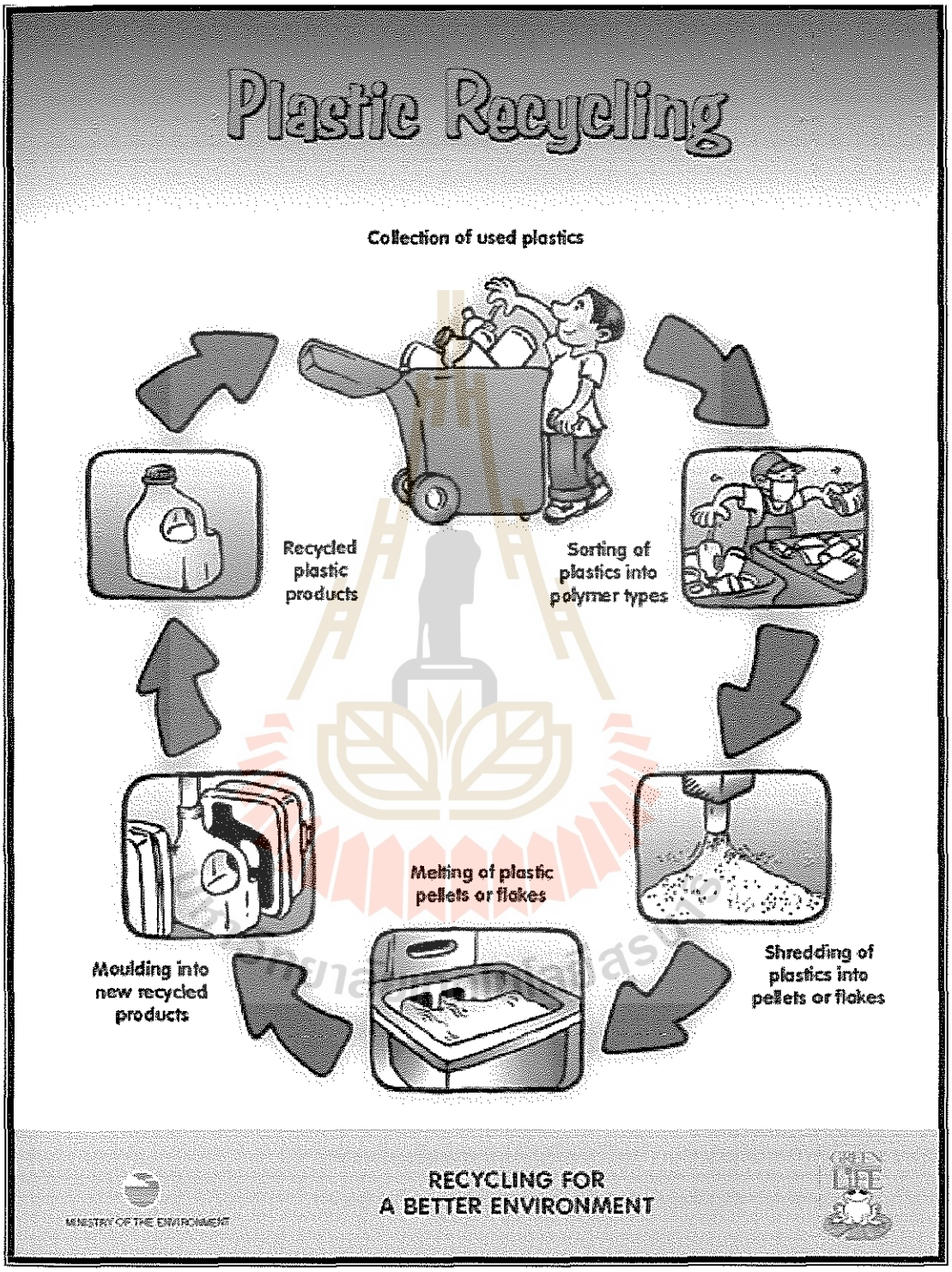
ขั้นที่ 6: จากนั้นส่งต่อไปยังเครื่องหลอมละลายเพื่ออัดออกมาเป็นเม็ดเล็กๆ ขนาด 3 มิลลิเมตร

ขั้นที่ 7: ส่งต่อไปยังเครื่องผลิตขึ้นรูปหรือเครื่องเป่า ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกมีอยู่ 2 วิธี คือ

7.1 การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดฉีดพลาสติก เช่น กะละมัง ถังน้ำ เป็นต้น

7.2 การขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่าพลาสติก เช่น ขวดน้ำ ถุงพลาสติก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 1.4 แสดงกระบวนการหมุนเวียนพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

2.2.5 กระบวนการหมุนเวียนอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่

กระบวนการหมุนเวียนอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่ มีขั้นตอนดังนี้คือ

ขั้นที่ 1: กระป๋องอะลูมิเนียมจะถูกนำไปตรวจสอบสภาพและส่งเข้าเครื่องหั่น (Shredder) เพื่อหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ

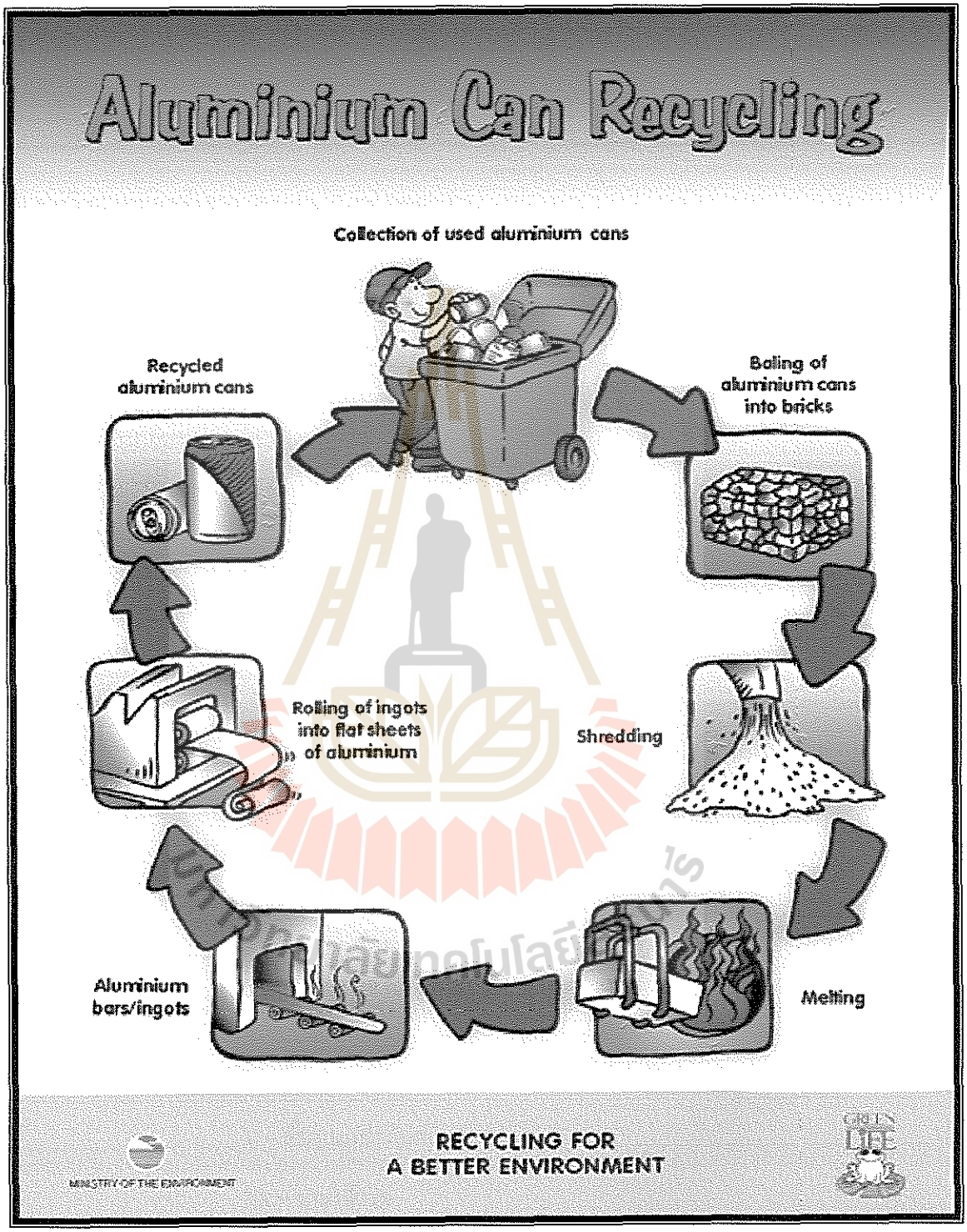
ขั้นที่2: เศษอะลูมิเนียมที่ได้จากการหั่นจะถูกส่งไปตามสายพานไปยังเตาอบ (De-lacquering oven) เพื่อลอกแล็คเกอร์และสีออก และเป็นการขจัดความชื้นออกด้วย ซึ่งเตาอบจะทำให้เศษอะลูมิเนียมร้อนจัด

ขั้นที่ 3: เศษอะลูมิเนียมจากเตาอบจะถูกส่งต่อไปยังตะแกรงร่อนเพื่อร่อนสิ่งสกปรกออกและจะถูกส่งเข้าเตาหลอม (Reverbatory furnace) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง 650 องศาเซลเซียส เศษอะลูมิเนียมก็จะละลายหลอมรวมเข้ากันเป็นอะลูมิเนียมเหลวในเตาหลอม และที่เตาหลอมนี้มีการขจัดสนิมหรือออกไซด์ของอะลูมิเนียมโดยการเติมเกลือ เพื่อให้สนิมลอยเป็นฝ้าแยกออกมา

ขั้นที่4: อะลูมิเนียมเหลวจะถูกตรวจสอบและปรับองค์ประกอบทางเคมีให้เหมาะสมแล้วจะถูกเทลงในเบ้าทำซึ่งจัดทำเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular ingot) มีขนาดตั้งแต่เล็กไปถึงใหญ่โดยมีน้ำหนักตั้งแต่ 20 ปอนด์ไปจน ถึง 40,000 ปอนด์ต่อแท่ง เมื่ออะลูมิเนียมเหลวเย็นลงแล้วแท่งอะลูมิเนียมจะแข็งด้านบนและด้านล่างของแท่งอะลูมิเนียมจะถูกใสหรือขัดจนเรียบเพื่อนำไปรีดเป็นแผ่น

ขั้นที่5: แท่งอะลูมิเนียมจะถูกป้อนเข้าไปในระหว่างลูกกลิ้งเหล็กยักษ์ 2 ลูก และถูกบีบออกมาเป็นแผ่น โดยมีการทำซ้ำจนได้ความหนาที่ 1.25 เซนติเมตร หรือ 0.5 นิ้ว ยาว 300 เมตร

ขั้นที่ 6: นำแผ่นอะลูมิเนียมไปอบอ่อน (Annealing) เพื่อให้เนื้ออ่อนลง แล้วเข้าเครื่องรีดอีกชุดหนึ่งเพื่อให้ได้ความหนาและความแข็งที่ต้องการ สุดท้ายก็จะถูกตัดขอบแล้วม้วนเพื่อการจัดส่ง และจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 1.5แสดงกระบวนการหมุนเวียนอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่

ตอนที่ 3
เศรษฐศาสตร์การหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใหม่

3.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break – Even Analysis)

เป็นการวางแผนเกี่ยวกับต้นทุน - ปริมาณ - กำไร (cost - volume - profit planning) สามารถนำไปพิจารณาได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนและปริมาณ จะมีผลกระทบต่อกำไรอย่างไร เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อหาระดับการขายที่มีรายได้คุ้มกับต้นทุนพอดี และใช้ในการพิจารณาต่อไปด้วยว่า ถ้าระดับการขายสูงหรือต่ำกว่าจุดคุ้มทุนกิจการจะมีกำไรหรือขาดทุนมากน้อยเพียงใด การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะแบ่งต้นทุนออกเป็น ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

ต้นทุนคงที่ หมายถึง ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปกับปริมาณการขาย เช่น ค่าเช่า เงินเดือน ค่าประกันภัย ค่าเสื่อมราคา

ต้นทุนแปรผัน หมายถึง ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปโดยตรงกับปริมาณการขาย ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ ค่าแรง ค่านายหน้า

3.2 การหาจุดคุ้มทุน

การหาจุดคุ้มทุนสามารถทำได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ วิธีพีชคณิต และ วิธีการโดยใช้เส้นกราฟ ดังนี้

1. **วิธีพีชคณิต** โดยกำหนดให้

P = ราคาขายต่อหน่วย

Q = ปริมาณที่ผลิตและจำหน่าย

¶ = กำไรทั้งหมดจากการดำเนินงาน

F = ต้นทุนคงที่

V = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

TR = รายได้รวม

TC = ต้นทุนรวม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การหาจำนวนหน่วยขายที่จุดคุ้มทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

กำไร = รายได้ (TR) - ต้นทุนทั้งหมด (TC)

ณ จุดคุ้มทุน = 0, รายได้ (TR) = ต้นทุนทั้งหมด (TC)

รายได้ = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผันทั้งหมด

$$P \times Q = F + (V \times Q)$$

$$(P \times Q) - (V \times Q) = F$$

$$(P-V)Q = F$$

$$Q = \frac{F}{(P - V)}$$

$$\text{จำนวนการขายที่จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{กำไรส่วนเกินต่อหน่วย}} \text{ (หน่วย)}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<u>ตัวอย่าง</u> ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอยแห่งหนึ่งต้องการหาปริมาณพลาสติกขั้นต่ำที่ต้องขาย เพื่อให้ได้กำไร สามารถนำหลักการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมาใช้ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐาน ดังนี้

ราคาขายต่อหน่วย = 3 บาท
ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย = 2 บาท
ต้นทุนคงที่ = 5,000 บาท

จุดคุ้มทุน $Q = \frac{F}{(P - V)}$

$Q = \frac{5,000}{(3-2)}$

$= 5,000$ หน่วย

เพราะฉะนั้น ถ้าจะให้ธุรกิจมีรายได้คุ้มค่าใช้จ่ายพอดี จะต้องขายพลาสติกจำนวน 5,000 หน่วย

การหายอดขายหรือรายได้ที่จุดคุ้มทุนคำนวณได้ดังนี้

ยอดขายหรือรายได้ที่จุดคุ้มทุน $= \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{อัตราส่วนกำไรส่วนเกินต่อหน่วย}}$ (บาท)

อัตราส่วนกำไรส่วนเกินต่อหน่วย คำนวณได้ดังนี้

ราคาขาย P บาท มีกำไรส่วนเกิน $P - V$
ราคาขาย 1 บาท มีกำไรส่วนเกิน $\frac{(P - V)}{P}$

อัตราส่วนกำไรส่วนเกินต่อหน่วย เท่ากับ $\frac{(P - V)}{P}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ยอดขายหรือรายได้ ณ จุดคุ้มทุน (TR) $= \dfrac{F}{\dfrac{(P - V)}{P}}$ (บาท)

จากตัวอย่าง เมื่อศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอยดังกล่าว ต้องการหายอดขายหรือรายได้ที่จุดคุ้มทุนว่าจะต้องเป็นเท่าไรสามารถหาได้ดังนี้

$$TR = \frac{F}{\dfrac{(P - V)}{P}}$$

$$= \frac{5{,}000}{\dfrac{(3 - 2)}{3}}$$

$$= 15{,}000 \text{ บาท}$$

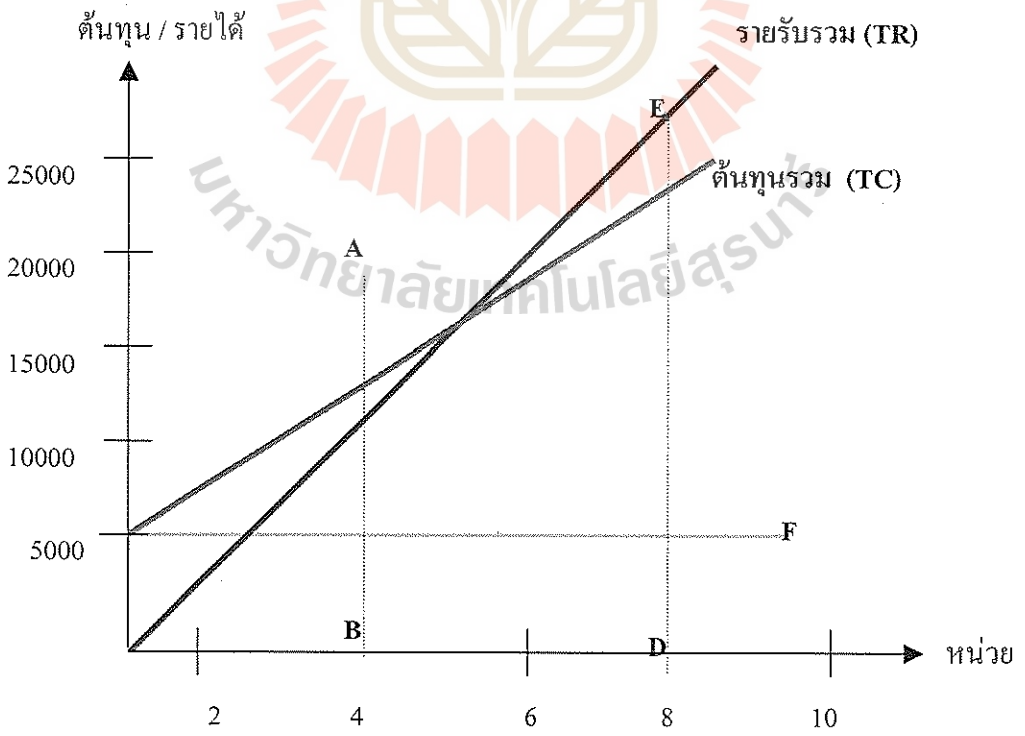
สามารถตรวจสอบว่ายอดขายดังกล่าวถูกต้องหรือไม่จากงบกำไรขาดทุนดังนี้

ยอดขาย (Sale) 5,000 × 3	= 15,000 บาท
ต้นแปรผัน(Variable Cost) × 2	= 10,000 บาท
กำไรส่วนเกิน (Contribution Margin)	= 5,000 บาท
ต้นทุนคงที่ (Fix Cost)	= 5,000 บาท
กำไรจากการดำเนินงาน	= 0 บาท

2.วิธีกราฟ

การหาจุดคุ้มทุนโดยวิธีกราฟสามารถทำได้ดังนี้

หน่วยที่ผลิต	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนผันแปร หน่วยละ 2.-	ต้นทุนรวม	รายได้รวม หน่วยละ 3.-	กำไรหรือ (ขาดทุน) จากการดำเนินงาน
3,000	5,000	6,000	11,000	9,000	(2,000)
4,000	5,000	8,000	13,000	12,000	(1,000)
5,000	**5,000**	**10,000**	**15,000**	**15,000**	**0**
6,000	5,000	12,000	17,000	18,000	1,000
7,000	5,000	14,000	19,000	21,000	2,000



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากกราฟ จะเห็นว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 5,000หน่วย นั่นคือ จะไม่มีกำไรและขาดทุน แต่ถ้าผู้ประกอบการผลิตน้อยกว่านี้ ก็จะขาดทุน เช่น ผลิตที่ 4,000 หน่วยตามเส้น AB จากกราฟจะพบว่า เส้นต้นทุนรวม (TC) มากกว่าเส้นรายรับรวม (TR) ธุรกิจขาดทุนเป็นจำนวน 1,000 บาท และถ้าผู้ประกอบการผลิต 8,000 หน่วยตามเส้น DE จากกราฟจะพบว่า เส้นรายรับรวม (TR) มากกว่าเส้นต้นทุนรวม (TC) ธุรกิจจะมีกำไร 1,000 บาท เป็นต้น

3.3 ผลทางเศรษฐศาสตร์ของการหมุนเวียนมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบัน

การลดมลพิษจากการพัฒนาของเสียหรือวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ ก่อให้เกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ก่อให้เกิดอาชีพ

การพัฒนาของเสียหรือวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ ก่อให้เกิดอาชีพหลายลักษณะ ได้แก่

- อาชีพการขุดคุ้ยและแยกขยะ เป็นอาชีพที่ทำหน้าที่ในการขุดคุ้ยและแยกขยะจากกองขยะทั้งในจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดอื่นๆ โดยกลุ่มบุคคลเหล่านี้จะทำงานกองขยะเพื่อจะแยกขยะพลาสติก เหล็ก โลหะอื่นๆ กระดาษ ไม้ แก้ว โฟม พลาสติก และเศษวัสดุอื่นๆ แล้วรวบรวมไปจำหน่ายอีกทอดหนึ่ง

- อาชีพการขับขี่สามล้อเพื่อรวบรวมขยะจากครัวเรือน (รถเร่รับซื้อของเก่า) เป็นอาชีพที่ทำหน้าที่ในการใช้รถสามล้อเป็นพาหนะขับขี่ไปตามครัวเรือนต่างๆ เพื่อรับซื้อของเสียหรือวัสดุเหลือใช้แล้วนำไปจำหน่ายให้แก่ยี่ปั๊วและซาปั๊วอีกทอดหนึ่ง

- อาชีพพ่อค้าคนกลาง ซึ่งเป็นทั้งพ่อค้าคนกลางที่เป็นยี่ปั๊ว ซาปั๊ว และเอเย่นต์โดยพ่อค้าเหล่านี้จะรวบรวมของเสียหรือวัสดุเหลือใช้เพื่อส่งไปยังโรงงานอีกทอดหนึ่ง

- อาชีพผู้ผลิตและแปรรูปสินค้าจากเศษวัสดุหรือของเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ โรงงานแปรรูป โรงงานผู้ผลิต

- อาชีพผู้จำหน่าย ได้แก่ อาชีพผู้จำหน่ายสินค้าการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในร้านค้าและสรรพสินค้าต่างๆ

2. ก่อให้เกิดการจ้างงาน

จากการศึกษาผู้ขออนุญาตตั้งร้านรับซื้อของเก่ากระทรวงมหาดไทยปี 2539 พบว่ามีจำนวนผู้ขออนุญาตประกอบการรับซื้อของเก่าจำนวนทั้งสิ้น 2,231 ราย ในแต่ละรายประกอบด้วย เจ้าของกิจการ 1 คน คนขับรถยนต์ 2 คน คนงาน 4 คน รวมทั้งสิ้น 7 คน และในแต่ละรายจะมีรถเร่รับซื้อของเก่าที่อยู่ใน

การควบคุมและรับซื้อจำนวน 20 ราย ดังนั้นการจ้างงานจะมีประมาณ 60,237 คน นอกจากนั้นยังประมาณว่ามีผู้ดำเนินการรับซื้อของเก่าที่ไม่ได้อยู่ในระบบร้านค้าของเก่าที่ไม่ได้จดทะเบียนอีกประมาณร้อยละ 30 ของการจ้างงานในร้านค้าที่จดทะเบียนหรือประมาณ 18,071 คน นอกจากนั้นยังมีคนคุ้ยขยะอีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นจึงคาดว่าโครงการลดมลพิษจากการพัฒนาของเสียหรือวัสดุเหลือใช้นำกลับมาใช้ใหม่จะมีการจ้างงานไม่ต่ำกว่า 100,000 คน

3. ก่อให้เกิดรายได้และมูลค่าเพิ่ม

การนำเอาวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ซ้ำและการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ นอกจากจะก่อให้เกิดการสร้างงานแล้วยังก่อให้เกิดรายได้และมูลค่าเพิ่มในสินค้าและบริการอีกจำนวนมาก สำหรับวัสดุบางชนิด ได้แก่ โลหะประเภทต่างๆ ไม้ โฟม เศษวัสดุก่อสร้าง เชื้อเพลิง ซึ่งมีการนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่กันบ้างแต่ไม่สามารถคำนวณออกมาเป็นตัวเงินได้ชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการนำวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์กลับมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะก่อให้เกิดรายได้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามการขยายตัวของประชากรและรายได้ประชาชาติ นอกจากนั้นถ้ามีการออกระเบียบกฎหมาย และสร้างกลไกการเรียกคืนอย่างเป็นระบบปริมาณวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เกิดรายได้และมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว

4. ลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ

การนำวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ซ้ำและการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ไม่ว่าเป็นวัสดุประเภทกระดาษ แก้ว เหล็ก อะลูมิเนียม พลาสติก ไม้ เชื้อเพลิง และโลหะอื่นๆ จะช่วยลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติลงมา ได้แก่

- ลดการตัดต้นไม้เพื่อนำมาทำกระดาษ ได้แก่ ไม้สน ยูคาลิปตัส ไผ่ และไม้เนื้ออ่อนชนิดอื่นๆ ทั้งเป็นการลดการตัดต้นไม้ในประเทศไทยแล้วยังช่วยลดการตัดต้นไม้ในต่างประเทศอีกด้วย

- ลดการตัดต้นไม้เพื่อนำมาทำเชื้อเพลิง เนื่องจากมีการนำเอาวัสดุเกษตรมาปรับปรุงและดัดแปลงให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเขียว ถ้ายิ่งมีการพัฒนาให้แพร่หลายจะช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ขนาดเล็กลงไปได้มาก

- ลดการขุดทรายธรรมชาติขึ้นมาใช้ เนื่องจากทรายที่นำมาทำแก้วเป็นทรายที่มีขนาดของเม็ดเล็ก มีสีขาว ซึ่งเมื่ออยู่ในธรรมชาติจะมีความสวยงาม การดูดทรายขึ้นมาใช้ในการผลิตแก้วมากขึ้นนอกจากจะทำให้ความงดงามตามธรรมชาติลดลงแล้วยังทำให้ทรัพยากรสำคัญของประเทศถูกใช้หมดไปใน

เวลาอันรวดเร็วอีกด้วย กรณีที่ขวดน้ำอัดลมในประเทศถูกนำมาใช้ซ้ำถึง 40 ครั้งต่อหนึ่งขวด เป็นตัวอย่างที่ดีในการลดปัญหาการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ

- ลดการขุดแร่ต่างๆ ได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม ทองแดง โลหะอื่นๆ ตลอดจนกระทั่งปริมาณน้ำมันตามธรรมชาติ เพราะถ้านำเศษวัสดุมาหลอมใช้ใหม่ก็จะช่วยลดปริมาณแร่ธาตุใหม่ที่ขุดขึ้นมาใช้เพิ่มในแต่ละปีอีกด้วย

5. ลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสินค้าการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

สินค้าการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ส่วนใหญ่ต้นทุนจะต่ำกว่าสินค้าที่ผลิตจากวัสดุใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากการซื้อวัสดุเก่าในราคาที่ต่ำเนื่องจากเป็นเศษวัสดุที่ใช้แล้วและผู้ผลิตมักจะเป็นผู้กำหนดราคาเองได้ นอกจากนั้นในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการหลอม ได้แก่ การหลอมแก้ว เหล็ก อะลูมิเนียม ทองแดง โลหะอื่นๆ และพลาสติก วัสดุเหลือใช้เหล่านี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัสดุใหม่ จากการสอบถามผู้ผลิตพบว่า การใช้วัสดุเก่าจะช่วยลดค่าเชื้อเพลิงในการหลอมได้ประมาณร้อยละ 15 ของมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้หลอมวัสดุใหม่

นอกจากนั้นในการผลิตโดยใช้เศษวัสดุผู้ผลิตสินค้าการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ยังสามารถควบคุมต้นทุนการผลิตได้ดีกว่าการผลิตโดยใช้วัสดุใหม่ เพราะวัสดุใหม่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ แต่การใช้เศษวัสดุที่เก็บรวบรวมในประเทศหรือเศษวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งสามารถควบคุมราคาได้ทำให้ผู้ผลิตสามารถกำหนดกำไร และรายรับของโรงงานได้ค่อนข้างแน่นอน รวมทั้งมีความสามารถในการวางแผนการจำหน่ายโดยกำหนดราคาขายไว้ล่วงหน้าได้อีกด้วย

6. ลดปริมาณขยะ และปัญหาการหาที่ดินฝังกลบขยะ

การนำวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ซ้ำ และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะทำให้ปริมาณขยะส่วนที่เหลือ ซึ่งส่วนใหญ่ขยะเปียกจะมีปริมาณน้อยลง ทำให้ปริมาณขยะที่เหลือนำไปฝังกลบมีปริมาณน้อยลงซึ่งจะช่วยลดปัญหาการหาที่ดินฝังกลบขยะ ซึ่งนับวันจะหาสถานที่ได้ยากมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นขยะเปียกที่มีการปนเปื้อนจากเศษวัสดุอื่นๆ น้อยก็สามารถที่จะนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักได้ และต้นทุนการผลิตจะลดลงจากการประมาณการลดค่าใช้จ่ายจากที่ดินฝังกลบในจังหวัดต่างๆ จำนวน 76 จังหวัด ซึ่งจังหวัดหนึ่งต้องใช้ที่ดินเฉลี่ยจังหวัดละประมาณ 200 ไร่ในการฝังกลบขยะเป็นระยะเวลา 10 ปี ถ้าราคาที่ดินโดยเฉลี่ยไร่ละ 3 หมื่นบาท คิดเป็นราคาที่ดินเฉลี่ยเท่ากับจังหวัดละ 6 ล้านบาท ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงที่ดิน การขุด การป้องกันการไหลซึมของน้ำเฉลี่ยแห่งละ 4 ล้านบาท และให้กรุงเทพฯ ต้องทำที่ฝังกลบถึง 5 แห่งรวมทั้งสิ้น 80 แห่ง แต่ละแห่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อและ

พัฒนาที่ดินแห่งละ 10 ล้านบาท ต้องมีเจ้าหน้าที่ในการควบคุมดูแลและจัดการแห่งละ 10 คน ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 2 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นรัฐบาลจะต้องสูญเสียเงินถึง 960 ล้านบาท และยังถูกต่อต้านจากราษฎรในการนำขยะไปฝังกลบอีกด้วย

7. ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ปัญหาขยะเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับชุมชนเมือง เนื่องจากเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหลายด้านติดตามมา ได้แก่ ปัญหาการส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ปัญหาการทำให้เกิดน้ำเสีย ปัญหาด้านความสกปรกและความไม่น่าดู เป็นต้น เมื่อมีแผนกการนำวัสดุเหลือใช้และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ มาใช้ให้มากขึ้นก็จะช่วยทำให้ปริมาณขยะลดน้อยลง ขณะเดียวกันก็เป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมลงไปด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 4 กรณีศึกษา
โครงการจัดการ และกำจัดมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1. หลักการจัดการ และกำจัดมูลฝอย

มีการดำเนินงานจัดการมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตามขั้นตอนหลักดังนี้

1. จัดให้มีถังขยะแยกประเภท 5 ประเภท คือ ทั่วไป ย่อยสลายได้ (อินทรีย์) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทกระดาษ การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทแก้ว/พลาสติก/โลหะ และขยะอันตราย

2. เก็บรวบรวมมูลฝอยจากถังขยะ ที่แยกประเภทแล้วตามสถานที่ต่าง ๆ นำใส่ยานพาหนะขนไปพัก รวมที่ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพภายในมหาวิทยาลัย

3. คัดแยกมูลฝอยส่วนที่ยังปนกันออกจากกัน แยกเก็บเป็นขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่แต่ละประเภท พร้อมจำหน่ายเมื่อสะสมไว้ในจำนวนที่มากพอ

4. ดำเนินการกำจัดหรือแปรสภาพโดยการนำมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ไปทำปุ๋ยหมัก นำมูลฝอยทั่วไปเผาด้วยเตาเผา และฝังกลบขี้เถ้า

4.2. สถานที่ และแหล่งกำเนิดมูลฝอย

มีการตั้งถังขยะตามสถานที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 107 จุด โดยใช้ถังขยะเดิมจำนวน 321 ใบ จัดแบ่งเป็นถังขยะทั่วไป 155 ใบ ถังขยะเศษอาหาร 100 ใบ และถังขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทแก้ว/พลาสติก จำนวน 66 ใบ ถังขยะที่ต้องจัดหาเพิ่มเติมมีจำนวน 147 ใบ ใช้เป็นถังขยะเศษอาหาร 5 ใบ ถังขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทแก้ว/พลาสติก จำนวน 88 ใบ และขยะอันตราย 26 ใบ รวมเป็นถังขยะทั้งหมด 468 ใบ

4.3. การเก็บรวบรวมมูลฝอยจากถังแยกประเภท

เส้นทางเดินรถเก็บขยะ สามารถแบ่งเป็น 2 เส้นทางหลัก คือ

- เส้นทางที่ 1 : พื้นที่พักอาศัย
  - 1A : รถหยุดเก็บมูลฝอยทุกจุด
  - 1B : รถหยุดเก็บมูลฝอยทุกจุด ยกเว้นบริเวณหอพักสุรนิเวศทั้งหมด
- เส้นทางที่ 2 : พื้นที่สำนักงาน
  - 2A : รถหยุดเก็บมูลฝอยทุกจุด

2B : รถหยุดเก็บมูลฝอยที่โรงอาหารเท่านั้น

ตารางที่ 1.3 แสดงความถี่ในการเก็บรวบรวมมูลฝอย สรุปได้ดังนี้

ประเภทมูลฝอย	ช่วงเปิดภาคเรียน	ช่วงปิดภาคเรียน
1. ย่อยสลายได้ (อินทรีย์)	- พื้นที่พักอาศัยเก็บมูลฝอยทุกวัน - พื้นที่สำนักงานเก็บวันเว้นวัน	- พื้นที่พักอาศัยเก็บมูลฝอยทุกวันยกเว้นหอพักนักศึกษาเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ พื้นที่สำนักงานเก็บวันเว้นวัน
2. ทั่วไป (อนินทรีย์)	- พื้นที่พักอาศัยเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ พื้นที่สำนักงานเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์	เหมือนช่วงเปิดภาคเรียน
3. การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ - แก้ว/พลาสติก/โลหะ - กระดาษ	- พื้นที่พักอาศัยเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ - พื้นที่สำนักงานเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์	- พื้นที่พักอาศัยเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ยกเว้นหอพักนักศึกษาไม่เก็บ - พื้นที่สำนักงานเก็บ 1 ครั้งต่อสัปดาห์
4. ขยะอันตราย	เก็บเดือนละ 1 ครั้ง ทั้งเส้นทางที่ 1และ2	

การเก็บมูลฝอยแต่ละประเภท จะเก็บไม่พร้อมกัน เพื่อมิให้มีการปะปนกันขณะขนส่งไปศูนย์คัดแยกและแปรสภาพ

มีการจัดหายานพาหนะเป็นรถบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 2 คัน

- คันที่ 1 เป็นรถเก็บขนมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ (อินทรีย์)
- คันที่ 2 เป็นรถเก็บขนมูลฝอยประเภททั่วไปและการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

ในแต่ละวันของสัปดาห์รถทั้ง 2 คันจะต้องเก็บรวบรวมมูลฝอย ตามตารางเวลาและเส้นทาง ซึ่งจะมีการใช้เส้นทางที่ต่างกันระหว่างการทำงานในช่วงเปิดและปิดภาคเรียน

มูลฝอยทั้งหมดที่เก็บขนขึ้นรถบรรทุกขยะจะต้องถูกขนมาดำเนินการขั้นต่อไปที่ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอย

4.4. การดำเนินการที่ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพ

การดำเนินการเก็บรวบรวมมูลฝอยแต่ละวัน จะใช้เวลามากสุดประมาณ 3 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาที่เหลือ พนักงานทั้งหมดจะต้องกลับมาทำงานที่ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอยซึ่งมีกิจกรรมที่ต้องดำเนินการดังนี้

4.4.1 การแยกประเภทขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จากถังขยะแก้ว/พลาสติก/โลหะ และถังขยะกระดาษ ต้องนำมาแยกประเภท เป็นขวดแก้ว เศษแก้ว พลาสติกประเภทต่าง ๆ เหล็ก อะลูมิเนียม กระดาษประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ตามรายการรับซื้อขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ของร้านซื้อขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เก็บรวบรวมไว้ที่ศูนย์ฯ เมื่อมีปริมาณมากพอ จะมีการติดต่อผู้ประกอบการภายนอกมารับซื้อขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เหล่านี้และจะมีการแบ่งรายได้ให้กับผู้รับจ้างคิดเป็นร้อยละ 50 ของรายได้ของการขายขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่หลังหักค่าใช้จ่ายแล้ว

4.4.2 การทำปุ๋ยหมักมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ (อินทรีย์)

มูลฝอยจากถังขยะเศษอาหารนี้ เมื่อนำมาเทกองที่ลานแยกขยะภายในที่ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอยจะต้องถูกตรวจสอบ คัดแยกให้มีเฉพาะเศษอาหารเท่านั้น หากมูลฝอยเหล่านี้มีขนาดใหญ่อาจต้องตัด สับลดขนาดลงเพื่อให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น

ขั้นตอนการหมักขยะที่ย่อยสลายได้ให้เป็นปุ๋ยหมัก

1. การสุมกองหมักปุ๋ย

กองหมักปุ๋ยใช้แบบกองบนลาน (Windrow system) นำขยะเศษอาหารกับเศษใบไม้กิ่ง กองซ้อนสลับกันเป็นชั้น ๆ บนพื้นดินให้มีขนาดรวมกว้าง X สูง X ยาว ประมาณ 2 X 1 X 10 เมตร

2. การตรวจสอบอุณหภูมิ

เพื่อให้ทราบถึงเวลาที่จะต้องทำการพลิกกองปุ๋ยหมัก ทำได้โดยการใช้เสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในบริเวณกลางกองปุ๋ยหมักหลาย ๆ จุด ให้ทั่วกองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย อุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส แสดงว่าต้องทำการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทันที

3. การพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก

ต้องพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก 10 วัน เพื่อให้อากาศจากภายนอกถ่ายเทเข้ามาภายในกองปุ๋ยหมักได้ ทำให้เกิดสภาพการหมักแบบออกซิเจน จะต้องตรวจสอบความชื้นไปพร้อมกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หากกองปุ๋ยหมักแห้งเกินไปต้องพรมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น การพลิกกลับทำให้ขยะที่อยู่ด้านนอกถูกนำเข้าไปอยู่ในกองเพื่อเร่งการย่อยสลาย อาจเติมจุลชีพผสมลงในกองปุ๋ยหมักเพื่อเร่งการย่อยสลาย

4. การตรวจสอบขั้นสุดท้าย

การแปรสภาพเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ดูได้จากการมีสีของปุ๋ยหมักที่เปลี่ยนเป็นสีดำ หรือสีคล้ำกว่าเดิม มีเนื้อละเอียด ร่วนซุย มีกลิ่นคล้ายดิน ในขั้นตอนสุดท้ายควรมีอุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาผ่านมาแล้ว 4 สัปดาห์ ให้กองทิ้งไว้อีก 2 สัปดาห์แล้ว จึงนำปุ๋ยมาผ่านตะแกรงร่อนเพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีขนาดและคุณภาพดี นำไปเก็บรวบรวมเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

4.4.3 การเผามูลฝอยที่ย่อยสลายไม่ได้ (อนินทรีย์)

มูลฝอยจากถังขยะทั่วไป เมื่อนำมาเทกองที่ลานแยกขยะภายในศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอย จะต้องถูกตรวจสอบ คัดแยก ให้มีเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้เท่านั้น แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่แห้ง และส่วนที่เปียก ขั้นตอนการเผามีดังนี้

1. จุดไฟเผาขยะ เริ่มโดยการใส่ขยะส่วนที่แห้งเข้าในเตาในปริมาณที่พอเหมาะไม่แน่นเกินไป แล้วจุดไฟด้านล่างของเตา

2. เมื่อเกิดการลุกไหม้ประมาณ 10 นาที จึงเปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อสเปรย์ละอองน้ำให้จับเขม่าฝุ่นละออง และไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ก่อนปล่อยออกสู่อากาศภายนอก

3. ป้อนขยะส่วนที่แห้งเข้าเตาต่อไปอีก 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นจนคงที่แล้วจึงป้อนขยะส่วนที่เปียกผสมอยู่ด้วย เช่น อัตราส่วนที่แห้ง : ส่วนที่เปียก เป็น 2 : 1

4. นำขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ไปกำจัดโดยการฝังกลบ บริเวณพื้นที่ฝังกลบในศูนย์กำจัดมูลฝอย

4.4.4 ขยะอันตราย

ขยะอันตราย เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ กระป๋องสเปรย์ หลอดไฟฟ้า จะถูกรวบรวมไว้ที่ศูนย์ ฯ เพื่อส่งต่อไปยังเทศบาล หรือ หน่วยงานที่รับผิดชอบกำจัดขยะอันตรายเหล่านั้น

4.5. บุคลากรที่ดำเนินการ

4.5.1. พนักงานขับรถ จำนวน 1 คน หน้าที่ปฏิบัติ

1. ขับรถบรรทุกมูลฝอยเพื่อเก็บรวบรวมขยะตามเส้นทาง ตารางวัน-เวลา ที่กำหนด
2. ปฏิบัติงานที่ศูนย์รวบรวมและกำจัดมูลฝอย เช่น การบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำหนักมูลฝอยประเภทต่าง ๆ จัดแยกประเภทและเก็บรวบรวม

4.5.2. คนงาน จำนวน 4 คน หน้าที่ปฏิบัติ

1. ถ่ายมูลฝอยจากถังขยะมาใส่รถบรรทุกขยะ
2. เก็บถุงดำพร้อมมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ และใส่ถุงดำใหม่ลงในถังขยะย่อยสลายได้ และดูแลขยะไม่ให้ตกหล่นระหว่างการขนส่ง
3. ดูแลรักษาความสะอาดถังขยะ และบริเวณโดยรอบถังขยะรัศมี 10 เมตร
4. คัดแยกประเภทมูลฝอย และดำเนินการเผาขยะทั่วไป (อนินทรีย์) ด้วยเตาเผาขยะ และฝังกลบขี้เถ้า พร้อมทั้งดำเนินการหมักปุ๋ยมูลฝอยประเภทที่ย่อยสลายได้ (อินทรีย์)
5. ดูแลความสะอาดของศูนย์คัดแยกและแปรสภาพ และทำความสะอาดถุงดำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

4.5.3. หัวหน้างาน จำนวน 1 คน หน้าที่ปฏิบัติ

1. กำกับดูแลให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามหน้าที่ และกำกับดูแลการทำปุ๋ยหมัก การเผาขยะ การกองขยะ และการแยกประเภทขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นไปตามขั้นตอนเพื่อป้องกันปัญหามลภาวะทางสายตา ทางอากาศ และน้ำใต้ดิน

4.6. ยานพาหนะ เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

4.6.1 รถเก็บขยะ เป็นรถเก็บขยะที่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี มีหลังคาปิดมิดชิดที่ไม่สร้างมลภาวะ ติดสัญญาณไฟฉุกเฉินบนหลังคารถ สามารถบรรทุกขยะได้ประมาณ 1 ตัน พร้อมอุปกรณ์ขนถ่ายขยะประจำรถได้แก่ รถเข็น 2 ล้อ และเข่งใส่ขยะ

4.6.2. ถังขยะสำหรับมูลฝอย 5 ประเภท ซึ่งใช้ถังขยะที่มีอยู่เดิม 321 ใบ และจัดหาเพิ่มเติมอีกจำนวน 147 ใบ ลักษณะของถังขยะทั้ง 5 ประเภท มีดังนี้

1. ถังขยะทั่วไป (อนินทรีย์) เป็นถังที่ทาฝาสีฟ้า โดยใช้ถังขยะเดิมทั้งหมด 155 ใบ
2. ถังขยะย่อยสลายได้ (อินทรีย์) เป็นถังที่มีสีเขียวหรือทาสีเขียว ใช้ถังขยะเดิม 100 ใบ และถังขยะใหม่ 5 ใบ
3. ถังการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทแก้ว/พลาสติก/โลหะ เป็นถังที่มีฝาสีเหลืองหรือทาสีเหลือง ใช้ถังขยะใบเดิม 60 ใบ และถังขยะใหม่ 28 ใบ
4. ถังการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ประเภทกระดาษ เป็นถังที่มีฝาสีเหลืองเข้ม มีฝาปิดที่มิดชิด ใช้ถังใบใหม่ทั้งหมด 88 ใบ

5. ถังขยะอันตราย เป็นถังที่มีฝาสีแดงหรือทาสีแดง ใช้ถังใบเดิมทั้งหมด 26 ใบ ที่ตัวถังและฝาถังทุกใบต้องติดสติกเกอร์สัญลักษณ์ของประเภทถังขยะ

4.6.3. ถุงดำขนาด 40 นิ้ว X 48 นิ้ว สำหรับถังขยะย่อยสลายได้ (อินทรีย์) ทั้งหมด 105 ถัง โดยต้องใช้อย่างน้อย 2 ครั้ง

4.6.4. ศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานภายในศูนย์คัดแยกและแปรสภาพมูลฝอย แบ่งได้ดังนี้

1. เตาเผาขยะ ได้แก่ ตาชั่ง เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า รถเข็น และพลั่วปากกว้าง
2. การทำปุ๋ยหมักจากขยะ ได้แก่ รถเข็น พลั่วปากกว้าง จอบ ผ้าพลาสติกสีดำ ตะแกรงร่อนเหล็กปลายแหลม และสายยาง
3. การเก็บรวบรวมขยะการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เช่น เข่ง กล่องกระดาษ ถุงปุ๋ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกียรติพงษ์ ศรีสว่าง, (2545) ได้ทำการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีแง่ประสิทธิภาพทางวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลองค์ประกอบและปริมาณของขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อเลือกชนิดของมูลฝอย และกลุ่มตัวอย่างที่จะศึกษา จากนั้นจึงดำเนินโครงการคัดแยกขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยซึ่งมีรูปแบบการวางถังขยะมูลฝอยแบ่งเป็น 2 แนวทางคือ 1) วางไว้เฉพาะชั้นล่างตัวอาคาร 2) วางไว้ชั้นล่างตัวอาคารและวางไว้ภายในตัวอาคารชั้นละจุด ใช้เวลา 1 เดือน ผลการวิจัยพบว่า การจัดการขยะมูลฝอยไม่มีการคัดแยกองค์องค์ประกอบ ทิ้งรวมลงในถังที่ตั้งไว้เป็นจุดๆ สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการคัดแยกขยะมูลฝอย พบว่าในกลุ่มหอพักบุคลากรมีอัตราการนำกลับสูงกว่ากลุ่มอื่นและยังมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดในกรณีของกระดาษและพลาสติก/โฟม สำหรับค่าความบริสุทธิ์ พบว่ากระดาษในกลุ่มหอพักบุคลากรมากที่สุด และพลาสติกในกลุ่มหอพักนักศึกษาชายมากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงินของขยะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ประมาณรายได้จากการขายขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ในช่วงที่ดำเนินโครงการ คือ 858 บาท

สมชาย สหนิบุตร, (2537) ทดลองใช้ระบบถังรองรับขยะมูลฝอย 2ใบ แยกเป็น 2 ประเภท คือ ขยะมูลฝอยที่สามารถใช้ประโยชน์และขยะมูลฝอยที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยศึกษาขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ได้รับสื่อภาพโฆษณาเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่ 2 ได้รับสื่อภาพโฆษณาและเอกสาร กลุ่มที่ 3 ได้รับสื่อภาพโฆษณา เอกสารและถังขยะ จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 สามารถคัดแยกขยะมูลฝอยได้ดี โดยขยะมูลฝอยที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลงเมื่อพิจารณาจากร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบขยะมูลฝอยทั้งหมด

วรรณี เจียมทวีบูลย์, (2539) ศึกษาแนวทางการปฏิบัติที่เป็นไปได้ โดยให้อาสาสมัครสาธารณสุขเขตเทศบาลเมืองนนทบุรีทั้งหมดจำนวน 45 คน ได้ทดลองปฏิบัติแยกมูลฝอยเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า อาสาสมัครสาธารณสุขส่วนใหญ่มีความคิดเห็นสนับสนุนการแยกมูลฝอยของครัวเรือนที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างความคิดเห็นก่อนและหลังการทดลองปฏิบัติ และผลการทดทองปฏิบัติการแยกขยะมูลฝอยพบว่า ไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ศึกษาแต่อย่างใด จากผลวิจัยดังกล่าว หน่วยงานของภาครัฐและเอกชน ควรดำเนินการให้ความรู้ทางด้านสิ่งแวดล้อมแก่ประชาชนให้มากขึ้นและอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนให้

มีการรับซื้อมูลฝอยประเภท กระดาษ แก้ว พลาสติก และโลหะ กลับคืนมาใช้ประโยชน์ใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้มีการแยกมูลฝอยนำไปจำหน่ายเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่มากกว่านำไปกำจัด

ส่วนแผนพัฒนาท้องถิ่น กรมการปกครอง, (2539) ได้ศึกษาระบบการคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ ของเทศบาลเมืองนครราชสีมา จากการศึกษาได้เสนอการคัดแยกขยะมูลฝอยออกเป็น 3 ประเภท คือ มูลฝอยแห้ง, มูลฝอยเปียกและมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ผลของโครงการประสบความสำเร็จมากจากแผนที่เตรียมไว้ แต่ต้องให้ความสำคัญในการรณรงค์ประชาสัมพันธ์แก่ประชาชน ร้านค้า โรงแรมและสถานประกอบการอื่นๆ ให้เข้าไปมีส่วนร่วมให้มากขึ้น สร้างแรงจูงใจและใช้มาตรการทางกฎหมายควบคู่ไปกับการพัฒนาส่งเสริมองค์กรและกลไกทางสังคมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการคัดแยกมูลฝอย

นิลุบล อุ่มน้อย, (2540) ศึกษาความเป็นไปได้ในการเก็บรวบรวบกระดาษที่ใช้แล้วไปผลิตเป็นกระดาษใหม่ โดยสำรวจปริมาณและชนิดของกระดาษที่ใช้แล้ว วิธีที่ใช้จัดการกับกระดาษที่ใช้แล้วจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย และประเมินต้นทุนและผลตอบแทนการรวบรวมกระดาษที่ใช้แล้วไปผลิตกระดาษใหม่พบว่า ในมูลฝอยมีปริมาณกระดาษที่ใช้แล้วสามารถผลิตเป็นกระดาษใหม่ได้ 70,149 กิโลกรัมต่อปี หรือร้อยละ 0.005 ของปริมาณเศษกระดาษที่ใช้ผลิตกระดาษในปี พ.ศ. 2539 วิธีที่ใช้จัดการกับกระดาษที่ใช้แล้วมีทั้งทิ้งเป็นมูลฝอย เผา นำไปจำหน่าย และนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นสาเหตุที่ไม่นำกระดาษที่ใช้แล้วไปจำหน่ายเพราะมีความลับในเอกสาร ไม่มีเครื่องทำลายเอกสาร จากผลการศึกษา ถ้ามีการนำกระดาษที่ใช้แล้วไปผลิตเป็นกระดาษใหม่อย่างมีระบบ จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยลงได้ 15,606 บาท ลดการตัดไม้เพื่อทำเยื่อกระดาษได้ 1,403 ต้น และประหยัดพลังงาน 1,038,061.4 ถึง 1,167,769.0 เมกะจูลต่อปี และมีรายได้จากการขายกระดาษที่ใช้แล้วเท่ากับ 278,267 บาท

สุภกินห์ สมศรี, (2545) ทำการศึกษาความเหมาะสม ในการจัดการมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในเชิงวิศวกรรม และศึกษาประโยชน์และข้อจำกัดของ GIS โดยนำเสนอแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอย ตามหลักวิชาการและคุ้มกับการลงทุน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์หาสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยและออกแบบเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอยที่เหมาะสม ในการศึกษาจะประเมินปริมาณของมูลฝอยต่อเนื่อง 10 ปี ตั้งแต่ปี 2544 ถึงปี 2554 พบว่าปัจจุบันมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นอย่างน้อย 910 กิโลกรัมต่อวัน และในปี 2554 อาจมีมากถึง 5.1 ตันต่อวัน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของขยะมูลฝอยที่พบในมหาวิทยาลัย คือ เศษอาหาร พลาสติก และกระดาษ

มีความชื้นประมาณ 59 % โดยน้ำหนัก สมบัติทางเคมีประกอบด้วย C, H, N ประมาณ 18%, 2.15%, 1.65 % โดยน้ำหนัก และมี P 5.2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัมขยะมูลฝอย การจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสม คือ การคัดแยกขยะมูลฝอยที่มีมูลค่าไปขาย นำเศษอาหารไปหมักทำปุ๋ย และขยะมูลฝอยที่เหลือนำไปจัดการโดยการฝังกลบซึ่งสถานที่ฝังกลบอยู่บริเวณพื้นที่ว่างเปล่าทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของมหาวิทยาลัย จากการคาดการณ์ค่าใช้จ่าย ตลอดที่ดำเนินการถึงปี 2554 มีมูลค่า 42.8 ล้าน แต่ก็มีรายได้คืนกลับมาให้มหาวิทยาลัยประมาณ 55.4 ล้าน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมไทย.(2545). **โครงการพัฒนาระบบการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ และวัสดุเหลือใช้ในเชิงธุรกิจ**. กรุงเทพฯ.

เกียรติพงษ์ ศรีสว่าง. (2545). การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

โครงการศึกษาความเหมาะสมระบบกำจัดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเทศบาลเมืองยโสธร. (2538). ยโสธร.

สมไทย วงษ์เจริญ. (2544). **การคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลเชิงธุรกิจ.** นครสวรรค์: โรงพิมพ์นิวเสรีนคร.

สุนีย์ มัลลิกะมาลย์. (2542). การจัดการขยะชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ. วารสาร**สิ่งแวดล้อม** (3)(12):29 – 34.

ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา. (2547). **เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 617 330 การจัดการมูลฝอย.** สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การคัดแยก เก็บรวบรวม และขนส่งขยะมูลฝอย [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.pcd.go.th/Info_serv/waste_garbage.html

การรีไซเคิล[ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.school.net.th/library/snet6/envi4/recycle/bat.htm

พลาสติกกับชีวิตประจำวัน[ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.biotec.or.th/?sw=knowledgeview&Id=736

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

รุจิรา สีชมภู	B4460909
สุรศักดิ์ ศรีประย่า	B4461418
เกษทิศ สมฆ้อง	B4461654
เพิ่มเกียรติ อันสา	B4461715
เพ็ญนภา ทองอาจ	B4461722

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ตอนที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฉลากเขียว	2-1
1. บทนำ	2-1
2. โครงการฉลากเขียวของประเทศไทย	2-2
3. แนวคิดของโครงการฉลากเขียว	2-2
ตอนที่ 2 ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	2-4
1. ฉลากเขียวสำหรับสบู่	2-6
1.1 ข้อกำหนดทั่วไป	2-6
1.2 ข้อกำหนดพิเศษ	2-8
1.3 รายละเอียดของสบู่	2-9
1.4 กรรมวิธีการผลิต	2-12
1.5 ผลกระทบของสบู่ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	2-16
2. ฉลากเขียวสำหรับแชมพู	2-18
2.1 ข้อกำหนดทั่วไป	2-19
2.2 ข้อกำหนดพิเศษ	2-19
2.3 รายละเอียดของแชมพู	2-22
2.4 กรรมวิธีการผลิต	2-27
2.5 ผลกระทบของแชมพูต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	2-29
3. ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว	2-31
3.1 ข้อกำหนดทั่วไป	2-31
3.2 ข้อกำหนดพิเศษ	2-33
3.3 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว	2-34
3.4 กรรมวิธีการผลิต	2-37
3.5 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	2-39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4. ฉลากเขียวสำหรับสารซักฟอก	2-41
4.1 ข้อกำหนดทั่วไป	2-42
4.2 ข้อกำหนดพิเศษ	2-42
4.3 รายละเอียดของสารซักฟอก	2-44
4.4 กรรมวิธีการผลิต	2-51
4.5 ผลกระทบของสารซักฟอกต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	2-54
5. ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชาม	2-56
5.1 ข้อกำหนดทั่วไป	2-57
5.2 ข้อกำหนดพิเศษ	2-57
5.3 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชาม	2-59
5.4 กรรมวิธีการผลิต	2-62
5.5 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชามต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	2-64
เอกสารอ้างอิง	2-67

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงรายชื่อผลิตภัณฑ์ฉลากเขียวที่จัดทำข้อกำหนดแล้วเสร็จทั้งสิ้น 39 ผลิตภัณฑ์	2-3
ตารางที่ 2.2 แสดงรายชื่อผู้ได้รับฉลากเขียว กลุ่มผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	2-5
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของสบู่ที่ต้องการ	2-6
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะสบู่เหลวที่ต้องการ	2-7
ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของสบู่ต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น	2-16
ตารางที่ 2.6 ผลกระทบเบื้องต้นของแชมพูต่อสิ่งแวดล้อม	2-29
ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว	2-32
ตารางที่ 2.8 ผลกระทบเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวต่อสิ่งแวดล้อม	2-39
ตารางที่ 2.9 ผลกระทบเบื้องต้นของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม	2-54
ตารางที่ 2.10 ผลกระทบเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชามต่อสิ่งแวดล้อม	2-64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
ภาพที่ 2.1 : กรรมวิธีผลิตสบู่ก้อน	2-14
ภาพที่ 2.2 : กรรมวิธีผลิตสบู่เหลวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์	2-15
ภาพที่ 2.3 : กระบวนการผลิตแชมพูแบบเป็นรุ่น (batch)	2-28
ภาพที่ 2.4 : กรรมวิธีผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว	2-38
ภาพที่ 2.5 : กรรมวิธีผลิตสารซักฟอกสูตรมาตรฐานภายในประเทศ	2-53
ภาพที่ 2.6 : กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดเหลวสำหรับถ้วยชาม	2-62
ภาพที่ 2.7 : กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดครีมสำหรับถ้วยชาม	2-63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 1
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฉลากเขียว

1. บทนำ

ฉลากเขียว เป็นเครื่องหมายสื่อถึงความเป็นหนึ่งเดียวกันของมนุษย์ (รูปหน้าเด็กกำลังยิ้ม) สัตว์ (รูปนก) สิ่งแวดล้อม (ต้นไม้) และโลก การช่วยกันอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในวันนี้เท่ากับช่วยให้ลูกหลานของเราอาศัยอยู่ในโลกได้อย่างมีความสุขตลอดไป

ฉลากเขียว (green label หรือ eco-label) คือ ฉลากที่มอบให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน โดยที่ คุณภาพยังอยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนด ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ หมายถึง สินค้าและบริการหลายประเภท ยกเว้นยา เครื่องดื่มและอาหาร เนื่องจากทั้งสามประเภทที่กล่าวจะเกี่ยวข้องกับสุขภาพความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าด้านสิ่งแวดล้อม การติดฉลากเขียวจะสร้างความสับสนให้แก่ผู้บริโภคได้

ฉลากเขียว เป็นแนวความคิดใหม่ เกิดขึ้นจากความจำเป็นในการฟื้นฟูและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการพัฒนาประเทศด้วยวิธีการต่าง ๆ อันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน เยอรมันเป็นประเทศแรกที่เริ่มโครงการฉลากเขียวตั้งแต่ปี 2520 ปัจจุบันมีประเทศต่าง ๆ ที่ดำเนินโครงการนี้มากกว่า 30 ประเทศ เช่น แคนาดา สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น จีน ไต้หวัน เกาหลี กลุ่มประเทศนอร์ดิก และสหภาพยุโรป แต่ละโครงการจะมีความแตกต่างกันทางด้านโครงสร้าง คณะผู้บริหาร รูปแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน โครงการเหล่านี้เป็นโครงการระดับประเทศหรือระดับภูมิภาค

ฉลากเขียวถือเป็นกลยุทธ์หนึ่งในนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้การตลาดเป็นเครื่องมือ เนื่องจากมีสินค้าและบริการวางจำหน่ายในตลาดเป็นจำนวนมาก ฉลากเขียวที่ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์จะเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้นเน้นคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ในส่วนผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายจะได้รับผลประโยชน์ในแง่กำไรเนื่องจากมีการบริโภคผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมากขึ้น ผลักดันให้ผู้ผลิตรายอื่น ๆ ต้องแข่งขันกันปรับปรุงคุณภาพของสินค้าหรือบริการของตน โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ ฉลากเขียวจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ช่วยป้องกันรักษาธรรมชาติผ่านทางการผลิตและการบริโภคของผู้ผลิตและผู้บริโภคทุกคนเป็นการแสดงความมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการสิ่งแวดล้อม ไม่ได้เป็นเงื่อนไขในการกีดกันทางการค้าหรือการตลาด แต่จัดตั้งขึ้นเพื่อป้องกันและปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในประเทศ ฉลากเขียวไม่ได้เป็นรางวัลด้านสิ่งแวดล้อม ฉะนั้นจึงไม่มีการออกข้อกำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับสิ่งแวดล้อมหรือทำให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด เช่น จักรยาน กลุ่มเป้าหมายจะเป็นสินค้าหรือ

บริการที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่ผู้ผลิตมีทางเลือกอื่นในการผลิต (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2548)

2. โครงการฉลากเขียวของประเทศไทย

โครงการฉลากเขียวของประเทศไทย ริเริ่มขึ้นโดยคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมไทย (Thailand Business Council for Sustainable Development, TBCSD) เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2536 และได้รับความเห็นชอบและความร่วมมือจากกระทรวงอุตสาหกรรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ให้ปฏิบัติออกมาเป็นรูปธรรม จึงนับว่าเป็นโครงการที่เกิดจากการร่วมมือระหว่างส่วนราชการและองค์กรกลางต่างๆ โดยมีสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยทำหน้าที่เป็นเลขานุการ

3. แนวคิดของโครงการฉลากเขียว

ฉลากเขียว เป็นฉลากที่ออกให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้ผ่านการประเมินและตรวจสอบว่าได้มาตรฐานทางด้านสิ่งแวดล้อมตามข้อกำหนดที่ทางคณะกรรมการโครงการฉลากเขียวประกาศใช้ โดยมีแนวคิดดังนี้

- เป็นโครงการโดยสมัครใจ ของผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย หรือผู้ให้บริการ ที่ต้องการแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม
- ปลูกจิตสำนึกทางด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ผู้บริโภค โดยการแนะนำผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และกระตุ้นให้มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากขึ้น
- กระตุ้นให้กลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิต หันมาใช้เทคโนโลยีที่สะอาดเพื่อผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
- กระตุ้นให้รัฐบาลและเอกชนร่วมมือกันฟื้นฟูและรักษาสิ่งแวดล้อม ลดปัญหามลภาวะด้วยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.1 แสดงรายชื่อผลิตภัณฑ์ฉลากเขียวที่จัดทำข้อกำหนดแล้วเสร็จทั้งสิ้น 39 ผลิตภัณฑ์

ที่	ผลิตภัณฑ์	ที่	ผลิตภัณฑ์
1.	ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทำจากพลาสติกที่ใช้แล้ว (products made from recycled plastics)	21.	น้ำมันหล่อลื่น (lubricant oil)
2.	หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamps)	22.	เครื่องเรือนเหล็ก (metal furnitures)
3.	ตู้เย็น (refrigerators)	23.	ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ยางพารา (parawood Products)
4.	สี (paints)	24.	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic Ballasts)
5.	เครื่องสุขภัณฑ์ (flushing toilets)	25.	สบู่ (soap)
6.	ถ่านไฟฉาย (no mercury added batteries)	26.	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว (surface Cleaners)
7.	เครื่องปรับอากาศ (air-conditioners)	27.	ผลิตภัณฑ์ลบคำผิด (correcting agents)
8.	กระดาษ (paper)	28.	ครื่องถ่ายเอกสาร (photocopiers)
9.	สเปรย์ (CFC-free sprays)	29.	สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง(gasoline stations)
10.	สารซักฟอก (detergents)	30.	เครื่องเขียน (writing instrument)
11.	ก๊อกน้ำและอุปกรณ์ประหยัดน้ำ (faucets and sanitary accessories)	31.	ตลับหมึก (toner cartridge)
12.	คอมพิวเตอร์ (computers)	32.	ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ (fertilizers)
13.	เครื่องซักผ้า (clothes washers)	33.	สีเคลือบกระเบื้องมุงหลังคา (roof tile paints)
14.	ฉนวนกันความร้อน (building materials : thermal insulations)	34.	รถยนต์นั่ง (passenger car)
15.	มอเตอร์ (motors)	35.	เครื่องรับโทรทัศน์ (Televisions)
16.	ผลิตภัณฑ์ทำจากผ้า (products made from cloth)	36.	โทรศัพท์มือถือ (mobile phone)
17.	ฉนวนยางกันความร้อน (rubber insulations)	37.	เครื่องโทรสาร (facsimile machine)
18.	บริการซักน้ำและบริการซักแห้ง (dry cleaning and laundry services)	38.	เครื่องพิมพ์ (printers)
19.	แชมพู (shampoo)	39.	เครื่องเล่น/บันทึกสัญญาณภาพและเสียง (video media players/recorders)
20	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชาม (dishwashing detergents)		

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อมูล ณ วันที่: 2 กุมภาพันธ์ 2548

ตอนที่ 2
ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

ปัจจุบันประเทศไทย มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการใช้ทรัพยากรในปริมาณมาก อีกทั้งการใช้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เช่น อุปกรณ์สำนักงาน สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า โทรศัพท์มือถือ เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและอื่นๆ ซึ่งรวมทั้งผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ทุกครัวเรือนต้องใช้เป็นประจำทุกวัน ส่งผลให้เกิดขยะมูลฝอยจากบรรจุภัณฑ์ที่เหลือจากการใช้ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมาจากผลิตภัณฑ์ที่เหลือในบรรจุภัณฑ์นั้นซึ่งสามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังได้กล่าวมาแล้วว่าทุกคนและทุกครัวเรือนจำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเป็นประจำทุกวัน ดังนั้น ทุกคนจึงสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทุกวันโดยไม่รู้ตัว แม้ปัญหานี้จะไม่ส่งผลกระทบอย่างเฉียบพลัน แต่ก็เป็นการสะสมปัญหาไปเรื่อย ๆ จนอาจกลายเป็นปัญหาสำคัญในวันข้างหน้าและสร้างความเสียหายให้แก่มวลมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างมากได้ ดังนั้น แนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ก็คือการหันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย นั่นก็คือ ผลิตภัณฑ์สีเขียว หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากเขียว ถ้าทุกคนหันมาใช้ผลิตภัณฑ์สีเขียว ก็จะช่วยให้เราทุกคนมีสุขภาพดี ปลอดภัยจากสารปนเปื้อนมีพิษที่อาจมีในผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปด้วย ซึ่งถือเป็นอีกแนวทางที่ง่ายอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมอยู่คู่กับเราตราบนานเท่านาน

ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีข้อกำหนดฉลากเขียวแล้วมีทั้งสิ้น 5 ผลิตภัณฑ์ คือ แชมพู สบู่ สารซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชาม และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป สำหรับรายชื่อผู้ที่ได้รับฉลากเขียวในกลุ่มผลิตภัณฑ์นี้แสดงดังตารางที่ 2.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 แสดงรายชื่อผู้ได้รับฉลากเขียว กลุ่มผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

ประเภทผลิตภัณฑ์	ชื่อและสถานที่ตั้งโรงงาน	รุ่น	อายุสัญญา
แชมพู	**บริษัท ดับเบิ้ลพลัสมาเก็ตติ้ง จำกัด** 11/9 ซ.ชัยพฤกษ์ 11 ถ.รามคำแหง แขวงสะพานสูง กรุงเทพฯ 10240 โทร. 0-2373-2821 โทรสาร 0-23773-8785 E-mail : principle@ksc.th.com	เครื่องหมายการค้า PRINCIPLE ประเภท แชมพูสมุนไพรแบบผมมัน ผมธรรมดา และผมแห้ง-เสีย ขนาด 260 ml.	8 ส.ค. 45 - 7 ส.ค. 46
สารซักฟอก (น้ำยาซักฟอก, ผงซักฟอก)	**ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไบโอไบรท์** 1/50 หมู่ที่ 2 ซ.กลับเจริญ 1 ถ.ตรัง-ปะเหลียน ต.โคกหล่อ อ.เมือง จ.ตรัง 92000 โทร .0-7521-0795 โทรสาร 0-7528-0027	เครื่องหมายการค้า บูมกรีน (BOOMGREEN) จำนวน 1 รุ่น :สารซักฟอก (น้ำยาซักผ้า)	17 ก.ย .47 - 16 ก.ย .48
	บริษัท ชะอำพีรพัฒน์ เคมีคอล จำกัด 118 หมู่ 4 ซอยวัดสวนสันติ ถ.เพชรเกษม ต.ทับคาง อ.เขาย้อย จ.เพชรบุรี 76140 โทร .0-2276-2700 โทรสาร 0-3243-9230	เครื่องหมายการค้า : กรีนแว๊กส์ (Green Waks) จำนวน 1 รุ่น : ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า ขนาด 25 กก.	5 ต.ค .47 - 4 ต.ค .50
ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดด้วยชาม	**ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไบโอไบรท์** 1/50 หมู่ที่ 2 ซ.กลับเจริญ 1 ถ.ตรัง-ปะเหลียน ต.โคกหล่อ อ.เมือง จ.ตรัง 92000 โทร .0-7521-0795 โทรสาร 0-7528-0027	เครื่องหมายการค้า :บูมกรีน (BOOMGREEN) จำนวน 1 รุ่น : ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดด้วยชาม (น้ำยาล้างจาน)	4 ต.ค .47 - 3 ต.ค .48
ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว (น้ำยาทำความสะอาดพื้น)	**ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไบโอไบรท์** 1/50 หมู่ที่ 2 ซ.กลับเจริญ 1 ถ.ตรัง-ปะเหลียน ต.โคกหล่อ อ.เมือง จ.ตรัง 92000 โทร .0-7521-0795 โทรสาร 0-7528-0027	เครื่องหมายการค้า : บูมกรีน (BOOMGREEN) จำนวน1 รุ่น : ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว (ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเอนกประสงค์)	

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อมูล ณ วันที่ : 2 กุมภาพันธ์ 2548

1. ฉลากเขียวสำหรับสบู่

สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวกายที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ส่วนประกอบบางชนิดของสบู่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพหรือย่อยสลายได้ยาก ทำให้เกิดการสะสมตกค้างในสิ่งแวดล้อม ส่วนประกอบบางชนิด เมื่อถูกชำระล้างและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ อาจก่อให้เกิดอันตรายและการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำ ซึ่งอาจกระทบกับสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารได้

การกำหนดสบู่ที่ได้รับฉลากเขียวต้องย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีในธรรมชาติ ห้ามใส่สารเคมีบางชนิด ตลอดจนสนับสนุนให้ใช้บรรจุภัณฑ์น้อยลง หรือสามารถนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ได้ จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และลดการปนเปื้อนของสารเคมีในธรรมชาติ ตลอดจนลดภาระในการบำบัดภาวะมลพิษที่เกิดขึ้น

ผลิตภัณฑ์สบู่ ในที่นี้หมายถึง สบู่ถูตัว (Toilet soap) สำหรับใช้ขจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวหนัง ได้แก่ สบู่ก้อนและสบู่เหลว

สบู่ถูตัว หมายถึง เกลือโลหะ หรือเกลือแอมโมเนียม หรือเกลือเอมีนของกรดไขมันของน้ำมันหรือไขมันจากพืช และ/หรือจากสัตว์ ครอบคลุมถึงที่เติมสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ ใช้สำหรับขจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวหนัง

1.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1.1.1 สบู่ก้อนต้องมีคุณลักษณะที่ต้องการตามตารางที่ 2.3 และสบู่เหลวต้องมีลักษณะที่ต้องการตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของสบู่ที่ต้องการ

ลำดับที่	หัวข้อ	สบู่ก้อน	วิธีทดสอบ
1.	ลักษณะทั่วไป	เป็นก้อน ไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่สารประกอบของผลิตภัณฑ์	ตรวจพินิจ
2.	ไขมันทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	75	ISO 685
3.	ด่างอิสระ (คำนวณเป็น Na_2O) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.1 ยกเว้นสบู่เด็ก ไม่เกิน 0.02	ISO 456 method A
4.	สารที่ไม่ละลายในเอทานอล ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	1.25 ยกเว้นในกรณีที่ใส่สารเติมแต่ง เช่น สารจากธรรมชาติผู้ผลิตต้องแจ้งชื่อสาร ปริมาณ และวัตถุประสงค์ที่ใส่	ISO 673
5.	คลอไรด์ (คำนวณเป็น NaCl) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	1.0	ISO 4324A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะสบู่เหลวที่ต้องการ

ลำดับที่	หัวข้อ	สบู่เหลว	วิธีทดสอบ
1.	ลักษณะทั่วไป	เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น	ตรวจพินิจ
2.	ด่างอิสระ (คำนวณเป็น Na_2O) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.08	ISO 456 method A
3.	สารที่ระเหยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส	85	มอก. 1403
4.	คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา	จุลินทรีย์ที่อาจมีในสบู่เหลว ให้เป็นดังนี้ 1. จำนวนแบคทีเรีย ยีสต์ และราทั้งหมด (total colony count) ต้องน้อยกว่า 1,000 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2. จุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการแปรสภาพ (fault producing organisms) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ เช่น คลอสตริเดียม *(Cloltridium spp.)* ต้องไม่พบ 3. สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส โรเซนบัก (Staphylococcus aureus Rosenbach) ต้องไม่พบ 4. ซาลโมเนลลา (Salmonella) ต้องไม่พบ 5. ซูโดโมแนส แอรูนิโนซา (ชโรเตอร์) มิกูลา (Pseudomonas aeruginosa (Schoeter) Migula) ต้องไม่พบ	มอก. 1403
5.	เสถียรภาพต่อการเก็บ	ผ่านการทดสอบ	มอก. 1403

1.1.2 กระบวนการผลิต และการกำจัดของเสีย ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของราชการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 ข้อกำหนดพิเศษ

1.2.1 สารลดแรงตึงผิวต้องสลายทางชีวภาพได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

1.2.2 สารที่ห้ามมีในผลิตภัณฑ์

1. สารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 9 ออกตามความในพระราชบัญญัติเครื่องสำอาง พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดวัตถุที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม

2. สารลดความกระด้างของน้ำ ชนิด

- phosphonate
- nitroacetic acid (NTA)

3. สารทำอิมัลชัน ชนิด

- alkylphenol
- dimethylsilicon copolymer
- branched carboxylic acids and alcohols
- quatenary protein hydrolysate
- PEG esters of branched carboxylic acids
- polyethyleneglycol, PEG > 30 EO
- polyvinylpyrrolidone, PVP

4. สารกันเสีย ชนิด

- 1,2-benzisothiazolin-3-ine เช่น proxel
- 2,4-dichlorobenzyl alcohol
- formaldehyde
- chloroacetamide
- 5-cholro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one
- orthophenylphenol
- orthonylphenol

5. ตัวทำละลาย ชนิด

6. สารที่ดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV absorber)

1.2.3 สารที่อนุญาตให้มีได้

1. Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ไม่เกินร้อยละ 0.1

2. ความเข้มข้นของ Buthylhydroxytoluene (BHT) ไม่เกินร้อยละ 0.01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. สีต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2538 ออกตามความในพระราชบัญญัติเครื่องสำอาง พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดสีที่อนุญาตให้ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม (ถ้ามี)

1.2.4 บรรจุภัณฑ์

1. หมึก สี เม็ดสี (Pigment) หรือ สารเติมแต่ง (additive) อื่น ๆ ที่ใช้พิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ มีส่วนผสมของโลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว) ต่อสีที่เป็นน้ำหนักแห้ง (dry basis) ได้ไม่เกิน 50 ppm

2. กรณีบรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติก ต้องมีสัญลักษณ์บ่งบอกประเภทพลาสติกที่ใช้บนบรรจุภัณฑ์

1.3 รายละเอียดของสบู่

1.3.1 ประเภทของสบู่

1. สบู่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

- สบู่ก้อน (bar soaps)
- สบู่เหลว (liquid soaps)
- สบู่ผง (powder soaps)

2. สบู่มีวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น

- ใช้ทำความสะอาดร่างกาย
- ประเทืองผิว มักมีส่วนผสมของสารบำรุงผิว เช่น สารให้ความชุ่มชื้น (moisturizer) และวิตามินต่าง ๆ ที่ช่วยบำรุงผิวพรรณ
- ใช้ระงับเชื้อ

1.3.2 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตสบู่ถูตัวประกอบด้วย

1. ไขมันและน้ำมัน (fats and oils) ได้จาก

- น้ำมันพืช เช่น palm oils ซึ่งมีกรดไขมันน้ำหนักโมเลกุลสูงและ palm kernel ซึ่งมีกรดไขมันน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- น้ำมันหรือไขมันจากสัตว์
- กรดไขมัน (fatty acid)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ด่าง (alkali) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดเป็นสบู่ ปรับความเป็นกรดของส่วนประกอบอื่น ๆ และทำให้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้างของน้ำทำงานได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น sodium hydroxide, potassium hydroxide, ethanolamine, sodium carbonate, sodium silicate

3. สารลดความกระด้างของน้ำ (builder) ใช้ลดความกระด้างของน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความสะอาด โดยจะจับกับอนุภาคโลหะหนักและสิ่งสกปรก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่น และส่วนประกอบเปลี่ยนไปเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในขณะเก็บไว้ เช่น EDTA, EHDP, tetrasodiumetidronate, phosphonate

4. สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (synthetic surfactants) แบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ได้แก่

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (anionic surfactants) เช่น

- fatty alcohol sulphate เช่น ammoniumlaurylsulphate
- fatty alcohol ether sulphate เช่น sodiumlaurylethersulphate
- alkylethersulphosuccinate เช่น sodiumlaurylethersulphosuccinate
- alkylisothionate เช่น sodium lauryl isothionate
- a-Olifinulphonate (AOS)
- sulfosuccinatemonoesters เช่น disodiumlauricsulphosuccinate

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactants) เช่น

- alkanolamide เช่น lauric acid diethanolamide
- fatty alcohol ethoxylate
- alkylpolyglucoside เช่น dodecyl polyglucoside

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (cationic surfactants) เช่น

- polyquaternium 7, 10 , 22
- hydroxypropyltrimethylammoniumchloride
- quaternary esters

สารลดแรงตึงผิวชนิดมีสองประจุ (amphoteric surfactants) เช่น

- cocoamphediacetate
- cocoamphocatboxyglucinate
- imidazoline derivatives
- cocoamidopropylamineoxide

- cocoamideptopylbetaine

5. สารปรับสภาพ (conditioners) เพื่อให้เกิดความชุ่มชื้นแก่ผิว เช่น

- ไขมันส่วนเกิน เป็นไขมันที่เติมลงไปขณะเกิดปฏิริยาเป็นสบู่ เพื่อให้สบู่นั้นมีความระคายเคืองผิวหนังน้อยลง เช่น ลาโนลินและโคลด์ครีม
- alkylglucoside เช่น decylglucoside
- fatty acid เช่น lauric acid, steric acid
- triolesters เช่น silk protein, Wheat protein
- lanolin alcohol
- polyethylene glycols เช่น PEG acetanoate
- polyamines เช่น PEG – 15 - fatty acid polyamine
- alkyl phenol, ethoxylated เช่น nonoxynol – 14
- cationic surfactants

6. สี (colorants) สีผสมสบู่มีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลด์ ซินนาบาร์ อัลตรามารีนกรีน และอัลตรามารีนบลู ซึ่งสีที่ใช้จะต้องเป็นสีที่ประกาศให้ใช้ตามพระราชบัญญัติเครื่องสำอาง พ.ศ. 2535

7. สารกันเสีย ทำหน้าที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงสภาพ (preservatives) เช่น

- hydroxytoluene
- ethylene diamine tetraacetic acid
- salts and esters of p-hydroxybenzoic acid เช่น methylparabene, propylparabene
- imidazolidinyl urea
- 2-pheonxyethanol
- isothiazolinones
- formaldehyde
- sodium benzoate

8. สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agents) ทำหน้าที่ฆ่าและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและกลิ่น เช่น pine oil, quaternary ammonium compounds, sodium hypochlorite, triclocarban, tricolsan, phenol, cresol สารพวกนี้แม้ว่าจะมีผลในการฆ่าเชื้อโรค แต่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง เช่น ทำให้เป็นโรคแพ้แสงแดด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

9. ตัวทำละลาย (solvents) ใช้ในการผลิตสบู่เหลว ใส่ในปริมาณเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายส่วนมากจะเป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูง และยังมีสมบัติเป็นสารกันเสียอีกด้วย เช่น

- glycerine
- propylene glycol
- polyethylene glycols

10. สารทำให้ข้น (thickeners) ใช้ในการผลิตสบู่เหลว เพื่อทำให้ส่วนผสมข้นขึ้น เช่น

- polyethyleneglycol เช่น PEG-7M, PEG-8, PEG-75
- glycerol derivatives, esters เช่น PEG-7 glycol, PEG-7 glycerycocoate
- magnesium PEG-3 cocoamide sulphate
- PEG-120 methoglycosdioleate
- Sodium chloride
- CMC and other cellulose derivatives

11. สารที่ทำให้ทึบแสง (opacifiers) ทำหน้าที่ลดความโปร่งใส หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ทึบแสง เช่น polymers, titanium dioxide

12. สารทำอิมัลชัน (emulsifiers) ใส่เพื่อให้ส่วนผสมอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำสามารถเข้ากันได้ดี

13. น้ำหอม (fragrances) ทำหน้าที่ปกปิดกลิ่นของส่วนประกอบต่าง ๆ ของสบู่และให้กลิ่นหอม

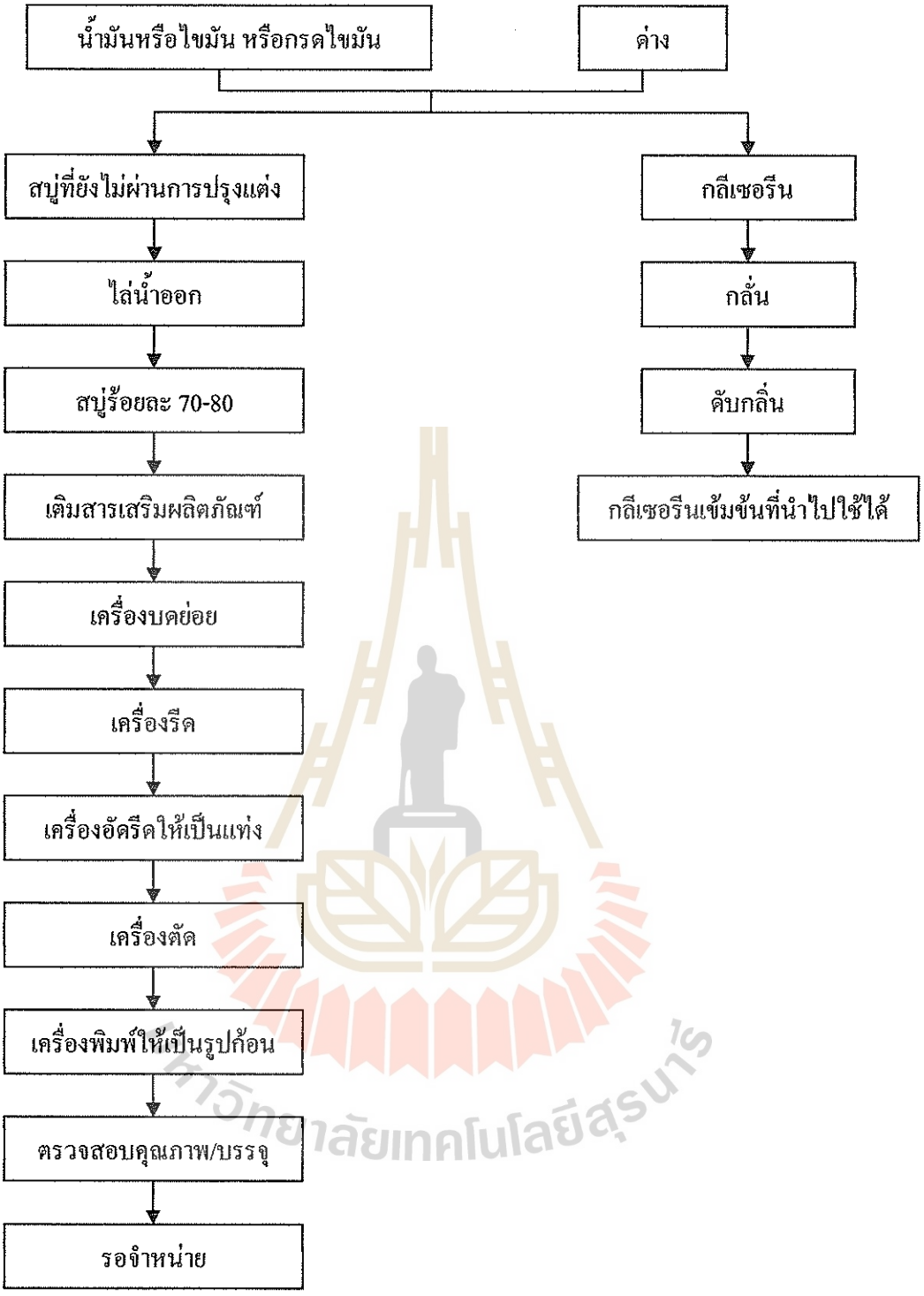
1.4 กรรมวิธีการผลิต

1.4.1 สบู่ก้อน สบู่เกิดจากการทำปฏิกิริยา saponification ระหว่างกรดกับไขมัน โดยน้ำมันไขมัน หรือกรดไขมันต้องผ่านการฟอกสีก่อน ส่วนด่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นใช้ไอน้ำให้ความร้อนเพื่อเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้สบู่ขั้นแรกที่มีสถานะเป็นของเหลวข้น (semi-solid) มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 40 แล้วจึงนำสบู่เหลวข้นที่ได้มาผ่านกระบวนการไล่น้ำด้วยระบบสุญญากาศ ได้เนื้อสบู่ร้อยละ 70-80 (soap sheet) เติมสารเติมแต่งตามชนิดของสบู่เพื่อให้ออกมาเป็นรูปลักษณ์ที่ต้องการ แล้วนำไปผ่านเครื่องบดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดก้อนแล้วบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่อไป

ในกระบวนการผลิตสบู่ขั้นแรก ยังได้กลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ ซึ่งกลีเซอรีนจะถูกปั่นแยกออกจากสบู่เหลวข้น แล้วนำไปกลั่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นและกำจัดกลิ่น จนได้กลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

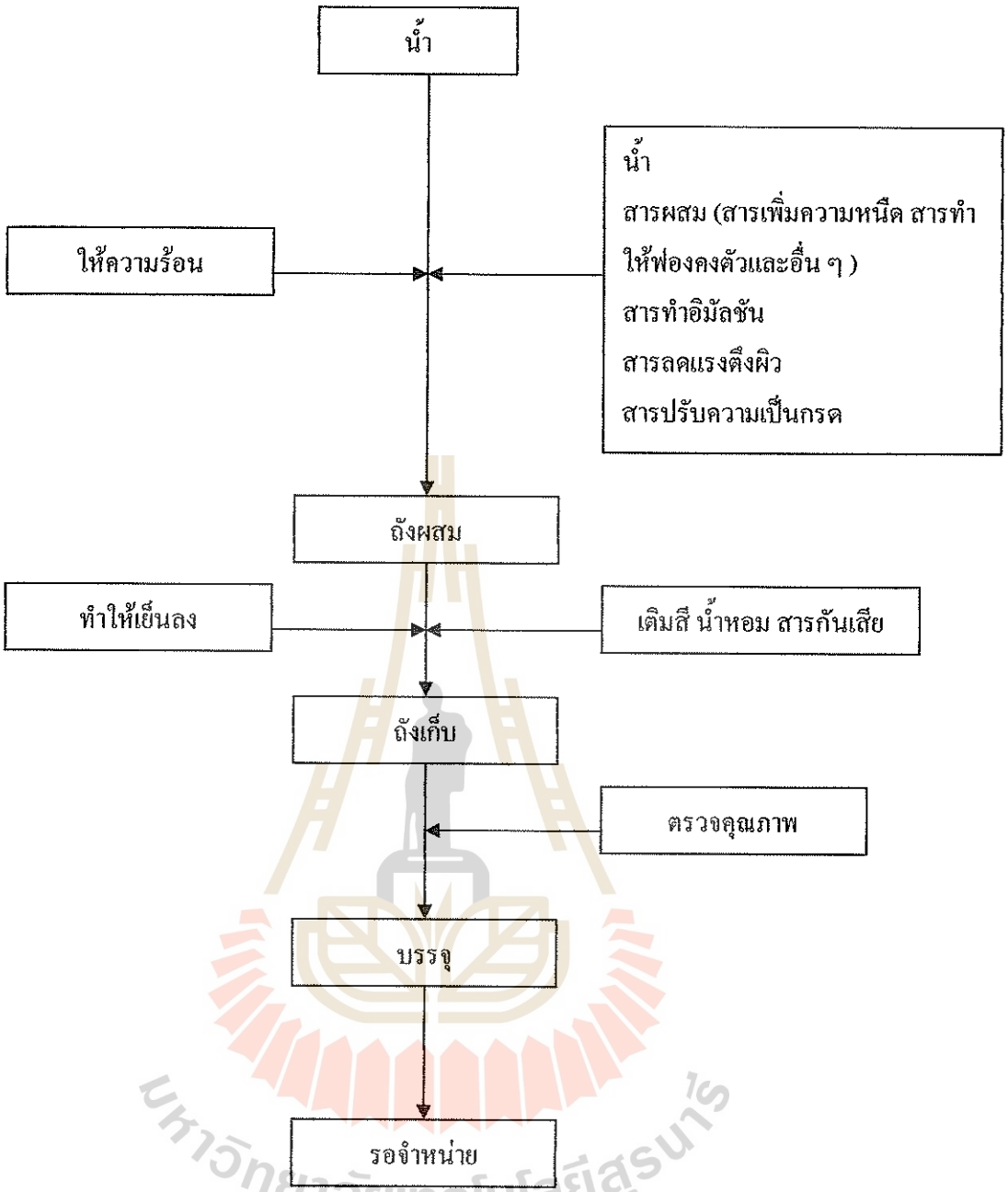
1.4.2 สบู่เหลว ขั้นตอนผลิตสบู่เหลวเริ่มด้วยเติมน้ำบริสุทธิ์ลงในถังผสม และให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ เติมสารทำความสะอาดบางส่วน สารปรับความเป็นกรด และสารทำอิมัลชันหรือ emullient ลงไปในถังผสม กวนประมาณ 10 นาที จากนั้นหยุดให้ความร้อนและหยุดการกวน เติมตัวทำละลาย สารปรับสภาพ และสารทำความสะอาดที่เหลือลงไปในถังผสม แล้วเริ่มกวนให้เข้ากัน และค่อย ๆ เติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ทำให้ส่วนผสมเย็นลงและเริ่มสารปรับให้เป็นกลางแล้วกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเติมสี สารกันเสียที่ผสมไว้แล้วลงในถังผสม พร้อมกับน้ำหอม กวนส่วนผสมเหล่านี้ให้เข้ากันอย่างน้อย 20 นาที จากนั้นนำไปเก็บในถังเก็บ สุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพแล้วนำไปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.1 : กรรมวิธีผลิตสบู่ก้อน

ที่มา : บริษัทผู้ผลิต (2542)



ภาพที่ 2.2: กรรมวิธีผลิตสบู่เหลวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์

ที่มา : บริษัทผู้ผลิต (2542)

1.5 ผลกระทบของสบู่ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของสบู่ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ในระหว่างการผลิต ในระหว่างการใช้งาน และการทิ้งหลังการใช้งาน (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของสบู่ต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (environmental aspect)	วัฏจักรชีวิตของสบู่				
	ก่อนผลิต	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) - วัตถุดิบ	O	O	x	x	x
- พลังงาน	O	O	O	x	x
- น้ำ	O	O	x	O	x
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)	O	x	x	x	x
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into) - อากาศ	O	● 1)*	O 4)	x	x
- น้ำ	O	● *	x	● 7)	x
- ดิน	O	x	x	●	x
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)	O	O 2)	O 5)	x	● 2)
ผลกระทบอื่น ๆ (other impacts)	O	O 3)	O 6)	x	x
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)				● **	
ความปลอดภัย (safety)				● **	

หมายเหตุ : ● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในข้อกำหนด

O มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

x ไม่เกี่ยวข้อง

* มีข้อบังคับตามกฎหมาย

** มีข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1) ฝุ่นของสารเคมี เช่น TiO_2

2) บรรจุภัณฑ์

3) กลิ่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) NO_x, SO_x, CO

5) บรรจุภัณฑ์สามารถแปรสภาพกลับมาใช้ใหม่ได้

6) เสียง ควัน

7) ไคลสปู่

1.5.1 ในระหว่างการผลิต ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต คือ การใช้ทรัพยากร เช่น น้ำ วัตถุดิบและพลังงาน นอกจากนี้ยังมีการปล่อยมลสารไปสู่อากาศและน้ำ เช่น เกิดการฟุ้งกระจายของสารเคมีบางชนิด เช่น titanium dioxide และน้ำเสียจากการล้างถังผสม บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุวัตถุดิบก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาขยะสู่สิ่งแวดล้อม

1.5.2 ในระหว่างการใช้งาน ผลกระทบของสบู่ต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างการใช้งานเกิดจากสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งบางชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากหรือเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

1. สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลักของสบู่ ซึ่งบางชนิดไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ หรือย่อยสลายทางชีวภาพได้น้อย ทำให้เกิดการตกค้างและสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ส่วนที่ละลายไขมันของสารลดแรงตึงผิวจะแทรกผ่านเข้าไปในเหงือกปลา ทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณเกลือเสียไป ดังนั้น ถ้าสารลดแรงตึงผิวย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี จะช่วยลดระดับอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมลง

2. สารลดความกระด้างของน้ำ สารลดความกระด้างของน้ำในสบู่ประเภทฟอสเฟสและโพลิฟอสเฟต ประกอบด้วย ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหาร เมื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว และเมื่อพืชน้ำตายลงจะก่อให้เกิดปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำ ส่วน EDTA และ phosphonate เชื่อว่าทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย (mobility) ของโลหะหนักเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารลดความกระด้างของน้ำบางชนิด เช่น EDTA, polyacrylate ยังย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก

3. สารทำอิมัลชัน สารทำอิมัลชันบางชนิดย่อยสลายได้ยากหรือไม่ย่อยสลายเลย ทำให้เกิดการตกค้างและสะสมในสิ่งแวดล้อม บางชนิดมีความเป็นพิษ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร เช่น polyvinylpyrrolidone (PVP) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง

4. สารกันเสีย สารกันเสียใช้ยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณของสารกันเสียที่ใช้ขึ้นกับชนิดและปริมาณของส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ เช่น โปรตีน สารกันเสียมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะกำจัดแบคทีเรียที่มีความจำเป็นในกระบวนการทางชีวภาพของระบบบำบัด สารกันเสียบางชนิดมีความเป็นพิษ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น isothiazolinones เป็นสารที่ทำให้เกิดการแพ้ (allergens) ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารก่อให้เกิดการ

ระคายเคืองเยื่อบุระบบทางเดินหายใจ และเป็นสารก่อมะเร็ง orthophenylphenol เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อบุทางเดินหายใจ

5. ตัวทำละลาย ตัวทำละลายส่วนใหญ่ประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลายชนิด ใส่เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ มักใช้ mineral oil เป็นวัตถุดิบและเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตตัวทำละลาย นอกจากนี้ mineral oil ยังเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปด้วย ตัวทำละลายบางชนิดยังปลดปล่อยมลสารไปสู่บรรยากาศ เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds : VOC) ทำให้เกิดโอโซนในบรรยากาศชั้นล่าง ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและทำลายพืชผลทางการเกษตร นอกจากนี้สาร VOCs บางตัวเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยมีพิษเฉียบพลัน ถ้าได้รับในปริมาณมาก และอาจก่อให้เกิดระเร็งได้ เช่น สารพวก halogenated organic solvent และ toluene

6. สารอื่น ๆ สารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในสบู่นั้น ได้แก่ สารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต butylhydroxytoluene (BHT) ถึงแม้ว่ายังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดในเรื่องความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลต แต่การใส่สารดูดซับแสงอัลตราไวโอเลตในผลิตภัณฑ์สบู่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องชำระล้างออก ส่วน BHT เป็นสาร antioxidant ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ตา และระบบทางเดินหายใจ และยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

1.5.3 การทิ้งหลังใช้งาน บรรจุภัณฑ์สำหรับสบู่ก้อนมักใช้กระดาษ ส่วนบรรจุภัณฑ์สำหรับสบู่เหลวมักเป็นพลาสติก เมื่อถูกทิ้งจะเกิดเป็นขยะสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และอาจเกิดมลสารทางอากาศเมื่อนำไปเผากลางแจ้ง

2. ฉลากเขียวสำหรับแชมพู

สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของแชมพูบางชนิดมีการย่อยสลายได้ยากหรือไม่ย่อยสลายเลย ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อม บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำและดินบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง

การกำหนดให้แชมพูที่ได้รับฉลากเขียวต้องย่อยสลายได้ดีในธรรมชาติ การห้ามใส่สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการสนับสนุนให้ใช้บรรจุภัณฑ์น้อยลงหรือสามารถนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่ได้จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดการปนเปื้อนของสารเคมีในธรรมชาติ ประหยัดทรัพยากร ลดปริมาณการเกิดขยะ รวมถึงลดภาระและค่าใช้จ่ายในการบำบัดภาวะมลพิษที่เกิดขึ้น

แชมพู ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะ แชมพูสำหรับคนเท่านั้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แชมพูทั่วไป (ordinary shampoo)

2. แชมพูผสมสารเติมแต่ง ได้แก่ แชมพูผสมสารปรับสภาพเส้นผม (conditioning shampoo) และแชมพูยา (medicated shampoo)

แชมพู หมายถึง สิ่งปรุงของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นผม เส้นขน และหนังศีรษะ ซึ่งอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ของแข็ง ของเหลว ครีม เจล ผงหรือเม็ด ก้อนหรือฟอง

สารเติมแต่ง (additives) หมายถึง สารที่ใส่เข้าไปในแชมพูเพื่อประโยชน์ต่อเส้นผมและหนังศีรษะ โดยอาจเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ก็ได้

สารลดแรงตึงผิว (surfactants) หมายถึง สารซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ

2.1 ข้อกำหนดทั่วไป

2.1.1ต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแชมพู มาตรฐานเลขที่มอก.162 หรือ ได้รับการรับรองตามมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับหรือผ่านการทดสอบตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานดังกล่าว

หมายเหตุ : การทดสอบการระคายเคืองต่อผิวหนังและการระคายเคืองต่อตา โครงการฉลากเขียวสนับสนุนให้หลีกเลี่ยงการใช้สัตว์ทดลอง โดยอาจใช้วิธีทดสอบแบบ invitro อื่นๆ แทน

2.1.2 กระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัดของเสีย ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของราชการ ตัวอย่างเช่น พระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พระราชบัญญัติการสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข

2.2 ข้อกำหนดพิเศษ

2.2.1สารลดแรงตึงผิวในแชมพูต้องย่อยสลายได้หมด (ready biodegradable) เมื่อทดสอบตามวิธีทดสอบตามที่กำหนดไว้

2.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 5.0-8.5

2.2.3 สารที่ห้ามมีในผลิตภัณฑ์

1. สารที่ได้รับการพิจารณาเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen), เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (genotoxic), สารที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (mutagen), สารที่ทำให้ตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไป (teratogen), สารพิษต่อการสืบพันธุ์ (toxic to reproduction) ตามรายชื่อในฐานข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย

2. สารลดแรงตึงผิว ชนิด

- secondary alkane sulphonate (SAS)
- a-olefin sulphonate (AOS)

- alcohol ether sulphate (FES), 16 carbon
- linear alkylbenzene sulphonate (LAS)
- a-methyl ester sulphonate (SES)
- disulphosuccinate
- alcohol ethoxylate (AEO)
- block polymer EO/PO
- ethoxylated amines
- quaternary alkyltrimethylammonium salts (ATMAC)
- quaternary dialkyldimethylammonium salts (DTDMAC)
- polymer Q salts
- sulphobetaine

3. สารลดความกระด้างของน้ำ ชนิด
   - nitriloacetic acid (NTA)
   - phosphonates
4. สารทำอิมัลชัน (emulsifier) ชนิด
   - alkylphenol
   - dimethylsilicone copolymers เช่น siloxanes
   - fatty acid salts of di/triethanolamine
   - branched carboxylic acids and alcohols
   - quaternary protein hydrolysate
   - PEG esters of branched carboxylic acids
   - polyethylene glycol, PEG > 30 EO
   - polyvinylpyrrolidone, PVP
5. สารกันเสีย ชนิด
   - 1,2-benzisothiazolin-3-one เช่น proxel
   - 2,4-dichlorobenzyl alcohol
   - formaldehyde
   - chloracetamide
   - 5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one เช่น kathon CG
   - orthophenylphenol

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- orthononylphenol
- trichlorohydroxydiphenyl ether เช่น irgasan, triclosan

6. ตัวทำละลาย ชนิด

- ethylacetate
- gamma butyrolaktone
- methylpyrrolidone
- propyleneglycolethers
- cyclohexanon
- diethylene glycol
- triethanolamine
- hexane
- ethylene glycol
- methanol
- i-butanol
- n-butanol
- t-butanol
- monoethanolamine/diethanolamine
- triethanolamine
- dearomatised white spirit, D 100
- dearomatised white spirit, D 70
- cyclohexanol
- decane
- heptane
- i-paraffins
- methylisobutylketone, MIBK
- naphthenes
- butylacetate
- i-octane
- terpenes
- 2-ethylhexanol

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ethylene amines
- higher aromatics เช่น mesitylene
- chlorinated hydrocarbons
- toluene

2.2.4 สารที่อนุญาตให้มีได้

1. Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ไม่เกินร้อยละ 0.05

2. Butylhydroxytoluene (BHT) ไม่เกินร้อยละ 0.01

2.2.5 บรรจุภัณฑ์ ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ชั้นเดียว

1. กรณีบรรจุภัณฑ์พลาสติก ต้องใช้สัญลักษณ์บ่งบอกประเภทพลาสติกที่ใช้บนบรรจุภัณฑ์ สัญลักษณ์ที่ใช้ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกแปรใช้ใหม่ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1310 หรือ ISO 1043

2. กรณีบรรจุภัณฑ์กระดาษ ต้องทำจากเยื่อเวียนทำใหม่อย่างน้อยร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก

2.3 รายละเอียดของแชมพู

2.3.1 ประเภทของแชมพู แชมพูสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามรูปแบบ การใช้งาน และการตลาด ดังนี้

1. แบ่งตามรูปแบบ (product forms)

- แชมพูชนิดเหลว (liquid shampoos) เป็นที่นิยมและแพร่หลายมากที่สุด มีลักษณะเป็นของเหลวใส โปร่งแสง มีความหนืดพอสมควร
- แชมพูชนิดครีม (cream shampoos) มีลักษณะเป็นครีมกึ่งแข็ง มีความหนืดและทึบแสงสูง
- แชมพูชนิดเยล (gel shampoos) เป็นแชมพูที่มีความเข้มข้นและเหนียวกว่าแชมพูชนิดเหลว มีลักษณะใสเป็นเนื้อเดียวกัน
- แชมพูชนิดผงและเม็ด (powder and granular shampoos) มีลักษณะเป็นผงหยาบๆ เม็ดเล็กๆ เหมือนผงซักฟอก
- แชมพูชนิดก้อน (cake shampoos)
- แชมพูชนิดฟอง (aerosol shampoos) มีลักษณะเป็นโฟม (foam)

2. แบ่งตามการใช้งาน

- แชมพูสำหรับผมธรรมดา
- แชมพูสำหรับผมมัน
- แชมพูสำหรับผมแห้ง

- แชมพูขจัดรังแค มีสารที่ช่วยลดการหลุดล่อนของหนังศีรษะ และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย
- แชมพูสำหรับเด็ก (mild/baby shampoo)

3. แบ่งตามการตลาด

- แชมพูทั่วไป
- แชมพูผสมสารปรับสภาพเส้นผม
- แชมพูยา มีสมบัติในการรักษาเส้นผม เช่น สารขจัดรังแค
- แชมพูสำหรับเด็ก

2.3.2 วัตถุดิบ ในปัจจุบันแชมพูที่ขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดมีหลายแบบ และมีส่วนประกอบประมาณ 10-20 ชนิด ซึ่งแตกต่างกันไปตามเครื่องหมายการค้า อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของแชมพูสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ส่วนประกอบหลัก และส่วนประกอบที่อาจมีได้

1. ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว ทำหน้าที่ทำความสะอาดเส้นผมและหนังศีรษะโดยทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปและแขวนลอยอยู่ในน้ำ สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลาย กลุ่มขึ้นกับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ เช่น

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ นิยมใช้มากในประเทศไทย มีฟองมาก เช่น

- alkyl sulphates
- alkylaryl sulphates
- alkyl ether sulphates
- alkyl and alkylaryl sulphonates
- alcolhol alkylsulphosuccinates, fatty alcohol sulphosuccinates รวมถึง ethoxylated เช่น sodium ethoxylated lauryl alcohol sulphosuccinate (sodium laurethsulphosuccinate)
- ethoxylated fatty alcohol phosphate เช่น ethoxylated oleic alcohol phosphate
- ethoxylated fatty acids เช่น sodium ethoxylated lauryl carboxylate
- fatty alcohol ether sulphate เช่น sodium lauryl ether sulphate
- fatty alcohol sulphate เช่น sodium lauryl sulphate
- olefinsulphonates
- sulphosuccinate esters

- soap (salts of fatty acids)
- secondary alkanesulphonates เช่น sodium-alkyl secondary
- sulphonate

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ใช้เป็น antistatic agent และสารปรับสภาพเส้นผมในแชมพู เช่น

- alkylglucoside
- quaternary ammonium compounds

สารช่วยให้ทึบแสง (opacifying agent) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่ละลายน้ำช่วยทำให้แชมพูข้น เช่น

- magnesium
- zinc stearate
- calciumstearate
- ethylene glycol monostearate
- glyceryl mono stearate
- wax

สารช่วยทำให้ใส (clarifying agent) เช่น

- ethanol
- propylene glycol
- hexylene glycol
- polyethoxylated alcohols และ esters

สารกันการรวมตัวและช่วยการละลาย (sequestering agent) มีหน้าที่ป้องกันการรวมตัวและการตกค้างของแชมพูบนเส้นผม เมื่อล้างด้วยน้ำกระด้าง เช่น ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA)

สารช่วยทำให้ข้น (thickening agent) ใช้ในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวเพื่อป้องกันการไหลลื่นของแชมพู เช่น

- alkanolamides
- gums
- emulsifying agents
- sodium chloride
- ammonium chloride

- cellulose derivatives

สารลดความข้น (thinning agent) เช่น

- alcohol หรือ polyoxyalkylene compound
- sodium xylene sulphonate

ตัวทำละลาย (solvent) จะใส่เพียงปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายส่วนมากจะเป็นสารจำ พวกแอลกอฮอล์ ซึ่งที่ความ เข้มข้นสูง นอกจากเป็นตัวทำละลายแล้ว ยังใช้เป็นสารกันเสียอีกด้วย เช่น

- ethanol
- diethanolamine
- propylene glycol
- hexylene glycol

สารกันเสีย (preservative) ใส่เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย และจุลินทรีย์อื่นๆ ปริมาณที่ใส่ขึ้นกับปริมาณสารอาหารในผลิตภัณฑ์ แชมพูบางชนิดมีส่วนผสมของโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารจึงต้องใส่ปริมาณสารกันเสียมากกว่าแชมพูปกติ เช่น

- p-hydroxybenzoic acid ester
- uric condensates
- methylparaben
- propylparaben
- sodium benzoate
- imidazolidinylurea
- phenoxyethanol
- isothiazolinones
- chloracetamide
- ethanol
- 1,2-dibromo-2,4-dicyanobutane

สารทำอิมัลชัน (emulsifier) ใส่เพื่อทำให้ส่วนผสมอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำสามารถเข้ากันได้ดี เช่น

- fatty alcohols เช่น lauryl alcohol
- lanolin alcohols
- lecithin

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- esters of (poly) ethylene glycol and a fatty acid เช่น ethyleneglycol monostearate, polyethyleneglycolstearate
- polyethyleneglycolethers ของ fatty alcolhols เช่น lauryl alcohol ethoxylate, 10EO (laureth-10)
- polyethyleneglycoethers ของ glycerine fatty acid ethers เช่น PEG-7 glycerolcocoate

สารช่วยให้คงสภาพ (stabilizer) ได้แก่ สารปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เช่น

- citric acid
- formic acid
- almond acid
- salicylic acid
- สารกันเหม็นหืน และอื่นๆ

สารสำหรับดูแลรักษาเส้นผมและหนังศีรษะ เช่น สารขจัดรังแค (antidandruff) และสารป้องกันผมร่วง

สารลดความกระด้างของน้ำ (builder หรือ complexing agent) ใส่เพื่อจับกับอนุภาคโลหะในน้ำกระด้างและสิ่งสกปรกซึ่งจะไปลดความสามารถในการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว โดยที่เมื่อสารลดความกระด้างของน้ำจับกับอนุภาคโลหะจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่น และส่วนประกอบเปลี่ยนไปเนื่องจากการปฏิกิริยาเคมีในขณะที่เก็บไว้ เช่น

- EDTA
- citrate จาก added citric acid

สารเพิ่มความชุ่มชื้น (moisturizer) เช่น

- sorbitol
- glycerol
- cetyl alcohol
- sodium pyrrolidone carboxylic acid (sodium PCA)

สารเพิ่มความเงางาม (lustre agent) เพื่อเพิ่มความเงางามให้กับเส้นผม เช่น

- esters of ethylene glycol and fatty acid เช่น glycolstearate
- esters of polyethyleneglycol and fatty acid เช่น polyethyleneglycolstearate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- EO (PEG-4 stearate)
- esters of glycerine and a fatty acid เช่น glycerylcocoate

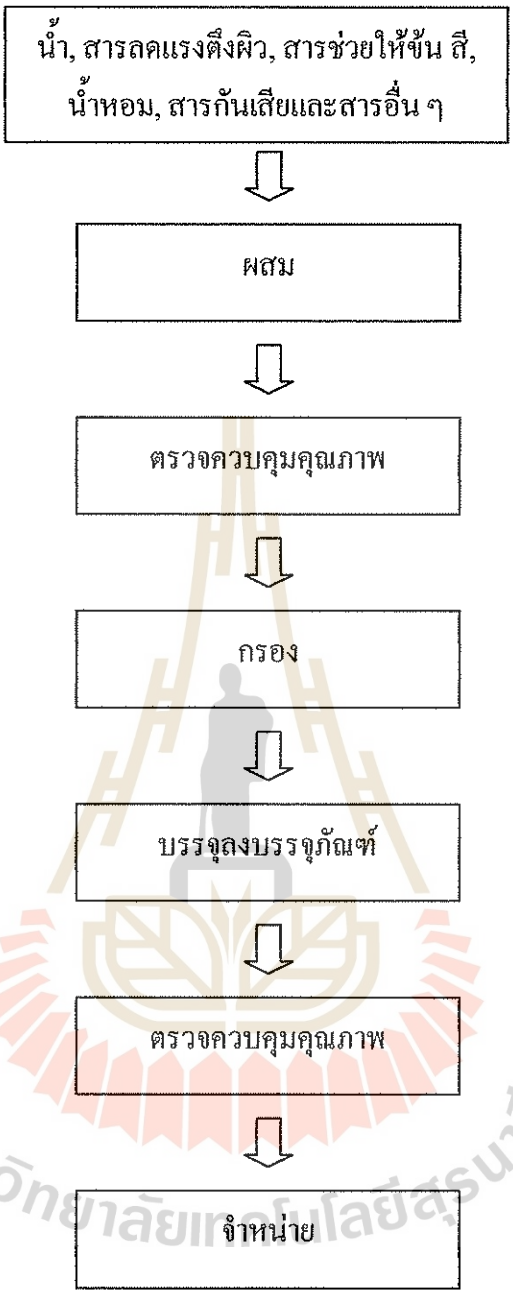
น้ำ

สารประกอบอื่นๆ เช่น สี น้ำหอม สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารขับดัน (propellant) ฯลฯ

2.4 กรรมวิธีผลิต

การผลิตแชมพูจะมีทั้งกระบวนการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ ในอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิห้อง แล้วคนจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน วัตถุดิบที่เป็นของแข็งจะถูกหลอมหรือ ทำให้ละลายก่อนนำมาผสม สารโพลิเมอร์บางชนิดหรือสารที่มีความเหนียวต้องนำมาละลายในน้ำอุ่นก่อนนำมาผสม และหลังจากที่ใส่น้ำหอมและสารกันเสียแล้ว อุณหภูมิไม่ควรเกิน 35 องศาเซลเซียลจากนั้นจึงวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ระหว่าง 5-8 โดยกรดหรือด่างตามความเหมาะสม ปรับความหนืดและค่าต่างๆ ให้เป็นไปตามความต้องการแล้วนำส่วนผสมบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ (ภาพที่ 2.3) กรรมวิธีผลิตอาจเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบทางเคมีและเทคโนโลยีของผู้ผลิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.3: กระบวนการผลิตแชมพูแบบเป็นรุ่น (batch)

ที่มา: บริษัทผู้ผลิต (มิ.ย. 2541)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 ผลกระทบของแชมพูต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของแชมพูต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 2.6) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ในขณะผลิต ในขณะใช้งาน และเมื่อทิ้งหลังการใช้งานแล้ว

ตารางที่ 2.6 ผลกระทบเบื้องต้นของแชมพูต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspect)	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม				
	ก่อนผลิต	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) เช่น วัตถุดิบ พลังงาน น้ำ		○		○	×
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)		×		×	×
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into)					
- อากาศ		○ [1]		×	×
- น้ำ		○ [2]		●	● [5]
- ดิน		○ [2]		●	● [5]
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)		○ [3]		×	● [3]
ผลกระทบอื่นๆ (other impacts)		● [4]*		×	×
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)				●**	
ความปลอดภัย (safety)				●	

หมายเหตุ

● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในการออกข้อกำหนด

○ มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

× ไม่เกี่ยวข้อง

* มีข้อบังคับตามกฎหมาย

** มีข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

[1] ไอน้ำหอม ฝุ่น

[2] สารตกค้างในกระบวนการผลิต

[3] ขยะบรรจุภัณฑ์

[4] เสียงดัง กลิ่นตัวยา

[5] แชมพูที่ตกค้างในขวด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.1 ในระหว่างการผลิต มีการใช้ทรัพยากร เช่น น้ำ วัตถุดิบ ไฟฟ้า และพลังงาน

2.5.2 ในระหว่างการใช้งาน ในระหว่างการใช้งานอาจมีการสะสมของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของแชมพูแต่ละชนิดบนเส้นผมและหนังศีรษะ ทั้งนี้ปริมาณการสะสมยังขึ้นกับชนิดของแชมพูและการใช้งานที่ถูกต้องของผู้บริโภคด้วย

1. สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่ละลายในน้ำ และส่วนที่ละลายในไขมันซึ่งส่วนที่ละลายในไขมันจะซึมผ่านเข้าไปในเหงือกปลา ทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณเกลือเสียไป นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้แตกต่างกัน บางชนิดสลายตัวได้ยากและเกิดการสะสมและตกค้างในแหล่งน้ำ ทำให้สมดุลในสภาวะแวดล้อมทางน้ำเปลี่ยนแปลงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ อย่างไรก็ตามการย่อยสลายทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำปริมาณจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ หรือระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย หากปัจจัยเหล่านี้มีจำกัดจะทำให้การสลายตัวช้าลง

2. สารลดความกระด้างของน้ำ สารลดความกระด้างบางชนิดเช่น ฟอสเฟต และโพลิฟอสเฟตประกอบด้วยฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหาร เมื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของ แหล่งน้ำมากเกินไป พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และเมื่อตายลงก่อให้เกิดปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำสารลดความกระด้างของน้ำชนิดอื่น เช่น zeolite, polyacrylates, NTA, EDTA และ phosphonate สลายตัวได้ค่อนข้างช้า ส่วน EDTA และ phosphonate เชื่อว่าทำให้เกิด mobility ของโลหะหนักเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ NTA ยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย

3. สารกันเสีย สารกันเสียบางชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และบางชนิดมีความเป็นพิษเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ และ isothiozolinones สามารถทำให้เกิดอาการแพ้ได้ นอกจากนี้สารกันเสียยังทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดของเสียลดลงโดยฆ่าแบคทีเรียที่มีความ จำเป็นในกระบวนการบำบัด

4. สารทำอิมัลชัน สารทำอิมัลชันบางชนิดย่อยสลายได้ยาก หรือไม่ย่อยสลาย ทำให้เกิดการตกค้างและสะสมในสิ่งแวดล้อม บางชนิดมีความเป็นพิษ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร

5. ตัวทำละลาย ตัวทำละลายบางชนิดใช้ mineral oil เป็นวัตถุดิบและใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ซึ่ง mineral oil เป็นทรัพยากรที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (non-renewable resource) นอกจากนี้การปลดปล่อยตัวทำละลายสู่อากาศทำให้เกิดโอโซนในบรรยากาศชั้นล่าง ซึ่งเป็น อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

2.5.3 การทิ้งหลังการใช้งาน ภาชนะที่ใช้บรรจุ มักทำจากพลาสติกหรือวัสดุกันน้ำ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์หมดแล้วบรรจุภัณฑ์เหล่านั้นจะกลายเป็นขยะมูลฝอย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

3. ฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ได้แก่ สูตรกรด สูตรด่าง และสูตรสารลดแรงตึงผิว ผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทประกอบด้วยสารเคมี 6-10 ชนิด บางชนิดมีความเป็นกรดหรือด่างสูง เมื่อมีความเข้มข้นมาก จะมีฤทธิ์กัดกร่อนซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค บางชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก บางชนิดเป็นพิษ เมื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำและดินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้

การออกข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว จะช่วยลดปริมาณการปล่อยสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลง

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว ในที่นี้ครอบคลุมถึง

- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวที่อยู่ในรูปของของแข็ง
- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวที่อยู่ในรูปของของเหลว

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับขจัดคราบสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เกาะอยู่ตามพื้นผิว โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารลดแรงตึงผิว หรือกรด หรือด่าง หรือตัวทำละลายอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งอย่าง

3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

3.1.1 ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการทดสอบตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.7

3.1.2 กระบวนการผลิต และการกำจัดของเสีย ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของราชการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว

หัวข้อ	สูตรกรด	สูตรด่าง	สูตรสารลดแรงตึงผิว	วิธีทดสอบ
1. ลักษณะทั่วไป – ของเหลว	เป็นของเหลวเนื้อเดียวปราศจากสิ่งแปลกปลอม	เป็นของเหลวเนื้อเดียวปราศจากสิ่งแปลกปลอม	เป็นของเหลวเนื้อเดียวปราศจากสิ่งแปลกปลอม	ตรวจพินิจ
– ของแข็ง	เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสิ่แปลกปลอมเจือปน	เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสิ่แปลกปลอมเจือปน	เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน	ตรวจพินิจ
2. ความเป็นกรด-ด่าง	-	-	-	-
3. ประสิทธิภาพในการทำความสะอาด	ถ้าสารออกฤทธิ์เป็นกรดไฮโดรคลอริกต้องชะล้างรอยเปื้อนภายใน 5 นาที 1	-	ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 [2)] สำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเครื่องครัว	1) มอก. 329 ข้อ 8.3 2) ร่าง มอก. ผลิต ภัณฑ์ทำความสะอาดเครื่องครัว ข้อ 7.3
4. สารทำความสะอาดหลัก (สารซักฟอก สังเคราะห์ หรือ สารลดแรงตึงผิว)	ต้องมีกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก[3)]	-	ต้องมีสารทำความสะอาดหลักไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก [4)] สำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้น	3) มอก.329 ข้อ 8.2 4) ร่างมอก. ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดประเภทสารลดแรงตึงผิวสำหรับพื้น ข้อ 7.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 ข้อกำหนดพิเศษ

3.2.1 ผลิตภัณฑ์ต้องย่อยสลายทางชีวภาพได้หมด (ready biodegradability) เมื่อทดสอบตามวิธีทดสอบที่กำหนดไว้ใน OECD 301 B หรือวิธีที่ผู้ทดสอบ (ตามหมายเหตุภายใต้ข้อ 6) ดัดแปลงมาจากวิธีทดสอบดังกล่าว หรือสารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์ต้องสามารถย่อยสลายได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 เมื่อทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์และทดสอบผงซักฟอก มาตรฐานเลขที่ มอก. 578

3.2.2 สารที่ห้ามมีในผลิตภัณฑ์

1. สารลดความกระด้างของน้ำ ชนิด

- phosphonates
- nitrilotriacetic acid

2. ตัวทำละลาย ชนิด

- cyclohexanone
- hexane
- methanol
- i-butanol
- n-butanol
- t-butanol
- dearomatised white spirit, D 100
- dearomatised white spirit, D 70
- cyclohexanol
- decane
- heptane
- i-paraffins
- methyl isobutyl ketone, MIBK
- higher aromates เช่น mesitylene
- chlorinated hydrocarbons
- toluene
- halogented organic solvents

3. สารทำอิมัลชัน ชนิด

- alkylphenol

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- dimethylsilicon copolymers
- fatty acid salts of di/triethanolamine
- branched carboxylic acids and alcohols
- quaternary protein hydrolysate
- PEG esters of branched carboxylic acids

4. กรด ชนิด

- sulfuric acid
- sulphonic acid

3.2.3 สารที่อนุญาตให้มีได้

- มีปริมาณฟอสเฟต เกลือโซเดียมและเกลือโปตัสเซียมไม่เกิน 0.5 % ของน้ำหนักทั้งหมดของฟอสฟอรัสในผลิตภัณฑ์
- สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (volatile organic compounds) ไม่เกินร้อยละ 25
- โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
- ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) ไม่เกินร้อยละ 0.2
- สารหนู (arsenic) ไม่เกิน 0.5 mg/l
- ตะกั่ว (lead) ไม่เกิน 0.5 mg/l
- แคดเมียม (cadmium) ไม่เกิน 0.1 mg/l
- โครเมียม (chromium) ไม่เกิน 0.5 mg/l
- ปรอท (mercury) ไม่เกิน 0.02 mg/l
- ซีลีเนียม (selenium) ไม่เกิน 0.5 mg/l
- นิกเกิล (nickel) ไม่เกิน 0.5 mg/l

3.3 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว

3.3.1 ประเภทของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สูตรกรด (acid cleaner) ใช้ทำความสะอาดคราบสนิม คราบตะกรันภายในห้องน้ำ สารทำความสะอาดหลัก (active ingredient: A.I.) ในผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น กรดเกลือ (กรดไฮโดรคลอริก) และอาจผสมกรดฟอสฟอริกและสารลดแรงตึงผิว เพื่อให้สารออกฤทธิ์สัมผัสกับผิวห้องน้ำได้ดีขึ้นและทำความสะอาดได้ทั่วถึงมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้ผลิตภัณฑ์สูตรนี้บ่อยๆ อาจทำให้ผิวหน้าของพื้นห้องน้ำค่อยๆ หลุดออกเมื่อใช้ไปเป็นเวลานานหรือถูกกัด

เซาะผิวหน้าจนผิวขุรขระไม่เรียบมัน ทำให้คราบสกปรกติด ฝังแน่นตรงรอยหยาบของผิวได้มากขึ้น

2. สูตรด่าง (alkaline cleaner) ใช้ทำความสะอาดคราบไขมันที่สกปรกมาก เช่น คราบน้ำมันตามพื้นผิว โรงงานที่มีคราบจารบี และคราบน้ำมันในสถานีบริการน้ำมัน สารทำความสะอาดหลักในผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) โซเดียมเมตะซิลิเกต โซเดียมไตรโพลิฟอตเฟต (STPP)

3. สูตรใส่สารลดแรงตึงผิว (neutral cleaner) ใช้ทำความสะอาดทั่วไป สารทำความสะอาดหลักที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีสมบัติเป็นตัวชักล้างหรือขจัดคราบแบบเดียวกับฟอก คือ ทำให้คราบสกปรกหรือคราบไขมันหลุดออกจากพื้นผิวและละลายน้ำออกไปได้ เช่น nonylphenol, LAS อย่างไรก็ตาม สารสูตรนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5-11 เหมาะกับการทำความสะอาดคราบไขมันเล็กน้อยและเป็นการทำความสะอาดประจำวันเท่านั้น ไม่เหมาะใช้กับงานหนัก

3.3.2 วัตถุดิบ ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวประกอบด้วย

1. สารประกอบหลัก

1.1 สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว มีหน้าที่หลักคือทำความสะอาด โดยทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปแล้วแขวนลอยอยู่ในน้ำ สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ กลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวส่วนใหญ่ เป็นไม่มีประจุ (nonionic) และชนิดประจุลบ (anionic) ส่วนชนิดสองประจุ (amphoteric) ใช้เป็น ส่วนน้อย ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ มีดังนี้

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เช่น

- alkyl sulphate
- alkane sulphonate
- alkyl ether sulphate
- alkyl aryl sulphonate เช่น linear alkyl benzene suplphonate (LAS)
- olefin sulphonate
- alkylcarboxylate, saponified fatty acid

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เช่น

- alkylethoxylate
- fatty acids alkanolamide
- aminoxide

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ เช่น

- betaine
- imidazoline-derivatives
- alkylamphocarboxyglycinate

1.2 กรด (acid) ทำหน้าที่ละลายแคลเซียมและขจัดคราบที่เกิดจากการตกตะกอนของอนุภาคโลหะ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดอ่าง กระเบื้องและโถส้วม ตัวอย่างเช่น phosphoric acid, hydrochloric acid, hydroxyacetic acid โดยเฉพาะ hydrochloric acid เป็นกรดแก่ สามารถกัดกร่อนโลหะได้เป็นอย่างดี

1.3 ด่าง (alkali) ทำหน้าปรับ pH ให้สูงขึ้นในขณะทำความสะอาด ทำปฏิกิริยาได้ดีกับไขมัน จึงใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดห้องครัว ซึ่งคราบสกปรกเกิดจากไขมัน เป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่น sodium hydroxide, sodium metasilicate, sodium carbonate, sodium bicarbonate, ammonia และ silicates

1.4 สารลดความกระด้างของน้ำ (builder) มีหน้าที่จับกับอนุภาคโลหะในน้ำกระด้าง ซึ่งขัดขวางความสามารถในการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว สารลดความกระด้างของน้ำบางชนิดช่วยทำให้สิ่งสกปรกแขวนลอยอยู่ในน้ำ ไม่กลับไปตกค้างบนพื้นผิวของสิ่งที่ถูกทำความสะอาด สารลดความกระด้างของน้ำแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- sequestering builders สารลดความกระด้างชนิดนี้จะจับกับอนุภาคของแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปกับการล้าง บางชนิดจะจับกับอนุภาคของโลหะหนักเช่น เหล็ก และแมงกานีส เช่น complex phosphates, ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) และ sodium citrate
- precipitating builders ทำหน้าที่กำจัดอนุภาคที่ทำให้เกิดความกระด้างของน้ำ โดยจับกับสารประกอบแคลเซียม เช่น sodium carbonate และ sodium silicate
- ion exchange builders ทำหน้าที่โดยการให้ประจุ เช่น sodiumaluminosilicate (zeolite)

1.5 ตัวทำละลาย (solvents) ทำหน้าที่ละลายไขมัน และเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ethanol, propyleneglycol, glycerol, ethanolamine, polyethyleneglycols และ glycol ethers/acetates

2. สารประกอบที่อาจมีได้

2.1 สารขัดถู (abrasive) ทำให้การขัดถูมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น silica, calcium

2.2 สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agents) ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและไวรัสโดยขัดขวางกระบวนการสันดาปภายในหรือทำลายผนังเซลล์ ตัวอย่างเช่น alcohol, sodium hypochlorite, iodine, pine oil, benzalkonium (quaternary ammonium compounds) มักใส่ในสูตร ด่างและสูตรสารลดแรงตึงผิว

2.3. สารฟอกสี (bleaching agents) ทำหน้าที่กำจัดสิ่งสกปรกและคราบสกปรก โดยทำให้สิ่งสกปรกแตกตัวเล็กลง สิ่งสกปรกที่มีสีจะถูกออกซิไดซ์ให้ไม่มีสี และกลายเป็นรูปที่สามารถกำจัดได้ง่าย นอกจากนี้สารฟอกสีบางตัวยังสามารถทำหน้าที่ฆ่าเชื้อโรคด้วย ตัวอย่างเช่น sodium hypochlorite

2.4 สี (colorants) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเฉพาะและดึงดูดใจผู้บริโภค

2.5 น้ำหอม (fragrances) ใช้ปกปิดกลิ่นของสารเคมีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและกลิ่นของสิ่งสกปรก

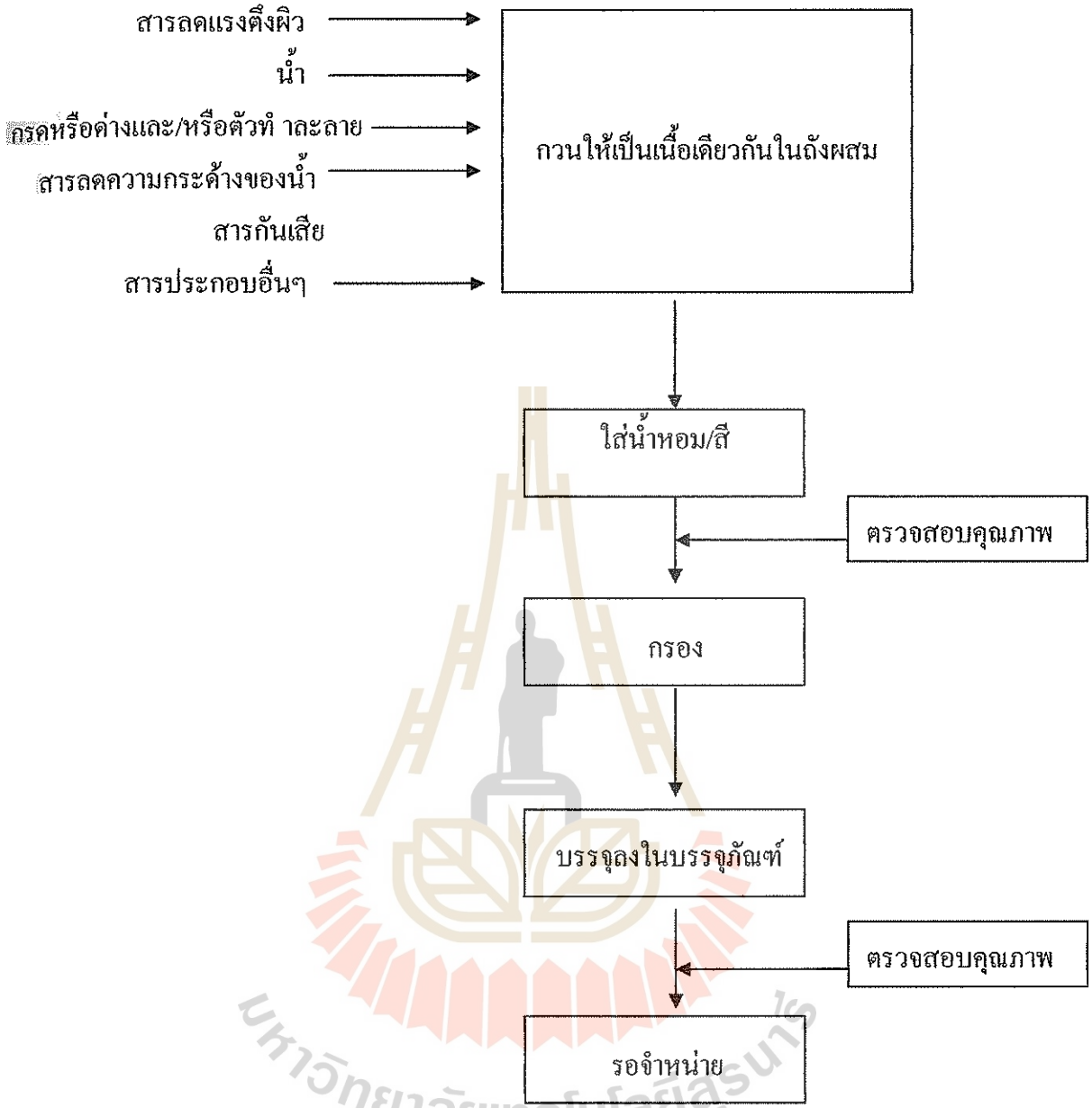
2.6 สารโพลิเมอร์ (polymers) เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลเล็กๆ มากมาย เมื่อสารโพลิเมอร์แห้งจะจับตัวเป็นฟิล์มปกป้องพื้นผิวและอาจทำให้เกิดความเงางาม ซึ่งนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ถนอมพื้น

2.7 สารกันเสีย (preservatives) ทำหน้าที่ป้องกันผลิตภัณฑ์จากการเสื่อมอายุ การเปลี่ยนสี การถูกออกซิไดซ์และแบคทีเรีย ตัวอย่างเช่น butylated hydroxyl toluene, ethylene diamine tetraacetic acid และ glutaraldehyde

3.4 กรรมวิธีผลิต

ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวโดยนำส่วนประกอบต่างๆ ตามสูตรของแต่ละบริษัทมาผสมกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์รอการจำหน่ายต่อไป (ภาพที่ 2.4)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.4 : กรรมวิธีผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว

ที่มา: บริษัทผู้ผลิต (พ.ศ. 2542)

3.5 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ในระหว่างการผลิต ในระหว่างการใช้งาน และการทิ้งหลังการใช้งาน (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 ผลกระทบเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspect)	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว				
	ก่อนผลิต	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) เช่น					
- วัตถุดิบ	○	○	×	×	×
- พลังงาน	○	○	○	×	×
- น้ำ	○	○	×	○	×
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)	○	×	○ [3]	×	○
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into)					
- อากาศ	○	● *	○	● [4]	● [4]
- น้ำ	○	● *	×	●	●
- ดิน	○	● *	×	●	●
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)	○	○ [1]	○ [1]	×	● [1]
ผลกระทบอื่นๆ (other impacts)	○	○ [2]	○	● *	×
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)				● **	
ความปลอดภัย (safety)				● **	

หมายเหตุ

● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในการออกข้อกำหนด

○ มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

× ไม่เกี่ยวข้อง

* มีข้อบังคับตามกฎหมาย

** มีข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1) บรรจุภัณฑ์

2) กลิ่น

3) SOx, NOx และ CO

4) ไอกรด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5.1 ในระหว่างการผลิต ในขณะผลิตมีการใช้ทรัพยากร เช่น วัตถุดิบ น้ำ และพลังงาน มีการปล่อยมลพิษสู่อากาศ น้ำและดิน เช่น ไอของกรดที่ใช้เป็นส่วนผสม กลิ่น และการล้างถังที่ใส่ส่วนผสมของสารเคมี นอกจากนี้ ยังมีขยะจากบรรจุภัณฑ์ที่ใส่สารเคมีอีกด้วย

3.5.2 ในระหว่างการใช้งาน ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวเกิดจากสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรด ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวบางชนิดมีส่วนผสมของกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก ถ้ามีความเข้มข้นมากจะมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยมีอันตราย ต่อระบบหายใจ ปอด ผิวหนังและตา ทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างแรง ปวดแสบปวดร้อน และเป็น แผลไหม้ได้ และเมื่อทิ้งออกไปจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม

2. สารลดแรงตึงผิว บางชนิดไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ บางชนิดย่อยสลายได้ยาก บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ส่วนที่ละลายไขมันของสารลดแรงตึงผิวจะแทรกผ่านเข้าไปในเหงือกปลา ทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณเกลือแร่เสียไป นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวที่ผลิตจากสารปิโตรเคมีจะปลดปล่อยเบนซีนและสารเคมีที่เป็นพิษสู่สิ่งแวดล้อมในระหว่าง กระบวนการผลิตอีกด้วย ตัวอย่างเช่น alcohol ethoxylate (AEO) สามารถซึมผ่านผิวหนัง ทำให้เกิดการกดประสาทส่วนกลาง และการหายใจ ทำให้ไตวายได้ linear alkyl benzene sulphonate มีความเป็นพิษปานกลาง ทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อผิวหนังและตาและอาการคลื่นไส้อาเจียน

3. สารลดความกระด้างของน้ำ สารลดความกระด้างของน้ำที่เป็นสารประกอบฟอสเฟต ซึ่ง เป็นสารอาหาร จะทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ของแหล่งน้ำ ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโต อย่างรวดเร็ว และเมื่อตายลงจะทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น และไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นได้เต็มที่ และสารลดความกระด้างของน้ำบางตัว เช่น EDTA เป็นสารประกอบปิโตรเลียมที่ผลิตจากethylene dichloride ซึ่งคาดว่า เป็นสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก ทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว

4. ตัวทำละลาย ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวบางชนิดผลิตจาก mineral oil ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ส่วน d-limonene เป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ตา และเยื่อเมือก และมีรายงานว่าทำให้เกิดเนื้องอกในหนู และสงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

5. สารฟอกสี ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวบางชนิดใช้คลอรีนเป็นสารฟอก ซึ่งคลอรีนเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง เมื่อหายใจเข้าไปจะมีผลต่อเยื่อบุและเยื่อเมือกต่างๆ และเชื่อว่าเป็นสารก่อมะเร็งด้วย

6. สารทำให้ข้น สารเคมีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้น เช่น sulphate ทำให้เกิดการผุกร่อน ของท่อซีเมนต์ ส่วน urea เป็นธาตุอาหาร ซึ่งสามารถทำให้เกิด eutrophication นำไปสู่การเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ สาร cumenesulphonate ไม่สามารถแตกตัวในสภาวะที่มีออกซิเจนอิสระ และ carboxymethylcellulose (CMC) เป็นสารที่แตกตัวได้ยาก

7. สารกันเสีย ใช้ยับยั้งการเติบโตของเชื้อรา u3649 แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ความจำเป็นในการใช้สารกันเสียขึ้นกับปริมาณสารอาหารในผลิตภัณฑ์ เช่น โปรตีน ปกติจะใช้ในปริมาณน้อย คือ ไม่เกินร้อยละ 0.1 สารกันเสียสามารถลดประสิทธิภาพของระบบบำบัดของเสีย โดยกำจัดแบคทีเรียที่มีความจำเป็นในกระบวนการทางชีวภาพระบบบำบัด บางชนิดมีความเป็นพิษเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ และisothiazolinones เป็นสารที่ทำให้เกิดการแพ้

8. สารขัดถู ในกระบวนการผลิต titanium dioxide ซึ่งใช้เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้สารขัดถู ใช้วัตถุดิบในการผลิตคือ กรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นสารอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

3.5.3 การทิ้งหลังการใช้งาน บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวส่วนใหญ่เป็นพลาสติก ซึ่งย่อยสลายได้ยากทำให้เกิดเป็นขยะสะสมให้สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวที่ตกค้างในบรรจุภัณฑ์อาจรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารได้

4. ฉลากเขียวสำหรับสารซักฟอก

สารซักฟอกเป็นผลิตภัณฑ์เคมีที่มีส่วนประกอบสำคัญคือสารลดแรงตึงผิว สารลดความกระด้างของน้ำ และสารประกอบอื่นๆ มากกว่า 20 ชนิด ผลกระทบของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดอยู่ในช่วงการใช้งาน เนื่องจากสารเหล่านี้บางชนิดมีการสะสมในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำและดินได้

การกำหนดให้สารซักฟอกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ดีในสภาพธรรมชาติ การลดปริมาณเฟอสเฟตลง การสนับสนุนให้ใช้บรรจุภัณฑ์น้อยลงหรือสามารถนำกลับมาแปรใช้ใหม่จะช่วยให้ประเทศไทยประหยัดทรัพยากร ลดการปนเปื้อนของสารเคมีและธาตุอาหารลงในแหล่งน้ำ ตลอดจนลดภาระและ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียลง

"สารซักฟอก" ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

1. แบบชนิดผง ได้แก่

1.1 ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (standard laundry powder detergent)

- ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ
- ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า

- ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า

1.2 ผงซักฟอกสูตรเข้มข้น (concentrated laundry powder detergent)

- ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือ
- ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
- ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า

2. แบบชนิดน้ำ ได้แก่

2.1 น้ำยาซักฟอก (laundry liquid detergent)

สารซักฟอก (laundry detergent) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง (powder) หรือ ของเหลว (liquid) ที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลัก สำหรับใช้ซักผ้า

สารลดแรงตึงผิว (surface-active agent or surfactant) หมายถึง สารซึ่งเมื่อละลายในน้ำ แล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ

สารลดความกระด้างของน้ำ (sequestering builder) หมายถึง สารที่ลดความกระด้างของน้ำ และช่วยให้สารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พลาสติกที่ใช้แล้ว (recycled plastic) หมายถึง ขยะพลาสติก (post-consumer plastic) รวมถึงเศษพลาสติกและของเสียพลาสติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิตในโรงงาน (production or processing overrun and waste)

เยื่อเวียนทำใหม่ (recycled pulp) หมายถึง เยื่อกระดาษที่ทำจากวัตถุดิบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษที่ผ่านการซื้อขายและการบริโภคแล้วเท่านั้น

4.1 ข้อกำหนดทั่วไป

4.1.1 ผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพได้ระดับมาตรฐานของประเทศ หมายเหตุ สารซักฟอกที่สามารถจัดจำหน่ายได้ในประเทศไทย ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก มาตรฐานเลขที่มอก. 78 ซึ่งเป็นมาตรฐานบังคับอยู่แล้ว

4.1.2 ในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัดของเสียหลังใช้ผลิตภัณฑ์ ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของทางราชการ เช่น พระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กรณีที่โรงงานอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการนิคมอุตสาหกรรม

4.2 ข้อกำหนดพิเศษ

4.2.1 สารซักฟอกทั้งหมดต้องย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (aerobic biodegradable) และ/ หรือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic biodegradable) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

4.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

1.ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้น ชนิดซักฟอกด้วยมือ ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 10.5

2. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้น ชนิดซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 10.5

3. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้น ชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 11

4. น้ำยาซักฟอก ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 10.5

4.2.3 สารที่ห้ามมีในผลิตภัณฑ์

1.สารที่ได้รับการพิจารณาเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen), เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (genotoxic), สารที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (mutagen), สารที่ทำให้ตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไป (teratogen), สารพิษต่อการสืบพันธุ์ (toxic to reproduction) ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

2. สารประกอบคลอรีน (reactive chlorine compounds) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite), สารประกอบคลอรีนอินทรีย์ (organic chlorine compounds)

3. ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) หรือ สารประกอบอื่นๆ ของ EDTA

4. alkyl phenol ethoxylates (APEO)

5. nitrilotriacetic acid (NTA) หรือสารประกอบอื่นของ NTA

6. halogenated hydrocarbon

7. ฟอร์มาลิน (formalin)

4.2.4 สารที่อนุญาตให้มีได้

1. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ชนิดซักฟอกด้วยมือ และชนิดซักฟอกด้วยมือ และเครื่องซักผ้า ใส่ฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) ได้ไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

2. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า ใส่ฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) ได้ไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

3. ผงซักฟอกสูตรเข้มข้น ชนิดซักฟอกด้วยมือ และชนิดซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า ใส่ฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) ได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

4. ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า ใส่ฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) ได้ไม่เกินร้อยละ 28 โดยน้ำหนัก

5. น้ำยาซักฟอก ใส่ฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) ได้ไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

6. น้ำหอมที่ใส่ต้องได้รับการรับรองจาก International Fragrance Raw Material Association หรือ Research Institute for Fragrance Material

4.2.5 บรรจุภัณฑ์

1. ไม่ใช้ หมึก สี เม็ดสี (pigment) หรือ สารเติมแต่ง (additive) อื่นๆ ที่มีส่วนผสมของโลหะหนักพวกตะกั่ว ปรอท แคดเมียมและโครเมียม และอนุญาตให้มีความเข้มข้นของ combined contamination ได้ไม่เกิน 250 ppm

2. กรณีบรรจุภัณฑ์พลาสติก

- ต้องใช้สัญลักษณ์บ่งบอกประเภทของพลาสติกที่ใช้บนบรรจุภัณฑ์
- ห้ามใช้พลาสติกประเภทโพลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride: PVC) หรือ chlorinated ทำเป็นบรรจุภัณฑ์หรือฉลาก
- ควรทำจากพลาสติกที่ใช้แล้วภายในประเทศมาแปรใช้ใหม่

3. กรณีบรรจุภัณฑ์กระดาษ ต้องทำจากเยื่อเวียนทำใหม่อย่างน้อยร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก

4.3 รายละเอียดของสารซักฟอก

สารซักฟอกเป็นสินค้าอุปโภคบริโภคที่จำเป็นอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวัน เพื่อชำระล้างสิ่งสกปรกออกจากเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มและภาชนะต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือเครื่องจักรกลโรงงานแต่ที่ใช้กันมากคือใช้ซักล้างเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม ได้มีการผลิตสารซักฟอกขึ้นใช้เป็นครั้งแรกในประเทศเยอรมันในระยะสงครามโลกครั้งที่ 1 เนื่องจากในขณะนั้นไขวัวและน้ำมันพืชซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตสบู่เกิดขาดแคลน นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นสารสังเคราะห์ขึ้นใหม่ต่อมาจึงได้มีการค้นคว้าพัฒนาสูตรสารซักฟอกอย่างกว้างขวางพร้อมกับความนิยมใช้สารซักฟอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประเทศไทยโดยบริษัท หลุยส์ทีเลียว โนเวนส์ จำกัด ได้นำเข้าสารซักฟอกยี่ห้อ “แฟ้บ” จากต่างประเทศมาในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้แทนสบู่ในการซักเสื้อผ้าและชำระล้างสิ่งสกปรกอื่นๆ ปรากฏว่าเป็นที่นิยมของประชาชนโดยทั่วไป เพราะสามารถชำระล้างสิ่งสกปรกได้ดีกว่าสบู่และสะดวกในการใช้มากกว่า บริษัทผู้ผลิตแฟ้บ คือบริษัท คอลเกต ปาล์มโอลีฟ จำกัด จึงได้ตั้งโรงงานผลิตและจำหน่ายสารซักฟอกในประเทศขึ้นในปี 2500 และต่อมาได้มีผู้ผลิตสารซักฟอกเกิดขึ้นอีกหลายบริษัท

4.3.1 ประเภทของสารซักฟอก

การผลิตสารซักฟอกมีการพัฒนาตามลำดับ โดยเน้นความสะอาดในการใช้และสอดคล้องกับพฤติกรรมที่เปลี่ยนไป ทำให้สารซักฟอกที่ผลิตอยู่ในปัจจุบันมีทั้งผงและน้ำ สามารถแบ่งการผลิตสารซักฟอกตามลักษณะการใช้งานดังนี้

- สารซักฟอกชนิดที่เหมาะสำหรับซักด้วยมือ
- สารซักฟอกชนิดที่เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องซักผ้า และ

- สารซักฟอกชนิดที่เหมาะสำหรับใช้ทำความสะอาดเครื่องจักรเครื่องยนต์ในโรงงาน

สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดนี้แต่ละชนิดจะมีส่วนผสมของสารเคมีแตกต่างกัน จึงมีสมบัติและความสามารถในการซักฟอกไม่เหมือนกัน ฉะนั้นในการใช้งานผู้ใช้จึงต้องเลือกสารซักฟอกให้ตรงกับงานที่ใช้ด้วย เช่น สารซักฟอกที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องจักรเครื่องยนต์นั้นมีข้อสังเกตว่าจะไม่มีกลิ่นหอม และราคาถูกกว่าสารซักฟอกที่ซักด้วยมือ

เมื่อแบ่งประเภทของสารซักฟอกตามสารลดความกระด้าง (builder) จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

- ชนิดที่ไม่มีสารลดความกระด้าง (unbuilt) ใช้ในการล้างในอุตสาหกรรมเท่านั้น
- ชนิดที่มีสารลดความกระด้าง (built) ใช้ตามบ้านเรือน (laundry detergent)

เพื่อขจัดความสกปรกของเสื้อผ้า และสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยคือ

- สารซักฟอก สูตรฟอสเฟต
- สารซักฟอก สูตรฟอสเฟตต่ำ (low phosphate)
- สารซักฟอก สูตร ไม่มีฟอสเฟต (phosphate-free หรือ non-phosphate)

สำหรับในประเทศไทยผงซักฟอกที่ใช้เป็นสูตรฟอสเฟตจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2534 จึงมีการเสนอผงซักฟอกสูตรฟอสเฟตต่ำ โดยใช้สารซีโอไลต์ทดแทนสารฟอสเฟตส่วนหนึ่งเข้ามาในตลาดสารซักฟอก

4.3.2 วัตถุดิบและส่วนประกอบของสารซักฟอก

สารซักฟอกเป็นผลิตภัณฑ์เคมี ใช้วัตถุดิบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสูตรการผลิตของแต่ละโรงงานและสารเคมีบางตัวอาจใช้แทนกันได้ วัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนประกอบของสารซักฟอกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. ส่วนประกอบหลัก

1.1 สารลดแรงตึงผิว เป็นพวกสารอินทรีย์ ทำหน้าที่เป็นตัวละลายไขมัน ช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้น้ำซึมเข้าไปสัมผัสกับสิ่งสกปรกต่างๆ ได้ จึงสามารถชำระล้างสิ่งสกปรกออกมาได้ทั้งในน้ำกระด้างและน้ำธรรมดา สารนี้ต้องเป็นสารเคมีประเภทมีประจุลบ (anionic) ประจุบวก (cationic) หรือไม่มีประจุ (nonionic) ประเภทใดประเภทหนึ่งหรือผสมกัน ในกรณีที่เป็นสารเคมีประเภทมีประจุลบต้องไม่เป็นแอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branched alkylbenzene sulphonate) เช่น โซเดียมแอลคิลอะริลซัลโฟเนต (sodium alkyl aryl sulphonate) ส่วนสารลดแรงตึงผิวประเภทมีประจุบวก เช่น เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (cetyl trimethyl ammonium bromide) และสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ

เช่น เอทิลินออกไซด์คอนเดนเซตออฟแอลคิลแฟตตีแอลกอฮอล์ (ethylene oxide condensate of alkyl fatty alcohols) สารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ชำระล้างสิ่งสกปรก มีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 สำหรับผงซักฟอกชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า และไม่น้อยกว่าร้อยละ 18 สำหรับผงซักฟอกชนิดซักฟอกด้วยมือ

1.2 สารลดความกระด้างของน้ำ เช่น โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate:STPP) โซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) เกลือของกรดไนทริโลไตรแอซีติก (nitrilotriacetic acid: NTA) เกลือของกรดเอทิลีนไดแอมีนเททระแอซีติก (ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) กรดซิตริกและอนุพันธ์ของกรดซิตริก (citricacid and derivatives) ซีโอไลต์ (zeolite) สารใดสารหนึ่ง หรือผสมกัน สารพวกนี้ไม่ช่วยให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเสื้อผ้าหรือจากของใช้โดยตรง แต่ทำหน้าที่เสริมประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวโดยทำให้น้ำเป็นด่างเหมาะแก่การปฏิบัติงานของสารซักฟอก สารซักฟอกทั่วไปมีปริมาณฟอสเฟต (P_2O_5) ไม่เกินร้อยละ 20 สารลดความกระด้างมีหน้าที่ช่วยแก้ความกระด้างของน้ำ เนื่องจากความ กระด้างของน้ำ (Ca^{+2}, Mg^{+2}) จะรบกวนการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่จะดึงสิ่งสกปรกออกจาก ผ้า นอกจากนี้สารลดความกระด้างยังช่วยควบคุมสมดุลของค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะและคงที่ได้ด้วย สารลดความกระด้างมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น

1.2.1 สารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต

สาร STPP มีสูตรโมเลกุล $Na_5P_3O_{10}$ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่สำคัญคือ เทอร์มัลฟอสฟอริกแอซิดและโซดาแอชเข้มข้น ปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกกับโซดาแอชเข้มข้นจะให้ของผสมระหว่างโมโนและไดโซเดียมออร์โทฟอสเฟต STPP ได้จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) ของของผสมระหว่างโมโนและไดโซเดียมออร์โทฟอสเฟตที่อุณหภูมิสูง (500°C) STPP ที่ผลิตได้ในประเทศไทยใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารซักฟอกเป็นส่วนใหญ่ นอกนั้น STPP สามารถที่ใช้ในระบบเตรียมน้ำประปา อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก สารช่วยถนอมอาหารทะเล อุตสาหกรรมสี เป็นต้น

สาร STPP ในสารซักฟอกจะลดความกระด้างโดยดึงอนุภาคแคลเซียม (Ca^{+2}) และแมกนีเซียม (Mg^{+2}) ออกจากน้ำ แคลเซียมหรือแมกนีเซียมจะเข้าแทนที่โซเดียมในโมเลกุลของ STPP ส่วนประกอบ STPP ในสารซักฟอกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย เมื่อคำนวณจากน้ำหนักของสารซักฟอกจะมีส่วนผสมที่เป็นสาร STPP ซึ่งคำนวณในรูปของฟอสเฟตทั้งหมด

(คำนวณเป็นฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์: P_2O_5) กำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 20 และ 28 ในผงซักฟอกชนิดซักฟอกด้วยมือและด้วยเครื่องซักผ้าตามลำดับ

ในหลายประเทศทางยุโรปที่ยังไม่มีข้อจำกัดการใช้ STPP จะมีส่วนประกอบ STPP ในสารซักฟอกใกล้เคียงกัน เช่น ประเทศอังกฤษมีปริมาณ STPP ร้อยละ 18-25 ซึ่งสังเกตได้ว่าน้อยกว่าข้อกำหนดสูงสุดของประเทศไทย เล็กน้อย กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ทำการสุ่มตัวอย่างจากผงซักฟอกในท้องตลาดจำนวน 60 ตัวอย่าง และทดสอบหาปริมาณฟอสเฟต (คำนวณเป็น P_2O_5) พบว่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.4-28.1 ส่วนความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของผงซักฟอกในประเทศไทยอยู่ ระหว่างร้อยละ 88-98

STPP เป็นสารลดความกระด้างที่ทำหน้าที่ได้ประสิทธิผลดีแต่สามารถ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ หลายประเทศมีความเห็นว่าฟอสเฟตอาจเป็นต้นเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ในแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงได้ให้ความสนใจกับสารซักฟอกที่ไม่มีส่วนประกอบของฟอสเฟตโดยใช้ สารอื่นทดแทนเป็นสารลดความกระด้าง

1.2.2 สารทดแทนสารประกอบ STPP

สารทดแทนสารประกอบ STPP มีหลายชนิด แต่มีเพียง 5 ชนิดเท่านั้นที่ใช้อยู่ในประเทศต่างๆในปัจจุบัน โดยใช้ในรูปของสารลดความกระด้างโดยตรง หรือเป็นสารร่วมในการลดความกระด้าง (co-builder) ได้แก่

- ไนทริโลไตรแอซีติก

สารไนทริโลไตรแอซีติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ แอมโมเนีย ฟอร์มาลดีไฮด์ กรดไฮโดรไซยานิก อนุมูลความกระด้าง (Ca^{+2},Mg^{+2}) ในน้ำจะถูกเปลี่ยนกับเกลือไตรโซเดียมของสาร NTA ทำให้ลดความกระด้างของน้ำลง ซึ่งจะทำหน้าที่ได้ดีในสภาวะน้ำที่เป็นด่าง ราคาของสาร NTA แพงกว่า STPP ประมาณร้อยละ 50 แต่ใช้ปริมาณน้อยกว่า

- ซิเทรต

ซิเทรตเป็นเกลือของกรดซิตริก (citric acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ ข้อเสียของสารซิเทรตในการใช้เป็นสารลดความกระด้าง คือประสิทธิภาพจะลดลงที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ซิเทรตยังมีประสิทธิภาพต่ำในการลดความกระด้างที่เกิดจากอนุมูลแคลเซียมเมื่อเทียบกับความกระด้างที่เกิดจากอนุมูลแมกนีเซียม อย่างไรก็ดีซิเทรตยังใช้เป็นสารลดความกระด้างในหลาย ๆ

ประเทศ โดยเป็นส่วนประกอบในสารซักฟอกที่ใช้ซักล้างที่อุณหภูมิต่ำ ในประเทศไทยไม่นิยมใช้สารประกอบนี้เพราะมีราคาแพงคือประมาณ 40 บาท ต่อ 1 ลิตร ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีรายงานที่แสดงถึงความเป็นพิษของซิเทรตต่อสุขภาพ และเนื่องจากเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ จึงสามารถถูกกำจัดในระบบบำบัดน้ำเสียได้ (ถ้ามี)

- เกลือของกรดโพลิคาร์บอกซีลิก

โพลิคาร์บอกซีเลตเป็นเกลือโพลิเมอร์ของกรด ซึ่งได้แก่ กรดอะคริลิก (acrylic acid) กรดมาลีอิก (maleic acid) สมบัติในการลดความกระด้างขึ้นอยู่กับขนาดของโพลิเมอร์ กลไกในการลดความกระด้างของ PCA เป็นแบบ electrostatic binding และ site binding ในกลไกแรกอนุมูลประจุตรง ข้ามจะถูกตรึงโดยสภาพประจุไฟฟ้ารอบ ๆ โมเลกุลของโพลิเมอร์ ในขณะที่กลไกที่สองจะลดความกระด้างเนื่องจาก active site ของอนุมูลโพลิเมอร์รวมกับอนุมูลประจุตรงข้าม โดยเฉพาะอนุมูลที่มีขนาดใหญ่กว่าจะรวมกันได้ดีขึ้น ($Ca^{+2} > Li^{+} > Na^{+} > K^{+}$) PCA ใช้ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับสารทดแทนอื่นโดยให้สมบัติเท่ากัน ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นสารลดความกระด้างร่วม ทั้งนี้เนื่องจากราคาที่สูงและย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก สำหรับในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษนั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัด เนื่องจากมีข้อมูลการวิจัยไม่พอที่จะสรุปได้

- ฟอสฟอเนต

ฟอสฟอเนตเป็นเกลืออยู่ในกลุ่มของกรดฟอสฟอนิก (phosphonic acids) ซึ่งมีสารฟอสฟอรัสและไนโตรเจน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีสมบัติและราคาแพง เช่นเดียวกับ PCA ย่อยสลายยาก ปัจจุบันมักใช้เป็นสารร่วมลดความกระด้าง รายงานในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษยังมีอยู่น้อยเช่นเดียวกัน

- ซีโอไลต์

สารซีโอไลต์เป็นผลึกอนินทรีย์ของอะลูมิโนซิลิเคต ซึ่งมีพื้นที่ผิวภายในสูงมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวภายนอก สังเคราะห์ขึ้นโดยเลียนแบบดินขาว (kaolin clay) ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ประกอบด้วย 1 โมลของโซเดียม 1 โมลของอะลูมินา 2 โมเลกุลของซิลิกาและ 4.5 โมลของน้ำ สารซีโอไลต์สามารถลดความกระด้างของน้ำโดยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุเช่นเดียวกับสาร STPP โดยที่แคลเซียม (Ca+2) และแมกนีเซียม (Mg+2)

จะแลกเปลี่ยนประจุกับโซเดียมในสารทั้งสองได้มีการศึกษาทางด้านประสิทธิภาพของการลดความกระด้างในน้ำ ระหว่างซีโอไลต์และ STPP พบว่าเวลาที่ใช้ในการลดปริมาณแคลเซียมในน้ำอุณหภูมิต่ำของซีโอไลต์นานกว่า STPP ประมาณ 3 เท่า กล่าวคือซีโอไลต์ใช้เวลา 3 นาที ในขณะที่ STPP ใช้เวลา 1 นาที ซีโอไลต์เมื่อเทียบกับสารทดแทนอื่นๆ ในปริมาณเดียวกันจะมีความสามารถในการลดความกระด้างได้ต่ำกว่า และจะลดความกระด้างที่เกิดจากอนุมูลแคลเซียมได้ดีกว่าที่เกิดจากอนุมูลแมกนีเซียม ขนาดของซีโอไลต์มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความกระด้างเช่นกัน ซีโอไลต์ควรมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (μm) เพื่อที่จะให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุได้เร็วขึ้นและลอดผ่านเส้นใยของเยื่อผิวได้ จึงจะทำให้สารซักฟอกมีประสิทธิผลสูง สำหรับการใช้สารลดความกระด้างในประเทศไทย ได้มีการนำซีโอไลต์มาใช้ทดแทน STPP ในสูตรบางส่วน

1.2..3 สารรักษาระดับความเป็นด่าง (alkaline builder) เป็นสารที่รักษาระดับความเป็นด่างให้คงที่ตลอดช่วงการใช้งาน ได้แก่ โซเดียมซิลิเคต (sodium silicate) โซเดียมคาร์บอเนต(sodium carbonate) โซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (sodium sesquicarbonate) สารใดสารหนึ่ง หรือผสมกัน ช่วยให้สารซักฟอกไม่กัดภาชนะที่ใช้ซัก กันสนิม และช่วยเสริม สร้างประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว

1.2.4 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นตัวกันไม่ให้เกิดตะกอนขึ้นในระหว่างองค์ประกอบ ต่างๆ มีปริมาณร้อยละ 0-2

1.2.4 สารเพิ่มความสดใส (optical brightening agent or optical brightener) เป็นสารที่มีสมบัติดูดแสงอัลตราไวโอเลตไว้ ทำให้เกิดการเรืองแสงสะท้อนเข้าตาและทำให้เสื้อผ้าแลดูขาว นิยมใช้กันมากได้แก่ Stilbene derivative

2. ส่วนประกอบที่อาจมีได้

2.1 โซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) มักจะเติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณ เพราะโดยปกติเป็นสารที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์อยู่แล้ว และเป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของผงซักฟอก (processing aid)

2.2 สารเพิ่มฟอง (suds booster) เป็นสารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดฟองมากขึ้น ใช้เติมในผงซักฟอกชนิดซักด้วยมือหรือสารลดฟอง (sudsdepressor) เป็นสารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้ฟองลดลง ใช้เติมลงในผงซักฟอกชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า

2.3 สารฟอก (oxygen bleach หมายถึง สารที่อาศัยปฏิกิริยาของแนสแซนต์ออกซิเจน (nascent oxygen ในการฟอก) และสารฟอกต้นตอ (bleach precursor หมายถึงสารซึ่งเมื่อละลายในน้ำจะเกิดสารฟอกขึ้น) รวมทั้งสารคงสภาพของสารฟอกต้นตอ (stabilizer for bleach precursor หมายถึง สารซึ่งเมื่อผสมกับสารฟอกต้นตอแล้วทำให้สารฟอกต้นตอสลายตัวช้าลง) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์สารประกอบบางชนิดซึ่งลดการสะท้อนกลับของแสง ดังนั้นทำให้ผ้าดูขาวและสดใสขึ้น

2.4 สารช่วยการละลาย (hydrotrope) เป็นสารที่ทำ าให้สารซักฟอกแบบชนิดผงละลายน้ำได้ดีขึ้น

2.5 สารกันหมอง (anti-tarnishing agent) เป็นสารที่ช่วยให้สิ่งซักล้างส่วนที่เป็นโลหะไม่หมองคล้ำ

2.6 แอนติออกซิแดนต์ (anti-oxidant) เป็นสารที่ทำให้ส่วนประกอบบางอย่างของผงซักฟอกมีปฏิกิริยากับออกซิเจนช้าลง

2.7 เอนไซม์ (enzyme) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติช่วยย่อยโมเลกุลของโปรตีนหรือแป้งหรือไขมันให้เป็นหน่วยย่อยๆได้ ปัจจุบันนิยมใช้แพร่หลายมากขึ้น เพราะมีประสิทธิภาพในการชำระล้าง สามารถย่อยโปรตีนของเหงื่อไคล คราบโลหิต ปกติใช้ proteases และ amylases ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.8 น้ำหอม เพื่อให้กลิ่นหอมน่าใช้

2.9 สี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดูสวยงาม

2.10 สารกันการจับตัวเป็นก้อน

2.11 สารช่วยขับสิ่งสกปรก (soil releasing agent) เป็นสารที่ช่วยให้สิ่งสกปรกที่ติดเนื้อผ้าหลุดออกง่ายขึ้น

2.12 สารต้านจุลินทรีย์ (anti-microbial compound) เป็นสารที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.13 สารช่วยคงสภาพผิวหนัง (mildness additive) เป็นสารที่ช่วยให้ผงซักฟอกไม่ทำอันตรายผิวหนัง

2.14 สารคงสภาพการเก็บรักษา (storage stabilizer) เป็นสารที่ช่วยให้ผงซักฟอกเก็บไว้ได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ

2.15 สารช่วยให้ผ้านุ่ม (fabric softening agent) เป็นสารที่ช่วยทำให้ผ้านุ่มขึ้นหลังจากซักแล้ว

2.16 สารต้านไฟฟ้าสถิต (anti-static agent) เป็นสารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนเนื้อผ้า

2.17 สารต้านการกัดกร่อน (anti-corrosion) เป็นสารที่ช่วยลดการกัดกร่อนส่วนที่เป็นโลหะของเสื้อผ้า ช่วยป้องกันการสึกหรอของส่วนประกอบของเครื่องซักผ้า

2.18 สารป้องกันสิ่งสกปรกกลับเข้าเกาะ (anti-soil redeposition agent) เป็นสารที่ช่วยป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกกลับเข้าไปเกาะกับเนื้อผ้าที่สะอาดแล้ว เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose)

2.19 น้ำ

2.20 สารประกอบอื่นๆ อาจมีได้ และสามารถทดสอบได้ เช่น โซเดียมไฮโดรฟอสเฟต (sodium hydrophosphate) โซเดียมออร์โทฟอสเฟต (sodium orthophosphate)หรือ โซเดียมเมทา-ฟอสเฟต (sodium metaphosphate) ที่มีสมบัติเหมือน STPP ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์

4.4 กรรมวิธีผลิต

สารตั้งต้นในการผลิตผงซักฟอกมี 2 ชนิด คือ

1. branched alkyl benzene (BAB) สารตั้งต้นชนิดนี้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก เพราะทำให้เกิดฟองและสลายตัวยาวนาน เกิดน้ำเสียและทำลายสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2. linear alkyl benzene (LAB) สารตั้งต้นชนิดนี้สามารถแก้ปัญหาของ BAB ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า BAB ประมาณร้อยละ 10-25 ปัจจุบันโรงงานผลิตสารซักฟอกแบบธรรมดาสูตรมาตรฐานทั้งหมดภายในประเทศ ผลิตสารซักฟอกโดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบ LAB เพื่อให้ตรงตามมาตรฐานสารซักฟอกของทางราชการที่กำหนดให้ใช้สารลดแรงตึงผิวประเภท LAB เพื่อแก้ปัญหามลพิษตั้งแต่ปลายปี 2528 ซึ่งมีกรรมวิธีผลิตเป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. sulphonation-sulphation โดยนำ LAB ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมาทำปฏิกริยากับโอเลียม (oleum) หรือซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO3)

2. neutralization คือ นำวัตถุดิบที่ได้จากขั้นที่ 1 มาทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซดาไฟ (caustic soda) เพื่อเปลี่ยนกรดซัลโฟนิก (sulphonic acid)ให้เป็นเกลือโซเดียม (sodium salt) ซึ่งเป็นสารช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ในขั้นนี้ยังช่วยกำจัดกรดซัลฟิวริก (sulphuric acid)ให้หมดไปด้วย เพราะกรดซัลฟิวริกจะเป็นอันตรายต่อเส้นใยของผ้าและผิวหนังของคน

3. crutching คือ นำวัตถุดิบในขั้นที่ 2 มาผสมกับสารลดความกระด้างของน้ำ เช่น STPP ซีโอไลต์ ซิลิเคตและสารเติมแต่งอื่นอีกหลายชนิดตามสูตรของแต่ละโรงงานสำหรับสารซักฟอกแต่ละชนิด เพื่อช่วยให้การซักฟอกมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สารผสมที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวข้นๆ คล้ายแป้งเปียก (paste) เก็บไว้ในถังซึ่งอยู่ในระดับต่ำ (drop tank)

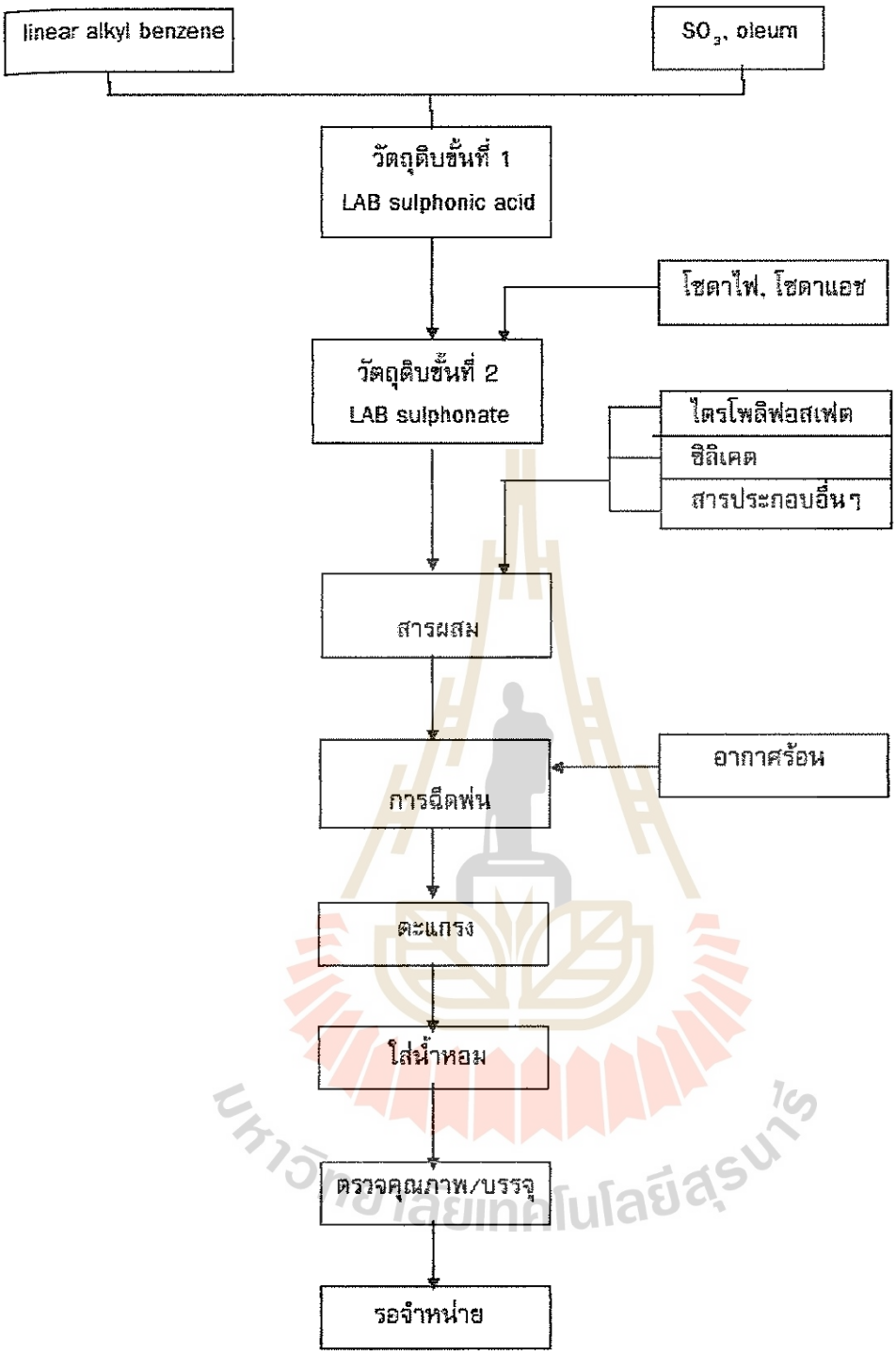
4. สูบ (pump) สารผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นขึ้นไปยังหอสูง (spray tower) เพื่อนำไปฉีดพ่น (spraying) ให้เป็นเม็ดด้วยความดันสูง ซึ่งปกติหอสูงจะมีความสูงประมาณ 80 ฟุต

เมื่อสารผสมที่ถูกฉีดออกมาปะทะกับลมร้อนก็จะกลายเป็นเม็ดผงซักฟอกเล็กๆ มีลักษณะแห้ง (dried granules) และนำเม็ดผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการไปหลอมตัวเป็นของเหลวใหม่ในขั้นที่ 3 ก่อนส่งกลับขึ้นมายังหอสูงเพื่อฉีดเป็นเม็ดให้ได้ขนาดตามความต้องการต่อไป

5. เม็ดผงซักฟอกเล็กๆ ที่ได้จะเคลื่อนไปยังไซโคลน โดยการดันขึ้นไปของลมเย็น เพื่อไล่ความชื้น และแยกเม็ดผงซักฟอกให้ได้ตามขนาดที่ต้องการโดยผ่านตะแกรง

6. นำเม็ดผงซักฟอกที่ได้ขนาดไปผ่านการฉีดน้ำหอมเพื่อช่วยให้ผ้าหรือสิ่งชำระล้างมีกลิ่นหอม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.5 : กรรมวิธีผลิตสารซักฟอกสูตรมาตรฐานภายในประเทศ

ที่มา : บริษัทผู้ผลิต (2542)

4.5 ผลกระทบของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของสารซักฟอก (ตารางที่ 2.9) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ในระหว่างการผลิต ในระหว่างการใช้งาน และการทิ้งหลังจากใช้งาน

ตารางที่ 2.9 ผลกระทบเบื้องต้นของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspect)	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว			
	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) เช่น				
- พลังงาน : น้ำมันเตา (ความร้อน)	○		-	×
: ไฟฟ้า	○		○	×
- น้ำ	○		○	×
- วัตถุดิบ	○		○ [1]	×
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)	×		×	×
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into)				
- อากาศ	● [2]*		×	×
- น้ำ	● *		●	● [3]
- ดิน	×		×	●
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)				
- การหลีกเลี่ยง (avoidance)	×		×	● [4]
- การลด (reduction)	×		×	● [4]
- การรีไซเคิล (recycle)	×		×	● [4]
มลภาวะอื่นๆ (other impacts)				
- เสียง	● *		×	×
- กลิ่น	●		×	×
- แสง	×		×	×
- ความร้อน	● *		×	×
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)	-		● **	-
ความปลอดภัย (safety)	-		● **	-

มายเหตุ ● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในการออกข้อกำหนด

○ มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

× ไม่เกี่ยวข้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) สารประกอบต่าง ๆ ในสารซักฟอก

2) SO_2, CO, blue smokและฝุ่น

3) บรรจุภัณฑ์สามารถนำมาใช้ใหม่หรือเติมใหม่ได้

4) สารลดแรงตึงผิว

* มีข้อบังคับตามพระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม

** มีข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก และพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. 2522

4.5.1 ในระหว่างการผลิต ในระหว่างการผลิตเกิดความร้อน ฝุ่น และเสียงดัง นอกจากนี้ยังมีการใช้ทรัพยากร เช่น น้ำวัตถุดิบ น้ำมันเตา ไฟฟ้า และพลังงานอื่นๆ

4.5.2 ในระหว่างการใช้งาน

1. สารลดแรงตึงผิว บางชนิด เช่น alkylphenol ethoxylate (APEO) เป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ซึ่งสามารถสลายตัวอยู่ในรูปที่มีความเสถียรและเป็นพิษมากขึ้น นอกจากนี้ APEOs ยังสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้

2. สารฟอก เป็นสารที่อาศัยปฏิกิริยาของแนสแซนต์ออกซิเจนในการฟอก ปกติมักใช้โซเดียมเพอร์บอเรต (sodium perborate) และเพอร์คาร์บอเนต (percarbonate) สารฟอกบางชนิด เช่น คลอรีน (chlorine) เป็นสารฟอกที่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม หรือ perborate ซึ่งย่อยสลายให้บอเรต (borates) ที่เป็นพิษเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

3. สารช่วยให้ผ้านุ่ม เป็นสารที่ช่วยทำให้ผ้านุ่มขึ้นหลังจากซักแล้ว ปกติมักใช้เกลือแอมโมเนียมบางชนิดเป็นสารพิษและเป็นสารฆ่าแบคทีเรีย

4. สารเพิ่มความสดใส เป็นสารเคมีที่สามารถดูดแสงอัลตราไวโอเลต แล้วให้แสงที่ทำให้ผ้าดูสดใสยิ่งขึ้นบางชนิดมีสูตรโครงสร้างซับซ้อนเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและคาดว่าเป็นสารก่อมะเร็งได้

5. สีย้อม บางชนิดเป็นสารเคมีที่มีความซับซ้อนและเป็นพิษ เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและคาดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

6. สารคงสภาพการเก็บรักษา เป็นสารที่ช่วยให้ผงซักฟอกเก็บไว้ได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ บางชนิด เช่น ฟอร์มาลีน (formalin) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายของฟอร์มาลดีไฮด์ (formadehyde) มีความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

7. สารลดความกระด้างของน้ำ เป็นสารที่ลดความกระด้างของน้ำและช่วยให้สารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีอยู่หลายชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น

- phosphonate เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และมักเกิดการรวมตัวกับโลหะหนักในตะกอนดินเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน
- ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากและมักเกิดการรวมตัวกับโลหะหนักในตะกอนดินเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน
- nitrilotriacetic acid (NTA) เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และมักเกิดการรวมตัวกับโลหะหนักในตะกอนดินเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน นอกจากนี้ยังเป็นสารก่อมะเร็ง
- ฟอสเฟตกับปรากฏการณ์ยูโทรฟีเคชัน
- ซีโอไลต์กับการเกิดสารแขวนลอยในน้ำ

ฟอสเฟตกับปรากฏการณ์ยูโทรฟีเคชัน ปัญหายูโทรฟีเคชันในแหล่งน้ำโดยเฉพาะในแหล่งน้ำนิ่ง คือ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ เกิดโดยสาหร่ายในแหล่งน้ำเหล่านี้ใช้ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนทำให้มีสีเขียวคล้ำ ไม่อาจใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังอาจเกิดสารพิษจาก
สาหร่าย ซึ่งถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้ปลาตายได้ รวมทั้งทำให้น้ำมีรสและกลิ่น เมื่อนำไปผลิตเป็นน้ำใช้ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการบำบัดน้ำเพื่อขจัดกลิ่นและรสดังกล่าว และนำมาซึ่งความไม่น่าดู เกิดผลกระทบต่อกิจการการท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือกีฬาทางน้ำ ปัจจุบันพบว่าการเกิดยูโทรฟีเคชันไม่ใช่จะเกิดเฉพาะในทะเลสาบหรือหนองน้ำ แต่สามารถเกิดในแม่น้ำ ชายฝั่งทะเลและทะเลได้ เชื่อกันว่าฟอสฟอรัสซึ่งเป็น สารลดความกระด้างของน้ำในสารซักฟอกเป็นตัวการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหายูโทรฟีเคชัน ความเข้มข้นของสารฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีค่าเกินกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟีเคชันได้ แต่สาเหตุการเกิดยูโทรฟีเคชันเป็นเรื่องซับซ้อน ไม่ใช่เกิดขึ้นเนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสมากถึงระดับหนึ่งเท่านั้น แต่ยังประกอบด้วย ปัจจัยอื่นๆ เช่น แสง ความเร็ว หรืออัตราการไหลของน้ำเวลากักเก็บน้ำ

5. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดถ้วยชาม

การกำหนดให้ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามที่ได้ฉลากเขียวต้องมีการย่อยสลายได้ดีในสภาพธรรมชาติ ไม่มีส่วนประกอบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนสนับสนุนให้ใช้บรรจุภัณฑ์น้อยลงหรือสามารถนำกลับมาแปรใช้ใหม่จะช่วยลดการปนเปื้อนของสารเคมีลงในแหล่งน้ำ ประหยัดทรัพยากร ตลอดจนลดภาระและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดเหลวที่ล้างด้วยมือเท่านั้น

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิว ใช้สำหรับทำความสะอาดจาน ถ้วย ชาม และ/หรือเครื่องใช้ในครัวเรือนอื่นๆ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของของเหลว ครีมหรือเจล ผงหรือก้อนก็ได้

5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

5.1.1 ต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดเหลวสำหรับถ้วยชาม หรือได้รับการรับรองตามมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ หรือผ่านการทดสอบตามวิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานดังกล่าว

5.1.2 กระบวนการผลิต การขนส่ง และการกำจัดของเสีย ต้องเป็นไปตามกฎหมายและข้อบังคับของราชการ ตัวอย่างเช่น พระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม

5.2 ข้อกำหนดพิเศษ

5.2.1 ต้องย่อยสลายทางชีวภาพได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90

5.2.2 ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.0-9.5

5.2.3 สารที่ห้ามมีในผลิตภัณฑ์

1. สารที่ได้รับการพิจารณาว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen), เป็นพิษต่อสารพันธุกรรม (genotoxic), สารที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (mutagen), สารที่ทำให้ตัวอ่อนของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไป (teratogen), สารพิษต่อการสืบพันธุ์ (toxic to reproduction) ตามรายชื่อในฐานข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย

2. สารลดแรงตึงผิว

- alcohol ether sulphate (FES), 16 carbon
- alkylphenolethoxylate (APEO)
- block copolymers EO/PO
- disulphosuccinate
- ethoxylated amines
- α-methyl ester sulphonate (SES)
- α-olefin sulphonate (AOS), 16 carbon และ long carbon chains
- quaternary alkyltrimethylammonium salts (ATMAC)
- quaternary dialkyldimethylammonium salts (DTDMAC)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- secondary alkane sulphonate (SAS)
- sulphobetaine

3. สารลดความกระด้างของน้ำ

- nitrilotriacetic acid (NTA)
- phosphonates

4. ตัวทำละลาย

- i-butanol
- n-butanol
- t-butanol
- dearomatised white spirit, D 100
- dearomatised white spirit, D 70
- diethylene glycol
- ethylene glycol
- ethylene amines
- 2-ethylhexanol
- halogenated hydrocarbon
- methanol
- methylisobutylketone, MIBK
- monoethanolamine/diethanolamine
- triethanolamine

5. สารฟอกขาว

- chlorisocyanurates
- hypochlorite
- perborates

6. สารอื่น ๆ

- ฟอร์มาลีน
- สีย้อมเคมี (chemical dye)

5.2.4 สารที่อนุญาตให้มีได้

1. ปริมาณฟอสเฟตในรูป P2O5 ไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก
2. ปริมาณ zeolites ในรูป $NaAl_2Si_3O_{10}\cdot 2H_2O$ ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ไม่เกินร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก

2.5.5 บรรจุภัณฑ์

1. บรรจุภัณฑ์พลาสติกต้องใช้สัญลักษณ์บ่งบอกประเภทพลาสติกที่ใช้บนบรรจุภัณฑ์ สัญลักษณ์ที่ใช้ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สัญลักษณ์สำหรับพลาสติกแปรใช้ใหม่ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1310 หรือ ISO 1043

2. ห้ามใช้พลาสติกประเภทโพลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride : PVC) หรือ chlorinated ทำเป็นบรรจุภัณฑ์หรือฉลาก

5.3 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม

5.3.1 ประเภทของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามแบ่งตามรูปแบบของผลิตภัณฑ์ออกเป็น

- ของเหลว
- ครีมหรือเจล
- ผงหรือก้อน

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามแบ่งตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวออกเป็น

- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามประเภทธรรมดา
- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามประเภทเข้มข้น

คุณลักษณะที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม

- ปราศจากสารพิษ
- ทำให้ผิวของภาชนะเปียกได้ดี
- กำจัดสิ่งสกปรกได้ดี
- สามารถล้างออกได้ง่าย
- ไม่มีสารตกค้างหลังทำความสะอาด
- ไม่ทำลายผิวภาชนะ
- สามารถกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

1. ส่วนประกอบ

1.1 ส่วนประกอบหลัก คือ สารลดแรงตึงผิว ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำ ให้น้ำซึมเข้าไปสัมผัสกับสิ่งสกปรกต่างๆ ได้ และยังทำให้ไขมันละลายน้ำ หรือมีสมบัติเป็น emulsifier จึงช่วยในการกำจัดสิ่งสกปรกและคราบไขมัน สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นกับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ กลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

สำหรับถ้วยชามส่วนใหญ่เป็นชนิดประจุลบ (anionic) และไม่มีประจุ (nonionic) ส่วนชนิดสองประจุ (amphoteric) ใช้เป็นส่วนน้อย ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ มีดังนี้

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เช่น

- alkyl sulphate
- alkanesulphonate
- linear alkylbenzene sulphonate (LAS) เช่น sodium dodecyl
- benzene sulphonate
- olefin sulphonate
- sarcosinate
- sodium lauryl ethoxy sulphate
- sulphosuccinate
- α- sulpho methyl ester

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เช่น

- alcohol alkylphenol ethoxylate
- alkyl diethanol, monoethanol และ isopropanol amides
- alkyl ethoxylate
- alkyl polyglucoside
- amine oxides
- fatty alcohol ethylene oxide/propylene oxide เช่น cetyl stearyl alcohol

สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ เช่น

- acetate
- alkylamphocarboxyglycinate
- amphoacetate
- betaine
- imidazoline derivatives
- propionate
- sultaine

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.3.2 ส่วนประกอบที่อาจมี

1. สารลดความกระด้างของน้ำ (builders) เช่น EDTA, สารประกอบ phosphate, NTA, citric acid, zeolite, polycarboxylate (PCA), tartrate, gluconate

2. ตัวทำละลาย (solvent) ทำหน้าที่ทำให้ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ละลาย และละลายคราบไขมัน เช่น ethanol, isopropanol, ethylene glycol, propylene glycol, polyethyleneglycol ether และ เกลือโซเดียมของ xylene และ cumene sulphonic acids

3. สารเพิ่มฟอง (foamer) เพื่อเพิ่มฟองให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวประเภทต่างๆ เช่น sodium laurylethoxy sulphate

4. สารลดฟอง (defoamer) เพื่อลดฟอง ใช้สำหรับเครื่องล้างจานอัตโนมัติ เช่น soap, silicone oil และ wax

5. สารช่วยให้ทึบแสง (opacifier) ทำให้ผลิตภัณฑ์ขุ่น ตัวอย่างเช่น Glycerol ester

6. สารคงสภาพการเก็บรักษา (stability and dispensing aids) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันในสภาพการเก็บที่แตกต่างกัน และเพื่อให้มีลักษณะการกระจายตัวได้ดี นิยมใช้สารกลุ่ม แอลกอฮอล์ ไฮโดรโทรฟ และเกลือ

7. สารกันเสีย (preservative) ใช้เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้สีและกลิ่นเปลี่ยนไป เสื่อมคุณลักษณะ และส่วนผสมแยกตัว เช่น sodium benzoate

8. สารปรับความหนืด (thickening agent) ใส่เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีระดับความหนืดตามที่ต้องการ เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)

9. สารละมุน (mildness additives) ใส่เพื่อถนอมมือผู้ใช้ เช่น สารเพิ่มความชุ่มชื้น (moisturizer)

10. สารแต่งกลิ่น (fragrance) ใส่เพื่อขจัดกลิ่นคาวและปรุงแต่งผลิตภัณฑ์ให้น่าใช้ยิ่งขึ้น

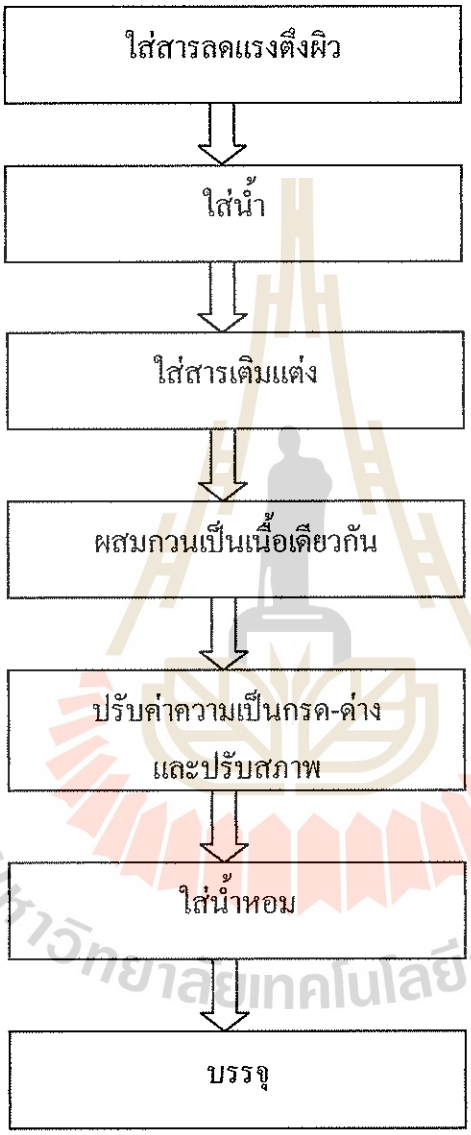
11. สารแต่งสี (colorant) ใส่เพื่อทำให้ผู้บริโภคสะดวกในการใช้งานตามปริมาณที่ต้องการ สีที่นำมาใช้ต้องเป็นสีที่กระทรวงสาธารณสุขอนุญาตให้ใช้ได้ในเครื่องสำอาง และไม่มีสารฟลูออเรสเซ็นซ์

12. สารปรุงแต่งอื่นๆ ตัวอย่างเช่น น้ำมะนาว

ผลิตภัณฑ์ ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามที่ใช้กับมือโดยทั่วไปมีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวประมาณร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก สารลดความกระด้างร้อยละ 0-10 สารเพิ่มความชุ่มชื้นร้อยละ 0-5 สีและน้ำหอมร้อยละ 0-0.5 ที่เหลือเป็นน้ำ ส่วนผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับ ถ้วยชามที่ใช้กับเครื่องล้างจานอาจมีสารลดความกระด้างเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

5.4 กรรมวิธีผลิต

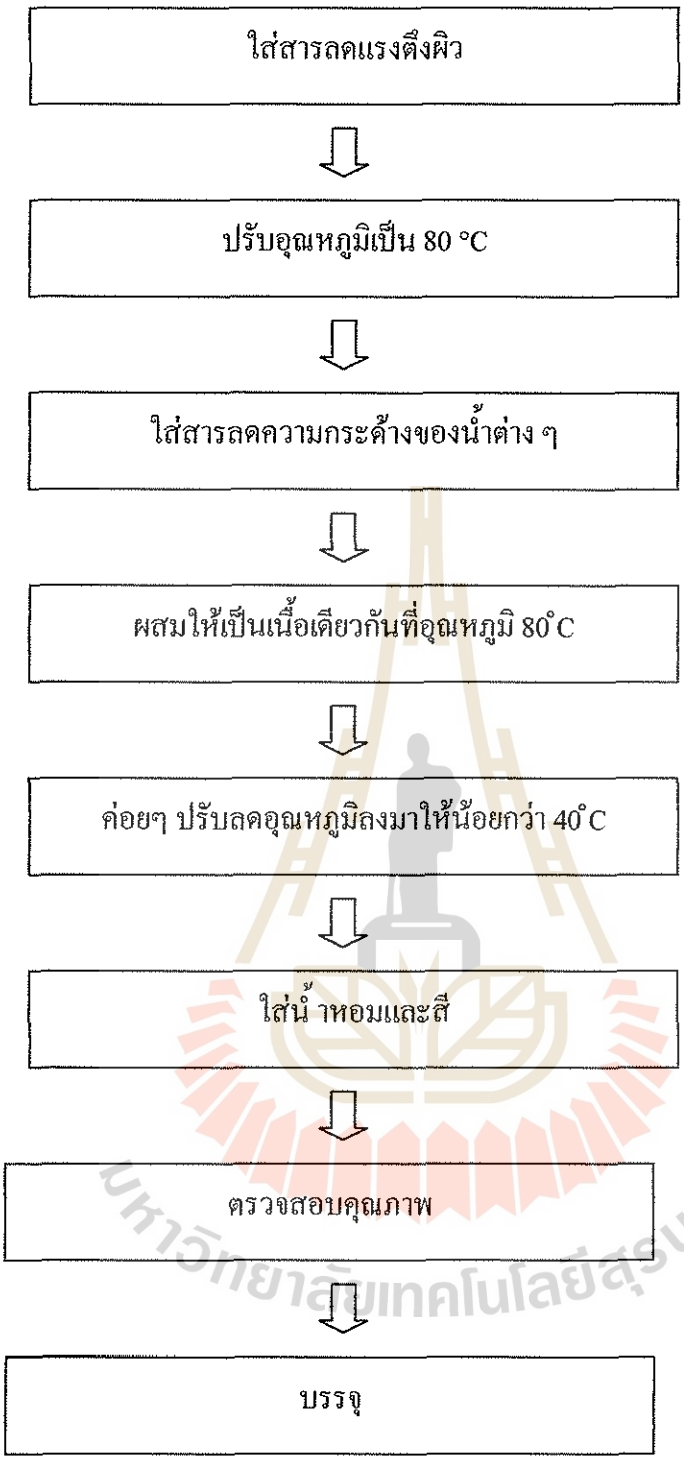
การผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามจะผสมส่วนผสมต่างๆ เช่น สารลดแรงตึงผิวน้ำ และส่วนประกอบอื่นๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปรับสภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความหนืดให้เป็นไปตามต้องการ จากนั้นนำส่วนผสมมาใส่น้ำหอม สี และบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 2.6 : กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดเหลวสำหรับถ้วยชาม

ที่มา: บริษัทผู้ผลิต (มิ.ย. 2541)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 2.7: กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดชนิดครีมสำหรับถ้วยชาม

ที่มา: บริษัทผู้ผลิต (มิ.ย. 2541)

5.5 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ในระหว่างการผลิต ในระหว่างการใช้งานและการทิ้งหลังการใช้งาน (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.10 ผลกระทบเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามต่อสิ่งแวดล้อม

หัวข้อทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspect)	วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม				
	ก่อนผลิต	ขณะผลิต	ขณะขนส่ง	ขณะใช้	ทิ้งหลังใช้
การใช้ทรัพยากร (resource use) เช่น วัตถุดิบ พลังงาน น้ำ		○		×	×
การเกิดวัตถุอันตราย (hazardous substance)		×		×	● 3)
การปล่อยมลสารไปสู่ (emission/release of pollutant into)					
- อากาศ		○ 1)		×	×
- น้ำ		○ 2)		●	●
- ดิน		×		●	●
ขยะมูลฝอย/ของเสีย (waste)		×		×	● 4)
ผลกระทบอื่นๆ (other impacts)		×		×	×
ความเหมาะสมสำหรับการใช้ (fitness for use)				● *	
ความปลอดภัย (safety)				● *	

หมายเหตุ

● มีผลกระทบ ต้องพิจารณาในการออกข้อกำหนด

○ มีผลกระทบ แต่ไม่รวมอยู่ในข้อกำหนด

× ไม่เกี่ยวข้อง

* มีข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1) การฟุ้งกระจายของสารเคมี

2) น้ำที่ล้างเครื่องกวน

3) โลหะหนัก

4) ขยะบรรจุภัณฑ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.5.1 ในระหว่างการผลิต มีการใช้พลังงาน ไฟฟ้า น้ำและวัตถุดิบในการผลิตและเมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชามในรูปของของเหลวและในรูปของครีมและผง พบว่าแบบครีมหรือผงอาจมีขั้นตอนการผลิตที่ใช้พลังงานมากกว่า เนื่องจากต้องใช้ความร้อนในขณะผสมหรือเป่าให้แห้ง

5.5.2 ในระหว่างการใช้งาน ในระหว่างการใช้งานอาจมีการสะสมของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดบนภาชนะ ในกรณีที่ล้างน้ำไม่สะอาดซึ่งสารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อร่างกายได้ นอกจากจะมีผลต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์แล้ว องค์ประกอบต่างๆเหล่านี้ยังมีผลต่อสภาพแวดล้อมด้วย ดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่ละลายในน้ำ (water soluble component) และส่วนที่ละลายในไขมัน (fat soluble component) ซึ่งส่วนที่ละลายไขมันซึมเข้าไปในเหงือกของปลา ทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณเกลือเสียไป สารลดแรงตึงผิวบางชนิด เช่น alkylphenol ethoxylate (APEO) เป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก โดยจะสลายตัวอยู่ในรูปที่มีความเสถียรและเป็นพิษมากขึ้น นอกจากนี้ APEOs ยังสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้

2. สารลดความกระด้างของน้ำ สารลดความกระด้างของน้ำชนิด phosphate และ polyphosphate เป็นสารที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อทิ้งลงแหล่งน้ำนิ่ง เช่น ทะเลสาบ บึง อ่างเก็บน้ำ จะกลายเป็นสารอาหารให้กับพืชน้ำ ซึ่งจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน และเมื่อพืชน้ำเหล่านี้ตายลงจะเกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำและทำให้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้น้อยลง สารลดความกระด้างของน้ำอื่นๆ เช่น zeolite, polyacrylates, NTA, EDTA และ phosphonate สลายตัวทางชีวภาพได้ช้า นอกจากนี้ phosphonate และ EDTA มักเกิดการรวมตัวกับโลหะหนักในตะกอนดินกลายเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของสารพิษ ส่วน NTA เชื่อว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

3. สารกันเสีย สารกันเสียใส่เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ บางชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก บางชนิดมีความเป็นพิษและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ฟอร์มาลิน

4. ตัวทำละลาย ตัวทำละลายบางชนิดใช้ mineral oil เป็นวัตถุดิบและเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ซึ่ง mineral oil เป็นทรัพยากรที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (non-renewable resource) นอกจากนี้การปลดปล่อยตัวทำละลายสู่อากาศทำให้เกิดโอโซนในบรรยากาศชั้นล่าง ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ตัวทำละลายประเภท halogenated hydrocarbon เป็นสารพิษและสารฆ่าแบคทีเรียและคาดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง และโดยทั่วไปเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

5. สารฟอกขาว สารฟอกขาวส่วนมากใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม สำหรับเครื่องล้างจาน สารฟอกขาวประเภทคลอรีน เช่น hypochlorite จะทำให้เกิดสารประกอบ organochlorine ซึ่งค่อนข้างเสถียร ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อม

5.5.3 การทิ้งหลังการใช้งาน ภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม มักทำจากพลาสติกหรือวัสดุกันน้ำ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์หมดแล้ว บรรจุภัณฑ์เหล่านั้นจะกลายเป็นขยะมูลฝอย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย. **ข้อมูลเพื่อปฏิบัติงานกับสารเคมี ด้านอาชีวอนามัย : พิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.anamai.moph.go.th/chemnet/data_1.asp

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **พิทักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อลูกหลานไทย ร่วมใจใช้สินค้าฉลากเขียว**, 2547.

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **คู่มือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์คุณภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม,** 2547.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **ผลิตภัณฑ์ฉลากเขียว** [ออนไลน์]. ได้จาก: http:// tisi.go.th/green/green/htm

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. **ผลิตภัณฑ์ฉลากเขียว** [ออนไลน์]. ได้จาก: http:// www.tei.or.th

ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ. **เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS)** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://msds.pcd.go.th/searchName.asp

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย [ออนไลน์]. ได้จาก: http://161.200.134.28/MSDSSG/Merk/msdst/100843.htm

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การจัดการเศษเหลือทิ้ง
ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE)

วาสนา จาดฮามรถ	B4461067
อำพร ทิพันธ์	B4461593
อุทัย ขาวฉลาด	B4461609
เยาวลักษณ์ ไชยรัตน์	B4461760

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 1
บทนำ

สถานการณ์ปัจจุบัน

สถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมของโลก นับวันจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น อันเป็นผลสืบเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างไม่หยุดนิ่ง ขณะที่จิตสำนึก หรือความตระหนักต่อผลกระทบจากเทคโนโลยีไม่ได้พัฒนาตามไปด้วย สารพิษต่างๆ จากเครื่องมือเครื่องใช้ที่ล้ำด้วยเทคโนโลยี ไม่เพียงแต่จะส่งผลกระทบต่อระบบชั้นบรรยากาศของโลกเท่านั้น หากยังกระทบต่อชีวิตมนุษย์อีกด้วย ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจัดได้ว่า เป็นอุปกรณ์ที่เต็มไปด้วยสารพิษ ไม่ว่าจะเป็นตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เมื่อหมดอายุลง และไม่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี จะเกิดการแพร่กระจายของสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม และส่งผลถึงมนุษย์ในที่สุด นอกจากนี้ขยะเหล่านี้ 90% ถูกทิ้งโดยวิธีฝังกลบ ไม่มีการบำบัดใดๆ ที่เหลือถูกนำไปเผา ยิ่งเกิดมลพิษที่อันตราย หากจะมองในแง่ของคอมพิวเตอร์ในปี 1960 เคยใช้งานกันมาถึง 10 ปี ปัจจุบันใช้กัน 4.3 ปีก็ทิ้งแล้ว แถมผลิตภัณฑ์มีการพัฒนาเร็วมาก อาจใช้ไม่ถึง 2 ปี ดังนั้นขยะมลพิษเหล่านี้นับวันยิ่งทวีคูณขึ้น และเป็นอันตรายหากนำไปฝังกลบ ซึ่งเป็นการกำจัดขยะชั่วคราว และยังมีโอกาสปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดินและ เกิดมลพิษ สหภาพยุโรปหรือ EU (The European Union) ได้ออกร่างกฎระเบียบ ว่าด้วยการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) และร่างกฎระเบียบว่าด้วยการจำกัดใช้สารต้องห้ามบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) โดยหวังว่ามันจะเป็นการแก้ไขที่ดีและยั่งยืน (กอบกุล, 2547)

ร่างกฎระเบียบทั้งสองนี้ เป็นกลยุทธ์ด้านการค้าการแข่งขัน ของสหภาพยุโรป ที่กำหนดให้ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบจัดการซากอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronic Equipment ; EEE) ตั้งแต่การจัดเก็บ คืนสภาพ นำมาใช้ซ้ำ นำมาใช้ใหม่ ไปจนถึงการกำจัดเศษเหลือทิ้ง โดยคาดว่าจะเริ่มบังคับใช้ในวันที่ 1 มกราคม 2549 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

ตอนที่ 2
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (WEEE)

2.1 ความหมาย

ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เรียกกันว่า WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipments) หมายถึง ซากเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กในการทำงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน (off-spec) หรือหมดอายุการใช้งาน หรือล้าสมัย ซึ่งแบ่งเป็น 10 ประเภท ได้แก่

1. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็น เครื่องทำความเย็น เครื่องซักผ้า เครื่องล้างจาน ฯลฯ
2. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดเล็ก เช่น เครื่องดูดฝุ่น เตารีด เครื่องปิ้งขนมปัง มีดโกนไฟฟ้า ฯลฯ
3. อุปกรณ์ IT เช่น คอมพิวเตอร์ เมนเฟรม โน้ตบุค เครื่องสแกนภาพ เครื่องโทรสาร/โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ
4. เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค เช่น วิทยุ โทรทัศน์ กล้องและเครื่องบันทึกวีดีโอ เครื่องดนตรีที่ใช้ไฟฟ้า ฯลฯ
5. อุปกรณ์ให้แสงสว่าง เช่น หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หลอดโซเดียม ฯลฯ
6. ระบบอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์
7. เครื่องมือวัดหรือควบคุมต่างๆ เช่น เครื่องจับควัน เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ฯลฯ
8. ของเล่น เช่น เกมส์บอยส์ ของเล่นที่ใช้ไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ
9. เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สว่าน เลื่อยไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ
10. เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ เช่น เครื่องจำหน่ายเครื่องดื่มอัตโนมัติ ฯลฯ

ตารางที่ 3.1 สารเคมีและองค์ประกอบในเครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง เครื่องขนาด 60 ปอนด์

ชื่อสารเคมี	องค์ประกอบโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)	น้ำหนักในคอมพิวเตอร์ (ปอนด์)	ประสิทธิภาพการรีไซเคิล	การใช้งาน
Plastics	22.9907	13.8	20%	includes organics, oxides other than silica
Lead	6.2988	3.8	5%	metal joining, radiation shield / CRT, PWB
Aluminum	14.1723	8.5	80%	structural, conductivity / housing, CRT, PWB, connectors
Germanium	0.0016	< 0.1	0%	Semiconductor / PWB
Gallium	0.0013	< 0.1	0%	Semiconductor / PWB
Iron	20.4712	12.3	80%	structural, magnetivity / (steel) housing, CRT, PWB
Tin	1.0078	0.6	70%	metal joining / PWB, CRT
Copper	6.9287	4.2	90%	Conductivity / CRT, PWB, connectors
Barium	0.0315	< 0.1	0%	in vacuum tube / CRT
Barium	0.0315	< 0.1	0%	in vacuum tube / CRT
Nickel	0.8503	0.51	80%	structural, magnetivity / (steel) housing, CRT, PWB
Zinc	2.2046	1.32	60%	battery, phosphor emitter / PWB, CRT
Tantalum	0.0157	< 0.1	0%	Capacitors / PWB, power supply

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อสารเคมี	องค์ประกอบโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)	น้ำหนักในคอมพิวเตอร์ (ปอนด์)	ประสิทธิภาพการรีไซเคิล	การใช้งาน
Indium	0.0016	< 0.1	60%	transistor, rectifiers / PWB
Vanadium	0.0002	< 0.1	0%	red phosphor emitter / CRT
Terbium	0	0	0%	green phosphor activator, dopant / CRT, PWB
Beryllium	0.0157	< 0.1	0%	thermal conductivity / PWB, connectors
Gold	0.0016	< 0.1	99%	Connectivity, conductivity / PWB, connectors
Europium	0.0002	< 0.1	0%	phosphor activator / PWB
Titanium	0.0157	< 0.1	0%	pigment, alloying agent / (aluminum) housing
Ruthenium	0.0016	< 0.1	80%	resistive circuit / PWB
Cobalt	0.0157	< 0.1	85%	structural, magnetivity / (steel) housing, CRT, PWB
Palladium	0.0003	< 0.1	95%	Connectivity, conductivity / PWB, connectors
Manganese	0.0315	< 0.1	0%	structural, magnetivity / (steel) housing, CRT, PWB
Silver	0.0189	< 0.1	98%	Conductivity / PWB, connectors

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อสารเคมี	องค์ประกอบโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)	น้ำหนักในคอมพิวเตอร์ (ปอนด์)	ประสิทธิภาพการรีไซเคิล	การใช้งาน
Antinomy	0.0094	< 0.1	0%	Diodes / housing, PWB, CRT
Bismuth	0.0063	< 0.1	0%	wetting agent in thick film / PWB
Chromium	0.0063	< 0.1	0%	Decorative, hardener / (steel) housing
Cadmium	0.0094	< 0.1	0	% battery, glu-green phosphor emitter / housing, PWB, CRT
Selenium	0.0016	0.00096	70%	Rectifiers / PWB
Niobium	0.0002	< 0.1	0%	welding allow / housing
Yttrium	0.0002	< 0.1	0%	red phosphor emitter / CRT
Rhodium	0		50%	thick film conductor / PWB
Platinum	0		95%	thick film conductor / PWB
Mercury	0.0022	< 0.1	0%	batteries, switches / housing, PWB
Arsenic	0.0013	< 0.1	0%	doping agents in transistors / PWB
Silica	24.8803	15	0%	glass, solid state devices / CRT, PWB

ที่มา : Silicon Valley Toxics Coalition, 2003 (c)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 สาระสำคัญของ การจัดการเศษเหลือทิ้ง ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE)

1. ใช้นโยบายลดของเสีย หรือขยะให้มีปริมาณน้อยที่สุด โดยมีการบังคับ ให้ต้องมีการนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ว่าจะเป็นในรูปโดยตรงหรือนำกลับมาใช้ใหม่ และมีการกำหนดอัตราที่ชัดเจน โดยมีการกำหนดเป้าหมายที่ต้องปฏิบัติตามหลัง 31 ธันวาคม 2548 แยกตามผลิตภัณฑ์ แต่ในภาพรวมแล้ว จะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งทางตรงและทางอ้อม 50-80 % โดยจะกำหนดในรายละเอียดว่า อัตรานำกลับมาใช้ใหม่ reuse/recycle เท่าไรด้วย
2. การจัดการ WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) สามารถกระทำได้ทั้งในและสหภาพยุโรป หรือกล่าวคือ ผู้ผลิตมีสิทธิเลือกว่า จะนำออกจากสหภาพยุโรป ไปทำลายที่อื่น หรือนำกลับมา ทำลายยังประเทศของตนก็ได้ หรือใช้บริการของบริษัทจัดการ WEEE ในสหภาพ หรืออาจตั้งบริษัทของตนเองมาจัดการ WEEE ก็ได้
3. ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบการกำจัด WEEE ทั้งหมด ซึ่งผู้ผลิตในที่นี้ หมายถึง โรงงานผลิตและผู้นำเข้า โดยผู้ผลิตต้องรับภาระค่าใช้จ่าย ในการจัดการทั้งหมด การรับคืน ประเภทภาคีจะตั้งจุดรับคืนให้ แต่ผู้ผลิตจะรับภาระรวมทั้งการขนส่ง รวบรวมอุปกรณ์ที่หมดอายุการใช้งาน
4. การแยกชิ้นส่วน เมื่อรวบรวมแล้วจะนำมายังขบวนการแยกชิ้น โดยการแยกสารอันตราย โลหะหนัก ชิ้นส่วนที่สามารถ reuse, recycle ชิ้นส่วนที่สามารถนำไป reprocess หรือชิ้นส่วนที่สามารถนำไปผลิตพลังงานได้
5. การจัดการชิ้นส่วน เมื่อแยกชิ้นส่วนแล้วก็จะส่งไปยังศูนย์บริการต่างๆ เพื่อจัดการตามสภาพของชิ้นส่วน หากสามารถนำมา reuse, recycle ก็อาจส่งกลับโรงงาน สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องบำบัดทำลาย ก็ต้องปฏิบัติให้เป็นไป ตามเกณฑ์ของสหภาพ จนกระทั่งเถ้าถ่านจะเก็บอย่างไร
6. การให้ข้อมูล เป็นความรับผิดชอบ ของผู้ผลิตที่ต้องให้ข้อมูล ตั้งแต่เมื่อใช้เสร็จแล้ว ผู้บริโภคจะต้องนำไปทิ้งที่ใด อย่างไร นอกจากนี้ในตัวผลิตภัณฑ์ ก็จะต้องทำเครื่องหมายเพื่อบ่งบอกว่าชิ้นส่วนใดเป็นสารอันตราย ชิ้นส่วนใดสามารถนำกลับมาใช้ได้ ชิ้นส่วนใดนำไป reprocess

2.2.1 ข้อกำหนดของ WEEE และ RoHs

- แยกชิ้นส่วน วัตถุ ที่มีสารต่อไปนี้ไปกำจัดอย่างถูกต้อง
- ตัวเก็บประจุที่มีสาร PCB (Polychorinated biphenyl) ชิ้นส่วนที่มีสารปรอท แบตเตอรี่ แผงวงจรไฟฟ้า ตลับหมึกพิมพ์ พลาสติกที่มีสารโบรมีนเป็นองค์ประกอบ ของเสียจากแอสเบสตอส หลอดภาพ สาร CFC (Chlorofluorocarbons)

HCFC (Hydrofluorocarbon) หลอด gas discharge lamp จอแอลซีดีและจอที่ใช้ back light ชนิด gas discharge lamps

แยกชิ้นส่วนต่อไปนี้ไปกำจัดตามที่ระบุ

- หลอดภาพ : แยกสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ออก
- อุปกรณ์ที่มี CFC HCFC หรือ HFCs โดย
  - แยกและทำลายสาร CFC ที่มีอยู่ในโฟมและสารทำความเย็นอย่างเหมาะสม
  - แยกและทำลายหรือ recycle สาร HCFC หรือ HFCs ที่อยู่ในโฟม และสารทำความเย็นอย่างเหมาะสม
  - gas discharge lamps : แยกสารปรอทออก

ส่วนระเบียบ RoHS นั้นมุ่งเน้นการจำกัดการใช้สารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้นเหตุ โดยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางประเภท ในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และทำให้การคืนสภาพและการทิ้งซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ระเบียบนี้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์เดียวกับ WEEE ยกเว้นเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่ม 8 และ 9 โดยระเบียบนี้เสนอให้ใช้สารอื่นทดแทน สารตะกั่ว สารปรอท สารแคดเมียม สารโครเมียม-6 (Cr-VI) สารโพลิโบรมิเนท-ไบฟีนิล (Polybrominated Biphynyles – PBB) และ สารโพลิโบรมิเนท-ไดฟีนิล-อีเทอร์ (Polybrominated DiphynylEthers – PBDE) ใน EEE ภายในวันที่ 1 กรกฎาคม 2549 ทั้งนี้ไม่รวมชิ้นส่วนที่นำเข้าตลาดก่อนปี 2546 แต่มีข้อยกเว้นสารตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และโครเมียม-6 (Cr VI) ในผลิตภัณฑ์บางชนิดดังนี้ (แต่ผู้ผลิตยังคงต้องแยกเอาสารเหล่านี้ออกมาจัดการอย่างเหมาะสมเมื่อสินค้าหมดอายุการใช้งานตามระเบียบของ (WEEE)

- สารปรอทใน Compact fluorescent lamps ในปริมาณไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อหลอด
- สารปรอท ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบตรงสำหรับใช้งานทั่วไป โดยหลอดที่ใช้ Halophosphateให้มีปรอทได้ไม่เกิน10 มิลลิกรัม ต่อหลอด Triphosphate ที่มีช่วงชีวิตปกติไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อหลอด และTriphosphateที่มีช่วงชีวิตยาวไม่เกิน 8 มิลลิกรัมต่อหลอด
- สารปรอท ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบตรงสำหรับใช้งานพิเศษ
- สารปรอท ในหลอดไฟที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้
- สารตะกั่ว ที่ผสมในแก้วของหลอดภาพ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และหลอดฟลูออเรสเซนต์

- สารตะกั่ว ที่ใช้ในโลหะอัลลอย (alloying element) ในเหล็กที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่า 0.35% โดยน้ำหนักในอลูมิเนียมที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก และในทองแดงที่มีปริมาณตะกั่วต่ำกว่า 4% โดยน้ำหนัก
- สารตะกั่วในสารบัดกรีชนิดจุดหลอมเหลวสูง ตะกั่วบัดกรีในเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย หน่วยเก็บข้อมูลและชุดเก็บข้อมูล(ได้รับการยกเว้นถึงปี ค.ศ. 2010) ตะกั่วบัดกรีในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับสวิทช์ซึ่งให้สัญญาณ ส่งผ่านข้อมูล รวมถึงการบริหารเครือข่ายในการสื่อสาร และสารตะกั่ว ในชิ้นส่วนเซรามิกส์อิเล็กทรอนิกส์
- สารแคดเมียม ในการเคลือบผิวหน้าเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในการใช้งานบางประเภท
- สารโครเมียม-6 ในการป้องกันการกัดกร่อนเหล็กคาร์บอนในระบบหล่อเย็นใน Absorption Refrigerators

ตารางที่ 3.2 ประเภทผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในข่าย EEE และเป้าหมายขั้นต่ำของการ นำทรัพยากรกลับคืน การใช้ซ้ำและการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ ที่กำหนดโดย WEEE Directive ของสหภาพยุโรป

กลุ่ม	กลุ่มผลิตภัณฑ์	การนำทรัพยากรกลับคืน* (recovery)	การใช้ซ้ำและการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่* (reuse /recycle)
1	เครื่องใช้ขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน (Large household appliances)	80%	75%
2	เครื่องใช้ขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน (Small household appliances)	70%	50%
3	อุปกรณ์โทรคมนาคม (IT and Telecomunication equipment)	75%	65%
4	Consumer equipment เช่น โทรทัศน์ วิทยุ Hifi กล้องวิดีโอ	75%	65%
5	อุปกรณ์ให้แสงสว่าง (Lighting equipment)	70%	50%

กลุ่ม	กลุ่มผลิตภัณฑ์	การนำทรัพยากรกลับคืน* (recovery)	การใช้ซ้ำและการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่* (reuse /recycle)
6	เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and electronic tools)	70%	50%
7	ของเล่นเด็ก เครื่องเล่นเพื่อความบันเทิงและกีฬา	70%	50%
8	อุปกรณ์การแพทย์	ยังไม่กำหนด	ยังไม่กำหนด
9	เครื่องมือวัดหรือควบคุมต่างๆ (Monitoring and control instruments)	70%	50%
10	อุปกรณ์ขายของอัตโนมัติ (Autometic dispensers)	80%	75%
ข้อยกเว้น	Gas discharge lamp		80

หมายเหตุ : (*) น้ำหนักต่อน้ำหนักเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์

สำหรับประเทศไทย มีการส่งออกผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ไปยังตลาดสหภาพยุโรป เป็นมูลค่ากว่า 1,166,722.96 ล้านบาทต่อปี (ข้อมูลส่งออกปี 2546) เมื่อมีความตื่นตัวในด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม จากกลุ่มสหภาพยุโรปแน่นอนย่อมทำให้เกิดการปรับตัวของบรรดาผู้ประกอบการ ในด้านการเลือกใช้ วัสดุ การผลิต และเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อให้สอดคล้องตามกฎระเบียบ

2.3 ผลกระทบและอันตรายจากเศษเหลือทิ้งของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.3.1 ผลกระทบต่อผู้ผลิต

1. ผู้ผลิตจะต้องมีภาระรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดการของใช้แล้ว ซึ่งนับวันน่าจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราของการนำกลับมาใช้ใหม่ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อม
2. เกิดการได้เปรียบในแง่ของการแข่งขันเรื่องต้นทุน เนื่องจากหากผู้ผลิต นอกสหภาพต้องการใช้บริหารการจัดการ WEEE อาจต้องลงทุนเพิ่มขึ้น หรือ เสียเงินค่าบริการสูง ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์ไม่เคยได้รับการออกแบบ พัฒนาด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชิ้นส่วนมาก่อนหากไม่มีผู้ใดรับบริการจัดการก็จะต้องนำกลับไปกำจัดในประเทศของตน หรือ นอกสหภาพ
3. ผู้ผลิตที่เป็น SMEs นอกสหภาพอาจหมดโอกาสนำเข้าสหภาพ โดยปริยาย เพราะไม่สามารถทำตามกฎระเบียบได้โดยเฉพาะผู้ที่นำเข้า จำนวนหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการผลิตไม่มากนัก ยกเว้นบริษัทข้ามชาติหรือร่วมลงทุนซึ่งอาจนำเทคโนโลยีมาจากบริษัทแม่
4. ผู้ผลิตจะต้องปรับเปลี่ยนขบวนการผลิตใหม่ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ เมื่อใช้แล้วทั้งนี้อาจต้องลงทุนทำการวิจัย พัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับการแยกชิ้นส่วนเพื่อง่ายต่อการจัดการ WEEE และต้องทำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถเข้ากับกฎระเบียบที่เข้มงวดขึ้น
5. ตลาดอาจได้รับผลกระทบ เนื่องจากราคาของผลิตภัณฑ์ที่อาจเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะขึ้นกับลักษณะของสินค้าว่ามีความยืดหยุ่นต่อราคามากเพียงใด สินค้าที่มีการยืดหยุ่นน้อย เช่น ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า การขึ้นราคา 1-3% อาจไม่มีผลกระทบ แต่สำหรับบางสินค้าก็อาจเป็น ตัวแปรทำให้ลูกค้าเลื่อนการซื้อหรืออาจหันไปใช้สินค้าราคาถูก คุณภาพต่ำกว่าก็ได้

2.3.2 ผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

สารเคมีในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์มักจะเป็นสารเคมีที่อันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลัก เช่น ตะกั่ว ปรอท คลอรีน แคดเมียม แบเรียม เบริลเลียม และโบรมีน เป็นต้น

- ความเป็นพิษของตะกั่ว เป็นส่วนประกอบของการบัดกรีร่วมกับดีบุกในแผงวงจร และจอภาพ มีผลทำลายระบบประสาทส่วนกลางและระบบโลหิต การทำงานของไตและการสืบพันธุ์

มีผลต่อการพัฒนาสมองของเด็ก นอกจากนี้ ยังสามารถสะสมในบรรยากาศ และเกิดผลแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรังกับพืช สัตว์ และจุลชีพ

- ความเป็นพิษของปรอท มีการใช้ในรีเลย์ เทอร์โมสตัท แบตเตอรี่ และจอภาพแบน สำหรับพิษของปรอทจะทำลายสมอง ไต และเด็กอ่อนในครรภ์

- ความเป็นพิษของคลอรีน ที่อยู่ในรูปของพลาสติกพีวีซี ซึ่งก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งไดออกซินได้เมื่อถูกเผา

- ความเป็นพิษของแคดเมียม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่บางประเภท ใช้ในแผ่นชิบเซมิคอนดักเตอร์และหลอดภาพ CRT สามารถสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะที่ไต ทำลายระบบประสาท ส่งผลต่อพัฒนาการของเด็กและภาวะการตั้งครรภ์ และยังอาจมีผลต่อพันธุกรรม

- ความเป็นพิษของสารทนไฟซึ่งทำจากโบรมีน ซึ่งใช้ในกล่องสายไฟ แผงวงจรและตัวเชื่อมตัว อาจเป็นพิษและสะสมในสิ่งมีชีวิต ถ้ามีทองแดงร่วมด้วย จะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดไดออกซินและฟิวแรนระหว่างการเผา ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงประเภทหนึ่งส่งผลเสียต่อระบบการย่อยและน้ำเหลือง ทำลายการทำงานของตับ มีผลต่อระบบประสาทและภูมิต้านทาน

- ความเป็นพิษของเบริลเลียม ใช้ในสปริงและตัวเชื่อม เป็นสารก่อมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งปอดซึ่งเป็นอวัยวะที่ได้รับสาร ผู้ได้รับสารนี้อย่างต่อเนื่องจากการสูดดมจะกลายเป็นโรค Beryllicosis ซึ่งมีผลกับปอด หากสัมผัสจะทำให้เกิดแผลที่ผิวหนังอย่างรุนแรง ทำให้ระบบการทำงานของต่อมไทรอยด์ และต่อมไร้ท่อผิดปกติ สะสมในน้ำนม กระแสเลือดและถ่ายทอดในห่วงโซ่อาหาร

- ความเป็นพิษของสารหนู ซึ่งใช้ในแผงวงจร จะมีผลทำลายระบบประสาท ผิวหนัง และระบบการย่อยอาหารหากได้รับในปริมาณมากอาจทำให้ถึงตายได้

- ความเป็นพิษของนิกเกิล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแบตเตอรี่ ฝุ่นนิกเกิลถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งปอดในสัตว์ทดลอง และอาจมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ด้วย นอกจากนี้ ผลเรื้อรังจากการสัมผัสนิกเกิล ได้แก่ การแพ้ของผิวหนัง ซึ่งประกอบด้วยการมีแผลไหม้ คัน เป็นผื่นแดง มีอาการแพ้ของปอด คล้ายการเป็นหอบหืด และแน่นหน้าอก

- ความเป็นพิษของลิเทียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแบตเตอรี่ เป็นอันตรายเมื่อกลืนกิน สูดดม หรือถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง สารนี้ทำลายเนื้อเยื่อของเยื่อบุเมือกและทางเดินหายใจ รวมทั้งดวงตาและผิวหนังอย่างรุนแรง การสูดดมอาจก่อให้เกิดอาการชัก กล่องเสียงและหลอดลมใหญ่อักเสบ โรคปอดอักเสบจากสารเคมีและน้ำท่วมปอด อาการต่างๆของการได้รับสารอาจประกอบด้วยความรู้สึกปวดแสบปวดร้อน ไอ หายใจมีเสียงหวีด การอักเสบที่ตอนบนของหลอดลม หายใจถี่ ปวดศีรษะ คลื่นเหียน และอาเจียน

สารพิษสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้หลายทางดังต่อไปนี้

1) ทางหายใจ (Inhalation) โดยทางจมูก จะเป็นก๊าซหรือไอระเหย หรือไอระเหย หรือไอระเหิด เคลื่อนเข้าทางโพรงจมูก แล้วเข้าภายในร่างกายต่อไป

2) ทางปาก (Oral exposure) โดยการรับประทานอาหารและการดื่มน้ำ ถ้ามีสารพิษอยู่ในอาหารและในน้ำดื่ม ก็จะทำให้เข้าสู่ร่างกายได้

3) ทางผิวหนัง (Absorption) โดยการดูดซึมเข้าสู่ภายในร่างกาย โดยอาจเป็นของเหลว ของแข็งหรือก๊าซ ก็สามารถดูดซึมเข้าสู่ภายในร่างกายได้

4) ทางเส้นเลือด (Distribution) โดยการกระจายสารพิษเข้าทั่วร่างกายไปตามเส้นเลือด

สารพิษเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเกิดปฏิกิริยากับอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย มีระดับความเป็นพิษรุนแรงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ปริมาณสารพิษ
2. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารพิษ
3. ระยะเวลาของการได้รับสารพิษ
4. ตำแหน่งที่ได้รับสารพิษ
5. ความถี่ของการได้รับสารพิษ
6. อายุและน้ำหนักร่างกาย
7. ภาวะทางอารมณ์ของมนุษย์
8. การกินการอยู่ของมนุษย์

ในการแบ่งประเภทของการกระทำต่อสารทางองค์การอนามัยโลก (WHO) จัดระดับความเป็นพิษเป็น 6 ระดับ จากชนิดที่ไม่มีพิษจนถึงมีพิษร้ายแรงยิ่ง ซึ่งใช้ค่า LD_{50} เป็นค่ากำหนดชนิดความมีพิษน้อยจนถึงมีพิษมากที่สุด ค่า LD_{50} คือปริมาณของสารพิษเป็น มก. ต่อ กก. ของน้ำหนักสัตว์ทดลองที่สามารถทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด ตารางที่ 3 แสดงถึงระดับความเป็นพิษของสารพิษโดยพิจารณาจากค่า LD_{50} โดยทางปาก โดยทางหายใจและโดยทางผิวหนังของสัตว์ทดลอง และพิจารณาจากค่า LD_{50} ที่มีต่อมนุษย์ด้วย

ตารางที่ 3.3 ระดับความเป็นพิษของสารพิษด้วยค่า LD_{50} (เกรียงศักดิ์, 2546)

ระดับความเป็นพิษ	LD สำหรับมนุษย์ (ก.)	LD_{50} ทางปากของสัตว์ทดลอง (มก./กก.)	สูดทางหายใจของหนูใน 4 ชม. (ppm)	LD_{50} ทางผิวหนังของสัตว์ทดลอง (มก./กก.)
1. ระดับไม่มีพิษ	750	15,000	100,000	25,000
2. ระดับมีพิษน้อยมาก	250-750	5,000-15,000	10,000-100,000	3,000-25,000
3. ระดับมีพิษน้อย	50-250	500-5,000	1,000-10,000	350-3,000
4.ระดับมีพิษปานกลาง	5-50	50-500	100-1,000	50-350
5. ระดับมีพิษร้ายแรง	0.1-5	5-50	10-100	5-50
6. ระดับพิษร้ายแรงยิ่ง	0.06	5	0	5

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

การได้รับสารพิษเฉียบพลัน หมายถึง การได้รับสารพิษ เข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากในระยะเวลาน้อยกว่า 24 ชม. โดยมากจะได้รับสารพิษโดยวิธีผ่านทางฉีดเข้าเส้นเลือด ฉีดเข้าช่องท้อง ฉีดเข้าใต้ผิวหนัง โดยการกิน หรือการทาบนผิวหนัง

ความเป็นพิษเฉียบพลัน หมายถึง การที่มนุษย์หรือสัตว์เกิดอาการเป็นพิษแสดงออกมาให้เห็นหลังจากที่ให้สารพิษเข้าไปเพียงครั้งเดียวหรือหลายครั้งใน 24 ชม.

2. ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

การได้รับสารพิษเรื้อรัง หมายถึง การได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายมนปริมาณน้อยติดต่อกันเกิน 3 เดือนขึ้นไป

ความเป็นพิษเรื้อรัง หมายถึง การที่มนุษย์และแสดงอาการออกมาให้เห็นในลักษณะต่างๆ หลังจากที่ได้รับสารพิษในปริมาณน้อยติดต่อกันนานมากกว่า 3 เดือนขึ้นไป หรือได้รับสารพิษเข้าไปมากกว่าร้อยละ 10 ของอายุขัยในสัตว์ทดลอง โดยมากจะได้รับสารพิษโดยวิธีกินเข้าไปหรือสูดดมเข้าไปเป็นระยะเวลานานๆ จนเกิดอาการของการเป็นพิษแสดงออกมา อาการของการเป็นพิษอาจมีดังนี้

1) เกิดมะเร็ง (Carcinogen)

2) เกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

3) เกิดการผิดปกติในอวัยวะของทารกที่เกิดออกมา (Teratogenicity)

4) เกิดการผิดปกติในระบบภูมิคุ้มกัน (Immunotoxicity)

2.3.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

สารพิษที่เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จะทำให้เกิดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งน้ำ พื้นดิน ในชั้นบรรยากาศ และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ซึ่งจะเกิดการสะสมสารพิษในสิ่งมีชีวิต เช่น หอย ปู ปลา กุ้ง ฯลฯ แม้แต่พืชที่มีขนาดเล็กมากๆ ก็จะมีการสะสมสารพิษได้มาก ทั้งหมดนี้เมื่อมนุษย์นำไปรับประทานเป็นอาหารก็จะทำให้คนได้รับสารพิษได้เช่นกัน เนื่องจากการรวบรวมไว้จากสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก สิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ก็จะกินสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กกว่า เช่น ปลาใหญ่กินปลาเล็กแล้วมนุษย์นำปลาตัวนั้นมารับประทาน ทำให้สารพิษเมื่ออยู่ในตัวปลามีปริมาณมากแล้วเมื่อมนุษย์รับเข้าไปในร่างกายแล้วจะเป็นอันตรายมาก อาจเกิดอาการได้ทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังก็ได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า Biomagnification ซึ่งแหล่งน้ำมีโอกาสที่จะมีสารพิษไหลลงในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำสาธารณะเพราะเกิดการรั่วไหลสู่ลำคลอง แม่น้ำ ทะเล หรือแม้แต่แหล่งน้ำใต้ดินก็อาจเกิดชะซึมลงใต้พื้นดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 3
การจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

สำหรับประเทศสมาชิกของสหภาพยุโรปนั้น มีระบบการจัดการเศษเหลือทิ้งของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สหภาพยุโรป มีวิธีการจัดการที่เหมือนกัน ยกตัวอย่าง การจัดการของประเทศออสเตรีย ดังนี้

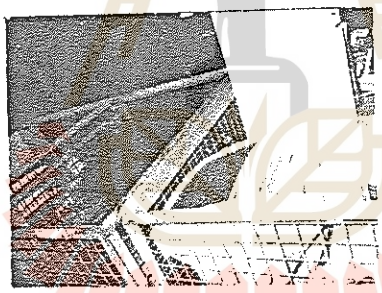
3.1 การเก็บรวบรวม และการปรับสภาพ

การเก็บรวบรวมจะมีจุดเก็บรวบรวม ต่อจากนั้นจะมีเจ้าหน้าที่คัดเลือกชิ้นส่วนขั้นต้นที่บริเวณที่ใช้เป็นสถานที่รวบรวม เช่น แยก condensor เป็นขยะอันตราย ก่อนจะส่งไปยังร้านที่คัดแยกชิ้นส่วนโลหะ สำหรับ Cathode Ray Tubes (CRTs) ถูกแยกชิ้นส่วนออกมาจากโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ สารที่ใช้เชื่อมจะถูกแยกออกจากด้านหลังของ CRTs แล้วฝ่ายคัดแยกทองแดงออกแผงวงจรแม่พิมพ์และสายเคเบิลจะขายไปพร้อมกับโลหะมีค่าอื่นๆ และทองแดง แบเรียมแยกจาก CRTs ส่วนที่เหลือของ CRTs ถูกย่อยและนำไปฝังกลบในเหมืองร้าง สำหรับหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการดำเนินการจัดการของเสียประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คือ TAPU ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่นๆ ทุกชนิดจะถูกนำแยกชิ้นส่วนออกโดยคนงานซึ่งผ่านการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการจำแนกส่วนประกอบที่แตกต่างและส่วนประกอบอื่นๆ การแยกชิ้นส่วนหรือวัตถุ ที่มีสารต่อไปนี้จากซากผลิตภัณฑ์ฯ เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง (การกำจัดต้องเป็นไปตาม EU Directive 75/442/EEC: Article 4)

- ตัวเก็บประจุที่มีสาร โพลิคลอริเนท-ไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyl (PCB)
- ชิ้นส่วนที่มีสารปรอท
- แบตเตอรี่
- แผงวงจรไฟฟ้า (Printed circuit boards)
- ตลับหมึกพิมพ์ ทั้งที่เป็นหมึกเหลว หมึกหลอด (Pasty) รวมทั้งหมึกสี
- พลาสติกที่มี สารโบรมีน เป็นองค์ประกอบ เพื่อหน่วงการติดไฟ
- ของเสียจาก แอสเบสตอส
- หลอดภาพ (Cathode ray tube)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (สาร CFC), สารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (สาร HCFC), สารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (สาร HFC)
- หลอด Gas discharge lamps
- จอ LCD ที่มีพื้นที่มากกว่า 100 ตารางเซนติเมตร และจอชนิดที่ใช้ back light ชนิด gas discharge lamps
- สายไฟฟ้าภายนอก (External Electric Cables)
- ชิ้นส่วนที่มีceramic fibers ตามที่ระบุใน EU Directive 67/69/EU
- ชิ้นส่วนที่มี สารกัมมันตภาพรังสี
- ตัวเก็บประจุชนิด Electrolyte ที่มีสารที่น่าเป็นห่วงที่มีขนาดสูงกว่า 25 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร หรือที่มีปริมาตรระดับเดียวกัน



ภาพที่ 3:1: การเก็บรวบรวมคอมพิวเตอร์

แยกชิ้นส่วนต่อไปนี้จากซากผลิตภัณฑ์ฯ เพื่อทำการกำจัดตามที่ระบุ

- หลอดภาพ (Cathode ray tube) : ต้องแยกสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ออก
- อุปกรณ์ที่มีสารทำลายชั้นโอโซน หรือมี Global Warming Potential (GWP) สูงกว่า15เช่น สารที่มีอยู่ในโฟมและวงจรทำความเย็น

i.ต้องแยกแก๊สออกและทำลายอย่างเหมาะสม

ii.แก๊สที่ทำลายชั้นโอโซน ต้องได้รับการบำบัดตามกฎ EC No. 2037/2000 วันที่ 29 มิ.ย. 2543 เรื่องสารที่ทำลายชั้นโอโซน

- Gas discharge lamps: แยกสารปรอทออก

ส่วนประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกนำมาคัดแยกได้แก่

สายเคเบิล : ขายไปพร้อมกับส่วนอื่นๆ ที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบ

มอเตอร์ : ขายไปพร้อมกับส่วนอื่นๆ ที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบ

แผงวงจร : ขายไปพร้อมกับโลหะมีค่าอื่นๆ

พลาสติก : เผาพร้อมกับขยะมูลฝอยอื่นๆ

ส่วนที่ประกอบด้วยเหล็ก : ขายให้กับตลาดที่รับซื้อทั่วๆ ไป

ส่วนที่ประกอบด้วยอลูมิเนียม : ขายให้กับตลาดที่รับซื้อทั่วๆ ไป

ส่วนที่ประกอบด้วยสังกะสี : ขายให้กับตลาดที่รับซื้อทั่วๆ ไป

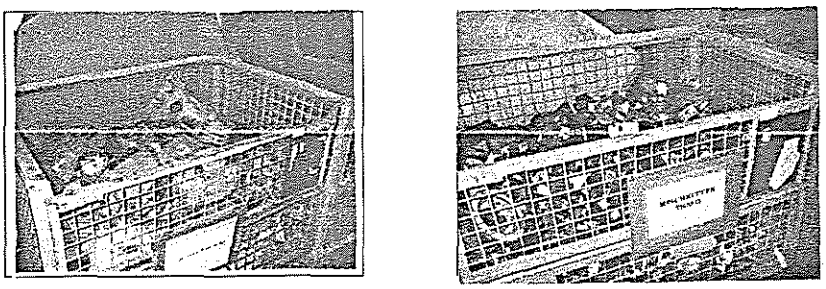
Condensor : เผากับขยะที่เป็นของเสียอันตราย

LCDs : เผากับขยะที่เป็นของเสียอันตราย

LEDs : เผากับขยะที่เป็นของเสียอันตราย

การจัดการ Cathode Ray Tubes (CRTs)

1. รวบรวมเครื่องรับโทรทัศน์และจอภาพที่ผ่านคัดแยกเบื้องต้นแล้ว
2. แยกตัวเรือนด้านหลังออก แยกหลอดสุญญากาศจาก CRTs แล้วนำไปทำลายภายใต้ความดันและต้องระวังไม่ให้ระเบิดเข้าข้างใน สำหรับส่วนที่เหลือแยกด้วยตัวขับเกลียวไฟฟ้า
3. ส่วนประกอบอื่นที่แยกจาก CRTs ได้แก่สายเคเบิลนำไปขายเพื่อแยกทองแดงออก สารเชื่อมแยกเอาส่วนของทองแดงออก พลาสติกนำไปขายเพื่อรีไซเคิลใหม่ ส่วนที่เหลือ PCBs นำไปเผา
4. แยกเอาโลหะออก
5. แยกหลอดแก้ว CRTs นำมาแยกส่วนที่เป็นกรวยแก้วออกแล้วรวบรวมเอาไว้เป็นวัสดุอันตราย
6. เศษแก้วที่เหลือนำไปหลอมเอาตะกั่ว



ภาพที่ 3.2: การคัดแยกผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

3.2 การบำบัดและการกำจัด

3.2.1 การใช้ซ้ำและการนำมาใช้ใหม่

ขยะที่ทำการคัดแยกเสร็จแล้ว โดยการแยกสารอันตราย โลหะหนัก ชิ้นส่วนบางประเภทก็สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น พลาสติกและโลหะบางประเภท เป็นต้น

ภาพที่ 3.3: วัสดุที่สามารถนำมาใช้ซ้ำ

3.2.2 การเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง

การเผาของเสียอันตรายจะต้องเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส และต้องมีส่วนเผาไอก๊าซซ้ำให้มีมลสารเหลือน้อยที่สุด เตาเผาจะต้องมีการปรับอัตราส่วนเชื้อเพลิงและอากาศที่เหมาะสม และจะต้องมีเครื่องฟอกอากาศซ้ำ เช่น เครื่องดักฝุ่น และเครื่องกำจัดไอกรดด่างก่อนปล่อยอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อม

3.2.3 การปรับเสถียร (stabilization)

การปรับเสถียรเป็นกระบวนการที่ใส่วัสดุหรือสารเพิ่มเติมที่ใช้ลดขนาดอันตรายลงของของเสีย ทำให้ลดอัตราของการเคลื่อนที่ออกของสารปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม และช่วยลดระดับความเป็นพิษด้วย เปรียบเสมือนเป็นกระบวนการบำบัดของเสีย เช่น น้ำเสียผสมกับสลัดจ์ควรทำการปรับเสถียรให้เรียบร้อยก่อนนำไปทิ้งลงบนพื้นที่ฝังกลบ สารปรับเสถียร (stabilization agents) ที่ใช้ไม่ใช่สารดูดซึม เพราะจะหลุดออกได้ง่ายออกในบริเวณหลุมฝังกลบ เพราะมีแรงกระทำต่อพื้นที่ฝังกลบ ดังนั้นสารปรับเสถียรควรเป็นสารที่ยึดเกาะติดทางกายภาพและทางเคมีได้มั่นคงแข็งแรงแม้จะมีแรงกระทำ มีความเค้น หรือมีน้ำฝนชะอยู่ตลอดเวลา

3.2.4 การทำก้อนแข็ง (solidification)

การทำก้อนแข็งเป็นกระบวนการที่ใส่สารที่ก่อให้วัสดุแข็งตัวโดยทำการใส่วัสดุก่อให้แข็งตัวผสมกับของเสียอันตราย ทำให้ได้ของแข็งที่สามารถทำให้มีความแข็งแรง รับแรงกดได้มากขึ้น

และสามารถช่วยลดความสามารถของน้ำซึมผ่านได้ วัสดุที่ช่วยก่อให้แข็งตัวได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลให้ของเสียอันตรายมีเสถียรภาพดีขึ้น

กลไกของระบบ

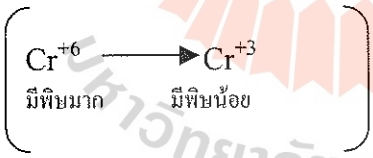
กลไกของระบบการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งอาศัยกลไกทางกายภาพและทางเคมีที่ส่งผลให้ของเสียอันตรายถูกปกปิดหรือถูกยึดเกาะติดจนแน่นไม่สามารถหลุดออกมาได้ กลไกต่างๆ ที่อาจมีได้ มีดังนี้

1. Precipitation

การตกตะกอนผลึกหรือการนำพวกของเสียอันตรายโดยมากเป็นของเสียอนินทรีย์มาผสมรวมกับสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนผลึก ถ้าอยู่ในสภาพเหมาะสม เช่น มี pH เหมาะสม ในที่นี้จะเป็นตะกอนผลึกอนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ hydroxides, sulfides, silicates, carbonates, phosphates เป็นต้น โดยทั่วไปจะเป็นการกำจัดโลหะหนัก ด้วยการปรับ พีเอชให้สูงหรือให้เหมาะสมต่อการทำตะกอนผลึก ถ้าตะกอนผลึกนี้มี พีเอชลดลง เช่นได้ผสมกับกรด จะเกิดปัญหาของเสียอันตรายหรือสารโลหะหนักละลายออกมาจากผลึก สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมต่อไป

2. Detoxification

การกำจัดสารพิษหรือความเป็นพิษออกจากของเสียอันตรายด้วยการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมี เช่น ทำการเปลี่ยนจาก Cr^{+6} ซึ่งมีความเป็นพิษมากให้เป็น Cr^{+3} ซึ่งมีความเป็นพิษน้อย หรือสรุปได้ว่า



ในการเปลี่ยนจาก Cr^{+6} ให้เป็น Cr^{+3} อาจใช้ Ferrous sulfate หรือ Ferrous sulfate รวมกับ Sodium sulfate

วิธีการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง

วิธีปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งเป็นวิธีที่อาศัยการเติมสารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งมีใช้กันได้หลายๆ ชนิด พบได้ทั่วไป เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ต่อไปนี้จะได้อธิบายสารปรับเสถียรหรือสารทำให้เป็นก้อนแข็ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ซีเมนต์ (Cement)

ซีเมนต์เป็นสารหรือตัวที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง เมื่อนำซีเมนต์มาผสมกับน้ำและของเสียอันตราย จะก่อรูปเป็นก้อนแข็งภายในเป็นผลึกในรูปของ calcium alumino-silicate หลายแห่งจะผสมทรายและหินเล็กด้วยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของก้อนแข็ง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของปูนซีเมนต์ดังแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$2(3CaO.SiO_2)+6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$

หรือ $2(2CaO.SiO_2)+4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O+3Ca(OH)_2$

หรือ $3CaO.Al_2O_3+6H_2O \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.6H_2O+$ความร้อน

วิธีที่ใช้ซีเมนต์จะทำงานได้ดีกับของเสียอนินทรีย์โดยเฉพาะพวกโลหะหนัก ในก้อนซีเมนต์นี้จะมีพีเอชค่อนข้างสูงทำให้สารปนเปื้อนอยู่ในรูปของ hydroxide หรือเกลือ Carbonate ในรูปของแข็ง

วิธีนี้มีข้อดีได้แก่

1. สามารถเก็บสารอันตรายอยู่ในก้อนซีเมนต์ได้ยาวนานนับเป็นสิบๆ ปี
2. ไม่ต้องทราบถึงความสามารถในการตกตะกอนผลึกที่พีเอชเท่าใด
3. มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพอากาศร้อน ฝน หนาวได้ดี และทนแรงกระแทกได้ดีอีกด้วย
4. การจัดการดำเนินการผสมสารปนเปื้อนกับซีเมนต์กระทำได้ง่าย

2. ปูนขาว

ปูนขาวเป็นสารหรือวัสดุที่ทำให้ให้เป็นก้อนแข็งได้ มีสูตรเคมีคือ $Ca(OH)_2$ (Calcium hydroxide) แต่นิยมเรียกว่า Lime หรือ Hydrated lime เมื่อนำปูนขาวมาผสมกับของเสียอันตรายจะได้ปฏิกิริยาเคมีที่ Calcium hydroxide ทำปฏิกิริยากับวัสดุในของเสีย ซึ่งจะได้พวก Hydrated ของ Calcium silicate, Calcium alumina, หรือ Calcium alumino-silicate

นอกจากปูนขาวอย่างเดียว อาจใช้วัสดุอื่นๆ มาช่วยผสมด้วย เช่น เถ้าลอย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย

3. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Materials)

วัสดุเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ ยางมะตอย, Paraffin, Bitumen, Polyethylene, Polypropylene, Sulfur เป็นต้น ที่หลอมเหลวในอุณหภูมิสูง จะใช้ผสมกับของเสียอันตราย ทำให้ของเสียอันตรายถูกปรับเสถียร จากนั้นนำวัสดุเทอร์โมพลาสติกที่ปกคลุมของเสียอันตรายไปลดอุณหภูมิลง หรือทำให้เย็นลงจนวัสดุเทอร์โมพลาสติกแข็งตัว แล้วให้บรรจุวัสดุนี้และของเสียอันตรายไว้ในถังเก็บกัก เพื่อนำไปทิ้งในพื้นที่ฝังกลบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

อนึ่งมีการนำของเสียประเภทกัมมันตภาพรังสีมาผสมกับวัสดุเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมวิธีหนึ่ง

เนื่องจากระบบกำจัดของเสียอันตรายวิธีนี้มีความร้อนสูง ดังนั้นถ้าของเสียอันตรายมีคุณสมบัติระเหยได้ง่าย ก็จะช่วยทำให้ของเสียอันตรายระเหยออกได้มาก ซึ่งเป็นปัญหามลพิษอากาศ

เมื่อของเสียอันตรายถูกปรับเสถียรด้วยเทอร์โมพลาสติกจะช่วยป้องกันการเกิดการชะของเสียและป้องกันการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

ข้อดีของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง

1. ช่วยป้องกันการละลายของสารปนเปื้อนออกมา
2. ช่วยลดขนาดพื้นที่ผิวของของเสีย
3. ช่วยเสริมสภาพของของเสียด้านกายภาพให้อยู่ในสภาพดี มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

3.3 การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)

การกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ และเคมีและการเผา เป็นการเปลี่ยนสภาพของเสียอันตรายให้อยู่ในสภาพที่มีความเป็นอันตรายน้อยลง หรือมีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งอยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ หรือเถ้าจากการเผาไหม้ ต่อจากนั้น นำไปปรับเสถียรก่อนแล้วจึงนำไปฝังกลบแบบปลอดภัยต่อไป

การฝังกลบแบบปลอดภัย คือ การนำกากของเสีย เช่น ตะกอนโลหะ หลอดไฟ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไปทำลายฤทธิ์ และจัดเก็บฝังในหลุมที่ก่อสร้าง ด้วยระบบป้องกันผลกระทบ ไม่ให้มีน้ำไหลซึมออกไปปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

การฝังกลบแบบปลอดภัยจำเป็นต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

3.3.1 การเลือกพื้นที่ฝังกลบ

การเลือกพื้นที่ฝังกลบควรมีข้อพิจารณาดังนี้

1. ต้องสำรวจสภาพภูมิประเทศรอบบริเวณพื้นที่ฝังกลบว่ามีระดับสูงต่ำขนาดไหน
2. ให้ทำการเก็บข้อมูลในสนามได้แก่ ธรณีวิทยา อุทกวิทยา ปฐพีกลศาสตร์ เป็นต้น
3. ให้สำรวจสภาพระดับน้ำใต้ดิน
4. ให้สำรวจแหล่งดินกลบอยู่ไกลจากพื้นที่ฝังกลบกี่กิโลเมตร
5. ให้สืบประวัติถึงการเกิดน้ำท่วมบริเวณนี้ ให้หาข้อมูลระดับน้ำสูงสุดที่เกิดน้ำท่วมบริเวณนี้
6. ให้หาว่ามีประชาชนได้ใช้บ่อน้ำตื้น หรือบ่อน้ำใต้ดินข้างเคียงกับพื้นที่ฝังกลบหรือไม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. ในบริเวณข้างเคียงมีการทำเกษตรกรรมหรือไม่
8. สอบถามประชาชนที่อาศัยอยู่ข้างเคียงถึงการยอมรับที่จะมีบ่อฝังกลบ และควรมีการอธิบายถึงผลกระทบด้วย

3.3.2 วัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ในงานฝังกลบของเสียอันตราย มีใช้กันอย่างแพรหลาย อาจใช้ปูบริเวณส่วนบนของของเสียอันตราย หรือปูบริเวณส่วนล่างของของเสียอันตราย วัสดุที่ใช้มีอยู่หลายชนิด ซึ่งมีทั้งมาจากธรรมชาติ และมาจากการสังเคราะห์ ซึ่งวัสดุที่ใช้มีรายละเอียด ดังนี้

Geomembrane

แผ่นใยธรณีเป็นวัสดุโพลิเมอร์ ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ทำด้วยวัสดุต่างๆ เช่น Polyethylene, Polyvinyl chloride, Butyl rubber, Neoperene

Geotextiles

สิ่งทอธรณีเป็นแผ่นสังเคราะห์ที่ยอมให้น้ำซึมไหลผ่านได้ คือมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ได้แก่ การกรอง คือ การกำจัดสารแขวนลอยออกจากน้ำและ การระบายคือ การย้ายหรือเคลื่อนที่ของของเหลวผ่านแผ่นสิ่งทอธรณี

ความคงทนของสิ่งทอธรณีควรมีข้อพิจารณา ดังนี้ 1) ความต้านทานแสง UV 2) ความต้านทานการขูดขีด 3) ความต้านทานสารเคมี 4) ความต้านทานความร้อน และ 5) ความต้านทานการคืบ (Creep)

เนื่องจากแผ่นสิ่งธรณีโดยมากจะมีดินปกคลุมไว้ ทำให้ไม่ต้องกังวลเรื่องแสง UV การขูดขีด และยังสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้

ดินเหนียวบดอัด

ในการใช้ดินเหนียวบดอัดเป็นตัวดาดหรือตัวกั้นน้ำชะไหลผ่าน โดยมากจะเลือกใช้ชั้นดินเหนียวบดอัดเป็นชั้นดาดเกือบสุดท้ายหรือสุดท้าย ดินเหนียวบดอัดนี้อาจประกอบด้วย ดินเหนียว ดินปนทราย ชั้นดินเหนียวบดอัดนี้จะสามารถป้องกันการไหลซึมของน้ำชะได้ดีมาก และเป็นวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ ไม่ต้องจัดการผลิตใดๆ เพียงแต่ต้องมีวัสดุดินเหนียวอยู่ใกล้พื้นที่ฝังกลบ เพื่อขุดขึ้นมาใช้ได้

ดินเหนียวดัดแปลง

ดินเหนียวดัดแปลงจะมีสารอินทรีย์เป็นหลัก โดยเป็นดินชนิดที่จัดทำขึ้นมาจากการแลกเปลี่ยนระหว่างพวกอนินทรีย์ประจุบวกกับพวกอินทรีย์ประจุบวก เช่น พวก Quaternary ammonium

เถ้าลอย

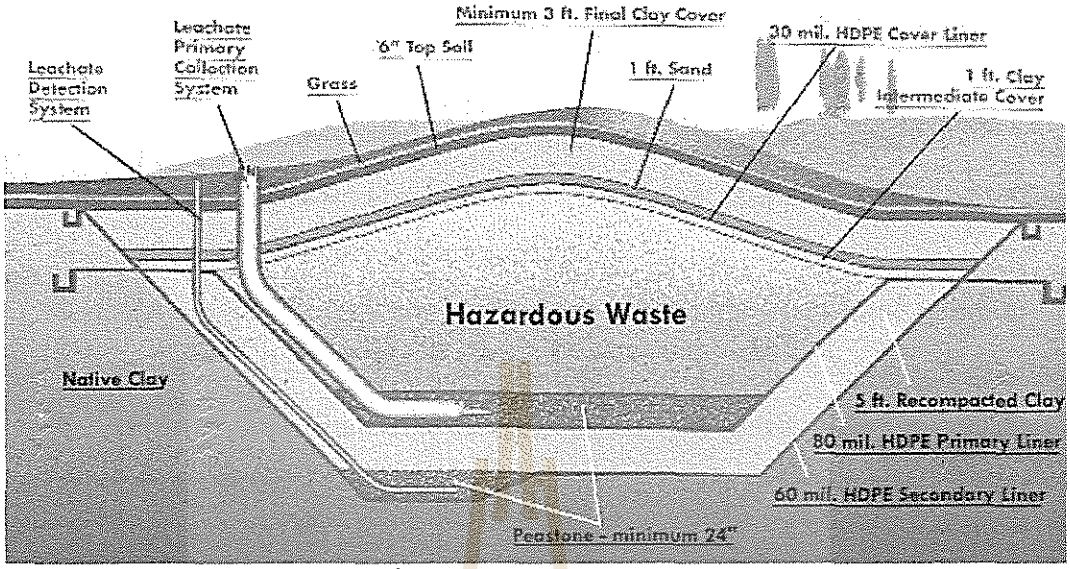
เป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่ใช้ผลิตไฟฟ้า ถ้านำคาร์บอนมาผสมเพิ่มกับเถ้าลอยจะทำให้เถ้าลอยมีความสามารถดูดซับได้ดี

เบนโทไนต์

เบนโทไนต์ได้ถูกเติมลงไปผสมกับดินธรรมชาติ เพื่อช่วยลดค่า Hydraulic conductivity และช่วยเพิ่มค่าความดูดซับ พวกเบนโทไนต์หรือเรียกว่า Sodium montmorillonitic clay จะถูกส่งลงไปประมาณ 5-15 % โดยน้ำหนักผสมกับดินธรรมชาติ ทำให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติ Plasticity ค่อนข้างสูงขึ้นพวกเบนโทไนต์มีคุณสมบัติอีกข้อคือ สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี ซึ่งโดยทั่วไปจะมีประมาณ 35-99% สารเบนโทไนต์มี 2 ชนิด คือ แคลเซียมเบนโทไนต์และโซเดียมเบนโทไนต์ โดยมีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกได้เท่ากับ 80 และ 150 มิลลิสมมูล ต่อ 100 กรัม ของดินแห้งตามลำดับ ซึ่งพวกโซเดียมมีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุได้มากกว่าของพวกแคลเซียม พวกเบนโทไนต์นี้มีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุของพวกโลหะหนักต่างๆ ได้ดี เช่น นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง

3.3.3 วิธีการฝังกลบแบบปลอดภัย

การฝังกลบแบบปลอดภัยนั้นจะต้องทำหลุม ที่บุด้วยแผ่นพลาสติก ชนิด High Density Polyethylene (HDPE) 2 ชั้น และมีการตรวจสอบ รอยรั่วซึมของรอยต่อ แผ่นพลาสติกทุกรอยให้เป็นไปตามมาตรฐาน ระหว่างพลาสติกแต่ละชั้น วางท่อรวบรวมน้ำเสีย ต่อเชื่อมกับบ่อรวบรวม และทำการติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนเป็นระยะๆ โครงสร้างของหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัยจะต้องมีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำและสารอันตรายอย่างรัดกุมมาก ที่ก้นหลุมและด้านข้างหลุมมีการบดอัดด้วยดินเหนียว ซึ่งมีอัตราการไหลซึมของน้ำต่ำ ต่อจากนั้นจึงปูด้วยแผ่นยางหรือแผ่นพลาสติก เช่น HDPE จำนวน 2 ชั้นเหนือชั้นแผ่นยางแต่ละชั้นเป็นชั้นระบายน้ำ และเมื่อเกิดการรั่วไหลลงมาน้ำเหล่านี้จะไหลลงท่อเพื่อรวบรวมนำมาบำบัดภายนอกต่อไป เมื่อฝังกลบกากของเสียจนเต็มหลุมแล้ว จะต้องทำการปิดหลุมด้วยดินอัดแน่น จากนั้นปูแผ่นยางหรือแผ่นพลาสติกสังเคราะห์ปูทับด้วยดินอีกชั้นแล้วปลูกพืชคลุมดินไว้ เพื่อลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน นอกจากนี้แล้วด้านบนของหลุมฝังกลบจะต้องมีท่อระบายอากาศ เพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้นภายในออกสู่ภายนอกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอัดตัวของก๊าซจนถึงขั้นดันหลุมฝังกลบให้มีรอยแตกได้ ด้านข้างของหลุมฝังกลบทั้ง 2 ด้าน จะต้องมีบ่อบาดาลเป็นบ่อสังเกตการณ์การรั่วไหลออกสู่ภายนอก โดยต้องทำการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อทั้งสองมาตรวจสอบปริมาณสารปนเปื้อนอยู่เสมอ



ภาพที่ 3.4: การฝังกลบแบบปลอดภัย

เมื่อมีการฝังกลบของเสียอันตรายจนเต็มบ่อ แล้วจึงทำการปิดบ่อด้วยการปกคลุม หญ้าหรือพืชอื่น ๆ มีไว้เพื่อลดการกัดเซาะหรือการชะล้างและชวยลดปริมาณน้ำฝนซึมลงชั้นลาง พร้อมทั้งจะช่วยคายน้ำออกจากใบไม้ และยังดูดซับความชื้นไว้บนผิวชั้นพื้นดิน

1. ดินปุ๋ย มีไว้ใช้รองรับพืช และไว้ให้สารอาหารแก่พืช
2. แผ่นทอธรณี (Geotextile filter) มีไว้ใช้แยกชั้นบนกับชั้นล่าง และทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองเพื่อช่วยดักไม่ให้วัสดุจากส่วนบนเคลื่อนลงแผ่นล่าง
3. หินและทราย เป็นชั้นที่ต้องการให้เกิดการระบายน้ำหลายแห่ง ได้มีการวางท่อระบายน้ำด้วย เพื่อให้มีการไหลเป็นไปอย่างทั่วถึง และรวดเร็ว
4. แผ่นใยธรณี (Geomembrane) เป็นแผ่นใยธรณีที่ใช้แบ่งชั้น เป็นแผ่นที่ยืดหยุ่นได้ดี
5. ดินเหนียวอัดแน่น เป็นชั้นที่กลั่นไม่ให้น้ำไหลซึมลงสู่ด้านล่าง
6. ชั้นหินเล็ก ชั้นนี้อาจมีทั้งหินเล็กและทรายด้วย มีวัตถุประสงค์หลักคือการระบายหรือช่วยรวบรวมก๊าซ หลายแห่งอาจใช้ท่อลำเลียงก๊าซที่อาจเกิดจากการหมักของเสีย แต่สำหรับของเสียอันตรายจะมีก๊าซเกิดขึ้นน้อย
7. ชั้นดินปกคลุม ชั้นดินปกคลุมนี้ทำหน้าที่หลักเพื่อปรับสภาพชั้นดินให้มีความลาดเอียงที่ถูกต้องสำหรับการระบายน้ำ ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ได้สัมผัสกับของเสียอันตรายโดยตรง และเป็นชั้นที่เริ่มทำงานปรับระดับดินให้มีความลาดเอียงที่ต้องการ

เนื่องจากบ่อฝังกลบที่ไม่ใช้แล้ว จำเป็นต้องดำเนินปกคลุมให้มีอายุการทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ยาวนานเท่ากับอายุของของเสียที่อยู่ภายในบ่อฝังกลบ ดังนั้นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมการไหลของน้ำในบ่อฝังกลบเพื่อลดปริมาณน้ำชะ
2. การควบคุมแมลงต่างๆ และสัตว์ต่างๆ ที่ทำให้เกิดโรคระบาด
3. การป้องกันไม่ให้ของเสียไปสัมผัสสาธารณชน
4. การควบคุมก๊าซให้กระจายออกอย่างเหมาะสม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
5. การป้องกันไม่ให้เกิดอัคคีภัยขึ้นบริเวณพื้นที่ฝังกลบ
6. การป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพของความลาดของชั้นดิน
7. การป้องกันไม่ให้น้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ต้องทำการปรับสภาพทิวทัศน์ให้มีความเหมาะสม
8. การป้องกันการกัดเซาะ และการชะ
9. การป้องกันไม่ให้ฝุ่นกระจัดกระจายหรือเศษเล็กเศษน้อยพัดปลิวกระจายออกไป
10. การป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้น
11. การทำให้มีทัศนียภาพดี

3.3.4 เสถียรภาพของหลุมฝังกลบ

เสถียรภาพของหลุมฝังกลบจะมีความสำคัญมากต่อการฝังกลบของเสียอันตราย เพราะต้องมีความมั่นคงของบ่อฝังกลบ ไม่พังทลายลงมาเมื่อเกิดฝนตก น้ำท่วม หรือมีน้ำหนักบรรทุกอยู่ด้านขอบบ่อ

การดูแลพื้นที่หลังปิดฝังกลบ

การดูแลพื้นที่หลังปิดฝังกลบเป็นภารกิจที่สำคัญมาก เพราะถ้าดูแลพื้นที่ไม่ดีจะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ดังนี้

1. ฝุ่นฟุ้งกระจายไปทั่วบริเวณ
2. น้ำฝนชะพื้นที่ฝังกลบ ทำให้เกิดน้ำเสียกระจายไปทั่วบริเวณ
3. น้ำใต้ดินบริเวณรอบๆ พื้นที่ฝังกลบจะถูกปนเปื้อนด้วยของเสียอันตราย
4. อาจมีพวกแมลงวัน แมลงต่างๆ หนู สัตว์เลื้อยคลานบางชนิด ยุง ซึ่งอาจก่อให้เกิดการแพร่เชื้อโรคติดต่อได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. อาจมีสารพิษปนเปื้อนอยู่บนพื้นดินบริเวณพื้นที่ฝังกลบ ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็ง และโรคร้ายแรงอื่นๆได้

ดังนั้นควรมีมาตรการต่างๆ เพื่อช่วยพัฒนาปรับปรุงพื้นที่ฝังกลบให้ได้ดีที่สุด ปราศจาปัญหาต่างๆ โดยมีมาตรการต่างๆ ดังนี้

1. ปลูกพืชต่างๆ เพื่อให้รากพืชช่วยยึดดินให้แน่น ไม่หลุดลอกหน้าดินออกมา
2. ควรมีรั้วรอบบริเวณอย่างชัดเจน มียามรักษาความปลอดภัย มีการตรวจตราบุคคลภายนอกเข้าที่
3. ควรมีการตรวจสอบยานพาหนะต่างๆ ก่อนเข้าพื้นที่ เช่น ขนส่งวัสดุใดเข้าพื้นที่ ตรวจสอบน้ำหนักยานพาหนะ ต้องให้แน่ใจว่าวัสดุที่ขนส่งเข้าพื้นที่ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรง เป็นต้น
4. มีการปลูกต้นไม้รอบพื้นที่เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออก ช่วยป้องกันกลิ่นเหม็นออกจากพื้นที่ทำให้มีทัศนียภาพดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 4
กรณีศึกษา
การจัดการซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่

โทรศัพท์มือถือ เป็นอุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีอัตราการใช้งานเพิ่มสูงมาก โดยก่อนปี 2545 มีรายงานจดทะเบียนหมายเลขทั้งสิ้น 6 ล้านเลขหมาย แต่ในปี 2545 มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 16 ล้านเลขหมาย และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 20 ล้านเลขหมาย (จำนวนหมายเลขสัมปทาน) ในปี 2546 นอกจากนี้พบว่า จากยอดผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือทุกระบบคาดว่า ปัจจุบันมีปริมาณเครื่องโทรศัพท์มือถือ ปริมาณ 12 ล้านเครื่อง แบ่งเป็นเครื่องทดแทน 3 ล้านเครื่อง อีก 9 ล้านเครื่องเป็นเครื่องใหม่ และยังมีอุปกรณ์ต่อพ่วงที่สำคัญของโทรศัพท์มือถือ ซึ่งได้แก่ แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ

4.1 ส่วนประกอบหลักของโทรศัพท์มือถือ

(1) **ตัวเครื่อง** ประกอบด้วย แผงวงจร (มีโลหะมีค่าและสารอันตรายหลายชนิด ได้แก่ ทองแดง ทองคำ สารหนู พลวงเบริลเลียม สานทนไฟที่ทำจากโบรมีน แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล พาลาเดียม เงิน แทนทาลัม และสังกะสี) จอผลึกเหลว (LCD) (ส่วนประกอบของผลึกเหลวนั้นมีหลายชนิดและมีระดับความอันตรายที่แตกต่างกัน) ลำโพงและไมโครโฟน (มีขนาดเล็กมากแต่ก็มีส่วนประกอบของโลหะหนัก) หน้ากากหรือส่วนห่อหุ้มของโทรศัพท์ (ทำจากพลาสติกที่เป็นโพลีคาร์บอเนต หรือ เอบีเอส หรือเป็นส่วนผสมของสารทั้งสองชนิด) แผ่นปุ่มกด และตัวนำสัญญาณ

(2) **เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้อัดไฟแบตเตอรี่** พบว่ามีส่วนประกอบหลักเป็นลวดทองแดงที่มีพลาสติกหุ้ม และส่วนประกอบอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อยคือ ทองคำ แคดเมียม และตัวทนไฟ

(3) **แหล่งพลังงาน/แบตเตอรี่** ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นแบบที่สามารถอัดเก็บประจุใหม่ได้ ซึ่งได้แก่ ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd) ชนิดนิกเกิล-เหล็ก (Ni-Fe) และชนิดนิกเกิล-โลหะไฮไดรด์ (Ni-MH) จนมาถึงรุ่นปัจจุบันซึ่งนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Li-ion) ซึ่งสามารถประจุไฟฟ้าได้มากกว่า และสามารถชาร์จไฟได้ในขณะที่ยังมีไฟอยู่ แต่ในบางรุ่นก็ยังมีราคาสูง

ตารางที่ 3.4 ร้อยละของส่วนประกอบอันตรายโดยน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่อัดประจุใหม่ได้

สารอันตราย	ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม	ชนิดนิกเกิล-โลหะไฮไดรด์	ชนิดลิเทียม-ไอออน
แคดเมียม	6-26		
นิกเกิล/สารประกอบนิกเกิล	11-30	30-50	มีแต่ไม่ทราบปริมาณ
สังกะสี		5-20	
ทองแดง		2-15	
โคบอลต์/สารประกอบโคบอลต์	0-2	2.5-8	<25
แมงกานีส		0-2	มีแต่ไม่ทราบปริมาณ
อะลูมิเนียม		0-1	2-10
สารประกอบลิเทียม	<3-10	0-1	<25
เหล็กกล้า	1-25	1-25	15-30
โพลีไวนีลอิดีน ฟลูออไรด์			0-5
ตัวทำละลายอินทรีย์			10-20
คาร์บอน/แกรไฟต์			3-30

4.2 การจัดการซากแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือตามหลักวิชาการ

- การบำบัดและกำจัดซากแบตเตอรี่ในขั้นต้นเมื่อรวบรวมซากแบตเตอรี่แล้วให้ดำเนินการคัดแยกส่วนที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้และส่วนที่ต้องนำไปกำจัด โดยต้องดำเนินการปรับเสถียรส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ก่อนเพื่อให้สารพิษมีความเสถียรเพิ่มขึ้น ไม่มีพิษและไม่ละลายเมื่อถูกชะและนำไปฝังในสถานที่ฝังกลบแบบปลอดภัย (Secure Landfill) ซึ่งสามารถออกแบบให้สามารถป้องกันมิให้มีการรั่วไหลของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยใช้วัสดุสังเคราะห์กันซึม 2 ชั้น พร้อมระบบเก็บรวบรวม น้ำชะและระบบตรวจสอบการรั่วซึม ภายใต้กฎระเบียบและมาตรฐานที่รัฐกำหนด

- การหมุนเวียนซากแบตเตอรี่กลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือนี้เป็นประเภทที่สามารถรีไซเคิลได้ การรีไซเคิลในต่างประเทศมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. นำแบตเตอรี่ไปบดและใส่ลงไปในสารละลายเฉพาะ
2. น้ำเสียที่เกิดขึ้นนำไปปรับสภาพให้เป็นกลาง

3. แยกโลหะหนักที่มีออกโดยการใช้ไฟฟ้าหรือวิธีอื่น

4. นำโลหะหนักที่ได้ไปใช้ใหม่

5. ส่วนที่เหลือนำไปฝังกลบตามที่กล่าวแล้วในขั้นต้น

4.3 แนวทางการจัดการซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่

ภาครัฐ ได้เล็งเห็นความเสี่ยงในอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงได้ริเริ่มโครงการสนับสนุนการเรียกคืนซากแบตเตอรี่และโทรศัพท์มือถือ โดยขอความร่วมมือจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ผู้ประกอบการ ผลิต จำหน่าย และให้บริการโทรศัพท์มือถือ

1. กำหนดจุดตั้งวางรับซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ โดยอาศัยร้านค้าตัวแทนจำหน่ายโทรศัพท์มือถือ จุดจำหน่าย หรือสถานที่รับชำระค่าบริการโทรศัพท์มือถือ ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วประเทศ
2. รวบรวมซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ส่งไปกำจัดโดยโรงงานผู้รับบริการกำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (โรงงานประเภทที่ 101 105 และ 106) ซึ่งขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย
3. ผู้ประกอบการให้บริการโทรศัพท์มือถือร่วมมือกับบริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้าโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ ในลักษณะหุ้นส่วน (Partnership Cooperation) รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดการซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม โดยโรงงานผู้รับบริการกำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (โรงงานประเภทที่ 101 105 และ 106) ซึ่งขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้องตามกฎหมาย
4. ส่งเสริมและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ลูกค้าและประชาชนทั่วไป ร่วมมือร่วมใจกันนำซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ที่ไม่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ มาทิ้งในจุดที่กำหนด
5. ส่งเสริมและเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือมีความรู้และสามารถใช้โทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มีอายุการใช้งานยืนยาวขึ้น

ประชาชน

ให้ความร่วมมือในการคัดแยกซากโทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ที่ใช้แล้ว หรือเสื่อมสภาพไม่ทิ้งปะปนกับขยะมูลฝอยทั่วไป โดยนำมาทิ้งในจุดที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ.(2547).ยุทธศาสตร์ WEEE.**สิ่งแวดล้อมประเทศไทย** 17 (4):48-53.

กอบกุล รายะนคร.(2547).**การจัดทำกฎหมายเพื่อจัดการกับของเสียอันตราย**.สาขานิติศาสตร์ คณะ สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.(2546). **ของเสียอันตราย**.กรุงเทพฯ.

ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. **สถานการณ์การจัดการขยะและของเสียของประเทศไทย**.[ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.tei.or.th.

ธีระพงศ์ สว่างปัญญางกูร. (2546).**ของเสียอิเล็กทรอนิกส์และการจัดการ**.มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ระเบียบเกี่ยวกับเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE). **จุลสารสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3** [ออนไลน์].ได้จาก: http://www.deqp.go.th/news_pr/newspr_tips/toxic/weee.html.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547).ใน **การสัมมนาวิชาการเรื่อง Waste management regulations:implications to electrical and electronic industrial in Thailand**. กรุงเทพฯ : ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์.

ศักดิ์ชัย สุริยจันทราทอง.(2546).ของเสียอันตราย.**Thai Environmental Engineering Journal** 16(4): 27-28.

Simon Wilkinson.(2003).**WEEE Management Practices in Austria**.Environmental Protection Agency.

บทที่ 4
จากน้ำเสีย ... สู่น้ำใส
ด้วยพืชบำบัดน้ำตามแนวพระราชดำริ

สุปันตี แดงดี	B4361121
นิมิน มูลศรี	B4460466
น้ำเงิน จันทรมณี	B4460497
บุปผา คำหงษา	B4460558
วนิดา สงวนสมบัติ	B4460992

สำนักวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ง
ตอนที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช	4-1
1. บทนำ	4-1
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds)	4-4
3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)	4-6
4. วิทยาการการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช	4-14
4.1 ระบบพืชบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยการขังน้ำและปล่อยแห้งและการไหลต่อเนื่อง	4-14
4.2 การใช้ดอกธูปฤาษีกรองน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย	4-16
4.3 การนำออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	4-19
4.4 ระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียแบบอนุกรมเพื่อการบำบัด	4-24
ตอนที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี การบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติตามแนวพระราชดำริ	4-29
1. หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติแบบบ่อผึ่ง หรือบ่อตกตะกอน และระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Oxidation Pond, Sedimental Pond and Lagoon Treatment)	4-29
1.1 ระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-31
1.1.1 การก่อสร้างระบบพื้นกรองน้ำเสีย	4-32
1.1.2 การดำเนินการบำบัดน้ำเสีย	4-35
1.1.3 การบำรุงรักษา	4-36
1.1.4 ระยะเวลาการใช้งานระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-36
1.2 ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย Grass Filtration	4-37
1.2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง	4-37
1.2.2 การนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	4-39
1.2.3 การก่อสร้างระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-41
1.2.4 การบำรุงรักษา	4-43
1.2.5 ระยะเวลาการใช้งานระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-44
1.2.6 การทดลองบำบัดน้ำเสีย	4-44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
1.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมบำบัดน้ำเสีย Constructed Wetland	4-48
1.3.1 พืชน้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-48
1.3.2 การก่อสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-50
1.3.3 การดำเนินการบำบัดน้ำเสีย	4-53
1.3.4 การบำรุงรักษา	4-54
1.3.5 ระยะเวลาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-55
1.3.6 การทดลองบำบัดน้ำเสีย	4-55
1.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน	4-57
1.4.1 การเลือกพื้นที่	4-58
1.4.2 การก่อสร้างระบบแปลงพืชป่าชายเลน	4-59
1.4.3 การบำบัดน้ำเสียในแปลงทดลอง	4-61
2. หลักการบำบัดน้ำเสียโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration)	4-64
2.1 หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย	4-65
3. หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยการผสมผสานระหว่างพืชน้ำ กับระบบการเติมอากาศ (Constructed Wetland and Air Transfer for Waste Water Treatment) ณ บริเวณหนองสนม – หนองหาน	4-66
3.1 หนองสนม	4-66
3.1.1 การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย	4-66
3.2 หนองหาน	4-67
3.2.1 ลักษณะของระบบ	4-68
ตอนที่ 3 พืชบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ	4-71
1. ผักตบชวา	4-71
2. ธูปฤาษี	4-78
3. กกกลม	4-80
4. หญ้าแฝก	4-81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5. ต้นโกงกาง	4-83
6. ต้นแสม	4-84
7. กกอียิปต์	4-85
เอกสารอ้างอิง	4-87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีของแปลงพืชเปรียบเทียบกับแปลงพืชตระกูลหญ้า ระบบน้ำไหลล้น	4-46
4.2	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ให้น้ำในลักษณะน้ำไหลล้น)	4-56
4.3	คุณภาพน้ำในแปลงพืชป่าชายเลนประเภทต่างกันบำบัดน้ำเสีย	4-63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น	4-1
4.2	ปฏิกิริยาในบ่อปรับเสถียร	4-6
4.3	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนดิน	4-7
4.4	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิว	4-8
4.5	บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิว	4-9
4.6	กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษีเมื่อปริมาณดอกธูปฤาษีต่างกัน	4-19
4.7	แสดงปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อกึ่งไร้อากาศ	4-27
4.8	ลักษณะบ่อบำบัดและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย	4-28
4.9	ลักษณะการระบายน้ำเสียเข้า-ออกระหว่างบ่อบำบัดน้ำเสียแต่ละบ่อจนกระทั่งผ่านบ่อปรับสภาพขั้นสุดท้าย	4-28
4.10	ลักษณะของชนิดหญ้าและพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-31
4.11	ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-32
4.12	ภาพตัดขวางด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน	4-32
4.13	การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำการปลูกพืชกรองน้ำเสีย	4-33
4.14	ลักษณะคันดินและแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-34
4.15	ลักษณะการวางท่อระบบระบายน้ำใต้ดินท้านแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-34
4.16	การเตรียมท่อนพันธ์พืชเพื่อนำไปปักชำก่อนการปลูกลงในแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.17	ระยะห่างระหว่างแถวและต้น ในการปลูกพืชในแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย	4-35
4.18	ลักษณะการให้น้ำหรือการระบายน้ำเสียเข้าแปลงบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-36
4.19	ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-39
4.20	ลักษณะของชนิดหญ้าและพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-40
4.21	ภาพตัดด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน	4-42
4.22	การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย	4-42
4.23	ลักษณะการวางท่อระบายน้ำใต้ดินท้ายแปลงระบบหญ้ากรองน้ำเสีย	4-43
4.24	ลักษณะของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-49
4.25	ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุมน้ำเทียม	4-50
4.26	ภาพตัดด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน	4-51
4.27	การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำแปลงกักพักน้ำ	4-52
4.28	ลักษณะการวางท่อระบายน้ำใต้ดินท้ายแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ	4-52
4.29	ระยะห่างระหว่างแถว และต้น ในการปลูกพืชในแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-53
4.30	การปลูกท่อนพันธ์ลงแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม	4-54
4.31	ลักษณะของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน	4-57
4.32	ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลน	4-58
4.33	ลักษณะภาพตัดของคันดินของแปลงระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลน	4-59
4.34	ลักษณะการวางท่อระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบแปลงพืชป่าชายเลน	4-60
4.35	ระยะห่างระหว่างแถว และต้น ในการปลูกกล้าไม้ในแปลงพืชป่าชายเลน	4-61
4.36	การปักไม้เพื่อยึดต้นกล้าภายหลังการปลูก	4-61
4.37	บ่อบำบัดน้ำเสียด้วยกกอียิปต์และเครื่องกลเติมอากาศ	4-67
4.38	แสดงระบบบำบัดน้ำสียบริเวณหนองหาน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร	4-70
4.39	ภาพผักตบชวา	4-71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.40	ธูปฤาษี หรือ กกช้าง	4-78
4.41	ต้นกกกลม	4-80
4.42	ต้นหญ้าแฝก	4-81
4.43	ต้นโกงกาง	4-83
4.44	ต้นแสม	4-84
4.45	ต้นกกอียิปต์	4-85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 1
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช

1. บทนำ

สภาพแวดล้อมในปัจจุบันของแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง คูน้ำ ต่างมีลักษณะเหมือนเป็นที่ทิ้งขยะและสิ่งปฏิกูลโดยชอบธรรม และเมื่อรวมเข้ากับการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วในชุมชนจึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำที่ไม่มีวันสิ้นสุด ในสมัยโบราณชนบางกลุ่มมีการป้องกันแหล่งน้ำสาธารณะอย่างแยบยล สระน้ำหลายแห่งจัดเป็นแหล่งน้ำศักดิ์สิทธิ์ ห้ามลงอาบน้ำ หรือซักล้างในสระ อนุญาตให้ตักไปใช้ได้เท่านั้น แต่กุศโลบายดีๆ เช่นนี้คงใช้ไม่ได้ในยุคปัจจุบัน

การวางแผนเพื่อจัดการแหล่งน้ำเสียเหล่านี้เป็นปัญหาใหญ่ เพราะในปัจจุบันประชาชนขาดความร่วมแรงร่วมใจให้เป็นน้ำหนึ่งใจเดียวกัน การจัดการกับปัญหาน้ำเสียที่มีพื้นที่เกี่ยวเนื่องซับซ้อนจึงไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ดังนั้นการแก้ปัญหานี้จึงควรจัดการด้วยระบบการจัดการสังคมขนาดเล็กโดยมีประชากรในท้องถิ่นเป็นผู้ดำเนินการ และนำพืชน้ำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับเครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำของสังคมย่อยๆ เหล่านี้ดีขึ้น

ภาพที่ 4.1: ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น

ความแตกต่างหลากหลายของพืชมีหลายประเภท พืชบางชนิดทนแล้ง เช่น กระบองเพชร บางชนิดทนความเค็ม เช่น โกงกาง แสม บางชนิดชอบที่ชื้นแฉะ บางชนิดชอบอยู่ในน้ำ แต่พืชที่แตกต่างกันเหล่านี้ต่างต้องการแสงสว่าง ความชื้น อากาศ และแร่ธาตุอาหารในการเจริญเติบโตด้วยกันทั้งสิ้น

พืชน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะที่รู้จักกันดี จำพวกที่เป็นวัชพืชน้ำ สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ทั้งสิ้น แต่การนำพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์นั้น จะต้องคัดเลือกพืชให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

สภาพของน้ำที่เสียมาก หรือเสียน้อย และลักษณะของแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นสระน้ำ อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ ลำคลอง คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ หรือคลองธรรมชาติ บางแห่งมีสภาพเป็นน้ำนิ่ง บางแห่งน้ำไหลเอื่อยๆ บางแห่งน้ำไหลแรง ซึ่งปัจจัยแวดล้อมเหล่านี้เป็นตัวกำหนดในการวางแผนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งสิ้น

ธรรมชาติของพืชน้ำก็เช่นเดียวกับพืชประเภทอื่นๆ คือ ต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง น้ำที่เสียมากจนค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำลงจนหมดไป จะทำให้พืชน้ำเหล่านี้ตาย และถ้านำพืชน้ำมาใช้ในแหล่งน้ำที่สกปรกมาก จึงเท่ากับเป็นการเพิ่มความสกปรกให้แก่แหล่งน้ำ ดังนั้นเมื่อจะนำพืชน้ำมาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย จึงต้องพิจารณาถึงระดับออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำด้วย หากมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากหรือไม่มีเลย ก็จำเป็นต้องใช้วิธีการเติมอากาศเข้าช่วย เพื่อให้พืชน้ำรอดชีวิต สามารถเจริญเติบโตได้ดี และดึงเอาแร่ธาตุอาหารส่วนเกินในน้ำมาช่วยในการสร้างมวลชีวภาพให้มากขึ้น การเติมอากาศลงในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอัดอากาศลงในน้ำ การตีน้ำ การผันน้ำให้ไหลวน ซึ่งล้วนแต่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตให้แก่พืชทั้งสิ้น พืชที่สามารถนำแร่ธาตุในน้ำไปใช้ได้ดีจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ลำต้นและรากมีความแข็งแรงสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบรากซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำเสียจะต้องเจริญเติบโตดี และพืชจะต้องมีน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด หากสามารถดำเนินการแล้วได้ผลในลักษณะเช่นนี้ จะเป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างแท้จริง และพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำเหล่านี้จะเป็นทรัพยากรที่สำคัญ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆได้มากมาย

ในการเลือกใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย ต้องพิจารณาพื้นที่และสภาพแวดล้อมเป็นหลัก พืชน้ำมีหลายประเภทบางประเภทลอยน้ำ เช่น ผักตบชวา บางประเภทชอบขึ้นอยู่ริมตลิ่งริมคลอง เช่น ธูปฤาษี พุทธรักษา กกสานเสื่อ แพงพวยน้ำ บางชนิดอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก สันตะวา บางชนิดมีต้นอยู่ใต้น้ำแต่มีใบลอยน้ำ เช่น บัวต่างๆ เป็นต้น การเลือกพืชน้ำมาใช้งาน ต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนต่อน้ำเสียได้เป็นสำคัญ และอีกประการหนึ่งคือ ความสะดวกในการควบคุมจำนวนพืชโดยการเก็บเกี่ยวพืชน้ำเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ เช่น การทำปุ๋ย สานเสื่อ ทำเครื่องจักสาน งานหัตถกรรม และนำไปวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์อื่นๆ นับเป็นวัตถุประสงค์สำคัญประการหนึ่งของการบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำ

การเติมอากาศ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเลี้ยงพืชให้เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ไม่มีเครื่องปลูก ดังนั้น การใช้เครื่องเติมอากาศ จะช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตและเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียหากไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ สามารถตรวจสภาพแหล่งน้ำว่ามีความสกปรกอยู่ในระดับใดได้โดยการสังเกตสีของน้ำ และสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่อยู่ในน้ำหากน้ำเป็นสีเขียวตั้งข้อสังเกตได้ว่ายังมี

ออกซิเจนอยู่และแหล่งน้ำนั้นไม่มีอันตราย สาหร่ายสีเขียว ซึ่งเป็นพืชชั้นต่ำที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนใหญ่จะมีประโยชน์ เช่น เป็นอาหารของปลาและช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้ ส่วนสาหร่ายสีเขียวที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมีอยู่น้อยมาก แต่ถ้าน้ำเป็นสีน้ำเงินแกมเขียว แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนน้อยและมีค่าความเป็นด่างสูง และสาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำนี้มีหลายชนิดที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งหากจะใช้พืชน้ำบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องใช้การเติมออกซิเจนเข้าช่วย โดยใช้ขบวนการออกซิเดชั่น เพื่อปรับสภาพความเป็นด่างของน้ำให้น้อยลง เพราะพืชน้ำส่วนใหญ่ต้องการสภาพความเป็นกลางจึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ส่วนน้ำที่มี สีดำและมีกลิ่นเหม็น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมอากาศในลักษณะที่ทำให้น้ำไหลวนอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันตะกอนสกปรกฟุ้งกระจายขึ้นมา และเป็นการช่วยให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการช่วยย่อยสลายตะกอนสกปรกในน้ำก่อนที่จะใช้พืชน้ำบำบัดต่อไป ในกรณีนี้อาจใช้พืชใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก ช่วยในการกำจัดตะกอนสกปรกในน้ำได้อีกทางหนึ่ง แต่ทั้งนี้ต้องผ่านขั้นตอนการเติมออกซิเจนมาแล้วเช่นกัน

น้ำเสียในชุมชนแออัดส่วนมากจะมีสีดำและมีกลิ่น สาเหตุมาจากประชากรที่หนาแน่นและมีการทิ้งน้ำเสียโดยตรงโดยไม่ผ่านระบบบำบัดการปรับปรุงสุขอนามัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำบัดน้ำเสียเป็นสิ่งที่ประชาชนในชุมชนแออัดไม่สามารถจัดการได้เอง เพราะขาดทั้งความรู้และปัจจัย อีกทั้งเป็นความเคยชินมาเป็นเวลายาวนานจนยากต่อการแก้ไขให้ถูกต้องได้ ฉะนั้นผู้นำชุมชนต้องมีความรู้ความเข้าใจและมีความตั้งใจในการร่วมกันจัดการสิ่งเหล่านี้ให้ดีขึ้น การใช้พืชน้ำนับเป็นทางเลือกที่ค่อนข้างง่าย มีราคาถูก และสามารถจัดการได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งที่สมควรนำมาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพของสังคมให้ดีขึ้น แม้ว่าจะเป็นเพียงสังคมที่เป็นหน่วยย่อยเล็กๆก็ตามตั้งแต่ปี 2533 เป็นต้นมา มูลนิธิชัยพัฒนาร่วมกับกรมชลประทาน ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ ในระยะแรกได้นำกังหันน้ำชัยพัฒนาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อให้น้ำมีการไหลหมุนเวียน ต่อมาได้นำชุดจบเกาะจุลนทรียมาใช้ร่วมกับเครื่องกลเติมอากาศในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนได้เกาะยึดซึ่งได้ผลดีตามที่คาดไว้ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้พืชน้ำร่วมกับเครื่องกลเติมอากาศ ได้ดำเนินการที่ "โครงการขุดลอกและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมหนองโสน จังหวัดนครราชสีมา" เป็นสระน้ำขนาดใหญ่ มีวัชพืชขึ้นอยู่เต็มสระน้ำค่อนข้างเสียและมีกลิ่นเหม็นเพราะเป็นที่รองรับน้ำทิ้งจากค่ายทหารและโรงเลี้ยงม้า

ในการปรับปรุงสภาพสระน้ำ ได้ขุดลอกสระน้ำให้มีความลึก 2-3 เมตร ติดตั้งกังหันน้ำชัยพัฒนา จำนวน 5 เครื่อง ส่วนระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของสระนี้ ได้ออกแบบให้น้ำเสียไหลผ่านบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชน้ำก่อนไหลออกสระใหญ่ โดยปรับเนื้อที่ของสระส่วนหนึ่งเป็นบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชน้ำ ขนาด กว้าง 8 เมตร ยาว 100 เมตร ลึก 0.5 เมตร ใส่แพงพวยน้ำและผักตบชวา และมี ท่อให้น้ำไหลผ่านจากบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำไปยังสระใหญ่ ผลของการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่สระ

ดังกล่าวปรากฏว่า น้ำในสระใหญ่เป็นน้ำใส แม้ว่าจะมีน้ำเสียไหลเข้าสู่บ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงได้มีการนำพืชน้ำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียร่วมกับเครื่องกลเติมอากาศในโครงการนี้ซึ่งดำเนินการด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

ลักษณะที่ 1. ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเครื่องกลเติมอากาศและบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชแช่น้ำ ระบบดังกล่าวนี้ น้ำเสียจะไหลผ่านบ่อดักไขมัน เพื่อดักไขมันที่ปนมากับน้ำ น้ำที่ไหลผ่านบ่อดักไขมันจะไหลสู่บ่อเติมอากาศ ซึ่งอาจติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศและชุดจับเกาะจุลินทรีย์ไว้ โดยจำนวนเครื่องที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและสภาพน้ำเสีย น้ำที่ผ่านบ่อเติมอากาศจะไหลลงสู่บ่อรวบรวมน้ำทิ้ง ที่บ่อรวบรวมน้ำทิ้งติดตั้งเครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำเข้าสู่บ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชแช่น้ำ พืชที่เลือกใช้ คือ พุทธรักษา หรือกก ปล่อยให้น้ำสูงท่วมพืชดังกล่าวประมาณ 30 เซนติเมตร ความหนาแน่นของพืชจะช่วยกรองน้ำเสีย ส่วนรากจะดูดแร่ธาตุที่ปนมากับน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ในการใช้งานบางแห่งอาจสูบน้ำเสียเข้าสู่บ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชแช่น้ำ โดยไม่ผ่านเครื่องกลเติมอากาศก็ได้

ลักษณะที่ 2. ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเครื่องกลเติมอากาศและบ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชลอยน้ำ ระบบนี้จะใช้พืชลอยน้ำประเภทบัว พังพวยน้ำและผักตบชวา ความสูงของน้ำในบ่อปรับปรุงคุณภาพประมาณ 50-80 เซนติเมตร ขนาดความกว้างและความยาวของบ่อน้ำขึ้นอยู่กับการกำหนดปริมาณของการปล่อยน้ำเสียลงไป เมื่อน้ำเสียไหลลงสู่บ่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยพืชลอยน้ำจะได้รับการปรับปรุงคุณภาพ จากนั้นจึงไหลสู่บ่อขนาดใหญ่ที่ติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศ เพื่อให้น้ำมีการหมุนเวียน เป็นการสร้างสมดุลให้เกิดขึ้นในแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่อง

วิธีการที่เรียบง่ายในการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย โดยการใช้พืชน้ำที่เหมาะสมและการเติมอากาศให้แก่แหล่งน้ำควบคู่กันไปนี้ ส่งผลให้ "น้ำเสีย" กลายเป็น "น้ำใส" รวมทั้งการให้ "ความรู้ ความเข้าใจ" แก่ประชาชนให้ตระหนักถึงความเกี่ยวโยงที่สำคัญระหว่างสิ่งแวดล้อมกับการดำรงอยู่ของมนุษย์ หากเป็นไปได้เช่นนี้แล้ว กุศโลบายดีๆ ที่เคยนำมาใช้ในอดีต ก็ไม่จำเป็นอีกต่อไป

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds)

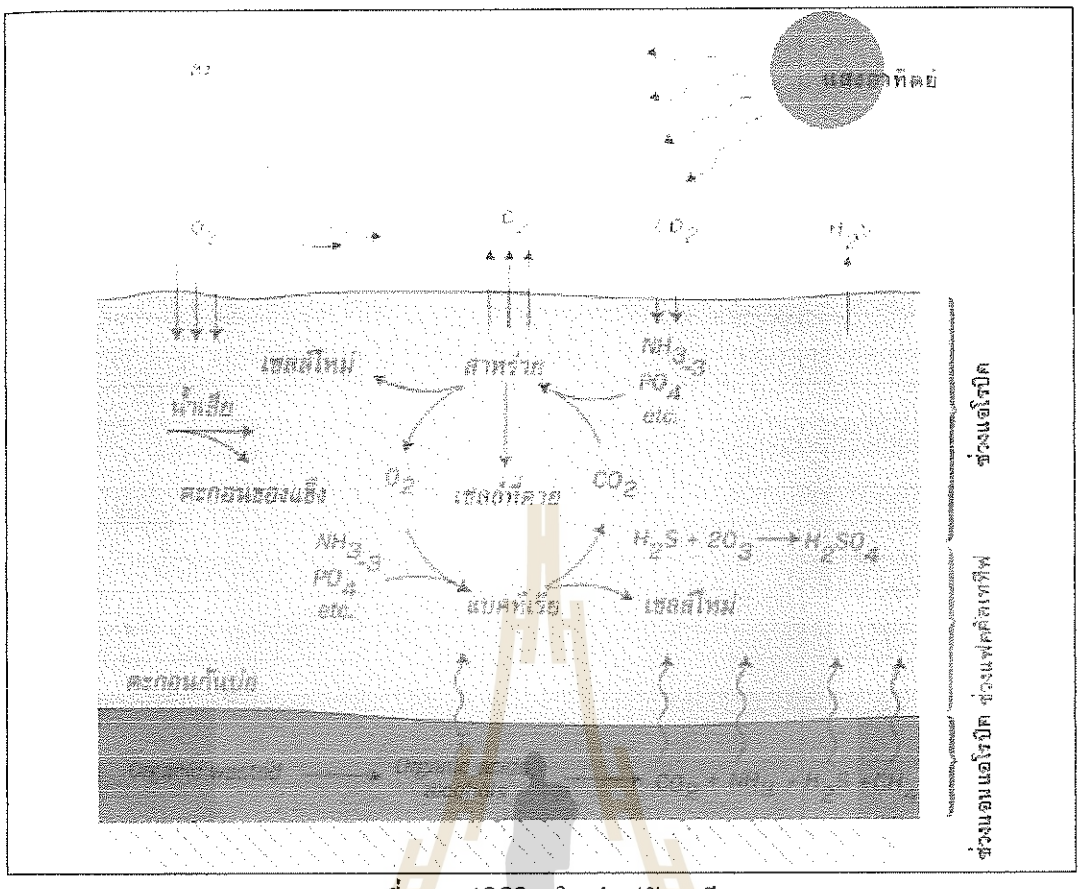
กระบวนการบ่อบำบัดน้ำเสีย หรือสระบำบัดน้ำเสีย ทีอาจเรียกได้หลายชื่อ ได้แก่ Oxidation Ponds, Sewage Lagoon เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีหน่วยบำบัดเป็นบ่อดินเป็นส่วนใหญ่ หรืออาจเป็นบ่อคอนกรีตที่สร้างขึ้น ซึ่งมีการควบคุมรูปร่าง มีการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเป็นไปตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับรูปร่างของบ่อที่สร้าง ไม่มีการใช้เครื่องจักรกลใดๆ ในระบบ นอกจากเครื่องสูบน้ำ การจำแนกชนิดของบ่อบำบัดน้ำเสียจำแนกตามลักษณะการทำงานของจุ

ลินทรีย์ หรือปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในบ่อซึ่งจะมีความแปรผันไปตามรูปร่างของบ่อคือความลึกและพื้นที่ผิวของบ่อ เป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียที่ต้องการใช้พื้นที่มาก การที่จะได้เลือกใช้วิธีนี้มีข้อจำกัดคือราคาของที่ดินจะต้องไม่แพง จำแนกชนิดของบ่อบำบัดน้ำเสียได้แก่ บ่อแอโรบิก บ่อแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟ และ บ่อบ่ม

2.1 บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) เป็นบ่อลึก 0.2-0.6 เมตร แสงแดดจึงส่องทะลุถึงก้นบ่อทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตและสร้างออกซิเจนในน้ำ น้ำในบ่อจึงมีออกซิเจนพอเพียงต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ แต่น้ำเสียที่ผ่านจากบ่อแอโรบิกมักมีสาหร่ายปนอยู่มาก การออกแบบบ่อแอโรบิกมักกำหนดให้มีระยะเวลาในการเก็บกัก 4-6 วัน และอัตราภาระบีโอดีประมาณ 10-20 กรัม บีโอดี./ตร.ม.-วัน ประสิทธิภาพการลดบีโอดี 80-95%

2.2 บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) เป็นบ่อที่รับน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง เพื่อลดปริมาณความสกปรกก่อนจะบำบัดในขั้นต่อไป บ่ออาจสร้างด้วยคอนกรีตหรือเป็นบ่อดินลึก 2-5 เมตร มีระยะในการเก็บกักน้ำเสียนาน 20-50 วัน อินทรีย์สารในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศที่ก้นบ่อ ซึ่งอากาศลงไปไม่ถึง ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงมักมีกลิ่นเหม็น น้ำเสียหลังการบำบัดจากบ่อหมักจะมีสีคล้ำหรือสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งยังมีความสกปรกเหลืออยู่จึงต้องมีการบำบัดต่อไป ในการออกแบบมักกำหนด อัตราภาระบีโอดีประมาณ 20-25 กรัม บีโอดี./ตร.ม.-วัน ประสิทธิภาพการลดบีโอดี 50-85%

2.3 บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) เป็นบ่อที่ก้นบ่ออาจดาดด้วยคอนกรีตหรือวัสดุกันซึม บ่อลึกประมาณ 1.0-2.5 เมตร หลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นแบบใช้อากาศที่ผิวน้ำด้านบนที่แสงแดดส่องทะลุถึงและออกซิเจนละลายลงถึง และเป็นแบบไร้อากาศที่ก้นบ่อ ภายในบ่อมีการอาศัยพึ่งพากันระหว่างจุลินทรีย์และสาหร่ายในน้ำ โดยสาหร่ายสังเคราะห์แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนให้จุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนที่ก้นบ่อซึ่งมีสภาพไร้อากาศจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดก๊าซต่างๆ เช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิก แต่ก๊าซเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นเหม็นเมื่อผ่านช่วงบนของบ่อ แต่หากปริมาณสารอินทรีย์และสาหร่ายมีมากเกินไปจะทำให้บ่อกลายสภาพเป็นบ่อหมัก และมีกลิ่นเหม็นได้ในช่วงกลางคืน เนื่องจากสาหร่ายจะหายใจโดยใช้ออกซิเจนในน้ำและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาแทน ดังนั้นการออกแบบบ่อแฟคัลเททีฟจึงกำหนดให้มีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 5-30 วัน และอัตราภาระบีโอดีประมาณ 5-25 กรัม บีโอดี./ตร.ม.-วัน ประสิทธิภาพการลดบีโอดี 80-95%



ภาพที่ 4.2: ปฏิกิริยาในบ่อปรับเสถียร

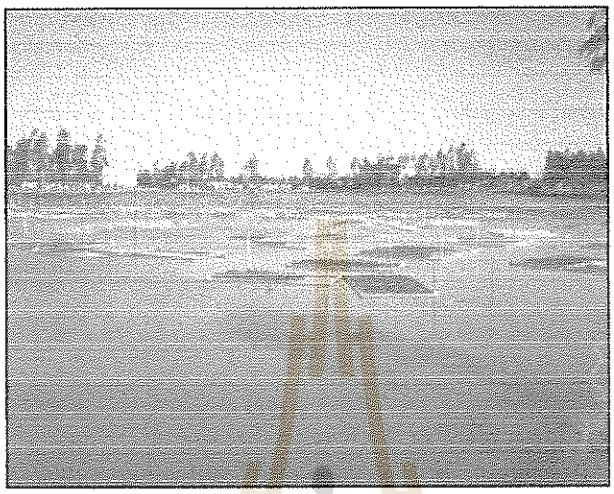
2.4 บ่อบ่ม (Maturation Pond) เป็นบ่อดินมีความลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร ใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อต่างๆมาแล้ว จุดประสงค์เพื่อลดปริมาณฟีคัลแบคทีเรีย การออกแบบบ่อบ่ม มักให้มีระยะเวลาเก็บกัก 5-20 วัน อัตราภาระบีโอดีประมาณ <2 กรัม บีโอดี./ตร.ม.-วัน ประสิทธิภาพการลดบีโอดี 60-80%

3. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ต้องการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ก็ยังสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (Secondary Treatment) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้อีกด้วย ซึ่งข้อดีของระบบนี้ คือ ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง

บึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ และแบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) ซึ่งจะมีชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย

1. <u>ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน</u> **(Free Water Surface System, FWS)**



ภาพที่ 4.3: บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนดิน

เป็นแบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจากบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) แล้ว ลักษณะของระบบแบบนี้จะเป็นบ่อดินที่มีการบดอัดดินให้แน่นหรือปูพื้นด้วยแผ่น HDPE ให้ได้ระดับเพื่อให้น้ำเสียไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน บ่อดินจะมีความลึกแตกต่างกันเพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์โครงสร้างของระบบแบ่งเป็น 3 ส่วน (อาจเป็นบ่อเดียวกันหรือหลายบ่อขึ้นกับการออกแบบ) คือ

- **ส่วนแรก** เป็นส่วนที่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ เช่น กก แฝก ธูปฤาษี เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วน เป็นการลดสารแขวนลอยและค่าบีโอดีได้ส่วนหนึ่ง
- **ส่วนที่สอง** เป็นส่วนที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว รวมทั้งพืชขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน เป็นต้น พื้นที่ส่วนที่สองนี้จะไม่มีการปลูกพืชที่มีลัษณะสูงโผล่พ้นน้ำเหมือนในส่วนแรกและส่วนที่สาม น้ำในส่วนนี้จึงมีการสัมผัสอากาศและแสงแดดทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่

ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ด้วย

Nitrification

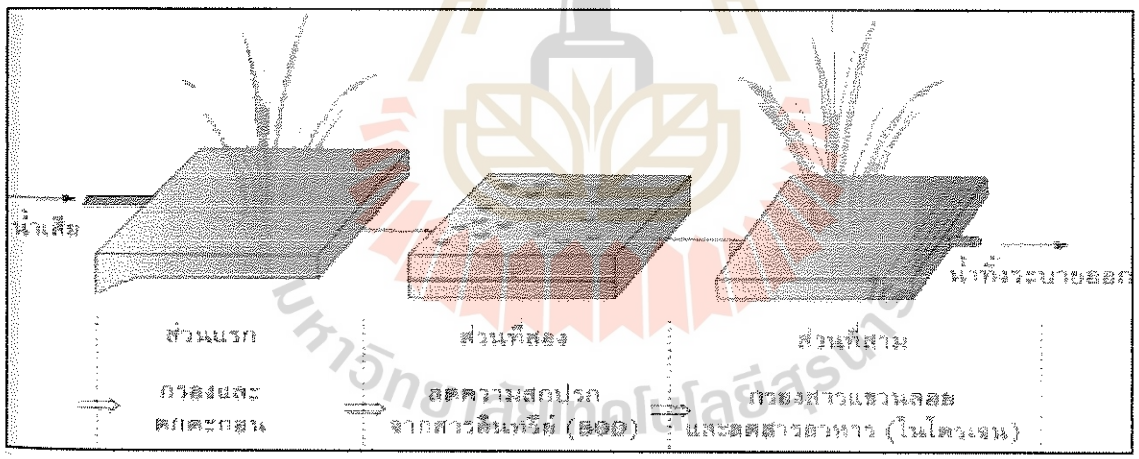
$$NH_4^+ + 1.5O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + H_2O + 2H^+ + (240\text{-}350\ kJ) \quad \text{.....(1)}$$

$$NO_2^- + 0.5\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} NO_3^- + (65\text{-}90\ kJ \quad \text{.....(2)}$$

Denitrification

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

- **ส่วนที่สาม** มีการปลูกพืชในลักษณะเดียวกับส่วนแรก เพื่อช่วยกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ และทำให้เกิดสภาพดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งสามารถลดสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนได้

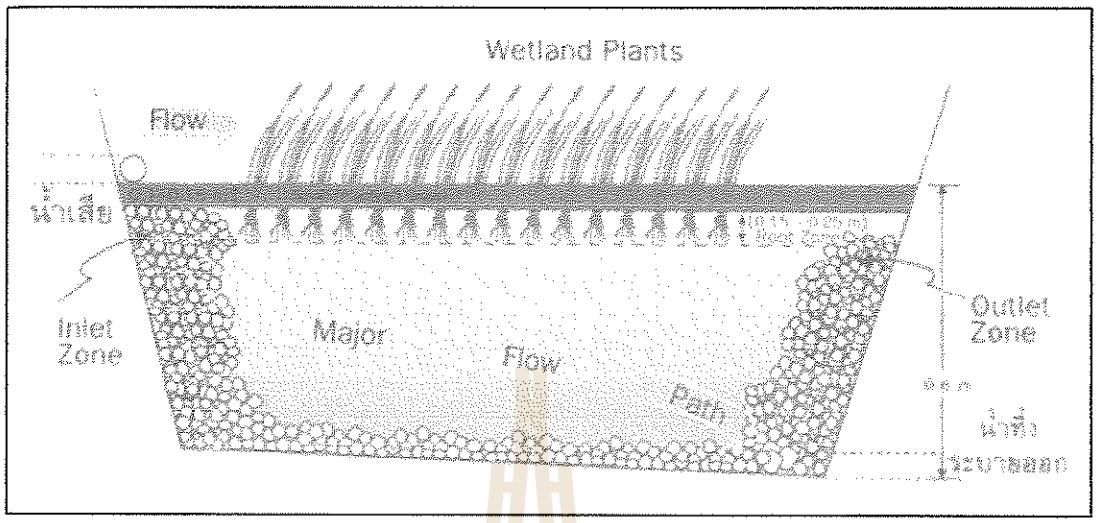


ภาพที่ 4.4: บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิว

2. <u>ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิว</u> (Vegetated Submerged Bed System ,VSB)

ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้จะมีข้อดีกว่าแบบ Free Water Surface Wetland คือ เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ และป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคมาปนเปื้อนกับคนได้ ในบางประเทศใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ทิ้งจากระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) และระบบอาร์บีซี (RBC) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ระบายออกจากอาคารดักน้ำเสีย (CSO) เป็นต้น



ภาพที่ 4.5: บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิว

ส่วนประกอบที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ คือ

- **พืชที่ปลูกในระบบ** จะมีหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย และยังทำหน้าที่สนับสนุนให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช
- **ตัวกลาง (Media)** จะมีหน้าที่สำคัญคือ
  (1) เป็นที่สำหรับให้รากของพืชที่ปลูกในระบบยึดเกาะ
  (2) ช่วยให้เกิดการกระจายของน้ำเสียที่เข้าระบบและช่วยรวบรวมน้ำทิ้งก่อนระบายออก
  (3) เป็นที่สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ
  (4) สำหรับใช้กรองสารแขวนลอยต่าง ๆ

กลไกหลักของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์

1. การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biochemical convesions)
2. การตกตะกอนและการกรอง (Settling/Filtration)
3. การสะสมในดิน (Accretion)
4. การระเหย (Volatilization)
5. การดูดซับ (Adsorption)
6. การระเหยคายใบ (Evapotraspiration)
7. การนำไปใช้โดยพืช (Plant Uptake)

การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้จะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรอง ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้จะถูกกำจัดโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทั้งที่แขวนลอยในน้ำและที่ยึดติดกับตัวกลางในระบบ กระบวนการย่อยสลายเป็นไปทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาจากการแพร่ผ่านจากบรรยากาศและจากระบบรากพืช สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์โดยการนำไปใช้ของพืชนั้นถือเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Watson et al., 1989 และ Cooper et al., 1996)

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มเฮเทคโรโทรพ (Heterotophic Bacteria) และกลุ่มออโตโทรพ (Autotropic Bacteria) ดังสมการที่ 1

$$(CH_2O) + 2O \text{ ---------> } CO_2 + H_2O \text{ ------ สมการที่ (1)}$$

ในสภาพที่มีออกซิเจนมากเพียงพอ จุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรพจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าจึงเป็นตัวการสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ (Vymazal et al., 1998)

การย่อยสลายแบบสารอินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลายขั้นตอน โดยจุลินทรีย์กลุ่มแฟคคัลเททีฟ (Facultative Bacteria) ในขั้นตอนแรกสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ กรดไขมัน เช่น กรดอะซิติก ดังแสดงในสมการที่ 2 กรดบิวทิริคและกรดแลคติค ในสมการที่ 3 และแอลกอฮอล์ ในสมการที่ 4

$C_6H_{12}O_6$ ----------> $CH_3COOH + H_2$ ---------- สมการที่(2)

$C_6H_{12}O_6$ ----------> $CH_3CHOHCOOH$ (lactic acid) ---------- สมการที่(3)

$C_6H_{12}O_6$ ----------> $2CH_2 + 2CH_3CH_2OH$ (ethanol) ---------- สมการที่(4)

ในขั้นต่อมา สารผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกจะถูกย่อยสลายโดย Sulfate – Reducing Bacteria ดังสมการที่ 5 และ โดย Methane-Forming Bacteria ดังสมการที่ 6 และ 7

$CH_3COOH+H_2SO_4$ ----------> $2CO_2 + 2H_2O + H_2S$ ---------- สมการที่(5)

$CH_3COOH+4H_2$ ----------> $CH_4 + 2H_2O$ ---------- สมการที่(6)

$4H_2+CO_2$ ----------> $CH_4 + 2H_2O$ ---------- สมการที่(7)

ในขั้นที่สร้างมีแทนช่วงพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 หากการย่อยสลายในขั้นแรกเกิดขึ้นเร็วจะทำให้พีเอชต่ำเกินไป แบคทีเรียที่สร้างมีแทนจะหยุดการทำงาน โดยสังเกตได้จากกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นเร็วกว่า แต่ในสภาพที่มีสารอินทรีย์สูงและมีออกซิเจนจำกัด กระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีบทบาทมากกว่า (Cooper et al., 1996)

การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้จะถูกกำจัดโดยกระบวนการตกตะกอนและการกรองภายในบริเวณไม่ไกลจากจุดที่ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยเฉพาะบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวตะกอนที่สะสมอยู่อาจทำให้ระบบอุดตันได้ (Vymazal et al., 1998) ของแข็งที่ไม่ตกตะกอนจะถูกกำจัดในบริเวณต่อมาด้วยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดติดผิว เช่น ส่วนของพืช ดิน ทราย รวมทั้งตะกอนและการชนกันเองเกิดเป็นตะกอนที่สามารถตกตะกอนเองได้ (Stowell et al., 1981)

การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนเกิดจากกระบวนการหลักที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชันและดีไนตรีฟิเคชัน โดยไนตรีฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจนในรูปไนเตรทภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ปัจจัยควบคุมกระบวนการไนตรีฟิเคชันคือ อุณหภูมิ พีเอช ความเป็นด่างของน้ำ ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและออกซิเจนละลายน้ำ (Vymazal., 1995) โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25-40 องศาเซลเซียส ช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.8-7.5 และต้องการออกซิเจนละลายน้ำ 4.3 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิกรัม ของการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจน (Cooper et al., 1996) ดีไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนไนโตรทไนโตรเจนให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน จะเกิดได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ การกำจัดไนโตรเจนโดยทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้นในระบบที่มีออกซิเจนร่วมกับไม่มีออกซิเจน เช่น ดินที่มีน้ำท่วมขัง การเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia Volatilisation) เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนีย

ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียไอออน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนกลับไปกลับมาขึ้นอยู่กับพีเอช ที่พีเอช 9.3 อัตราส่วนระหว่างแอมโมเนียกับแอมโมเนียไอออนจะเป็น 1:1 ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้มาก กระบวนการนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับพีเอชและความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนในน้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วลม แสงแดด พืช และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำอีกด้วย (Vymazal, 1995) แอมโมนิฟีเคชัน (Ammonification) เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนในสารอินทรีย์ซึ่งพบในรูปกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์และใช้พลังงานที่ได้จากการเกิดแอมโมนิฟีเคชันมาใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนในรูปยูเรียและกรดยูริคจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นแอมโมเนีย อัตราการเกิดกระบวนการนี้จะลดลงตามปริมาณออกซิเจน และยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 40-60 องศาเซลเซียลและพีเอชที่เหมาะสมคือ 6.5-8.5 การนำไปใช้โดยพืชเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทไปเป็นสารอินทรีย์ในเซลของพืช อัตราการนำไปใช้ถูกกำจัดโดยอัตราการเจริญเติบโตของพืชและความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช เมื่อพืชตายไนโตรเจนจะถูกปล่อยกลับสู่ระบบ ดังนั้น จึงควรมีการเก็บเกี่ยวพืชเป็นระยะ การดูดซับเป็นการกำจัดแอมโมเนียมไอออนที่ประจุบวกด้วยการดูดซับกับประจุลบของซากพืช สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนและตัวกลาง แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนลดลงก็จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพื่อปรับให้ระบบสมดุล ในระบบที่มีการจ่ายน้ำเสียแบบต่อเนื่องจะเกิดปฏิกิริยากลับไปกลับมาทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไม่ลดลง แต่ในระบบที่จ่ายน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องพบว่าในช่วงที่ไม่จ่ายน้ำเสียความเข้มข้นของแอมดมเนียมไอออนลดลงอย่างรวดเร็วจากการถูกดูดซับ (Vymazal, 1995) และแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทต่อไป

การกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่ปรากฏในน้ำเสียมักอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ (Cooper et al., 1996) ฟอสฟอรัสจะมีการเปลี่ยนรูปกลับไปมาระหว่างรูปอนินทรีย์และอินทรีย์แต่มีสถานะวาเลนซี +5 เท่านั้น (Richardson, 1985) กลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biological Oxidation) การดูดติด (Adsorption) การดูดซึมโดยพืช (Plant absorption)การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) และการตกตะกอนผลึก (Precipitation) (Watson et al., 1989) จุลินทรีย์บางชนิดสามารถแปลงรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ เป็นออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ในขณะที่จุลินทรีย์อีกกลุ่ม เช่น แบคทีเรีย (เช่น B. subtilis, Arthrobacter) แอกทิโนมัยซีส (เช่น Streptomyces) และฟังไจ (เช่น Aspergillus, Penicillium) สามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เช่นกัน (Bitton, 1994) ออร์โธฟอสเฟตนี้จะถูกทั้งแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ใช้เป็นธาตุอาหารต่อไป สำหรับฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำและสะสมอยู่ในตะกอนดินก้นบึงจะถูกจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอินทรีย์

ฟอสเฟตที่ละลายน้ำซึ่งพืชชั้นสูงสามารถนำไปใช้ต่อ (Nester et al., 1983) กลไกการดูดติดและระยะเวลาการกักเก็บฟอสฟอรัสในบึงผระดินฐ์ถูกควบคุมโดย Redox Potential พีเอช ปริมาณธาตุ เหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และธรรมชาติของตะกอนดินก้นบึง (Lindsay 1979, Faulkner และ Richardson 1989, Richardson และ Vaithiyanathan 1995) ในดินที่เป็นกรดฟอสฟอรัสจะถูกดูดติดโดยสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม แล้วตกตะกอนผลึกเป็นเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และอลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) แต่ที่พีเอชสูงกว่า 7 จะเกิดตะกอนผลึกของแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) มากกว่า (Qualls และ Richardson, 1995) ความสามารถในการดูดติดฟอสฟอรัสของตะกอนดินสามารถประมาณได้จากปริมณอลูมิเนียมใน ตะกอนดิน (Richardson, 1985) ที่ Redox potential ต่ำกว่า 250 มิลลิโวลต์ จะทำให้ Fe^{+3} เปลี่ยนเป็น Fe^{+2} แล้วปล่อยฟอสฟอรัสออกมา (Faulkner และ Richardson, 1989) แต่กลับทำให้อลูมิเนียมและเหล็กอยู่ในรูปผลึกที่ไม่ละลายน้ำและดูดติดฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น (Patrick และ Khalid, 1974) กลไกสำคัญก็คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนลิแกน (Ligan Exchange Reaction) (Faulkner และ Richardson, 1989) โดยฟอสเฟตจะเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมีเนียม (Cooper et al., 1996) แต่ก็ยังไม่ชัดเจนว่าระหว่างการตกตะกอนผลึกกับการเปลี่ยนลิแกนกลไกใดเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส

พืชจะดูดซึมฟอสฟอรัสผ่านทางรากแล้วลำเลียงไปใช้สร้างเนื้อเยื่อต่อไป แต่ก็มีปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับการดูดซึมไนโตรเจน สังเกตจากปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชต่ำกว่าไนโตรเจน (Brix, 1994 และ Vymazal, 1995) เพื่อให้มีการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากระบบ ดังนั้นจะต้องมีการเก็บเกี่ยวพืชโดยเฉพาะพืชกลุ่มลอยน้ำเพื่อไม่ให้ฟอสฟอรัสถูกปล่อยสู่ระบบเมื่อพืชตายลง

การกำจัดโลหะ

โลหะพบในรูปสารละลายและองค์ประกอบของของแข็ง กลไกหลักในการกำจัดคือ การถูกดูดซับโดยดิน การตกตะกอนเคมีในรูปของเกลือซึ่งมักเกิดร่วมกับการกำจัดฟอสฟอรัสและการดูดซับของพืช (Watson, 1999) กลไกเหล่านี้เกิดได้ดีกับโลหะที่สามารถตกตะกอนได้

การกำจัดเชื้อโรค

การกำจัดเชื้อโรคในระบบประกอบด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน การกรอง และการถูกทำลายโดยรังสีอัลตราไวดอเลต วิธีทางเคมีได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุและสารพิษที่พืชบางชนิดปล่อยออกมา ส่วนวิธีทางชีวภาพประกอบด้วย การตายตามธรรมชาติ (Natural Die-off) การกินกันเอง (Predation) และสารปฏิชีวนะที่สิ่งมีชีวิตอื่นปล่อยออกมา

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบบึงประดิษฐ์

ปัญหาทางด้านเทคนิคมีน้อย เนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยธรรมชาติเป็นหลัก ส่วนใหญ่ปัญหาที่พบคือ พืชที่นำมาปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณตามที่ต้องการได้ อาจเนื่องมาจากการเลือกใช้ชนิดของพืชไม่เหมาะสม สภาพของดินไม่เหมาะสม หรือถูกรบกวนจากสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้จากบึงประดิษฐ์

1. ประโยชน์ทางตรง : สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย และสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพแหล่งรองรับน้ำทิ้งดีขึ้น
2. ประโยชน์ทางอ้อม : ทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสัตว์และนกชนิดต่าง ๆ และเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและศึกษาทางธรรมชาติ

4. วิทยาการการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช

4.1 ระบบพืชบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยการขังน้ำและปล่อยแห้งและการไหลต่อเนื่อง

การใช้ระบบพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียเป็นที่รู้จักกันอย่างหลายมามากกว่า 20 ปีแล้ว แต่จากสภาพลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องมีการคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสม และลักษณะในการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ลักษณะขององค์ประกอบเนื้อดิน คุณสมบัติน้ำเสีย ระดับน้ำที่ใช้ในการบำบัดระยะเวลาการขังน้ำและการปล่อยแห้งของระบบในการบำบัด วิธีการระบายน้ำในการบำบัด การศึกษาองค์ความรู้การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชน้ำจากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริทำให้สามารถสร้างรูปแบบของการควบคุมการระบายน้ำเสียเข้าสู่แปลงพืชน้ำ (กกกลมและธูปฤาษี) บำบัดน้ำเสียชุมชนในลักษณะการขังน้ำ 5 วันและปล่อยแห้ง 2 วัน โดยขณะที่ขังน้ำเสียในแปลงพืชน้ำ จุลินทรีย์ที่อยู่ในแปลงพืชและในน้ำเสียจะใช้ออกซิเจนจากรากของพืชและสารประกอบแมงกานิก และเฟอริกในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของลำต้นพืช ในขณะที่เมื่อปล่อยให้น้ำแห้งจะเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์ได้ฟื้นตัวและสารประกอบแมงกานีสและเหล็กได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบแมงกานิก และเฟอริกเพื่อเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในขณะน้ำขัง และระบบการปล่อยน้ำเสียไหลล้นโดยควบคุมระยะเวลาขังของน้ำเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมเพื่อลดความสกปรกของน้ำในระบบ ทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้สูงและสามารถนำไปใช้ได้ในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษารูปแบบและลักษณะของการให้น้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสียในแปลงพืชน้ำ (กกกลมและธูปฤาษี) ทั้งลักษณะการขังน้ำสลับปล่อยแห้งและการปล่อยน้ำเสียไหลล้นแบบต่อเนื่อง โดยพิจารณาถึงความสามารถในการบำบัดและประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. แปลงทดลองขนาด 5×100 เมตร ที่มีความลาดเอียงของแปลงประมาณ 1:1000 มีบ่อดักตะกอนที่หัวแปลงและมีประตูระบายน้ำออกท้ายแปลง รองพื้นด้วยดินผสมทรายอัตราส่วน 3:1 หนาประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อปลูกพืชน้ำและใช้ในการทดลองระยะเวลาและความเหมาะสมของการควบคุมน้ำเสียต่อระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืช โดยพิจารณาจากดัชนีการบำบัดน้ำเสีย คือ ค่าความสกปรกของน้ำ
2. ทดลองระยะเวลาการให้น้ำในแปลงพืชน้ำเพื่อการบำบัดน้ำเสีย โดยทดลองการขังน้ำสลับปล่อยแห้ง 7/3 วัน 5/3 วัน 5/2 วัน และ 3/3 วัน และการปล่อยน้ำไหลล้นแบบต่อเนื่องโดยมีระยะเวลากักเก็บ 1 วัน และทดสอบหาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

ผลการศึกษา

1. กาขังน้ำเสียสลับการปล่อยแห้ง เพื่อการบำบัดน้ำเสียของแปลงพืชน้ำ

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชที่มีขนาดความกว้าง 5 เมตร และความยาว 100 เมตร ปลูกกกกลม หรือธูปฤาษีที่ระยะ 25×50 เซนติเมตร ตลอดทั้งแปลงขังน้ำที่ระดับความสูงน้ำ 15 เซนติเมตร แปลงพืชบำบัด 1 แปลง จะมีความจุของน้ำเสียทั้งหมดประมาณ 75 ลูกบาศก์เมตร และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียทั้งลักษณะของแนวตั้งและแนวนอนของแปลงพบว่าระยะเวลาในการกักน้ำและปล่อยแห้งที่เหมาะสม คือ ขังน้ำ 5 วัน และปล่อยแห้ง 2 วัน ระบบมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของค่าความสกปรกของน้ำ (BOD) ได้สูงสุดถึงร้อยละ 93.47 หรือโดยอยู่ในช่วงร้อยละ 85-90 โดยพบว่ากกกลมมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าธูปฤาษี และพบว่า ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจะแปรผันกับอายุของพืช เนื่องจากอายุของพืชที่น้อย มีความสามารถในการใช้สารอนินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายจากจุลินทรีย์ในการเจริญเติบโตเป็นโครงสร้างของลำต้นพืชและจะลดลงเมื่อมีอายุสูงขึ้น นั่นหมายความว่าเมื่ออายุของพืชสูงถึงจุดที่ต้องเก็บเกี่ยวจำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากการศึกษาพบว่าระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพืชกกกลมคือที่ระยะเวลา 45 วันและธูปฤาษีคือที่ 90 วันเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด

2. การปล่อยน้ำเสียไหลล้นแบบต่อเนื่อง

การบำบัดน้ำเสียด้วยการปล่อยน้ำไหลล้นแบบต่อเนื่องในแปลงพืช (กกกลมและธูปฤาษี) ขนาด 5×100 เมตร โดยการกำหนดระยะเวลาเก็บกักในแปลงพืช 1 วัน (ปล่อยน้ำวันละประมาณ 7-8 ชั่วโมง เพื่อให้มีลักษณะคล้ายกิจกรรมเวลาทำงาน 09.00-16.00 น.) โดยศักยภาพการรับน้ำสูงสุดของแปลงมีค่าประมาณ 61 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยพบว่า แนวโน้มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียค่อนข้างสม่ำเสมอและกกกลมมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าธูปฤาษี คือมีประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณร้อยละ 80 และ 65 ตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่าระบบแปลงพืชน้ำ 1 แปลง มีความสามารถบำบัดน้ำเสียของชุมชนที่มีคนอาศัยอยู่ประมาณ 305 คนได้ (คิดเป็นอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 200 ลิตรต่อคนต่อวัน) แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาในเรื่องของการเก็บเกี่ยวผลผลิตของพืชเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวด้วย

การศึกษาองค์ความรู้ใหม่สามารถสร้างรูปแบบและลักษณะของเทคโนโลยีการระบายน้ำเสียเข้าสู่แปลงพืชบำบัดน้ำเสีย โดยการปล่อยน้ำแบบขังน้ำ 5 วัน และสลับแห้ง 2 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงถึงประมาณร้อยละ 90 แต่ความสามารถในการบำบัดน้ำจะได้ปริมาณที่น้อยเนื่องจากมีการกักเก็บน้ำไว้ถึง 5 วัน ส่วนระบบการปล่อยน้ำแบบไหลล้นนั้นสามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้ในปริมาณที่มากกว่าและต่อเนื่อง แต่จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณ ร้อยละ 80 และ 65 ในกกกลมและธูปฤาษี ตามลำดับ

ข้อสังเกต

เนื่องจากรูปแบบและลักษณะเทคโนโลยีของการระบายน้ำเสียเข้าสู่แปลงที่ต้องการนั้น มีความต้องการเพื่อนำไปใช้ในภาคสนามได้จริง จึงต้องพิจารณาถึงลักษณะของแหล่งกำเนิดน้ำเสียว่า มีปริมาณมากน้อยเท่าใด มีลักษณะการระบายอย่างไร มีค่าความสกปรกมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกลักษณะของการระบายน้ำเข้าแปลงพืชบำบัดน้ำเสีย

4.2 การใช้ดอกธูปฤาษีกรองน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

ปัญหาน้ำเสียจากชุมชนในปัจจุบันเป็นปัญหาที่หลายท้องถิ่นให้ความตระหนักและจำเป็นต้องดำเนินการเร่งแก้ไขปัญหานี้อย่างเร่งด่วน คุณลักษณะน้ำเสียชุมชน โดยส่วนมากจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง รวมทั้งน้ำมันและไขมัน ซึ่งมาจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การล้างภาชนะที่ใช้ใส่อาหารและการซักล้างโดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนมาจากบ้านเรือน ภัตตาคาร และร้านอาหาร อันก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดคราบไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียใช้เวลานานในการย่อยสลายสารเหล่านี้ คราบน้ำมันและไขมันที่ลอยอยู่ในน้ำจะส่งผลให้เกิดภาพไม่น่าดู ทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงในน้ำได้ และยังเคลือบผิวของพืชน้ำหรือสาหร่ายในน้ำทำให้พืชเหล่านี้ ไม่สามารถสังเคราะห์แสงเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำ อันจะส่งผล

ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศซึ่งต้องอาศัยออกซิเจน ในการย่อยสลายทำให้สารอินทรีย์เกิดการหมักหมมอยู่ในแหล่งน้ำและในที่สุดจะส่งผลให้น้ำเน่าเสีย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในน้ำลดน้อยลงอีกด้วย การจัดการปัญหาน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจึงมักจะเริ่มที่การกำจัดคราบไขมัน โดยใช้ถังดักไขมัน ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในส่วนนี้ด้วยแต่สำหรับชุมชนที่ไม่มีงบประมาณนักก็ควรจะสามารถประยุกต์ใช้ธรรมชาติที่อยู่รอบตัวมาช่วยในการบำบัดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้ดอกธูปฤาษี ซึ่งมีคุณสมบัติในการกรองไขมันและน้ำมันจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ประชาชนในท้องถิ่นต่าง ๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการดักไขมันจากน้ำทิ้งที่ปล่อยจากบ้านเรือนได้ก่อนที่จะนำน้ำทิ้งนั้น ไปบำบัดร่วมกันกับวิธีการอื่น ๆ ที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก สะดวกและประหยัด

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพในการใช้ดอกธูปฤาษีในการกรองน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน

วิธีการศึกษา

1. ทดลองนำดอกธูปฤาษีใส่ไว้ในบ่อพลาสติกขนาดความจุประมาณ 15 ลิตร แล้วปล่อยน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยให้น้ำไหล 15 ลิตรต่อครั้ง การเดินระบบจะเป็นครั้งคราว และลักษณะเป็นระบบปิดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน

2. การทดลองแบบระบบเปิด โดยใช้หลักการของบ่อดักไขมัน (oil trap) และหลักการออกแบบระบบดูดซับแบบระบบสัมผัส (contacting system) โดยการนำวัสดุดูดซับมาผสมน้ำเสียแล้วกวนให้เข้ากันระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งใช้ดอกธูปฤาษีเป็นวัสดุดูดซับเช่นเดิมนำมาใส่ในบ่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความที่จะกักน้ำไว้ได้นานไม่น้อยกว่า 15 นาทีในบ่อใช้ระดับท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกที่ต่างระดับกัน เพื่อให้ดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันไว้ได้ยังคงลอยอยู่ที่ผิวน้ำให้สามารถกวาดออกได้ ให้น้ำไหลผ่านในแนวนอน ชั้นวัสดุดูดซับเป็นแบบขยายตัวได้ (expanded bed) ไม่ได้ทำการอัดแน่น

ผลการศึกษา

1. แนวคิดการนำธูปฤาษีมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะใช้หลักการและวิธีการทางฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และฟิสิกัลเคมีซึ่งจะสามารถกำจัดได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำและที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น การกรองการดูดซับ การแลกเปลี่ยนประจุ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียจำเป็นจะต้องทราบปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียที่จะทำการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้ลด

น้อยลงจนน้ำเสียกลายเป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนที่ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ในการวิจัยนี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยจะนำดอกธูปฤาษีที่เกิดขึ้นจากแปลงบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนเนื่องจากต้นธูปฤาษีจะมีอายุข้ามปีของดอกบนต้นประมาณ 9 เดือน แล้วจะหลุดล่วงและลอยไปติดตามเครื่องใช้บ้านเรือนก่อความรำคาญได้ เมื่อพิจารณาลักษณะของดอกย่อยจะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายสำลีซึ่งเป็นวัสดุดูดซับได้ จึงนำหลักการกำจัดไขมันในน้ำทั้งที่โดยทั่วไปจะใช้บ่อดักไขมัน ซึ่งใช้คุณลักษณะของน้ำมันและไขมันที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงลอยอยู่ที่ผิวน้ำสามารถจะทำการตักหรือกวาดทิ้งได้ ร่วมกับหลักการบำบัดโดยใช้วัสดุดูดซับน้ำมันและไขมันที่ลอยบนผิวน้ำมัน

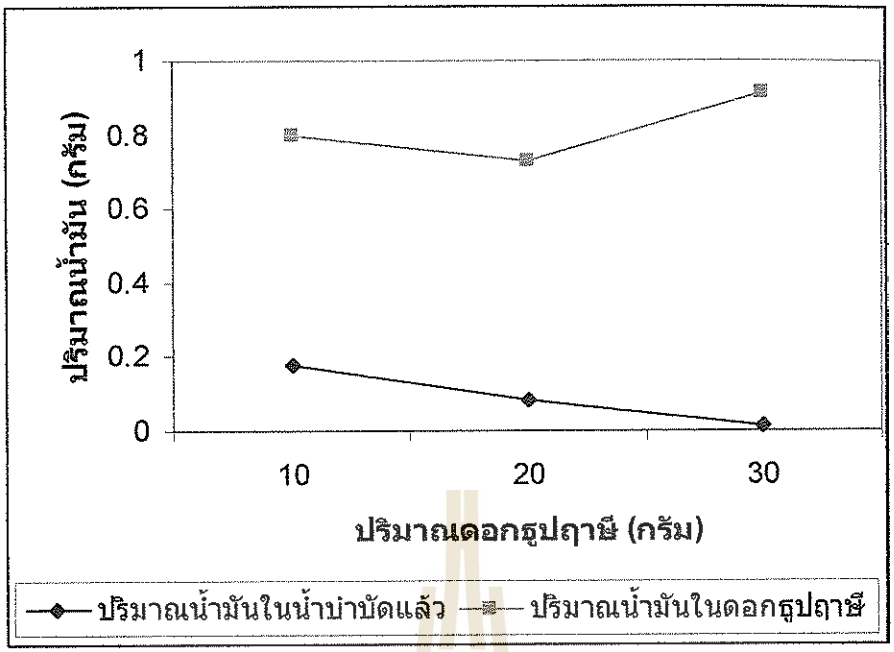
2. การทดสอบการดูดซับของดอกธูปฤาษี

ในเบื้องต้นได้ทดสอบความแตกต่างในการดูดซับของดอกธูปฤาษีในน้ำและน้ำมันพบว่า ดอกธูปฤาษีจะลอยน้ำและไม่ดูดซับน้ำ ส่วนในน้ำมันจะดูดซับได้ดีและไม่จมน้ำจึงนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ซึ่งมีการปนเปื้อนน้ำมัน ไขมันและกรีส ซึ่งมาจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน เช่น การซักล้าง การประกอบอาหาร สถานบริการซ่อมเครื่องยนต์ เป็นต้น

3. ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันและไขมันของธูปฤาษี

จากการศึกษาประสิทธิภาพที่กำจัดน้ำมันได้เมื่อแปรเปลี่ยนตัวแปร ได้แก่ ปริมาณน้ำมันในน้ำตัวอย่างน้ำหนักดอกธูปฤาษี เวลาที่ดอกธูปฤาษีอยู่ในบ่อผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มดอกธูปฤาษีที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับและผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดพบว่า มีปริมาณน้ำมันลดลงเมื่อปริมาณดอกธูปฤาษีในระบบบำบัดมากขึ้น

เมื่อได้ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของดอกธูปฤาษีในระบบปิดแล้ว จึงได้ทำการทดลองในระบบเปิดผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่ดอกธูปฤาษีเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำมันที่กำจัดได้จะเพิ่มตามเช่นเดียวกับระบบปิดและปริมาณน้ำมันในน้ำที่ผ่านการบำบัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณดอกธูปฤาษีในระบบบำบัด ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6: กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษีเมื่อปริมาณดอกธูปฤาษีต่างกัน

ข้อสังเกต

ดอกธูปฤาษีมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน โดยจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณดอกธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำเสียและในระบบบำบัดน้ำเสียและในระบบปิดจะสามารถบำบัดน้ำมันในน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำมันน้อย ๆ ได้ดี แต่ในระบบเปิดยังพบปริมาณน้ำมันในน้ำที่ผ่านการบำบัดของระบบอยู่และไม่สามารถจะเปรียบเทียบกับระบบปิดได้ เนื่องจากมีค่าวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในน้ำที่ผ่านการบำบัดใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามจากการวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยโดยการใช้ดอกย่อยของดอกธูปฤาษีเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้

4.3 การนำออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

พื้นที่ชุ่มน้ำเป็นระบบนิเวศที่มีน้ำขัง ทำให้พืชที่ขึ้นในที่ชุ่มน้ำต้องปรับตัวในการดำรงชีวิตโดยพืชน้ำส่วนใหญ่ เช่น ธูปฤาษี กกกลม ฯลฯ มีความสามารถในการดึงออกซิเจนจากอากาศ หรือจากการสังเคราะห์แสง ส่งผ่านเนื้อเยื่อ ลำเลียงไปยังลำต้นใต้ดินและชั้นราก ออกซิเจนที่ส่งผ่านไปที่ราก รากพืชจะสร้างชั้นออกซิเจนหุ้มรากเอาไว้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณรอบรากพืช จุลินทรีย์ในดินบริเวณรอบรากพืชสามารถใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายของเสียที่สะสมอยู่ในดินในที่ชุ่มน้ำได้ จากหลักการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เราสามารถนำพืชน้ำมาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียได้ โดยการก่อสร้างเป็นระบบที่ชุ่มน้ำเทียม เลียนแบบที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติ จากการศึกษาของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา

สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่าชนิดพืชน้ำที่มีความโดดเด่นสำหรับบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ต้นธูปฤาษี และกกกลม ซึ่งมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามกระบวรการในการพืชน้ำดึงออกซิเจนแล้วส่งผ่านไปยังรากพืชได้อย่างนั้น ยังไม่ชัดเจนนัก

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอ หลักการหรือทฤษฎีที่พืชน้ำนำออกซิเจนจากบรรยากาศลำเลียงสู่ในชั้นรากพืชน้ำ โดยเลือกต้นธูปฤาษี เป็นตัวแทนพืชน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย วิเคราะห์ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของธูปฤาษีเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพการผลิตออกซิเจนอันเนื่องมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นธูปฤาษี และยังมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นภาพในกลุ่มประชากรธูปฤาษี โดยพิจารณาความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาควิทยาของประชากรธูปฤาษี ทั้งนี้ เพื่อให้เข้าใจกลไกพื้นฐานในการลำเลียงออกซิเจนของธูปฤาษีอย่างถ่องแท้ทั้งระบบ

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายวิภาควิทยาของต้นธูปฤาษี โดยสุ่มตัวอย่างประชากรของธูปฤาษีที่เจริญอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งไม่ได้รับมลภาวะจากชุมชน จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยเป็นประชากรที่เกิดขึ้นจากต้นแม่หลักเดียวกันและเจริญอย่างต่อเนื่องกัน นำตัวอย่างประชากรธูปฤาษีมาบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของส่วนใต้ดินและเหนือดิน ได้แก่ความยาวและความกว้างของแผ่นใบ จำนวนใบต่อพ้น จำนวนรากต่อต้น ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของราก ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของ creeping rhizome รวมทั้งศึกษาลักษณะทางกายวิภาควิทยาขององค์ประกอบต่างๆ ของต้นธูปฤาษีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ทั้งในส่วนของใบ ราก rhizome และ creeping rhizome ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ นำข้อมูลที่ได้มาประเมินพื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก พื้นที่ผิวและปริมาตรของ creeping rhizome

นำตัวอย่างทุกส่วนของทุกต้นไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำน้ำหนักแห้งของรากไปคำนวณสัดส่วนน้ำหนักแห้งของราก และนำน้ำหนักแห้งของ Creeping rhizome ไปคำนวณค่าน้ำหนักแห้งต่อหน่วยความยาวที่พืชสร้างขึ้นของ creeping rhizome เพื่อใช้ประเมินน้ำหนักแห้งของ creeping rhizome ที่เกิดขึ้นจากแต่ละต้น

2. การศึกษาการสังเคราะห์แสงของใบธูปฤาษี วัดอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด อัตราการตอบสนองของแสงต่อการสังเคราะห์แสง และการตอบสนองของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย

เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงแบบเคลื่อนย้ายได้ (Licor 6200 (และ Licor 6400) Licor Inc., USA) และวัดความเขียวของแผ่นใบ ด้วย SPAD chlorophyll meter

3. การบันทึกข้อมูลอื่นๆ บันทึกข้อมูลภูมิอากาศได้แก่ ปริมาณรังสีทั้งหมดจากดวงอาทิตย์ ปริมาณรังสีแผ่กระจายจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิผิวน้ำที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร และความชื้นสัมพันธ์ของบรรยากาศในระหว่างการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ณ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

ผลการศึกษา

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นธูปฤาษี

ธูปฤาษี หรือ Cattail (Typha sp. ; Family : Typhaceae) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่พบทั่วไปในภูมิภาคต่างๆ ของโลก สำหรับประเทศไทยมีรายงานว่าธูปฤาษีที่พบเป็นชนิดใบแคบ (narrow-leafed cattail, Typha angustifolia Linn.) และชนิดใบแบน (common cattail, Typha latifolia Linn.) ธูปฤาษีเจริญเติบโตบริเวณแหล่งน้ำทั่วไป โดยมีอายุข้ามปี ลำต้นใต้ดินเป็น rhizome แตกกิ่งก้านสาขา (creeping rhizome) ทำให้เกิดต้นใหม่อย่างต่อเนื่อง ระบบรากของธูปฤาษีเป็นแบบรากฝอย ใบของธูปฤาษีเจริญออกเป็นแผงสองทางด้านข้าง แผ่นใบยาว โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนา ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อน ธูปฤาษีชนิดใบแคบมีลักษณะแผ่นใบโค้ง ในขณะที่ธูปฤาษีชนิดใบแบนมีแผ่นใบเรียบแบนมากกว่าแผ่นใบมีสีเขียวเข้ม ใบธูปฤาษีอาจมีอายุยาวนานถึง 88 สัปดาห์ เมื่อออกดอก ช่อดอกซึ่งเป็นแบบ spike จะมีลักษณะเหมือนธูปขนาดใหญ่

2. การสังเคราะห์แสงของต้นธูปฤาษี

ธูปฤาษีชนิดที่ศึกษาคือ Typha angustifolia L. มีอัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบค่อนข้างสูงประสิทธิภาพการสังเคราะห์ในระดับสูง ดังกล่าวสามารถพบได้เช่นเดียวกันในธูปฤาษีชนิดอื่น อัตราการสังเคราะห์แสงมีความแตกต่างกันบนแผ่นใบ โดยส่วนปลายของใบมักมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าตอนล่างของใบ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนปลายใบมีอายุมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งและลำดับการเกิดใบบนต้น นอกจากนี้ อัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบยังแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ละติจูด ห้วงระยะเวลาในรอบปี ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในแหล่งน้ำซึ่งธูปฤาษีนั้นเจริญเติบโตอยู่ การเปลี่ยนแปลงปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่ใบ เพิ่มการเจริญเติบโต และมีการสร้างมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและ/หรืออาจทำให้ปริมาณการสังเคราะห์แสงโดยรวมของประชากรธูปฤาษีเพิ่มขึ้น ซึ่งย่อมมีโอกาสทำให้มีการสร้างก๊าซออกซิเจนหมุนเวียนในระบบนิเวศเพิ่มขึ้นด้วย

3. การลำเลียงและการปลดปล่อยออกซิเจนของต้นธูปฤาษี

กลไกการลำเลียงออกซิเจนของธูปฤาษี สามารถจำแนกเป็น 2 กลไกหลัก คือ

(1) การแพร่ ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยกว่า ในระบบนิเวศของธูปฤาษีในพื้นที่ชุ่มน้ำออกซิเจนที่เคลื่อนย้ายนี้อาจพบได้ในการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศสู่พื้นน้ำ และการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ต้นธูปฤาษีโดยผ่านทางช่องปากใบและ/หรือช่องว่างอื่นๆของต้นธูปฤาษีที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน

(2) กระบวนการเทอร์โมออสโมซิส (Thermoosmosis) หรือ Thermodiffusion หรือ Thermal Flow of Molecules หรือ Effusion เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายออกซิเจนอย่างต่อเนื่องผ่านทางช่องว่างของเซลล์หรือของกลุ่มเซลล์ของธูปฤาษีที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านช่องขนาดเล็กมาก อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศทั้งสองด้านของเซลล์ เพื่อการปรับเข้าสู่สมดุลของความกดอากาศ อย่างไรก็ตาม มีผู้เรียกกระบวนการเคลื่อนย้ายออกซิเจนอย่างต่อเนื่องผ่านทางช่องว่างของเซลล์หรือของกลุ่มเซลล์ของธูปฤาษีที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนว่า กระบวนการ Pressurization หรือ Knudsen

โดยทั่วไป รากพืชที่เจริญในพื้นที่ชุ่มน้ำอาจปลดปล่อยออกซิเจนออกมาได้ 100-400 $mgO_2/m^2/h$ การเจริญเติบโตของธูปฤาษีจึงมีความสัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในระบบนิเวศ หากประชากรของธูปฤาษีมีพัฒนาการของระบบรากอย่างสมบูรณ์ ออกซิเจนน่าจะถูกปลดปล่อยออกสู่บริเวณระบบรากและสภาพแวดล้อมในปริมาณมากเนื่องจากพื้นที่ผิวของรากมีมากโดยมีการลำเลียงไปภายในต้นธูปฤาษีด้วยกลไกต่างๆ จนถึงระบบราก จากนั้นจึงปลดปล่อยออกจากผิวรากได้พื้นน้ำและใต้ผิวดิน ขณะเดียวกันอาจมีการปลดปล่อยออกซิเจนออกจากลำต้นใต้ดิน ทั้งจาก rhizome และ creeping rhizome ด้วย

ออกซิเจนที่ปลดปล่อยสู่บริเวณรากของธูปฤาษีอาจมาจากหลายแหล่ง ทั้งจากบรรยากาศและจากต้นธูปฤาษีเอง หากพิจารณาแหล่งที่มาของก๊าซออกซิเจนที่ได้จากภายในต้นธูปฤาษี อาจเป็นก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงในลักษณะเดียวกับพืชที่เจริญในพื้นที่ชุ่มน้ำบางชนิด พืชดังกล่าวที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงจึงน่าจะมีอัตราการสร้างออกซิเจนสูงด้วย ขณะเดียวกันการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนภายในประชากรของธูปฤาษีออกสู่ระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำยังมีการศึกษาเป็นต้นเดี่ยวมากกว่าการศึกษาเป็นกลุ่มประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งธูปฤาษีเป็นพืชที่มีการแตก Creeping rhizome เพื่อสร้างต้นใหม่ได้อย่างต่อเนื่องจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องศึกษาความต่อเนื่องของระบบส่งลำเลียงก๊าซของกลุ่มประชากร

จากการศึกษา พบว่าก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงอาจมีการส่งลำเลียงไปยังระบบรากอย่างต่อเนื่องได้โดยผ่านเซลล์ parenchyma และช่องว่างระหว่างเซลล์ของใบ แล้วเข้าสู่

เซลล์ aerenchyma และช่องว่างระหว่างเซลล์ของราก rhizome และ creeping rhizome ตามลำดับ เพื่อส่งไปสู่ต้นที่เกิดขึ้นข้างเคียง อย่างไรก็ตาม ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงบางส่วนอาจถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจของต้นธูปฤาษีเอง ทั้งภายในต้นที่สังเคราะห์แสง และ/หรือต้นที่เกิดข้างเคียงซึ่งเป็นไปได้ที่ต้นที่เกิดลำดับถัดออกไปจากต้นแม่มากก็อาจมีการใช้ออกซิเจนจากต้นแม่เพื่อการหายใจบางส่วนด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกัน ก๊าซออกซิเจนที่ถูกสร้างขึ้นก็อาจถูกปลดปล่อยออกจากระบบ ทั้งโดยการส่งลำเลียงย้อนกลับขึ้นสู่ฐานของใบและปลดปล่อยสู่บรรยากาศทางช่องปากใบช่องว่างขนาดเล็กระหว่าเซลล์โดยกระบวรการ Pressurization ของต้นที่สร้างก๊าซออกซิเจนขึ้น ร่วมกับต้นที่เกิดข้างเคียง และ/หรือโดยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนจากบริเวณผิวรากแล้วก๊าซออกซิเจนละลายในน้ำก่อนระเหยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศเหนือผิวน้ำต่อไป

ข้อสังเกต

1. การศึกษาทั้งกลุ่มประชากรของธูปฤาษีที่เกิดขึ้นจากต้นหลักเดียวกัน ก่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานของระบบส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนภายในระบบต่อเนื่องของธูปฤาษีได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามสมดุลของออกซิเจนในระบบนิเวศน์ของธูปฤาษีมีความสลับซับซ้อน ทั้งเนื่องจากปัจจัยภายนอก การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในระบบนิเวศน์ของธูปฤาษีจึงมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ มากมาย การแลกเปลี่ยนสมดุลของออกซิเจนในระบบจึงยังจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการศึกษาที่เหมาะสมและต้องมีการศึกษาพื้นฐานอย่างละเอียดต่อไป ทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาควิทยา การตอบสนองทางสรีรวิทยา และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. ในการศึกษาปริมาณออกซิเจนที่พืชน้ำ ปลดปล่อยในการบำบัดน้ำเสียนั้นเนื่องจากสมดุลของปริมาณออกซิเจนมีปัจจัยที่เกี่ยวของมากมายจึงยังไม่สามารถศึกษาได้ในระบบธรรมชาติจริงได้ อย่างไรก็ตาม ก็อาจหาได้โดยทางอ้อมด้วยวิธีการคำนวณประเมินจากข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น การให้น้ำ คุณภาพน้ำ ข้อมูลพืช อากาศ ฯลฯ จากการศึกษาการใช้ต้นธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่าพืชทั้งสองสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระบบแปลงพืช พบว่าระบบแปลงธูปฤาษีและกกกลมมีการใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียมีปริมาณเฉลี่ย 1,843.34 และ 1,834.74 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน

4.4 ระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียแบบอนุกรมเพื่อการบำบัด

การเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็วในปัจจุบันทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการดำรงชีวิต ได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย ยารักษาโรค พลังงาน ความปลอดภัย และสิ่งฟุ่มเฟือยเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสำหรับประโยชน์ของมนุษย์แล้ว สิ่งที่เกิดตามมาก็คือของเสียจากการใช้ทรัพยากรนั้น ของเสียเหล่านี้จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของธรรมชาติ

น้ำเป็นทรัพยากรหนึ่งเมื่อมีการใช้แล้วจะเสื่อมคุณภาพลงโดยมีสิ่งสกปรกต่างๆ เจือปนลงในน้ำ เป็นที่น่าสังเกตว่าในสมัยโบราณแม้จะมีการนำน้ำจากแม่น้ำลำคลองมาใช้ประโยชน์แต่ไม่ปรากฏปัญหาน้ำเสียขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติยังมีความสามารถฟื้นคืนสภาพตัวเองได้ ซึ่งแตกต่างจากปัจจุบันที่น้ำเสียมีปริมาณเกินความสามารถในการฟื้นคืนสภาพตัวเอง จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมลพิษทางน้ำที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นแม้ว่าภาครัฐได้พยายามผลักดันให้ประชาชนและผู้ก่อมลพิษทางน้ำแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากยังขาดแคลนองค์ความรู้ความเข้าใจทางวิชาการ อาทิ ความรู้พื้นฐานและเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยบ่อผึ่งโดยให้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ไม่สลับซับซ้อนทุกคนสามารถทำได้ ค่าใช้จ่ายต่ำ และให้ผลตอบแทนคืนมาทั้งในรูปของผลผลิตและผลพลอยได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสถานภาพคุณภาพน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ แล้ววิเคราะห์หารูปแบบการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งเพื่อใช้เป็นต้นแบบก่อสร้างในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศได้

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างไว้ 2 แห่ง ได้แก่ บ่อรวบรวมน้ำเสียสถานีสูบน้ำบ้านคลองยาง ตำบลช่องสะแก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ประกอบด้วย บ่อตกตะกอน 1 บ่อ มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส บ่อบำบัดน้ำเสีย 3 บ่อ ได้แก่ บ่อผึ่งที่ 1 มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า บ่อผึ่งที่ 2 มีลักษณะคล้ายรูปตัว L และบ่อผึ่งที่ 3 มีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า และบ่อปรับเสถียร 1 บ่อมีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูรวมทั้งสิ้น 5 บ่อ โดยแต่ละบ่อถูกออกแบบเป็นบ่อกึ่งไร้อากาศซึ่งอาศัยการทำงานของ aerobic bacteria, facultative bacteria และ anaerobic bacteria ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งนี้ได้เชื่อมต่อกับบ่อรวบรวมน้ำเสียด้วยท่อ

โพลีเอธีลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตรเป็นระยะทางประมาณ 18.5 กิโลเมตร ซึ่งน้ำเสียจะใช้ระยะเวลาในการเดินทางประมาณ 5.5 ชั่วโมง

สำหรับจุดเก็บตัวอย่างกำหนดขึ้นโดยใช้วิธี purposive sampling ได้ทั้งสิ้น 7 จุด ดังนี้ จุดแรกได้แก่ น้ำที่อยู่ในบ่อรวบรวมน้ำเสีย จุดที่สองได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากท่อส่งน้ำเสียเพื่อไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอน จุดที่สามได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากบ่อตกตะกอนกำลังไหลเข้าสู่บ่อผึ่งที่ 1 จุดที่สี่ได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากบ่อผึ่งที่ 1 กำลังไหลเข้าสู่บ่อผึ่งที่ 2 จุดที่ห้า ได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากบ่อผึ่งที่ 2 กำลังไหลเข้าสู่บ่อผึ่งที่ 3 จุดที่หก ได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากบ่อผึ่งที่ 3 กำลังไหลเข้าสู่บ่อปรับสภาพและจุดสุดท้ายได้แก่ น้ำที่ไหลออกจากบ่อปรับสภาพสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ดังภาพที่ 2 และดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ ในการวิจัยครั้งนี้มีทั้งสิ้น 17 ดัชนี ได้ทำการวิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดไว้ใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (1995) หลังจากนั้นนำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจำนวน 273 ตัวอย่าง ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานหรือค่าธรรมชาติ ดังนี้ บีโอดี สารแขวนลอยในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก อุณหภูมิของน้ำ ไนเตรท ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล สารหนู แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ฟอสเฟตเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ใช้ในการบอกถึงคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำที่ไม่ได้รับอิทธิพลเนื่องจากมลพิษ ความขุ่นของน้ำและความกระด้างเปรียบเทียบกับค่าธรรมชาติ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาจำนวนบ่อบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำแล้วคำนวณจากสมดุลปริมาตรและทิศทางการไหลของน้ำตามลักษณะรูปร่างของบ่อบำบัด สุดท้ายนำจำนวนบ่อบำบัดและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมมาใช้ในการปรับปรุงรูปแบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง

ผลการศึกษา

1. สถานภาพคุณภาพน้ำเสียของเทศบาลเมืองเพชรบุรีและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำจากจำนวนดัชนีคุณภาพน้ำที่เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามทิศทางการไหลของน้ำ พบว่าน้ำที่ไหลผ่านบ่อผึ่งที่ 2 มีคุณภาพดีที่สุด เพราะน้ำเสียในบ่อรวบรวมน้ำเสียเป็นน้ำที่เพิ่งได้รับการปนเปื้อนจากกิจกรรมของชุมชนในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีทำให้ค่าความสกปรกในน้ำสูง เมื่อน้ำเสียถูกสูบผ่านท่อส่งน้ำเสียเป็นระยะทาง 18.5 กิโลเมตร ก่อนเข้าบ่อตกตะกอนค่าความสกปรกได้ลดลงเนื่องจากขณะที่น้ำเสียเดินทางเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนกลุ่มที่เรียกว่า acid forming bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ ส่วน

ใหญ่เป็นกรดอะซิติและกรดโพรพิโอนิค และในขั้นตอนที่ 2 จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เรียกว่า methane forming bacteria โดยจะทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย น้ำ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำและไนเตรท พวก anaerobic bacteria สามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งของออกซิเจนสำหรับการออกซิเดชั่นทางชีวเคมีนั่นคือ ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์และรวมกับไฮโดรเจนอิออนเกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะเกิดเป็น H_2S หรือ HS^- หรือ $S^=$ ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ทราบได้จากปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ของน้ำที่เข้าบ่อตากตะกอนมีค่าสูงกว่าบ่อรวบรวมน้ำเสีย เมื่อน้ำผ่านบ่อตกตะกอนบ่อผึ่งที่ 1 และบ่อผึ่งที่ 2 แล้วสามารถลดค่าความสกปรกได้ดีขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนขึ้น แต่เมื่อน้ำผ่านบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพแล้ว ค่าความสกปรกของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากสาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชสามารถนำสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนเตรท และฟอสเฟตไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง สังเกตได้จากปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำที่ลดลงอย่างมากเมื่อผ่านบ่อผึ่งที่ 3 และบ่อปรับสภาพ จากการเพิ่มจำนวนของสาหร่าย และแพลงค์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว จนเกิดมลภาวะที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชั่นขึ้น (eutrophication) เมื่อสาหร่ายและแพลงค์ตอนพืชเหล่านี้ตายลงทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนขึ้นอีกครั้ง ส่งผลให้ค่าความสกปรกในน้ำสูงขึ้น

2. การวิเคราะห์หารูปแบบการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งเพื่อใช้เป็นต้นแบบการก่อสร้างในพื้นที่ต่างๆของประเทศได้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง (oxidation pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการธรรมชาติ ช่วยธรรมชาติไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีใดๆ เพื่อช่วยการทำงานของระบบจากการศึกษาสถานภาพ คุณภาพน้ำเสียดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า จำนวนบ่อบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในประเทศไทย คือ จำนวน 3 บ่อ โดยกำหนดระยะเวลาเก็บกักทั้งระบบ 21 วัน เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้ เกือบทั้งหมด หรือประมาณร้อยละ 95-99.3 แต่ละบ่อใช้เวลาเก็บกักประมาณ 7 วัน การก่อสร้างบ่อกำหนดให้สร้างบ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) จำนวน 1 บ่อและบ่อบ่ม (maturation pond) จำนวน 2 บ่อ รูปร่างของบ่อควรเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ต่ออนุกรมกันเพื่อป้องกันการเกิดจุดอับของน้ำ และการบำบัดเป็นแบบต่อเนื่องคือ น้ำเสียจะไหลเข้าและออกจากบ่อตลอดเวลา โดยมีการระบายน้ำแบบปล่อยที่ก้นบ่อและมีท่อรับน้ำล้นที่ผิวน้ำจากบ่อต้นแล้วปล่อยเข้าสู่ส่วนก้นบ่อของบ่อถัดไป (over flow) ดังภาพที่ 3 เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจากน้ำมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น ความลึกของบ่อประมาณ 1-2 เมตร เพื่อให้แสงสว่างลงไปได้ทั่วถึงทำให้การฆ่าเชื้อโรคมีประสิทธิภาพสูงและสาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสงได้ ปริมาตรของบ่อขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บกัก (detention time) และปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (influent discharge) ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$V = OT$$

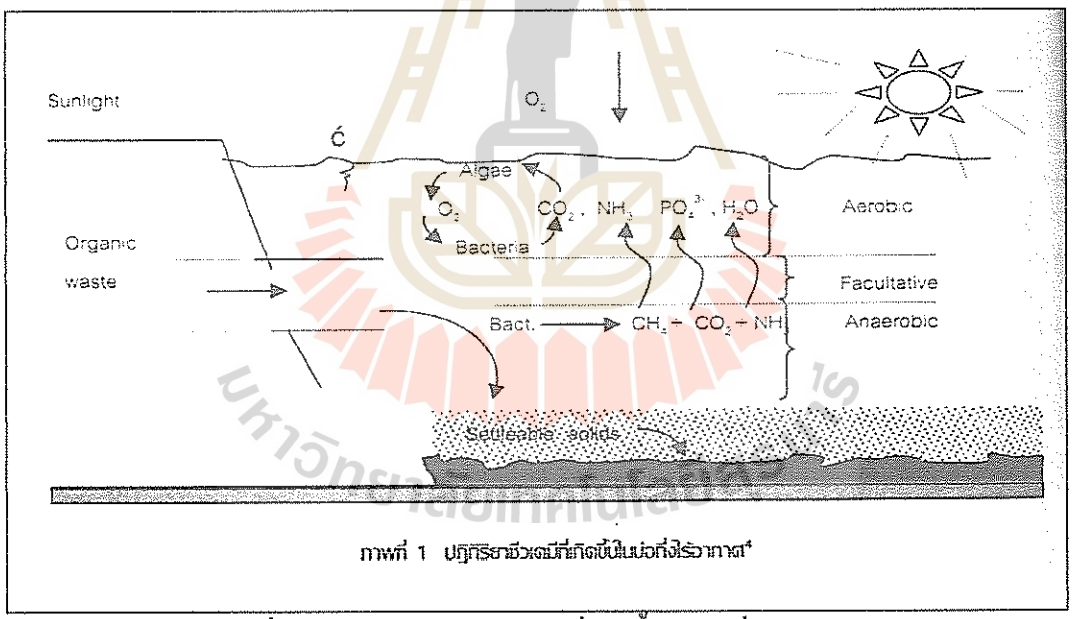
เมื่อ V คือ ปริมาตรของบ่อ (ลูกบาศก์เมตร)

O คือ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

T คือ เวลาเก็บกักตั้งแต่น้ำเข้าจนเต็มบ่อ (วินาที)

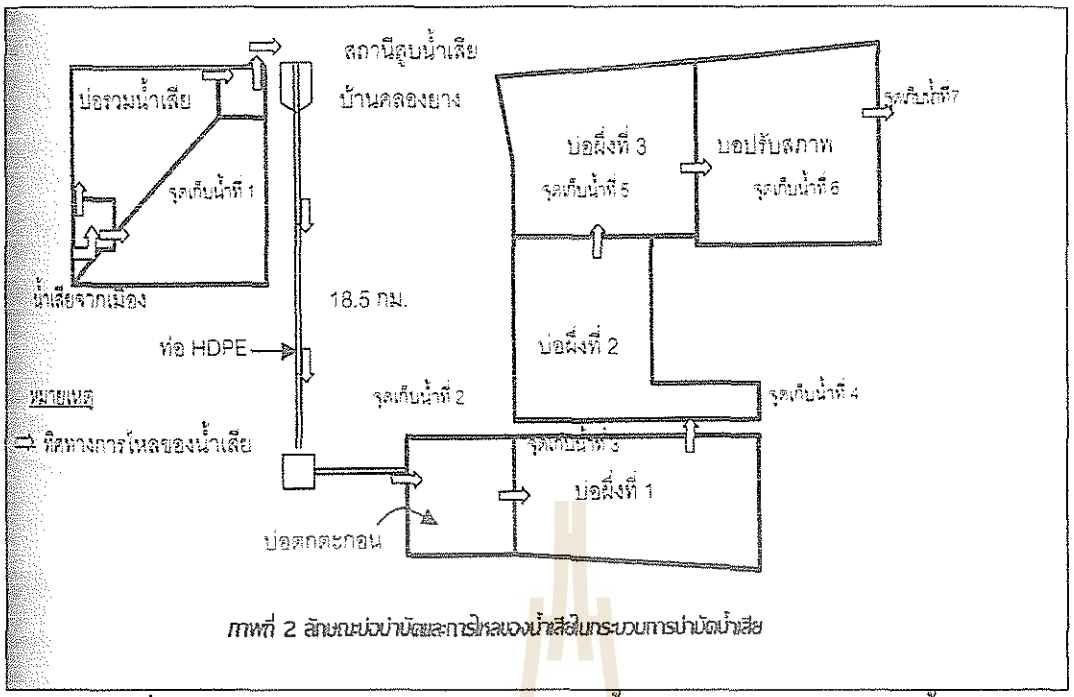
ข้อสังเกต

หากชุมชนใดต้องการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยเลือกใช้ระบบบ่อผึ่งแล้วควรศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสีย แหล่งกำเนิดน้ำเสีย ระบบรวบรวมและระบายน้ำเสียในเมือง ลักษณะและจำนวนพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสียโดยการออกแบบก่อสร้างจะต้องออกแบบให้เกิดการไหลเวียนของน้ำแบบ Over flow แล้วดำเนินการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งควรตั้งอยู่ท้ายเมือง

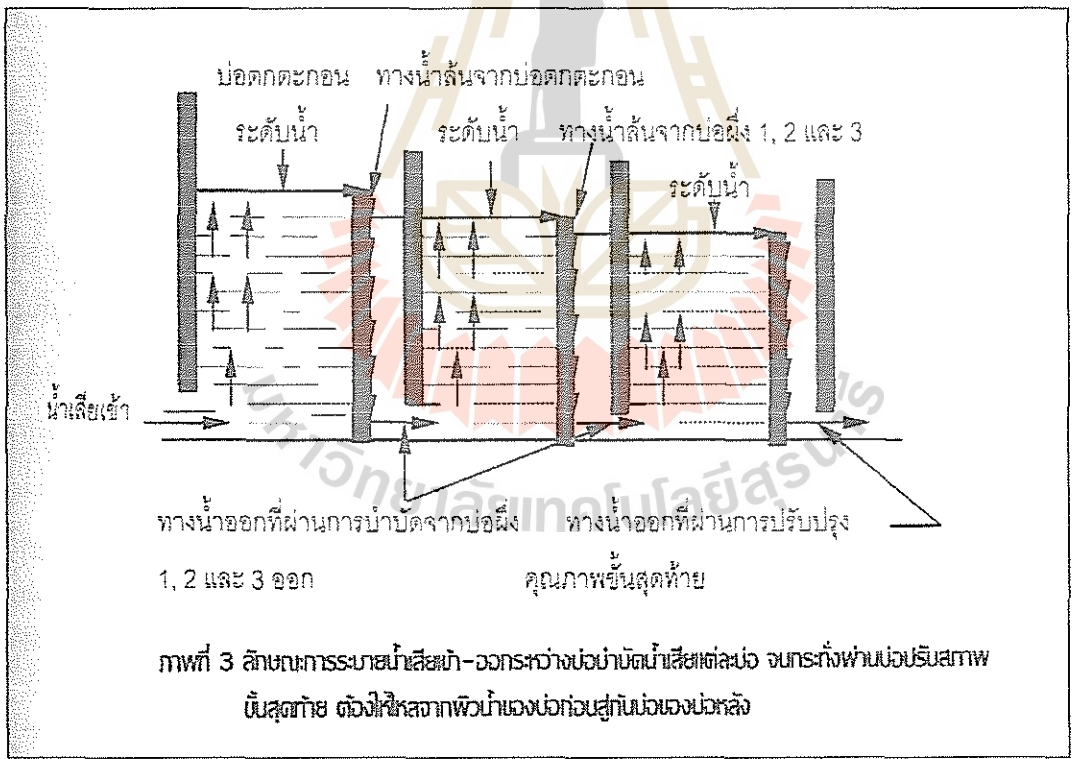


ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อกึ่งไร้อากาศ[4]

ภาพที่ 4.7: แสดงปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อกึ่งไร้อากาศ



ภาพที่ 4.8: ลักษณะบ่อบำบัดและการไหลของน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ 4.9: ลักษณะการระบายน้ำเสียเข้า-ออกระหว่างบ่อบำบัดน้ำเสียแต่ละบ่อ
จนกระทั่งผ่านบ่อปรับสภาพขั้นสุดท้าย

ตอนที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี การบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติตามแนวพระราชดำริ

1. หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติแบบบ่อผึ่ง หรือบ่อตกตะกอน และระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Oxidation Pond, Sedimental Pond and Lagoon Treatment)

หลักการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติแบบบ่อผึ่ง หรือบ่อตกตะกอน และระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Oxidation Pond, Sedimental Pond and Lagoon Treatment) ตามแนวทฤษฎีการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ แหลมผักเบี้ย

โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ที่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เป็นโครงการศึกษาวิจัย วิธีการบำบัดน้ำเสีย กำจัดขยะมูลฝอยและการรักษาสภาพป่าชายเลนด้วยวิธีธรรมชาติ ตามแนวพระราชดำริที่มีสาระสำคัญสรุปได้ว่า ปัญหาภาวะมลพิษมีผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนเป็นอย่างมาก สาเหตุสำคัญประการหนึ่ง คือ ชุมชนเมืองต่างๆ ยังขาดระบบบำบัดน้ำเสียและการกำจัดขยะมูลฝอยที่ดีและมีประสิทธิภาพ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว มีพระราชกระแสว่า **"...ปัญหาสำคัญคือ เรื่องสิ่งแวดล้อม เรื่องน้ำเสียกับขยะ ได้ ศึกษามาแล้วเหมือนกันทำไม่ยากนัก ในทางเทคโนโลยีทำได้และในเมืองไทยเองก็ทำได้...ทำได้แต่ที่ที่ทำนั้นต้องมีที่สัก 5,000 ไร่... ขอให้ผู้เชี่ยวชาญต่าง ๆ มาช่วย ร่วมกันทำ ทำได้แน่..."**

จากการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นมาก่อนของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวนานมาแล้วนี่เอง จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้า ฯ ให้สำนักงาน กปร. และกรมชลประทานร่วมกัน ศึกษาแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม พร้อมกับสำรวจพื้นที่ดำเนินการพบว่าบริเวณ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่ทั้งสิ้น 1,135 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่สาธารณประโยชน์ ไม่มีปัญหาด้านเวนคืนที่ดินแต่อย่างใด เมื่อคณะทำงานนำผลการศึกษาในการจัดทำโครงการขึ้นกราบบังคมทูล ทรงมีพระบรมราชวินิจฉัย เห็นด้วยกับรูปแบบและแนวความคิดดังกล่าว สำนักงาน กปร. และกรมชลประทาน จึงร่วมกันจัดทำแผนปฏิบัติการโครงการ ฯ ขึ้นทูลเกล้า ฯ ถวาย และทรงพระกรุณา โปรดเกล้า ฯ ให้ดำเนินการตามแผนงานดังกล่าวได้ การสนองพระราชดำริในโครงการนี้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย มูลนิธิชัยพัฒนา สำนักงาน กปร. กรมชลประทาน กรมป่าไม้ กรมประมง เป็นต้น

1. เริ่มด้วยเทศบาลเมืองเพชรบุรี ดำเนินการสร้างท่อระบายรวบรวมน้ำเสีย (Combine Waste Water System) ส่งน้ำเสียไปยังสถานีสูบน้ำเสียที่คลองยาง ที่จุดนี้จะทำหน้าที่เป็นบ่อดักขยะเป็นบ่อตกตะกอนขั้นต้นที่สามารถลดค่าความสกปรกไปได้ถึง 40 %

2. ระบบการบำบัดน้ำเสีย มีการสูบน้ำเสียจากคลองยางส่งไปตามท่อเป็นระยะทางถึง 18 กิโลเมตร เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ตำบลแหลมผักเบี้ย ซึ่งดำเนินการพร้อมกัน 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดน้ำเสีย และระบบกำจัดขยะ

ระบบบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็น

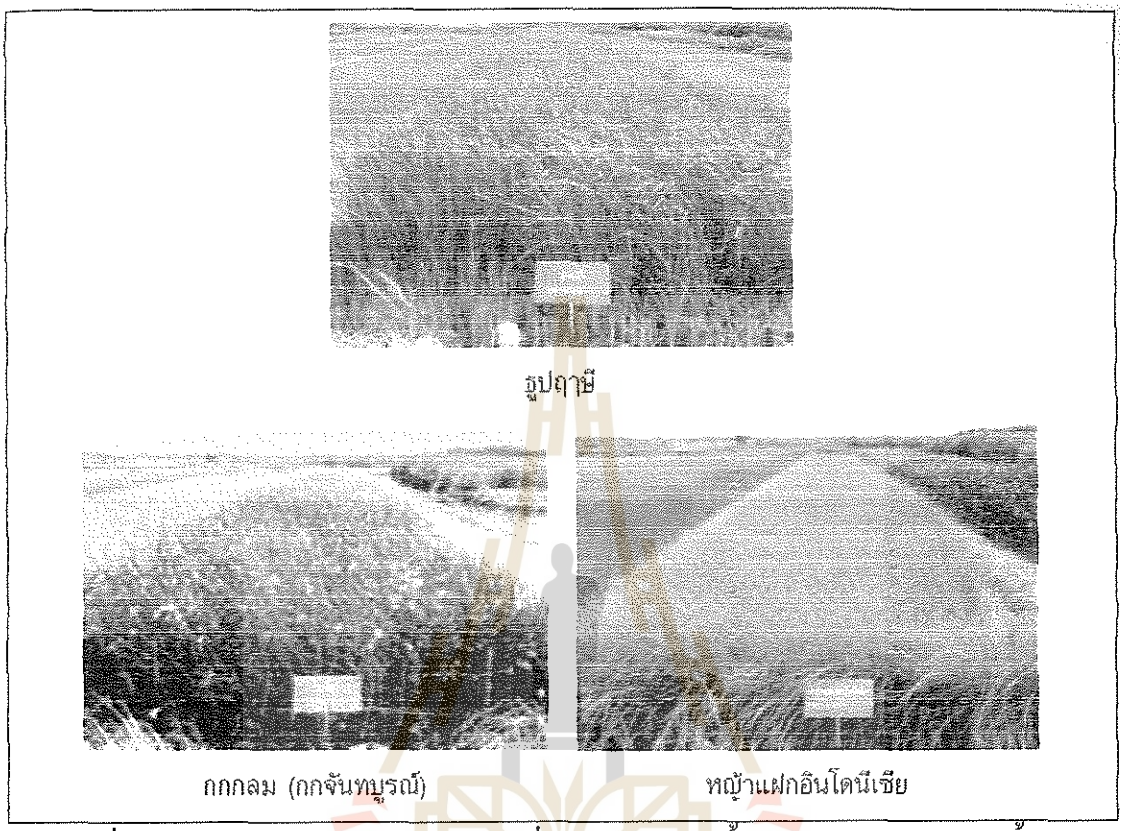
- **ก. ระบบบำบัดหลัก** ประกอบด้วย ระบบบำบัดน้ำเสีย (Lagoon Treatment) มีจำนวน 5 บ่อ ในพื้นที่ 95 ไร่ น้ำเสียจะไหลเข้าตามระบบน้ำล้น ดังนี้คือ
    - - บ่อตกตะกอน (Sedimentation Pond)
    - - บ่อบำบัด 1- 3 (Oxidation Pond)
    - - บ่อปรับคุณภาพน้ำ (Polishing Pond)

น้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนแล้วผ่านเข้าไปยังบ่อบำบัดที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ตามลำดับ แล้วไหลล้นเข้าสู่บ่อปรับคุณภาพน้ำเป็นขั้นสุดท้าย ก่อนที่จะระบายลงสู่ป่าชายเลนซึ่งน้ำเสียขั้นสุดท้ายนี้จะได้รับการตรวจสอบคุณภาพน้ำจากคณะวิจัยอย่างใกล้ชิด

- **ข. ระบบบำบัดรอง** อยู่ระหว่างดำเนินการในพื้นที่ ประมาณ 60 ไร่ ประกอบด้วย
    - ระบบบึงชีวภาพ (Constructed Wetland) เป็นการดำเนินการโดยให้น้ำเสียผ่านบ่อดินตื้น ๆ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในบึงปลูกพืชที่มีรากพุ่งประเภทกกพันธุ์ต่าง ๆ และอ้อ เป็นต้น ซึ่งพืชเหล่านี้มีระบบรากแผ่กระจายยึดเกาะดิน และสามารถเจริญเติบโตดีในน้ำขังเสียน้ำเสียจะเริ่มจากต้นบึงไหลล้นผ่านพืชต่าง ๆ ไปท้ายบึงอย่างต่อเนื่องโดยพืชทั้งหลายจะช่วยดูดซับสารพิษและอินทรีย์สารให้ลดน้อยลง ตลอดจนทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้หมดไป
    - ระบบกรองน้ำเสียด้วยหญ้า (Grass Filtration) โดยการปล่อยน้ำเป็นระยะ (Bat Flow) ผ่านเข้าไปในแปลงหญ้ามีขนาดและลักษณะเหมือนระบบบึงชีวภาพ ระบบแปลงหญ้านี้จะรับน้ำจากบ่อปรับคุณภาพน้ำของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเข้าไปขังในแปลงหญ้าเป็นระยะ ๆ นานครั้งละ 1-2 สัปดาห์ กระทั่งน้ำมีความสะอาดดียิ่งขึ้น
    - ระบบกรองน้ำเสียด้วยป่าชายเลน (White and RedMangrove) น้ำเสียจะได้รับการบำบัดผ่านเข้าไปในพื้นที่ 30 ไร่ ที่ทำการปลูกป่าชายเลน ซึ่งปลูกแบบคละผสมผสานกันในลักษณะที่เป็นธรรมชาติ ซึ่งน้ำที่ผ่านป่าชายเลนนี้จะได้รับการบำบัดจนเป็นน้ำที่ดีตามมาตรฐานเช่นกัน การนี้นับเป็นแนวพระราชดำริที่เป็นแบบฉบับแก่ชุมชน

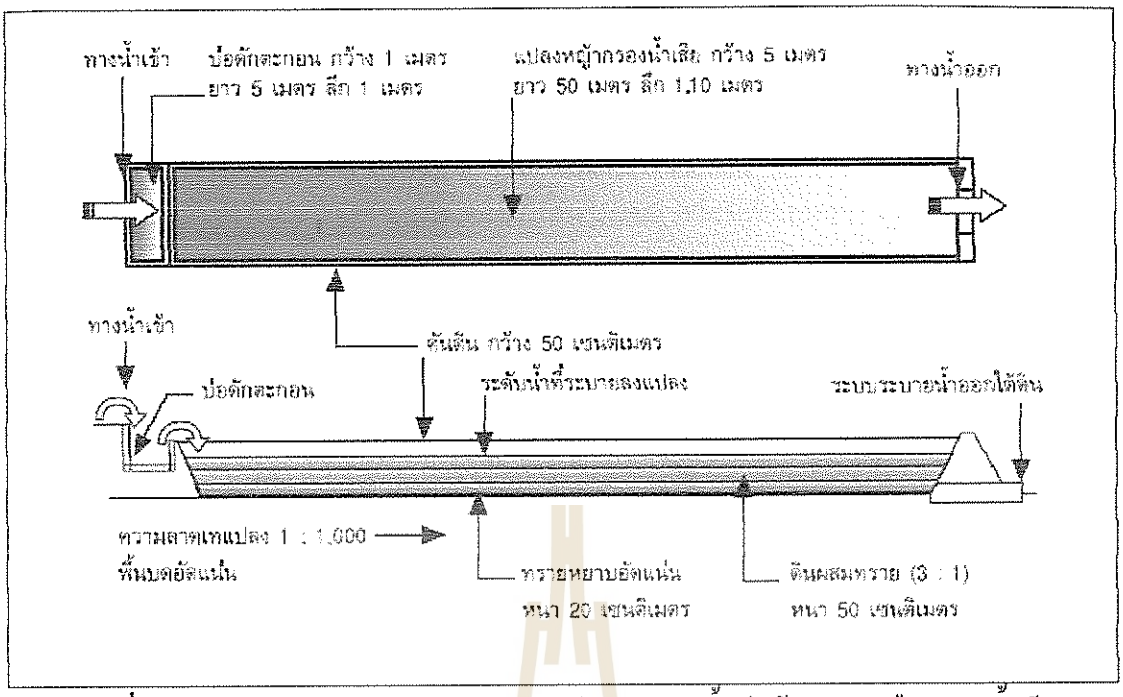
ทั้งหลายทั่วประเทศ ได้ดำเนินการเจริญรอยตามพระยุคลบาทโดยยึดการดำเนินงานที่แหลมผักเบี้ยเป็นต้นแบบ

1.1 ระบบพืชกรองน้ำเสีย



ภาพที่ 4.10: ลักษณะของชนิดหญ้าและพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย

รูปแบบเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสียที่ได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาขึ้นยึดหลักตามแนวพระราชดำริ โดยการทำแปลงและหรือทำบ่อเพื่อกักเก็บน้ำเสียที่ได้จากชุมชน และปลูกพืชที่ผ่านการคัดเลือกว่าเหมาะสม 3 ชนิด คือ ธูปฤาษี กกกลม (กกจันทบูรณ์) และหญ้าแฝกอินโดนีเซีย ช่วยในการบำบัดน้ำเสียอาศัยการกรองน้ำเสียขณะที่ไหลผ่านแปลงหญ้าและการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ได้จากกการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการบำบัดน้ำเสีย และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดินเพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจะมีการให้น้ำเสียหรือระบายน้ำเข้าสู่ระบบคือระยะที่ให้น้ำเสียขังไว้ 5 วัน และปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินมีโอกาสได้พักตัว และระบายน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบโดยการปล่อยระบายน้ำทางระบบท่อใต้ดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่ออายุของพืชครบระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะตัดพืชนั้นออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ พืชที่ตัดออกเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

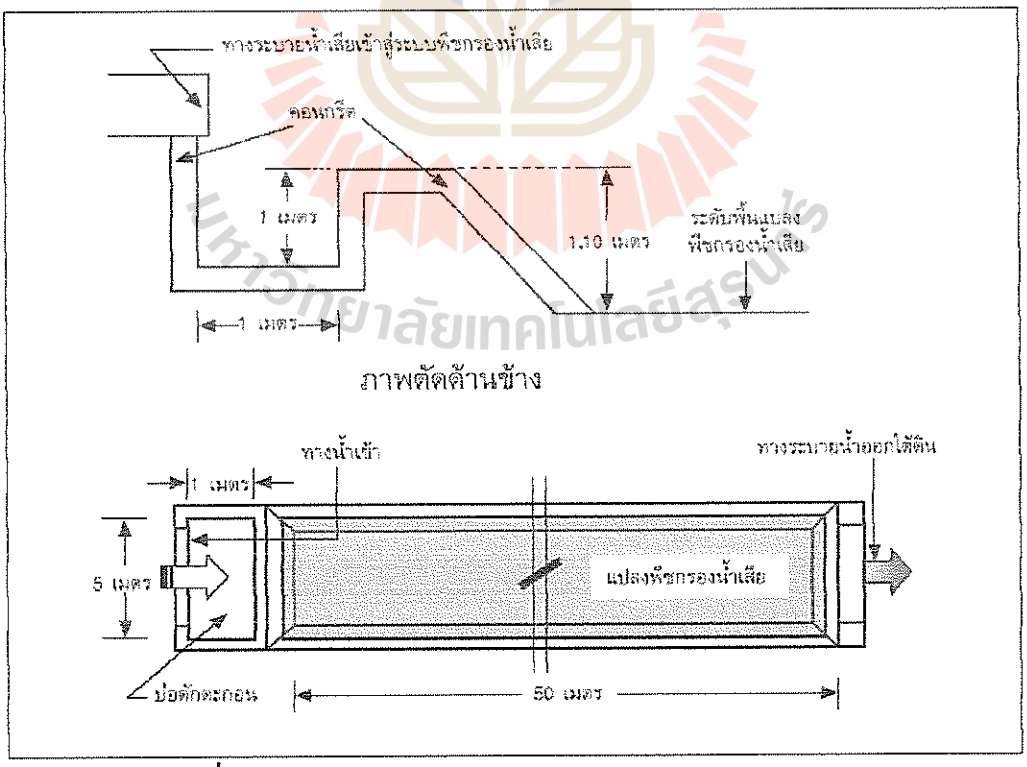


ภาพที่ 4.11: ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย

1.1.1 การก่อสร้างระบบพื้นกรองน้ำเสีย

ขั้นตอนที่ 1 การก่อสร้างบ่อดักตะกอน

ก่อสร้างบ่อคอนกรีตขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1 เมตร โดยให้อยู่ส่วนหัวของหญ้ากรองน้ำเสีย เพื่อใช้ในการดักตะกอนที่มากับน้ำเสียในระดับหนึ่งก่อน



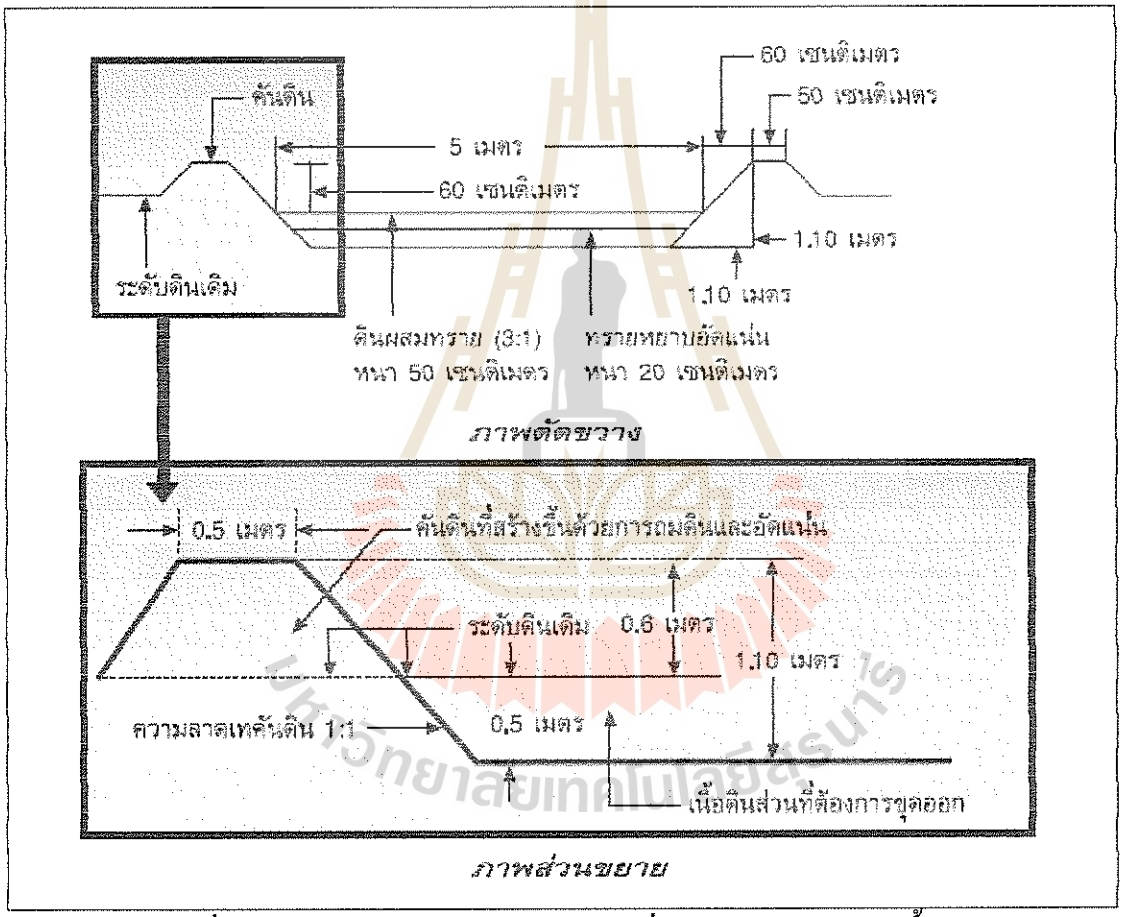
ภาพที่ 4.12: ภาพตัดขวางด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน

ขั้นตอนที่ 2 การก่อสร้างแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย

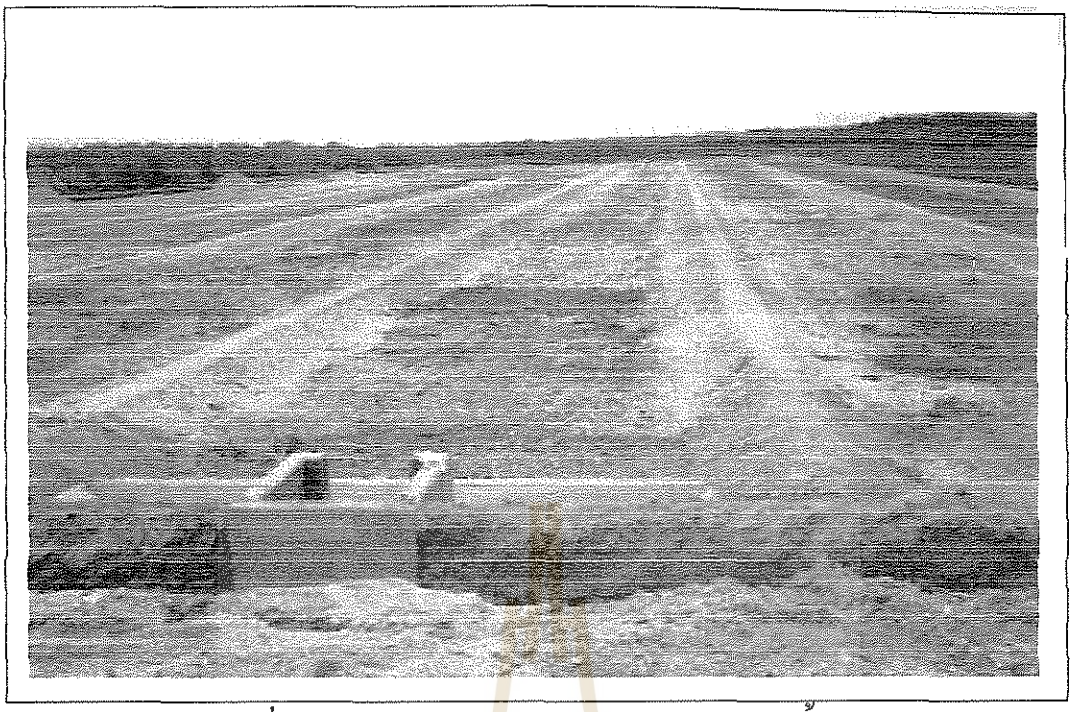
1) ก่อสร้างแปลง (บ่อ) ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 50 เมตร ลึก 1.10 เมตร ทำได้โดยการขุดดินและสร้างคันดินขึ้น ซึ่งคันดินควรมีความลาดชัน 1:1 ขนาดกว้าง 50 ซม. จะต้องทำการอัดให้แน่นเพื่อลดการรั่วซึม ความลาดเทของพื้นแปลงทางความยาวเท่ากับ 1:1000 พร้อมทั้งบดอัดให้แน่น และตอนท้ายของแปลงมีทางระบายน้ำในลักษณะน้ำล้นและวางท่อใต้ดิน

2) ใส่ทรายหยาบลงรองพื้นในแปลงเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงและอัดให้แน่นหนา 20 เซนติเมตร

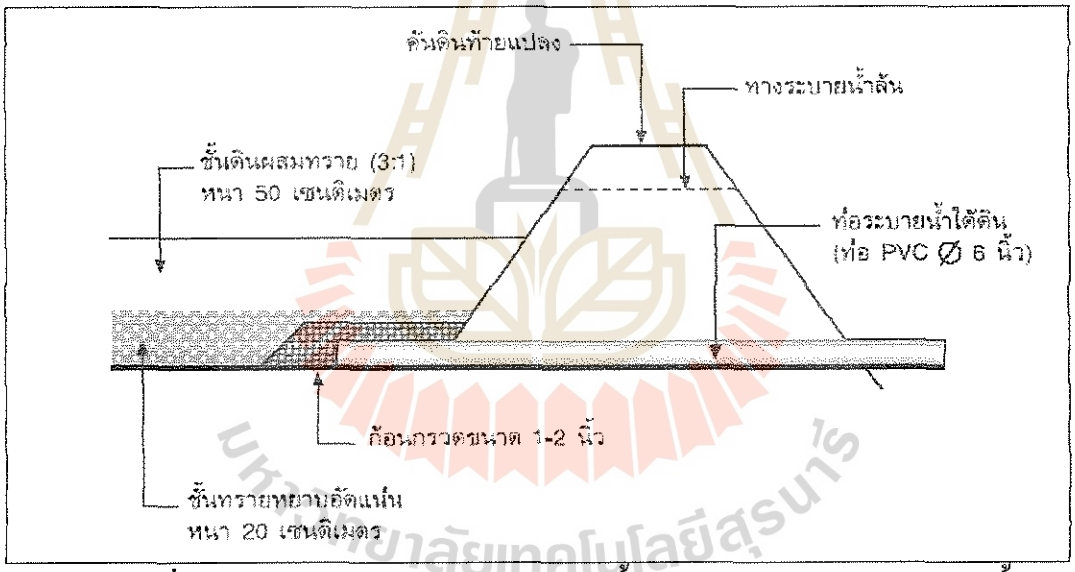
3) จากนั้นใส่ดินผสมทรายที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน ดิน 3 ส่วน ทราย 1 ส่วน และผสมให้เข้ากันลงในแปลงเกลี่ยให้มีความสม่ำเสมอ และให้มีความสูงจากท้องแปลง 50 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.13: การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำการปลูกพืชกรองน้ำเสีย



ภาพที่ 4.14: ลักษณะคันดินและแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย



ภาพที่ 4.15: ลักษณะการวางท่อระบบระบายน้ำใต้ดินท้านแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมท่อนพันธุ์และการปลูกพืช

การเตรียมท่อนพันธุ์

1) เตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะชำหรืออนุบาลท่อนพันธุ์ ซึ่งอาจใช้แปลงขนาดเล็กๆ ที่สมารถขังน้ำได้หรือใช้ถุงพลาสติกสีดำขนาด 8 นิ้ว พร้อมทั้งใส่ดินเลนหรือค่อนข้างเหลวลงไป

2) ถอดหรือขุดต้นพืชที่จะใช้ทำท่อนพันธุ์จากแหล่งที่จัดหาไว้

3) ตัดแต่งต้นและรากต้นพันธุ์พืชที่สมบูรณ์ให้มีความยาวประมาณ 1 ฟุต

4) นำไปปักชำลงในแปลงหรือถุงดำที่จัดเตรียมไว้

5) ดูแลรักษาโดยการให้น้ำเสียเป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อให้ต้นพืชปรับสภาพตนเองก่อนนำไปปลูก

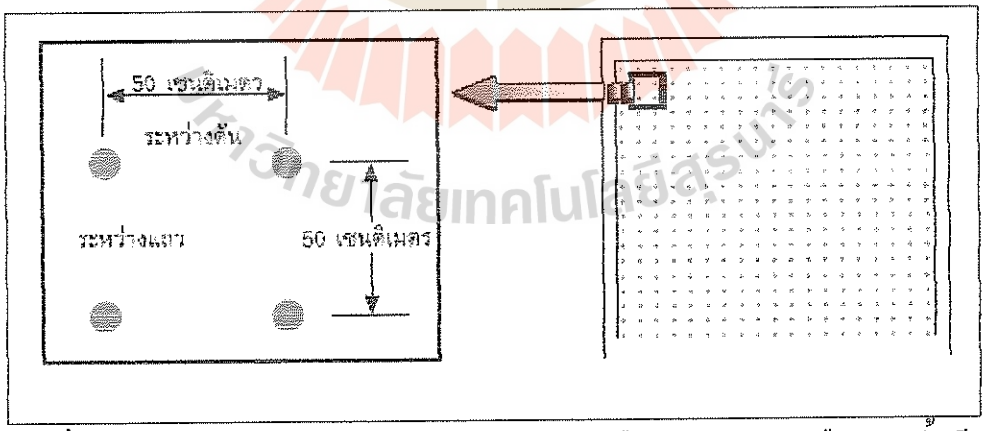
ภาพที่ 4.16: การเตรียมท่อนพันธ์พืชเพื่อนำไปปักชำก่อนการปลูกลงในแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย

การปลูกพืช

1) เติมน้ำใส่ในแปลง เพื่อให้เนื้อดินในแปลงเกิดความชุ่มชื้นและนิ่มจะได้ปลูกพืชได้สะดวก

2) ทำการปลูกพืชและที่เตรียมไว้ลงแปลง โดยให้มีระยะห่างระหว่างแถวและต้น เท่ากับ 50 เซนติเมตร

3) ดูแลและอนุบาลด้วยการชำน้ำเสียเพื่อให้หญ้าที่ปลูกไว้ปรับตัว 1 สัปดาห์ ก่อนการบำบัดน้ำเสีย

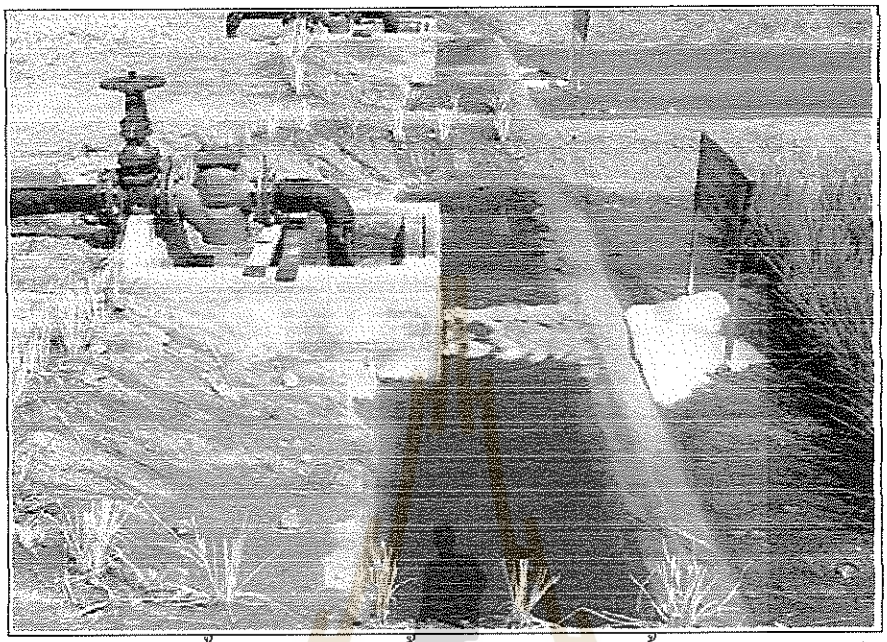


ภาพที่ 4.17: ระยะห่างระหว่างแถวและต้น ในการปลูกพืชในแปลงระบบพืชกรองน้ำเสีย

1.1.2 การดำเนินการบำบัดน้ำเสีย

เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย สามารถใช้ระบบการระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด โดยระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบให้ได้ระดับ 30 เซนติเมตร จากระดับพื้นดินบริเวณตอนท้าย

แปลง ปล่อยน้ำขังไว้ 5 วัน จากนั้นจึงระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกทางระบบระบายน้ำใต้ดินสู่แปล่งน้ำธรรมชาติ แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง 2 วัน จึงเติมน้ำเสียใหม่ลงสู่แปลงบำบัดต่อไป ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพในการกรองบำบัดน้ำเสียได้ดีเพียงพอและสามารถรองรับน้ำเสียได้วันละประมาณ 75 ลบ.ม. ต่อสัปดาห์ หรือสามารถรองรับน้ำเสียจากจำนวนประชากร 375 คนต่อสัปดาห์



ภาพที่ 4.18: ลักษณะการให้น้ำหรือการระบายน้ำเสียเข้าแปลงบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

1.1.3 การบำรุงรักษา

การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองน้ำเสีย เป็นกระบวนการที่อาศัยพืชในการกรองน้ำเสียและการดูดสารอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดินเพื่อนำไปใช้ในการสร้างความเจริญเติบโตของต้นพืช เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่การดูดสารอาหารก็จะลดลงตามระยะเวลา และชนิดต่อพืชนั้นๆ การเจริญเติบโตของพืชและชนิดพืชจึงมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ รวมถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป คือ ธูปฤาษี เวลา 90 วัน กกกลม (กกจันทบูรณ์) และแฝกอินโดนีเซีย เวลา 45 วัน ดังนั้นเมื่อถึงระยะเวลาจึงต้องมีการตัดออกไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบพืชกรองน้ำเสีย นอกจากนี้ทุก 1 ปี ต้องทำการถอนต้นพืชที่หนาแน่นบางส่วนออกจากแปลง เพื่อให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ทำให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ดีขึ้น

1.1.4 ระยะเวลาการใช้งานระบบพืชกรองน้ำเสีย

ระบบพืชกรองน้ำเสีย สามารถรองรับการใช้งานได้ในระยะยาว จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงระบบเพียงแต่ปล่อยให้ระบบได้มีการพักตัวประมาณ 1 สัปดาห์ หลังจากการปล่อยน้ำแห้งแล้ว

1.2 ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย Grass Filtration

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง (Grass Filtration) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยเลียนแบบการบำบัดน้ำเสียในธรรมชาติ และดัดแปลงระบบของพื้นที่ชุ่มน้ำ และระบบนิเวศนาข้าวมาประยุกต์ใช้ โดยการนำน้ำเสียมาไหลผ่านพื้นที่ที่มีความลาดเอียงที่ทำการปลูกหญ้า ซึ่งเป็นการเลียนแบบจากสภาพธรรมชาติของพื้นที่ที่มีสภาพเป็นทุ่งหญ้า ซึ่งมีหญ้า ไม้พุ่ม วัชพืชต่างๆ ขึ้นเต็มไปหมด และมีความลาดเอียงของพื้นที่ตามธรรมชาติ ซึ่งนักวิชาการชาวออสเตรียเลียคิดค้นขึ้นมา (สิทธิชัย, 2538) เมื่อน้ำเสียได้ไหลผ่านอันที่ที่มีลักษณะเช่นนี้จะเกิดกระบวนการทางธรรมชาติที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยพื้นและหญ้าจะชะลอความเร็วและความแรงของน้ำ ขณะเดียวกันน้ำเสียก็จะถูกต้นหญ้านำสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียไปใช้ ลำต้นและใบของต้นหญ้า จะทำงานร่วมกับดิน และจุลินทรีย์เกิดกลไกที่เปรียบเสมือนเป็นการกรองเอาสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ทำให้สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียลดน้อยลงตามระยะทางที่น้ำเสียไหลผ่าน น้ำเสียเหล่านั้นจึงค่อยๆ ได้รับการบำบัดให้ดีขึ้นตามกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองในครั้งนี้ เป็นการให้น้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดในลักษณะเลื่อนไหลไปในแนวระดับ (horizontal) และระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้ง เพื่อเป็นต้นแบบแปลงหญ้ากรองน้ำที่จะพัฒนาไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

1.2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง

กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองเป็นการนำกลไกการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำและหลักการของระบบนิเวศดินนาโดยการระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับแห้งมาประยุกต์ใช้ ซึ่งตัวกลางที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียคือ ดินและพืช ซึ่งมีหลักการดังนี้

1. หลักการระบายน้ำเสียแบบการขังสลับแห้ง

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองในครั้งนี้ ได้ใช้หลักการระบายน้ำแบบการขังน้ำสลับแห้ง (flooding and drying) ซึ่งเป็นการนำหลักการของระบบนิเวศดินมาใช้โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีววิทยาที่เกิดขึ้นสองแบบในแต่ละรอบของการทดลองบำบัดน้ำเสีย นั่นคือ สภาพที่มีออกซิเจน (aerobic หรือ Oxidative) เมื่อมีการระบายน้ำออกปล่อยให้ดินแห้ง และสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic หรือ reductive) เมื่อปล่อยน้ำเข้าแปลงแล้วขังน้ำไว้ในแปลง การเกิดสภาพไม่มีออกซิเจนจะมีผลดีและผลเสียต่อระบบนิเวศเมื่อดินมีการขังน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีดินและปัจจัยที่ควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ เมื่อมีการขังน้ำและปล่อยน้ำออกปล่อยให้ดินแห้งบางส่วน (สิทธิชัย, 2538) ซึ่งการขังน้ำดังกล่าวทำให้เกิดการบำบัดน้ำเสียได้ดังนี้

1) การเกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

เมื่อดินมีน้ำขังการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดิน และบรรยากาศจะถูกยับยั้ง ซึ่งโดยปกติออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปสู่ดินได้โดยการแพร่กระจาย (diffusion) แต่เมื่อดินถูกน้ำขัง การแพร่กระจายของออกซิเจนก็ต้องผ่านชั้นของน้ำที่อยู่เหนือดิน ทำให้อัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนผ่านเข้ามาช้ามาก (1/1,000 เท่าของในบรรยากาศ) จากนั้นดินก็จะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมซึ่งถูกเก็บไว้ตามช่องว่างระหว่างในดินที่น้ำถูกขัง จะถูกจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) และจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facutative anaerobic bacteria) นำไปใช้ในการหายใจจนหมดอย่างรวดเร็ว และจะเกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ ในดิน โดยการสะสมและค่อยๆ เพิ่มความกดดันจนเกิดเป็นฟองสูญหายไปจากดิน องค์ประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไปในดินที่ขังน้ำย่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่ก่อให้เกิดผลดีต่อดินและพืชน้ำได้ (ไพบูลย์, 2538 ; ทัศนีย์, 2534)

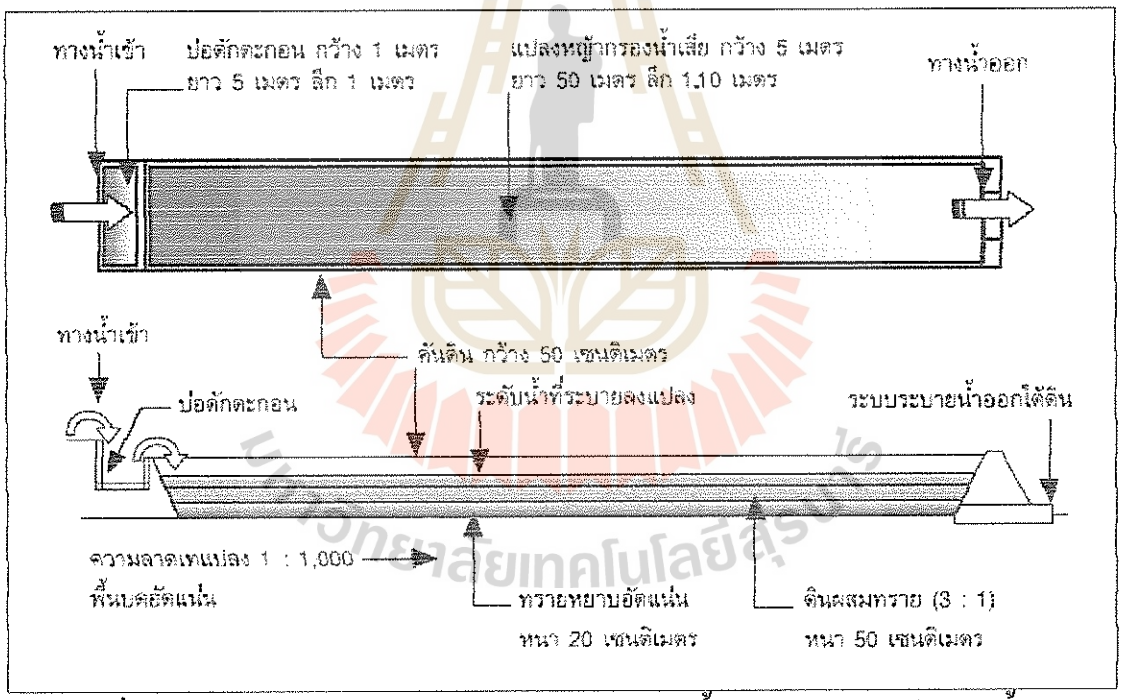
2) การเกิดรีดักชันที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย

ภายหลังจากการขังน้ำทำให้ออกซิเจนในดินถูกใช้หมดโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน หลังจากนั้นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนจะหยุดกิจกรรม ชะงักการเจริญเติบโตและตายไป ส่วนจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ทั้งต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนจะเริ่มหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้สารประกอบต่างๆ ในดินซึ่งมีระดับออกซิเดชันสูงเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งได้มาจากอินทรียวัตถุก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน สารประกอบที่มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนในดินนั้น ได้แก่ ไนเตรต แมงกานีสไดออกไซด์ เฟอริออกไซด์ ซัลเฟต และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งได้ มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆ ตามลำดับทาง termodynamic โดยที่เคมีพลศาสตร์ของการเกิดรีดักชันตลอดจนสารที่ได้จากการรีดักชันขึ้นอยู่กับปัจจัย 5 ประการ คือ ธรรมชาติและปริมาณอาหารของจุลินทรีย์ (อินทรีย์วัตถุ) หรือตัวให้อิเล็กตรอน อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณและชนิดของตัวรับอิเล็กตรอน และระยะเวลาที่มีน้ำแช่ขัง (ไพบูลย์, 2528 ; ทัศนีย์, 2534 ; สิทธิชัย 2538)

3) การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงของดินที่มีน้ำขังในการบำบัดน้ำเสีย

จากการที่ดินถูกน้ำขังจนเกิดสภาพไม่มีออกซิเจน จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งวิศิษฏ์และคณะ (2524) ได้กล่าวไว้โดยสรุป ดังนี้ redox potential (Eh) ของดินลดลง ค่าพีเอชของดินกรดจะเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชของดินด่างจะลดลง การนำไฟฟ้าจำเพาะ (specific conductance) และความเข้มข้นของอิออน (ionic strngh) เปลี่ยนแปลงไป สมดุลของแร่ในดินจะเปลี่ยนแปลงไป เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิออนบวกและอิออนลบ เกิดการดูดซับและปลดปล่อยอิออน เกิดดิไนตริฟิเคชัน การสะสมแอมโมเนีย

เกิดการรีดิวส์เหล็กและแมงกานีส การสะสมผลิตภัณฑ์ของ anaerobic metabolism ที่เกิดโดยจุลินทรีย์ เกิดการรีดิวส์ซัลเฟต ผลของการรีดักชันทำให้เกิดฟอสฟอรัสและซิลิคอนละลายน้ำได้มากขึ้น และเกิดการแทนที่อิออนบวกของเหล็กและแมงกานีส กับโพแทสเซียมและอิออนอื่นๆ ทำให้อิออนบวกที่ถูกแทนที่เหล่านั้นมีน้ำในดิน (soil solution) มากขึ้น จากผลการขังน้ำที่มีคุณสมบัติทางเคมีของดินตามที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้คาดว่าเมื่อใช้การระบายน้ำเสียในลักษณะการขังน้ำสลับกับการปล่อยน้ำออกให้ดินแห้ง จะสามารถนำมาใช้ร่วมกับพืชในระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรอง เพื่อลดสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ ไม่ว่าจะเป็นบีโอดี ซีโอดี โลหะหนัก ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น จากการศึกษาของปกรณ์ (2540) ซึ่งได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชและโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช พบว่า ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล ในน้ำที่ออกจากแปลงมีปริมาณลดลงจากเดิม โดยธาตุอาหารส่วนที่ลดลงนั้นพบสะสมอยู่ในดินและพืช แต่โลหะหนักที่ลดลงสะสมอยู่ในเฉพาะในพืช

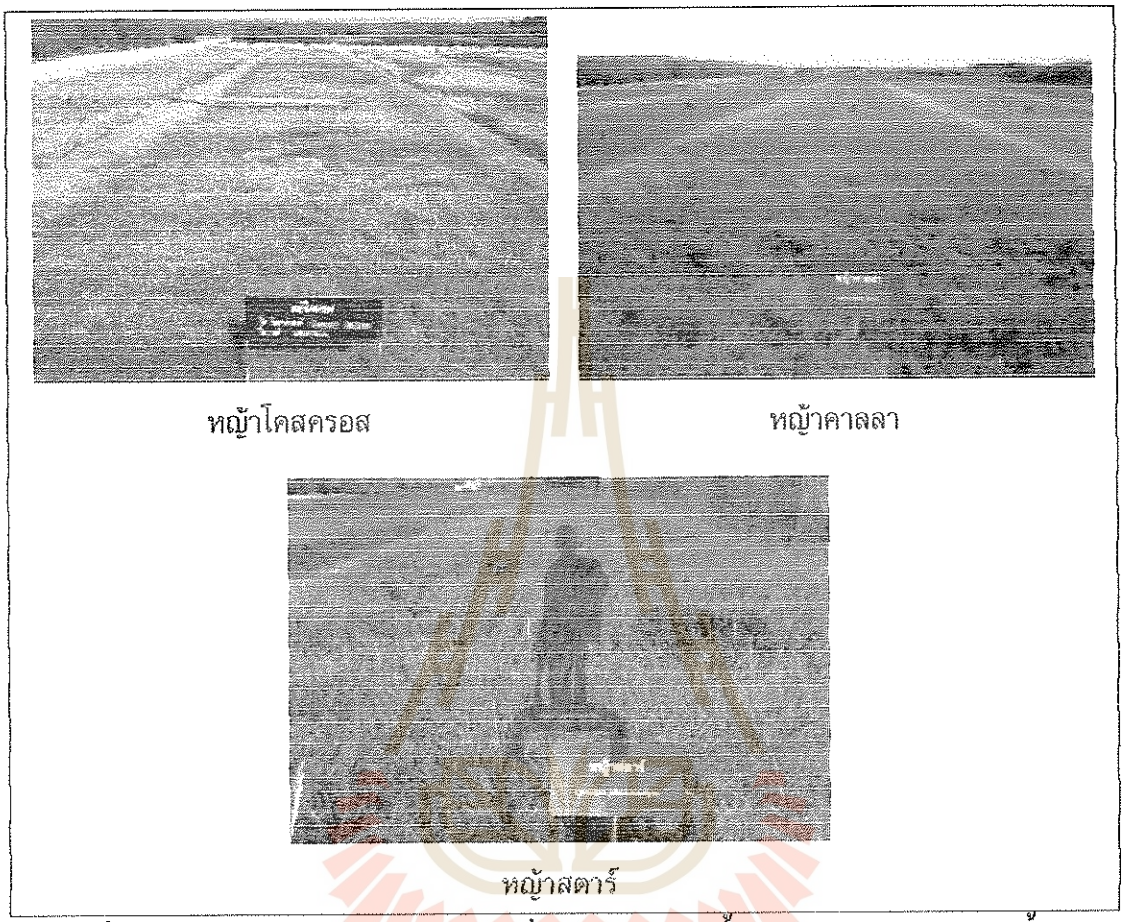


ภาพที่ 4.19: ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

1.2.2 การนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้ากรองเปรียบได้เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำหนึ่งที่มีความสมดุลของมวลภายในระบบ โดยมีการหมุนเวียนของธาตุอาหาร และสารเคมีต่างๆ อย่างสมดุล (Patrick, 1971) ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูด

ซับ (adsorption) การตกตะกอน (precipitation) การกรอง (filtration) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexation) กระบวนการดูดซึม (uptake) ธาตุอาหาร กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดิไนตริฟิเคชัน เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะช่วยในการเปลี่ยนรูป หรือบำบัดสารปนเปื้อนที่อาจเป็นพิษ หรือสารที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัยต่อแหล่งน้ำ



ภาพที่ 4.20: ลักษณะของชนิดหญ้าและพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

สำหรับพืชน้ำนอกจากช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซึมธาตุอาหาร โลหะหนัก และสารอื่นๆ ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตโดยผ่านระบบรากก่อนมาสู่ลำต้นแล้ว ระบบรากของพืชยังเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือ ทำหน้าที่เป็นที่เกาะให้กับจุลินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในดิน ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารต่างๆ ในดิน เช่น การกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการ nitrification และ denitrification โดยเริ่มจากแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตโดยสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ระบบรากยังทำหน้าที่ย้ายก๊าซออกซิเจน และก๊าซอื่นๆ จากยอดไปยังราก และจากรากไปยังยอด จึงเป็นการเพิ่มก๊าซออกซิเจนให้กับดิน นอกจากนี้ ก้านหรือลำต้นที่อยู่ในน้ำยังเป็นตัวกลางในการกรอง และดูดซับตะกอน และของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงถึงผิวน้ำ

ลดลง จึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ ส่วนก้าน ลำต้น และใบที่อยู่เหนือน้ำ จะช่วยลดผลของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา

จากที่กล่าวมาข้างต้นพืชจะมีกลไกหลายประการที่ทำให้สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นก็มีข้อจำกัด คือจะต้องมีการคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสม ซึ่ง พัฒนี (2536) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยสรุปดังนี้

1) สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในท้องถิ่นนั้นๆ นอกจากนี้ยังต้องสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

2) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง

3) มีความสามารถในการส่งผานออกซิเจนได้สูง โดยนำออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านลงมาตามใบ ลำต้น ราก

4) สามารถทนความเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษได้ค่อนข้างกว้าง

5) มีความสามารถในการดูดซึมและเก็บสะสมสารต่างๆ ได้

6) มีความคงทนต่อโรค และแมลงต่างๆ ได้ดี

7) สามารถนำออกจากระบบได้ง่าย เนื่องจากพืชจะลดปริมาณสารที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ผลดีที่สุดนั้น ต้องมีการนำพืชออกจากระบบบ้าง เพื่อมิให้พืชอยู่อย่างหนาแน่นเกินไป จนระบบขาดประสิทธิภาพ

1.2.3 การก่อสร้างระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ขั้นตอนที่ 1 การก่อสร้างบ่อดักตะกอน

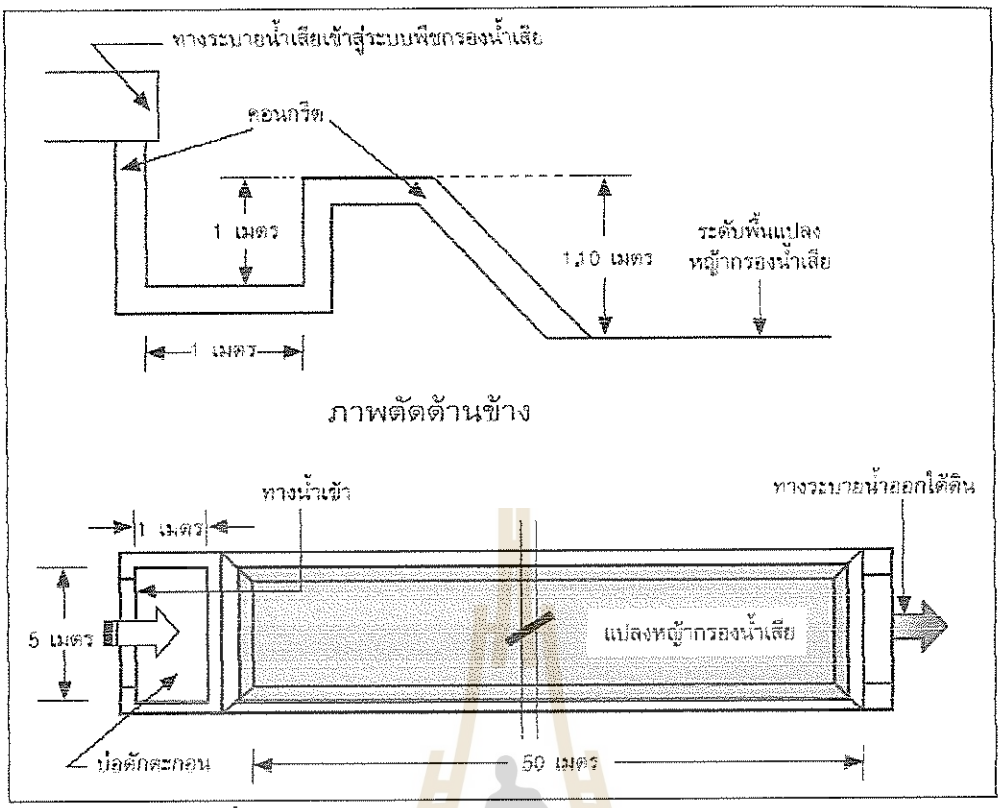
ก่อสร้างบ่อคอนกรีตขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1 เมตร โดยให้อยู่ส่วนหัวของหญ้ากรองน้ำเสีย เพื่อใช้ในการดักตะกอนที่มากับน้ำเสียในระดับหนึ่งก่อน

ขั้นตอนที่ 2 การก่อสร้างแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย

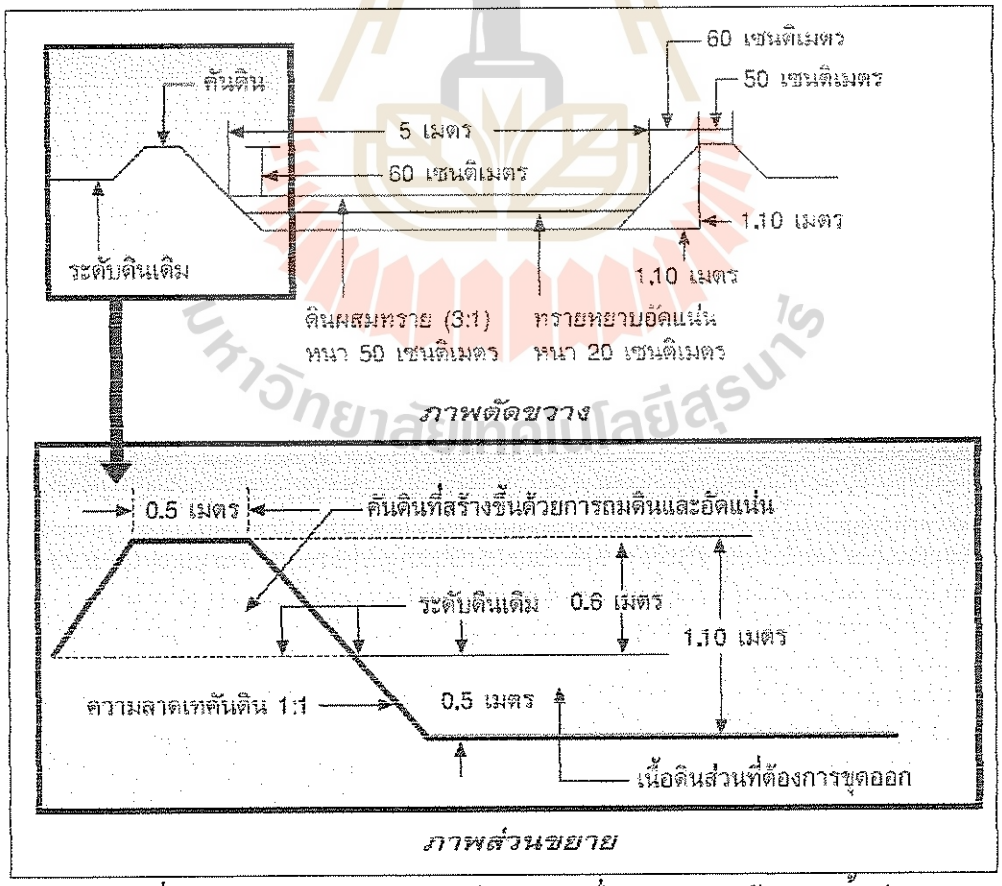
1) ก่อสร้างแปลง (บ่อ) ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 50 เมตร ลึก 1.10 เมตร ทำได้โดยการขุดดินและสร้างคันดินขึ้น ซึ่งคันดินควรมีความลาดชัน 1:1 ขนาดกว้าง 50 ซม. จะต้องทำการอัดให้แน่นเพื่อลดการรั่วซึม ความลาดเทของพื้นแปลงทางความยาวเท่ากับ 1:1000 พร้อมทั้งบดอัดให้แน่น และตอนท้ายของแปลงมีทางระบายน้ำในลักษณะน้ำล้นและวางท่อใต้ดิน

2) ใส่ทรายหยาบลงรองพื้นในแปลงเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงและอัดให้แน่นหนา 20 เซนติเมตร

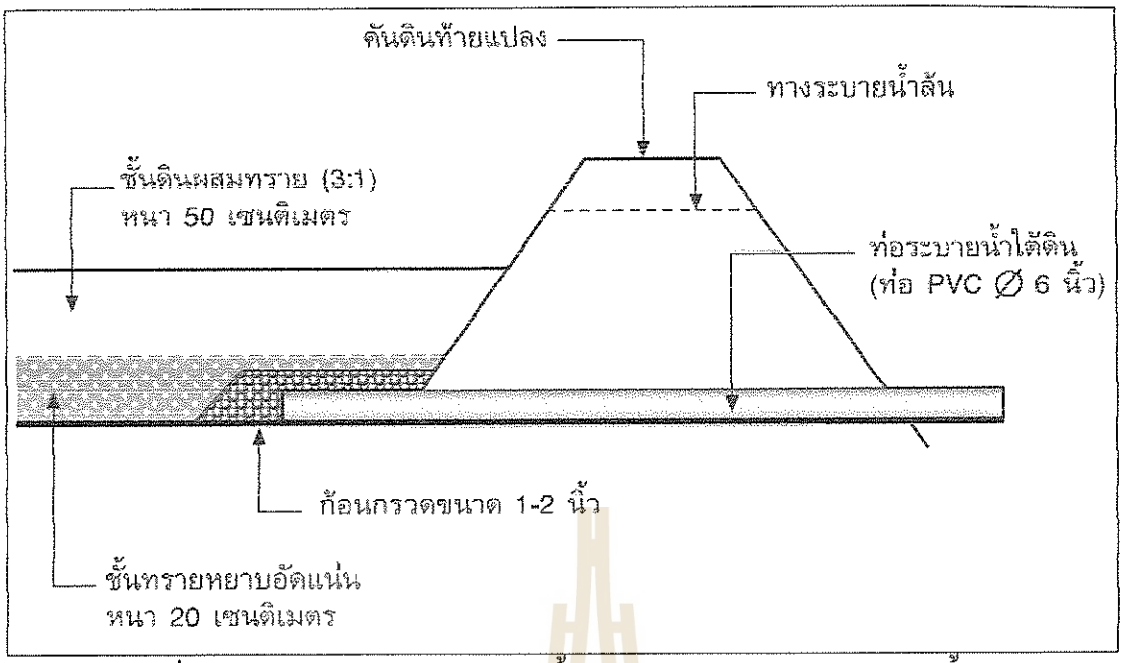
3) จากนั้นใส่ดินผสมทรายที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน ดิน 3 ส่วน ทราย 1 ส่วน และผสมให้เข้ากันลงในแปลงเกลี่ยให้มีความสม่ำเสมอ และให้มีความสูงจากท้องแปลง 50 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.21: ภาพตัดด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน



ภาพที่ 4.22: การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย



ภาพที่ 4.23: ลักษณะการวางท่อระบายน้ำใต้ดินท้ายแปลงระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมต้นพันธุ์หญ้าและการปลูก

การเตรียมต้นกล้าหญ้า

1) เตรียมพื้นที่สำหรับเพาะชำและอนุบาลต้นกล้าหญ้า ซึ่งอาจใช้แปลงขนาดเล็กๆ หรือใช้ถุงพลาสติกสีดำขนาด 6 นิ้ว พร้อมใส่ดินที่ค่อนข้างเหลวลงไป

2) นำไปปักชำลงในแปลงหรือถุงเพาะชำที่จัดเตรียมไว้

3) ทำการตัดแต่งกอให้สมบูรณ์ ยาวประมาณ 1 ฟุต

4) ดูแลบำรุงรักษา เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

การปลูกหญ้า

1) เติมน้ำลงในแปลงเพื่อให้ดินในแปลงเกิดความชุ่มชื้นและนิ่มจะได้ปลูกหญ้าได้สะดวก

2) ทำการปลูกหญ้าที่เตรียมไว้ลงในแปลง โดยให้มีระยะห่างระหว่างแถวและต้น เท่ากับ 50 เซนติเมตร

3) ดูแลหรืออนุบาลด้วยการใช้น้ำเสียเพื่อให้หญ้าที่ปลูกไว้ปรับตัว 1 สัปดาห์ ก่อนการบำบัดน้ำเสีย

1.2.4 การบำรุงรักษา

เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นกระบวนการที่อาศัยหญ้าในการกรองน้ำเสียและการดูดสารอาหารจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดินเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นหญ้า เมื่อหญ้ามีการเจริญเติบโตเต็มที่การดูดสารอาหารก็จะลดลงตามระยะเวลา

และความเหมาะสมในการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ คือ เวลา 45 วัน ดังนั้น เมื่อถึงระยะเวลาดังกล่าวจึงต้องมีการตัดออกนำไปเลี้ยงสัตว์หรือปล่อยให้สัตว์ไปแทะเล็มกินในแปลง ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

1.2.5 ระยะเวลาการใช้งานระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ระบบหญ้ากรองน้ำเสีย สามารถรองรับการใช้งานได้ในระยะยาว จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบเพียงแต่ปล่อยให้ระบบมีการพักตัวประมาณ 1 สัปดาห์ หลังจากการปล่อยให้น้ำแห้งแล้ว

1.2.6 การทดลองบำบัดน้ำเสีย

จากผลการศึกษาระยะแรก นำผลที่ได้มาศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสีย โดยทดลองในแปลงที่สร้างขึ้นในโครงการ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- <u>อิทธิพลของระบบการปล่อยน้ำเสียต่อผลิตและคุณภาพของหญ้าสตาร์ (Cycodon plectostachyus) หญ้าคาลลา (Leptochoa fusca (l.) Kanth), และหญ้าโคสครอส (Sporobolus virginicus)</u>

จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย โดยการปล่อยน้ำไหลผ่านแปลงหญ้าตลอด 5 วัน และปล่อยให้ดินแห้ง 2 วัน สลับกันไป หญ้าสตาร์เป็นหญ้าที่ทนแล้งได้ดีมาก แต่ทนต่อสภาพน้ำขังได้ชั่วคราว ในขณะที่หญ้าคาลลาและโคสครอสทนต่อดินเค็มและน้ำขังได้ดี (Skerman และ Riverrose, 1990) เนื่องจากดินบริเวณแหลมผักเบี้ยที่ใช้ทดลองเป็นดินที่มีน้ำใต้ดินเค็ม ซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบระบบการปล่อยน้ำต่อผลผลิตและคุณภาพของหญ้าสตาร์ คาลลาและโคสครอส ซึ่งจากการทดลองพบว่า

1) ระบบปล่อยน้ำแบบต่อเนื่องเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดในสภาพบริเวณแหลมผักเบี้ย
2) หญ้าสตาร์ให้ผลผลิตสูงสุด รองลงมาได้แก่ หญ้าคาลลาและหญ้าโคสครอส
3) ระดับโปรตีนในหญ้าทุกชนิดเพียงพอต่อโคนมที่ผลิตนมได้วันละ 15 ลิตรต่อตัว
4) อาหารหยาบที่ผลิตได้ปลอดภัยจากสารตะกั่ว แต่แคดเมียมกับปรอทยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากไม่มีรายงานใดกล่าว ถึงระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์

- <u>อิทธิพลของระบบการปล่อยน้ำเสียต่อผลผลิต และคุณภาพของหญ้าสตาร์ คาลลา และหางหมากพร้าวน้อย</u>

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการตัดหญ้าในระบบการปล่อยน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร รวมถึง ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและโลหะ

หนัก ระบบปล่อยน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่องตลอดเวลา 45 วัน เป็นระบบที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของหญ้าอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิด จึงมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำหนักแห้ง การตัดพืชสูงจากผิวดิน 15 เซนติเมตร ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตพืช และปริมาณธาตุอาหารหลัก หญ้าทั้ง 3 ชนิดมีศักยภาพในการดูดซับโลหะหนัก แต่ปริมาณที่เหมาะสมมีในระดับที่มีเป็นพิษต่อสัตว์ โดยเฉพาะตะกั่ว แคดเมียม

- <u>การศึกษารูปแบบของไนโตรเจนและโลหะหนักในดินจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสีย</u>

จากการศึกษารูปของไนโตรเจนและโลหะหนักในดินในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย โดยสร้างแปลงทดลองปลูกพืช ได้แก่ กกกลม หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย หญ้าคาลลา หญ้าโคสครอส และหญ้าสตาร์ และแปลงควบคุมซึ่งไม่มีการปลูกพืชทำการปล่อยน้ำเสียเข้าแปลงทดลองให้มีความสูงประมาณ 15 เซนติเมตร (เฉลี่ยปริมาณน้ำเสีย 302.2 ลบ.ม.ต่อรอบ) ทดลองบำบัดน้ำเสีย เป็นเวลา 30 รอบ ได้เก็บตัวอย่างดินของแต่ละแปลง ที่ระยะ 20, 40, 60, 80 และ 100 เมตร รวมเก็บ 4 ครั้ง คือ 0, 1, 2, และ 3 เดือน ตัวอย่างดินเหล่านี้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรูปต่างๆ และโลหะหนัก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งได้ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1) รูปของไนโตรเจน ในการศึกษารูปของไนโตนเจนจากการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนนั้น ปริมาณแอมโมเนียมรูปต่างๆ ที่สกัดด้วยน้ำยาสกัดต่างๆ พบมากที่สุดในดินแปลงควบคุม ระบบปิด เนื่องจากไม่มีการสูญเสียไนโตรเจนออกจากระบบ และแปลงที่มีปริมาณแอมโมเนียมในดินรูปต่างๆ เหลือน้อยที่สุดคือแปลงหญ้าสตาร์และแปลงหญ้าโคครอส และสำหรับการศึกษษแอมโมเนียมรูปต่างๆ ตามระยะทางต่างๆ นั้นพบว่าที่ระยะ 100 เมตร มีปริมาณมากที่สุด และที่ระยะ 40 เมตร มีปริมาณน้อยที่สุด

2) รูปแบบของโลหะหนัก สำหรับการศึกษารูปของตะกั่วและแคดเมียมทั้งรูปที่ละลายน้ำและรูปที่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลาย 1 N KCl นั้นพบว่า มีปริมาณแคดเมียมที่รูปต่างๆ ในแปลงระบบปิดมีเหลือน้อยมากที่สุดและในแปลงหญ้าคาลลาเหลือน้อยที่สุด และสำหรับการศึกษารูปแบบของแคดเมียมที่ระยะทางต่างๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการศึกษาตะกั่วในรูปต่างๆ นั้น พบว่าในแปลงหญ้าแฝกศรีลังกามีมากที่สุด อาจเนื่องมาจากระบบรากของหญ้าแฝกศรีลังกาที่มีรากลึก และแปลงที่มีปริมาณตะกั่วในรูปต่างๆ น้อยที่สุดคือแปลงหญ้าคาลลา สำหรับระยะทางที่มีปริมาณตะกั่วมากที่สุดคือที่ระยะ 40 เมตร และน้อยที่สุดที่ระยะ 100 เมตร

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าเลี้ยงสัตว์และพืชน้ำ

ศึกษาปริมาณน้ำเสีย และดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ค่าบีโอดี คำนวณหาปริมาณของเสียในรูป บีโอดีในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและหลังผ่านการบำบัดตามระยะทางต่างๆ โดยวิธีการให้น้ำ 2 แบบ ได้แก่ ระบบขังสลับแห้ง และระบบให้น้ำไหลล้น คำนวณประสิทธิภาพการบำบัด ได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนของหญ้าเลี้ยงสัตว์และพืชน้ำโดยใช้แปลงยาว 100 เมตร ลักษณะการปล่อยน้ำ 2 แบบ คือ ขังสลับแห้งและไหลต่อเนื่อง และพิจารณาในลักษณะประสิทธิภาพการบำบัดที่ผิวดินและใต้ดิน พบว่า ที่ระดับผิวดินแปลงหญ้าโคสครอส จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับแปลงพืชน้ำ กกกลมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าธูปฤาษีเล็กน้อย ทั้งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน สำหรับธูปฤาษีการบำบัดจะไม่ได้ผลในช่วงท้ายๆ เพราะมีการย่อยสลายซากพืชปะปนมาด้วย กล่าวโดยสรุป กกกลมมีประสิทธิภาพการบำบัดในภาพรวมดีกว่าธูปฤาษี

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีของแปลงพืชเปรียบเทียบกับแปลงพืชตระกูลหญ้า ระบบน้ำไหลล้น

ก. แปลง 100 เมตร : ระบบขัง 5 วัน ปล่อย 2 วัน

แปลง	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ) ของพืชในสัปดาห์ที่						
	1	2	3	4	5	6	7
1. กกกลม	93.47	90.28	80.45	82.45	65.09	90.37	77.55
2. หญ้าแฝกอินโดนีเซีย	90.32	-219.15	22.01	-20.62	37.18	48.24	40.77
3. หญ้าคาลลา	90.76	85.09	80.05	54.59	55.94	89.33	78.09
4. หญ้าโคสครอส	98.75	87.15	79.15	85.23	25.09	86.93	70.54
5. หญ้าสตาร์	98.33	69.25	67.35	90.50	82.66	87.68	80.36

ข. แปลง 100 เมตร ระบบน้ำไหลล้น

พืช	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)							
	น้ำผิวดิน (สัปดาห์ที่)				น้ำใต้ดิน (สัปดาห์ที่)			
	1	3	5	7	1	3	5	7
1. กกกลม	82.22	61.29	54.84	54.26	68.33	85.48	97.10	67.44
2. ธูปฤาษี	33.33	3.44	66.13	47.29	50.00	46.77	91.40	-400.00
3. หญ้าแฝกอินโดนีเซีย	61.67	62.90	69.35	55.81	-18.33	19.35	93.55	65.12
4. แปลงหญ้าคาลลา	-86.05	46.15	40.74	70.53	+76.74	0.00	44.44	89.37
5. แปลงหญ้าโคสครอส	6.98	48.72	71.60	85.99	46.51	-7.69	62.96	74.40
6. แปลงหญ้าสตาร์	-22.48	5.13	58.02	62.32	81.40	53.85	81.48	91.30

การศึกษาการบำบัดบีโอดีและซีโอดีด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย สรุปได้ ดังนี้

1) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และ ซีโอดี ของน้ำเสียชุมชน เป็นระบบที่ใช้ดินในสภาพน้ำขัง 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน ร่วมกับการปลูกพืช 6 ชนิด ได้แก่ กกกลม หญ้าแฝกพันธุ์อินโดนีเซีย หญ้าแฝกพันธุ์ศรีลังกา หญ้าคาลลา หญ้าโคสครอส และหญ้าสตาร์ และศึกษาระยะทางบำบัดน้ำเสียในแนวระดับที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 เมตร ของชั้นน้ำใต้ดิน และระยะ 100 เมตร ของชั้นน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน สรุปได้ว่า ระบบหญ้ากรองน้ำเสียสามารถบำบัด บีโอดี ในน้ำเสียได้ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง แต่ไม่สามารถบำบัด ซีโอดี ในน้ำเสียได้ทั้งแนวระดับและแนวดิ่ง

2) ระยะทางการบำบัดน้ำเสียมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยพืชเกือบทุกชนิด ที่ระยะทาง 80 และ 100 เมตร จะมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าที่ระยะ 20, 40 และ 60 เมตร แต่พบว่าระยะทางบำบัดที่ 80 และ 100 เมตร ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นระยะทางการบำบัดน้ำเสียที่ระยะทาง 80 เมตร เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย

3) ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี โดยใช้ดินในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช สามารถบำบัดได้ดีกว่าระบบดินเปล่าเพียงอย่างเดียว และพบว่า พืชกกกลม และหญ้าแฝกอินโดนีเซีย หญ้าแฝกศรีลังกา หญ้าคาลลา หญ้าโคสครอสและหญ้าสตาร์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่แตกต่างกัน ดังนั้น พืชที่เหมาะสมที่สุดกับระบบบำบัดนี้ควรเป็นหญ้าแฝกอินโดนีเซีย หญ้าแฝกศรีลังกาและกกกลม เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูง และนำไปใช้ประโยชน์ได้มากและหญ้าแฝกเป็นหญ้าที่ปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ

การบำบัดบีโอดีในน้ำเสียโดยวิธีหญ้ากรองน้ำเสียจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระยะ 80 เมตร โดยหญ้าแฝกอินโดนีเซีย หญ้าแฝกศรีลังกา และกกกลมเป็นพืชที่เหมาะสมต่อการบำบัดโดยระบบนี้ ส่วนการบำบัดซีโอดีนั้น ระบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัด

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนัก ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบหญ้ากรอง ในลักษณะระบายน้ำขังสลับแห้ง ทำให้ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล ในน้ำเสียมีปริมาณสูงขึ้นทั้งในแปลงที่ปลูกพืชและไม่ได้ปลูกพืช จึงอาจสรุปได้ว่าระบบบำบัดดังกล่าวสามารถบำบัดสารหนูในน้ำเสียชุมชนได้เพียงอย่างเดียว โดยเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพของการบำบัดโลหะหนัก 4 ชนิด พบว่าการบำบัดสารหนูมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบระยะทางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ไม่มีผลต่อการบำบัดแคดเมียม ตะกั่ว และ นิเกิล ส่วนสารหนูพบว่าระยะทางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโดยระยะทางที่ใช้ในการบำบัดไม่ควรเกิน 80 เมตร

ศึกษาการตกค้างของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและพืชจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย

ทำการทดลองเพื่อศึกษาการตกค้างของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินและพืชจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย โดยปล่อยให้น้ำเสียให้ขัง ในแปลง 5 วัน สลับให้แปลงแห้ง 2 วัน และทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในดินจากแปลงทดลองที่ระยะทาง 20, 60 และ 100 เมตร ในทุก 1, 2 และ 3 เดือน และในพืชเมื่อทำการทดลองบำบัดครบ 90 วัน

ผลการศึกษาพบว่า ในดินก่อนการบำบัดน้ำเสียชุมชนมีการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงดีลดรินในทุกแปลง และภายหลังการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าในดินทุกแปลงมีการปนเปื้อนของสารฆ่าแมลงเพิ่มขึ้น คือแอลฟา-บีเอชซี แกมมา-บีเออชซี เฮปตาคลอร์ อัลดริน และดีลดริน อย่างไรก็ดีชนิดของพืชและระยะทางภายในแปลงไม่มีผลต่อการสะสมของสารฆ่าแมลงในแกมมา-บีเอชซี เฮปตาคลอร์ อัลดริน และดีลดริน อย่างไรก็ดีชนิดของพืชไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสะสมสารฆ่าแมลงในพืช

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้ดินร่วมกับการใช้พืชในการบำบัดน้ำเสียชุมชนนานขึ้นพบว่า ดินและพืชสะสมสารฆ่าแมลงได้มากขึ้น มีส่วนช่วยในการบำบัดสารฆ่าแมลงในพืชได้

1.3 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมบำบัดน้ำเสีย Constructed Wetland

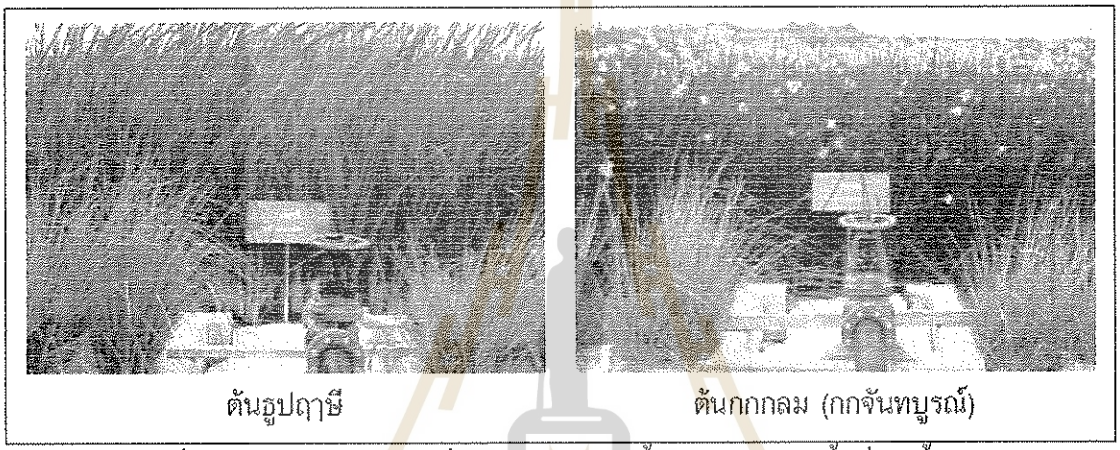
ธรรมชาติมีกลไกในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีได้เอง แต่ถ้ามีน้ำเสียมากไปการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีโดยธรรมชาตินั้นจะเป็นไปได้ยาก จึงต้องมีกระบวนการที่นำมาใช้แทนวิธีตามธรรมชาติ เช่น อาจมีการนำวิธีการทางเคมีหรือฟิสิกส์มาช่วย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้มักจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีนักวิชาการที่ได้คิดค้นหาวิธีการเลียนแบบธรรมชาติมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดี ซึ่งจัดว่าเป็นวิธีการทางธรรมชาติ การบำบัดโดยการทำพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม Constructed Wetland ให้มีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ (natural wetland) โดยมีการวางแผนและคำนวณให้พื้นที่ที่ทำขึ้นนั้นสามารถรองรับน้ำเสียและสามารถบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดี หรือลดปริมาณความเสียให้น้อยลง น้ำเสียที่ผ่านระบบเข้ามาเพื่อรับการบำบัดนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้ทั้งทางเคมี ทางฟิสิกส์และทางชีวภาพ

1.3.1 พืชน้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ในโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

1. กกลมหรือกกจันทบูรณ์ *Cyperus corymbosus* Rottb. เป็นพืชในวงศ์ Cyperaceae ลักษณะลำต้นเป็นเหง้าแข็งอยู่ในดิน มีลำต้นเหนือดินเป็นรูปทรงกระบอกเรียวยาว ปลายยอดเป็นช่อดอก

แบบช่อประกอบซี่ร่มที่มีดอกย่อยเล็กๆ จำนวนมาก (สุชาดา, 2530) ในต่างจังหวัด เช่นที่จังหวัดจันทรบุรีได้นำเอาต้นกกกลมมาประดิษฐ์เป็นเครื่องจักสาน เช่น ทอเป็นเสื่อที่เรียกว่า เสื่อจันทรบุรี ซึ่งเป็นเสื่อที่ดีมีคุณภาพ (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2535)

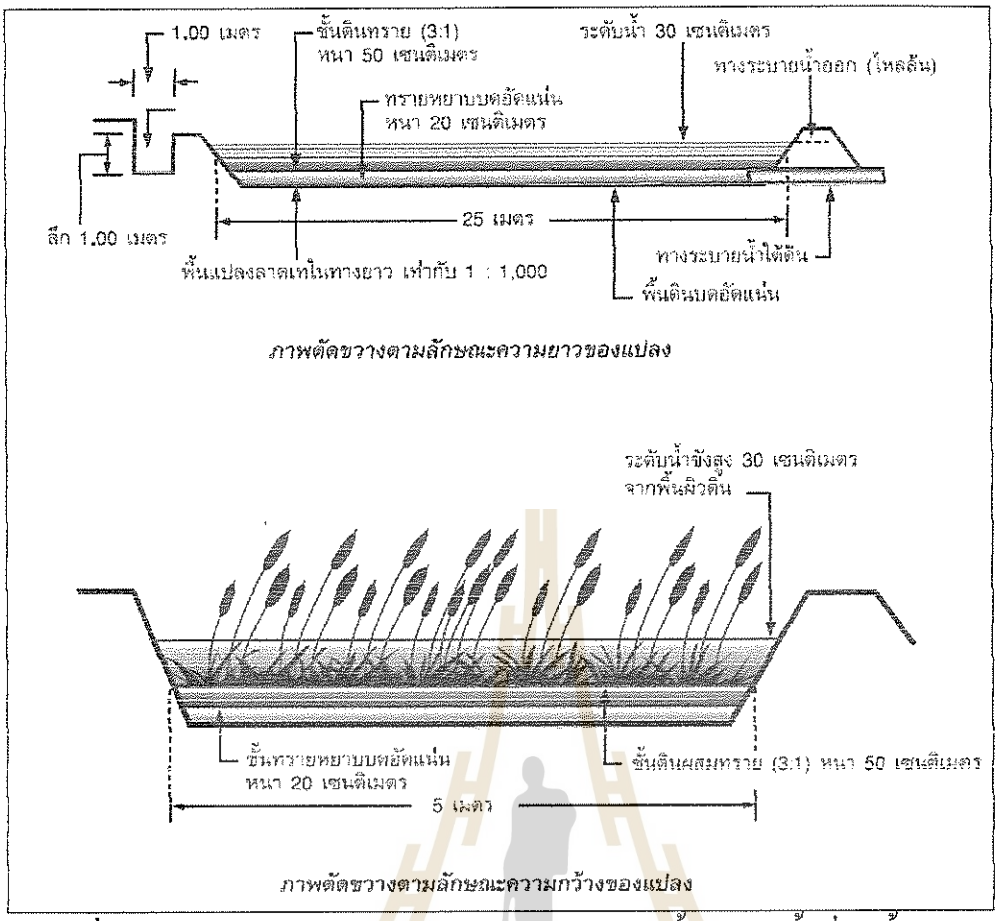
2. ธูปฤาษี หรือกกช้าง *Typha angustifolia* Linn. เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Typhaceae พบว่ามีการแพร่กระจายเกือบทั่วโลก ลักษณะลำต้นเป็นเหง้าแข็งอยู่ในดิน ใบแตกเป็นกอจากเหง้าใต้ดิน ลักษณะเป็นแผ่นแบนเรียวยาวสีเขียวสด ดอกเป็นช่อลักษณะเป็นธูปขนาดใหญ่ มีก้านช่อดอกแข็งชูดอกอยู่ใกล้เคียงกับแผ่นใบ (สุชาดา, 2530) มีรายงานว่าส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีสามารถนำมาใช้ทำเครื่องจักสาน และทำปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารสูงอีกด้วย (สุภาภรและเมธี, 2537)



ต้นธูปฤาษี ต้นกกกลม (กกจันทบูรณ์)

ภาพที่ 4.24: ลักษณะของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.25: ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุมน้ำเทียม

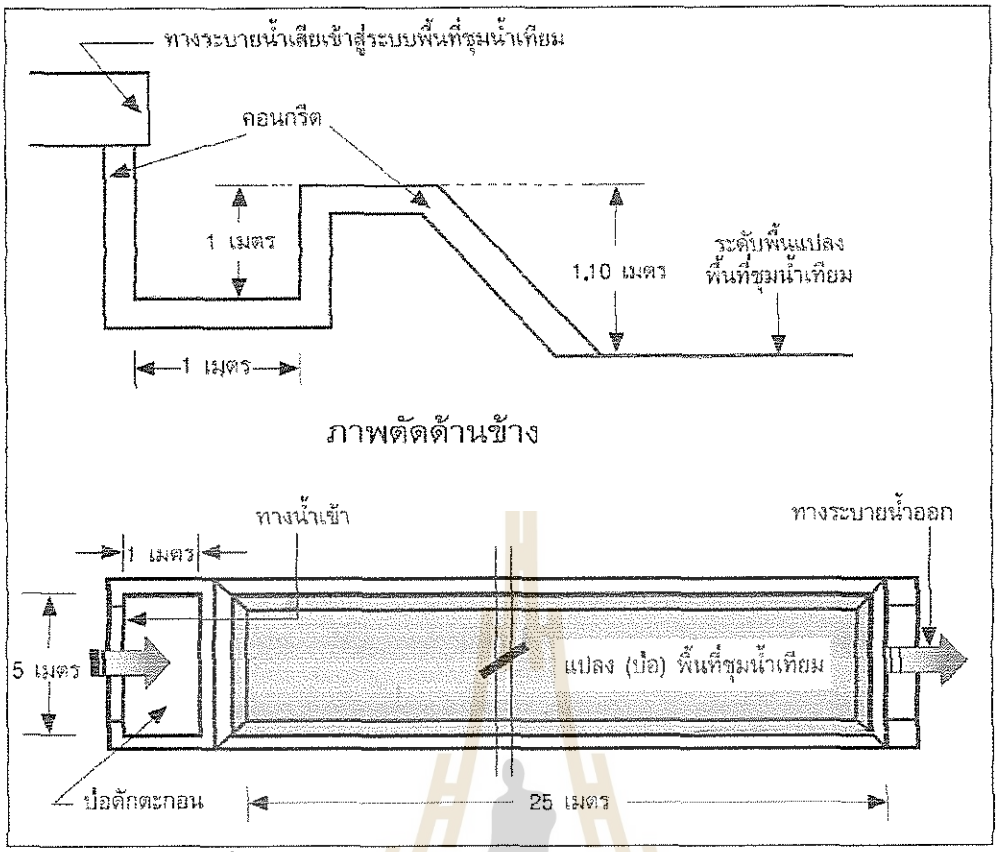
1.3.2 การก่อสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ขั้นตอนที่ 1 การก่อสร้างบ่อดักตะกอน

ก่อสร้างบ่อคอนกรีตขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 1 เมตร โดยให้อยู่ส่วนหัวของแปลงพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม เพื่อใช้ในการดักตะกอนที่มากับน้ำเสียในระดับหนึ่งก่อน

ขั้นตอนที่ 2 การก่อสร้างแปลงกักพักน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

1) ก่อสร้างแปลง (บ่อ) ขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 25 เมตร ลึก 1.10 เมตร ทำได้โดยการขุดดินและสร้างคันดินขึ้นซึ่งคันดินควรมีความลาดชัน 1:1 ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร จำต้องทำการอัดให้แน่นเพื่อลดการรั่วซึม ความลาดเทของพื้นที่แปลง (บ่อ) ทางความยาวเท่ากับ 1:1000 ซึ่งจะต้องทำการอัดให้แน่นและให้ตอนท้ายของแปลง (บ่อ) มีทางระบายน้ำในลักษณะน้ำล้นและการวางท่อใต้ดิน

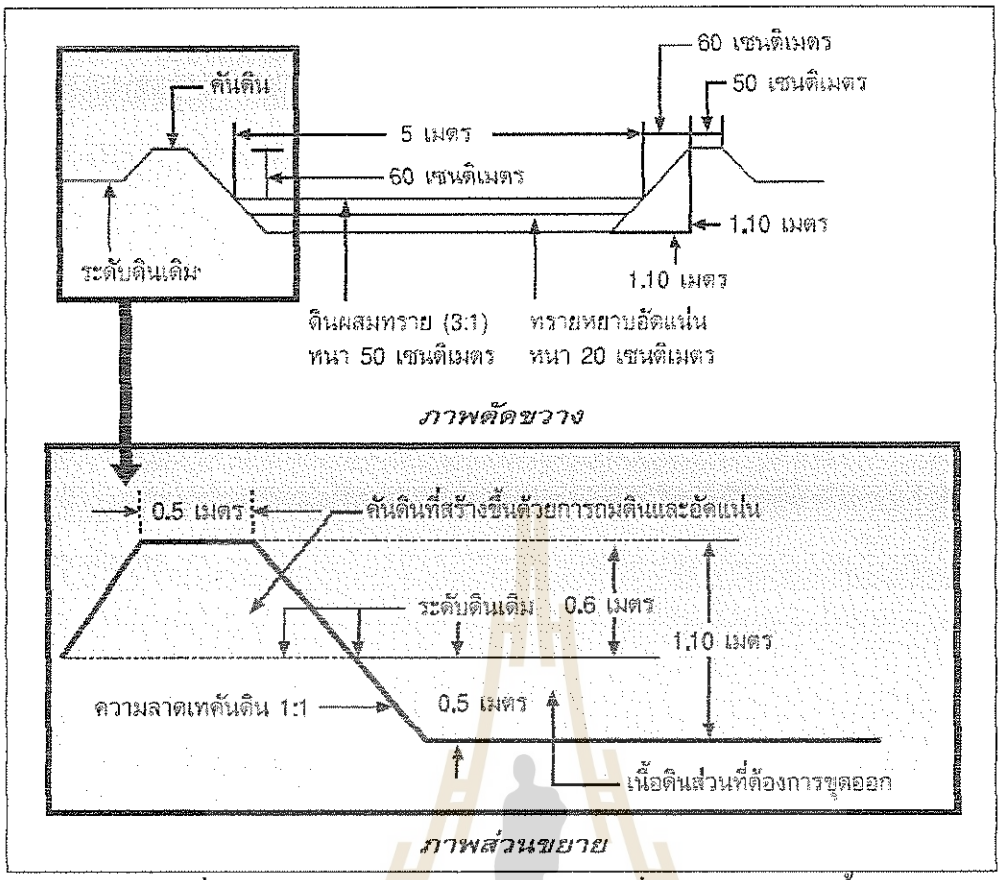


ภาพที่ 4.26: ภาพตัดด้านข้างลักษณะบ่อคอนกรีตดักตะกอน

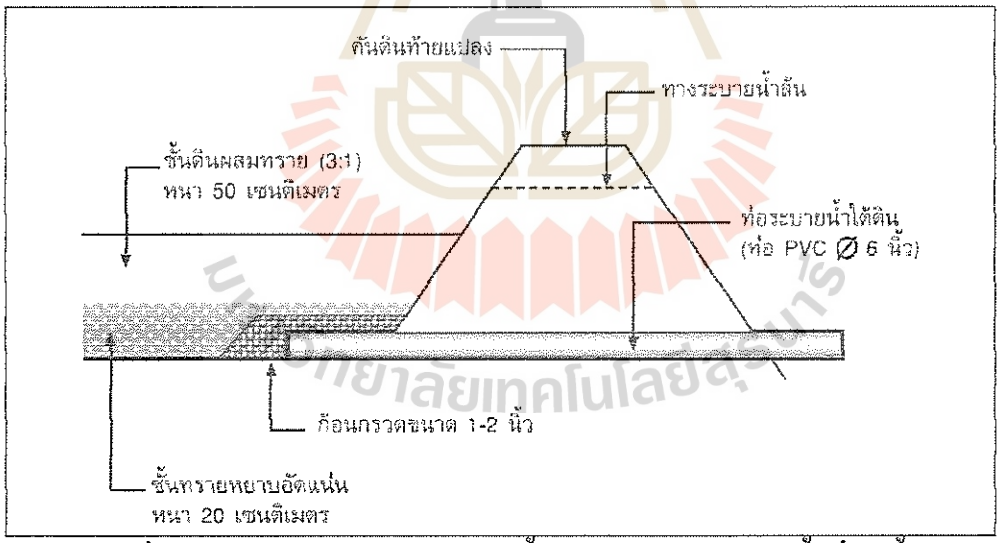
2)ใส่ทรายหยาบลงรองพื้นในแปลงเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงและอัดให้แน่นหนา 20 เซนติเมตร

3) จากนั้นใส่ดินผสมทรายที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน ดิน 3 ส่วน ทราย 1 ส่วน และผสมให้เข้ากันลงในแปลงเกลี่ยให้มีความสม่ำเสมอ และให้มีความสูงจากท้องแปลง 50 เซนติเมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.27: การขุดดินและการสร้างคันดินเพื่อทำแปลงกักพักน้ำ



ภาพที่ 4.28: ลักษณะการวางท่อระบายน้ำใต้ดินท้ายแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมท่อนพันธุ์และการปลูกพืช

การเตรียมท่อนพันธุ์

1) เตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะชำหรืออนุบาลท่อนพันธุ์ ซึ่งอาจใช้แปลงขนาดเล็กๆ ที่สมารถขังน้ำได้หรือใช้ถุงพลาสติกสีดำขนาด 8 นิ้ว พร้อมทั้งใส่ดินเลนหรือค่อนข้างเหลวลงไป

2) ถอดหรือขุดต้นพืชที่จะใช้ทำท่อนพันธุ์จากแหล่งที่จัดหาไว้

3) ตัดแต่งต้นและรากต้นพันธุ์พืชที่สมบูรณ์ให้มีความยาวประมาณ 1 ฟุต

4) นำไปปักชำลงในแปลงหรือถุงดำที่จัดเตรียมไว้

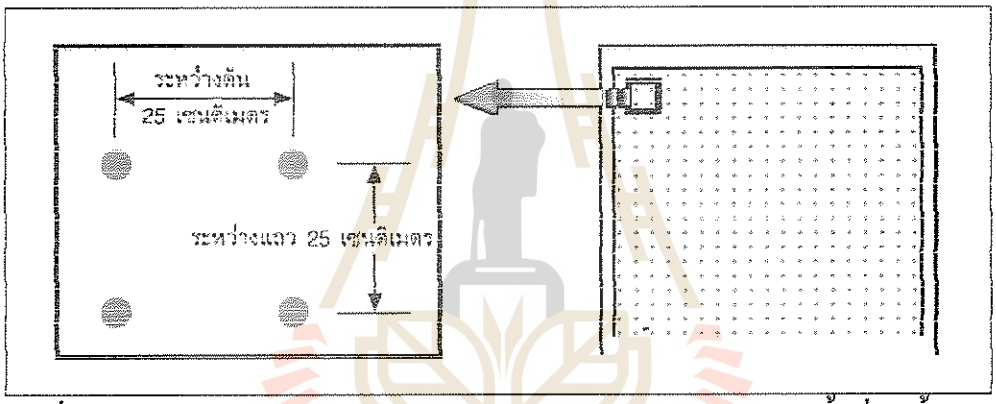
5) ดูแลรักษาโดยการให้น้ำเสียเป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อให้ต้นพืชปรับสภาพตนเองก่อนนำไปปลูก

การปลูกพืช

1) เติมน้ำใส่ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม และขังไว้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เนื้อดินในแปลงเกิดความชุ่มชื้นและนิ่มจะได้ปลูกพืชได้สะดวก

2) ทำการปลูกกล้ากกกลมหรือธูปฤาษีลงในแปลง (บ่อ) โดยให้มีระยะห่างระหว่างแถวและต้นเท่ากับ 25 เซนติเมตร

3) ดูแลหรืออนุบาลด้วยน้ำเสียเพื่อให้พืชสามารถปรับตัวได้ประมาณ 1 สัปดาห์



ภาพที่ 4.29: ระยะห่างระหว่างแถว และต้น ในการปลูกพืชในแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

1.3.3 การดำเนินการบำบัดน้ำเสีย

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม สามารถใช้ระบบการระบายน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดได้ใน 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ระบายน้ำเสียเข้าขังในแปลงทุกวัน โดยการเติมน้ำเสียในระดับ 30 เซนติเมตร จากพื้นผิวดินท้องแปลง สำหรับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 25 เมตร จะรองรับน้ำเสียได้ประมาณวันละ 2-2.5 ลบ.ม. ต่อวัน หรือใช้รองรับน้ำเสียกับขนาดประชากร 15-20 คน ซึ่งระบบนี้ไม่มีการระบายน้ำออกจากระบบ

2) ระบายน้ำเสียเข้าแปลงทุกวันอย่างต่อเนื่อง ที่ระดับ 30 เซนติเมตร จากพื้นผิวดินท้องแปลง สามารถรองรับน้ำเสียได้ในอัตรา 37.5 ลบ.ม. ต่อวัน โดยต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 26.5 ลิตรต่อนาที หรือรองรับการใช้น้ำของประชากร 200-230 คนต่อวัน ซึ่งมีระยะเวลากักพักน้ำเสียเป็นเวลา 1

วัน ซึ่งน้ำเสียใหม่จะเข้าผลักน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบในลักษณะการไหลล้นหรือการระบายออกโดยท่อใต้ดิน

ภาพที่ 4.30: การปลูกท่อนพันธ์ลงแปลงระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

1.3.4 การบำรุงรักษา

1) กกกลม (กกขันทรบูรณ์) เมื่อมีอายุครบ 45 วัน ต้องทำการตัดออกจากระบบ โดยตัดบริเวณเหนือระดับน้ำเสียประมาณ 10 เซนติเมตร

2) ธูปฤาษี เมื่อมีอายุครบ 90 วัน ต้องทำการตัดออกจากระบบ โดยตัดบริเวณเหนือระดับน้ำเสียประมาณ 10 เซนติเมตร

3) ทุก 1 ปี ต้องทำการถอนต้นพืชที่หนาแน่นบางส่วนออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม เพื่อให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ทำให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น

1.3.5 ระยะเวลาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม สามารถรองรับการใช้งานได้ประมาณ 5 ปี ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงระบบด้วยการรื้อถอนพืชในแปลงออกทั้งหมด และปล่อยให้ดินแห้งประมาณ 1 สัปดาห์ จึงทำการปลูกพืชชุดใหม่ลงในแปลง และดำเนินการบำบัดน้ำเสียต่อไป

1.3.6 การทดลองบำบัดน้ำเสีย

1. การศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมสารพิษในพืช

ในการทำวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเมืองเพชรบุรีในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม โดยใช้กกกลมและธูปฤาษี ได้ทำการปลูกกกกลมและธูปฤาษีเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตเมื่อทำการปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่มีน้ำเสียจากชุมชนเมืองเพชรบุรี ผลการศึกษาวิจัยมีดังนี้คือ

1) กกกลมและธูปฤาษีมีการเจริญเติบโตที่ดีมาก ลักษณะลำต้นเขียวสดและแข็งแรง กกกลมเมื่อมีอายุ 10 สัปดาห์ มีความสูง 170.2 เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุดถึง 503.12 กรัมต่อตารางเมตร เมื่ออายุได้ 8 สัปดาห์ ส่วนธูปฤาษีเมื่ออายุได้ 9 สัปดาห์มีความสูงเฉลี่ยถึง 283.4 เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยถึง 1380.73 กรัมต่อตารางเมตร์ เมื่ออายุได้ 9 สัปดาห์

2) ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของกกกลมนั้นพบว่า ทั้งส่วนรากและลำต้นสามารถดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ใกล้เคียงกัน ส่วนต้นดูดซับโพแทสเซียมได้มากกว่าส่วนราก และส่วนรากดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ดีกว่าส่วนต้น สำหรับโลหะหนักนั้น ส่วนต้นดูดซับปรอทได้ดีกว่าส่วนรากถึงหนึ่งเท่า ส่วนแคดเมียมและตะกั่วนั้นส่วนรากและส่วนต้นดูดซับได้ใกล้เคียงกัน

3) ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของธูปฤาษีนั้นพบว่า ทั้งส่วนรากและส่วนลำต้นสามารถดูดซับได้ดังนี้ โพแทสเซียม > ไนโตรเจน > ฟอสฟอรัส และส่วนรากดูดซับทองแดงได้ดีกว่าสังกะสีได้ดีกว่าส่วนต้น ส่วนโลหะหนักนั้นส่วนลำต้นดูดซับได้ดีกว่าส่วนรากถึงสามเท่า ส่วนแคดเมียมและตะกั่วนั้นทั้งส่วนรากและลำต้นดูดซับได้ใกล้เคียงกัน

2. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสีย โดยพิจารณาจากดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญ คือ ค่าบีโอดี พบว่าแปลงพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำกว่าหากเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของพืชชนิดเดียวกันที่ใช้ในระบบหญ้ากรอง ในลักษณะการให้น้ำเสียแบบไหลล้น ซึ่งคาดว่ามีข้อจำกัดของระบบคือ

ต้องมีบ่อตกตะกอนน้ำเสีย บ่อดักของระบบคือ ต้องมีบ่อตกตะกอนน้ำเสีย บ่อดักไขมัน การจัดการพืชด้วยการตัดออกจากแนวแปลงตามอายุพืช (เฉลี่ยที่เหมาะสมคือ 60 วัน)

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (ให้น้ำในลักษณะน้ำไหลล้น)

พืช	ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ) สัปดาห์ที่					
	1	3	5	7	9	11
กกกลม	49.86	56.91	47.70	47.92	49.04	58.33
ธูปฤาษี	45.26	63.98	68.97	50.00	18.01	48.74

3. การสังเคราะห์แสงและการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนในประชากรธูปฤาษี

ธูปฤาษีชนิดที่ศึกษาคือ Typha angustifolia L. มีอัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบค่อนข้างสูง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในระดับสูงดังกล่าวสามารถพบได้เช่นเดียวกันในธูปฤาษีชนิดอื่น อัตราการสังเคราะห์แสงมีความแตกต่างกันบนแผ่นใบ โดยส่วนปลายของใบมีอัตราการสังเคราะห์สูงกว่าตอนล่างของใบ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนปลายของใบมีอายุมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งและลำดับการเกิดใบบนต้น (Knapp and Yavitt, 1995) นอกจากนี้ อัตราการสังเคราะห์แสงของแผ่นใบยังแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ละติจูด ห้วงเวลาในรอบปี ปริมาณรังสีจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในแหล่งน้ำซึ่งธูปฤาษีนั้นเจริญอยู่ การเปลี่ยนแปลงปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่ใบ เพิ่มการเจริญเติบโต และมีการสร้างมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และ/หรืออาจทำให้ปริมาณการสังเคราะห์แสงโดยรวมของประชากรธูปฤาษีเพิ่มขึ้น ซึ่งย่อมมีโอกาสทำให้มีการสร้างออกซิเจนหมุนเวียนในระบบนิเวศเพิ่มขึ้น (Armstrong, 1967abc;Grace, 1998; Grace and Wetzel, 1998; Grosse, 1989; Jespersen et al., 1998; Michaud, 1989)

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าก๊าซออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงอาจมีการลำเลียงไปยังระบบรากอย่างต่อเนื่องได้โดยผ่านเซล parenchyma และช่องว่างระหว่างเซลของใบ แล้วเข้าสู่เซล aerenchyma และช่องว่างระหว่างเซลของราก rhizome และ creeping rhizome ตามลำดับ เพื่อส่งไปสู่ต้นที่เกิดขึ้นข้างเคียง อย่างไรก็ตาม ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงบางส่วนอาจนำไปใช้ในกระบวนการหายใจของต้นธูปฤาษีเอง ทั้งภายในต้นที่สังเคราะห์แสงและ/หรือต้นที่เกิดขึ้นข้างเคียง ซึ่งเป็นไปได้ที่ต้นที่เกิดลำดับถัดออกไปข้างเคียง จากต้นแม่มาก ก็อาจมีการใช้ออกซิเจนจากต้นแม่เพื่อการหายใจบางส่วนด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกัน ก๊าซออกซิเจนที่ถูกสร้างขึ้นก็อาจถูกปล่อยออกจากระบบ ทั้งจากการส่งลำเลียงย้อนกลับขึ้นสู่ฐานของใบและปลดปล่อยสู่บรรยากาศทางช่องปากใบ ช่องว่างขนาดเล็กระหว่างเซลโดยกระบวนการ Pressurization ของต้นที่สร้างออกซิเจนขึ้น ร่วมกับต้น

ข้างเคียง และ/หรือ โดยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนจากบริเวณผิวรากแล้วก๊าซออกซิเจนละลายในน้ำก่อนระเหยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศเหนือผิวน้ำต่อไป

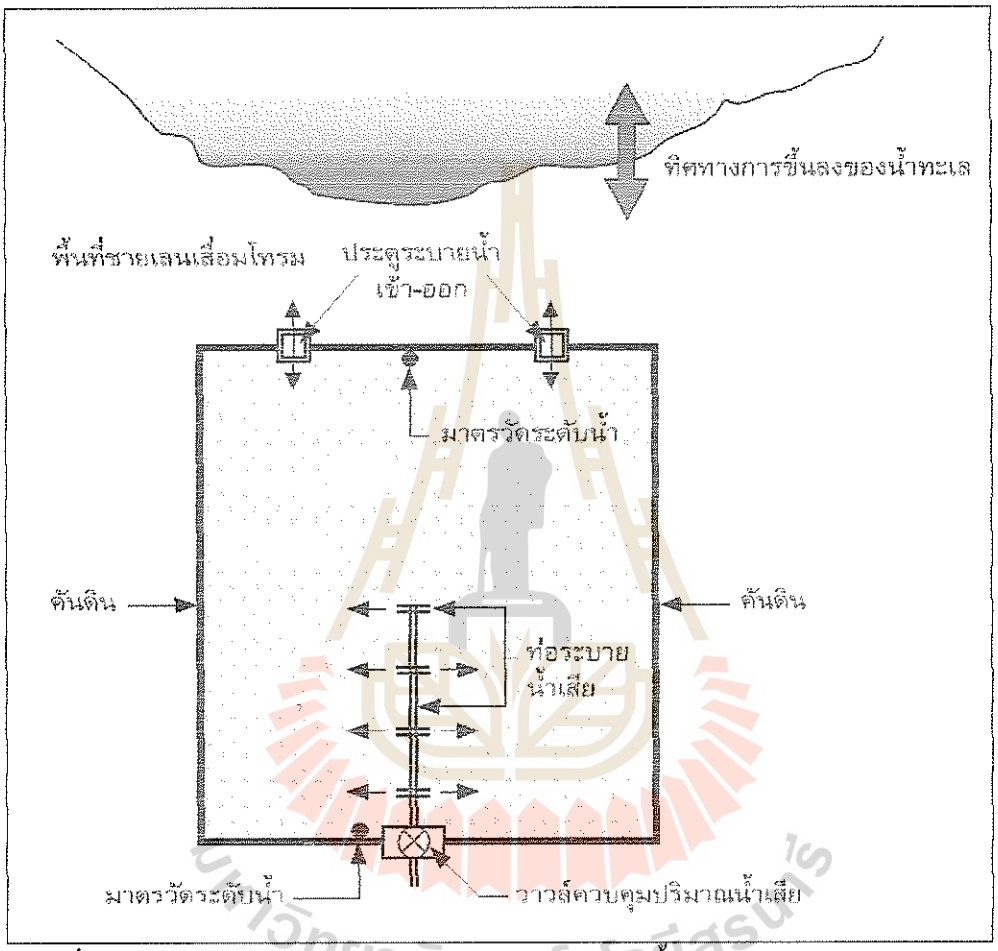
การศึกษาทั้งกลุ่มประชากรของฐูปฤาษีที่เกิดขึ้นจากต้นหลักเดียวกันก่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานของระบบส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนภายในระบบต่อเนื่องของฐูปฤาษีได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสมดุลของออกซิเจนในระบบนิเวศของฐูปฤาษีมีความสลับซับซ้อน ทั้งเนื่องมาจากปัจจัยภายในกลุ่มประชากรฐูปฤาษีเอง และเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในระบบนิเวศของฐูปฤาษีจึงมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ มากมาย การแลกเปลี่ยนสมดุลของออกซิเจนในระบบจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการศึกษาที่เหมาะสมและต้องมีการศึกษาพื้นฐานอย่างละเอียดต่อไป ทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาควิทยา การตอบสนองทางสรีรวิทยา และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ ดังกล่าวของฐูปฤาษีกับปัจจัยแวดล้อมในห้วงระยะเวลาและระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ทั้งนี้ เพื่อให้เข้าใจบทบาทของฐูปฤาษีในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำได้ดียิ่งขึ้น อันจะทำให้สามารถจัดการทรัพยากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.4 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน

ภาพที่ 4.31: ลักษณะของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน

รูปแบบการบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลนที่ศึกษาวิจัยและพัฒนาขึ้นนั้น ยึดหลักการตามแนวพระราชดำริ โดยการทำแปลงเพื่อกักเก็บน้ำทะเลและน้ำเสียที่รวบรวมได้จากชุมชน และปลูกป่าชายเลนด้วยพันธุ์ไม้ 4 ชนิด คือ โกงกาง, แสม, ถั่วขาว และโปรง ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย อาศัยการเจือจางระหว่างน้ำทะเลกับน้ำเสีย การเร่งตกตะกอนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระยะเวลาการกักพักน้ำเสีย ระบบรากของพืชป่าชายเลนช่วยการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำเสีย และช่วยในการย่อยสลาย

สารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลนนั้น จะมีการกักน้ำทะเลที่เข้าสู่แปลงในช่วงเวลาที่น้ำขึ้นสูงสุดในรอบวัน (การขึ้น-ลง ปกติจะมีการขึ้น - ลง วันละ 2 ครั้ง) ทำการเก็บกักน้ำและหาสัดส่วน ปริมาณการให้น้ำเสียในการบำบัด เมื่อเติมน้ำเสียตามสัดส่วนแล้วปล่อยให้น้ำผสมมีการกักพักไว้ระยะเวลาหนึ่ง (ตั้งแต่ช่วงที่น้ำขึ้นครั้งแรก จนกระทั่งถึงเวลาน้ำลงครั้งที่สองในรอบวัน) จึงระบายน้ำที่ผ่านการผสม (น้ำที่ผ่านการบำบัด) ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป



ภาพที่ 4.32: ลักษณะสังเขปรูปแบบเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลน

1.4.1 การเลือกพื้นที่

1) ควรเป็นพื้นที่ติดชายทะเล หรือใกล้ทะเลมากที่สุด

2) มีน้ำทะเลท่วมถึงในเดือนที่มีน้ำทะเลขึ้น-ลง ต่ำสุด

3) ทิศทางการขึ้นลงของน้ำควรเป็นแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเลมากที่สุด

4) เป็นพื้นที่ป่าชายเลนเสื่อมโทรมหรือถูกทำลาย (อาจเป็นบ่อกุ้งที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้ว)

1.4.2 การก่อสร้างระบบแปลงพืชป่าชายเลน

ขั้นตอนที่ 1 การก่อสร้างแปลงกักพักน้ำทะเล-น้ำเสีย

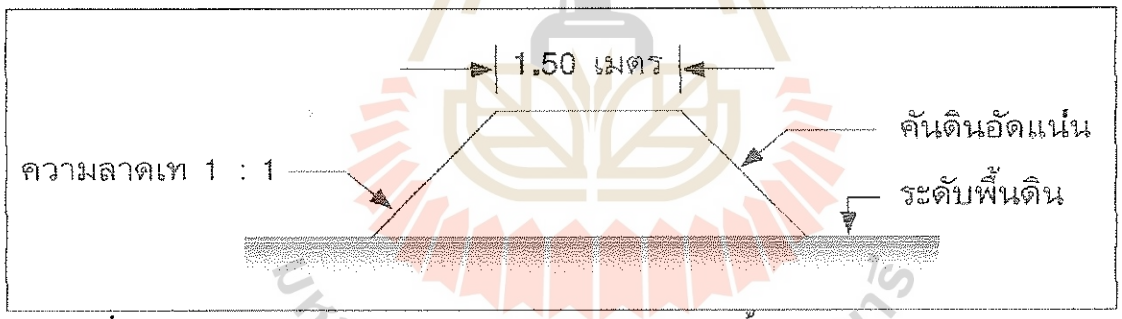
1) สำรวจอื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างแปลงโดยคำนึงถึงข้อพิจารณาในการเลือกพื้นที่ และระดับการขึ้น-ลงต่ำสุดและสูงสุดของน้ำทะเล จากนั้นวางแปลงก่อสร้างแปลง โดยให้แปลงต้องมีทิศทางขนาดกับทิศทางการขึ้น-ลงของน้ำทะเล เป็นสำคัญ ส่วนความกว้างและความยาวของแปลงพืชป่าชายเลนขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

2) ก่อสร้างคันดินรอบแปลงที่กำหนดไว้ให้มีความกว้าง 1.5 เมตร ความลาดเอียงของคันดินเท่ากับ 1:1 ความสูงของคันดินขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่ ซึ่งจะต้องสูงจากระดับเก็บกักน้ำบริเวณท้ายแปลง 50 เซนติเมตร

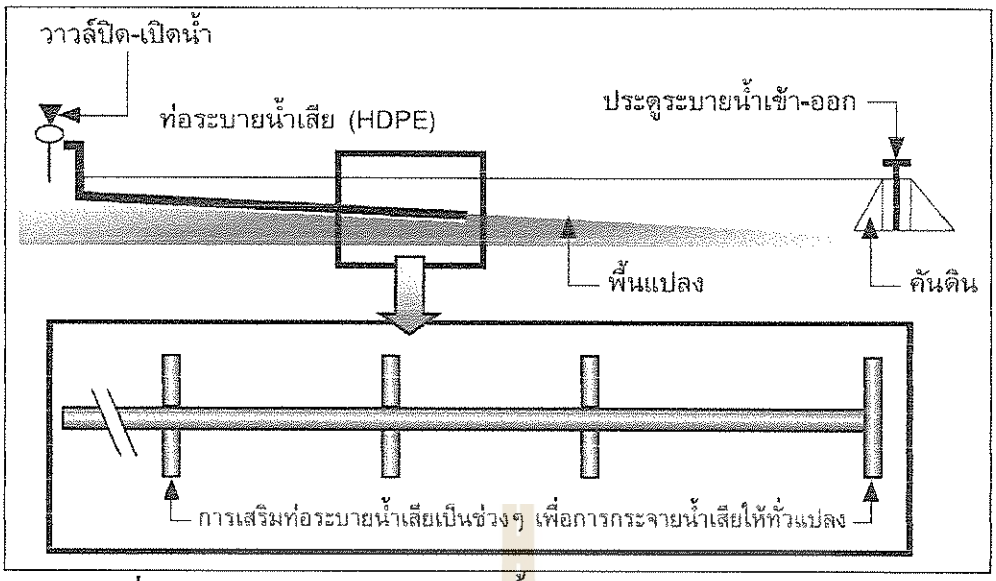
3) ก่อสร้างและติดตั้งประตูระบายน้ำเข้า- ออก บริเวณท้ายแปลง ต้องใช้วัสดุที่ทนความเค็ม จำนวนประตูระบายน้ำต้องให้เหมาะสมกับขนาดความกว้างของแปลง

4) ก่อสร้างและติดตั้งวาวล์ปิด-เปิดควบคุมระบบการระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบ บริเวณส่วนหัวของแปลง

5) วางท่อระบายน้ำเสีย (HDPE) ขนาด 10 นิ้ว ให้ยอยู่ในบริเวณกลางแปลง และจากส่วนหัวของแปลงถึงบริเวณกลางแปลง



ภาพที่ 4.33: ลักษณะภาพตัดของคันดินของแปลงระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลน



ภาพที่ 4.34: ลักษณะการวางท่อระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบแปลงพืชป่าชายเลน

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมกล้าไม้และปลูกพืชป่าชายเลน

การเตรียมกล้าไม้

1) เตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะชำและอนุบาลท่อนกล้าไม้ ซึ่งอาจกระทำโรงเรือนชั่วคราว บริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยแปลงพืชป่าชายเลน

2) ขนกล้าไม้จากแหล่งที่จัดหาไว้มายังเรือนเพาะชำ

3) หากเป็นต้นกล้าไม้ที่เก็บมาจากป่าชายเลน ต้องเตรียมถุงมาเพาะชำขนาด 3 นิ้ว พร้อมทั้งใส่ดินเลน

4) นำไปปักชำลงในแปลงหรือในถุงปักชำที่เตรียมไว้

5) ดูแลรักษาให้ต้นกล้ามีสภาพดี แข็งแรงและสมบูรณ์

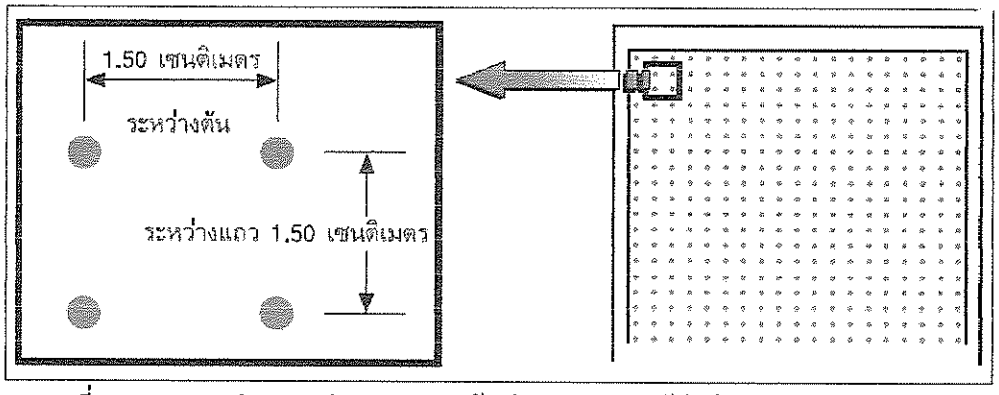
การปลูก

1) ระบายน้ำทะเลเข้าสู่ระบบแปลงพืชป่าชายเลน ให้มีลักษณะเป็นธรรมชาติการขึ้น- ลงของป่าชายเลน

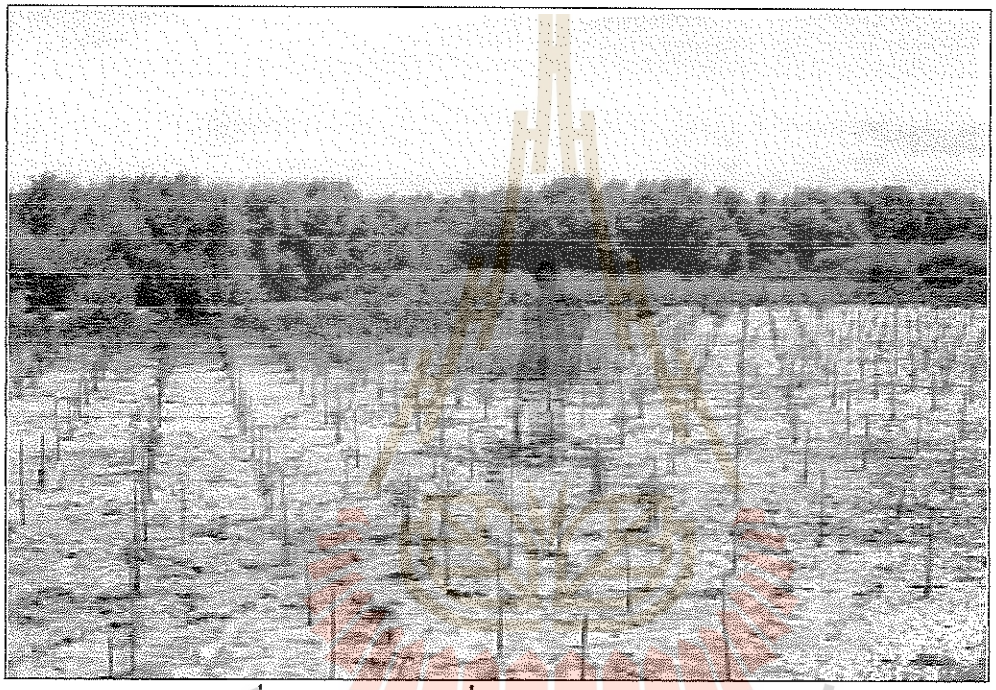
2) เมื่อน้ำลงทำการปลูกกล้าไม้ โดยให้มีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 เมตร และระหว่างต้น 1.00 เมตร

3) ในระยะแรกของการปลูกควรปักไม้เพื่อใช้ผูกยึดต้นกล้าไม้ที่ปลูกใหม่

4) ใช้น้ำทะเลขึ้น – ลง ตามธรรมชาติสลับกับการใช้น้ำเสีย เพื่อให้ต้นไม้เจริญเติบโตแข็งแรงและปรับสภาพตัวเองได้เพียงพอ นอกจากนี้จะต้องมีการปลูกซ่อมแซมต้นกล้าส่วนที่ตาย



ภาพที่ 4.35: ระยะห่างระหว่างแถว และต้น ในการปลูกกล้าไม้ในแปลงพืชป่าชายเลน



ภาพที่ 4.36: การปักไม้เพื่อยึดต้นกล้าภายหลังการปลูก

1.4.3 การบำบัดน้ำเสียในแปลงทดลอง

จากการพิจารณาคุณภาพน้ำ BOD, COD และ DO เมื่อมีการขังน้ำเสียไว้ในแปลงทดลองไว้ 2 สัปดาห์ พบว่าค่า BOD และ COD ลดลงอย่างมาก และเมื่อครบ 4 สัปดาห์ ค่าก็ยังลดลงคนค่าน้ำทิ้งที่ผิวดินไม่เกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าDO สูงสุดอย่างเห็นได้ชัดทั้งในป่าชายเลนธรรมชาติ ป่าชายเลนธรรมชาติผสมป่าปลูก และป่าชายเลนที่ปลูกพันธุ์ไม้ทั้ง 4 ชนิด ดังแสดงตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามอัตราการลดลงของ BOD และ COD ในแปลงทดลองทั้ง 3 ลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในแปลงป่าชายเลนธรรมชาติ จะสามารถบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาดได้ดีที่สุด คือ อัตราการลดลงของ BOD และ COD มากที่สุด เช่นเดียวกับอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO) การที่ป่าชายเลนธรรามชาติสามารถลดปริมาณ BOD และ COD ได้มากกว่า และเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำได้สูงกว่า เป็นเพราะเหตุผล

หลายประการ กล่าวคือ ป่าชายเลนบริเวณนี้ ซึ่งมีไม้แสมเป็นไม้เด่น จะมีระบบรากกระจายไปตามผิวดิน และส่วนใหญ่จะมีความลึกไม่เกิน 100 ซม. จากผิวดิน จึงสามารถทำให้การแพร่กระจายของออกซิเจนในน้ำ ซึ่งผลิตจากการสังเคราะห์แสงและการตรึงออกซิเจนของรากได้มากขึ้น จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ไม่ทำให้เกิดการเน่าเสียหมักหมมมากขึ้น จึงทำให้คุณภาพดีขึ้น (Gill and Tomlinson, 1977) นอกจากนี้รากไม้พวกนี้มี multi epidermis จะทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุและยังทำหน้าที่เป็น ultrafilter ในการกรองสารละลายจากน้ำเสียอีกด้วย (สนิท อักษรแก้ว, 2541 และ Kadlec and Knight, 1966) ยังกล่าวไว้ว่า ไม้แสมมีราก phenumatophores เป็นจำนวนมากจะช่วยเพิ่มจำนวนผิวให้เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์มากขึ้นและขณะเดียวกันออกซิแจนในน้ำมีปริมาณมากขึ้นด้วยจากการสังเคราะห์แสง จึงทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีกิจกรรมมากขึ้น แพลงก์ตอนพืช เป็นตัวชี้ความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ถ้าแหล่งน้ำมีชนิดแพลงก์ตอนน้อย หรือแต่ชนิดมีปริมาณสูง จะทำให้แหล่งน้ำนั้นมีคุณภาพน้ำเลวหรือเสีย (Angsupanich, 1994) ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า ปริมาณแพลงก์ตอนในป่าธรรมชาติ น่าจะมีปริมาณมากกว่าในป่าปลูก แต่ทั้งนี้จะต้องดำเนินการวิจัยต่อไปในเรื่องนี้ โดยสรุปแล้วการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีเร็วขึ้นหรือคุณภาพดีมากขึ้น ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญ นอกเหนือจากลักษณะของดินในป่าชายเลนซึ่งทำให้เกิดกระบวนการการเปลี่ยนแปลงอิออน (ion exchange) การดูดซับ (absorpsion) และการตกตะกอน (precipitation) เป็นต้น

นอกจากคุณภาพน้ำในด้าน BOD, COD และ DO แล้วนั้น เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำด้านอื่นๆ แล้ว พบว่าในด้านปริมาณธาตุอาหาร อันได้แก่ ไนโตรเจน และโพแทสเซียมนั้น ในแปลงทดลองทั้ง 3 แปลงมีค่าที่เพิ่มขึ้น ทั้งในระดับลึก 30 เซนติเมตรจากผิวดินและ 60 เซนติเมตร จากผิวดินป่าชายเลนธรรมชาติ ส่วนค่าฟอสเฟตนั้นมีค่าไม่สม่ำเสมอนัก มีการเพิ่มขึ้นและลดลงในทุกแปลงการทดลอง และเมื่อพิจารณาค่าความขุ่น (turbidity) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งแขวนลอย (SS) นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีการสะสมของพวกจุลินทรีย์ที่ตายและได้ทับถมรวมทั้งซากพืชที่ร่วงหล่นแล้วย่อยสลายอยู่ในน้ำด้วย อีกทั้งยังมีสารแขวนลอยที่ปนเปื้อนมากับน้ำสะสมอยู่เรื่อยๆ เช่นกัน จึงทำให้ค่าเหล่านี้มีค่าสูงขึ้น ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณภาพน้ำในแปลงพืชป่าชายเลนประเภทต่างกันบำบัดน้ำเสีย

คุณภาพน้ำ	ระยะเวลาการบำบัด	ป่าชายเลนธรรมชาติ			ป่าชายเลนธรรมชาติผสมป่าชายเลนปลูก			ป่าชายเลนปลูก		
		S	G30	G60	S	G30	G60	S	G30	G60
BOD (mg/l)	ก่อนบำบัด	228	228	228	426	426	426	468	468	468
	2 สัปดาห์	7.5	3.6	26.4	24.6	68.25	135.5	12	17.4	27
	4 สัปดาห์	-	-	-	2	7.8	10.8	10.5	5.4	33
COD (mg/l)	ก่อนบำบัด	353.6	353.6	353.6	474	474	474	540.8	540.8	540.8
	2 สัปดาห์	83.2	435.6	435.6	10280	50876	42877	124.8	374.4	374.4
	4 สัปดาห์	-	-	-	16455	48927	69734	62.4	416	416
DO (mg/l)	ก่อนบำบัด	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
	2 สัปดาห์	8	2.7	1.5	3.3	1.5	1.4	7.3	2.5	1.1
Nitrogen (mg/l)	ก่อนบำบัด	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2 สัปดาห์	0.586	1.275	1.123	0.922	0.264	0.134	0.177	1.421	1.682
	4 สัปดาห์	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05	2.87	0.05
Potassium (mg/l)	ก่อนบำบัด	16.2	16.2	16.5	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
	2 สัปดาห์	44.5	110.0	152.0	54.0	150.0	135.0	91.5	237.5	218.0
	4 สัปดาห์	-	-	-	175.0	347.0	351.0	138.0	293.0	233.0
Phosphate (mg/l)	ก่อนบำบัด	1.717	1.717	1.717	1.602	1.602	1.602	1.702	1.702	1.702
	2 สัปดาห์	0.586	1.275	1.123	0.922	0.264	0.139	0.177	1.575	2.435
	4 สัปดาห์	-	-	-	1.092	1336	0.745	0.509	1.152	1.084
Turbidity (NTU)	ก่อนบำบัด	51	51	51	68	68	68	62	62	62
	2 สัปดาห์	116	450	185	24.43	483	36.5	150	462	737
	4 สัปดาห์	-	-	-	18.5	266	306	81	7.97	3389
TS (mg/l)	ก่อนบำบัด	814	814	814	484	484	484	474	474	474
	2 สัปดาห์	10838	29892	37064	15708	44424	46172	10280	50876	42877
	4 สัปดาห์	-	-	-	22578	30756	50028	16455	48924	69734
SS (mg/l)	ก่อนบำบัด	54	54	54	14	14	14	16	16	16
	2 สัปดาห์	66	606	232	88	676	819	89	562	694
	4 สัปดาห์	-	-	-	94	54	561	100	160	390

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงคุณภาพน้ำในแปลงพืชป่าชายเลนประเภทต่างกันบำบัดน้ำเสีย

คุณภาพน้ำ	ระยะเวลาการบำบัด	ป่าชายเลนธรรมชาติ			ป่าชายเลนธรรมชาติผสมป่าชายเลนปลูก			ป่าชายเลนปลูก		
		S	G30	G60	S	G30	G60	S	G30	G60
Lcad (mg/l)	ก่อนบำบัด	0.028	0.028	0.028	0.017	0.017	0.017	0.007	0.007	0.077
	2 สัปดาห์	0.017	0.088	0.083	0.023	0.09	0.081	0.024	0.064	0.066
	4 สัปดาห์	-	-	-	0.069	0.159	0.153	0.044	0.113	0.185
Hg (mg/l)	ก่อนบำบัด	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	2 สัปดาห์	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.0015	0.0015	0.001
	4 สัปดาห์	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cd (mg/l)	ก่อนบำบัด	0.005	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.005	0.005	0.005
	2 สัปดาห์	0.002	0.006	0.008	0.002	0.009	0.007	0.002	0.011	0.008
	4 สัปดาห์	-	-	-	0.014	0.028	0.03	0.007	0.01	0.024

หมายเหตุ : S = เก็บน้ำที่ผิวดิน G30 = เก็บน้ำที่ใต้ดินความลึก 30 ซม.

G60 = เก็บน้ำที่ใต้ดินความลึก 60 ซม.

2. หลักการบำบัดน้ำเสียโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration)

หลักการบำบัดน้ำเสียโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration) ตามแนวทฤษฎีการพัฒนาอันเนื่อง มาจากพระราชดำริ **"บึงมักกะสัน"** บึงมักกะสันเป็นบึงขนาดใหญ่ที่อยู่ใจกลางกรุงเทพมหานคร ซึ่งการรถไฟแห่งประเทศไทยได้ขุดขึ้น ในปี พ.ศ. 2474 เพื่อใช้เป็นแหล่งระบายน้ำและรองรับน้ำเสีย รวมทั้งน้ำมันเครื่องจากโรงงานรถไฟมักกะสัน ทำให้บึงมักกะสันตื้นเขิน จากการตกตะกอนของสารแขวนลอย กอปรกับรอบบึงมักกะสันมีชุมชนแออัด 3 ชุมชน รวม 729 ครัวเรือน ซึ่งส่วนใหญ่ต่างก็ถ่ายสิ่งปฏิกูลและขยะมูลฝอยลงสู่บึงมักกะสัน จนเกิดปัญหาภาวะสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมและน้ำเน่าเสียกลายเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคแห่งหนึ่ง พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงตระหนักถึงภัยแห่งภาวะมลพิษนี้ จึงได้พระราชทานพระราชดำริ เมื่อวันที่ 15 เมษายน และวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2528 ให้หน่วยงานต่าง ๆ ร่วมกันปรับปรุงบึงมักกะสัน เพื่อใช้ประโยชน์ในการช่วยระบายน้ำและบรรเทาสภาพน้ำเสียในคลองสามเสน โดยใช้วิธีการในรูปแบบของ **"เครื่องกรองน้ำธรรมชาติ"** กล่าวคือ ให้มีการทดลองใช้ผักตบชวา ซึ่งเป็นวัชพืชที่ต้องการกำจัดอยู่แล้วนี้มาทำหน้าที่ดูดซับความโสโครกรวมทั้งสารพิษจากน้ำเน่าเสีย โดยทรงเน้นให้ทำการปรับปรุงอย่างประหยัด และไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ริมบึง แนวพระราชดำรินั้นทรงให้ทำโครงการง่าย ๆ โดยสูบน้ำจากคลองสามเสนเข้าบึงทางหนึ่ง และสูบน้ำออก จากคลองสามเสนอีกทางหนึ่ง ระยะห่างกัน 100-200 เมตร หรือฝังท่อระบายน้ำออกทางระบายน้ำอโศก-ดินแดง โดยให้คงมีผักตบชวาอยู่ในบึง และทำการตกแต่ง

ให้ดีไว้บริเวณกลางบึงเพื่อกรองน้ำเสีย แต่ถ้าจำเป็นต้องเก็บผักตบชวาขึ้นบ้างเป็นครั้งคราวก็ให้นำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ยหมัก หรือเชื้อเพลิง แต่อย่านำ ไปทำอาหารสัตว์ เพราะมีธาตุโลหะหนัก

2.1 หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

"บึงมักกะสัน" ระบบบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสันเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ ที่เรียกว่าระบบ Oxidation Pond หรือ **"ระบบสายลมและแสงแดด"** ซึ่งจะมีบ่อดินที่มีความลึก 0.5-2 เมตร สามารถให้แสงส่องลงไปได้ มีการใส่ผักตบชวาเพื่อเป็นตัวดูดซับสารอาหารและโลหะหนักในน้ำเสียจากคลองสามเสน ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละ 30,000-100,000 ลูกบาศก์เมตร การทำงานของระบบอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างพืชน้ำ ได้แก่ สาหร่ายหรืออัลจี กับแบคทีเรีย โดยในเวลากลางวัน อัลจีซึ่งเป็นพืชน้ำสีเขียวจะทำการสังเคราะห์แสง โดยใช้คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ในน้ำและ แสงแดด อัลจีจะนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ ส่วนออกซิเจนที่เป็นผลพลอยได้นั้นก็จะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายน้ำเสียซึ่งผลของปฏิกิริยานี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการดำรงชีพของอัลจี ดังนั้น อัลจี และแบคทีเรียจึงสามารถดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันได้ โดยต่างพึ่งพาอาศัยกันและกัน การดำรงชีวิตในลักษณะนี้ เรียกว่าSymbiosis เนื่องจาก อัตราการเติมออกซิเจนค่อนข้างต่ำ ดังนั้น การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกกำจัดด้วยปริมาณออกซิเจน เมื่อเป็นเช่นนี้อัตราเร็วของปฏิกิริยาของการ ทำลาย BOD จึงค่อนข้างช้า ระบบ Oxidation Pond จึงต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่

เนื่องจากประสิทธิภาพ ของระบบบึงมักกะสันขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แล้ว ดังนั้น ในบึงต้องไม่ ปลูกผักตบชวามากเกินไป เพราะจะบดบังแสงแดด สำหรับผักตบชวานั้นก็จะทำหน้าที่ดูดซึมอาหารต่าง ๆ และโลหะหนักในน้ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผัก ตบชวามีการเจริญสูงสุด ในเวลาภายหลังการปลูก 16-17 สัปดาห์ จึงต้องดูแลระบบนี้โดยการเอาผักตบ ชวาออกทุก 10 สัปดาห์

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของบึงมักกะสัน พบว่าสามารถลดค่า BOD ได้ระหว่าง 19-85% โดยเฉลี่ยได้ 51% มีประสิทธิภาพในการฟอกตัวด้านการ กำจัด Total Coliform แบคทีเรีย และ FeCA Coliform แบคทีเรียเฉลี่ย 90% และ 89% ตามลำดับ การพัฒนาและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียบึงมักกะสัน จากการที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทยดำเนินการก่อสร้างทางด่วนมหานครขั้น 2 ระยะที่ 1 โดยมีแนวผ่านบึงมักกะสันและมีตอม่อโครงสร้างอยู่กลางบึง ทำให้น้ำในบึงไม่ถูกแสงแดด พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจึงได้พระราชทานพระราชดำริให้ใช้ เครื่องพ่นอากาศเข้าช่วย มูลนิธิชัยพัฒนาและกรุงเทพมหานครจึงรับสนองพระราชดำริ ในการปรับปรุงบึงมักกะสัน เพื่อให้สามารถฟอกน้ำในคลองสามเสนให้สะอาดขึ้น วันละ 260,000 ลูกบาศก์เมตร ด้วยการใช้เครื่องเติมอากาศแบบทุ่นลอย ผสมกับ การใช้ผักตบชวา ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียได้เพิ่มจากเดิม 10 เท่า โดยมูลนิธิชัยพัฒนาเป็นผู้จัดหา และติดตั้งเครื่องเติมอากาศ ขนาด 11 KW จำนวน 10 เครื่อง และกรุงเทพมหานครเป็น

ผู้ดำเนินการขุดลอกบึง พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องสูบน้ำและปลูกผักตบชวา สำหรับน้ำที่ใสสะอาดขึ้นนี้ให้ระบายออกสู่คลองธรรมชาติ ตามเดิม แล้วรับน้ำเสียจำนวนใหม่มาดำเนินการผ่านกรรมวิธีเป็นวงจรเช่นนี้ตลอดไปในอนาคตเมื่อการกำจัดน้ำเน่าเสียด้วยผักตบชวาในบึงมักกะสันแห่งนี้ได้ผลดี ก็จะได้นำไป ใช้เป็นแบบอย่างในการแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียที่แหล่งน้ำ หรือลำคลองอื่นต่อไป ซึ่งในขณะนี้กรุงเทพมหานครและการรถไฟแห่งประเทศไทย ร่วมเป็นหน่วยงานหลักในการใช้ประโยชน์ และดูแลรักษาบึงแห่งนี้ให้คงมีสภาพที่ดีสืบไป พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเปรียบเทียบว่า **"บึงมักกะสัน"** เป็นเสมือนดั่ง **"ไตธรรมชาติ"** ของกรุงเทพมหานคร ที่เป็นแหล่งเก็บกักและระบายน้ำในฤดูฝน

นอกจากนี้ ยังมีผลพลอยได้หลายอย่างเช่น ปุ๋ย เชื้อเพลิง เยื่อสานจากผักตบชวาและการปลูกพืชน้ำอื่นๆ เช่น ผักบุ้ง เป็นต้น รวมทั้งการเลี้ยงปลาด้วย โดยมิได้มีพระราชประสงค์จะทำให้เป็นสวนสาธารณะแต่อย่างใด บึงมักกะสันจึงเป็นบึงที่สร้างภาวะแวดล้อมด้วยวิธีธรรมชาติ เรียบง่าย ประหยัด และที่สำคัญเป็น แหล่งค้นคว้าทดลองที่พระราชทานเพื่อปวงประชา จักได้มีสุขถ้วนทั่วหน้ากัน การพัฒนาบึงมักกะสันจึงนับเป็นความสำเร็จที่เกิดจาก พระปรีชาสามารถในเชิงวิชาการด้านนิเวศวิทยา และการแก้ไขปัญหาภาวะมลพิษทางน้ำ ด้วย สายพระเนตรที่ยาวไกล จึงนับเป็นพระมหากรุณาธิคุณอย่างยิ่ง แก่ชาวไทยทั้งมวล

3. หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยการผสมผสานระหว่างพืชน้ำ กับระบบการเติมอากาศ (Constructed Wetland and Air Transfer for Waste Water Treatment) ณ บริเวณ หนองสนม – หนองหาน

3.1 หนองสนม

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริให้ทำโครงการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีธรรมชาติผสมผสานกับเทคโนโลยีแบบประหยัด กล่าวคือ จัดสร้างบ่อดักสารแขวนลอย ปลูกต้นกกอียิปต์เพื่อใช้ดับกลิ่นและปลูกผักตบชวาเพื่อดูดสิ่งโสโครกและโลหะหนัก ต่อจากนั้นจึงใช้กังหันน้ำชัยพัฒนาและแผงท่อเติมอากาศให้กับน้ำเสียตามความเหมาะสม ตลอดจนให้ตกตะกอนก่อนปล่อยน้ำลงหนองสนมเพื่อปรับสภาพน้ำให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากผักตบชวาในด้านต่างๆได้อีกด้วย เช่น ทำปุ๋ยหมัก ทอเสื่อหรือทำเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี

3.1.1 การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของหนองสนม แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนแรก เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยกกอียิปต์ ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณสมบัติช่วยดูดมลสารต่างๆที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้ลดลง โดยใช้ลานกรองกรวดเบื้องต้นก่อนที่จะถึงบ่อปลูกกกอียิปต์ ให้ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอยและช่วยเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย ตลอดจนช่วยให้เกิดจุลินทรีย์เกาะที่ก้อนกรวดซึ่งส่งผลให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียให้ลดลงได้

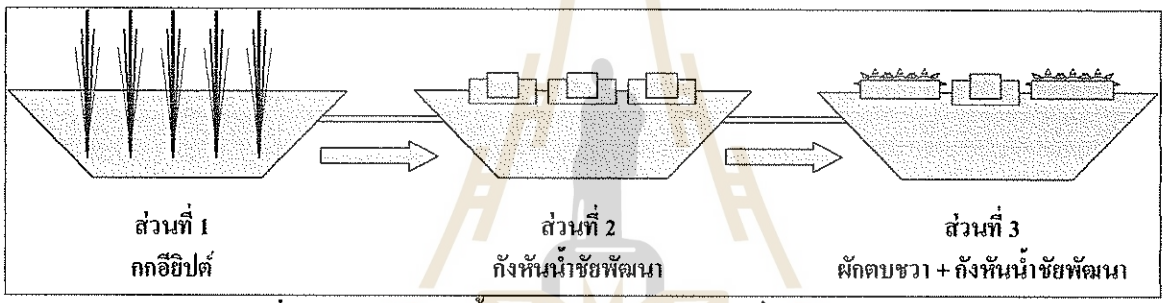
นอกจากนี้ทางด้านท้ายน้ำของกระบวนการบำบัดจะมีตะแกรงกระบะติดตั้งไว้เพื่อรองรับเศษขยะที่ลอยปะปนมากับน้ำให้กักไว้ในด่านแรก

จากนั้นน้ำเสียจึงจะผ่านเข้าไปในบ่อปลูกกกอียิปต์ ซึ่งสารอินทรีย์จะถูกกำจัดให้ลดลงแล้วจึงไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนตามธรรมชาติ

ส่วนที่สอง เป็นการใช้ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อเติมอากาศโดยใช้กังหันน้ำชัยพัฒนาเข้าช่วยเติมออกซิเจนในน้ำเพื่อให้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งตกตะกอนได้ยาก ให้กลายเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนัก (Sludge) ที่สามารถตกตะกอนได้รวดเร็ว

ในขั้นนี้ตอนปลายของการบำบัดน้ำเสียก็ให้ผ่านไปยังบ่อปลูกผักตบชวา ให้ช่วยลดสารพิษต่างๆที่เหลืออยู่ได้อีก แล้วส่งเข้าบ่อตกตะกอนอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้น้ำที่ใสสะอาดยิ่งขึ้น

ส่วนที่สาม ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำในหนองสนม โดยใช้เครื่องเติมอากาศแบบกังหันน้ำชัยพัฒนาติดตั้งไว้ที่ปากทางเข้าของหนองสนมเพื่อเติมอากาศขั้นสุดท้าย นอกจากนี้ยังปลูกผักตบชวาโดยกั้นไว้เป็นคอกเรียงสลับกันเป็นแถวๆ เพื่อช่วยบำบัดน้ำเสียและเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำทั้งระบบ



ภาพที่ 4.37: บ่อบำบัดน้ำเสียด้วยกกอียิปต์และเครื่องกลเติมอากาศ

3.2 หนองหาน

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริให้เร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำเสียที่ปล่อยลงหนองหานโดยเร็ว โดยให้รวบรวมน้ำเสียที่ระบายลงหนองหานที่ข้างโรงผลิตน้ำประปา ที่บริเวณข้างโรงพยาบาล โดยหาทางผันน้ำด้วยท่อและคูน้ำจากจุดทั้งสองมารวมกันที่จุดระบายน้ำทิ้ง ณ บริเวณใกล้ฌาปนสถานภูหมากเสื่อ รวมปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 70 จากเขตเทศบาล ซึ่งระบายลงหนองหานมาไว้ ณ ที่เดียวแล้วให้จัดทำโครงการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติผสมผสานกับเทคโนโลยีแบบประหยัด เพื่อให้สามารถรองรับการขยายตัวของชุมชนเทศบาลเมืองสกลนครในอนาคตต่อไป

พระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวดังกล่าว หน่วยราชการต่างๆได้สนองพระราชดำริดังนี้คือทางด้านกรมประมงได้ดำเนินการออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่ง Waste Water Stabilization Ponds ขึ้นในพื้นที่ประมาณ 92 ไร่ บริเวณริมหนองหานเริ่มก่อสร้างเมื่อปี 2534 แล้วเสร็จในปี 2535

ในส่วนของกรมโยธาธิการได้ดำเนินการออกแบบและก่อสร้างท่อรับน้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองสกลนคร เพื่อนำน้ำเสียเข้าไปบำบัดในระบบบำบัด น้ำเสียของกรมประมงเป็นการรับสนองพระราชดำริเช่นกัน โดยเริ่มก่อสร้างในปี 2534 แล้วเสร็จสมบูรณ์ในปี 2536

นอกจากนี้ทางด้านกรมชลประทานก็ได้ดำเนินการศึกษาหาข้อมูลต่างๆ พร้อมทั้งออกแบบก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำ (Constructed Wetland and for Waste Water Treatment) ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย (Polishing Pond) ทั้งนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีแบบประหยัดจากสหรัฐอเมริกามาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

ประโยชน์ของระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติชนิดนี้ คือ เป็นรูปแบบง่ายๆ เสียค่าใช้จ่ายน้อยและง่ายต่อการใช้ การบำรุงรักษา เป็นไปตามแนวพระราชดำริ เป็นระบบที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้น และเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรในแหล่งน้ำหนองหานให้ได้รับประโยชน์สูงสุดและยั่งยืนนาน

3.2.1 ลักษณะของระบบ

1. เป็นระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำในพื้นที่ 84.5 ไร่ ในส่วนที่เพิ่มเติมของกรมประมงและเชื่อมต่อกับระบบบำบัดน้ำเสียของกรมประมงที่ได้สร้างเสร็จแล้ว ระบบดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 4 เซลล์ แต่ละเซลล์ประกอบด้วยหนองน้ำตื้น (Marsh) สองด้าน ส่วนตรงกลางของแต่ละเซลล์จะเป็นบ่อน้ำลึก (Pond)

2. บริเวณหนองน้ำตื้น (Marsh) จะมีความลึกของน้ำ ปกติอยู่ระหว่าง 10-20 ซม. ถูกกำหนดให้ทำหน้าที่ในการลดค่า บีโอดี (BOD) ลดค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ที่เกิดขึ้นจากสาหร่ายสีเขียว (Algae) กำจัดแบคทีเรียชนิด Faecal Coliform เปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียและลดค่าฟอสฟอรัส ซึ่งพืชน้ำที่ใช้ปลูกเพื่อทำหน้าที่ดังกล่าว มีทั้งหมด 15 ชนิด ได้แก่

- ธูปฤาษี (Typha angustifolia)
- กกเล็ก (Cyperus putcherrimus)
- กกกลม (Cyperus corymbousus)
- กกอียิปต์ (Cyperus papyrus)
- แห้วทรงกระเทียม (Elocharis dutcis)
- กกสามเหลี่ยม (Scirpus grossus)
- หญ้าปล้องละมาน (Echinochloa crusgalli)
- แพงพวยน้ำ (Jussiaea repens)
- ตาลปัตรฤาษี (Linnoecharis flava)
- เอื้องเพชรม้า (Polygonum tomemtosum)
- พุทธรักษา (Conna indica)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- บอน (Colocacia esculentum)

- ขาเขียด (Monochoria vaginalis)

- ผักตบไทย (Monochoria hastata)

- ผักบุ้ง (Ipomoea aguatica)

3. บริเวณบ่อลึก กำหนดให้มีความลึกของน้ำแต่ละบ่อ 1 เมตร ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นไนเตรต (Nitrification) และเปลี่ยนสารอาหารไนเตรตไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (Dinitrification) รวมทั้งลดค่าฟอสฟอรัสด้วยพืชน้ำ (Submersed Plant) ต่างๆดังนี้

- สาหร่ายหางกระรอก (Hydrilla verticillata)

- บัวสาย(Nymphaea lotus)

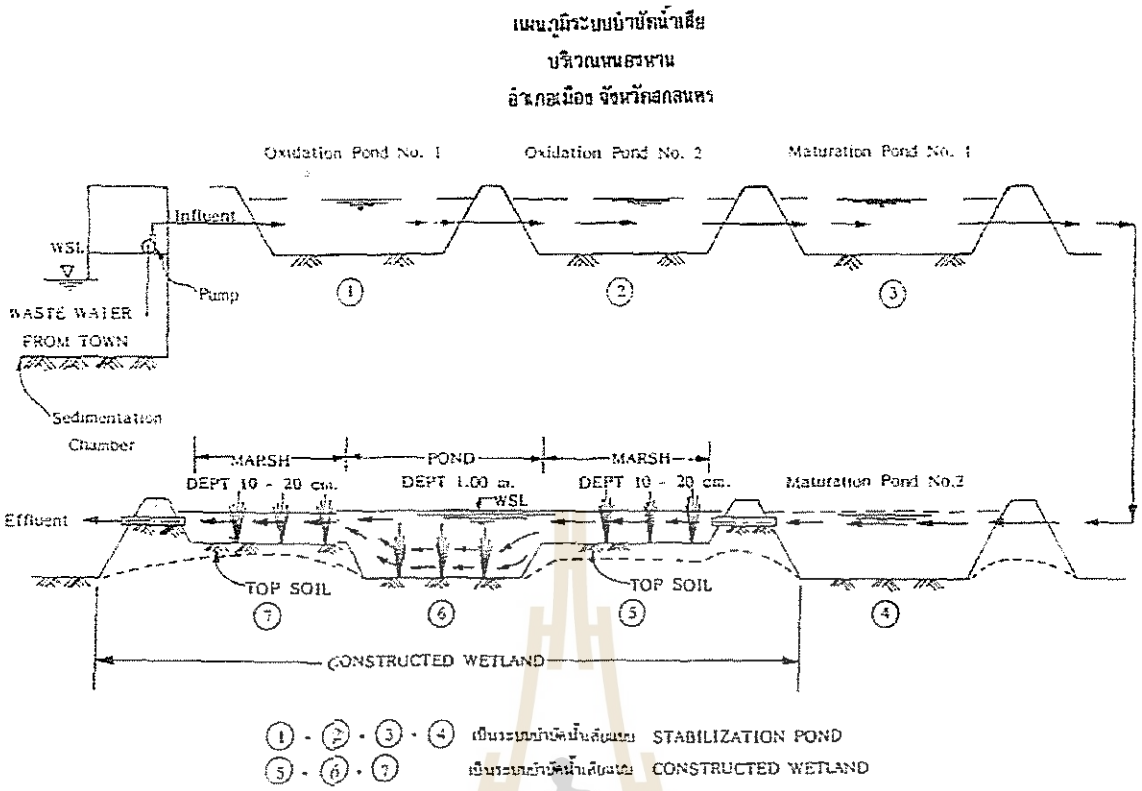
- ดีปลีน้ำ(Potamogeton malaianus)

- ดีปลีน้ำเล็ก(Potamogeton crispus)

- กระจับ(Trapa bispinosa)

4.หลังปลูกพืชน้ำไปแล้วประมาณ 3 เดือน ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวนี้ จะสามารถลดค่าความเน่าเสียของน้ำที่ปล่อยออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของกรมประมง ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น และเมื่อพืชเติบโตสมบูรณ์เต็มที่ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6 เดือนถึง 1 ปี ระบบนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีอย่างสมบูรณ์แบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพที่ 4.38: แสดงระบบบำบัดน้ำเสียบริเวณหนองหาน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตอนที่ 3
พืชบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ

1. ผักตบชวา

ชื่อพืชไทย ผักตบชวา ผักป่อง สวะ

ชื่อสามัญ Water hyacinth

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms

ชื่อวงศ์ PONTEDERIACEAE

ภาพที่ 4.39: ภาพผักตบชวา

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

ผักตบชวา (Eichhornia crassipes) เป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน จึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้ว รากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้น ประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณของกาบใบ เป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้ว ก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอขึ้น พร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากของผักตบชวาเป็น

แบบรากฝอย (fibrous root) คือ มีรากย่อยๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออก จะมีลักษณะอวบ สีขาว เมื่อมีอายุมาขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่ รากขนอ่อนนี้จะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป บางเส้นก็ยาวเกือบถึงหนึ่งเมตร(60-90ซม.)

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย แผ่นใบ (blade) และก้านใบ (petiole) แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไต (reniform) หรือคล้ายรูปหัวใจ (cordate) มักมีความกว้างมากกว่ายาว หรือเกือบจะเท่าๆ กัน เมื่อยังอ่อน ปลายใบมักจะมน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้น ปลายใบจะแหลม มีสีเข้มขึ้น ขอบใบเรียบ ระบบเส้นใบ (venation) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร เป็นแบบเส้นใบขนาน ก้านใบมีลักษณะกลมเรียบ อวบน้ำถ้าต้นผักตบชวาเจริญอยู่ห่างๆ กัน ลำต้นจะเล็กและก้านใบมักจะพองออกเป็นทุ่นลอยน้ำ (ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า buoyancy leaf) แต่ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ในที่เบียดชิดกันมาก โดยเฉพาะในน้ำนิ่ง ก้านใบจะไม่พอง นอกจากนั้น ก้านใบยังยาวมาก บางแห่งพบว่ายาถึงหนึ่งเมตรก็มี การเกิดใบอ่อน จะเกิดตรงกลางกอ โดยแผ่นใบของใบอ่อนจะม้วนหุ้มรอบโคนก้านใบใกล้เคียง และมีกาบใบบางหุ้มรอบอีกทีหนึ่ง ปลายกาบใบนี้ จะมีลักษณะคอดแล้วบาน ขอบหยักเล็กน้อย เป็นเยื่อบางๆ เมื่อใบอ่อนโตขึ้น ก้านใบก็จะขยายขึ้น ดันกาบใบที่ห่อหุ้มนั้นออก แผ่นใบก็จะค่อยคลี่เป็นอิสระจากโคนก้านใบเดิม ในระยะแรกใบจะมีสีเขียวอ่อน ต่อไปจะมีสีเขียวเข้มขึ้น กาบใบนั้นก็จะคงติดอยู่ตรงโคนก้านใบ

ดอก ผักตบชวามีดอกสีฟ้าสวยงามมาก ดอกออกเป็นช่อ ไม่มีก้านดอก (spike) ในช่อหนึ่งๆ จะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป ถ้าช่อดอกเล็ก ก็จะมีดอกประมาณ 4-5 ดอก ถ้าช่อดอกใหญ่ อาจจะมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้นจนถึง 60 ดอก ช่อดอกจะเกิดบริเวณกลางๆ ต้นการเกิดของช่อดอก มีลักษณะคล้ายกับการเกิดใบ คือที่โคนก้านจะมีกาบใบบางๆ หุ้มไว้และที่ปลายก้านมีแผ่นใบเล็กๆ เกิดขึ้นด้วย ช่อดอกจะเจริญมาจากโคน ก้านใบเล็กๆ นี้ โดยที่ใบครึ่งแรกจะมีกาบใบบางๆ หุ้มช่อดอกไว้ที่หนึ่ง และมีกาบใบอีกอันหุ้มโคนก้านใบไว้ เมื่อช่อดอกเจริญขึ้น ก้านช่อดอกจะค่อยๆ ยาว พองใหญ่ขึ้น ทำให้ภายในที่หุ้มก้านช่อดอกกับก้านใบขาดออก และเมื่อก้านช่อดอกเจริญมากขึ้น ก็จะดันกาบใบด้านในขาด ก้านช่อดอก (peduncle) ก็แทงชูช่อดอกเจริญโผล่ขึ้นมาก โดยมีใบเล็กๆ ที่ปลายก้านใบ และภายในทำหน้าที่เป็นใบประดับ (bract) รองรับช่อดอกอีกทีหนึ่ง เมื่อเจริญเต็มที่แล้วดอกมักจะบานพร้อมกันหมดทั้งช่อ โดยจะค่อยๆ บานตั้งแต่แสงอาทิตย์เริ่มส่องแสง แล้วก็จะบานเต็มที่เมื่อแสงแดดส่องจ้า ดอกจะบานเพียง 1 วัน หลังจากนั้น กลีบดอกก็จะหุบเหี่ยวขดเป็นเกลียว แล้วก้านช่อดอกก็จะโค้งงอลงสู่พื้นน้ำ ผักตบชวาต้นหนึ่งๆ จะมีดอกได้หลายช่อ โดยจะทยอยกันออกดอก ดอกแต่ละดอก ประกอบด้วยกลีบดอก 6 กลีบ ปลายกลีบแยกเป็นแฉก มีขนาดแตกต่างกัน ส่วนโคนกลีบจะติดกันเป็นหลอด (tube) มีสีเขียว หลอดนี้จะติดไปถึงก้านช่อดอก ส่วนกลีบรวมนั้น จะเป็นสีม่วงอ่อน มีกลีบอันหนึ่งซึ่งอยู่ตรงกลางขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น มีแต้มสีเหลืองทับอยู่บนสีม่วง ทำให้ดอกมีสีสันสวยงามมาก นอกจากนี้ ยังมีเกสรตัวผู้ (stamen) 6 อัน สั้น 3 ยาว 3 ติดอยู่ที่ตอนล่างของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลือง ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) มีส่วนตรงปลายเรียกว่า stigma มีสีม่วงอ่อน อยู่บนก้าน (style) ต่อมากจากรังไข่

(ovary) ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอก (superior ovary) รังไข่นี้เมื่อได้รับการผสมแล้วจะเจริญขึ้นเป็นผล แต่ตามปกติแล้วสภาพแวดล้อมในประเทศไทยมักจะไม่ค่อยพบว่า มีการผสมของดอกผักตบชวา จึงไม่ค่อยพบเมล็ด (seed)ผักตบชวา ในกรณีที่มีการผสม เมล็ดมีขนาดเล็กมาก สีน้ำตาลเข้ม หลังจากที่ดอกบานได้ 48 ชั่วโมง และไม่มีแมลงมาช่วยผสมเกสร จะเกิดการผสมตัวเอง หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ เมล็ดเล็กๆ สีดำจะแก่ และก้านช่อดอกจะโค้งงอลงเบื้องล่าง เมื่อกระเปาะผลแตก เมล็ดก็จะหลุดลงสู่พื้นท้องน้ำ ในเนื้อที่ 1 ไร่ จะมีเมล็ดตกในโคลนตมใต้พื้นน้ำถึง 18 ล้านเมล็ด และสามารถรักษาความงอกอยู่ได้นานถึง 15 ปี เพราะฉะนั้น ภายใต้พื้นน้ำของดินแดนต่างๆ ที่เคยมีผักตบชวาขึ้นอยู่อาจจะมีเมล็ดผักตบชวาสะสมอยู่นับเป็นพันล้านเมล็ด รอคอยที่จะงอกจากเมล็ดเป็นต้นอ่อนเมื่อถึงคราวจำเป็น

การสืบพันธุ์ โดยทั่วๆ ผักตบชวาจะไม่สืบพันธุ์โดยเมล็ด นอกจากในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเช่น ในตอนที่น้ำแห้งในฤดูแล้ง ซึ่งต้นผักตบชวาแห้งตายหมด ครั้งพอถึงฤดูฝนเมล็ดที่พักตัวอยู่ในดินจะเริ่มงอกขึ้นมาเป็นต้นอ่อน และในไม่ช้าก็จะเจริญเติบโตขึ้นการสืบพันธุ์ของผักตบชวาที่พบเห็นอยู่ทั่วไปและเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดก็คือ การแตกไหลแล้วกลายเป็นลำต้นติดอยู่กับต้นแม่เป็นจำนวนมากจนเกิดเป็นกอใหญ่ หลังจากที่ต้นอ่อนเกิดตากและใบของตนเองได้ภายในเวลาเพียงไม่กี่วัน ต้นอ่อนเหล่านี้ก็จะเริ่มสร้างต้นอ่อนต่อไปเป็นช่วงที่สาม ได้มีผู้รายงานว่า ต้นผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถสร้างลูกหลานได้เป็นจำนวนถึง 300 ต้นภายในเวลาเพียง 20 วัน และเพิ่มเป็น 1200 ต้น ภายใน 4 เดือน แต่ในสภาพตามธรรมชาติ มีผู้สังเกตว่าผักตบชวาจะเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายใน 10 วัน ถ้าหากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ต้นผักตบชวา 10 ต้น จะสร้างลูกหลานได้ถึง 600,000 ต้น ครอบคลุมพื้นที่น้ำ 2.5 ไร่ ภายในเวลา 8 เดือน

ความสามารถพิเศษของผักตบชวา ใบของผักตบชวาได้ถูกจัดเรียงกันอย่างดี โดยที่ใบแต่ละใบจะได้รับแสดงแดดเต็มที่เพื่อปรุงอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ การที่ต้นลอยอยู่ในน้ำช่วยให้หมดปัญหาในเรื่องการดูดน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงต้น โดยที่ไปน้ำส่วนใหญ่มักจะมีอาหารแร่ธาตุอยู่บริบูรณ์ ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของผักตบชวา ซึ่งมีระบบรากที่แผ่กระจายและดูดแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเยี่ยม เมื่อแพผักตบชวาลอยอยู่ในน้ำ คลื่น ลม และกระแสน้ำจะทำให้ไหลขาดออกจากกัน และช่วยแยกกอของผักตบชวาออกไปเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อความสะดวกในการกระจายพันธุ์ไปตามที่ต่างๆ โดยล่องลอยไปตามน้ำ ระหว่างนั้นแต่ละส่วนก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดพื้นน้ำนั้นๆ ก็จะเต็มไปด้วยผักตบชวาขึ้นเต็มจนแน่นหากเกิดเดี่ยวๆ ผักตบชวาจะมีทรงต้นมั่นคงไม่คว่ำได้ง่ายๆ แม้ว่าจะถูกลมพายุพัดทั้งนี้ก็เพราะมีโครงสร้างที่สมดุล ได้สัดส่วนและประกอบด้วยส่วนที่เป็นลำต้นลอยอยู่ใต้ผิดน้ำ โดยมีกาบใบห่อหุ้มอยู่เป็นการช่วยป้องกันภยันตรายต่างๆ เช่นอากาศหนาวเย็น ซึ่งอาจเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวและทำลายใบเหนือน้ำตายหมด แต่ลำต้นอยู่ใต้น้ำจะไม่ได้รับอันตรายเลย พออากาศอบอุ่นขึ้น ลำต้นก็สามารถแตกใบใหม่และเจริญเติบโตต่อไปได้ ยิ่งไปกว่านั้น การฉีดยากำจัดวัชพืช ถ้าความเข้มข้นไม่สูงพอ ก็ไม่อาจทำลายลำต้นนี้ได้ แม้ว่าใบทั้งหมดจะถูกทำลายหมด เมื่อถูกดึงขึ้นจากน้ำ กาบใบที่หุ้มลำต้น

อยู่จะช่วยป้องกันไม่ให้ลำต้นแห้งตายเป็นเวลานาน ต้นที่อยู่ล่างๆ ของกองผักตบชวาอาจมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 3 สัปดาห์ แม้ว่าจะเป็นพืชอยู่ในน้ำจืด แต่ผักตบชวาก็สามารถทนอยู่ในน้ำเค็มได้ในระยะเวลาสั้นๆ ได้ มีผู้พบผักตบชวาลอยออกปากแม่น้ำแห่งหนึ่งแล้วลอยไปตามฝั่งทะเลเข้าไปในอีกแม่น้ำหนึ่ง ลำต้นที่มีกาบใบห่อหุ้มอยู่ จะทนต่อสภาพน้ำเค็มได้หลายวัน เมื่อแหล่งน้ำแห้งลง ผักตบชวาก็ปรับตัวให้เข้ากับสภาพน้ำแห้งนี้ได้ โดยการหยั่งรากลงในโคลนขณะที่โคลนยังเปียกอยู่ ต้นผักตบชวาที่เคยใหญ่โตจะลดขนาดลงจนเหลือเป็นต้นแคระ มีก้านใบสั้นเพียง 1-2 ซม. แทนที่จะเป็น 90 ซม. ที่มันเคยเป็นในขณะที่มีน้ำบริบูรณ์ ครั้งถึงหน้าน้ำ ต้นผักตบชวาแคระที่รอดตายก็จะหลุดลอยออกจากดิน แล้วเริ่มแตกใบใหม่ และค่อยๆ เจริญใหญ่โตขึ้นเหมือนสภาพปกติที่มีน้ำบริบูรณ์ นอกจากทำหน้าที่รับแสงเพื่อปรุงอาหารแล้ว ใบของผักตบชวายังใช้แทนใบหรือเพื่อรับลมสำหรับลอยตามกระแสลม และบางครั้งอาจลอยทวนกระแสน้ำขึ้นไปได้ หากนำผักตบชวาไปหั่นเป็นชิ้นๆ ชิ้นส่วนหลายชิ้นจะสามารถสืบพันธุ์ต่อไปได้หากนำไปทิ้งในน้ำอีก มีผู้ลองผ่าซีกตามยาว แต่ละซีกก็สามารถสืบพันธุ์ได้อีกเช่นกัน ถ้าเอาซีกที่ผ่าตามยาวนี้ไปหั่นตามขวางอีกที แต่ละชิ้นส่วนที่ถูกตัดออกก็สามารถแตกหน่อสืบพันธุ์ต่อไปได้อีก

กำลังผลิต (Productivity) ของผักตบชวา ผักตบชวาเป็นพืชที่มีความสามารถพิเศษในการสร้างโครงสร้างของมันดียิ่งกว่าพืชอื่นๆ ทุกชนิดที่มีอยู่ในโลกนี้ ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่หนึ่งไร่ ผักตบชวาสามารถสร้างสารอินทรีย์(แห้ง)ได้ถึง 24 ตันต่อปีในด้านความรวดเร็วในการเจริญเติบโต เราอาจจะสังเกตการณ์ยืดของก้านใบหรือไหลภายในเวลาเพียงชั่วโมงเดียว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะความสามารถพิเศษในการสร้างอาหาร และเปลี่ยนเป็นโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยน้ำถึง 19 ส่วนต่อสารแห้งเพียงหนึ่งส่วน การที่โครงสร้างของผักตบชวาสดมีน้ำอยู่ถึง 95% นี่เอง เป็นสาเหตุใหญ่ที่ผักตบชวาบาดแผ่กระจายอาณาเขตในแหล่งน้ำได้อย่างรวดเร็วกว่าพืชอื่นๆ ทั้งหมดในโลกนี้

การใช้ประโยชน์ การที่ผักตบชวาเป็นพืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอย่างเดียวล้วนๆ ทำให้ลู่ทางในการนำไปใช้ประโยชน์มีมากขึ้น เพราะมีปริมาณมาก และเกิดทดแทนส่วนที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว การลอยน้ำได้ของผักตบชวาช่วยให้การเก็บเกี่ยวง่ายขึ้น โดยเฉพาะถ้ามีลม หรือกระแสน้ำช่วยพัดพามายังสถานที่ที่ตั้งอุปกรณ์การเก็บเกี่ยว หากเป็นในแม่น้ำลำคลอง การขึงลวดสลิงติดทุนลอยขวางลำน้ำให้เป็นมุมลู่มาทางที่ตั้งเครื่องเก็บเกี่ยว ก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวไปได้มาก อีกทั้งยังเป็นการป้องกันมิให้ผักตบชวาลอยต่อไปยังอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งอื่น แล้วไปขยายพันธุ์ในที่ซึ่งกว้างขวางยากแก่การกำจัดเราอาจจะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น อาหารสัตว์ ปุ๋ย เพาะเห็ด เครื่องถักสาน ทำก๊าซหุงต้ม ช่วยแก้น้ำเสีย ทำแท่งเพาะชำ

อาหารสัตว์ โดยปกติ ปศุสัตว์หลายชนิดกินผักตบชวาอยู่แล้ว กล่าวคือ วัว ควาย แพะ แกะ หิน ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่ริมฝั่งตามธรรมชาติ ปลาบางชนิดกินผักตบชวาในน้ำ หมูกินผักตบชวาที่ผู้เลี้ยงเก็บมาต้มให้กิน สัตว์เหล่านี้ จะช่วยกำจัดผักตบชวาให้ลดน้อยลงได้ และเรายังได้ประโยชน์จากสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ด้วย อย่างไรก็ตาม เจ้าของสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ไม่ควรปล่อยเลี้ยงผักตบชวาในที่สาธารณะ เพราะเป็น

การช่วยส่งเสริมการแพร่กระจายของผักตบชวาไปในที่ต่างๆ อีกทั้งยังเป็นสิ่งที่ผิดกฎหมายตาม พรบ. สำหรับกำจัดผักตบชวาอีกด้วย ในปัจจุบัน ในรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา มีการนำผักตบชวาไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์โดยการบดเอาน้ำออก อบให้แห้ง แล้วอัดเป็นเม็ดแบบเดียวกับมันสำปะหลังเม็ด ผักตบชวาแห้งมีโปรตีน 11.15% ซึ่งนำว่าสูงพอสมควร

ปุ๋ย ผักตบชวามีธาตุโปแตสเซียมอยู่มากเป็นพิเศษ ส่วนธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ก็มีพอสมควรและขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำที่มันขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำที่มันขึ้นอยู่ เราอาจจะนำผักตบชวาไปทำปุ๋ยได้ 32 วิธี คือ

(1) ปล่อยให้แห้ง แล้วเผาเพื่อเก็บขี้เถ้าซึ่งมีโปแตสเซียมอยู่ถึง 20% เอาไปใส่ให้แก่พืชปลูก ซึ่งมีข้อได้เปรียบตรงที่ไม่ต้องขนหนักแต่ก็ได้เผาอินทรียวัตถุที่พืชต้องการไปหมด

(2) ทำเป็นปุ๋ยหมักโดยกองสลับชั้นกับดิน ปุ๋ยคอก ขยะ ฯลฯ ซึ่งจะเน่าเปื่อยเป็นปุ๋ยหมักนำไปใช้ได้ภายใน 2 เดือน ระหว่างหมัก ควรกลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 15 วัน โดยเอาส่วนบนลงล่างและส่วนล่างขึ้นบน กลับกองปุ๋ยหมักสัก 2 ครั้ง จากนั้นก็ปล่อยให้ค่อยๆ กลายเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งจะมีสีดำคล้ำ ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา (ผสมดิน) มีองค์ประกอบคือ ไนโตรเจน 2.05% ฟอสฟอรัส 1.1% โปแตสเซียม 2.5% ธาตุทั้งสามอย่างนำเป็นอาหารธาตุที่จำเป็นแก่การเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดในดิน ป้องกันไม่ให้วัชพืชขึ้นและเมื่อสลายตัวก็กลายเป็นอินทรียวัตถุและปุ๋ยให้แก่พืชปลูก

(3) ทำวัสดุคลุมดิน โดยกานำผักตบชวาไปคลุมพืชปลูก เพื่อช่วยรักษาความชุ่มชื้นไว้ในดิน ป้องกันไม่ให้วัชพืชขึ้นและเมื่อสลายตัวก็กลายเป็นอินทรียวัตถุและปุ๋ยให้แก่พืชปลูก

เพาะเห็ด ผักตบชวาที่ตากแดดจนแห้งดีแล้ว สามารถนำมาเพาะเห็ดฟางได้ดี วิธีที่เหมาะที่สุดก็คือ ใช้ผักตบชวาแห้ง 1 ส่วน สลับกับฟางข้าว 1 ส่วน ควรใช้ลังไม้เป็นแบบในการกองเห็ด ขนาดของลังประมาณ 30 x 30 x 50 ซม. เพื่อความสะดวกในการยกกองเห็ดออกจากลัง ควรทำลังไม้เป็น 2 ส่วน ไม่มีฝาบน และล่าง แล้วประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้สายยูเกี่ยว วางลังที่ประกอบแล้วลงบนแผ่นไม้ วางผักตบชวาแห้งที่แช่น้ำให้ชุ่มลงในลัง เป็นชั้นสูงประมาณ 10 ซม. แล้วกดให้แน่น โรยเชื้อเห็ดตามริม (ลึกเข้าไปประมาณ 2-3 ซม.) วางฟางข้าวที่แช่น้ำให้ชุ่มเป็นชั้น แบบเดียวกับชั้นผักตบชวา แล้วโรยเชื้อเห็ดด้วยวิธีเดียวกัน วางผักตบชวาและฟางข้าวสลับชั้นเช่นนี้จนกระทั่งถึงปากลัง ด้านบนโรยเชื้อเห็ดทั้งหมด กองหนึ่งใช้เชื้อเห็ดประมาณครึ่งกระป๋อง (กระป๋องละ 3 บาท) จากนั้นก็แกะไม้แบบลังออก ยกกองเห็ดเข้าไปไว้ในที่อับลมและชื้น เช่นใต้ถุนบ้าน เพื่อช่วยให้เห็ดมีความชื้นมากๆ ควรทำที่กำบังลมโดยใช้แผงจาก แฝก หรือแผ่นพลาสติกกั้น รักษาให้ความชื้นอยู่เสมอ จะเกิดดอกเห็ดทั้งด้านข้าสี่ด้านและด้านบนประมาณวันที่ 7 ปริมาณเห็ดที่เกิดบนได้ประมาณกองละ 1 กิโลกรัม ซากผักตบชวาและฟางข้าวที่เก็บเห็ดไปหมดแล้ว ใช้เป็นปุ๋ยหมักหรือวัสดุคลุมดินได้เป็นอย่างดี การกองเห็ดกองขนาดนี้จะใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที หากสามารถทำได้ทุกวันๆ ละกองจะมีเห็ดฟางรับประทานวันละ 1 กิโลกรัม ถ้า

หากรับประทานไม่หมด ก็สามารถนำไปจำหน่ายได้ในราคาเฉลี่ยประมาณกิโลกรัม 15 บาท โดยลงทุนค่าเชื้อเห็ดเพียง 1.510 บาท หรือได้กำไรถึง 10 เท่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยเรื่อง **"การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา"** การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัย โดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา สถานที่ทดลองใช้สระพักน้ำผันสภาพมอดินแดง มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งรับน้ำเสียจากหอพักนักศึกษาหญิง บ้านพักอาจารย์ข้าราชการ และโรงอาหารกลาง ระบบบำบัดเป็นแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนต่อเนื่องกัน 4 สระ มีเนื้อที่รวม 5,128 ตารางเมตร ความจุ 8,662 ลูกบาศก์เมตร ใส่ผักตบชวาในสระที่ 4 เป็นพื้นที่ 60 ตารางเมตร (ร้อยละ 30 ของพื้นที่ผิวสระน้ำ) หลังจากปล่อยให้ระบบทำงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ณ ตำแหน่งน้ำเข้าในแต่ละสระ และตำแหน่งน้ำออกจากสระที่ 4 อีก 1จุด การเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (Grab Sampling) จุดละ 2 ตัวอย่าง เป็นจำนวน 6 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 2 สัปดาห์ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม 2537 แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ตรวจตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยทั้ง 5 จุด มีการดูแลผักตบชวาตลอดเวลาและเก็บต้นแก่ทิ้งให้มีปริมาณคงที่ ผลการศึกษาพบว่าอัตราน้ำเสียไหลเข้าสระพักน้ำผันสภาพมอดินแดงวันละ 547.2 ลูกบาศก์เมตร มีค่าบีโอดี 133.3 มิลลิกรัมต่อลิตร นั่นคือมีความสกปรกในรูปบีโอดีเข้าสู่ระบบวันละ 73 กิโลกรัม ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของสระเมื่อปราศจากผักตบชวาร้อยละ 39.5 เมื่อร่วมกับผักตบชวาสามารถบำบัดน้ำเสียได้ร้อยละ 64 บีโอดีของน้ำทิ้งวัดได้ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาสรุปได้ว่าผักตบชวาเมื่อร่วมกับระบบสระพักน้ำผันสภาพหลายขั้นตอน มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้โดยเฉพาะกับระบบสระพักน้ำผันสภาพที่มีพื้นที่ไม่ใหญ่เกินไปสามารถดูแลรักษาสภาพของสระและควบคุมปริมาณของผักตบชวาได้อย่างทั่วถึงจะให้ผลดี (วรางคณาและคณะ, 2540)

งานวิจัย **"การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยผักตบชวา พุทธรักษา และกกกลม การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยพืชน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ"** โดยนำน้ำเสียมาบำบัดในบ่อซีเมนต์กลมที่ปลูกพืชน้ำบางชนิดได้แก่ ผักตบชวา, พุทธรักษา, กกกลม, ผักตบชวาร่วมกับพุทธรักษา, และผักตบชวาร่วมกับกกกลม เป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์มาวิเคราะห์ตัวบ่งชี้ ซึ่งได้แก่ ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD), ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD), ฟอสเฟต, ของแข็งทั้งหมด, และความเป็นกรด-ด่างในน้ำ ผลการศึกษาพบว่าในสัปดาห์ที่ 4 ของการทดลองการใช้ผักตบชวาร่วมกับกกกลม มีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยสามารถลดค่า COD จากวันแรกของการทดลอง 67.4 % ตามลำดับ และ ผักตบชวาร่วมกับพุทธรักษา,ผักตบชวาร่วมกับกกกลม มีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD จากวัน

แรกของการทดลองเป็น 88.7, และ93.0% ตามลำดับ สำหรับค่าปริมาณฟอสเฟตและของแข็งทั้งหมด พืชทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณฟอสเฟตและของแข็งทั้งหมดสูงสุดใน 2 สัปดาห์แรก ของการทดลอง โดยผักตบชวา มีประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตจากวันแรกของการทดลองเป็น 30.2 และผักตบชวา, ผักตบชวาร่วมกับพุทธรักษา, ผักตบชวาร่วมกับกกกลมมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดจากวันแรกของการทดลองเป็น 66.0, 64.9, และ 65.1 % ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าพืชทุกชนิดในการทดลองนี้มีความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้มีค่าอยู่ในช่วง 7.7-8.5 (ธรรมเรศและคณะ, 2538)

งานวิจัยเรื่อง **"ผลของผักตบชวาต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร"** ผักตบชวาเป็นพืชลอยน้ำที่สามารถนำเอาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโต ได้มีการนำผักตบชวามาใช้ลดมลสารในน้ำเสียจากชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยศึกษาในบ่อทดลองที่ทำด้วย acrylic ขนาด 57×58×50 เซนติเมตร โดยใช้ผักตบชวาที่ความหนาแน่น 4 กิโลกรัมเปียกต่อตารางเมตร พบว่าผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและแตกต้นใหม่ได้ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีค่าบีโอดีน้อยกว่า 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ผักตบชวามีลักษณะเหี่ยวเฉาในน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 110-130 มิลลิกรัมต่อลิตร และผักตบชวาตายหมดภายในสัปดาห์แรกในน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีมากกว่า 130 มิลลิกรัมต่อลิตร ผักตบชวายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ (แสดงด้วยเปอร์เซ็นต์การลดลงของพารามิเตอร์ต่างๆ) ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ โดยผลการทดลองในสัปดาห์ที่หนึ่งพบว่า ผักตบชวาสามารถลดค่าของบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ และของแข็งแขวนลอย โดยเฉลี่ย (n = 8) 29.56, 25.83, 24.14, 18.90, 27.32, และ 24.86 % ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองในสัปดาห์ที่สองพบว่าผักตบชวาสามารถลดค่าของบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ และของแข็งแขวนลอย โดยเฉลี่ย (n = 8) 37.28, 37.43, 41.77, 23.55, 34.64, และ 39.09 % ตามลำดับ อย่างไรก็ดีผักตบชวาไม่สามารถลดค่าซัลไฟด์ได้ทั้งสองสัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่มีผักตบชวา (สรรเพชญ, 2541)

งานวิจัยเรื่อง **"การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย กรณีศึกษา: น้ำเสียจากศูนย์ศาลายา"** การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิดคือ ผักกระเฉด จอก และผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียซึ่งยังไม่ผ่านการบำบัดใดๆ เลยจากศูนย์ศาลายา ในการศึกษาใช้บ่อต้นแบบขนาดเล็ก โดยให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 15 วัน ทำการปลูกพืชให้เต็มพื้นผิวหน้าทั้ง 3 ชนิด ตลอดระยะเวลาทำการศึกษามีการเก็บเกี่ยวพืชออกเป็นระยะๆ เพื่อมิให้หนาแน่นเกินไป ผลการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่ออกจากผักตบชวา มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.66 มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี

เท่ากับ 76.74% มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี เท่ากับ 76.86% มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่า TKN 62.56% มีค่าประสิทธิภาพในการลดค่า TP เท่ากับ 44.09% จากการศึกษามวลชีวภาพของพืชทั้ง 3 ชนิดพบว่าแต่ละชนิดมีอัตราการเจริญเติบโต ดังนั้น ผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.17 กิโลกรัมน้ำหนักเปียกต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด และผักกระเฉด จอก มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกับผักตบชวา (จิติมา, 2539)

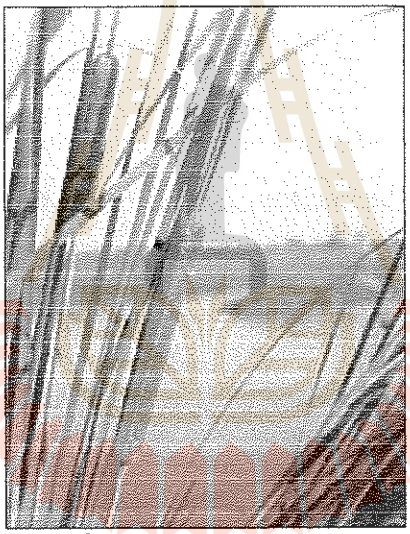
2. ธูปฤาษี

ชื่อพืชไทย กกช้าง,กกธูป, ธูปฤาษี, เฟื้อ (กลาง), ปรือ (ใต้), หญ้าสลาบหลวง (เหนือ)

ชื่อสามัญ Cat-tail, Elephant grass, Lesser reedmace, Narrow-leaved cat tail

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia Linn*

ชื่อวงศ์ Typhaceae



ภาพที่ 4.40: ธูปฤาษี หรือ กกช้าง

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

เป็นไม้ล้มลุก ชอบน้ำ มีเหง้าใต้ดิน ใบรูปแถบ เรียงสลับระนาบเดียว ช่อดอกแบบช่อเชิงลดเป็นแท่งยาวคล้ายธูป ดอกใหญ่ กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้าน ส่วนกลุ่มดอกเพศเมียอยู่ต่ำลงมา ผลแบบผลแห้งเมล็ดล่อน ปลายมีขนขาวฟู

ธูปฤาษีเป็นไม้ล้มลุกสองปี เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้น ๆ ใบเดี่ยวเรียงสลับระนาบเดียว รูปแถบ กว้าง 1.2-1.5 ซม. ยาวประมาณ 2 ม. แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อยเพรีเซลล์หยุ่นตัวคล้ายฟองน้ำหนุนอยู่กลางใบ ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอกแบบช่อเชิงลด มีดอกจำนวนมากติดกันแน่นสีน้ำตาล ลักษณะคล้ายธูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอกกลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัด กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้านรูปทรงกระบอก ยาว 15-30 ซม. และทิ้งช่วงห่างกลุ่มดอกเพศเมีย 0.5-12 ซม. ดอกเพศผู้มี

เกสรเพศผู้ 2-3 อัน และมีขนแบนรูปช้อน 3 เส้น กลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกัน แต่ใหญ่กว่ากลุ่มดอกเพศผู้ ยาว 7-28 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ซม. มีใบประดับย่อยเป็นเส้นปลายสีน้ำตาล จำนวนมากแซมดอก โคนก้านชูเกสรเพศเมียมีขนยาวสีเงินหลายเส้น รังไข่มี 1 ช่อง มีออวุล 1 เม็ด ผลแบบผลแห้งเมล็ดล่อน ขนาดเล็กมาก

ธูปฤาษีมีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทั่วทุกภาค พบในที่ลุ่มทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก ใบยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ใช้มุงหลังคาและทำเชือก ดอกแก่จัดมีขนปุยนุ่มมือลักษณะคล้ายปุยนุ่นจึงนิยมใช้แทนนุ่น ยอดอ่อนกินได้ทั้งสดและทำให้สุก ช่อดอกปิ้งกินได้ แป้งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากให้บริโภคได้เช่นกัน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อของต้นธูปฤาษีนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใยพึงร้อยละ 40 สีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลสร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 8.7 ลิกนินร้อยละ 9.6 ไขร้อยละ 1.4 และเถ้าร้อยละ2

ธูปฤาษีมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อย จะให้แก๊สมีเทนซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ผลมี long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ pentacosane และ 1-triacontanol สารพวก phytosterol 2 ชนิด คือ ß-sitosterol และ ß-sitosteryl-3-0- ß-D-glucopyranoside ธูปฤาษีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กก. ต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยเรื่อง **"ประสิทธิภาพของระบบพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน"** การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักตบชวา บัวสาย และธูปฤาษี ทั้งชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่พักอาศัย โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำเสียและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ในการบำบัดแต่ละระบบพืชเป็น 10 วัน, 15 วัน, และ 20 วัน ผลการศึกษาให้ข้อสรุปว่า ประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละระบบการทดลองเมื่อให้ HRT ต่างกันตามที่กำหนด ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ได้แตกต่างกัน เช่น ระบบผักตบชวาให้ประสิทธิภาพในการลดค่า บีโอดี สูงสุดมีค่าเท่ากับ 89.42% ที่ HRT 20 วัน ระบบบัวสายให้ประสิทธิภาพในการลดค่า บีโอดี สูงสุดมีค่าเท่ากับ 81.75 % ที่ HRT 10 วัน ระบบธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพในการลดค่า บีโอดี สูงสุดมีค่าเท่ากับ 89.81% ที่ HRT 10 วัน เป็นต้น (บุญรอด, 2540)

3. กกกลม

ชื่อพืชไทย กกกลม / กกจันทบูรณ์

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperus corymbosus*

ภาพที่ 4.41: ต้นกกกลม

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

กกกลมเป็นไม้ล้มลุก ลำต้นตั้งตรง ค่อนข้างกลม ดอกกระจายออกไปเหมือนรูปดาว ขยายพันธุ์โดยการแยกเหง้าจากต้นเดิม จะตัดเมื่อมีอายุได้ 3 เดือนในระยะก่อนออกดอก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยเรื่อง **"ประสิทธิภาพของกกกลม (Cyperus corymbosus) ธูปฤาษี (Typha angustifolia) อ้อ(Phragmites australia)และแห้วทรงกระเทียม(Elocharis dutcis) ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ"** เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของพืชโผล่พ้นน้ำ 4 ชนิดในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ พบว่าบ่อทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณโครเมียมคือบ่อทดลองกกกลม คือ 98.21% รองลงมาเป็นแห้วทรงกระเทียมคือ 95.96% ส่วนธูปฤาษีและอ้อเท่ากับ 95.90%และ 94.87% ตามลำดับ (ลักษณี, 2539)

จากงานวิจัยเรื่อง **"ประสิทธิภาพของกกกลม (Cyperus corymbosus) และแห้วทรงกระเทียม (Elocharis dutcis) ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียชุมชน"** ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวเพื่อบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นและศึกษาความลึกที่เหมาะสมกับพืชน้ำทั้ง

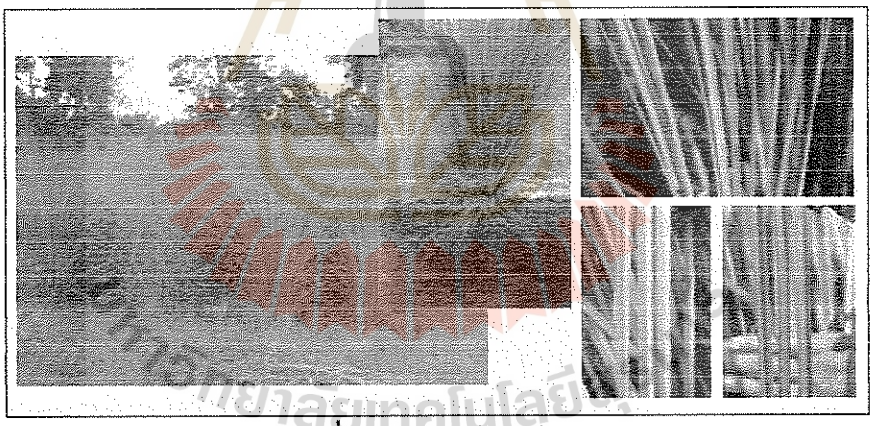
2 ชนิดในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าการปลูกกกกลมที่ระดับความลึกน้ำเสีย 0.15 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดปริมาณออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ของแข็งแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและค่าบีโอดีได้มากกว่า 60 % (ศศิธร, 2538)

จากงานวิจัยเรื่อง **"ประสิทธิภาพที่ลุ่มน้ำขังที่ปลูกกกจันทบูรณ์ (Cyperus corymbosus) ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 จากหอพักนักศึกษา"** ซึ่งเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของที่ลุ่มน้ำขังที่ปลูกกกจันทบูรณ์ ในการบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษาในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งผ่านการบำบัดมาแล้วจากที่ลุ่มน้ำขังธรรมชาติจำนวน 2 บ่อ ผลการศึกษาพบว่า บ่อทดลองที่ปลูกกกจันทบูรณ์หนาแน่นมากมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด คือสามารถลดค่าต่างๆได้ดังนี้ บีโอดี 67.11% สารแขวนลอย 71.21% ของแข็งละลายน้ำ 55.11% ฟอสฟอรัส 47.36% และไนเตรต 68.00% นอกจากนั้นยังบำบัดน้ำเสียได้ผลดีเมื่อต้นกกมีอายุประมาณ 1 เดือน (รุจิรัชต์, 2537)

4. หญ้าแฝก

ชื่อพืชไทย หญ้าแฝก

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Vetiveria zizanioides*



ภาพที่ 4.42: ภาพต้นหญ้าแฝก

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

ลักษณะที่สำคัญ คือ หลังใบโค้งปลายใบ แบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (wax) มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาว ซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำใบส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (septum) โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลางใบ (midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบไม่โตหรือเด่นชัดเจน หญ้าแฝกลุ่มอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากที่หยั่งลึกได้ประมาณกว่า 1 เมตร จะขึ้นอยู่กับสภาพของดินและความสมบูรณ์ของพืช โดยเฉพาะดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำได้ดี หญ้าแฝกจะให้รากยาวที่สุด

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ กระจัดกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด เป็นพืชตระกูลหญ้าขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่ กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถกรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับถมดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินตามธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้างและมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้นได้ ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและรักษาหน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายน้อยมาก ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การพัฒนาระบบเกษตรกรรมในเขตพื้นที่การเกษตรน้ำฝนให้มีความมั่นคงและยั่งยืน สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมและอนุรักษ์สภาพแวดล้อมและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น พื้นที่สองข้างของทางคลองชลประทานอ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำ ป่าไม้ ป้องกันขอบตลิ่ง คอสะพาน ไหล่ถนน เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง **"การวิจัยศักยภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม"** การวิจัยหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำเสียและการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกต่อการบำบัดน้ำเสีย ใช้หญ้าแฝก 2 ประเภท คือ แฝกดอน (ร้อยเอ็ดและประจวบคีรีขันธ์)และแฝกลุ่ม (สงขลา3 และศรีลังกา) ที่ระดับ 5, 10, 12 cm. การแตกหน่อ น้ำหนักแห้งของ สงขลา3 มีมากที่สุด ศรีลังกา ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด ลดลงตามลำดับ ส่วนค่า BOD ที่ 5 และ 10 cm. ต่ำกว่าที่ 15 cm. ทุกพันธ์โดยมีค่าเฉลี่ย 10-13, 15-22 และ 27-29 มก./ลิตร ค่า DO ที่น้ำตื้นมากกว่าน้ำลึก ค่า pH และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มตามการใช้น้ำ ซึ่งแฝกลุ่มใช้น้ำมากกว่าแฝกดอนประมาณ 30-70 % ส่วนที่ 2 ศึกษาศักยภาพของหญ้าแฝกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติน้ำเสียเมื่อระยะการไหลต่างกัน โดยใช้พันธ์สงขลา3 ใน 3 ระดับ (5, 10, 15 cm.) และระยะทางการไหลของน้ำเสีย 3 ระยะ (3, 6, 9 m.) พบว่า ค่า BOD ที่น้ำตื้น (5 cm.) ต่ำกว่าน้ำลึก (10, 15 cm.) มีค่า 5.23-6.57, 3.80-3.93 และ 3.10-3.73 มก./ลิตร ที่เวลา 15, 30 และ 60 วัน เปรียบเทียบการไหลระยะที่ไกล (9 m.) ต่ำกว่าระยะใกล้ (6, 3 m.) มีค่า 3.50-9.70, 2.33-3.63 และ 2.03-6.10 มก./ลิตร ที่

เวลา 15, 30 และ 60 วัน ส่วนค่า DO ที่น้ำตื้นสูงกว่าน้ำลึกแปรตามระยะเวลา 15, 30 และ 60 วัน มีค่า 3.20-5.00 3.39-6.39 และ 3.23-6.63 มก./ลิตร เปรียบเทียบการไหลของน้ำเสียพบว่าที่ระยะทางใกล้กว่า (3 m.) มีค่าต่ำกว่าที่ระยะทางไกลกว่า(6, 9 m.) มีค่า 3.86-4.75, 4.80-5.07 และ 5.77-6.11 มก./ลิตร ที่เวลา 15, 30 และ 60 วัน ขณะที่ค่า EC เพิ่มตามเวลาที่ทดลอง ส่วน pH เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้สงขลา3 มีการเติบโตลดลงเมื่อระยะการไหลของน้ำเสียและระดับความลึกเพิ่มขึ้น (พัชรี ธีรจินดาขจรและคณะ, 2545)

5. ต้นโกงกาง

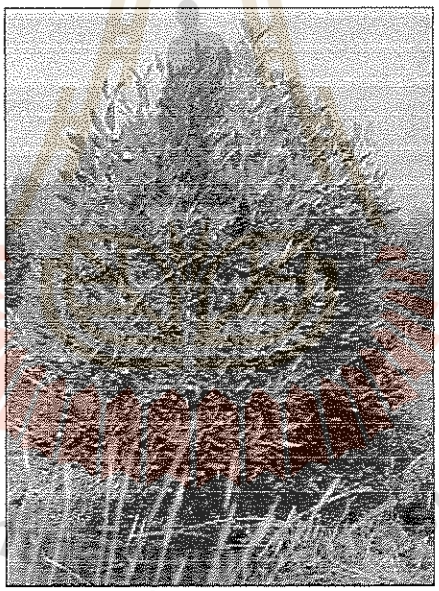
ชื่อพืชไทย โกงกาง

ชื่อวิทยาศาสตร์

โกงกางใบเล็ก : *Rhizophora apiculata Bl.*

โกงกางใบใหญ่ : *Rhizophora mucronata poir.*

ชื่อวงศ์ Rhizophoraceae



ภาพที่ 4.43: ต้นโกงกาง

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

เซลล์ผิวใบมีผนังหนา เป็นแผ่นมัน และมีปากใบที่ผิวใบด้านล่าง ลักษณะเช่นนี้พบในทุกพืชของป่าชายเลน ซึ่งทำหน้าที่สำหรับป้องกันการระเหยของน้ำจากส่วนใบ ใบมีลักษณะอวบน้ำ มีรากหายใจแทงออกจากต้นลงดิน เพื่อช่วยค้ำยันลำต้นด้วย มีผลงอกขณะอยู่ติดบนลำต้น ในโกงกาง ในดอก 1 ดอก มีรังไข่ 1 อัน และมีโอวุล 4 อัน แต่มีเพียงโอวุลเดียวที่เจริญเป็นเมล็ด และเมล็ดของพืชนี้ไม่มีการฟักตัว จะเจริญทันทีขณะผลยังติดบนต้นแม่ เมื่อฝักแก่ตื้มที่จะหล่นปักเลนโดนต้น หรือลอยไปตามกระแสน้ำ ต่อมาจะงอกรากและเจริญเป็นต้นใหม่ต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง **"ความสามารถของโกงกางใบเล็ก *Rhizophora apiculata* เพื่อการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง"** เน้นการศึกษาการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ผลการศึกษานั้นชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้โกงกางใบเล็กในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้ดี ซึ่งโกงกางใบเล็กมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้ประมาณร้อยละ 80-90 (เจนจิรา แก้วรัตน์, 2541)

งานวิจัยเรื่อง **"ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk และแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในดินเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน"** ผลการศึกษาพบว่า กล้าไม้โกงกางใบใหญ่สามารถกำจัดบีดี 59.60-72.08% แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 84.47-89.46% ไนเตรท-ไนโตรเจน 59.09-67.90% ไนไตรท์-ไนโตรเจน 57.61-66.89% ไนโตรเจนทั้งหมด 64.64-72.47% ออร์โธฟอสเฟต 51.49-68.30% และฟอสฟอรัสทั้งหมด 53.77-63.06% (ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543)

6. ต้นแสม

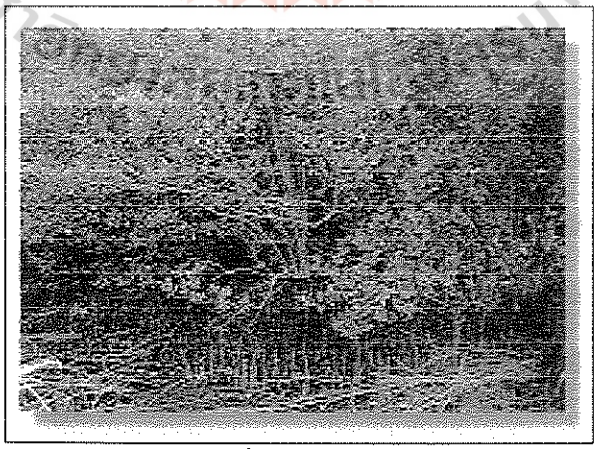
ชื่อพืชไทย แสมขาว แสมดำ แสมทะเล

ชื่อวิทยาศาสตร์

แสมขาว : *Avicennia alba*

แสมดำ : *Avicennia officinalis*

แสมทะเล : *Avicennia marina*



ภาพที่ 4.44: ต้นแสม

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

เซลล์ผิวใบมีผนังหนา เป็นแผ่นมัน และมีปากใบที่ผิวใบด้านล่าง ลักษณะเช่นนี้พบในทุกพืชของป่าชายเลน ซึ่งทำหน้าที่สำหรับป้องกันการระเหยของน้ำจากส่วนใบ ใบแสมมีต่อมขับเกลือ ช่วยควบคุมระดับความเข้มข้นของเกลือในพืชโดยขับออกจากส่วนใบ มีรากหายใจโผล่ออกจากดิน มีผลงอกขณะอยู่ติดบนลำต้น ในโกงกาง ในดอก 1 ดอก มีรังไข่ 1 อัน และมีโอวุล 4 อัน แต่มีเพียงโอวุลเดียวที่เจริญเป็นเมล็ด และเมล็ดของพืชนี้ไม่มีการฟักตัว จะเจริญทันทีขณะผลยังติดบนต้นแม่ เมื่อฝักแก่ตื่มที่จะหล่นปักเลนโคนต้น หรือลอยไปตามกระแสน้ำ ต่อมาจะงอกรากและเจริญเป็นต้นใหม่ต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง **"ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk และแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในดินเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน"** ผลการศึกษาพบว่า กล้าไม้แสมทะเลสามารถกำจัดบีดี 62.31-66.32% แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 80.23-84.47% ไนเตรท-ไนโตรเจน 55.61-69.20% ไนไตรท์-ไนโตรเจน 52.29-66.64% ไนโตรเจนทั้งหมด 64.44-70.08% ออร์โธฟอสเฟต 48.57-60.49% และฟอสฟอรัสทั้งหมด 51.40-62.68% (ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543)

7. กกอียิปต์

ชื่อพืช กกอียิปต์

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperus papyrus*

ชื่อสามัญ Egtptian paper plant

ภาพที่ 4.45: ต้นกกอียิปต์

ลักษณะเด่นและคุณสมบัติพิเศษ

นำเข้ามาปลูกเป็นไม้ประดับในประเทศไทยนานแล้ว ชอบขึ้นในที่มีน้ำขัง กกอียิปต์มีลำต้นใต้ดิน เป็นเหง้าขนาดใหญ่แตกไหลได้ มีลำต้นกลมผิวเขียวเป็นมันเหนือผิวน้ำ สูงประมาณ 1.2-2.4 เมตร ดอกออกเป็นช่อกลมใหญ่ที่ปลาย ขยายพันธุ์โดยการแยกหน่อและเมล็ด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยเรื่อง **"สมรรถนะการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นในการขัดแต่งน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม"** เป็นการศึกษาสมรรถนะการบำบัดในการขัดแต่งน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ปลูกด้วยต้นพุทธรักษา ต้นกกอียิปต์แคระและต้นคล้าน้ำ บนวัสดุรองรับที่เป็นดิน ส่วนผสมระหว่างดินกับผงถ่าน 1:1 และดินผสมกับผงถ่านอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 5 วัน ตรวจวัดประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและสี จากผลการทดลอง ประสิทธิภาพของพืชทั้งสามชนิดในการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสี อยู่ในช่วง 24-83% 45-72% 28-67% (ศิราณี, 2545)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

Angsupanich, S. (1994). **Diversity and Abaundance of Plankton in Mangrove in Estury at a Khao Canal, Phang-nga Bay. J. of Aqua.** Sci. Vol 1(1): 78-91.

Armstrong, W. 1967a. The oxidizing activity of roots in waterlogged soils. Physiol. Plantarum. 20 : 920-926.

Armstrong, W. 1967b. The use of polarography in the assay of oxygen diffusing from roots in anaerobic media. Physiol. Plantarum. 20 : 540-553.

Armstrong, W. 1967c. The relationship between oxidation-reduction potentials and oxygen-diffusion levels in some waterlogged organic soils. J. soil Sci. 18 (1): 27-34.

Brix. (1994). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Cooper et al. (1996). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Faulkner และ Richardson. (1989). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Gill, A.M. and P.B. Tomlinson. (1997). **Studies of the Growth of Red Mangrove** (Rhizophara mangle) 4. Adult Rot System. Biotropica 9: 145-155.

Grace, J.B. and Wetzel, R.G. (1998). **Long-term dynamics of *Typha* populations.** Aquat. Bot. 61:137-146.

Jespersen, D.N., Sorrell, B.K. , and Brix, H. (1998). **Growth and root oxygen release by *Typha latifolia* and its effects on sediment methnogenesis.** Aquat. Bot. 61:165-180.

Kadlec. R.H. and R.L. Kinght. (1996). **Treatment Wetlands.** United State of America : CRC Press.

Knapp, A.K. and Yavitt, J.B. (1995). **Gas exchange characteristics of *Typha latifolia* L., from nine sites across North America.** Aquat. Bot. 49: 203-215.

Lindsay. (1979). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Nester et al. (1983). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Patrink, R. (1971). Diatom communities**. In The Structure and Function of Fresh-water Microbial Communities**. J. Cairns.

Patrick และ Khalid. (1974). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Richardson. (1985). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Richardson และ Vaithiyanathan. (1995). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Skerman, P.L. and F. Riverose. (1990). **Tropical Grasses**. F.A.O. Rome.

Stowell et al. (1981). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Vymazal et al. (1998). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

Watson et al. (1989). อ้างถึงใน **กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). **การบำบัดน้ำเสีย** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.pcd.go.th.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.** กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

กลไกของการกำจัดมลสารในระบบบึงประดิษฐ์ [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.apec-vc.in.th/th/common/common2-1-2.jsp. (2548).

จิติมา วสุสิน. (2539). **การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย กรณีศึกษา: น้ำเสียจากศูนย์ศาลายา**. ปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

เจนจิรา แก้วรัตน์. (2541). **ความสามารถของโกงกางใบเล็ก *Rhizophora apiculata* เพื่อการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง.** ปริญญามหาบัณฑิต วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ถิรพงษ์ เนียรวิฑูรย์, ธวัชชัย ถิรมนัส และวรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์. (2540). **การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากที่พักอาศัยโดยระบบสระพักน้ำผันสภาพร่วมกับการใช้ผักตบชวา.** วารสารวิจัย มข. 2(2): 72-85.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และ จงรักษ์ จันเจริญสุข. (2532). **การวิเคราะห์ดินและพืช.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรรมเรศ เชื้อสาวถีและกรรณิการ์ ว่องวุฒิญาณ. (2538). **การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยผักตบชวา พุทธรักษา และกกกลม.** วารสารแก่นเกษตร. 23(3): 121-129.

บุญรอด สวัสดิ์พานิช. (2540). **ประสิทธิภาพของระบบพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน.** ปริญญามหาบัณฑิต เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปิยวรรณ สายมโนพันธ์. (2543). **ความสามารถของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ *Rhizophora mucronata* Lamk และแสมทะเล *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในดินเลนที่มีโครงสร้างต่างกัน.** ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชรี ธีรจินดา, ขจรมงคล ต๊ะอุ่นและสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า. (2545). **การวิจัยศักยภาพของหญ้าแฝกในการบำบัดน้ำเสียเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.** บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พัฒนี จันทรโรทัย. (2536). **ข้อพิจารณาในการใช้พืชปรับปรุงคุณภาพน้ำ.** วารสารวิทยาศาสตร์ ม.ก. 11(3): 154-157.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. (2528). **เคมีของดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2543). **คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแปลงพืชป่าชายเลน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2543). **คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2543). **คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2543). **คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบหญ้ากรองน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2546). **แหลมผักเบี้ย การศึกษาการกำจัดขยะแบบประหยัดและการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.chaipat.or.th

ราชบัณฑิตยสถาน. (2547). **หนังสืออนุกรมวิธานพืช อักษร ก.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ราชบัณฑิตยสถาน.

รุจิรัชน์ มันตาพันธ์. (2537). **ประสิทธิภาพที่ลุ่มน้ำขังที่ปลูกกกจันทบูรณ์ (Cyperus corymbosus) ในการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 จากหอพักนักศึกษา.** ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ลักษณี คณานิธินันท์. (2539). **ประสิทธิภาพของกกกลม (Cyperus corymbosus) ธูปฤาษี (Typha angustifolia) อ้อ(Phragmites australia)และแห้วทรงกระเทียม(Elocharis dutcis) ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ.** ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันชัย อิงปัญจลาภ. (2536). **ป่าชายเลน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม. (2545). **วารสารสิ่งแวดล้อม มก. KU JOURNAL ENVIRONMENT** ปีที่ 1 ฉบับที่ 1.

ศิราณี สระภักดิ์. (2545). **สมรรถนะการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นในการขัดแต่งน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม.** ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศศิธร พุทธวงค์. (2538). **ประสิทธิภาพของกกกลม (Cyperus corymbosus) และแห้วทรงกระเทียม (Elocharis dutcis) ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสียชุมชน.** ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สนิท อักษรแก้ว. (2541). **ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรรเพชญ ตังกิตติตระกูล. (2541). **ผลของผักตบชวาต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.** ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาสัตวแพทยศาสตร์(สาธารณสุขศาสตร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. (2538). **การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2546). **โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริด้านสิ่งแวดล้อม** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.kanchanapisak.or.th

สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. (2535). **เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์จากกก** กองส่งเสริมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ

สุขเกษม เจริญจันทร์. (2545). **น้ำเสียเป็นน้ำใสด้วยพืชน้ำและเครื่องกลเติมอากาศ** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.chaipat.or.th/journal/aug02/wastwwaterth.html

สุชาดา ศรีเพ็ญ. (2530). **พรรณไม้น้ำ**. ภาควิชาพฤกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรชัย มัจฉาชีพ. (2538). **วัชพืชในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แพร่พิทยา.

สุภาพร จันทร์รุ่งเรือง และ เมธี มณีวรรณ. (2537). **การใช้ประโยชน์จากธูปฤาษี**. วารสารพัฒนาที่ดิน, 31 (351-352): 58-59.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี