



## เอกสารผลงาน

### การพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

นายพิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวาท

นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ

ตำแหน่งเลขที่ 166 ส่วนเฝ้าระวังและเตือนภัย

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

เสนอขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ

ตำแหน่งเลขที่ 161 ส่วนเฝ้าระวังและเตือนภัย

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ปีงบประมาณ 2560

การพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

นายพิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวัต  
นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ  
ตำแหน่งเลขที่ 166 ส่วนเฝ้าระวังและเตือนภัย  
สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

เสนอขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ  
ตำแหน่งเลขที่ 161 ส่วนเฝ้าระวังและเตือนภัย  
สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3  
สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม  
ปีงบประมาณ 2560

## บทคัดย่อ

หลอดฟลูออเรสเซนต์จัดเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่งเมื่อหมดอายุการใช้งาน เนื่องจากภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์มีสารปรอทเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่เดียวกัน องค์ประกอบส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบการเก็บรวบรวมและขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานไปกำจัดอย่างถูกวิธี ดังนั้นหากหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าวส่วนใหญ่ยังคงถูกนำไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยได้ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับองค์ประกอบส่วนท้องถิ่นได้นำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดสภาพการใช้งานในพื้นที่ของตนเอง โดยดำเนินการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์รวมทั้งมีระบบป้องกันการแพร่กระจายของไอปรอทให้สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมและยาวตรงได้, ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์, วิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

การพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ออกแบบและผลิตให้สามารถใช้งานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมและยาวตรงได้ มีขนาดของเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์เล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร และระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 7-11 หลอดต่อนาที และใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ในการทำปฏิกิริยากับไอปรอทในภาชนะที่ปิดเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของไอปรอท ซึ่งมีต้นทุนในการผลิต

เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 15,000 บาทต่อเครื่อง ต้นทุนในการดำเนินงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์คิดเป็น 0.40 บาทต่อหลอด และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่ง พบว่าในกรณีไม่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีต้นทุน 0.97 บาทต่อหลอด และกรณีที่ใช้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์มีต้นทุน 0.80 บาทต่อหลอด ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 0.17 บาทต่อหลอด หรือคิดเป็นร้อยละ 18 ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัด

การผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าว ออกแบบเป็นระบบปิดเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของไอปรอทในขณะบดย่อย ควรตรวจสอบรอยเชื่อม รอยต่อต่างๆหรือใช้เครื่องมือตรวจวัดไอปรอทก่อนนำไปใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานมั่นใจในปลอดภัยในการปฏิบัติงานรวมทั้งในปัจจุบันชนิดของหลอดไฟมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น หลอดตะเกียบ หลอด LED เป็นต้น ดังนั้นควรมีพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้สามารถบดย่อยหลอดชนิดอื่นๆได้

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ของสำนักงาน  
สิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งจากนายเคชา งามนิ  
กุลชลิน อดีตผู้อำนวยการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 และคุณอานนท์ ลาวัลย์กุล  
นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ในการให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะการ  
พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัย  
ให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้งานศึกษาวิจัยดังกล่าวสำเร็จ  
ลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนั้น ขอขอบคุณเพื่อนๆ บุคลากรของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ทุก  
ท่านที่ได้ให้ความกรุณาเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์  
ให้กับประชาชนและหน่วยงานต่างๆ ในพื้นที่ และมีหลายหน่วยงานสนใจที่จะนำ  
แนวคิดดังกล่าวไปดำเนินการให้เกิดผลเป็นรูปธรรม เช่น เทศบาลตำบลท่าวังผา  
จังหวัดน่าน , องค์การบริหารส่วนตำบลมะตูม จังหวัดพิษณุโลก

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์กับหน่วยงานและประชาชนใน  
พื้นที่ จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เพื่อนบุคลากรสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ทุก  
ท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุก  
ท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

พิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวัต

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	
สารบัญภาพประกอบ	
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
ระยะเวลาดำเนินการ	2
ขอบเขตการศึกษา	2
สัดส่วนของผลงาน	3
ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานของผู้ขอรับการประเมิน	4
ข้อจำกัดของการศึกษา	6
ความยุ่งยากซับซ้อนของผลงาน	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 แนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
ทฤษฎีเกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์	8
คุณสมบัติของสารปรอท	13
ข้อปฏิบัติความปลอดภัยการปนเปื้อนของปรอท	16

## สารบัญญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การกำจัดสารปรอท	17
การจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของประเทศไทย	19
การบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย	20
เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	22
3 วิธีการดำเนินงาน	28
การออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์และ	
การควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท	28
การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอด	
ฟลูออเรสเซนต์	37
การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดโดยเครื่องบดย่อยหลอด	
ฟลูออเรสเซนต์	38
4 ผลการดำเนินงาน	39
การศึกษาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น	39
ผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	42
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดโดยเครื่องบดย่อยหลอด	
ฟลูออเรสเซนต์	43
ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่ง	45
การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	47
การประเมินความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องเครื่องบดย่อย	
หลอดฟลูออเรสเซนต์	48

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
สรุปผลการดำเนินงาน	50
ข้อเสนอแนะ	51
ภาคผนวก	53
ก ภาพประกอบการสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	54
ข คู่มือการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	60
ค แบบรายละเอียดเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	69
ง แบบประเมินการทำงานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3	74
บรรณานุกรม	75
ประวัติผู้เขียน	76
คำรับรองผู้บังคับบัญชา	77



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 สัดส่วนของผลงานการพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	3
2 ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานของผู้รับการประเมิน	4
3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท	13
4 วิธีการทำลายสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะประเภท	21
5 หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุในการผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	29
6 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	42

## สารบัญภาพประกอบ

ภาพ	หน้า
1 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวตรง (Straight Fluorescent Lamp)	9
2 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบวงกลม (Circular Fluorescent Lamp)	9
3 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพกต์ (Compact Fluorescent Lamp)	10
4 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์	11
5 รูปลักษณะฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	11
6 Phosphor Coating	12
7 องค์ประกอบหลอดฟลูออเรสเซนต์	12
8 แสดงขั้นตอนของแนวทางในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์	20
9 รายละเอียดเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์มหาวิทยาลัยบูรพา	23
10 ชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มหาวิทยาลัยบูรพา	24
11 องค์ประกอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	25
12 ส่วนประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท	26
13 ส่วนประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	32
14 มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	33
15 ชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	33
16 ชุดช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์	34
17 แสดงภาชนะเก็บกากหลอดฟลูออเรสเซนต์และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	35

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
18 สาร $\text{Na}_2\text{S}$ และภาชนะเก็บสารเคมีขนาด 0.5 ลิตร	36
19 แสดงหัวฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	37
20 ชุดบดย่อยและซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น	40
21 แสดงภาชนะเก็บกากสารปรอทขนาด 230 ลิตร	40
22 แสดงชุดฉีดพ่นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	41
23 แสดงภาพเปรียบเทียบซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3	43
24 การจัดนิทรรศการเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในการประชุมชี้แจง Road Map การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย	47
25 อบต.มะตูม ศึกษาดูงานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2557	48
26 ผลการประเมินการเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	49
27 แสดงเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3	54
28 แสดงกรอบโครงสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมล้อเลื่อน	55
29 แสดงชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	55
30 แสดงส่วนช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลม	56
31 แสดงส่วนช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมและยาวตรงเมื่อประกอบเสร็จ	56
32 แสดงภาชนะพลาสติกชนิด HDPE ความจุ 40 ลิตร รวมรวมชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์	57
33 แสดงภาชนะเก็บสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความจุ 0.5 ลิตร	57

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
34 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้า	58
35 แสดงสารโซเดียมซัลไฟด์	58
36 องค์ประกอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	60
37 ชุดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล	61
38 แสดงขั้นตอนการจัดเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	63
39 การใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	66

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ให้แสงสว่างนวลสบายตา มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดแบบมีไส้ ถึง 8 เท่า และให้ความสว่างมากกว่าในกำลังวัตต์ที่เท่ากัน โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์มีส่วนประกอบหลัก คือ แก้ว ส่วนที่เหลือ ประกอบด้วย ขั้วหลอดทำจากอลูมิเนียม ผงฟอสเฟออร์สำหรับเคลือบผิวหลอดเพื่อการเรืองแสง นอกจากนี้ ภายในหลอดยังบรรจุด้วยสารปรอท จึงทำให้ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ถือเป็นของเสียอันตราย ในขณะเดียวกัน จากข้อมูลการสำรวจซากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทยพบว่า มีซากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วทั่วประเทศประมาณ 40 ล้านหลอดต่อปี (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ , 2550) โดยที่สารปรอท เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน เมื่อหลอดฟลูออเรสเซนต์แตก ไอปรอทจะระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม หากสูดดมเข้าไปจะทำให้สารปรอทเข้าไปสะสมในร่างกาย และเกิดผลกระทบต่อระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ นอกจากนี้การทิ้งซากหลอดฟลูออเรสเซนต์รวมไปกับขยะมูลฝอยทั่วไป มีโอกาสทำให้สารปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในซากหลอดฟลูออเรสเซนต์แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และหากปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำและเข้าสู่วงจรอาหาร จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก และยากต่อการแก้ไขในภายหลัง ดังนั้นหากไม่มีระบบการจัดการที่ดีสารปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานอาจก่อให้เกิดอันตรายและส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้

ปัจจุบันการจัดการของเสียอันตรายจากชุมชน โดยเฉพาะหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ส่วนใหญ่ถูกเก็บรวบรวมไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชน

เป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานในสถานที่  
 กำจัดขยะมูลฝอย รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงได้ มีองค์กร  
 ปกครองส่วนท้องถิ่นบางพื้นที่ที่ได้ริเริ่มมีการจัดเก็บรวบรวมหลอดฟลูออเรสเซนต์  
 และนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เช่น เทศบาลนครพิษณุโลก เป็นต้น หากแต่ในการเก็บ  
 รวบรวมและขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัดก่อนข้างจะสิ้นเปลืองพื้นที่ในการ  
 จัดเก็บ และมีความเสี่ยงในการเคลื่อนย้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแตกหักและส่งผลให้  
 สารปรอทแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 จึงได้พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์  
 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมและขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการ  
 ใช้งานได้มากขึ้น และเป็นแนวทางให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนำไปใช้ในการ  
 จัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในพื้นที่ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาต้นทุนการดำเนินการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

## 1.3 ระยะเวลาดำเนินการ

6 เดือน (เมษายน 2557 – กันยายน 2557)

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมการ  
 ควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอทที่สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน  
 ไม่น้อยกว่า 6 หลอดต่อนาที

1.4.2 สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดยาวตรง และหลอดกลม ได้ และมีความละเอียดของเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดไม่เกิน 1 ตารางเซนติเมตร

1.4.3 ศึกษากระบวนการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอทในขณะบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.4.4 ศึกษาการาค่าต้นทุนต่อการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรงต่อหลอด เพื่อเป็นข้อมูลให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สนใจ

## 1.5 สักส่วนของผลงาน

การพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีผู้ร่วมดำเนินการ 2 ท่าน ประกอบด้วย นายอานนท์ ลาวัลย์กุล นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ สังกัดสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 (พิษณุโลก) และนายพิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวัต นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ สังกัด สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 (พิษณุโลก) โดยมีสักส่วนของผลงาน ดังรายละเอียดตารางต่อไปนี้

### ตาราง 1

สักส่วนของผลงานการพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ขั้นตอนการดำเนินงาน	สักส่วนของผลงาน (%)	
	นายอานนท์ ลาวัลย์กุล	นายพิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวัต
1. ศึกษากระบวนการบดย่อยและประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของภาคเอกชน	0%	5%
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งาน	0%	10%
3. ออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	5%	55%
4. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	0%	5%

## ตาราง 1 (ต่อ)

### สัดส่วนของผลงานการพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

	สัดส่วนของผลงาน (%)	
	นายอานนท์ ลาวัลย์กุล	นายพิสิษฐ์ ศรีภักษานิวาท
5. วิเคราะห์ข้อมูลและต้นทุนการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	0%	5%
6. วิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัด	0%	5%
7. การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์	5%	5%
<b>รวมสัดส่วนของผลงาน</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>
<b>รวมสัดส่วนทั้งหมด</b>	<b>100%</b>	

## 1.6 ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานของผู้ขอรับการประเมิน

### ตาราง 2

#### ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานของผู้ขอรับการประเมิน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	รายละเอียดการดำเนินงาน
1. ศึกษากระบวนการบดย่อยและประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของภาคเอกชน	1.1 ประสานและดำเนินการจัดซื้อเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน 1.2 ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน ได้แก่ การบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์, การควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท และประสิทธิภาพการบดย่อย เป็นต้น
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งาน	2.1 รวบรวมเอกสารงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์
3. ออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์	3.1 กำหนดข้อกำหนดในการออกแบบ เช่น ขนาดชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์จากการบดย่อย, ระยะเวลาในการบดย่อย เป็นต้น



## ตาราง 2 (ต่อ)

### ขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานของผู้ขอรับการประเมิน

3. ออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อย หลอดฟลูออเรสเซนต์ (ต่อ)	<p>3.2 ออกแบบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมี ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนบดย่อย , ส่วนป้องกัน การแพร่กระจายสารปรอท และส่วนเก็บกักเศษชิ้นส่วน หลอดฟลูออเรสเซนต์</p> <p>3.3 ประสานและจ้างผู้รับจ้างผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออ เรสเซนต์</p> <p>3.4 ทดสอบการบดย่อยและปรับปรุงแก้ไขเครื่องบดย่อย หลอดฟลูออเรสเซนต์</p>
4. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรส เซนต์	4.1 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อย หลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพิจารณาตามข้อกำหนดในการ ออกแบบ ได้แก่ ขนาดของชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ และระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์
5. วิเคราะห์ข้อมูลและต้นทุนการ ทำงานของเครื่องบดย่อยหลอด ฟลูออเรสเซนต์	<p>5.1 กำหนดรายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องบด ย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์</p> <p>5.2 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายแต่ละรายการในการทำงานเครื่องบด ย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์</p>
6. วิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งหลอด ฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัด	<p>6.1 สืบค้นค่าใช้จ่ายว่าจ้างในการขนส่งของเสียอันตราย</p> <p>6.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการขนส่งหลอดฟลูออเรส เซนต์</p> <p>6.3 ประเมินค่าใช้จ่ายในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์</p>
7. การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์	<p>7.1 ร่วมจัดนิทรรศการในประชุมชี้แจงRoad Map การจัดการ ขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย วันที่ 23 กันยายน 2557</p> <p>7.2 สนับสนุนเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ เทศบาลตำบลท่าวังผาเพื่อใช้ในการจัดการหลอดฟลูออเรส เซนต์ในพื้นที่</p> <p>7.3 จัดทำฐานการเรียนรู้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ณ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 (พิษณุโลก) เพื่อให้เป็น แหล่งศึกษาดูงานในพื้นที่</p>

## 1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

การพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ชนิดผงเพื่อทำปฏิกิริยากับไอปรอทและตกตะกอนลงในภาชนะชนิด HDPE ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้นหากได้มีการทดสอบการรั่วไหลของไอปรอทจากเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่เนื่องจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 และกรมควบคุมมลพิษไม่มีเครื่องมือสำหรับตรวจวัดไอปรอท จึงไม่สามารถดำเนินการทดสอบการรั่วไหลของไอปรอทในระหว่างการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้

## 1.8 ความยุ่งยากซับซ้อนของผลงาน

1.8.1 องค์ความรู้ในการพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จำเป็นต้องบูรณาการองค์ความรู้หลายๆ ด้าน เพื่อผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ เช่น

1) องค์ความรู้ด้านเครื่องกล ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์การบดย่อยให้ได้เศษชิ้นส่วนของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร และใช้ระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่น้อยกว่า 6 หลอดต่อนาที รวมทั้งการออกแบบให้สามารถใช้งานได้สะดวก และปลอดภัย

2) องค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ใช้ในการศึกษาการป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์ในขณะที่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ในปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยากับสารปรอท เพื่อลดการแพร่กระจายของสารปรอทออกสู่สิ่งแวดล้อม

3) องค์ความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์ ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่สนใจ

## 1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.9.1 เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามข้อกำหนดการออกแบบ (บดย่อยได้ไม่น้อยกว่า 6 หลอดต่อ นาที , ขนาดของเศษชิ้นส่วนเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร) รวมทั้งง่ายต่อการใช้งานและการขนย้าย

1.9.2 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนำเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปใช้งานในพื้นที่ เพื่อเก็บรวบรวมก่อนที่จะนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

1.9.3 ลดปริมาณหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่จะนำไปกำจัดร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชน

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดเรืองแสงประเภทหนึ่ง ให้แสงสว่างโดย การเรืองแสงของสารเรืองแสงภายในหลอดประกอบด้วยหลอดแก้วยาวๆ ที่หัวท้ายจะมีขาคอดด้านละ 2 ขา ซึ่งอยู่กับอิเล็กโทรด (Electrode) ภายในหลอดนี้อิเล็กโทรดนี้ทำด้วยโลหะทั้งสแตนเลสเล็กๆ แล้วเคลือบด้วยวัสดุเคมีเรียกว่า Active material ซึ่งประกอบขึ้นจากแบเรียม (Barium) และสตรอนเตียมคาร์บอเนต (Strontium Carbonate) ทำหน้าที่กระจายอิเล็กตรอนจากอิเล็กโทรดหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง ทั้งยังช่วยให้อิเล็กโทรดทนทาน ไม่เปราะหรือขาดง่ายเมื่อร้อนจัด ที่หัวท้ายทั้งสองไม่มีส่วนที่เป็นตัวนำต่อถึงกันเลย ภายในบรรจุด้วยไอปรอท และก๊าซอาร์กอน หรือส่วนผสมของก๊าซอาร์กอน และก๊าซนีออน ที่ผิวด้านในของหลอดถูกเคลือบด้วยสารฟอสเฟอร์ (Phosphor) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ที่เกิดขึ้นภายในหลอดซึ่งตามองไม่เห็น ให้เป็นแสงที่ตามองเห็น (Visible light)

##### 2.1.1 ลักษณะของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ให้แสงสว่างมากกว่าหลอดไส้ประมาณ 3-4 เท่า ถูกสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ เช่น ยาวตรง (Slim Line) วงกลม (Circular) และ ชนิดคอมแพคต์ (Compact Fluorescent Lamp) ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน ดังภาพ 1-3



ภาพ 1 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวตรง (Straight Fluorescent Lamp)



ภาพ 2 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบวงกลม (Circular Fluorescent Lamp)



ภาพ 3 ตัวอย่างหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมแพคต์(Compact Fluorescent Lamp)

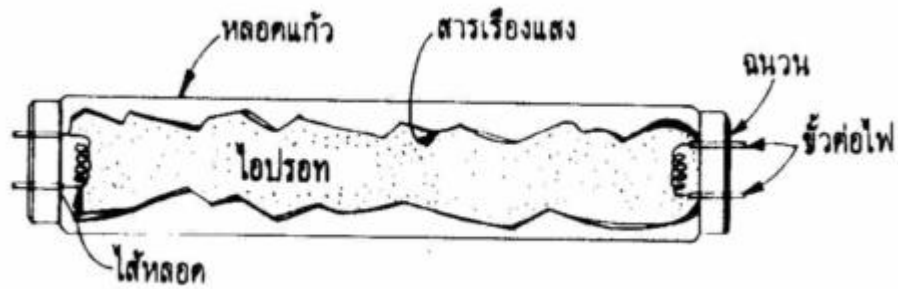
ลักษณะภายในที่พบเห็นทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์มี 2 แบบ คือ

- แบบที่เป็นแท่งทรงกระบอกสีขาวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 นิ้ว ยาว 1-2 นิ้ว ยาว 1, 2, 4 และ 8 ฟุต ตามขนาดกำลังไฟฟ้า คือ ขนาด 10 วัตต์ ยาว 1 ฟุต , ขนาด 36 วัตต์ ยาว 4 ฟุต เป็นต้น ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดมีขั้วหลอดข้างละ 2 ขั้ว เรียกว่า อิเล็กโทรด (Electrode)
- แบบที่เป็นรูปวงกลมสีขาว ขั้วหลอดทั้งสองข้างจะอยู่ติดกันรวมเป็น 4 ขั้ว เวลาใช้งานต้องใส่ในโคมพิเศษ มีชอกเชื่อมต่อขั้วหลอดแบบเฉพาะ

### 2.1.2 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ส่วนประกอบภายในที่ปลายหลอดทั้งสองข้าง จะมีไส้หลอดทำด้วยทังสเตน และเคลือบสารเคมีที่ช่วยในการกำเนิดอิเล็กตรอนได้มากๆ เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าเข้าไปภายในหลอดแก้วบรรจุก๊าซอาร์กอน และไอปรอทเอาไว้ด้วยและที่ผนังด้านในของหลอด เคลือบสารฟอสเฟอร์เอาไว้ (มองเห็นจากภายนอกเป็นสีขาว) เพื่อปรับแสงอุล

ตราไวโอเลตที่เกิดขึ้นจากการจุดไส้หลอดให้ทำปฏิกิริยากับฟอสเฟอร์ แล้วเปล่งแสงสีขาวนวลออกมา ซึ่งส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์แสดง ดังภาพ 4



ภาพ 4 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

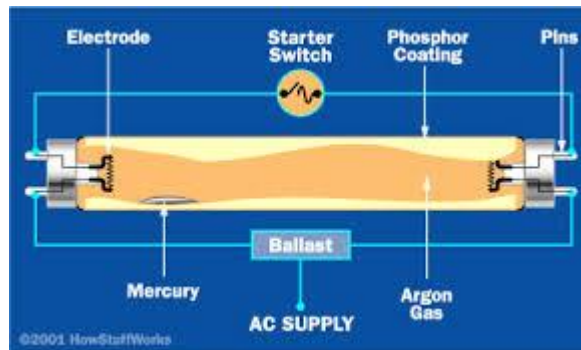
หลอดแก้ว (Bulb) ฟลูออเรสเซนต์ส่วนใหญ่จะเป็นหลอดทรงกระบอก มีหลายขนาด เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $5/8$ ,  $2 \frac{1}{2}$  และ  $1 \frac{1}{2}$  นิ้ว ซึ่งเป็นแบบที่นิยมมากที่สุด ที่ขั้วยึดของหลอดแก้วจะเติมก๊าซเข้าไปข้างในและป้องกันอากาศข้างนอกเข้าไป ฐาน (Base) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนใหญ่เป็นแบบ 2 ขา (Bi-Pin) ผลิตจากอลูมิเนียม ดังภาพ 5



ภาพ 5 รูปลักษณะฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

สำหรับสารปรอทเหลว (Mercury) ถูกบรรจุเข้าไปในหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยระเหยเป็นไอที่ความดันต่ำ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปโดยอาศัยไอปรอทนี้ เป็นเหตุให้

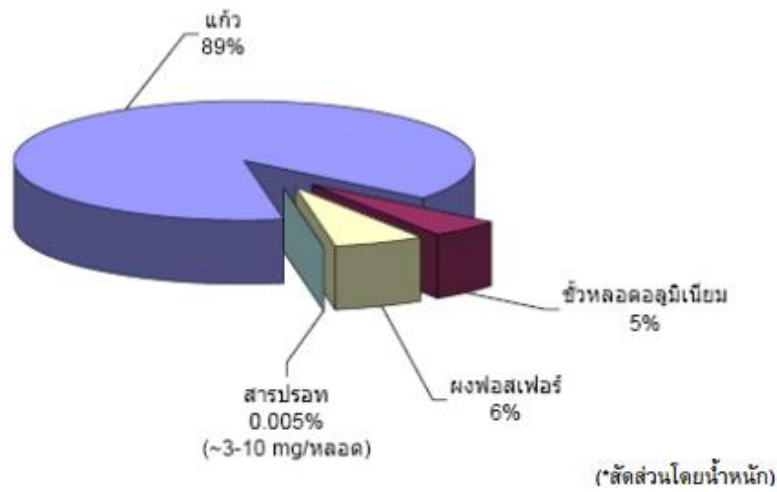
เกิดแสงอัลตราไวโอเล็ตขึ้น หลอดฟลูออเรสเซนต์จะบรรจุด้วยอนุภาคเล็กๆ ของ อาร์กอนหรือส่วนผสมของอาร์กอนกับนีออน หรือบางครั้งใช้คริปตรอน (Krypton) การเติมก๊าซนี้เพื่อช่วยให้ไอปรอทเกิดแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ง่ายขึ้น ผงฟอสเฟอ์ (Phosphor coating) เป็นสารเคลือบผิวด้านในของหลอดแก้ว เมื่อฟอสเฟอ์ถูกกระตุ้น ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ตามองไม่เห็น สารฟอสเฟอ์จะคายพลังงานออกมาเป็นแสง ที่ตามองเห็นได้ ด้วยการเรืองแสง ซึ่งสีของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนผสมของ ฟอสเฟอ์ที่ใช้เคลือบหลอด ดังภาพ 6



ภาพ 6 Phosphor coating

ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถนำไปรีไซเคิลได้กว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะต้องมีวิธีการที่ถูกต้องในการคัดแยกองค์ประกอบเพื่อนำไปรีไซเคิล โดยป้องกันผลกระทบจากสารปรอทที่อยู่ภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดย องค์ประกอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์มีรายละเอียดภาพ 7





ภาพ 7 องค์ประกอบหลอดฟลูออเรสเซนต์

## 2.2 คุณสมบัติของสารปรอท

ปรอท (Mercury) เป็นโลหะหนักในสภาวะอุณหภูมิปกติปรอทที่มีความบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว มีสีขาวคล้ายเงิน จึงมีชื่อเรียกว่า “Liquid Silver” หรือ “Quick Silver” นับเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสภาพเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิปกติ แต่ก็สามารถแปรสภาพเป็นของแข็งได้ แต่จะมีความเปราะและจะระเหยเป็นไอได้ ปรอทมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ดังตาราง 3

### ตาราง 3

แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	200.59
ความหนาแน่น (Density) ที่ 20 °C	13.546 g/ml
จุดเดือด (Boiling point)	356.9 °C
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-38.87 °C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	13.545
ความสามารถละลายในน้ำ (Solubility in water)	ต่ำ

ที่มา : ปรอท , กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ.

### ความเป็นพิษต่อสัตว์

#### 1) ความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity)

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น  $0.04-3.0 \text{ mg/m}^3$  ทำให้หนูทดลอง (albino mice) ที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ในระยะเวลา 2-3 เดือน แต่ถ้าระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น  $3-5 \text{ mg/m}^3$  ปรากฏว่าหนูทดลองตายภายในระยะเวลาเพียง 115 ชั่วโมง

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น  $10-16 \text{ mg/m}^3$  ทำให้หนูทดลอง (guinea pigs) ที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายใน 3 วัน

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น  $15-20 \text{ mg/m}^3$  ทำให้สุนัขที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายในเวลา 1-3 วัน

#### 2) ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic toxicity)

- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว

- ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของต่อมไทรอยด์ลดลง

- ทำให้ขบวนการเมตาโบลิซึมของโปรตีนภายในร่างกายถูกรบกวน

- มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่อมต่างๆ ภายในร่างกาย (Endocrinal System)

- มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์

อนึ่ง สำหรับผลกระทบของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ พบว่า ปรอทที่ระดับความเข้มข้น  $0.008-0.2 \text{ mg/l}$  ทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลายชนิดในน้ำตายได้ และที่ระดับความเข้มข้นประมาณ  $0.05 \text{ mg/l}$  ปรากฏว่ามีผลให้ขบวนการสังเคราะห์แสง

ของพืชน้ำหุคชะงักลง นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการสืบทพันธุ์ของไร่น้ำค้อยลงถ้ามีปรอทปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำ 1,000 mg/l

### ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์แล้วก่อให้เกิดอันตรายโดยการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งมีประจุไฟฟ้า ไอออนดังกล่าวจะไปขัดขวางขบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้เกิดพลังงานแก่ร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่นเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งพลังงาน ซึ่งวิธีเหล่านี้ทำให้เกิดกรดแลคติก (Lactic acid) เป็นผลพลอยได้และกรดชนิดนี้เป็นผลร้ายต่อเซลล์ภายในร่างกาย โดยทำให้เซลล์ส่วนที่มีกรดเกิดขึ้นตายได้และจะปรากฏผลออกมาในรูปของการแสดงอาการผิดปกติต่างๆ ของร่างกาย

ปรอทในสถานะที่เป็นของเหลวมีความเป็นพิษไม่มากนัก แต่เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นไอจะมีพิษอย่างรุนแรง พิษของปรอททำให้เกิดอันตรายต่อระบบต่างๆ ภายในร่างกายทั้งในลักษณะที่เป็นพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ในกรณีของพิษเฉียบพลันนั้น อาจเกิดจากการได้รับปรอทด้วยสาเหตุต่างๆ เช่น การพยายามฆ่าตัวตาย หรือ การเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน เป็นต้น โดยอาการที่เกิดภายหลังจากปรอทเข้าสู่ร่างกายทางปาก ได้แก่ ปากเป็นแผลพุพอง อักเสบและมีเลือดออก นอกจากนี้ระบบทางเดินอาหารจะถูกทำลาย มีอาการเป็นเลือดรวมทั้งเกิดการอาเจียนเป็นลมหมดสติและอาจทำให้ถึงตายได้ ส่วนกรณีของพิษเรื้อรังก็จะแสดงอาการออกมาได้หลายลักษณะ คือ

- ทำลายระบบทางเดินหายใจและเนื้อเยื่อในปอด
- เกิดผลกระทบต่อระบบขับถ่ายโดยการทำลายไต ทำให้ปัสสาวะได้น้อย หรือปัสสาวะไม่ออก

- เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยทำให้ระบบประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน และการมองเห็นสูญเสียไป นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจิตใจ ความจำเสื่อม ในบางรายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านพฤติกรรมและบุคลิกลักษณะ รวมทั้งมีอาการตกใจง่าย มีความรู้สึกเศร้าสลด และชอบทะเลาะวิวาท เป็นต้น

สำหรับอันตรายเนื่องจากพิษของปรอทที่มีต่อมนุษย์นั้นมีรายงานว่าในปี ค.ศ.1956 ญี่ปุ่นมีการเกิดโรคที่เรียกว่า “มินามาตะ” (Minamata Diseases) โดยเรียกชื่อตามอ่าวมินามาตะซึ่งเป็นแหล่งที่เกิดโรคนี้ โรคดังกล่าวเกิดขึ้นกับคนที่รับประทานอาหารจำพวกปลา และหอยในอ่าวมินามาตะซึ่งมีสารประกอบปรอทเจือปนอยู่ สาเหตุการสะสมของสารปรอทในสัตว์น้ำเหล่านี้ก็เนื่องมาจากการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานผลิตพลาสติกที่มี Methylmercury ลงสู่อ่าวเป็นเวลาหลายปี ผลจากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีผู้ได้รับอันตรายถึงประมาณ 1,000-3,500 คน ซึ่งผู้ป่วยจากโรคดังกล่าวมีอาการชามือ และเท้าตลอดจน แขนขา และริมฝีปาก ต่อจากนั้นก็มีอาการอื่นๆ ตามมา คือ ม่านตาหรี่เล็ก อารมณ์หงุดหงิด กระวนกระวาย พูดช้าและไม่เป็นภาษา ฟังไม่ได้ยิน การใช้มือและเท้า หรือกลัมนเนื้อแขนขาไม่สัมพันธ์กันในรายที่มีอาการหนักมากจะควบคุมตนเองไม่ได้ และทำให้เกิดเป็นอัมพาตได้ในที่สุด

นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์เนื่องจากพิษของปรอทเกิดขึ้นในประเทศอิรักเมื่อปี ค.ศ.1971-1972 โดยมีผู้รับประทานขนมปังซึ่งทำจากเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งมีสารกำจัดเชื้อราที่มี alkylmercury เป็นองค์ประกอบตกค้างอยู่ ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 500 คน

ส่วนค่าของปรอทที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์นั้น WHO (1976 อ้างถึงใน UNEP,1984) ได้รายงานไว้ว่า ค่าดังกล่าวในเลือดอยู่ระหว่าง 200-500 ng/ml ในเส้นผมอยู่ระหว่าง 50-125 µg/g สำหรับในเด็กทารกและหญิงมีครรภ์ค่าของปรอทในเลือดและเส้นผมจะลดลงเหลือ 100 ng/ml และ 30-40 µg/g ตามลำดับ ทั้งนี้หมายถึง

ปรอทที่อยู่ในรูปของ methylmercury ซึ่งถ้าหากร่างกายมีสารปรอทเจือปนอยู่เกินกว่าระดับที่กล่าวถึงข้างต้นจะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

### 2.3 ข้อปฏิบัติความปลอดภัยการปนเปื้อนของปรอท

- 1) ห้ามสูดดมไอระเหย / ละอองลอย ไม่ควรสัมผัสกับสารโดยตรง
- 2) ห้ามใช้ไม้กวาด กวาดสารปรอทที่ไหลออกมา เนื่องจากจะทำให้ปรอทแตกออกเป็นเม็ดเล็ก และติดอยู่กับไม้กวาด อันนำไปสู่การกระจายไปที่อื่นๆ
- 3) ห้ามใช้เครื่องดูดฝุ่นดูดสารปรอท เนื่องจากจะมีสารปรอทตกค้างในเครื่องดูดฝุ่น และความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้ปรอทระเหิดเข้าสู่ทางเดินหายใจ
- 4) วิธีกำจัดที่ดี คือ สวมผ้าปิดปากปิดจมูก และใช้กระดาษแข็งกวาดสารปรอทมารวมกันและตักใส่ภาชนะหรือกระป๋องที่มีฝาปิดมิดชิด และนำไปทิ้งในขยะที่เป็นถังสำหรับขยะอันตรายเท่านั้น ส่วนที่เหลือให้กำจัดโดยทำปฏิกิริยากับ กำมะถัน (S) เกิดเป็นสารประกอบเมอร์คิวไรด์ไฟด์ กวาดสารประกอบเมอร์คิวไรด์ไฟด์มารวมกัน และตักใส่ภาชนะหรือกระป๋องที่มีฝาปิดมิดชิด จัดแยกประเภทของเสียอันตรายตามหลักเกณฑ์ เพื่อส่งไปกำจัด
- 5) เปิดหน้าต่างให้บริเวณนั้นถ่ายเทได้สะดวกอย่างน้อย 2 วัน
- 6) เมื่อสูดดม : ให้รับอากาศบริสุทธิ์ ถ้าจำเป็นให้ใช้การช่วยหายใจแบบปากต่อปาก หรือใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจ นำส่งแพทย์ทันที
- 7) เมื่อถูกผิวหนัง : ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที
- 8) เมื่อเข้าตา : ล้างด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำอย่างน้อย 10 นาที นำส่ง / พบจักษุแพทย์ทันที
- 9) เมื่อกลืนกิน : ถ้าผู้ป่วยยังมีสติให้ดื่มน้ำปริมาณมาก กระตุ้นให้อาเจียน ให้กินคาร์บอนกัมมันต์ (20-40 กรัม ในน้ำ 200-400 มิลลิลิตร) แล้วนำส่งแพทย์ทันที

### 2.4 การกำจัดสารปรอท

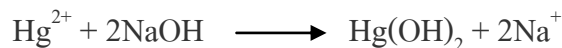
ในปัจจุบันมีวิธีที่นิยมกำจัดสารปรอทมี 3 วิธี ดังนี้

### 1) การตกตะกอนทางเคมี

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว โดยทำการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสียเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 แบบ คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

#### - การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation)

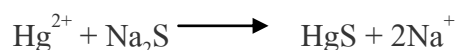
การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิมโดยเติมสารเคมีคือ ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) เกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือ โลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติ Amphoteric คือ ไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะหนักส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้จะสามารถละลายกลับมาได้อีกถ้าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปจากค่าพีเอชที่ใช้ในการตกตะกอน

#### - การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

การตกตะกอนซัลไฟด์ สารเคมีที่นิยมใช้ในการตกตะกอน คือ โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{NaHS}$ ) และ เฟอร์รัสซัลไฟด์ ( $\text{FeS}$ ) ทำปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปสารประกอบซัลไฟด์ ไอออนของโลหะหนักจะทำปฏิกิริยากับไอออนของซัลไฟด์ได้เป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์มีข้อจำกัดคือ เรื่องของกลิ่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไป จึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น โดยบำบัดน้ำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2) การดูดซับด้วยแอกทิเวเต็ดคาร์บอน อาจใช้หลังจากที่มีการบำบัดด้วยการตกตะกอนแล้ว ก็คือก่อนอื่นควรมีการกำจัดสารแขวนลอยหรืออนุภาคคอลลอยด์ของสารประกอบปรอทไม่ละลายน้ำจากนั้นปรับค่าพีเอชเป็น 2-6 จากนั้นเติมคลอรีนที่ทำให้อยู่ในสภาพออกซิเดชัน เพื่อให้ปรอทที่อยู่ในรูปคอลลอยด์นั้นกลายเป็นไอออน จึงจะทำการดูดซับได้ดีกว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับ ขึ้นอยู่กับการเลือกมวลชีวภาพสำหรับดูดซับโลหะหนักเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญ มีมวลชีวภาพหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการทำความสะอาดน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เช่น มวลชีวภาพจากกากตะกอนกัมมันต์ (Activated Sludge) ของเสียรวมทั้งสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา สาหร่าย เปลือกกุ้ง นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์เหลือใช้จากการเกษตร เช่น ฟางข้าว เปลือกสับปะรด เปลือกไข่ ฝักถั่ว เป็นต้น ที่สามารถใช้เป็นสารดูดซับได้

3) การบำบัดน้ำเสียซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์ของปรอท (Organic Mercury) ได้มีการศึกษาในหลายวิธี เช่น วิธีการดูดซับ การรีดักชัน และการออกซิเดชัน ซึ่งวิธีออกซิเดชันนับว่าเป็นวิธีที่สมบูรณ์และได้ผลดี คือให้สารอินทรีย์ของปรอทอยู่ในรูปของคลอไรด์ โคนใช้คลอรีน จากนั้นจึงใช้วิธีการตกตะกอนให้อยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ ส่วนการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอนินทรีย์ของปรอท (Inorganic Mercury) นิยมใช้สารจับโลหะหนักพวกซัลเฟอร์ วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน และวิธีออกซิเดชัน-รีดักชัน

## 2.5 การจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของประเทศไทย

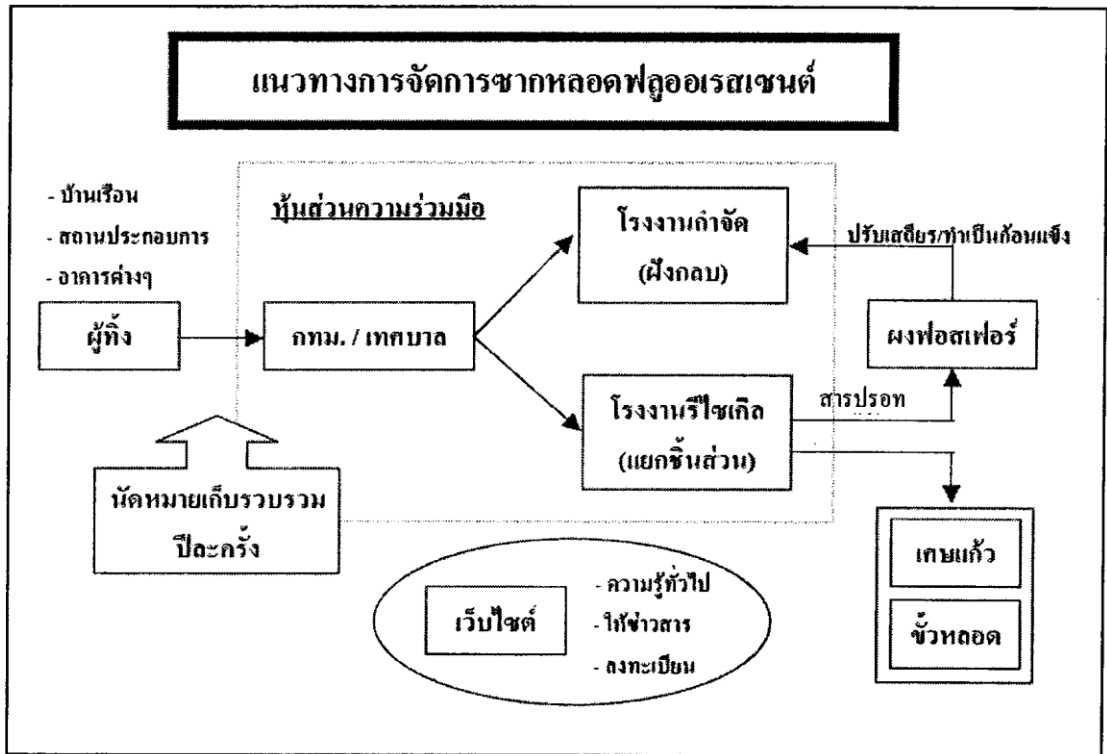
หลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อใช้แล้วจะถูกนำไปทิ้งปะปนร่วมกับมูลฝอยชุมชนและยังไม่มีวิธีการบริหารจัดการที่ถูกต้อง รวมทั้งยังขาดความรู้และความตระหนักของ

ประชาชน ซึ่งกำจัดและทำลายได้ยากมากเพราะมีองค์ประกอบที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมการจัดการของเสียอันตรายจากชุมชน โดยเฉพาะ และยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับดูแลในเรื่องนี้อย่างชัดเจน เพราะต้องใช้เทคโนโลยีในการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของหลอดฟลูออเรสเซนต์สูง ทำให้มีต้นทุนในการดำเนินงานสูง ซึ่งในปัจจุบันมีบริษัทเอกชนที่ เป็นผู้ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์เพียงบางรายที่ได้ดำเนินการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ได้แก่ ผู้ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ยี่ห้อฟิลลิปส์ โดยการนำไปรีไซเคิล แต่ส่วนใหญ่จะเป็นการให้บริการสำหรับลูกค้ารายใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมหรือสำนักงานขนาดใหญ่เท่านั้น และผู้ผลิตหลอดไฟฟ้ายี่ห้อโตชิบา ได้รับกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์เช่นเดียวกัน โดยจะรับกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งจากบ้านเรือนและสถานประกอบการทั่วไปด้วย เป็นต้น

กรมควบคุมมลพิษ ,2548 ได้วางแนวทางการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยจัดตั้งเป็นกองทุน (Partnership) โดยการประสานความร่วมมือกับกรุงเทพมหานคร และเทศบาลต่างๆ ในการเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และขอความร่วมมือกับบริษัทที่รับจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่แล้วในการขยายบริการและรับกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์





ภาพที่ 8 แสดงขั้นตอนของแนวทางในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

อย่างไรก็ตามซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากบ้านเรือนส่วนใหญ่ยังถูกทิ้งปะปนมากับขยะมูลฝอยชุมชน เนื่องจากท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจในการคัดแยก เก็บกัก และกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

## 2.6 การบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย

การบำบัดของเสียอันตราย หมายถึง การกำจัดของเสียอันตรายเพื่อลดความเป็นพิษและทำให้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม ก่อนนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายซึ่งการบำบัดของเสียอันตรายแบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นการแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอน การกรอง การเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลาง และการตกตะกอน เป็นต้น

2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการทำลายฤทธิ์ของเสียประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การทำสะเทิน การบำบัดด้วยวิธีออกซิเดชัน การ

บำบัดด้วยวิธีรีดักชั่น การทำเสถียร / การทำให้เป็นก้อนแข็ง การตกผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ เป็นต้น

3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ การย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก และการหมักทำปุ๋ย เป็นต้น

4) การบำบัดด้วยความร้อน (Thermal Treatment) การใช้ความร้อนในการบำบัดของเสียประเภทสารอินทรีย์เป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไป คือ การเผาไหม้

การกำจัดของเสียนั้นมีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของของเสียนั้นๆ เช่น การกำจัดโดยการนำไปทิ้งในทะเล การฝังกลบ การอัดลงชั้นบาดาล เป็นต้น โดยที่ของเสียเหล่านั้นต้องผ่านการบำบัดก่อน เพื่อให้มีความเหมาะสมในการกำจัดขั้นสุดท้าย

การฝังกลบเป็นวิธีที่ใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายของเสียที่เป็นของเหลวหรือสลัดจ์ ไม่เหมาะที่จะนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ ทั้งนี้เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในของเสียหรือเมื่อถูกน้ำชะละลายอาจปนเปื้อนสู่ดิน และแหล่งน้ำใต้ดินได้ง่าย

สำหรับการกำจัดของเสียอันตรายที่สารปรอทเป็นองค์ประกอบ มีวิธีการทำลายฤทธิ์ร้ายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

#### ตาราง 4

วิธีการทำลายสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะประเภท

ประเภทสิ่งปนเปื้อน	วิธีการทำลายฤทธิ์
1. กากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน	นำกากตะกอนมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ ( $\text{HgS}$ ) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additive) ผสมลงไปด้วย

#### ตาราง 4 (ต่อ)

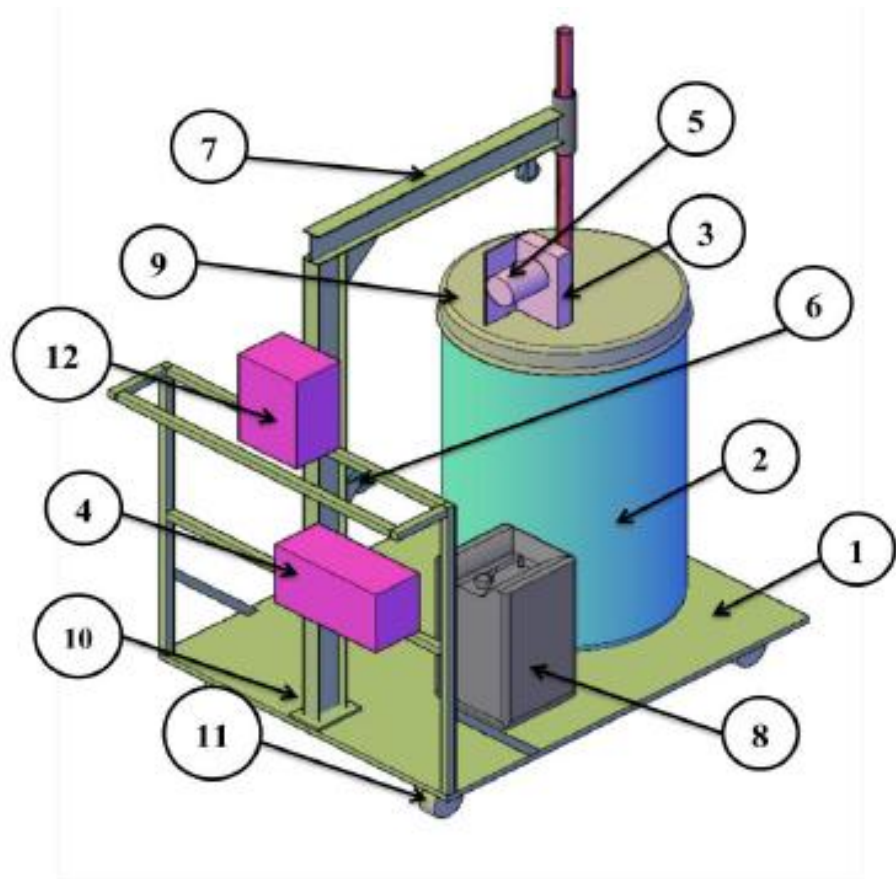
#### วิธีการทำลายสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะประเภท

ประเภทสิ่งปนื้อกมล	วิธีการทำลายฤทธิ์
2. กากของเสียเกิดจากการผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ที่มีสารปนื้อกมล	นำกากที่อาจต้องผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ทั่วถึงมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ ( $\text{HgS}$ ) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการจะเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (Additives) ผสมลงไปด้วย
3. กากตะกอนหรือฝุ่นที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส เป็นต้น	ใช้สารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ผสมกับกากตะกอนให้ทั่วกันจนสารโลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบของเกลือไฮดรอกไซด์ที่มีค่า pH ของผสมประมาณ 11 แล้วทิ้งไว้ให้แห้งในกรณีที่เป็นกากตะกอนหรือฝุ่นที่ปนื้อกมลด้วยแคดเมียม (Cd) จะต้องทำให้เป็นก้อนต่อด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์
4. กากตะกอนหรือวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วที่มีส่วนผสมของยาฆ่าแมลงยาใช้กำจัดศัตรูพืช หรือยากำจัดเชื้อราปนื้อกมล	เติมสารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ในปริมาณที่สามารถจะทำลายพิษด้วยตัวยาแต่ละชนิดได้หมด

ที่มา : ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2531 อ้างใน วรวิมล ะฆมาณ, 2546

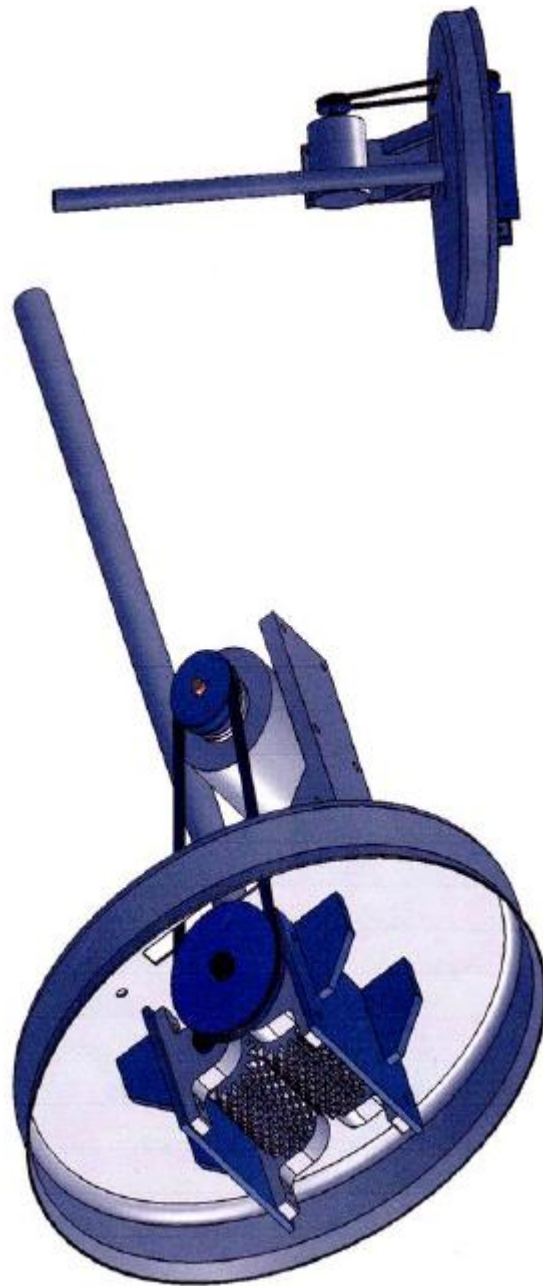
#### 2.8 เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ พร้อมระบบการควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 9 และขั้นตอนการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังภาพที่ 10 (ชัยฤกษ์ , นเรศ และไพฑูย์ , 2554)



- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. เหล็กแผ่นหนา 3 mm 1/4 แผ่น                         | 7. เหล็ก I beam ขนาด 3 นิ้ว |
| 2. ถัง 230 ลิตร                                       | 8. ถังสารเคมี               |
| 3. ชุดเฟืองบด   | 9. ฝาปิดถัง 230 ลิตร        |
| 4. ปุ่มสารเคมีอัตราการไหล (Flow Rate) 3 แกลลอนต่อนาที | 10. รถเข็นเครื่อง           |
| 5. มอเตอร์ 1/4 แรงม้า 200 Vac 1 Phase 1450 rpm        | 11. ล้อรถเข็น               |
| 6. รอก  | 12. กล้องควบคุม             |

ภาพที่ 9 รายละเอียดเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 10 ชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มหาวิทยาลัยบูรพา

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่พัฒนาโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่า สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรงเท่านั้น โดยสามารถบดย่อยได้ 7-12 หลอดต่อนาที และขนาดเศษซากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร

2) คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ พร้อมระบบควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท มีวัตถุประสงค์เพื่อบดย่อยซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หมดอายุการใช้งาน ซึ่งเป็นของเสียอันตรายเนื่องจากมีสารปรอทตกค้างอยู่ โดยสารปรอทในหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถแพร่กระจายในรูปของไอหรือถูกชะล้างออกมาเมื่อหลอดแตก ทำให้สารปรอทตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศน์และสุขภาพของประชาชน โดยมีองค์ประกอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังภาพที่ 11 (มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2552)



ภาพที่ 11 องค์ประกอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### ส่วนประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ถังพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene: HDPE) ขนาดความจุ 200 ลิตร โดยเจาะรูด้านข้างถังไว้สำหรับต่อกับถังปั๊มหรือท่อฉีดพ่นสารโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท ซึ่งถังพลาสติกทำหน้าที่เป็นถังเก็บเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านการบดย่อย โดยสามารถรองรับได้ถึง 1,300–1,400 หลอด ที่ปริมาณ 70% ของปริมาตรถังบรรจุ
2. ชุดบดย่อยที่มีใบมีดและช่องสำหรับใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของถัง มีอัตราการบดย่อย 4-6 หลอดต่อนาที
3. ส่วนควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท ประกอบด้วย ชุดฉีดพ่นสารโซเดียมซัลไฟด์



ภาพ 12 ส่วนประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท

### ขั้นตอนการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. เตรียมสาร โซเดียมซัลไฟด์ลงในถังสารเคมีตามอัตราส่วน น้ำกลั่น 15 ลิตร ผสมกับ โซเดียมซัลไฟด์ 1.32 กรัม (มีค่า pH = 11.2)
2. ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์และอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน
3. เสียบปลั๊กไฟ เพื่อให้เครื่องบดย่อยทำงาน
4. ใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ต้องการบดย่อยในถังเครื่องบด โดยสามารถใส่ได้อย่างต่อเนื่อง
5. เมื่อบดย่อยหลอดไฟที่ต้องการหมดแล้ว ถอดปลั๊กไฟออก เพื่อให้เครื่องบดย่อยหยุดทำงาน
6. ฉีดพ่นสาร โซเดียมซัลไฟด์ส่งบนหลอดที่ถูกบดย่อยทางรูด้านข้างถังที่เจาะไว้ เพื่อควบคุมการแพร่กระจายของไอปรอท
7. นำเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่บดย่อยแล้วไปกำจัดอย่างถูกหลักวิชาการด้วยวิธีการต่างๆ อาทิ
  - 7.1 ผสมปูนซีเมนต์เข้ากับเศษหลอดที่บดย่อยแล้ว ทดสอบการชะล้างของสารปรอท และนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักวิชาการ (ควรทำการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างก่อนทำการฝังกลบ)
  - 7.2 นำถังที่บรรจุเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่บดย่อยแล้วไปกำจัดทิ้งอย่างถูกหลักวิชาการ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ได้พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จากเครื่องต้นแบบของเอกชนที่จำหน่ายทั่วไป ให้มีประสิทธิภาพในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ดีขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. การออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท
2. ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์
3. การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดโดยเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

#### 3.1 การออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์และการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท

การออกแบบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท ได้พัฒนารูปแบบมาจากเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน โดยออกแบบให้สามารถที่จะกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมและยาวตรงได้ และมีระบบควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท โดยมีรายละเอียด ดังนี้

##### 3.1.1 การศึกษารูปแบบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน

ศึกษารูปแบบและขั้นตอนการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์รวมถึงปัญหาของการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อนำไปปรับปรุงให้มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ดีขึ้น

### 3.1.2 การสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

มีหลักเกณฑ์ในการออกแบบ ดังนี้

- 1) ขนาดของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีขนาดเล็ก แข็งแรงทนทาน สะดวกในการเคลื่อนย้าย และง่ายต่อการทำงาน
- 2) เศษชิ้นส่วนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านขั้นตอนการบดย่อยแล้วมีขนาดเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร
- 3) มีกระบวนการป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอทในขณะที่บดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์
- 4) ระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่น้อยกว่า 6 หลอดต่ออนาที
- 5) สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรง และชนิดกลมได้

ในการออกแบบและผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบ่งการออกแบบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) การคัดเลือกวัสดุ

เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์มีโครงสร้างประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างภายนอก , ส่วนโครงสร้างภายใน ได้แก่ ส่วนที่ทำหน้าที่บดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และส่วนภาชนะเก็บกักเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งการคัดเลือกวัสดุในแต่ละส่วนมีเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุในการผลิตแตกต่างกัน ดังตาราง 4

#### ตาราง 5

หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุในการผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ส่วนประกอบ	หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุ
1. ส่วนโครงสร้างภายนอก	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. แข็งแรงทนทาน</li> <li>2. สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และง่ายต่อการใช้งาน</li> <li>3. ขนาดไม่ใหญ่เพียงพอสำหรับบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในชุมชนขนาดเล็ก</li> </ol>

## ตาราง 5 (ต่อ)

หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุในการผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ส่วนประกอบ	หลักเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุ
2. ส่วนโครงสร้างภายใน	1. แข็งแรงทนทาน 2. ง่ายต่อการดูแลบำรุงรักษา 3. สามารถป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอทได้ในขณะที่ทำการบดย่อย
3. ส่วนเก็บกักเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์	1. แข็งแรงทนทาน 2. สามารถป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอทได้ 3. น้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

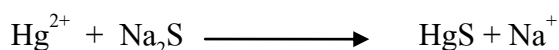
เลือกใช้พลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เป็นภาชนะสำหรับเก็บเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านการบดย่อย และกากสารประกอบปรอทซัลไฟด์ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของของเสียอันตรายดังกล่าว และส่วนประกอบอื่นๆที่มีความแข็งแรงทนทาน เช่น โครงสร้างภายนอกทั้งหมดรวมทั้งชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นโครงสร้างเหล็กทั้งหมด เป็นต้น

### 2) การออกแบบอุปกรณ์บดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ออกแบบให้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์มีช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลม และยาวตรง เพื่อทำการบดย่อย โดยใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าหมุนเฟืองชุดบดย่อย

### 3) การกำจัดสารปรอท

ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) กำจัดสารปรอท โดยปรอทไอออนจะทำปฏิกิริยาโซเดียมซัลไฟด์ด้วยอัตราส่วน 1:1 และเกิดเป็นตะกอนปรอทซัลไฟด์ ดังสมการ



และจากข้อมูลกรมควบคุมมลพิษพบว่าสารปรอทที่บรรจุอยู่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์มีปริมาณ 3-10 mg/หลอด ดังนั้นจะต้องใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) เพื่อกำจัดสารปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 1 หลอด ในปริมาณ 3.9 mg/หลอด แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอทก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของบับและหัวจ่ายสารเคมีให้สามารถสัมผัสกับสารปรอทให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารปรอทจึงเพิ่มปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) 50% ให้ทำปฏิกิริยากับสารปรอทเกินพอ คิดเป็น 5.85 mg. ต่อการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ได้พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จากเครื่องต้นแบบของมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยพัฒนาให้สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลม และยาวตรงได้ และให้มีประสิทธิภาพในการบดย่อยดีขึ้นโดยพิจารณาจากขนาดของเศษซากของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านการบดย่อยต้องมีขนาดเล็กกว่า  $1 \text{ cm}^2$  เพื่อให้สามารถบรรจุซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้มากขึ้น และระยะเวลาในการบดย่อยที่ดีขึ้น รวมถึงน้ำหนักและขนาดเล็กลงเพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไปบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลักๆ และรายละเอียดของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ แสดงดังภาพ 11



ภาพที่ 13 ส่วนประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

### 1) ส่วนบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้วัสดุเป็นโครงสร้างเหล็กทั้งหมดเพื่อความแข็งแรง และใช้มอเตอร์ขนาด 0.2 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่เป็นแรงขับเคลื่อนหมุนชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที โดยออกแบบให้สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดยาวตรง และชนิดหลอดกลม เมื่อใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ลงไปเครื่องบดย่อยแล้ว ความเร็วรอบและฟันเฟืองของชุดบดย่อยจะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และลงสู่ภาชนะเก็บกักเพื่อรวบรวมนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป โดยเศษชิ้นส่วนของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีขนาดเล็กกว่า  $1 \text{ cm}^2$  อุปกรณ์การบดย่อย ดังภาพ 12 ถึง 14



ภาพที่ 14 มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์



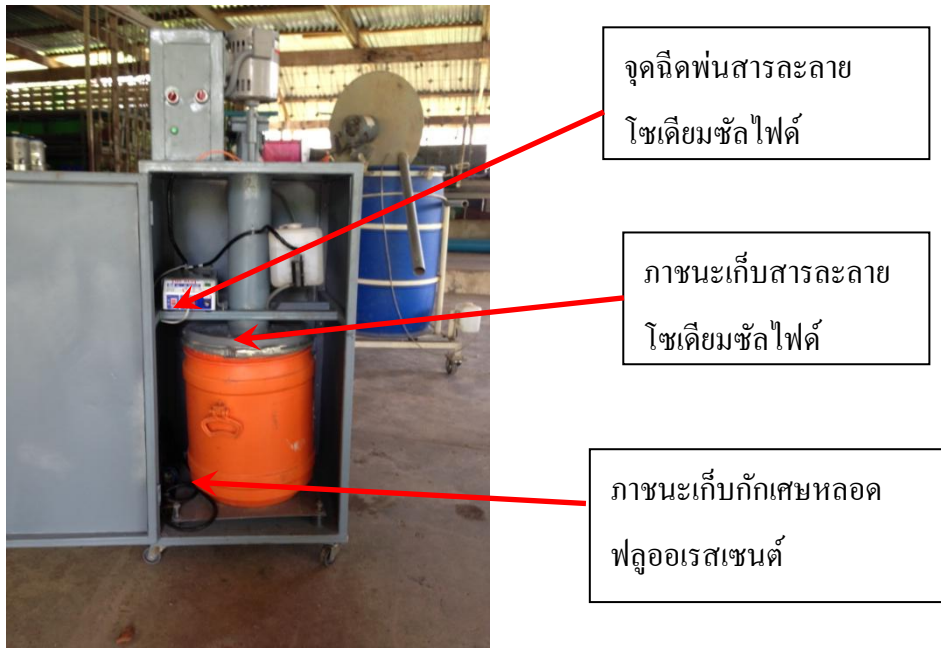
ภาพที่ 15 ชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์



ภาพที่ 16 ชุดช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์

## 2) ส่วนภาชนะเก็บกักซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

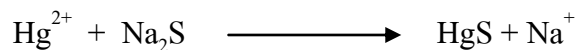
เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารปรอทจากการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และมีน้ำหนักเบาเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย จึงเลือกใช้พลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ขนาด 40 ลิตร เป็นภาชนะสำหรับเก็บกักซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และ ตะกอนสารปรอทซัลไฟด์ สามารถเก็บกักซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ประมาณ 480 หลอด/ถัง



ภาพที่ 17 แสดงภาชนะเก็บกากหลอดฟลูออเรสเซนซ์และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

### 3) ส่วนกำจัดสารปรอท

เลือกใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ กำจัดสารปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งมีปริมาณ 3-10 mg/หลอด ดังสมการเคมี



ในการกำจัดสารปรอท 1 mol จะต้องใช้สารโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 1 mol ดังนั้นในการกำจัดสารปรอท 10 mg. จะต้องใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ในปริมาณ

$$= \frac{\text{น้ำหนักมวลโมเลกุลของ Na}_2\text{S} \times 10}{\text{น้ำหนักมวลโมเลกุลของปรอท}}$$

$$= \frac{78 \times 10}{200.59} = 3.9 \text{ mg. ต่อการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนซ์ 1 หลอด}$$

เพิ่มปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ 50% ให้เกินพอสำหรับทำปฏิกิริยา

$$= 5.85 \text{ mg. ต่อการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนซ์ 1 หลอด}$$



และจากประสิทธิภาพการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 7.53 วินาทีต่อหลอด  
 ดังนั้นในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ใน 1 วัน ซึ่งกำหนดให้ทำงาน 5  
 ชั่วโมง จะสามารถทำการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้  $\frac{5 \times 60 \times 60}{7.53}$  หลอด

$$\text{ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้} = \frac{5.85 \times 2,390}{1,000} = 14 \text{ กรัม ต่อวัน}$$

ภาชนะเก็บกักเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 ลิตร สามารถเก็บกัก  
 ซากชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ 480 หลอด ซึ่งจะต้องใช้สารโซเดียมซัลไฟด์  
 ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ปริมาณ 3 g. โดยการเตรียมน้ำกลั่น 1 ลิตร ผสมกับสารโซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ )  
 ปริมาณ 3 g. และใช้ปั๊มสูบลำเคมิผ่านหัวกระจายสารเคมิเพื่อให้สัมผัสสารปรอทได้  
 มากที่สุด



ภาพที่ 18 สาร  $\text{Na}_2\text{S}$  และภาชนะเก็บสารเคมิขนาด 0.5 ลิตร



**ภาพที่ 19** แสดงหัวฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

### 3.2 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ได้ทำการทดสอบใช้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ณ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ทำการทดสอบบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 30 หลอด เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการบดย่อยของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วย

- 1) แบบยาวตรง ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 10 หลอด
- 2) แบบกลม ขนาด 32 วัตต์ จำนวน 10 หลอด
- 3) แบบสั้นตรง ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 10 หลอด

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พิจารณาใน 2 ประเด็นคือ

- 1) ขนาดของชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อผ่านเครื่องบดย่อยแล้วมีขนาดเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร
- 2) ระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถบดย่อยได้ไม่น้อยกว่า 4-6 หลอดต่อวินาที

### 3.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดโดยเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

การวิเคราะห์ต้นทุนและค่าดำเนินการกระบวนการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานดังนี้

3.2.1 ต้นทุนการผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประกอบด้วยค่าวัสดุและค่าแรงในการผลิต

3.2.2 ต้นทุนค่าดำเนินงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า, ค่าจ้างแรงงาน, ค่าสารเคมี ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) และค่าภาษีเงินได้

ดังนั้นต้นทุนในการดำเนินงานจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ ต้นทุนการผลิตรวมต้นทุนค่าดำเนินงาน และเมื่อคิดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด

$$= \frac{(\text{ต้นทุนการผลิต} + \text{ต้นทุนค่าดำเนินงาน})}{\text{จำนวนหลอดที่นำมากำจัด}}$$

3.2.2 เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์กรณีที่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้เครื่องบดย่อยดังกล่าว และกรณีที่ขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัดโดยไม่ได้ผ่านกระบวนการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1) การศึกษาความสามารถในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ในกรณีขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และกรณีที่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

2) รวบรวมข้อมูลการค่าใช้จ่ายในการขนย้ายของเสียอันตรายโดยไม่คิดค่ากำจัด

3) คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนย้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์และเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี

$$= \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง}}{\text{จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ขนส่ง}}$$

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาวิจัย

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นผลิตภัณฑ์ให้แสงสว่างที่ในปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วถือเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากภายในหลอดมีสารปรอทเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดการแตกหักสารปรอทดังกล่าวจะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ และจะมีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของประชาชนโดยตรงหากได้รับสารปรอทดังกล่าว ในปัจจุบันพบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยชุมชนโดยไม่มีกรคัดแยก ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยและผู้ปฏิบัติงานเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยมีโอกาสได้รับผลกระทบจากสารปรอทดังกล่าว

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 จึงได้พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น โดยพัฒนาต่อออกจากเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีผลการศึกษาดังนี้

#### 4.1 การศึกษาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน มีองค์ประกอบการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

##### 1) ส่วนบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ส่วนบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน สามารถบดย่อยชนิดหลอดยาวตรงเท่านั้น โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นพลังงานหมุนชุดบดย่อยมีลักษณะเป็นเกลียวหมุนดังภาพ 8 สามารถบดย่อยได้ 4-6 หลอดต่อนาที หรือเฉลี่ย 12 วินาทีต่อหลอด และขนาดของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดใหญ่กว่า 1 cm<sup>2</sup>



ภาพที่ 20 ชุดบดย่อยและซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

2) ส่วนเก็บกักซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

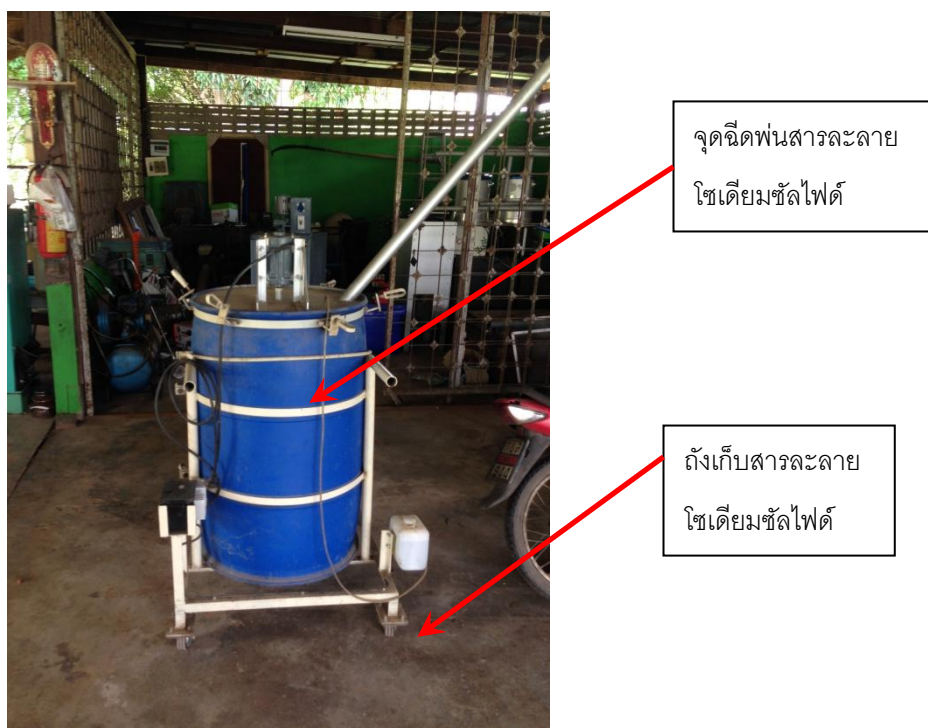
ส่วนเก็บกักซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ถังพลาสติก HDPE ความจุ 230 ลิตร มีฝาปิดเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอท สามารถเก็บกักหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ประมาณ 1,400 หลอด หรือคิดเป็น 6.1 หลอดต่อลิตร ดังภาพ 9



ภาพที่ 21 แสดงภาชนะเก็บกักสารปรอทขนาด 230 ลิตร

3) ส่วนป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอท

ในระหว่างการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเกิดไอปรอทฟุ้งกระจายออกมา ซึ่งจะทำให้การฉีดพ่นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อทำปฏิกิริยากับสารปรอทจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทำให้เกิดสารประกอบปรอทซัลไฟด์ตกตะกอนในภาชนะเก็บกัก ซึ่งจะช่วยในการป้องกันการฟุ้งกระจายของสารปรอท



จุดฉีดพ่นสารละลาย  
โซเดียมซัลไฟด์

ถังเก็บสารละลาย  
โซเดียมซัลไฟด์

ภาพที่ 22 แสดงจุดฉีดพ่นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

กล่าวโดยสรุป เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีลักษณะค่อนข้างใหญ่ เคลื่อนย้ายค่อนข้างลำบาก สามารถเก็บกักเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ประมาณ 2,000 หลอด น้ำหนักประมาณ 300 กิโลกรัม สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรงได้เพียงชนิดเดียว เศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดใหญ่กว่า 1 ตารางเซนติเมตร และใช้เวลาในการบดย่อย 4-6 หลอดต่อนาที หรือ 12 วินาทีต่อหลอด

#### 4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

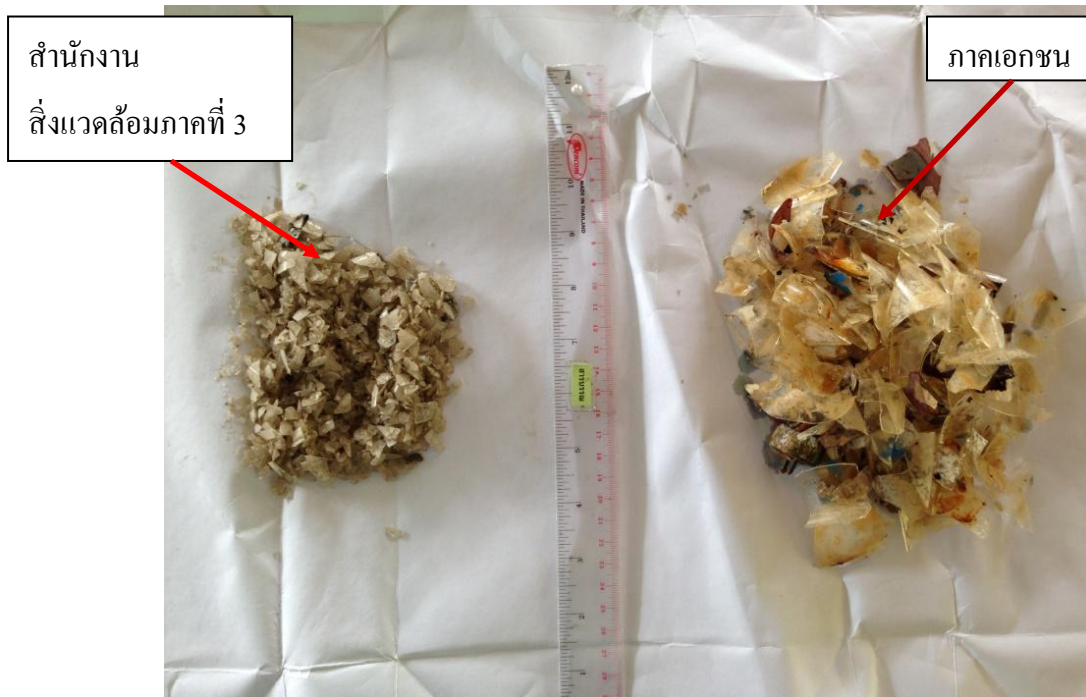
ได้นำเครื่องต้นแบบบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ทดลองบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ณ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 โดยทำการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 30 หลอด มีผลการทดลองดังตารางที่ 4

#### ตาราง 6

แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

วันที่	ชนิดหลอด	กำลัง (Watt)	จำนวน (หลอด)	ขนาดเศษหลอดไฟ หลังจากบดย่อยแล้ว (cm <sup>2</sup> )	ระยะเวลาในการบดย่อยต่อหลอด (วินาที)
29 ก.ย.57	ยาวตรง	18	10	น้อยกว่า 1 cm <sup>2</sup>	7.53
	กลม	32	10	น้อยกว่า 1 cm <sup>2</sup>	6.23
	สั้นตรง	18	10	น้อยกว่า 1 cm <sup>2</sup>	5.37

จากผลการทดสอบการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่าประสิทธิภาพการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรงสามารถบดย่อยได้เฉลี่ย 7.53 วินาทีต่อหลอด ชนิดกลม 6.23 วินาทีต่อหลอด และชนิดสั้นตรง 5.37 วินาทีต่อหลอด ขนาดเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด หลังจากบดย่อยแล้วมีขนาดเล็กกว่า 1 cm<sup>2</sup> และเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน พบว่าเศษชิ้นส่วนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านเครื่องบดย่อยที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 พัฒนาขึ้นมา มีขนาดเล็กกว่าส่งผลให้ความสามารถในการบรรจุเศษชิ้นส่วนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านการบดย่อยทั้ง 2 แบบ พบว่าเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 สามารถบรรจุเศษชิ้นส่วนได้เพิ่มขึ้นประมาณ 22 % ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 23 แสดงภาพเปรียบเทียบซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดโดยเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงานกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์พิจารณาจาก ค่าเสื่อมราคาของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์, ค่าไฟฟ้า, ค่าแรงงาน, ค่าภาษีเงินได้, ค่าสารเคมีในการกำจัดสารปรอท มีรายละเอียดดังนี้

##### 4.3.1 ค่าเสื่อมราคาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{ราคาต้นทุนผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์} - \text{ราคาซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

กำหนดให้อายุการใช้งานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 ปี

ราคาต้นทุนการผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ = 15,000 บาท

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคาของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ = 1,500 บาทต่อปี

$$= 4.1 \text{ บาทต่อวัน}$$



#### 4.2.2 ค่าไฟฟ้า

- ระยะเวลาในการทำงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 5 ชั่วโมงต่อวัน
- กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 0.2 กิโลวัตต์
- อัตราค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ =

กำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้า(K.watt) x จำนวนชั่วโมงการทำงาน(hr.) x อัตราค่า  
ไฟฟ้า (บาท/หน่วย)

$$= 0.2 \times 5 \times 3$$

$$= 3 \text{ บาทต่อวัน}$$

#### 4.2.3 ค่าสารเคมี

ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการกำจัดสารปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์  
14 กรัมต่อวัน

ราคาสารโซเดียมซัลไฟด์ 500 กรัม ราคา 900 บาท

$$\text{ดังนั้นในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 วัน จะเสียค่าสารเคมี} = \frac{14 \times 900}{500}$$

$$= 25.2 \text{ บาท ต่อวัน}$$

4.2.4 ค่าแรงงาน ตามกฎหมายค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาทต่อคนต่อวัน

#### 4.2.5 ค่าภาชนะเก็บกัก

ภาชนะเก็บกักใช้เป็นถังพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (Polyethylene) ขนาด  
40 ลิตร ราคาประมาณ 200 บาทต่อถัง

เศษซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกบดย่อยแล้วจะถูกบรรจุอยู่ในถังพลาสติก  
ขนาด 40 ลิตร ซึ่งสามารถบรรจุหลอดที่ผ่านการบดย่อยแล้วได้ประมาณ 480 หลอด/ถัง

ดังนั้นใน 1 วัน จะต้องใช้ภาชนะเก็บกักจำนวน 5 ถัง เพื่อเก็บเศษซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 2,390 หลอด คิดเป็นจำนวนเงิน 5 ถัง x 180 บาท = 900 บาทต่อวัน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหาได้จาก

ค่าเสื่อมราคา + ค่าไฟฟ้า + ค่าสารเคมี + ค่าแรงงาน + ค่าภาชนะเก็บกัก

$$= 4.1 + 3 + 25.2 + 300 + 900$$

$$= 1232.3 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$= \frac{1232.3}{2,390} = 0.52 \text{ บาทต่อหลอด}$$

สรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่พัฒนาโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 มีต้นทุนค่าใช้จ่าย 0.52 บาทต่อหลอด ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่ง

การดำเนินงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนที่จะรวบรวมและขนส่งไปกำจัดส่งผลให้สามารถขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ปริมาณมากกว่าการขนส่งโดยที่ไม่ได้มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนั้นจะทำให้ในภาพรวมสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังรายละเอียดการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการขนส่ง ดังนี้

*กรณีที่ 1 ไม่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์*

1) ใช้รถบรรทุก 6 ล้อ (ขนาด 1.9 x 5.5 x 1.9 เมตร) ในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์

2) ต้นทุนในการขนส่ง ( พิษณุโลก – สระบุรี) 15,500 บาท

3) ในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ต่อ 1 เที่ยว สามารถบรรจุได้จำนวน 16,197 หลอด โดยมีน้ำหนักบรรทุก 2.9 ตัน

4) ต้นทุนในการขนส่งต่อ 1 หลอด =  $15,500/16,197 = 0.97$  บาทต่อหลอด

กรณีที่ 2 ใช้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1) ใช้รถบรรทุก 6 ล้อ (ขนาด 1.9 x 5.5 x 1.9 เมตร) น้ำหนักบรรทุกได้ไม่เกิน 10 ตัน ในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์

2) ต้นทุนในการขนส่ง ( พิษณุโลก – สระบุรี) 15,500 บาท

3) ภาระในการเก็บรวบรวมเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 ลิตร สามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดยาวตรงได้ประมาณ 500 หลอด น้ำหนักประมาณ 90 กิโลกรัมต่อถัง

4) รถบรรทุก 6 ล้อ สามารถบรรจุถังพลาสติกขนาด 40 ลิตร ได้สูงสุดจำนวน 208 ถัง คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 18 ตัน ซึ่งเกินพิกัดน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 10 ตัน ดังนั้นความสามารถในการขนส่งถึงที่บรรจุเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ของรถบรรทุก 6 ล้อ สามารถบรรทุกได้ จำนวน  $10,000/90 = 111$  ถัง

5) จำนวนหลอดไฟที่ขนส่งโดยรถบรรทุก 6 ล้อ =  $111 \times 500 = 55,500$  หลอดต่อเที่ยว

6) ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง =  $15,500/55,500 = 0.28$  บาทต่อหลอด

7) ดังนั้นรวมค่าใช้จ่ายในการบดย่อยและการขนส่ง =  $0.52 + 0.28 = 0.80$  บาทต่อหลอด

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบ 2 กรณี ในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัดโดยรถบรรทุก 6 ล้อ จากจังหวัดพิษณุโลก ไปจังหวัดสระบุรี คือ กรณีขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัดโดยไม่ได้มีการบดย่อย และกรณีบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนและขนส่งไปกำจัด พบว่ากรณีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนและเก็บรวบรวมไว้เพื่อขนส่งไปกำจัดมีค่าใช้จ่าย 0.80 บาทต่อหลอด และกรณีเก็บรวบรวมและขนส่งไปกำจัดโดยไม่ได้มีการบดย่อย 0.97 บาทต่อหลอด ซึ่งประหยัดงบประมาณในการขนส่ง

หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ 0.17 บาทต่อหลอด หรือประหยัดงบประมาณได้ร้อยละ 18 ของงบประมาณในการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์

#### 4.5 การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

4.3.1 สสภ.3 และ สสภ.4 ผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จากเครื่องต้นแบบเพิ่มเติมจำนวน 6 เครื่อง เพื่อนำไปเผยแพร่ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่

4.3.2 ร่วมจัดนิทรรศการในการประชุมชี้แจงการดำเนินงานการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยภายใต้ Road map การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย วันที่ 23 กันยายน 2557 ณ โรงแรมวังจันทร์ จังหวัดพิษณุโลก



**ภาพที่ 24** การจัดนิทรรศการเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในการประชุมชี้แจง Road Map การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย

4.3.3 ทต.ท่าวังผา จังหวัดน่าน นำไปใช้ในการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลท่าวังผา

4.3.4 อบต.มะตูม อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ได้มาเยี่ยมชมศึกษาดูงานการทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ณ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2557 และมีแผนจะผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อจัดทำฐานเรียนรู้เกี่ยวกับการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้กับชุมชนในเขต อบต.มะตูม



ภาพที่ 25 อบต.มะตูม ศึกษาฐานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2557

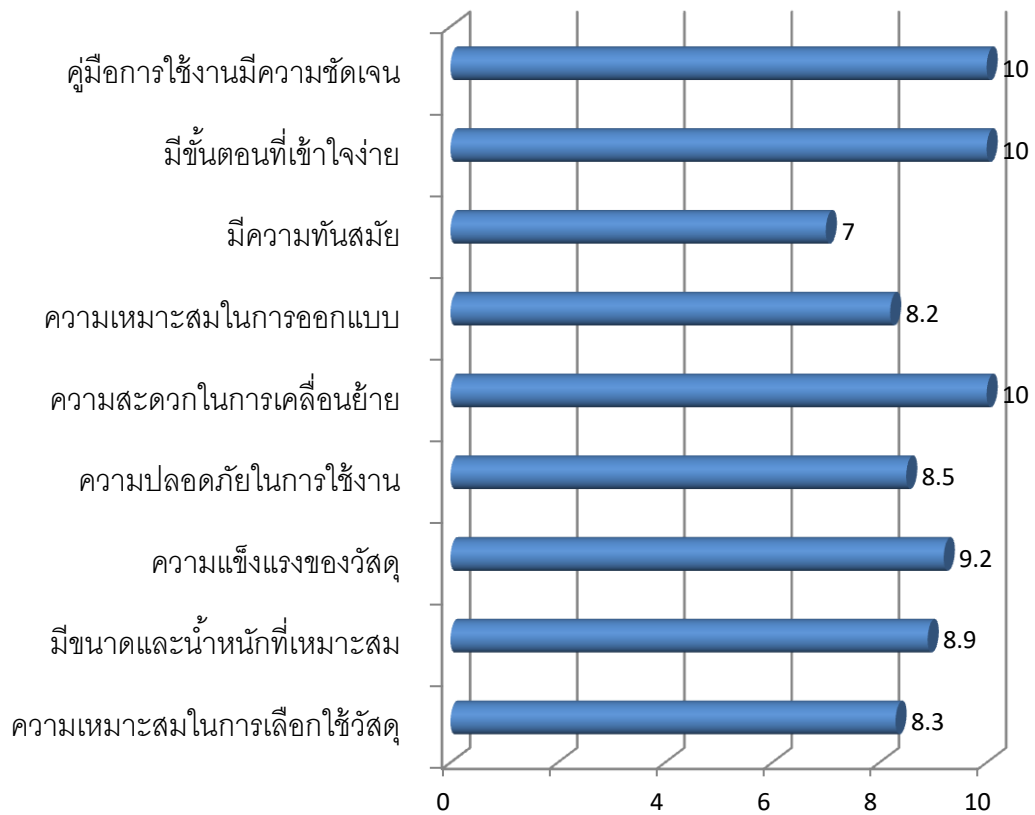
4.3.5 อบจ.พิจิตร ได้ผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 2 เครื่อง เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการเผยแพร่และให้ความรู้ในการคัดแยกหลอดฟลูออเรสเซนต์จากชุมชนให้กับ อบท.ในพื้นที่จังหวัดพิจิตร ณ โรงแรมมีพรสวรรค์ จังหวัดพิจิตร ระหว่างวันที่ 7-9 เมษายน 2558

#### 4.6 การประเมินความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

ได้สอบถามบุคลากรผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล , บุคลากรที่ได้ศึกษาฐานและใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 10 ราย ประกอบด้วย อาจารย์จากวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก , องค์กรบริหารส่วนตำบลมะตูม เทศบาลตำบลท่าวังผา องค์กรบริหารส่วนจังหวัดพิจิตร สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 4 เพื่อประเมินผลการดำเนินงานของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ สรุปได้ดังนี้

1. แบบสำรวจมีรายละเอียดการประเมินผลเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 ประเด็น ประกอบด้วย คู่มือการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีความชัดเจน , ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เข้าใจง่าย , การออกแบบมีความทันสมัย , ความเหมาะสมในการออกแบบ , ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย , ความปลอดภัยในการใช้งาน , ความแข็งแรงของวัสดุ , ขนาดและน้ำหนักที่เหมาะสม และความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ

2. ผลการประเมินพบว่าเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีความพึงพอใจภาพรวมร้อยละ 89 โดยมีคู่มือและขั้นตอนการใช้งานที่มีความชัดเจนและเข้าใจง่าย สะดวกในการเคลื่อนย้าย ผู้ประเมินให้คะแนนสูงสุด และที่ได้คะแนนประเมินน้อยที่สุด คือ การออกแบบที่มีความทันสมัย ดังรายละเอียดภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ผลการประเมินการเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ได้พัฒนา มาจากเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน เพื่อเป็นแนวทางให้องค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่นนำไปจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในพื้นที่ โดยสรุปผลการพัฒนา เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังนี้

5.1 เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ออกแบบให้สามารถบดย่อยหลอดฟลูออ เรสเซนต์ชนิดหลอดยาวตรง และชนิดหลอดกลมได้ โดยปรับขนาดให้มีขนาดเล็กลงให้ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก โดยมีต้นทุนในการผลิต 15,000 บาทต่อเครื่อง

5.2 จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พบว่าเครื่อง บดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถบดย่อยหลอดได้เฉลี่ย 7.53 วินาทีต่อหลอด (ชนิด หลอดยาว) ชนิดกลม 6.23 วินาทีต่อหลอด และชนิดสั้นตรง 5.37 วินาทีต่อหลอด หรือ 7-11 หลอดต่อวินาที ขนาดของเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ผ่านเครื่องบดย่อย ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 มีขนาดเล็กกว่า  $1 \text{ cm}^2$  และมีขนาดเล็กกว่าเศษ ชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์จากเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของเอกชน ซึ่งจะ ทำให้สามารถบรรจุเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้เพิ่มมากขึ้นประมาณ 22%

5.3 สารปรอทที่บรรจุในหลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อถูกบดย่อยจะใช้สารละลาย โซเดียมซัลไฟด์ในการบำบัด โดยจะทำปฏิกิริยาเกินพอกับสารปรอท และได้ตะกอน mercurysulfide ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในถังพลาสติก HDPE และขนส่งไปกำจัดอย่างถูก วิธีต่อไป

5.4 ค่าใช้จ่ายต้นทุนในการดำเนินงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพิจารณาจากค่าเสื่อมราคาของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ , ค่าแรงงาน , ค่าสารเคมี , ค่าภาษีระงับกักของเสียอันตราย และค่าไฟฟ้า คิดเป็น 0.52 บาทต่อหลอด และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัด พบว่าการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้เครื่องบดย่อยดังกล่าวและเก็บรวบรวมขนส่งไปกำจัดในกรณีที่ขนส่งจากจังหวัดพิษณุโลกไปยังจังหวัดสระบุรีมีต้นทุน 0.80 บาทต่อหลอด ในขณะที่กรณีมีการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยไม่มีการบดย่อยก่อนจะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 0.97 บาทต่อหลอด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งแล้ว การใช้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 0.17 บาทต่อหลอด หรือสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 18% ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัด

5.5 ขณะนี้ได้ผลิตเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เพิ่มอีกจำนวน 6 เครื่องเพื่อใช้ในการเผยแพร่การจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 และ 4 โดยมีเทศบาลตำบลท่าวังผา จังหวัดน่านได้นำเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าวไปใช้ในพื้นที่แล้ว และ อบต.มะตูม จังหวัดพิษณุโลกจะนำไปจัดทำฐานการเรียนรู้เกี่ยวกับการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในชุมชน

#### ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ออกแบบให้มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ในระบบปิด สารอันตรายจากไอปรอทในหลอดฟลูออเรสเซนต์ในขณะที่มีการบดย่อยไม่สามารถปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตควรมีการตรวจสอบรอยเชื่อมต่างๆของเครื่องบดย่อยฯ เพื่อให้เกิดความมั่นใจใน



การทำงานของเครื่องบดย่อยๆ ที่จะไม่เกิดการรั่วไหลของไอปรอทในขณะที่มีการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

2. พัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้สามารถบดย่อยหลอดชนิดอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เช่น หลอดตะเกียบ เป็นต้น

3. เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่างๆ ให้มีความตระหนักถึงอันตรายจากเศษซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งจัดเป็นของเสียอันตรายที่จะต้องมีการรวบรวมและนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง โดยให้มีการจัดเก็บรวบรวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ และใช้เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์บดย่อยก่อนจะรวบรวมนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี

ภาคผนวก ก

ภาพประกอบการสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์





ภาพที่ 27 แสดงเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3



ภาพที่ 28 แสดงกรอบโครงสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์พร้อมล้อเลื่อน



ภาพที่ 29 แสดงชุดบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์



ภาพที่ 30 แสดงส่วนช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลม



ภาพที่ 31 แสดงส่วนช่องใส่หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมและยาวตรงเมื่อประกอบเสร็จ



ภาพที่ 32 แสดงภาชนะพลาสติกชนิด HDPE ความจุ 40 ลิตร รวบรวมชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์



ภาพที่ 33 แสดงภาชนะเก็บสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความจุ 0.5 ลิตร



ภาพที่ 34 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 35 แสดงสารโซเดียมซัลไฟด์



**ภาคผนวก ข**

**คู่มือการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์**

**คู่มือการใช้งาน**

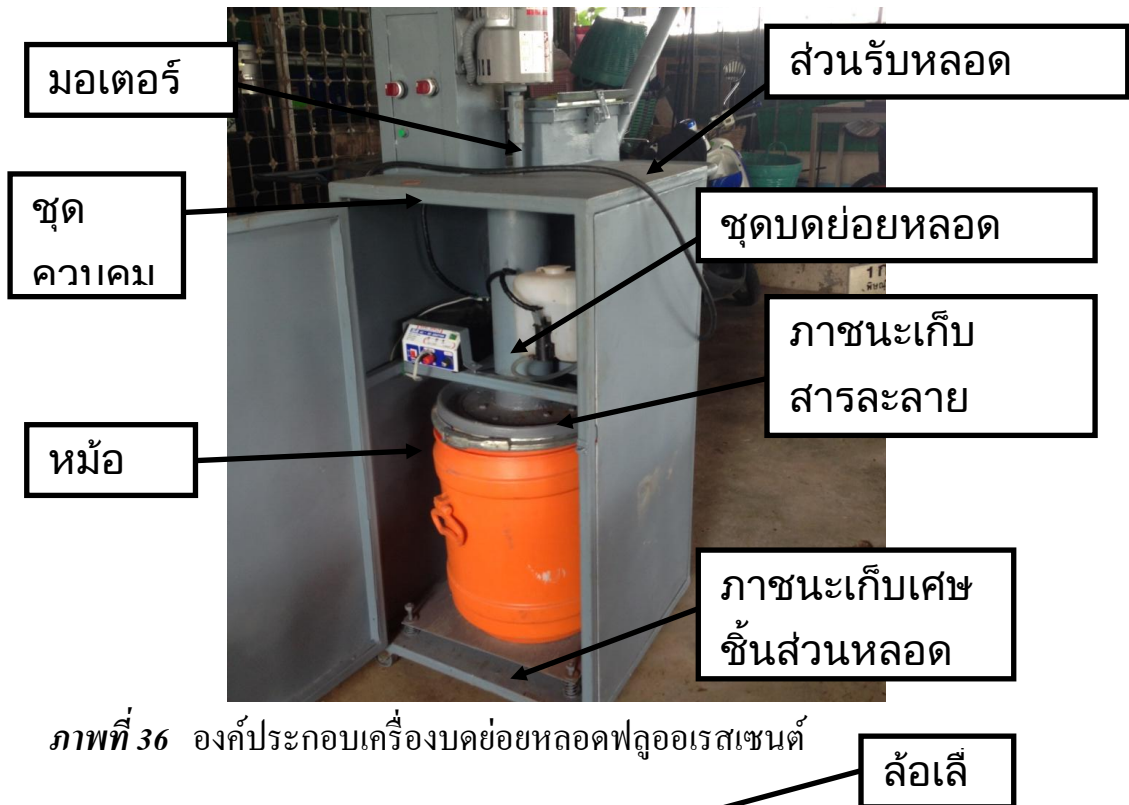
**เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์**

## 1. องค์ประกอบและคุณสมบัติเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

1.1 คุณสมบัติของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) อัตราการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 7-11 หลอดต่อวินาที
- 2) สามารถรองรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ประมาณ 480 หลอดต่อถัง
- 3) สามารถเปลี่ยนถังบรรจุได้ โดยใช้ชุดบดย่อยชุดเดิม
- 4) ใช้งานและดูแลรักษาง่าย และมีระบบป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอท

1.2 องค์ประกอบของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ แสดงรายละเอียดดังรูป



ภาพที่ 36 องค์ประกอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

## 2. การป้องกันภัยส่วนบุคคล

ในการใช้งานเครื่องบดหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น ผู้ปฏิบัติงานต้องมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันภัย โดยมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

2.1 ถุงมือยาง สำหรับป้องกันการสัมผัสกับสารเคมี / หลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยตรง

2.2 หน้ากากอนามัย ป้องกันไอปรอท เข้าสู่ร่างกายจากการสูดดม , หายใจ และ  
 เข้าปาก

2.3 แว่นตานิรภัย ป้องกันการกระเด็นของเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ จากการบด  
 ย่อยและหลังจากการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และผู้ปฏิบัติงานควรล้าง  
 มือให้สะอาดทุกครั้ง



ภาพที่ 37 ชุดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล

### 3. วิธีการใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

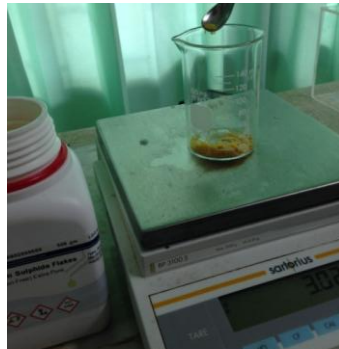
#### 3.1 การจัดเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

ตามปกติแล้ว ในระหว่างการดำเนินงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น จะ  
 เกิดไอปรอทฟุ้งกระจายออกมา ทำให้เป็นพิษกับผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ  
 แต่เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 ได้ติดตั้งชุด

ควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของสารปรอทไว้ โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ในการฉีดพ่นเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท สามารถช่วยป้องกันอันตรายจากสารปรอท

การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตวงสารโซเดียมซัลไฟด์ ในปริมาณ 3 กรัม ดังรูป



- 2) เติมน้ำปริมาณ 100 ml. และคนให้ทั่วเพื่อละลายสารโซเดียมซัลไฟด์ ดังรูป



- 3) เติมน้ำลงไปเรื่อยๆให้ได้ปริมาณ 1 ลิตร ดังรูป



- 4) นำสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เติมในภาชนะของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนซ์

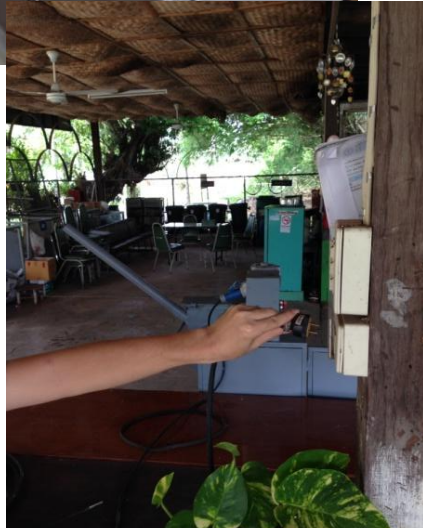


ภาพที่ 38 แสดงขั้นตอนการจัดเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์

### 3.2 การใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนซ์

- 1) ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่ ถุงมือ , แว่นตา และผ้าปิดจมูก
- 2) ผู้ปฏิบัติงานทำการเสียบปลั๊กของเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนซ์เพื่อ

เตรียมหลอดฟลูออเรสเซนซ์ ดังภาพ



3) เมื่อจะเริ่มทำการบดย่อยหลอดฯ ให้ทำการเปิดเบรกเกอร์ และเปิด สวิตซ์สีแดงทั้ง 2 ตัวเพื่อ เพื่อเดินเครื่องชุดบดย่อยหลอดฯ และเตรียมป้อนฉีดสารเคมี ทำงาน ดังรูป



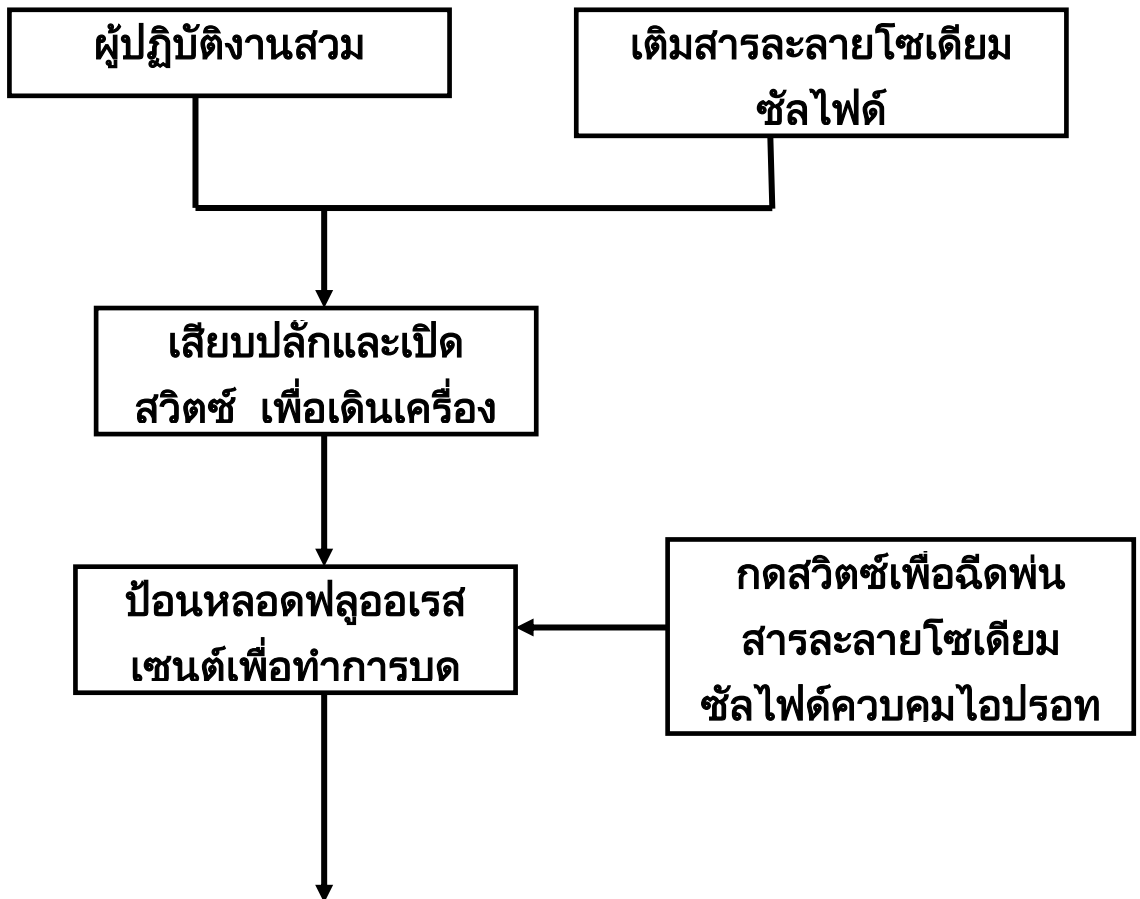
4) นำหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมดอายุการใช้งานเข้าเครื่องบดย่อยหลอด  
ฟลูออเรสเซนต์ที่ละหลอด พร้อมกับกดสวิทช์สีเขียวเพื่อฉีดพ่นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์  
ควบคุมไอบปรอท ทุกๆ 3-5 นาที ระหว่างการบดย่อย ดังภาพ

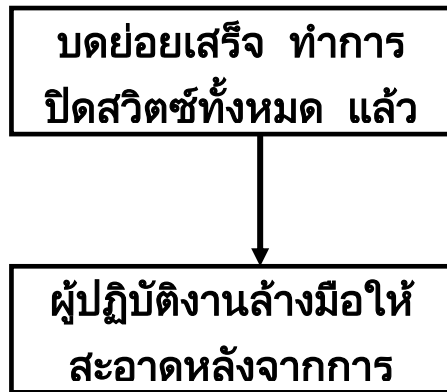


5) เมื่อทำการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เสร็จแล้วต้องปิดสวิตช์ทั้งหมด เพื่อ  
ดับเครื่อง ก่อนถอดปลั๊กออกทุกครั้ง

6) การจัดการเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อภาชนะบรรจุเศษชิ้นส่วน  
หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ประมาณ 80% ของภาชนะบรรจุ สามารถทำการเปลี่ยนภาชนะ  
บรรจุได้ โดยการเปิดเข็มขัดรัดถังออก และนำภาชนะที่บรรจุเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออ  
เรสเซนต์ออกจากชุดบดย่อย ดังภาพ







ภาพที่ 39 การใช้งานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

7) ภาชนะที่บรรจุเศษชิ้นส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกเก็บรวบรวมไว้เตรียมขนส่งไปกำจัดที่ศูนย์กำจัดของเสียอันตราย หรือทำการเทปูนทับลงไปให้ปิดสนิท ซึ่งสามารถนำถังดังกล่าวมาใช้เป็นรั้วกั้นบริเวณได้ แต่ห้ามนำเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์และถังบรรจุไปทิ้งร่วมกับขยะมูลฝอยทั่วไป หรือทิ้งลงในแหล่งน้ำเด็ดขาด

### 3.3 ข้อควรระวังและการดูแลรักษาเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

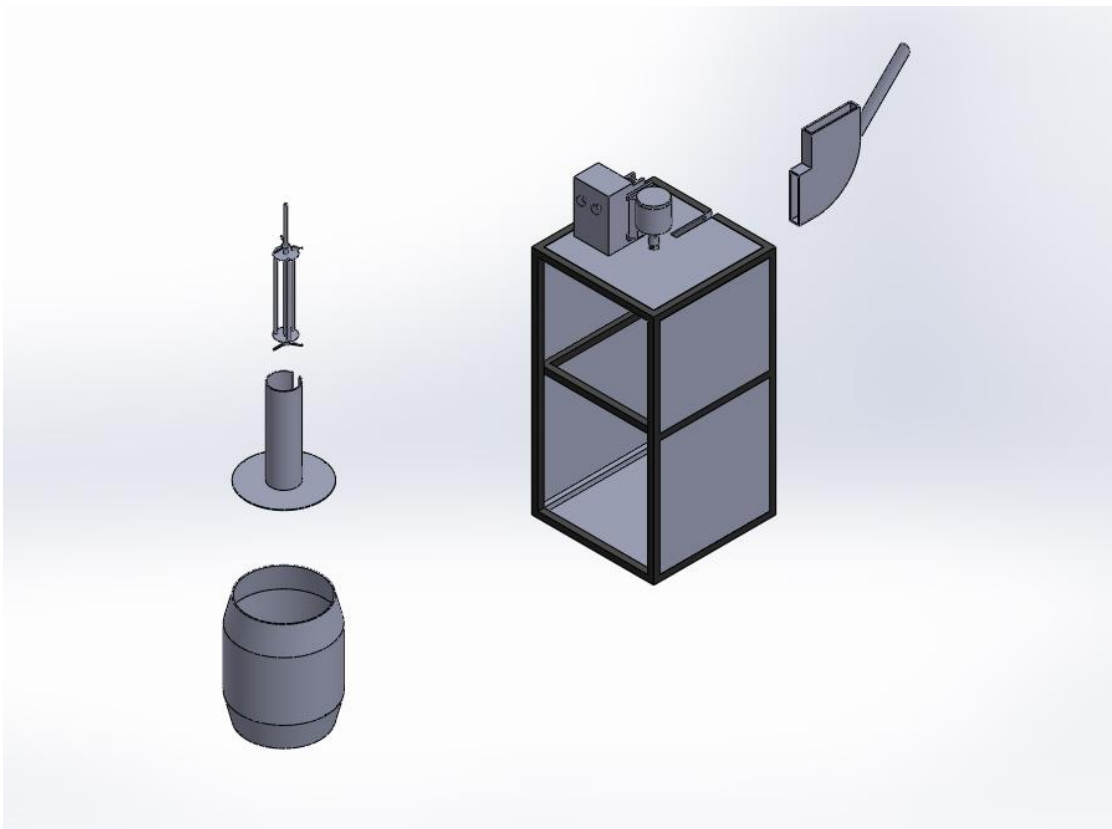
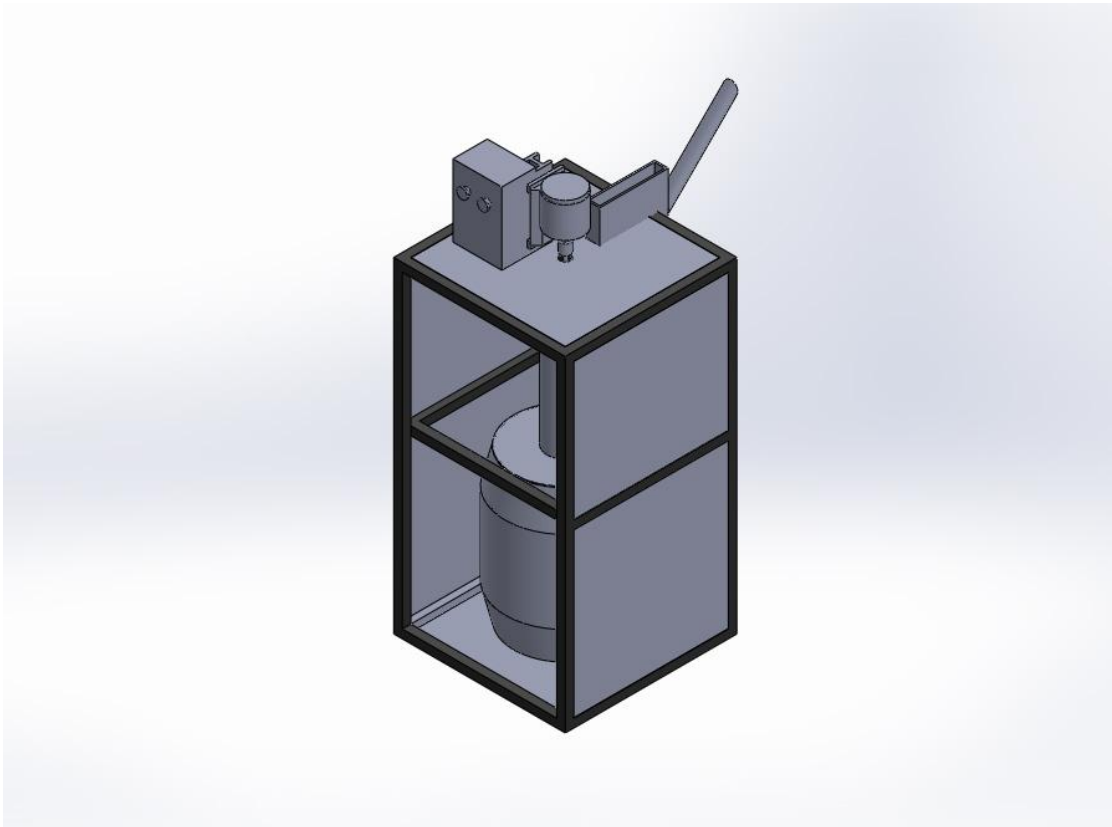
1) ก่อนการใช้งานทุกครั้งต้องตรวจสอบที่บรรจุสารเคมี ว่ามีสารละลายโซเดียมซัลไฟด์อยู่หรือไม่ ซึ่งโดยปกติในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 ถึงขนาด 40 ลิตร จะใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ประมาณ 1 ลิตร ถ้าหากไม่มีหรือมีน้อยต้องทำการเติมสารละลายดังกล่าวก่อนใช้งาน

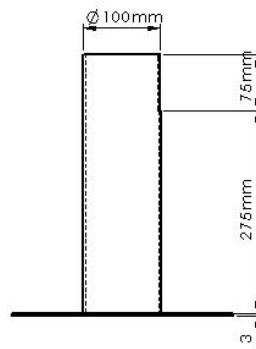
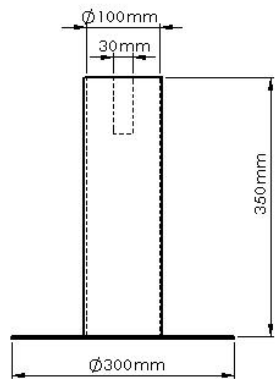
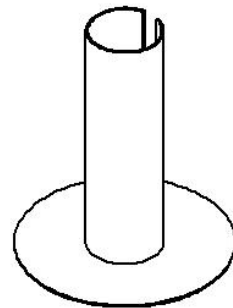
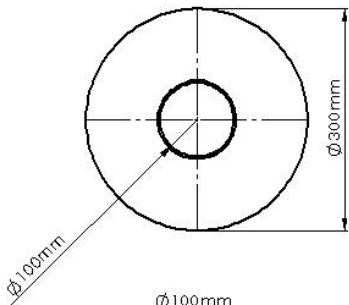
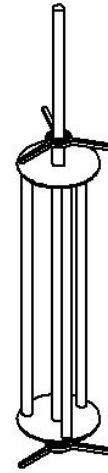
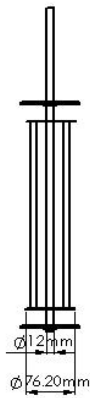
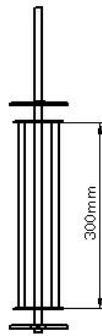
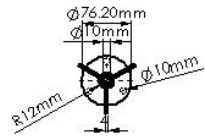
2) ตรวจสอบสายไฟ ปลั๊กไฟ ก่อนใช้งาน ควรอยู่ในสภาพสมบูรณ์ไม่ขาดลุ่ย

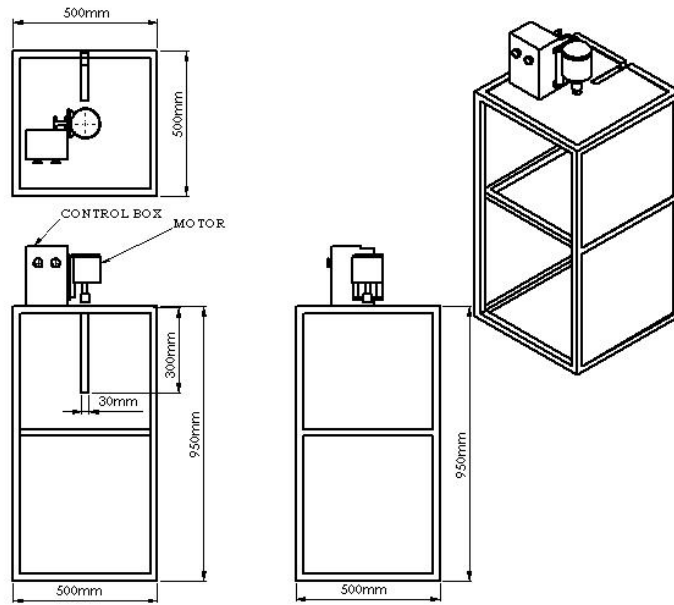
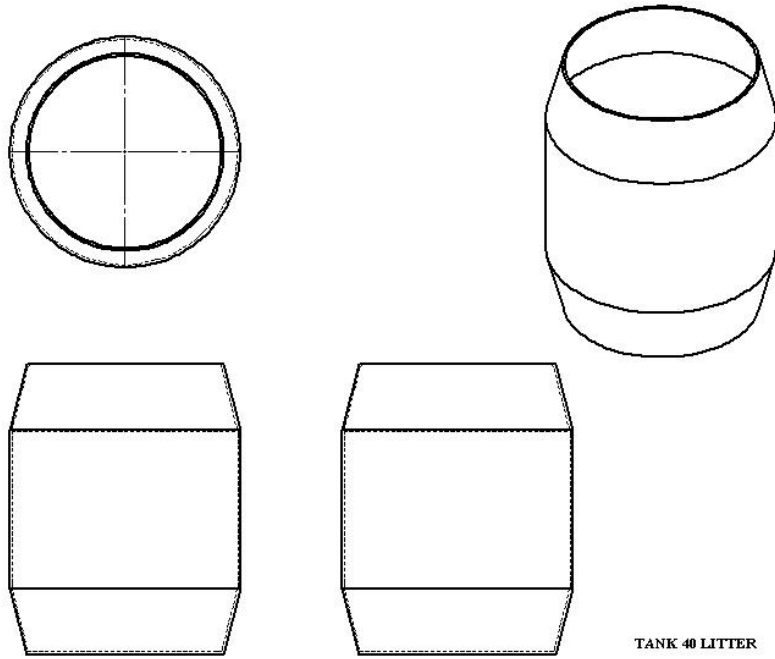
3) ผู้ปฏิบัติต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันทุกครั้งก่อนการใช้งานเครื่องบดย่อย และเมื่อใช้งานเครื่องบดย่อยแล้ว ควรล้างมือให้สะอาด

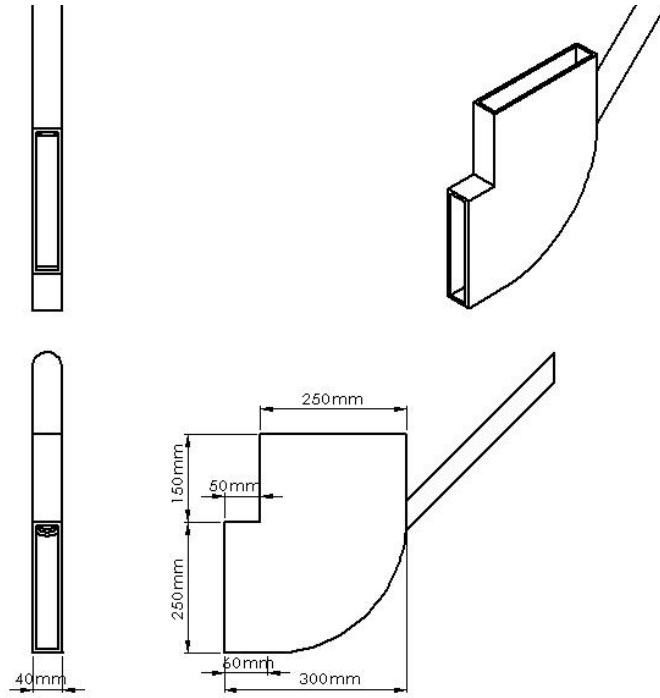
- 4) ควรเก็บกระปุกสารโซเดียมซัลไฟด์ที่ยังไม่ได้ผสมกับน้ำไว้ในที่แห้ง และไกลจากแสงแดด
- 5) ห้ามนำเศษหลอดฟลูออเรสเซนต์ และถังที่บรรจุไปทิ้งกับขยะมูลฝอยทั่วไป หรือทิ้งลงแหล่งน้ำเด็ดขาด
- 6) ควรตั้งเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้ไกลจากแสงแดด และควรมีผ้าคลุมเพื่อป้องกันละอองน้ำ

## แบบรายละเอียดเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์











ภาคผนวก ง

แบบประเมินการทำงานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์

### แบบประเมินการทำงานเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-สกุล.....หน่วยงาน.....

ที่อยู่.....หมู่ที่.....ตำบล.....อำเภอ.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ (1-10)
1.คู่มือการใช้งานมีความชัดเจน	
2. มีขั้นตอนที่เข้าใจง่าย	
3. มีความทันสมัย	
4. ความเหมาะสมในการออกแบบ	
5. ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	
6. ความปลอดภัยในการใช้งาน	
7. ความแข็งแรงของวัสดุ	
8. มีขนาดและน้ำหนักที่เหมาะสม	
9. ความเหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุ	

หมายเหตุ : คะแนนเรียงลำดับความพึงพอใจ คะแนนที่ 10 พึงพอใจมากที่สุด และลดต่ำลงมาน้อยที่สุดที่ระดับคะแนน 1

## บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). แนวทางการจัดการหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย.

สืบค้นเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557, จาก

[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/haz\\_lamp.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_lamp.htm)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment). (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์.

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.(2552).คู่มือการใช้งานเครื่องบดย่อย  
หลอดฟลูออเรสเซนต์ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชัยฤกษ์ ถาวรเจริญ, นเรศ สุวรรณเขตร์, ไพฑูลย์ เพชรี่.(2554). เครื่องบดย่อยหลอด  
ฟลูออเรสเซนต์พร้อมด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท. ปริญญา  
นิพนธ์หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.(2545). ปรอท (Mercury).(พิมพ์ครั้งที่ 3).  
กรมควบคุมมลพิษ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – ชื่อสกุล	นายพิสิษฐ์ ศรีกัลยานิวาท
วัน เดือน ปีเกิด	22 สิงหาคม 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดปัตตานี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2539 สำเร็จปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2544
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ

**คำรับรองผู้บังคับบัญชา**

ขอรับรองว่า ได้ตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของเอกสารผลงานวิชาการฉบับนี้แล้ว ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของสำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และเป็นผลงานของผู้ขอประเมิน โดยแท้จริง

ลงชื่อ.....

(นายถาวร เพ็ชรบัว)

ตำแหน่ง...ผู้อำนวยการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3...

...../...../.....