



รายงานการวิจัย

โครงการอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า

A segregated device of copper from electrical wire scrap

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2562

ปีที่พิมพ์ พ.ศ. 2563

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ข้อมูลโครงการ	บทที่ 1 1
1. ข้อมูลทั่วไป	บทที่ 1 1
2. หลักการและเหตุผล	บทที่ 1 1
3. วัตถุประสงค์	บทที่ 1 4
4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	บทที่ 1 4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	บทที่ 2 1
1. การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 2 1
2. การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 2 5
3. การทบทวนวรรณกรรม	บทที่ 2 8
4. เอกสารอ้างอิง	บทที่ 2 30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	บทที่ 3 1
1. การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 3 1
2. ขั้นตอนการวิจัย	บทที่ 3 2
3. กลุ่มเป้าหมายในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์	บทที่ 3 2
4. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	บทที่ 3 3
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย	บทที่ 4 1
1. การลงพื้นที่สำรวจ และรวบรวมเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 4 1
2. การออกแบบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า (Granulator)	บทที่ 4 1
3. การออกแบบเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)	บทที่ 4 5
4. ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมในการใช้กับเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 9
5. การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 10

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย (ต่อ)	
6. การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 15
7. การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์โครงการ	บทที่ 4 18
8. การส่งมอบเครื่อง “อุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจาก โคมพื้ยทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ”	บทที่ 4 21
9. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	บทที่ 4 22
บทที่ 5 ผลผลิต (Output) หรือตัวชี้วัดแต่ละช่วงรายงานความก้าวหน้า	บทที่ 5 1
บทที่ 6 ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้	บทที่ 6 1
ภาคผนวก ก	แบบการสร้างเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
ภาคผนวก ข	การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ สำหรับเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
ภาคผนวก ค	การคำนวณหาค่าความเร็วอากาศต่ำสุด สำหรับเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)
ภาคผนวก ง	แบบการสร้างเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
ภาคผนวก จ	รายละเอียดการคำนวณการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2-1 แผนที่เทศบาลตำบลบ้านกอก อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 2 2
รูปที่ 2-2 สถานประกอบกิจการคัดแยกในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 2 3
รูปที่ 2-3 เศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก	บทที่ 2 3
รูปที่ 2-4 การเผาเศษสายไฟฟ้าในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 2 4
รูปที่ 2-5 ภาพรวมการประกอบกิจการคัดแยก ในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 2 4
รูปที่ 2-6 เศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก	บทที่ 2 6
รูปที่ 2-7 สถานประกอบกิจการคัดแยกในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 2 6
รูปที่ 2-8 ภาพรวมการประกอบกิจการคัดแยก ในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 2 7
รูปที่ 2-9 หลักการทำงานของเทคนิคการแยกด้วยวิธีไฟฟ้าสถิต	บทที่ 2 11
รูปที่ 2-10 หลักการทำงานของเทคนิคการแยกด้วยแสงเลเซอร์	บทที่ 2 11
รูปที่ 2-11 องค์ประกอบเครื่องตัดเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 2 14
รูปที่ 2-12 การตัดเศษสายไฟฟ้าด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์	บทที่ 2 14
รูปที่ 2-13 ใบมีดตัดหรือบดสายไฟ เครื่องแกรนูลเลเตอร์	บทที่ 2 15
รูปที่ 2-14 เครื่องแกรนูลเลเตอร์	บทที่ 2 15
รูปที่ 2-15 การตัดเศษสายไฟฟ้าด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์ รุ่น Universal Granulator UG600	บทที่ 2 16
รูปที่ 2-16 โต๊ะแยกวัสดุแบบเปียก (Wet table)	บทที่ 2 17
รูปที่ 2-17 โต๊ะแยกวัสดุแบบเปียกชนิดวิลฟลีย์ (Wilfley shaker table)	บทที่ 2 17

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2-18 หลักการแยกเมล็ดพืชแบบแห้ง (Dry gravity separation)	บทที่ 2 18
รูปที่ 2-19 เครื่องแยกวัตถุแบบแห้ง (Dry gravity separation)	บทที่ 2 18
รูปที่ 2-20 โต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) ในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ	บทที่ 2 19
รูปที่ 2-21 หลักการทำงานของโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table)	บทที่ 2 20
รูปที่ 2-22 มุมมองด้านข้างของตัวโต๊ะ (Porous deck)	บทที่ 2 20
รูปที่ 2-23 มุมมองด้านหน้าของตัวโต๊ะ (Porous deck)	บทที่ 2 21
รูปที่ 2-24 เครื่องจักรย่อยและคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 2 23
รูปที่ 2-25 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องย่อยและคัดแยกทองแดงจากเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 2 24
รูปที่ 2-26 กฎหมาย/ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเศษสายไฟฟ้าจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากภาคครัวเรือน	บทที่ 2 25
รูปที่ 3-1 กรอบงานวิจัยการแยกทองแดงออกจากพลาสติกฉนวน	บทที่ 3 1
รูปที่ 4-1 เศษสายไฟฟ้าจากการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้า	บทที่ 4 1
รูปที่ 4-2 ส่วนประกอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)	บทที่ 4 2
รูปที่ 4-3 โครงใบมีดของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)	บทที่ 4 2
รูปที่ 4-4 เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)	บทที่ 4 3
รูปที่ 4-5 ขนาดและสัดส่วนของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ	บทที่ 4 3
รูปที่ 4-6 โครงภายในเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)	บทที่ 4 4
รูปที่ 4-7 เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)	บทที่ 4 4
รูปที่ 4-8 เศษสายไฟฟ้าก่อนและหลังการบดย่อย	บทที่ 4 5
รูปที่ 4-9 เครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)	บทที่ 4 6
รูปที่ 4-10 ประสิทธิภาพการแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ครั้งที่ 1	บทที่ 4 7

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4-11 ประสิทธิภาพการแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ครั้งที่ 2	บทที่ 4 8
รูปที่ 4-12 ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำมาจากทองแดง	บทที่ 4 9
รูปที่ 4-13 ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่เป็นเส้นเดี่ยว ขนาดเล็ก	บทที่ 4 9
รูปที่ 4-14 ภาพรวมระยะเวลาการลงพื้นที่ทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 10
รูปที่ 4-15 การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ครั้งที่ 1	บทที่ 4 10
รูปที่ 4-16 เศษสายไฟฟ้าติดในโม่มีดย่อย	บทที่ 4 11
รูปที่ 4-17 การปรับเปลี่ยนจานตรอบของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 4 11
รูปที่ 4-18 การตัดเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 4 12
รูปที่ 4-19 การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ครั้งที่ 2	บทที่ 4 12
รูปที่ 4-20 เศษสายไฟฟ้าสำหรับการทดสอบเครื่องคัดแยกทองแดง จำนวน 2 กิโลกรัม (ถาดเหล็กหนัก 1 กิโลกรัม)	บทที่ 4 13
รูปที่ 4-21 การทดสอบเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 13
รูปที่ 4-22 น้ำหนักทองแดงจากวัสดุรองรับทองแดง	บทที่ 4 14
รูปที่ 4-23 น้ำหนักฉนวนหุ้มสายไฟจากวัสดุรองรับฉนวน	บทที่ 4 14
รูปที่ 4-24 น้ำหนักทองแดงที่ค้างอยู่บนเครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 14
รูปที่ 4-25 เครื่องคัดแยกทองแดงที่ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้ว	บทที่ 4 15
รูปที่ 4-26 บรรยากาศการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยก ทองแดง ณ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์	บทที่ 4 16
รูปที่ 4-27 บรรยากาศการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยก ทองแดง ณ ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่อนขันธ์ จังหวัดอุบลราชธานี	บทที่ 4 17

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4-28 การสัมภาษณ์รายการ “เปิดรู้วุฒศึกษา” ทางสถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5	บทที่ 4 18
รูปที่ 4-29 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่านช่อง YouTube Chanel	บทที่ 4 19
รูปที่ 4-30 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่าน Facebook	บทที่ 4 19
รูปที่ 4-31 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่าน Website	บทที่ 4 20
รูปที่ 4-32 บันทึกนำเสนอเครื่องมือวิจัย	บทที่ 4 21
รูปที่ 4-33 กำหนดการส่งมอบเครื่องมือวิจัย	บทที่ 4 22
รูปที่ 4-34 สายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่เข้ามาคัดแยกในชุมชน	บทที่ 4 26
รูปที่ 4-35 ทองแดงในสายไฟฟ้า	บทที่ 4 26
รูปที่ 4-36 การเผาเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 4 27
รูปที่ 4-37 การใช้เครื่องคัดแยกทองแดง	บทที่ 4 27
รูปที่ 4-38 ผลิตภัณฑ์โลหะทองแดงจากการคัดแยก	บทที่ 4 31
รูปที่ 4-39 เศษฉนวนหุ้มหรือพลาสติกที่เหลือจากการคัดแยกที่ขายได้	บทที่ 4 32

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2-1 เทคนิคการแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 2 12
ตารางที่ 2-2 ตัวแปรที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของการแยกพลาสติก ด้วยโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table)	บทที่ 2 22
ตารางที่ 4-1 ภาพรวมการเปรียบเทียบวิธีการคัดแยกเศษทองแดงหรือโลหะมีค่าจากเศษสายไฟขนาด เล็กด้วยวิธีการต่างๆ ในด้านต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	บทที่ 4 21
ตารางที่ 4-2 สรุปต้นทุนของเทคโนโลยีฯ	บทที่ 4 27
ตารางที่ 4-3 สรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในกระบวนการ	บทที่ 4 28
ตารางที่ 4-4 รายการผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น	บทที่ 4 31
ตารางที่ 4-5 สรุปผลประโยชน์ต้นทุนการตัดสินใจด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์	บทที่ 4 33
ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินงานของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัย อุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า	บทที่ 5 1
ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้	บทที่ 6 1
ตารางที่ 7-1 งบประมาณที่ได้ใช้จ่ายไปนับตั้งแต่เริ่มโครงการ	บทที่ 7 1

บทที่ 1

ข้อมูลโครงการ

1. ข้อมูลทั่วไป

โครงการ (ภาษาไทย) อุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า
(ภาษาอังกฤษ) A segregated device of copper from electrical wire scrap

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2562 จำนวน 4,220,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 8 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ พฤษภาคม 2562 ถึง ธันวาคม 2562

รายงานฉบับสมบูรณ์ ระหว่าง พฤษภาคม 2562 ถึง มีนาคม 2563

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล

ตำแหน่ง/สังกัด ผู้อำนวยการศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย (TAQM)

สถานที่ติดต่อ ห้อง 101 ชั้น 1 อาคารภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 02 218 6667

อีเมล Sirima.P@chula.ac.th

2. หลักการและเหตุผล

ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากสถิติของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2560 มีจำนวน 401,387 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2559 ถึง 8,317 ตัน สำหรับประเทศไทยขยะอิเล็กทรอนิกส์ คือ ของเก่าที่รื้อพ้อค้าหรือชำรุดมาตระเวนรับซื้อจากบ้านเรือนก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังแหล่งคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศเกือบ 100 แห่ง ในพื้นที่ 17 จังหวัด โดยจังหวัดที่มีชุมชนประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด ได้แก่ กาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี สำหรับแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยอยู่ในพื้นที่อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ รองลงมา ได้แก่ พื้นที่อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์และอำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์

ผู้ประกอบการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย มีจำนวน 22 แห่ง ส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก ภาคเหนือและภาคใต้มีเพียงภาคละ 1 แห่ง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่พบโรงงานรีไซเคิลที่บริหารจัดการซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ (กรมควบคุมมลพิษ 2555) ผู้ประกอบการรีไซเคิลแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ (1) กลุ่มบริษัทผู้ผลิตที่มีกระบวนการรีไซเคิลเพื่อจัดการซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ของตนเอง (เฉพาะหลอดฟลูออเรสเซนต์) และ (2) กลุ่มบริษัทผู้ประกอบการกิจการรีไซเคิลโดยเฉพาะ ซึ่งมีทั้งผู้ประกอบการไทย และผู้ประกอบการต่างชาติหรือร่วมทุน ทั้งนี้

ผู้ประกอบการต่างชาติบางรายที่เข้ามาทำธุรกิจรีไซเคิลในประเทศไทยยังมิได้มีการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลเต็มรูปแบบในประเทศไทย แต่มีกระบวนการขั้นตอนและส่งออกปรีไซเคิลที่บริษัทแม่ ส่วนผู้ประกอบการไทยอาจแบ่งกลุ่มตามลักษณะการดำเนินธุรกิจเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มที่รับซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน/ค้างสต็อก และ (2) กลุ่มที่รับซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งจากแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน

สำหรับเทคโนโลยีในการรีไซเคิลและการบำบัดสารอันตรายของผู้ประกอบการรีไซเคิลในประเทศไทย ผู้ประกอบการรีไซเคิลหลายรายที่รับเฉพาะชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในการสกัดโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ และมีระบบควบคุมมลพิษที่ดีในการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งเครื่องที่ไม่แยกชิ้นส่วนเพื่อนำชิ้นส่วนบางชนิดไปสู่กระบวนการรีไซเคิล หากพิจารณาเฉพาะเทคโนโลยีในการรีไซเคิลแล้ว ผู้ประกอบการรีไซเคิลในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการจัดการซากผลิตภัณฑ์ด้วยการถอดแยกเป็นชิ้นส่วนและวัสดุ เพื่อส่งต่อไปโรงงานรีไซเคิลวัสดุภายในประเทศ ขณะที่ส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกไปรีไซเคิลในต่างประเทศ และมีผู้ประกอบการจำนวนน้อยที่มีเทคโนโลยีสกัดโลหะมีค่าจากซากผลิตภัณฑ์ และไม่มีผู้ประกอบการรายใดที่สามารถถอดแยกชิ้นส่วนตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างผู้ประกอบการในประเทศกับต่างประเทศ คือวิธีการและเทคโนโลยีในการบำบัดสารอันตรายที่มีอยู่ในชิ้นส่วนของซากผลิตภัณฑ์หรือเศษวัสดุที่เหลือจากการถอดแยกหรือรีไซเคิล ซึ่งผู้ประกอบการในประเทศยังมิได้มีการลงทุนในส่วนนี้มากนัก เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนสูง สำหรับผู้ประกอบการรายย่อยที่มีการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์จะใช้เครื่องมือพื้นฐานทั่วไป วัสดุที่ได้จากการถอดแยกและนำไปขายต่อ ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียม พลาสติก แผงวงจร โทรทัศน์ แผงวงจรคอมพิวเตอร์ เหล็ก สายไฟ ประเด็นปัญหาด้านมลพิษอากาศในพื้นที่หลายๆ ที่ จะเกิดจากผู้คัดแยกรายย่อยที่นำสายไฟที่ได้มีการรับซื้อหรือเก็บจากกองขยะชุมชนมาเผาเพื่อให้ได้สายทองแดงและนำไปขายต่ออีกทอดหนึ่ง ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดวาระการจัดการขยะเป็นวาระเร่งด่วน ซึ่งได้บรรจุลงในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี มีการมองเป็นภาพรวมโดยแบ่งตามประเภทและแหล่งกำเนิดของขยะแต่ละชนิด และมีการบริหารจัดการแตกต่างกันไป กล่าวคือขยะชุมชนได้มีการกำหนดให้แปลงขยะชุมชนและขยะอุตสาหกรรมเป็นพลังงานไฟฟ้าและอื่น ๆ ขยะอินทรีย์ได้มีการกำหนดให้ดำเนินการเป็นสารปรับปรุงดินหรือก๊าซเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่มีขยะประเภทหนึ่งที่ต้องการการจัดการที่เฉพาะเจาะจงและมีวิธีการจัดการที่แตกต่างไป คือขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์นี้มีส่วนประกอบที่หลากหลายผสมกัน เช่น โลหะมีค่า พลาสติก แผงวงจร สายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่เป็นสายวงจรและสายสัญญาณขนาดเล็ก

การจัดการสายวงจรหรือสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ปัจจุบันก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากการแยกทองแดงหรืออะลูมิเนียมด้านในไม่สามารถใช้แรงงานคนแยกออกมาได้ เพราะปริมาณและมูลค่าจะต่ำมากหากใช้การแยกด้วยแรงงานคน และเครื่องแยกสายไฟขนาดเล็ก สายวงจรมี

จำหน่ายในต่างประเทศยังมีราคาสูงสำหรับผู้ประกอบการรีไซเคิลในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบุคคลที่เริ่มจากการเก็บชิ้นส่วนและรวบรวมส่งขายต่อให้ผู้รับซื้อขนาดใหญ่ โดยมีความตั้งใจที่จะเพิ่มมูลค่าจากการขายโดยการลอกทองแดงขาย แทนที่จะขายในลักษณะดั้งเดิมคือ สายไฟขนาดเล็กที่ยังมีฉนวนหุ้มอยู่ วิธีการที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันคือ การเผาในที่โล่งแจ้งในเวลากลางคืน ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา หากภาครัฐจะใช้กฎหมายที่เข้มงวดเข้าไปจัดการโดยไม่มีทางออกที่สร้างประโยชน์ร่วมกันระหว่างสิ่งแวดล้อมและธุรกิจให้กลุ่มคนระดับปฐมภูมินั้น ย่อมเป็นเรื่องที่สร้างผลกระทบด้านลบทางสังคมต่อไป อีกทั้งการสั่งซื้อเครื่องจักรจากต่างประเทศเข้ามาติดตั้ง บุคคลที่ประกอบการจำต้องตั้งเป็นโรงงานรีไซเคิลที่มีกฎหมายอื่นๆ มาประกอบจำนวนมาก เช่น การรับฟังชุมชนและการสร้างความยอมรับ การขออนุญาตจากหน่วยงานท้องถิ่น การขออนุญาตจากกรมโรงงาน หน่วยงานสาธารณสุข แรงงาน กรมพัฒนาธุรกิจ ซึ่งทั้งหมดล้วนเป็นอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงแต่เป็นกฎหมายที่ทุกคนต้องปฏิบัติตาม ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ การรวบรวมให้ได้ปริมาณที่มากในระดับหนึ่งและลักลอบเผาตามสถานที่ห่างไกล ซึ่งแม้จะมีการจับกุมผู้ดำเนินการได้แต่ผลเสียทางด้านสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น บุคคลผู้ลักลอบเผานั้นก็ยังคงไม่มีความสามารถที่จะรับผิดชอบได้ โดยเมื่อทำการเผาฉนวนสายไฟจะละลายออกไปและเผาไหม้จนเหลือทองแดงไหม้ โดยทั่วไปฉนวนสายไฟฟ้าจะเป็นพลาสติกประเภท PVC (Polyvinylchloride) หรือ XLPE (Cross-link polyethylene) เมื่อมีการเผาไหม้จะเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งสังเกตว่าจะมีควันดำหมายถึงปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ หรือหากมีควันขาวจะหมายถึงปริมาณเชื้อเพลิงคือฉนวนพลาสติกเริ่มหมดไป ซึ่งการเผาไหม้ในลักษณะนี้จะเกิดก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไดออกซิน เป็นต้น ที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรือผลกระทบด้านอื่น รวมทั้งก่อให้เกิด PM2.5 ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากในปัจจุบัน และอีกเหตุผลประการหนึ่งที่บุคคลประกอบการในท้องถิ่นไม่สามารถสั่งซื้อเครื่องจักรแยกทองแดงและฉนวนได้ มาจากปริมาณการจัดหาสายไฟไม่ต่อเนื่องและไม่เพียงพอที่จะให้เครื่องจักรเดินได้ต่อเนื่องจนถึงจุดคุ้มทุน หากต้องการรวบรวมให้ได้ปริมาณมากพอต้องเสนอราคาซื้อที่สูงจนถึงจุดให้ผู้รวบรวมอื่นๆ นำมาส่งขาย และต้องมีสถานที่รองรับสายไฟที่ผู้รวบรวมคนอื่นนำมาขายอย่างเหมาะสมตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต้องใช้ทุนจำนวนมากที่เกินกำลัง

ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อมุ่งหากระบวนการแยกทองแดงและฉนวนจากสายไฟและสายวงจรขนาดเล็กโดยใช้เครื่องมือและ/หรืออุปกรณ์ในท้องถิ่น ที่สามารถติดตั้ง ซ่อม และสร้างได้เองในพื้นที่ (Engineering Simplification) ที่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการเผาแบบเดิมได้ เพื่อเป็นทางออกให้แก่บุคคลที่ประกอบการสามารถดำเนินการได้ ภายใต้การดำเนินการที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศต่อไป

3. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลัก

- เพื่อประดิษฐ์เครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องแยก สำหรับพลาสติกหุ้มฉนวนและทองแดงออกจากกัน สำหรับใช้ในภาคสนาม
- เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์รอง

- เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้งานวิจัยสู่ผู้ประกอบการคัดแยกหรือประชาชนผู้สนใจ

4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- วิธีการบดย่อยสายไฟฟ้าขนาดเล็กกว่า 2.5 ตารางมิลลิเมตร จากลักษณะเป็นเส้น ให้เป็นแบบเม็ด (Granular) หรือเส้นขนาดสั้น (Pellet) ด้วยวิธีทางกล (Physical) เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการแยกทองแดง
- วิธีการแยกทองแดงจากของผสม ฉนวนหุ้มและทองแดง ออกจากกัน โดยไม่ใช้กระบวนการเผาไหม้
- เครื่องประดิษฐ์ต้องใช้อะไหล่ที่หาได้ภายในประเทศ หรือ กรรมวิธีการดัดแปลงอะไหล่ในประเทศ เพื่อที่บุคคลประกอบการ สามารถทำซ้ำ หรือ ดัดแปลงซ่อมแซมเองได้

บทที่ 2

การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า และการทบทวนวรรณกรรม

จากสถานการณ์ในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยในปัจจุบัน มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการเผาเศษสายไฟฟ้า จึงเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยรอบพื้นที่ดังกล่าว เพื่อลดปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้น โครงการฯ นี้จึงเสนอแนวทางการจัดการที่สอดคล้องกับภาคปฏิบัติให้แก่ผู้ประกอบการ ได้แก่ การสร้างเครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง ซึ่งเครื่องต้นแบบเหล่านี้จะนำไปใช้ทดสอบในสถานที่ใช้งานจริง และมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทั้งในทฤษฎีและทางปฏิบัติ โดยมีรายละเอียดข้อมูลการลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี

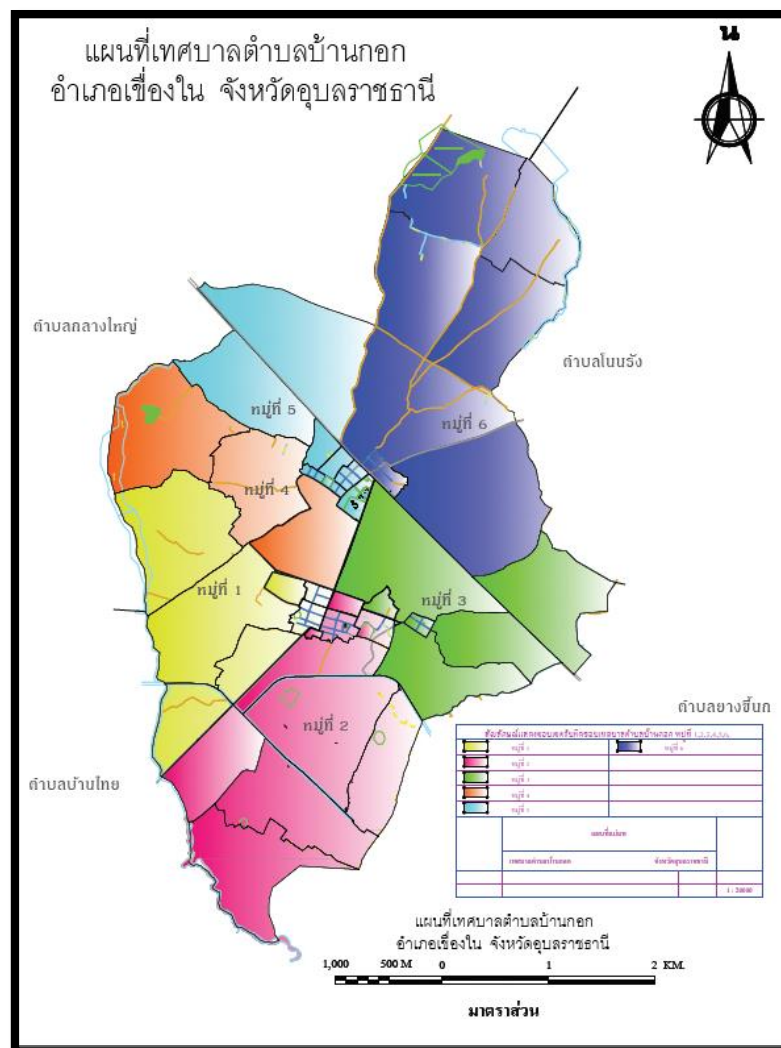
การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า ได้ดำเนินการสำรวจ ณ ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี โดยตำบลบ้านกอกแบ่งเขตการปกครองออกเป็น 6 หมู่ ดังรูปที่ 2-1 ซึ่งจากข้อมูลของทะเบียนการค้าขายของทอดตลาดและของเก่า กรมการปกครอง ปี 2558 พบว่าสถานประกอบการกิจการร้านรับซื้อของเก่า คัดแยกและรีไซเคิล ในพื้นที่ตำบลบ้านกอก มีจำนวน 61 ราย สามารถแบ่งตามประเภทการประกอบกิจการ 6 ประเภท ได้แก่

1) ประเภทขยะรวมทุกประเภท	จำนวน	7	ราย
2) ประเภทขยะพลาสติก	จำนวน	20	ราย
3) ประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์	จำนวน	13	ราย
4) ประเภทรถจักรยานยนต์	จำนวน	9	ราย
5) ประเภทรถยนต์	จำนวน	11	ราย
6) ประเภทถุงน้ำยาล้างไต	จำนวน	1	ราย

ซึ่งแบ่งเป็น สถานประกอบการคัดแยก จำนวน 9 ราย สถานประกอบการรับซื้อจำนวน 3 ราย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สถานประกอบการคัดแยกนำวัสดุเข้ามาเพื่อคัดแยกเฉลี่ย 17 ครั้งต่อเดือน และสามารถคัดแยกเศษสายไฟฟ้า/ทองแดง เฉลี่ย 5 กิโลกรัมต่อวัน
- 2) ประเภทของสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก แบ่งเป็น
 - สายไฟฟ้าภายในบ้านเรือน

- สายต่อพ่วงเครื่องใช้ไฟฟ้า
 - สายวงจรภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า
- 3) สถานประกอบการคัดแยกนำตู้เย็น/ตู้แช่เย็นเข้ามาเพื่อคัดแยก เฉลี่ย 44 เครื่องต่อเดือน
 - 4) เครื่องมือที่ใช้ในการคัดแยกเป็นเครื่องมือพื้นฐาน เช่น ค้อน ไขควง กรรไกร คีม สิว แฉง โดยมีสถานประกอบการเพียง 1 รายในการใช้แม่แรงไฮดรอลิกเพื่อช่วยทุ่นแรง
 - 5) สถานประกอบการ 8 ใน 9 ราย นำสายไฟที่ได้จากการคัดแยก ไปเผา เนื่องจากไม่มีทางวิธีการอื่นที่ดีกว่า

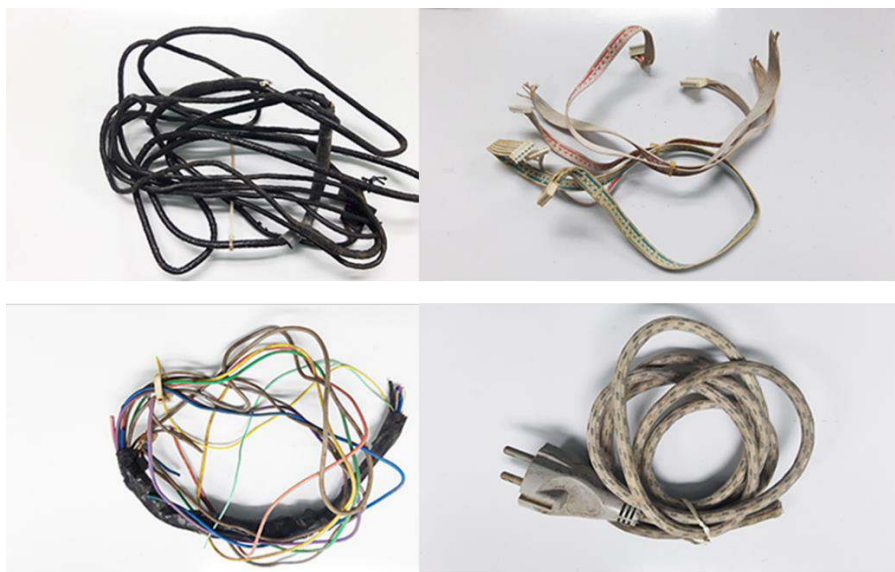


รูปที่ 2-1 แผนที่เทศบาลตำบลบ้านกอก อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี

ตัวอย่างภาพการลงพื้นที่สำรวจสอบถามผู้ประกอบการกิจการคัดแยก แสดงดังรูปที่ 2-2 โดยลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่ผู้ประกอบการกิจการคัดแยก มีความหลากหลายทั้งขนาด และฉนวนหุ้ม ดังรูปที่ 2-3 จากการสำรวจพบว่า เศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยกจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือซากจักรยานยนต์/รถยนต์/เครื่องยนต์ ส่วนหนึ่งนำไปขายร้านรับซื้อของเก่าทั้งในและนอกพื้นที่ และอีกส่วนหนึ่งมีการนำไปเผา ดังรูปที่ 2-4



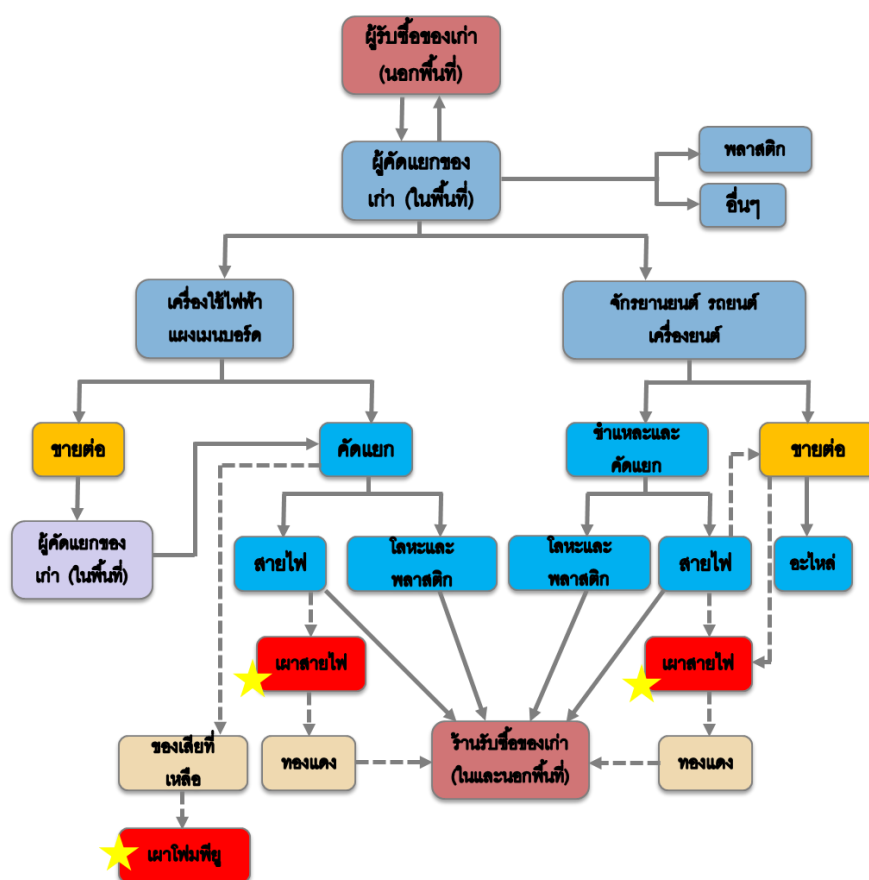
รูปที่ 2-2 สถานประกอบการกิจการคัดแยกในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 2-3 เศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก



จากการลงพื้นที่สำรวจในครั้งนี้ สามารถสรุปภาพรวมการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ของตำบลบ้านกอก อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดอุบลราชธานี ได้ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ภาพรวมการประกอบกิจการค้าแยก ในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี

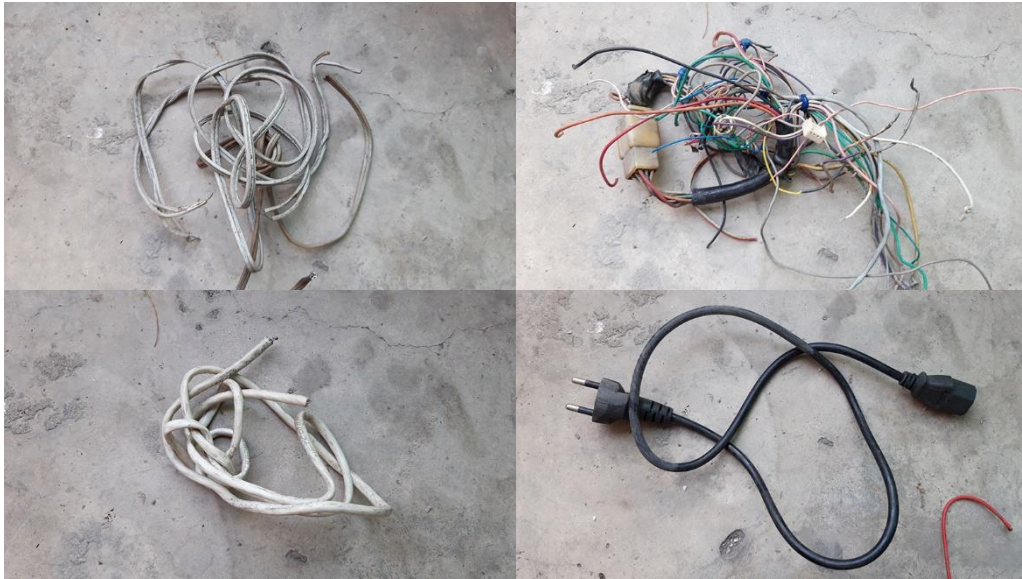
2. การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้า พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์

การลงพื้นที่สำรวจเศษสายไฟฟ้าครั้งที่ 2 ได้ดำเนินการสำรวจ ณ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยตำบลแดงใหญ่ แบ่งเขตการปกครองเป็น 9 หมู่บ้าน ประกอบด้วย หมู่ 1 บ้านแดงใหญ่ หมู่ 2 บ้านหนองไผ่ หมู่ 3 บ้านโคกสะอาด หมู่ 4 บ้านโคกนาค หมู่ 5 บ้านเป่าพัฒนา หมู่ 6 บ้านอีเม้ง หมู่ 7 บ้านหนองจิก หมู่ 8 บ้านโนนเห็ดโค และหมู่ 9 บ้านหนองหัวหมู เพื่อสำรวจลักษณะประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำเข้ามาคัดแยกและประเภทของสายไฟฟ้า ทีมวิจัยได้เข้าสำรวจผู้ประกอบการจำนวน 14 ราย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สถานประกอบการคัดแยกนำวัสดุเข้ามาเพื่อคัดแยกเฉลี่ย 3 ครั้งต่อเดือน และสามารถคัดแยกเศษสายไฟฟ้า/ทองแดง เฉลี่ย 56 กิโลกรัมต่อวัน
- 2) ประเภทของสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก แบ่งเป็น
 - a. สายไฟฟ้าภายในบ้านเรือน
 - b. สายต่อพ่วงเครื่องใช้ไฟฟ้า
 - c. สายวงจรภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า
- 3) สถานประกอบการไม่สามารถนำตู้เย็นเข้าคัดแยกในพื้นที่ได้เนื่องจากเป็นข้อตกลงร่วมกัน หรือการทำธรรมเนียมหมู่บ้าน ห้ามมิให้ผู้ประกอบการทุกรายในตำบลนำตู้เย็นเข้ามาคัดแยกโดยเด็ดขาด หากฝ่าฝืนจะมีค่าปรับจำนวน 2,000 บาท/ครั้ง
- 4) เครื่องมือที่ใช้ในการคัดแยกเป็นเครื่องมือพื้นฐาน เช่น ค้อน ไขควง กรรไกร คีม สิว แชลง มีผู้ประกอบการจำนวน 2 รายที่ใช้เครื่องปอกสายไฟ
- 5) สถานประกอบการทั้ง 14 ราย นำสายไฟที่ได้จากการคัดแยก ไปเผาเนื่องจากไม่มีทางวิธีการอื่นที่ดีกว่า

จากการลงพื้นที่สำรวจสอบถามผู้ประกอบการกิจการคัดแยกจะเห็นว่าชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำเข้ามาคัดแยกและประเภทสายไฟฟ้ามีความคล้ายคลึงกับผู้ประกอบการในตำบลบ้านกอก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดอุดรธานี แสดงดังรูปที่ 2-6 โดยลักษณะของสถานประกอบการกิจการคัดแยก แสดงดังรูปที่ 2-7

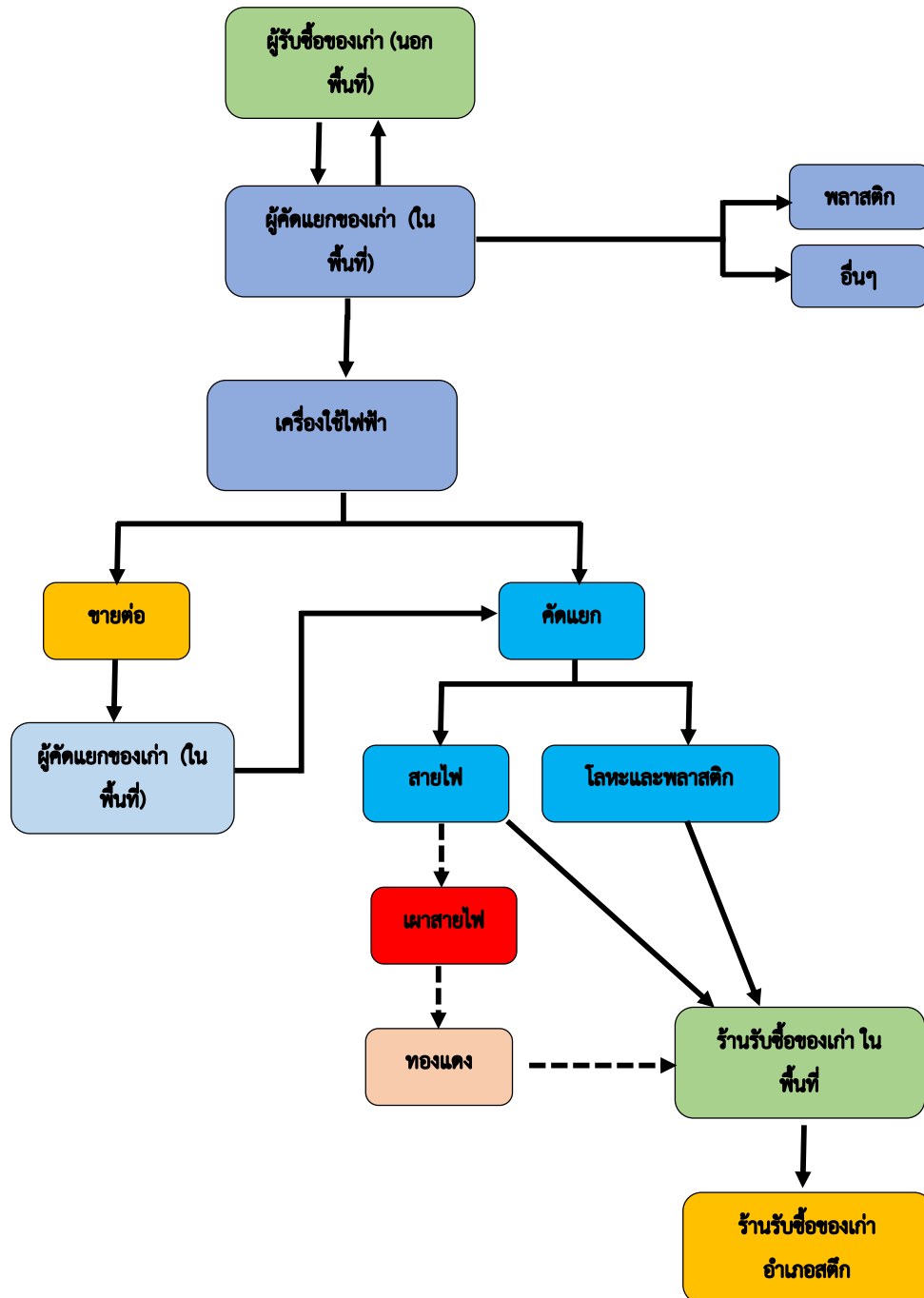
จากการลงพื้นที่สำรวจในครั้งนี้ สามารถสรุปภาพรวมการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ของตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ได้ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-6 เศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก



รูปที่ 2-7 สถานประกอบกิจการคัดแยกในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์



รูปที่ 2-8 ภาพรวมการประกอบกิจการคัดแยก ในพื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์

จังหวัดบุรีรัมย์

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 ขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ขากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electrical and Electronic Equipment: WEEE) คือ ขากเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กในการทำงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน (off-spec) หรือหมดอายุการใช้งาน หรือล้าสมัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 ประเภท ได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดใหญ่ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนขนาดเล็ก อุปกรณ์ไอที เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค อุปกรณ์ให้แสงสว่าง ระบบอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ ระบบอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ ของเล่นที่ใช้ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และ เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ โดยขากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จัดเป็นของเสียอันตรายประเภทที่ 3 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ.2546 ซึ่งต้องมีการดำเนินการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของสารอันตราย โดยเฉพาะโลหะหนัก ลงสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

ภาพรวมพฤติกรรมผู้บริโภคในประเทศไทย (อ้างอิงจากยุทธศาสตร์การจัดการขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ ปี พ.ศ. 2557–2564) พบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าที่นิยมใช้ ได้แก่ โทรทัศน์ กล้องถ่ายรูป โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น หลอดไฟฟ้า แบตเตอรี่ เป็นต้น เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ หรือไม่ใช้งานแล้ว ขากผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกนำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไป นำไปขายส่งต่อให้ผู้อื่นใช้ หรือเก็บไว้ในสัดส่วนแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ ยกตัวอย่างเช่น ตู้เย็นใช้แล้ว การจัดการขากตู้เย็นส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 60 เป็นการขาย รองลงมาเป็นการเก็บไว้ (ร้อยละ 18) ที่ทิ้งรวมกับขยะทั่วไป (ร้อยละ 9) และให้ผู้อื่น (ร้อยละ 8) ตามลำดับ เป็นต้น หากพิจารณาภาพรวม สามารถสรุปได้ว่า พฤติกรรมในการจัดการขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย การนำไปขาย (ร้อยละ 51) เก็บไว้ (ร้อยละ 25) ที่ทิ้งปนกับขยะทั่วไป (ร้อยละ 16) และส่งต่อให้ผู้อื่น (ร้อยละ 8) โดยการซ่อมแซม คัดแยก ชิ้นส่วนขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในภาคครัวเรือนอยู่ภายใต้การกำกับดูแลขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ซึ่งจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ปัญหาการจัดการขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศเกิดจาก ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ระบบการจัดการในประเทศไม่ได้มาตรฐาน ไม่มีกฎหมายรองรับโดยตรง ทั้งยังขาดฐานข้อมูลในการรวบรวมของเสียอย่างเป็นระบบ ทำให้การจัดการขากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในระดับท้องถิ่นยังไม่มีที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากขากผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีองค์ประกอบที่มีมูลค่า เช่น พลาสติก โลหะ เป็นต้น ทำให้ขยะ

อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่เกิดการนำไปรีไซเคิล และหากไม่ได้ดำเนินการด้วยมาตรฐานที่ถูกต้อง ก็จะส่งผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้

ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปประกอบด้วย โลหะ (ร้อยละ 40) พลาสติก (ร้อยละ 30) และวัสดุทนไฟ (Refractory oxides, ร้อยละ 30) ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วน of โลหะ พบว่าส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นทองแดง (ร้อยละ 20) และสังกะสี (ร้อยละ 1) เพราะเป็นโลหะหลักที่ใช้ในการผลิตสายไฟ สายเคเบิล ตัวนำไฟฟ้า และส่วนอื่นๆ ของแผงวงจร ซึ่งการรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์นั้น ของเสียประเภทเศษสายไฟฟ้า และเศษสายเคเบิล เป็นชิ้นส่วนที่มักเกิดการสูญหายระหว่างกระบวนการรีไซเคิล เพราะมีขนาดเล็ก (Hlostá และคณะ, 2017) การรีไซเคิลเศษสายไฟฟ้าจึงต้องมีเครื่องจักรเฉพาะที่สามารถตัดแยกเศษพลาสติก และเศษทองแดงหรือโลหะชนิดอื่น ออกจากกันได้

3.2 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็ก มีส่วนประกอบ 2 ส่วนหลัก ได้แก่

- ตัวนำไฟฟ้า หรือทองแดง (ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98) เป็นโลหะที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง นำความร้อนได้ดี ทนทานการกัดกร่อน มีความแข็งแรง สามารถดัดงอได้โดยไม่เกิดการเปราะหัก ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ
- ฉนวน ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านออกมาจากตัวนำไฟฟ้า โดยทั่วไปผลิตจากพลาสติกโพลิเมอร์ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ซึ่งความหนาของฉนวนขึ้นอยู่กับปริมาณแรงดันไฟฟ้าของสายไฟฟ้า โพลิเมอร์ที่นิยมใช้ทำฉนวนได้แก่ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) หรือ โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) (Bedekovic และคณะ, 2018)

จากรายงานทีดีอาร์ไอ ของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย ปี 2560 พบว่า เนื่องด้วยประเทศไทยไม่มีระบบการบริหารจัดการซากผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ครบวงจร อีกทั้งโรงงานคัดแยก บำบัด และกำจัดซาก ผลิตภัณฑ์มีจำนวนน้อย ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยที่ไม่ได้จดทะเบียนโรงงาน ชาล้าง หรือร้านรับซื้อของเก่า ตามแหล่งชุมชนต่างๆ ทำหน้าที่รับซื้อซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มาทำการคัดแยกชิ้นส่วนด้วยมือ โดยเศษสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็ก ทำให้ยากต่อการปอกสายไฟฟ้าด้วยมือ ผู้ประกอบการจึงใช้วิธีเผาเศษสายไฟฟ้า เพื่อรวบรวมเอาเศษทองแดงส่งขายต่อไป ซึ่งไม่ได้มีระบบการป้องกันอันตรายจากสารอันตราย ที่อาจปนเปื้อนหรือแพร่กระจายไปยังผู้ปฏิบัติการ ชุมชน และสิ่งแวดล้อมรอบข้างอย่างเพียงพอ ดังเห็นตัวอย่างได้จากผลการลงสำรวจในพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ที่ได้กล่าวไปในข้างต้น

3.3 เทคนิคการคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า

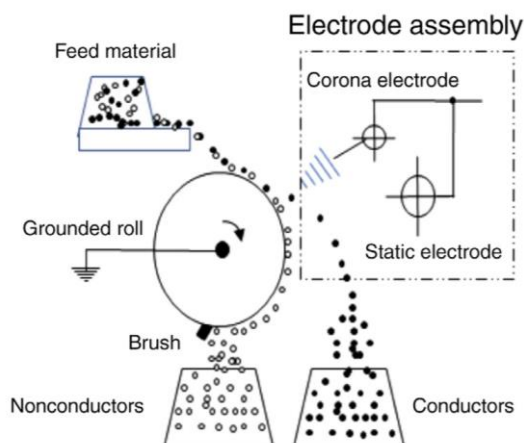
วัตถุประสงค์สำคัญในการคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า คือ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบที่แต่เดิมเป็นของเสีย (Menad, 2016) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการคัดแยกสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักได้แก่

1) การใช้แรงงานคนในการปอกเปลือกเศษสายไฟฟ้า วิธีการนี้ผู้ดำเนินการคัดแยกจะทำการปอกเปลือกเศษสายไฟฟ้าด้วยมือ พร้อมใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการคัดแยก เช่น มีด คัตเตอร์ เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นและใช้ต้นทุนต่ำ แต่ผู้ดำเนินการคัดแยกมีโอกาสสัมผัสกับของเสียสูง ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น ผู้ดำเนินการคัดแยกจึงควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ยกตัวอย่างเช่น ถุงมือ หน้ากากอนามัย เป็นต้น

2) การคัดแยกเชิงกล เป็นเทคนิคการคัดแยกทางกายภาพ ซึ่งนำมาใช้เพื่อทดแทนแรงงานคน โดยวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า คือ การใช้เครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่าเครื่องแกรนูลเลเตอร์ เพื่อทำการลดขนาดของเศษสายไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง อีกทั้งทำให้ทองแดงและฉนวนพลาสติกหลุดออกจากกัน แล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการแยก (Menad, 2016 และ Boss และคณะ) ด้วยวิธีการแยกตามความหนาแน่น (Density separation techniques) เหมาะสำหรับแยกวัตถุที่มีความหนาแน่นต่างกัน โดยใช้การสั่น หรือการลอยตัวด้วยน้ำ/สารละลาย/อากาศ ทำให้วัตถุแยกออกจากกัน ซึ่งมีเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง

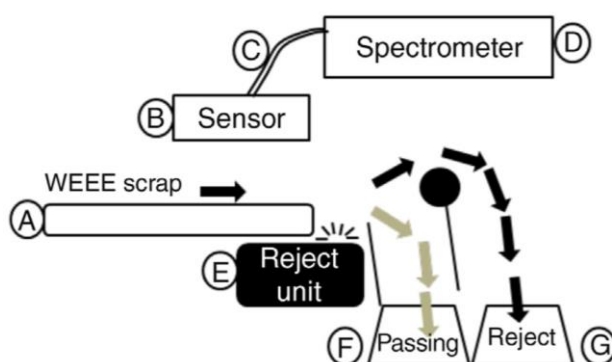
3) การคัดแยกโดยใช้ไฟฟ้า

- เครื่องแยกชนิดกระแสไหลวน (Eddy current separation) เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการคัดแยกกลุ่มโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Nonferrous metals) เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในประเทศแถบยุโรป โดยใช้ตัวนำไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำสร้างสนามแม่เหล็กรอบทองแดง หรือโลหะที่ไม่ใช่เหล็กอื่นๆ สนามแม่เหล็กนี้จะเกิดแรงผลักออกห่างจากสนามแม่เหล็กของตัวโรเตอร์ ทำให้แยกทองแดงออกจากฉนวนพลาสติกได้
- การแยกด้วยวิธีไฟฟ้าสถิต (Electrostatic separation method) เหมาะสำหรับใช้ในการแยกของ 2 ชนิดที่มีค่าความนำไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการรีไซเคิลของเสีย เพราะมีประสิทธิภาพสูง แต่วิธีนี้เหมาะกับวัตถุแห้งที่มีขนาด 0.6-1.2 มิลลิเมตร สามารถรองรับวัตถุดิบในอัตราที่ต่ำ เนื่องด้วยการลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่ตัวเครื่องต้องไม่มีความหนาแน่นมากเกินไป ในลักษณะโมโนเลเยอร์ เพื่อให้เกิดการสร้างประจุแก่วัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ หลักการทำงานประกอบด้วยการสร้างประจุไฟฟ้าให้เกาะอยู่กับทองแดงและฉนวนพลาสติก จากนั้นเคลื่อนที่ไหลผ่านสนามไฟฟ้า ตัวที่ไม่นำไฟฟ้า (ฉนวนพลาสติก) ประจุไฟฟ้าจะยังคงเกาะติดอยู่แล้วจึงไหลเข้าถังกักเก็บ ขณะที่ตัวนำไฟฟ้า (ทองแดง) จะสูญเสียประจุอย่างรวดเร็วจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และรับประจุตรงกันข้าม ทำให้เคลื่อนตัวออกห่างจากวัตถุที่ไม่นำไฟฟ้า เข้าสู่ถังกักเก็บอีกด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 หลักการทำงานของเทคนิคการแยกด้วยวิธีไฟฟ้าสถิต (Electrostatic separation method)
(Menad, 2016)

4) การแยกด้วยแสงเลเซอร์ (Optical sorting) วิธีนี้ใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจจับวัตถุ เช่น REDWAVE หรือ laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) เป็นต้น โดยมีหลักการทำงาน คือ วัตถุไหลลำเลียงด้วยสายพานผ่านลำแสง ซึ่งทำการสแกนและวิเคราะห์ว่าใช้วัตถุที่ต้องการหรือไม่ หากไม่ใช่ ทางระบบกำจัดจะทำการฉีดอากาศให้ลอยไปเก็บรวบรวมในอีกถังหนึ่ง ดังรูปที่ 2-10 ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ความขึ้น สี และลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ไม่มีผลต่อการคัดแยก แต่การวัตถุเคลื่อนที่ผ่านระบบตรวจจับควรต้องลำเลียงไม่ให้ความหนาแน่นมากเกินไป ในลักษณะโมโนเลเยอร์ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2-10 หลักการทำงานของเทคนิคการแยกด้วยแสงเลเซอร์ (Optical sorting) (Menad, 2016)

5) การละลายและกรอง (Extrusion screening: melt-filtration) เป็นวิธีที่เน้นเพื่อการรีไซเคิลพลาสติก โดยใช้ความร้อนในการละลายพลาสติกออกจากทองแดง พลาสติกที่ละลายแล้วจะไหลผ่านตะแกรง คงเหลือทองแดงอยู่บนตะแกรงดังกล่าว วิธีนี้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถนำพลาสติกไปผ่าน

การหล่อขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกได้ทันที อย่างไรก็ตามก่อนทำการหลอมละลายพลาสติกต้องมีกระบวนการคัดแยกทองแดงออกเบื้องต้น เนื่องด้วยสิ่งเจือปน (ทองแดง) ไม่ควรอยู่ในระบบหลอมละลายเกินร้อยละ 1 จึงจะทำให้เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Boss และคณะ)

6) การเผา (Open burning) เป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด และรวดเร็ว จึงทำให้ผู้ประกอบการคัดแยกขนาดเล็กนิยมใช้วิธีนี้ในการคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเช่นกัน

ข้อดี-ข้อเสีย ของเทคนิคการแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า สรุปได้ดังตารางที่ 2-1 ดังนั้นเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และคำนึงถึงศักยภาพของผู้ประกอบการขนาดเล็ก เทคนิคที่นำมาต่อยอดในการสร้างเครื่องจักรระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ต้องไม่ซับซ้อน ผู้ประกอบการสามารถเข้าใจและใช้งานได้ง่าย ประสิทธิภาพสูง อีกทั้งราคาต้องไม่แพง คือ การคัดแยกเชิงกล ด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์และการแยกตามความหนาแน่น โดยคาดว่าจะการสร้างเครื่องในราคาที่ถูกลงเมื่อเทียบกับราคารานำเข้า จะส่งผลให้ช่วยลดปัญหาการลักลอบเผาเศษสายไฟฟ้าได้

ตารางที่ 2-1 เทคนิคการแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า (Menad, 2016 และ Boss และคณะ)

เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
การใช้แรงงานคนในการปอกเปลือกเศษสายไฟฟ้า	+ ลงทุนต่ำ + มีความยืดหยุ่นในการดำเนินการจัดการเศษสายไฟฟ้าได้หลายขนาด/ประเภท	- ใช้ระยะเวลาดำเนินการนาน - เสี่ยงต่อปัญหาด้านสุขภาพ
การคัดแยกเชิงกล ด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์ และการแยกตามความหนาแน่น	+ นิยมใช้อย่างแพร่หลาย + ประสิทธิภาพสูง	- ต้นทุนเครื่องจักรสูง - ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย - กรณีการแยกตามความหนาแน่นแบบเปียก อาจมีของน้ำเสียเกิดขึ้น
การคัดแยกโดยใช้ไฟฟ้า	+ นิยมใช้อย่างแพร่หลาย + ประสิทธิภาพสูง	- ต้นทุนเครื่องจักรสูง - มีความซับซ้อน - ต้องมีกระบวนการปรับสภาพก่อนเข้าสู่เครื่องคัดแยก - ต้องมีการลำเลียงในลักษณะโมโนเลเยอร์

ตารางที่ 2-1 เทคนิคการแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า (Menad, 2016 และ Boss และคณะ) (ต่อ)

เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
การแยกด้วยแสงเลเซอร์	+ ความชื้น สี และลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ไม่มีผลต่อการคัดแยก	- ต้นทุนเครื่องจักรสูง - ต้องมีกระบวนการปรับสภาพก่อนเข้าสู่เครื่องคัดแยก - ต้องมีการลำเลียงในลักษณะโมโนเลเยอร์
การละลายและกรอง	+ ประสิทธิภาพสูง	- ต้นทุนเครื่องจักรสูง - ต้องมีกระบวนการปรับสภาพก่อนเข้าสู่เครื่องคัดแยก
การเผา	+ ต้นทุนต่ำ + สะดวก รวดเร็ว + ประสิทธิภาพสูง	- ก่อปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซไดออกซิน

3.4 หลักการลดขนาดของเศษสายไฟฟ้า

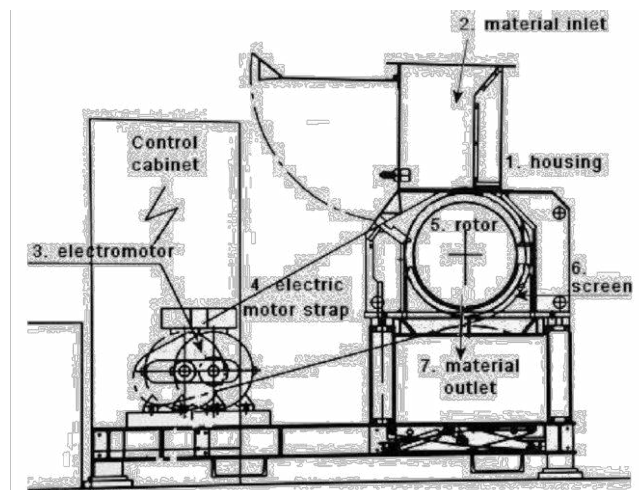
หลักการลดขนาดของวัตถุประกอบด้วย 3 หลักการใหญ่ คือ การตัด การกดอัด และการเฉือน ซึ่งอาจจะประกอบด้วยแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบรวมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุที่ต้องการย่อยให้มีขนาดเล็กลง

- การตัด (Cutting) เป็นการลดขนาดโดยการกดด้วยใบมีดที่มีความคมและบางผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการลดขนาด
- การกดอัด (Pressing) เป็นการลดขนาดโดยการประยุกต์แรงให้เกิดแรงดันกับวัสดุที่ต้องการลดขนาดของวัสดุ โดยแรงอาจมาจากหลายทิศทางจึงทำให้ได้วัสดุที่ไม่สม่ำเสมอหลังการลดขนาด วิธีการนี้อาจเรียกได้อีกอย่างว่า การกะเทาะ
- การเฉือน (Shearing) อาศัยแรง 2 ทิศทางวิ่งออกจากวัสดุ เป็นการผสมผสานระหว่างการตัดและการกดอัด

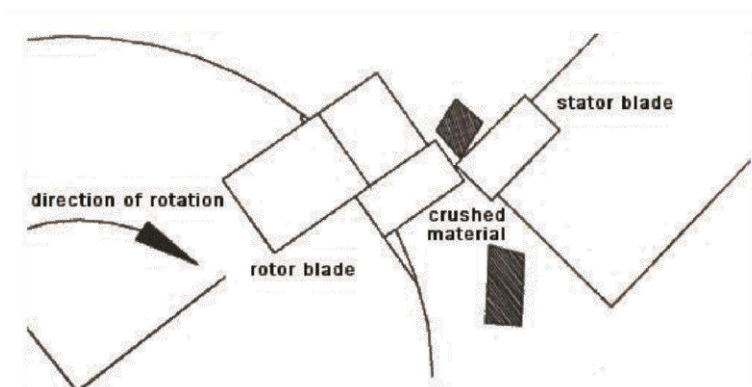
การย่อยชิ้นส่วนเศษสายไฟฟ้า ซึ่งมีส่วนประกอบระหว่างทองแดงและพลาสติกหุ้มสายไฟ มีลักษณะเป็นเส้นยาว จึงต้องนำมาทำการแยกโดยตัดและการเฉือนให้สั้นลง ด้วยหลักการการตัดด้วยใบมีดและเฉือนด้วยการหมุนโรเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการบดให้ฉนวนหุ้มแยกออกจากทองแดง ซึ่งการเลือกใช้ใบตัดที่เหมาะสมจะทำให้การตัดและบดแยกเกิดขึ้นได้ในเครื่องจักรตัวเดียวกัน

เครื่องจักรสำหรับตัดเศษสายไฟฟ้า หรือสายเคเบิล ที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม เรียกว่า เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Granulator) โดยมีองค์ประกอบหลัก แสดงดังรูปที่ 2-11 หลักการทำงานของเครื่องนี้

เป็นการใช้ใบมีดในการตัดและฉีกเศษสายไฟฟ้า โดยตัวใบมีดประกอบด้วย 2 ใบหลัก ใบมีดอันแรกติดตั้งไว้อยู่กับที่ ส่วนอีกใบติดตั้งบนโรเตอร์ เมื่อทำการใส่เศษสายไฟฟ้าเข้าไปในตัวเครื่อง (หมายเลข 1 และ 2) ตัวมอเตอร์และสายพาน (หมายเลข 3 และ 4) ทำหน้าที่หมุนโรเตอร์ (หมายเลข 5) แล้วใบมีดจะทำหน้าที่ตัดฉีกเศษสายไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง (ดังรูปที่ 2-12) เมื่อได้ขนาดตามที่ต้องการ เศษสายไฟฟ้าจะหลุดรอดผ่านตะแกรง (หมายเลข 6) ออกมายังพื้นที่รองรับเศษสายไฟฟ้าที่ตัดแล้ว (หมายเลข 7) (Bedekovic และคณะ, 2018)



รูปที่ 2-11 องค์ประกอบเครื่องตัดเศษสายไฟฟ้า (Bedekovic และคณะ, 2018)



รูปที่ 2-12 การตัดเศษสายไฟฟ้าด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Bedekovic และคณะ, 2018)

รูปที่ 2-13 แสดงตัวอย่างใบมีดที่ใช้ในการตัดหรือบดสายไฟของเครื่องแกรนูลเลเตอร์ และรูปที่ 2-14 แสดงตัวอย่างเครื่องแกรนูลเลเตอร์ โดยเครื่องแกรนูลเลเตอร์ที่มีจำหน่ายและใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม เช่น เครื่องรุ่น Universal Granulator UG600 เหมาะสำหรับตัดเศษชิ้นส่วนเล็กๆ (Scrap) ขนาดที่ตัดได้ 8-120 มิลลิเมตร (ANDRITZ AG, 2019) ดังรูปที่ 2-15

เครื่องแกรนูลเลเตอร์มีการผลิตและใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามยังไม่มี การผลิตในประเทศไทย หากต้องการใช้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ประมาณ 60,000-600,000 บาทต่อเครื่อง (อ้างอิงราคาจากเว็บไซต์ Alibaba, 2019) ด้วยเหตุผลด้านราคาจึงทำให้ ในประเทศไทยไม่นิยมใช้วิธีนี้ในการรีไซเคิลทองแดงจากเศษสายไฟฟ้า



รูปที่ 2-13 ใบมีดตัดหรือบดสายไฟ เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Wanrooe machinery, 2019)



รูปที่ 2-14 เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Dongguan GPE Machinery, 2019 และ ANDRITZ AG, 2019)



รูปที่ 2-15 การตัดเศษสายไฟฟ้าด้วยเครื่องแกรนูลเลเตอร์ รุ่น Universal Granulator UG600
(Mewa Recycling Anlagen, 2019)

3.5 หลักการแยกเศษทองแดงออกจากเศษพลาสติก

สายไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ทองแดง และพลาสติก ซึ่งมีความหนาแน่นต่างกัน โดยทองแดงมีความหนาแน่น 8.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีความหนาแน่น 1.1-1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือหากเป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) มีความหนาแน่น 0.91-0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นวิธีการแยกโลหะออกจากพลาสติกจึงสามารถทำได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง หรือความถ่วงจำเพาะ เป็นหลักการสำคัญในการแยกดังกล่าว เนื่องด้วยของผสมทั้ง 2 ชนิด มีความหนาแน่นที่ต่างกัน

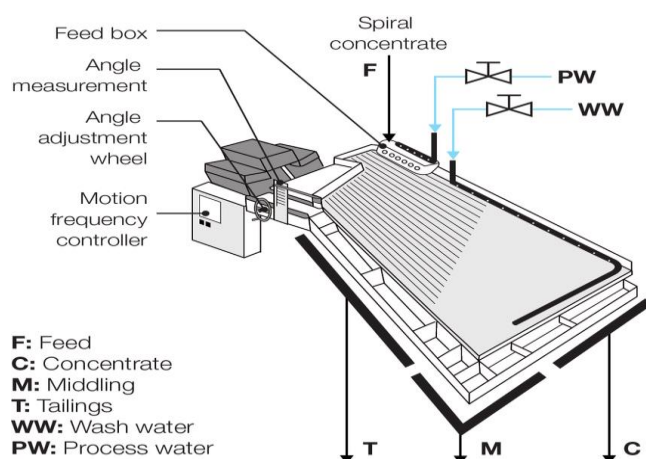
เครื่องแยกแบบอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Separation) เป็นวิธีการที่ใช้แยกของแข็งตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการแยกแบบอื่นๆ และใช้กันอย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขา เช่น ใช้ในการแต่งแร่ การแยกขยะ เป็นต้น หลักการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่

- การแยกแบบเปียก (Wet separation methods) ใช้สารละลายเป็นตัวกลางในการแยก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำ ยกตัวอย่างเช่น โต๊ะแยกวัตถุแบบเปียก (Wet table) (รูปที่ 2-16) ใช้หลักการให้สารละลายหรือน้ำไหลผ่านพื้นราบเอียงที่มีลูกขั่น (Riffle) พร้อมทั้งสั่นหรือเขย่ากลับไปกลับมาด้วยระยะที่ไม่เท่ากัน (Asymmetric reciprocating motion) วัตถุจะเกิดการเคลื่อนที่ และแยกแบ่งกลุ่มตามความหนาแน่น ซึ่งวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (สุรพิน พรหมแดน และคณะ, 2556) โต๊ะแยกแบบเปียกที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ ชนิดวิลเฟลย์ (Wilfley shaker table) ดังรูปที่ 2-17 โดยวัตถุถูกป้อนเข้าสู่ตัวเครื่องพร้อมกับน้ำ ตัวเครื่องสามารถปรับระดับความลาดเอียง รวมถึงความแรงในการสั่นได้ เมื่อไหลผ่านโต๊ะ วัตถุจะถูกกักไว้ด้วยลูกขั่น กระจายแยกตามความหนาแน่น แล้วเคลื่อนที่ออกจากระบบ

ไปยังรางกักเก็บบริเวณปลายโต๊ะ ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นสามารถวนกลับไปใช้ซ้ำได้โดยตรง หรืออาจต้องทำการบำบัดก่อนนำกลับไปใช้ใหม่ ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสารละลายที่ใช้



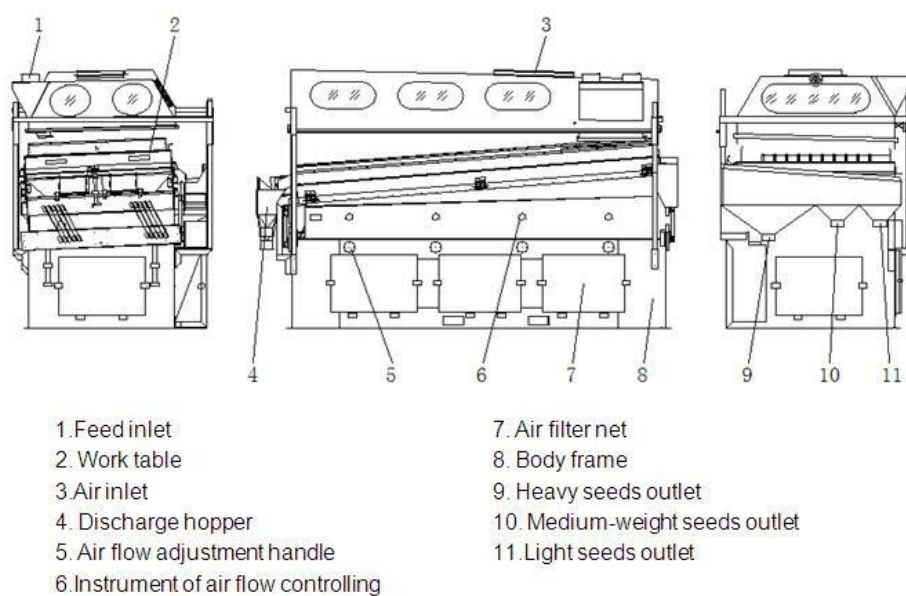
รูปที่ 2-16 โต๊ะแยกวัตถุแบบเปียก (Wet table) (สุรพิน พรหมแดน และคณะ, 2556)



รูปที่ 2-17 โต๊ะแยกวัตถุแบบเปียกชนิดวิลเฟลย์ (Wilfley shaker table) (Dehaine และคณะ, 2017 และ 911Metalurgist Process Equipment, 2019)

- การแยกแบบแห้ง (Dry gravity separation, air / pneumatic separation) ใช้หลักการคล้ายกับการแยกแบบเปียก แต่เป็นการใช้อากาศเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ของวัตถุและแยกวัตถุตามความหนาแน่น ข้อดีของวิธีนี้คือ ค่าลงทุนเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ เพราะไม่มีการใช้น้ำ หรือสารเคมี ระหว่างกระบวนการแยก จึงไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า วิธีการแยกแบบแห้งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไป

วิธีการนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อแยกเมล็ดพืช ดังรูปที่ 2-18 และ 2-19 เมล็ดพืชถูกลำเลียงเข้าสู่โต๊ะ ลมพัดจากด้านบนเป่าให้เมล็ดพืชที่มีความหนาแน่นต่างกัน แยกออกจากกันเมื่อโต๊ะมีความลาดเอียงและเขย่าอย่างเหมาะสม เมล็ดพืชจะตกลงในถังกักเก็บแยกตามความหนาแน่น (หมายเลข 9, 10, 11) ยกตัวอย่างการแยกแบบแห้งประเภทอื่น เช่น การแยกแบบจิก (Pneumatic jig) การแยกแบบแนวตั้ง (Vertical air classifier) การแยกแบบคดเคี้ยว (Zigzag air classifier) โต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) เป็นต้น แต่การแยกแบบแนวตั้ง และการแยกแบบคดเคี้ยว มีข้อจำกัดคือ ต้องใช้พื้นที่กว้างในการติดตั้ง อีกทั้งไม่สามารถแยกวัตถุมากกว่า 2 ชนิดได้ (Dodbiba และคณะ, 2015)



รูปที่ 2-18 หลักการแยกเมล็ดพืชแบบแห้ง (Dry gravity separation) (Alibaba, 2019)

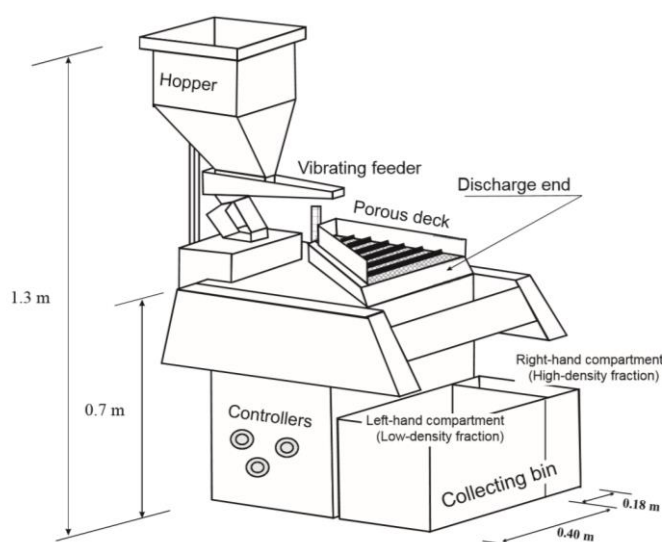


รูปที่ 2-19 เครื่องแยกวัตถุแบบแห้ง (Dry gravity separation) (Whirlston Machinery, 2019)

3.6 โต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table)

โต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) มีองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 2-20 ได้แก่

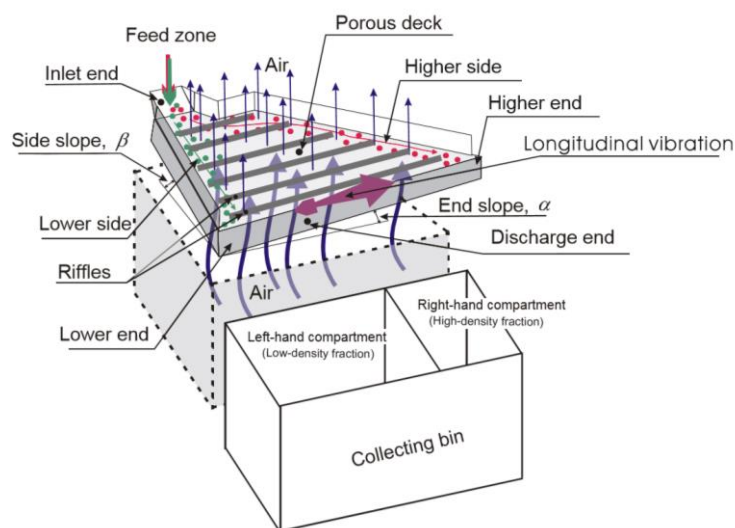
- ถังบรรจุวัตถุดิบเข้า (Hopper) ทำหน้าที่รองรับวัตถุดิบที่จะเข้าเครื่อง
- เครื่องป้อนวัตถุดิบแบบสั่น (Vibrating feeder) เพื่อให้วัตถุดิบเข้ากระจายเข้าตัวโต๊ะแยกอย่างสม่ำเสมอ
- โต๊ะแยก (Porous deck) ทำหน้าที่แยกวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่างกันให้ออกจากกัน ส่วนประกอบของโต๊ะประกอบด้วย ช่องที่ให้อากาศไหลผ่าน มีลักษณะเป็นรูเปิดวงกลม พื้นที่ช่องเปิดโดยรวมประมาณร้อยละ 11.8 ของพื้นที่รวมทั้งหมด ความกว้างของรูเปิดต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของวัตถุที่ต้องการแยก เพื่อป้องกันการตกหล่นของวัตถุออกนอกระบบ ส่วนประกอบอีกส่วนคือ ลูกชิ้น (Riffle) โดยวางเรียงขนานต่อกันเป็นชุด และวางขนานกับเส้นทางการสั่น ซึ่งเป็นการสั่นกระตุก (Eccentric drive) แบบซ้ายขวา (Longitudinal vibration) สำหรับตัวโต๊ะนั้นมีการติดตั้งแบบวางเอียงทั้งด้านข้าง (Side slope) และด้านปลายของโต๊ะ (End slope)
- พัดลม (Electric fan) เป็นตัวเป่าอากาศจากใต้โต๊ะ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศจากด้านล่างผ่านขึ้นไปยังช่องหรือรูของโต๊ะ
- ถังรองรับวัตถุดิบออก (Collecting bin) ตั้งอยู่บริเวณปลายของตัวโต๊ะแยก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ฝั่งสำหรับวัตถุ 2 ชนิด ที่มีความหนาแน่นต่างกัน ฝั่งด้านซ้ายรองรับวัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low-density fraction) ส่วนฝั่งขวารองรับวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (High-density fraction)



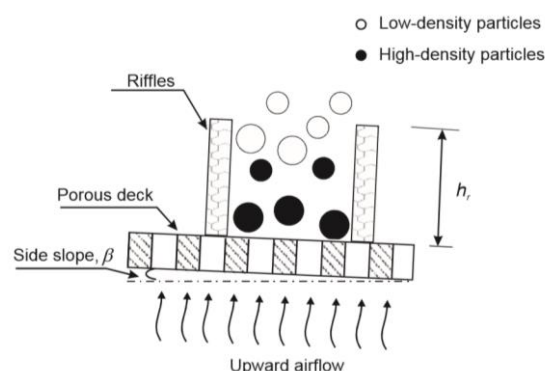
รูปที่ 2-20 โต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) ในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (Dodbiba และคณะ, 2015)

หลักการทำงานในการแยกวัตถุของโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) ดังรูปที่ 2-21 คือ เมื่อวัตถุดิบผสม (ขนาดเดียวกัน) ถูกบรรจุเข้าสู่ตัวเครื่อง (ถังบรรจุเข้า) จะกระจายขึ้นส่วนไปยังตัวโต๊ะอย่างสม่ำเสมอ

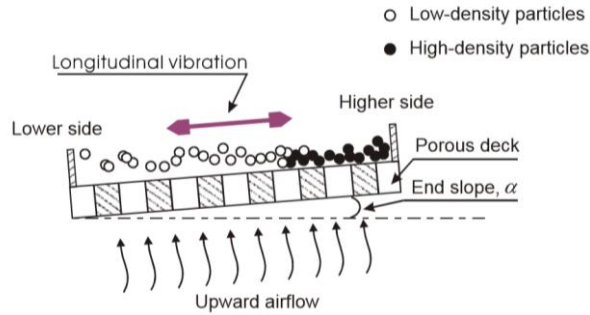
ด้วยเครื่องป้อนวัตถุดิบแบบสั่น (Vibrating feeder) ซึ่งตัวโตะมีการสั่นซ้ายขวา (Side-to-side motion) ด้วยความถี่ 0.09-13.33 รอบต่อวินาที ในระยะ 4.5 มิลลิเมตร ตัวใบพัดที่อยู่ด้านล่างของโตะทำการพัดอากาศจากข้างล่างขึ้นสู่ข้างบนผ่านช่อง/รูของโตะ ด้วยความเร็ว 1-4 เมตรต่อวินาที วัตถุที่มีความหนาแน่นสูงจะเกาะติดและเคลื่อนที่อยู่บนพื้นผิวของโตะ ขณะที่วัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า จะเกิดการลอยตัวเหนือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง ดังรูปที่ 2-22 เนื่องจากโตะมีการสั่นแบบกระตุก (Eccentric drive) คือเคลื่อนที่ไปทางหนึ่งอย่างเบาๆ แล้วกระตุกกลับด้วยความแรง ส่งผลให้วัตถุที่มีความหนาแน่นสูงเคลื่อนที่ผ่านร่องลูกชั้น (Riffle) ไปยังด้านข้างทางขวาของโตะ แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนปลายโตะตามความลาดเอียงของตัวโตะ (Side slope) ซึ่งปลายโตะด้านขวานั้นมีความลาดเอียงสูงกว่าด้านซ้าย (End slope) ดังรูปที่ 2-23 ดังนั้นวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่า (ทองแดง) จึงตกลงมายังถังเก็บทางฝั่งขวา และวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า (พลาสติก) จะตกไปยังถังรองรับทางซ้าย



รูปที่ 2-21 หลักการทำงานของโตะแยกแบบแห้ง (Air table) (Dodbibba และคณะ, 2015)



รูปที่ 2-22 มุมมองด้านข้างของตัวโตะ (Porous deck) (Dodbibba และคณะ, 2015)



รูปที่ 2-23 มุมมองด้านหน้าของตัวโตะ (Porous deck) (Dodhiba และคณะ, 2015)

ในกรณีของวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า (พลาสติก) การทำให้วัตถุ/ของแข็ง ลอยได้นั้น ความแรงของอากาศที่ดันขึ้นมาต้องมีความเร็วสูงมากพอ อย่างน้อยต้องสูงกว่าความเร็วขั้นต่ำที่วัตถุจะยกตัวขึ้นได้ ซึ่งความเร็วขั้นต่ำนี้ (Minimum fluidizing velocity of air, u_{mf}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-1

$$u_{mf} = \left(\frac{\mu}{d_p \cdot \rho_g} \right) \cdot \left\{ \left[823.69 + 0.0494 \left(\frac{d_p^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} - 28.7 \right\} \quad \text{สมการที่ 2-1}$$

โดย μ คือ ความหนืดของอากาศ (Air absolute viscosity), d_p คือ ขนาดของวัตถุ, ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ, ρ_s คือ ความหนาแน่นของวัตถุ และ g คือ ค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก

และเพื่อป้องกันวัตถุหลุดออกจากระบบ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่อง/รูเปิด ต้องมีค่าสูงไม่เกินค่าความเร็วสุดท้าย (Terminal velocity, u_t) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2-2

$$u_t = u_t^* \cdot \left[\frac{\mu \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\rho_g^2} \right]^{1/3} \quad \text{สมการที่ 2-2}$$

u_t^* คือ ความเร็วของอากาศแบบไร้มิติทาง (Dimensionless air velocity) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$u_t^* = \left[\frac{18}{(d_p^*)^2} + \frac{2.335 - 1.744\phi_s}{(d_p^*)^{0.5}} \right]^{-1} \quad \text{สมการที่ 2-3}$$

ค่า d_p^* คือ ขนาดของวัตถุแบบไร้มิติทาง (Dimensionless particle size) และ ϕ_s คือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของวัตถุ ซึ่งทั้ง 2 ตัวแปร คำนวณได้จากสมการที่ 2-4 และสมการที่ 2-5 ตามลำดับ โดย ϕ_s มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวัตถุเป็นทรงกลม และมีค่า $0 < \phi_s < 1$ เมื่อวัตถุเป็นรูปทรงอื่น

$$d_p^* = d_p \cdot \left[\frac{\rho_s \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \right]^{1/3} \quad \text{สมการที่ 2-4}$$

$$\phi_s = \left[\frac{\text{surface area of sphere}}{\text{surface area of particle}} \right] \text{ of same volume} \quad \text{สมการที่ 2-5}$$

ดังนั้นการกำหนดขนาดของพัดลม ต้องคำนึงถึงความเร็วอากาศที่พัดลมสามารถผลิตได้ โดยควรมีความเร็วอากาศอยู่ในช่วง $\mu_{mf} < \mu_{air} < \mu_t$ ดังกล่าวไปข้างต้น (Dodbibba และคณะ, 2003)

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) ในการแยกวัตถุ 2 ชนิด แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเภท (Dodbibba และคณะ, 2003) ได้แก่

- การประเมินแบบเกรด (Grade evaluation) เป็นการหาค่าประสิทธิภาพของการแยกวัตถุในแต่ละถังเก็บ โดยคำนึงถึงสัดส่วนเฉพาะภายในถังเก็บที่รองรับวัตถุได้เท่านั้น ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Grade}_A = \frac{\text{Mass of material A in the collected fraction}}{\text{Total mass of the collected fraction}} \times 100\% \quad \text{สมการที่ 2-6}$$

- การประเมินการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery evaluation) เป็นการหาค่าประสิทธิภาพของการแยกวัตถุในแต่ละถังเก็บ โดยคำนึงปริมาณของวัตถุดิบเข้าทั้งหมด

$$\text{Recovery}_A = \frac{\text{Mass of material A in the collected fraction}}{\text{Total mass of material A in feed stream}} \times 100\% \quad \text{สมการที่ 2-7}$$

- การประเมินประสิทธิภาพในภาพรวม (Total efficiency) เป็นการหาค่าประสิทธิภาพรวมของการแยกวัตถุ 2 ชนิด (Worrel และคณะ, 1979)

$$E = \left(\frac{\text{Weight of product A in stream 1}}{\text{Weight of product A in feed}} \right) \times \left(\frac{\text{Weight of product B in stream 2}}{\text{Weight of product B in feed}} \right) \times 100\% \quad \text{สมการที่ 2-8}$$

จากงานศึกษาของ Dodbibba และคณะ (2003) ในการแยกพลาสติก 2 ชนิด คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) และโพลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมของโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) เช่น ความเร็วของอากาศ (μ) ความถี่ในการสั่นของโต๊ะ ความลาดเอียงของโต๊ะ ความสูงของลูกชิ้น เป็นต้น ผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่ได้แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ตัวแปรที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของการแยกพลาสติก ด้วยโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table)

Parameters	Value
Plastic mixture ratio	50/50% (PVC/PP)
Flake size	2.38-3.36 mm
Superficial air velocity (μ)	1.8 m/s
Longitudinal vibrating frequency of the deck	11.95 s ⁻¹
End slope	4.5°
Side slope	2.5°
Height of riffles	7 mm
Grade of PVC	99.90%

ตารางที่ 2-2 ตัวแปรที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของการแยกพลาสติก ด้วยโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) (ต่อ)

Parameters	Value
Grade of PP	95.84%
Recovery of PVC	97.70%
Recovery of PP	96.70%
Total efficiency	94.46%

ที่มา: Dodbiba และคณะ, 2003

ดังนั้นหากทำการแยกเศษสายไฟฟ้า เพื่อให้ได้เศษทองแดง และเศษพลาสติก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถแยกได้สำเร็จด้วยประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 เช่นกัน

3.7 เครื่องจักรที่ใช้แยกทองแดงจากเศษสายไฟฟ้าในปัจจุบัน

ตัวอย่างเครื่องจักรที่ใช้แยกทองแดงที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ดังรูปที่ 2-24 โดยมีกำลังการผลิตเริ่มต้นที่ 200-250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้กำลังไฟ 23.12 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ขนาดเครื่อง 2.7 x 1.9 x 2.3 เมตร น้ำหนักเครื่อง 1.2 ตัน



รูปที่ 2-24 เครื่องจักรย่อยและคัดแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า (Liyang Tongfu เครื่องจักรกล จำกัด, 2562)

เศษสายไฟฟ้าหลังจากผ่านการย่อยแล้วจะได้ตามรูปที่ 2-25 ซึ่งสามารถแยกออกเป็นเศษเม็ดทองแดง และเศษเม็ดพลาสติกหุ้มสายไฟฟ้า โดยเครื่องจักรทำการบดย่อยด้วยวิธีทางกลก่อน แล้วจึงทำการเขย่าร่อนเพื่อแยกกระหว่างเศษทองแดงและเศษพลาสติก ด้วยหลักแรงโน้มถ่วง



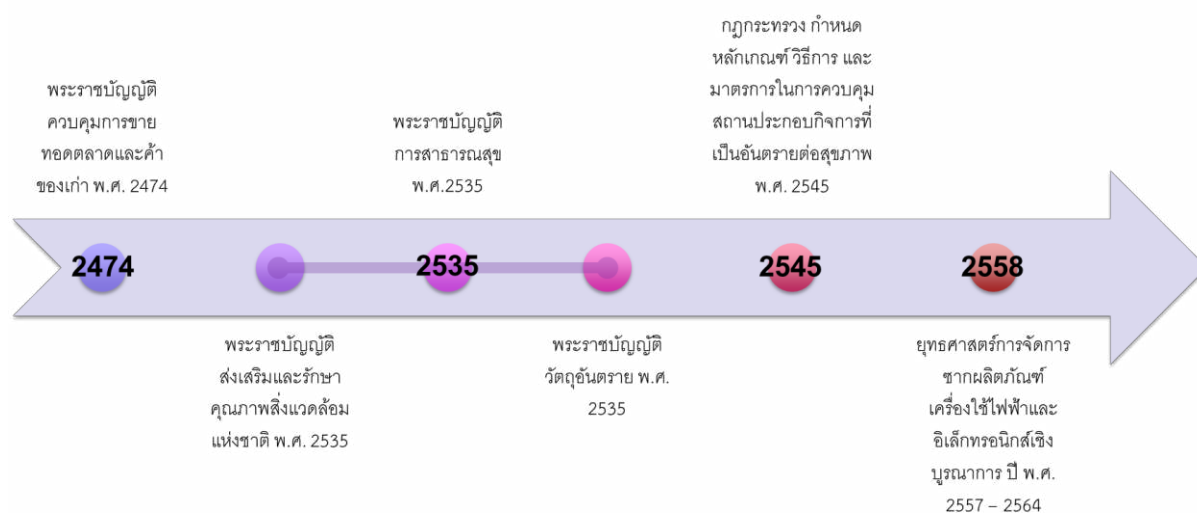
รูปที่ 2-25 ผลผลิตที่ได้จากเครื่องย่อยและคัดแยกทองแดงจากเศษสายไฟฟ้า (Liyang Tongfu เครื่องจักรกล จำกัด, 2562)

เมื่อนำปัจจัยการผลิตมาแยกส่วนประกอบ เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่บุคคลผู้ประกอบการเกี่ยวกับการจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) จะเห็นว่าจำเป็นต้องมีปัจจัยพื้นฐานดังนี้

- เครื่องจักร พร้อมระบบสาธารณูปโภค
- พื้นที่อาคารโรงเรือนไม่น้อยกว่า 100 ตารางเมตร. โดยพื้นที่ต้องสามารถรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 1.5 ตันต่อตารางเมตร
- รถช่วยยก เช่น รถโฟล์คลิฟท์
- ใบอนุญาตประกอบกิจการ รง.4 ประเภท 3

3.8 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเศษสายไฟฟ้าจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายโดยตรง เพื่อใช้ควบคุมการจัดการเศษสายไฟฟ้าจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากภาคครัวเรือน แต่มีกฎหมาย/ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 2-26



รูปที่ 2-26 กฎหมาย/ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเศษสายไฟฟ้าจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากภาคครัวเรือน

ซึ่งรายละเอียดสำคัญ มีดังต่อไปนี้

3.8.1 พระราชบัญญัติควบคุมการขายทอดตลาดและค้าของเก่า พ.ศ. 2474

พระราชบัญญัตินี้เริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2474 โดยได้กำหนดค่านิยมเกี่ยวกับการค้าของเก่า คำร้องขอใบอนุญาตประกอบการอาชีพขายทอดตลาดหรือค้าของเก่า และ บทกำหนดโทษและอัตราโทษสำหรับผู้ฝ่าฝืน ซึ่งมีใจความสำคัญเช่น

มาตรา 3 “ของเก่า” หมายความว่า ทรัพย์สินที่เสนอขาย แลกเปลี่ยน หรือจำหน่ายโดยประการอื่นอย่างทรัพย์สินที่ใช้แล้ว ทั้งนี้ รวมถึงของโบราณด้วย

มาตรา 5 คำร้องขอใบอนุญาตประกอบการอาชีพขายทอดตลาดหรือค้าของเก่านั้น ให้ทำตามแบบที่ระบุไว้ในกฎเสนาบดีและยื่นต่อเจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาต

มาตรา 12 ผู้ใดประกอบอาชีพขายทอดตลาดหรือค้าของเก่าโดยไม่ได้รับใบอนุญาตหรือประกอบอาชีพขายทอดตลาดหรือค้าของเก่าภายหลังที่ได้มีคำสั่งเพิกถอนใบอนุญาตตามมาตรา 9 ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

3.8.2 พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535

พระราชบัญญัตินี้กล่าวถึงการกำจัดสิ่งปฏิกูลและมูลฝอย เพื่อประโยชน์ในการรักษาความสะอาดโดยมีใจความสำคัญได้แก่

มาตรา 18 การกำจัดสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยในเขตราชการส่วนท้องถิ่นใดให้เป็นอำนาจหน้าที่ของราชการส่วนท้องถิ่นนั้น

มาตรา 19 ในกรณีที่มีเหตุอันสมควร ราชการส่วนท้องถิ่นอาจมอบให้บุคคลใดดำเนินการตามวรรคหนึ่งแทน ภายใต้การควบคุมดูแลของราชการส่วนท้องถิ่นหรืออาจอนุญาตให้บุคคลใดเป็นผู้ดำเนินการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือ มูลฝอยตามมาตรา 19 ก็ได้

มาตรา 20 เพื่อประโยชน์ในการรักษาความสะอาดและการจัดระเบียบในการเก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย ให้ราชการส่วนท้องถิ่นมีอำนาจออกข้อกำหนดของท้องถิ่นดังต่อไปนี้

- (1) ห้ามการถ่าย เท ทิ้ง หรือทำให้มีขึ้นในที่หรือทางสาธารณะซึ่งสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย นอกจากในที่ที่ราชการส่วนท้องถิ่นจัดไว้ให้
- (2) กำหนดให้มีที่รองรับสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอยตามที่หรือทางสาธารณะและสถานที่เอกชน
- (3) กำหนดวิธีการเก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอยหรือให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองอาคารหรือสถานที่ใดๆ ปฏิบัติให้ถูกต้องด้วยสุขลักษณะตามสภาพหรือลักษณะการใช้อาคารหรือสถานที่นั้นๆ
- (4) กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมการให้บริการของราชการส่วนท้องถิ่นในการเก็บและ ขน สิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอยไม่เกินอัตราตามที่กำหนดในกฎกระทรวง
- (5) กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการเก็บ ขน และกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย เพื่อให้ผู้รับใบอนุญาตตามมาตรา 19 ปฏิบัติ ตลอดจนกำหนดอัตราค่าบริการขั้นสูงตามลักษณะการให้บริการที่ผู้รับใบอนุญาตตามมาตรา 19 จะพึงเรียกเก็บได้
- (6) กำหนดการอื่นใดที่จำเป็นเพื่อให้ถูกต้องด้วยสุขลักษณะ

มาตรา 71 ผู้ใดฝ่าฝืนมาตรา 19 ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินหนึ่งหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

มาตรา 73 ผู้ใดฝ่าฝืนข้อกำหนดของท้องถิ่นซึ่งออกตามความในมาตรา 20 (5) ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินหนึ่งหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

3.8.3 กฎกระทรวง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และมาตรการในการควบคุม สถานประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ. 2545

กฎกระทรวงนี้อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6 (1) แห่งพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ประกอบด้วยใจความสำคัญดังนี้

หมวด 1 บททั่วไป “ผู้ดำเนินการ” หมายความว่า ผู้เป็นเจ้าของ หรือบุคคลที่เรียกชื่ออย่างอื่นซึ่งรับผิดชอบดำเนินการสถานประกอบกิจการนั้น

หมวด 2 สถานที่ตั้ง ลักษณะอาคาร และการสุขาภิบาล

- ข้อ 3 สถานประกอบกิจการต้องตั้งอยู่ห่างจากชุมชน วัด ศาสนสถาน โบราณสถาน โรงเรียน สถานการศึกษา โรงพยาบาล หรือสถานที่อื่นๆ ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ในกรณีที่สถานประกอบกิจการที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงาน ให้ราชการส่วนท้องถิ่นสามารถกำหนดในข้อกำหนดของท้องถิ่นโดยคำนึงถึงลักษณะและประเภทของการประกอบกิจการของสถานประกอบกิจการนั้นๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน หรือก่อเหตุรำคาญด้วย
- ข้อ 8 สถานประกอบกิจการต้องมีการเก็บ รวบรวม หรือกำจัดมูลฝอยที่ถูกสุขลักษณะ

หมวด 4 การควบคุมของเสีย มลพิษหรือสิ่งใดๆ ที่เกิดจากการประกอบกิจการของสถานประกอบกิจการ ข้อ 14 สถานประกอบกิจการใดที่การประกอบกิจการอาจก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงหรือ ความสั่นสะเทือน มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ ของเสียอันตราย หรือมีการใช้สารเคมีหรือวัตถุอันตราย จะต้องดำเนินการควบคุมและป้องกันมิให้เกิดผลกระทบจนเป็นเหตุรำคาญหรือเป็นอันตรายต่อ สุขภาพของแรงงานและผู้อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียง

3.8.4 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

พระราชบัญญัติได้กำหนดค่านิยมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ รวมทั้งกำหนดคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กองทุนสิ่งแวดล้อม มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม คณะกรรมการควบคุมมลพิษ มาตรฐานควบคุมมลพิษตั้งแต่กำเนิด ค่าบริการและค่าปรับ เป็นต้น โดยมีใจความสำคัญเช่น

มาตรา 6 เพื่อประโยชน์ในการร่วมกันส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของชาติ บุคคลอาจมีสิทธิและหน้าที่ดังต่อไปนี้

- (1) การได้รับข้อมูลและข่าวสารจากทางราชการในเรื่องเกี่ยวกับการส่งเสริมและ รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เว้นแต่ข้อมูลหรือข่าวสารที่ทางราชการถือว่าเป็นความลับเกี่ยวข้องกับการรักษาความมั่นคงแห่งชาติ หรือเป็นความลับเกี่ยวกับสิทธิส่วนบุคคล สิทธิในทรัพย์สิน หรือสิทธิในทางการค้า หรือกิจการของบุคคลใดที่ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย
- (2) การได้รับชดใช้ค่าเสียหาย หรือค่าทดแทนจากรัฐ ในกรณีที่ได้รับ ความเสียหายจากภัยอันตรายที่เกิดจากการแพร่กระจายของมลพิษหรือภาวะมลพิษ อันมีสาเหตุมาจากกิจการหรือโครงการใดที่ริเริ่ม สนับสนุนหรือดำเนินการโดยส่วนราชการหรือรัฐวิสาหกิจ
- (3) การร้องเรียนกล่าวโทษผู้กระทำความผิดต่อเจ้าพนักงานในกรณีที่ได้พบเห็นการ กระทำใดๆ อันเป็นการละเมิด หือฝ่าฝืนกฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมมลพิษ หรือการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ
- (4) การให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเจ้าพนักงานในการปฏิบัติหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเคร่งครัด ทั้งนี้ ตามที่พระราชบัญญัตินี้หรือกฎหมายว่าด้วยการนั้นบัญญัติไว้

มาตรา 7 เพื่อเป็นการสนับสนุนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ให้องค์กรเอกชนซึ่งมีฐานะเป็นนิติบุคคลตามกฎหมายไทย หรือ กฎหมายต่างประเทศที่มีกิจกรรมเกี่ยวข้องโดยตรงกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม หรืออนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และมีได้มีวัตถุประสงค์ในทาง การเมือง หรือมุ่งค้าหากำไรจากการประกอบกิจกรรมดังกล่าว มีสิทธิขอจดทะเบียนเป็นองค์กรเอกชนด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติต่อกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตรา 9 เมื่อมีเหตุฉุกเฉินหรือเหตุภัยอันตรายต่อสาธารณชน อันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติ หรือภาวะมลพิษที่เกิดจากการแพร่กระจายของมลพิษ ซึ่งหากปล่อยไว้เช่นนั้นจะเป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อชีวิต ร่างกายหรือสุขภาพอนามัยของประชาชน หรือก่อความเสียหายต่อทรัพย์สินของประชาชนหรือของ รัฐเป็นอันมาก ให้นายกรัฐมนตรีมีอำนาจสั่งตามที่เห็นสมควรให้ส่วนราชการรัฐวิสาหกิจหรือบุคคลใด ๆ รวมทั้งบุคคลซึ่งได้รับหรืออาจได้รับอันตรายหรือความเสียหายดังกล่าว กระทำหรือร่วมกันกระทำการใด อันจะมีผลเป็นการควบคุม ระงับหรือบรรเทาผลร้ายจากอันตรายและความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นได้อย่าง ทันทีทันใด ในกรณีที่ทราบว่ามีบุคคลใดเป็นผู้ก่อให้เกิดภาวะมลพิษดังกล่าว ให้นายกรัฐมนตรีมีอำนาจสั่ง บุคคลนั้นไม่ให้กระทำการใดอันจะมีผลเป็นการเพิ่มความรุนแรงแก่ภาวะมลพิษในระหว่างที่มีเหตุ ภัยอันตรายดังกล่าวด้วย อำนาจในการสั่งตามวรรคหนึ่ง นายกรัฐมนตรีจะมอบอำนาจให้ผู้ว่าราชการจังหวัด ปฏิบัติราชการภายในเขตจังหวัดแทนนายกรัฐมนตรีได้ โดยให้ทำเป็นคำสั่งและประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อนายกรัฐมนตรีได้สั่งตามวรรคหนึ่ง หรือผู้ว่าราชการจังหวัดในการปฏิบัติราชการแทน นายกรัฐมนตรีได้สั่งตามวรรคสองแล้ว ให้ประกาศคำสั่งดังกล่าวในราชกิจจานุเบกษาโดยมิชักช้า

3.8.5 พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

พระราชบัญญัตินี้ได้กำหนดนิยามเกี่ยวกับวัตถุอันตราย และได้กำหนดคณะกรรมการวัตถุอันตราย ซึ่งมีใจความสำคัญคือ

ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จัดเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 มาตรา 18) ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ครอบครองต้องได้รับการอนุญาต

3.8.6 ยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ ปี พ.ศ. 2557 – 2564

ออกโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบไปด้วย รายละเอียดเนื้อหา ได้แก่ มติคณะรัฐมนตรี บทที่ 1 สถานการณ์และปัญหาการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ บทที่ 2 การดำเนินที่ผ่านมา บทที่ 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และบทที่ 4 ร่างยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เชิงบูรณาการ ปี พ.ศ. 2557 – 2564 ซึ่งยุทธศาสตร์ฯ นี้ ประกอบด้วย

- ยุทธศาสตร์ที่ 1 การเสริมสร้างความเข้มแข็งในการควบคุมการนำเข้า-ส่งออก
- ยุทธศาสตร์ที่ 2 การสนับสนุนการผลิตและการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาระบบข้อมูลปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- ยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาปรับปรุงกลไกการคัดแยก เก็บรวบรวม และขนส่งซากผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
- ยุทธศาสตร์ที่ 5 การเสริมสร้างขีดความสามารถของโรงงานคัดแยกและรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากระบบคัดแยก เก็บรวบรวม และขนส่งไปจัดการอย่างครบวงจรและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม
- ยุทธศาสตร์ที่ 6 การส่งเสริมความตระหนักและความรู้เกี่ยวกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และด้านการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อย่างเป็นระบบ และต่อเนื่อง

โดยแผนปฏิบัติการภายใต้ยุทธศาสตร์ฯ แบ่งออกเป็นมาตรการเร่งด่วน 8 มาตรการ และมาตรการระยะถัดไป 12 มาตรการ

4. เอกสารอ้างอิง

- สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (ทีดีอาร์ไอ). 2560. รายงานทีดีอาร์ไอ: การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย. ฉบับที่ 133.
- สุรพิน พรหมแดน, และ สุทธิเทพ รมยเวศม์. 2566. การออกแบบและสร้างเครื่องแยกแร่โดยอาศัยหลักการแรงสู่ศูนย์กลาง และความถ่วงจำเพาะ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาฟิสิกส์ เชียงใหม่.
- Alibaba. 2019. Wire granulator. Retrieved from <https://www.alibaba.com/showroom/wire-granulator.html>, [August 2019].
- Alibaba. 2019. 5XZ-5, 5XZ-10 seed gravity separator. Retrieved from https://www.alibaba.com/product-detail/5XZ-5-5XZ-10-seed-gravity_60637758945.html, [August 2019].
- ANDRITZ AG. 2019. Universal GranulatorUNI-CUT®UG. Retrieved from <https://www.andritz.com/products-en/group/recycling/granulator-ug>, [August 2019].
- Bedekovic, A., Sobota, I., and Lasic, J. Separation of copper from telephone cables by gravity concentration. Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 67-72.
- Boss, A., Boström, J.O., Nilsson, P.H., Farkas, A., Eriksson, A., Rasmussen, E., Svenningsson, E., Dalesjö, M., and Johansson, A. NEW TECHNOLOGY FOR RECYCLING OF PLASTICS FROM CABLE WASTE. Retrieved from http://extra.ivf.se/cable_program/download/public/Paper%20Jicable'11,%20Cable%20recycling,%20A.Boss.pdf, [August 2019].
- Dehaine, Q., Filippov, L.O., and Joussemet, R. 2017. Rare earths (La, Ce, Nd) and rare metals (Sn, Nb, W) as by-products of kaolin production – Part 2: Gravity processing of micaceous residues. Minerals Engineering. 100, 200-210.
- Dodbiba, G., Shibayama, A., Miyazaki, T., and Fujita, T. 2003. Separation performance of PVC and PP plastic mixture using air table. Physical separation in science and engineering. Vol 12, No 2, 71-86.
- Dodbiba, G., and Fujita, T. 2015. Air Tabling – A dry gravity solid-solid separation technique. Progress in Filtration and Separation. Chapter 12, 527-555.
- Dongguan GPE Machinery. 2019. Small capacity crusher for drainage opening material/Small crusher and plastic crusher factory price. Retrieved from <http://www.gpetech.com/sale-10583158-small-capacity-crusher-for-drainage-opening-material-small-crusher-and-plastic-crusher-factory-price.html>, [August 2019].

- Hlosta, J., Zurovec, D., Kratochvil, M., Botula, J., and Zegzulka, J. 2017. WEEE Sorting Processes and Separation of Copper Wires with Support of Dem Modeling. Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 159-164.
- Liyang Tongfu เครื่องจักรกล จำกัด. 2562. เครื่องบดลวดทองแดง. สืบออนไลน์จาก <http://th.tfpelletmill.com/copper-wire-recycling-machine/copper-wire-granulator/industrial-copper-cable-granulator-machine.html>, [สิงหาคม 2562].
- Menad, N.E. 2016. Physical Separation Processes in Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling. WEEE Recycling. 53-74.
- Mewa Recycling Anlagen. 2019. Universal GranulatorUNI-CUT@UG. Retrieved from <http://www.kiesel.se/fil/Granulator.pdf>, [August 2019].
- Wanrooe machinery. 2019. Industrial Wire and Cable Shredder Recycling Machine. Retrieved from <http://www.wanrooe.com/Cable+recycling+plant-china/Cable+recycling+plant-Industrial+Wire+and+Cable+Shredder+Recycling+Machine-1108/>, [August 2019].
- Whirlston Machinery. 2019. Air gravity separator. Retrieved from <https://copper-recycle.com/recycling-machines/separator/metal-separator.html>, [August 2019].
- 911Metalurgist Process Equipment. 2019. Gold Shaker Tables. Retrieved from <https://www.911metallurgist.com/equipment/gravity-separation/shaker-tables/>, [August 2019].

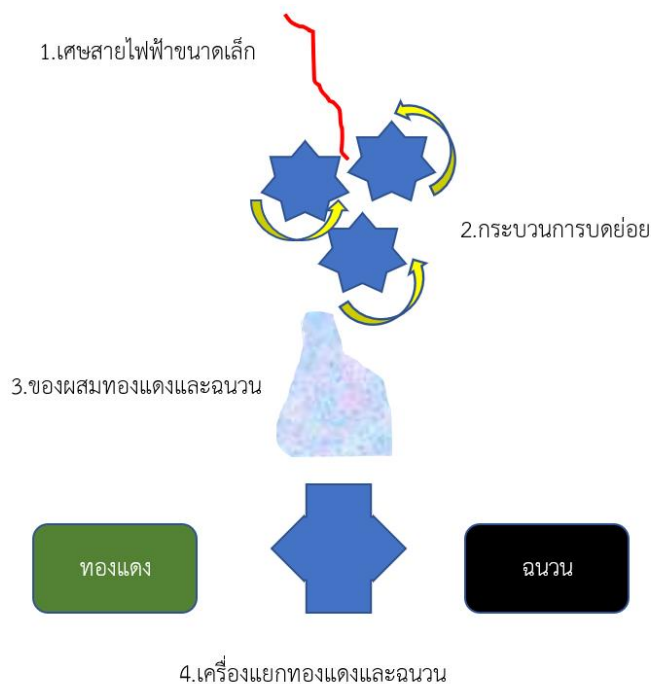
บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย สมมติฐาน แนวคิดการวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง

ขอบเขตงานวิจัยเริ่มจากการนำสายไฟฟ้าขนาดเล็กหรือสายวงจรไฟฟ้ามาเข้าสู่กระบวนการบดย่อยจากลักษณะเป็นเส้นสาย (Filament) ให้เป็นเม็ด (Granular) หรือเส้นสายขนาดสั้นมาก (Pellet) เพื่อลดแรงยึดเกาะระหว่างฉนวนและแกนสายไฟ เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้เม็ด (Granular) หรือ เส้นสายขนาดสั้นมาก (Pellet) ที่เป็นของผสมระหว่างพลาสติกที่เป็นฉนวนหุ้มสายไฟและโลหะที่ใช้ทำเป็น สื่อนำไฟฟ้า โดยทั่วไปเป็นทองแดงที่ดีเป็นเส้นลวดขนาดต่างๆ กัน ซึ่งจะคำนวณเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2) ขั้นตอนนี้ทองแดงบางส่วนถูกแยกออกมาแล้ว บางส่วนยังคงติดอยู่กับพลาสติกฉนวนซึ่งต้องมีกระบวนการแยกละเอียดต่อไป หลังจากที่ยกทองแดงออกจากฉนวนพลาสติกแล้วกระบวนการที่สำคัญต่อไป คือ การแยกเม็ดและ/หรือผงทองแดงออกจากเม็ดและ/หรือผงพลาสติกฉนวน ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน ภาพรวมงานวิจัยในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 กรอบงานวิจัยการแยกทองแดงออกจากพลาสติกฉนวน

แนวคิดการออกแบบมุ่งเน้นในการหากระบวนการทางวิศวกรรมที่ง่าย สามารถหาอุปกรณ์รวมถึงอะไหล่ได้ในท้องถิ่น และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ไม่มีการเผาไหม้) โดยเครื่องที่สร้างได้นั้นราคาต้องไม่แพง ขนาดต้องไม่ใหญ่เกินไป ทั้งยังสามารถใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ ตามบ้านเรือนทั่วไปได้

2. ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยในการออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดงแบ่งออกเป็น 7 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) การลงพื้นที่เพื่อกำหนดลักษณะของสายไฟและสายวงจรที่จะมีการนำไปลักลอบเผาเพื่อนำทองแดงออกมาซึ่งจะเป็นเป้าหมายหลัก และรวบรวมสายไฟในพื้นที่เพื่อนำมาเป็นวัสดุในการศึกษาและออกแบบ
- 2) การออกแบบวิธีการตัดย่อยเศษสายไฟฟ้า โดยการตัดเชิงกลให้มีขนาดที่เหมาะสม เช่น ความยาวไม่เกิน 3 เซนติเมตร หรือที่เหมาะสม เพื่อนำเข้าสู่ขั้นตอนการแยกทองแดงและพลาสติก แล้วทำการสร้างเครื่องทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) และระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
- 3) การออกแบบวิธีการบดเศษสายไฟฟ้าเชิงกลในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) และระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
- 4) การออกแบบวิธีการแยกเศษทองแดงออกจากเศษฉนวนพลาสติก ด้วยวิธีการโต๊ะแยกแบบแห้ง (Air table) แล้วทำการสร้างเครื่องในระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)
- 5) การนำระบบทั้งหมดมารวบรวมประกอบเป็นเครื่องประดิษฐ์ ให้มีขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายได้ด้วยรถกระบะ 4 ล้อ ที่ใช้บรรทุกสินค้าเกษตร ตามบ้านเรือนทั่วไป
- 6) การนำผลงานการวิจัยออกสู่สถานประกอบการคัดแยก เพื่อทดสอบการใช้งาน และเพื่อหาข้อบกพร่อง
- 7) การนำเสนอสู่สาธารณะและจัดทำรายงาน

3. กลุ่มเป้าหมายในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) ผู้ประกอบการรีไซเคิลและคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์
- 2) ผู้ประกอบการผลิตเครื่องจักรขนาดเล็ก
- 3) องค์กรปกครองท้องถิ่น เช่น อบต. อบท.

4. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

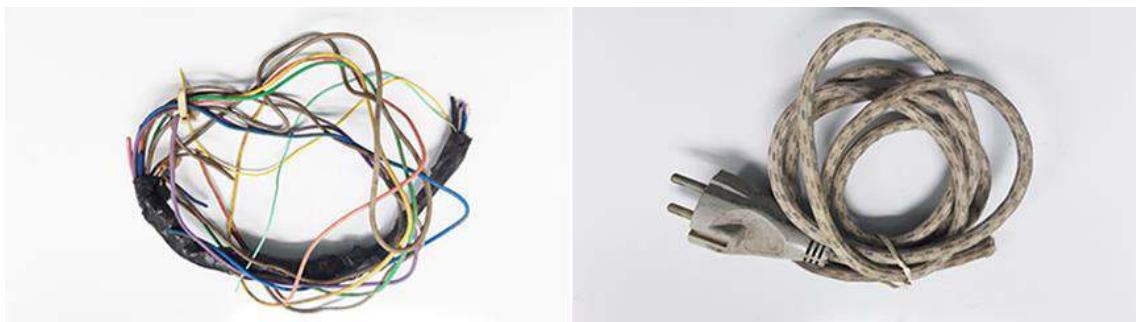
- 1) ทำการทดสอบเครื่องและคำนวณต้นทุน โดยการจำลองเสมือนจริง เช่นบุคคลที่ประกอบกิจการคัดแยก โดยการจับต้นทุนจริงและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง เพื่อหาข้อเท็จจริงในการออกแบบ
- 2) เมื่อนำข้อมูลในข้อ 1) มาดัดแปลงจนได้มูลค่าที่เหมาะสมในการทำงานแล้ว จะนำชุดสาธิตไปแสดงให้แก่กลุ่มชุมชนเป้าหมายในพื้นที่
- 3) นำข้อมูลที่ได้รับคำแนะนำมาดัดแปลงเพิ่มเติม
- 4) นำเสนอข้อมูล และจัดทำแผ่นพับและสื่อประชาสัมพันธ์ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย

1. การลงพื้นที่สำรวจ และรวบรวมเศษสายไฟฟ้า

การลงพื้นที่สำรวจการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และการจัดการเศษสายไฟฟ้า ณ ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ดำเนินการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ พบว่า ยังคงมีการเผาเศษสายไฟฟ้า เนื่องด้วยเป็นการยากต่อการคัดแยกด้วยมือ อีกทั้งการเผาใช้ระยะเวลาในการดำเนินการที่สั้นกว่า แม้ว่าจะเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามหากมีการนำเครื่องแยกเศษสายไฟฟ้ามาทดลองติดตั้งในบริเวณสถานประกอบการ ชาวบ้านหรือผู้ประกอบการดังกล่าวก็มีความยินดีที่จะใช้เครื่องแยกเศษสายไฟฟ้าแทนการเผา โดยเศษสายไฟฟ้าที่ได้ทำการคัดแยกมีหลากหลายลักษณะ ยกตัวอย่างดังรูปที่ 4-1 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการขออนุญาตและเก็บรวบรวมเศษสายไฟฟ้าบางส่วนเพื่อมาทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 4-1 เศษสายไฟฟ้าจากการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้า

2. การออกแบบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า (Granulator)

เนื่องจากเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าของต่างประเทศส่วนใหญ่ไม่ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมากนัก ในเบื้องต้นจึงทำการออกแบบในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องก่อนนำไปขยายสัดส่วนในระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ใบมีด และตัวโครงสร้าง ในส่วนขององค์ประกอบของใบมีดนั้นประกอบด้วย ชิ้นส่วนเพลลา ใบมีด และตัวรองรับใบมีด (ส่วนที่ใช้ยึดติดใบมีดกับเพลลา) เป็นหลัก ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ทำจากเหล็ก ใบมีดเป็นวัสดุเหล็กกล้าสำหรับงานความเร็วสูง (High speed steel, HSS) ของกบไสไม้ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-2 เมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยแสดงได้ดังรูปที่ 4-3 จากนั้นนำมาต่อรวมกับตัวโครงสร้าง (ทำจาก

ไม้อัด) ฐานรองรับวัตถุขาเข้า (ทำจากอะคริลิก) ตัวโรเตอร์ และฐานรองเครื่องหรือขาตั้งเครื่อง ได้ภาพรวมเป็นดังรูปที่ 4-4 ขนาดรวมฐานขาตั้งเหล็กประมาณ 25 x 47 x 53 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

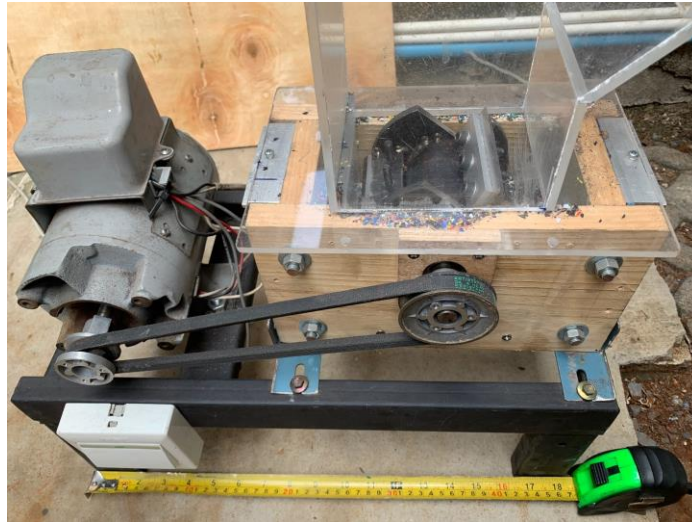
จากการทดสอบการทำงานของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าวรร่วมกับโรเตอร์ พบว่า เครื่องที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถใช้ตัดเศษสายไฟฟ้าได้จริง และมีการปรับปรุงเพิ่มเติมบางส่วนเพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4-2 ส่วนประกอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

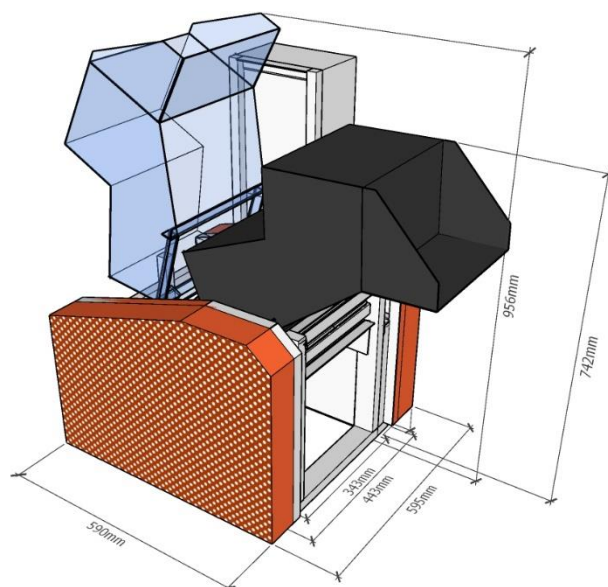


รูปที่ 4-3 โครงใบมีดของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)



รูปที่ 4-4 เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

จากผลการออกแบบเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ได้นำมาขยายอัตราส่วนให้มีขนาดที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผลิตเป็นเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ซึ่งมีขนาดและสัดส่วนดังรูปที่ 4-5 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง ได้แก่ ส่วนที่รองรับวัตถุดิบเข้าหรือเศษสายไฟฟ้า (Hopper) ใบมีด (Blade) และตัวโรเตอร์ (Rotor) อุปกรณ์เหล่านี้ทำจากโครงเหล็กที่มีความแข็งแรงทนทาน ขนาดภาพรวมประมาณ 590 x 595 x 956 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ไม่รวมขนาดแผงควบคุม (Control cabinet) เมื่อทำการสร้างแล้วได้โครงภายในดังรูปที่ 4-6 ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนโครงสร้างมุมมองต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 4-5 ขนาดและสัดส่วนของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)



รูปที่ 4-6 โครงภายในเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

โครงภายในที่ได้ นำมาประกอบร่วมกับโครงเหล็กเจาะรูขนาด 3 มิลลิเมตร (ทาสีส้ม) ซึ่งหุ้มคลุมด้านข้างและด้านล่างของตัวโครงเหล็กอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดความสวยงามของตัวเครื่องและเป็นที่เพื่อใช้ในการเดินสายไฟฟ้าต่อเข้ากับแผงควบคุม (Control cabinet) โดยเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว แสดงดังรูปที่ 4-7 เครื่องตัวนี้ออกแบบให้นำไปใช้ร่วมกับไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปตามบ้านเรือน และใช้กำลังไฟโดยประมาณ 746 วัตต์ หรือ 1 แรงม้า (Horsepower, Hp) โดยรายละเอียดการคำนวณกำลังมอเตอร์ที่ต้องการ แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 4-7 เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

การทดสอบเครื่องทำโดย นำเศษสายไฟฟ้าใส่เข้าไปในเครื่องทางช่องรับวัตถุเข้า เศษสายไฟฟ้าถูกบดย่อยจนกระทั่งมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะผ่านช่องตะแกรงได้ คือ ความยาวไม่เกิน 3 มิลลิเมตร จึงจะตกลงมายังบริเวณถังรองรับด้านล่างของเครื่อง รูปที่ 4-8 แสดงเศษสายไฟฟ้าก่อนและหลังจากการบดย่อย ดังนั้นจากการทดลองเดินเครื่องครั้งแรก สรุปได้ว่า เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าต้นแบบนี้สามารถดำเนินการบดย่อยเศษสายไฟฟ้าได้จริง และมีประสิทธิภาพ เห็นได้จากเศษไฟฟ้าเมื่อผ่านการบดย่อยแล้ว สามารถแยกส่วนที่เป็นทองแดง และฉนวนพลาสติกออกจากกันได้ หากแต่ยังมีข้อแก้ไขเพิ่มเติม คือ บริเวณถังรองรับเศษสายไฟฟ้าที่ผ่านการตัดแล้ว อาจมีช่องว่างขนาดใหญ่เกินไป ทำให้เศษทองแดงและ/หรือเศษพลาสติกกระเด็นออกมานอกถังรองรับ ซึ่งในส่วนนี้จะทำการปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไป



รูปที่ 4-8 เศษสายไฟฟ้าก่อนและหลังการบดย่อย

3. การออกแบบเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)

ในกรณีของเครื่องแยกพลาสติกกับทองแดงไม่ได้ดำเนินการสร้างเครื่องในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) แต่ทำการสร้างเครื่องในระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา อีกทั้งเครื่องคัดแยกชนิด (Air table) มีการใช้ทั่วไปในประเทศไทย โดยเฉพาะงานด้านเหมืองแร่ แยกแร่ หรืองานด้านการแยกเม็ดพลาสติกในอุตสาหกรรมพลาสติก จึงทำให้มีตัวอย่างในอ้างอิงสัดส่วนได้

วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ได้แก่ ตัวโครงสร้างผลิตจากเหล็กกรรมดาแล้วทาสี ส่วนตัวตะแกรงร้อนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ขนาดช่องรูเปิด 200 mesh และใช้สังกะสีแผ่นเรียบทำเป็นช่องลม โดยเครื่องคัดแยกชนิด (Air table) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ตัวโต๊ะและพัดลมซึ่งติดตั้งอยู่ข้างใต้ของตัวโต๊ะ โดยทั้ง 2 ส่วนประกอบนี้ทำหน้าที่เขย่า และเป่าอากาศ ให้เศษสายไฟฟ้าแยกจากกัน

ความเร็วของการเป่าอากาศ ต้องมีค่าสูงกว่าความเร็วขั้นต่ำที่วัตถุจะยกตัวขึ้นได้ (Minimum fluidizing velocity of air, u_{mf}) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4-1 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ค ชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้คัดคำนวณ คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เพราะเป็นประเภทพลาสติกที่ใช้ทั่วไปในการนำมาทำเป็นฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า จากการคำนวณดังกล่าว พบว่า ความเร็วขั้นต่ำที่พัดลมต้องเป่าอากาศได้ คือ 1.12 เมตรต่อวินาที ซึ่งค่าที่ได้นี้ใช้เป็นตัวช่วยในการเลือกขนาด/กำลังของพัดลมที่ใช้ติดตั้งในเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)

$$u_{mf} = \left(\frac{\mu}{d_p \cdot \rho_g} \right) \cdot \left\{ \left[823.69 + 0.0494 \left(\frac{d_p^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} - 28.7 \right\} \quad \text{สมการที่ 4-1}$$

การออกแบบสัดส่วนของเครื่องคัดแยกทองแดงมีรายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ง โดยขนาดเครื่องภาพรวม (ไม่รวมขนาดของตู้ควบคุม) ประมาณ 385 x 795 x 909 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ใช้กำลังไฟทั้งหมด 463 วัตต์ จากพัดลม 373 วัตต์ และมอเตอร์สำหรับเขย่า 45 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ที่สร้างได้แสดงดังรูปที่ 4-9



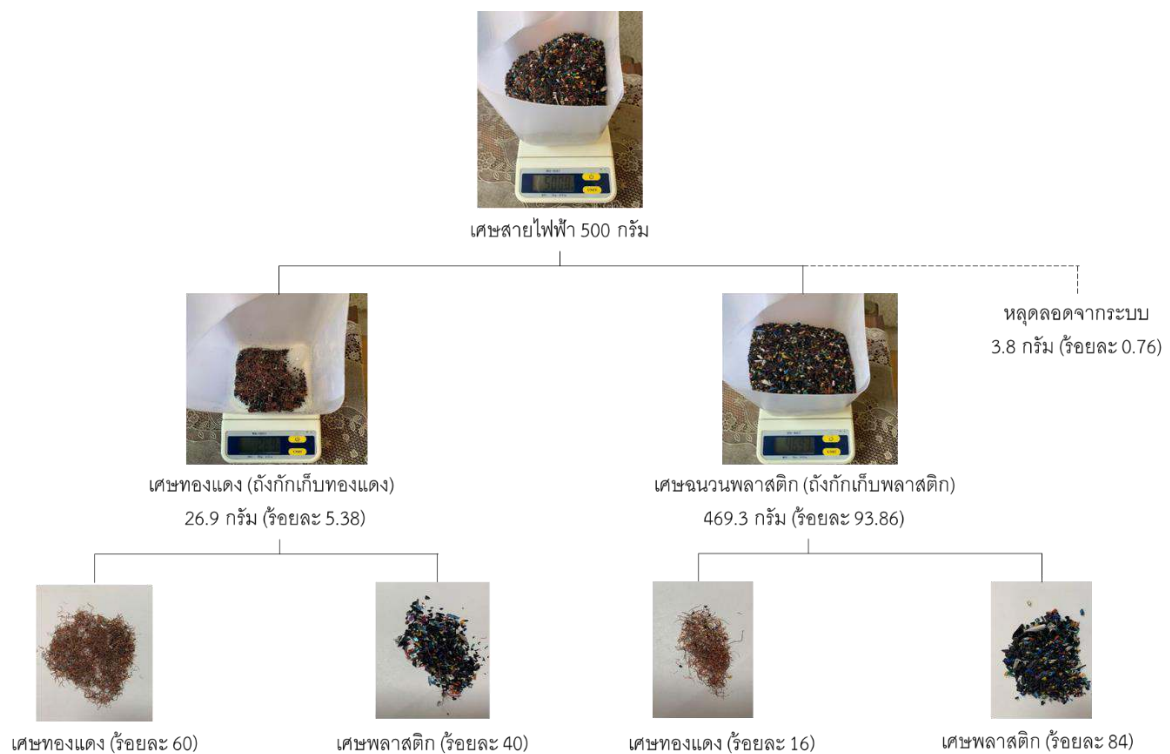
รูปที่ 4-9 เครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

การทดสอบการทำงานของเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ดำเนินการโดยนำเศษสายไฟฟ้าที่ผ่านการบดแยกด้วยเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า (Granulator) เข้าสู่เครื่องแยกทองแดง จากนั้นรวบรวมเศษทองแดงและฉนวนพลาสติกที่แยกได้ มาคำนวณหาประสิทธิภาพการแยก ด้วยการประเมินแบบเกรด (Grade evaluation) คือ เป็นการหาค่าประสิทธิภาพของการแยกวัสดุในแต่ละถังกักเก็บได้แก่ ถังรองรับเศษทองแดง และถังรองรับฉนวนพลาสติก โดยคำนึงถึงสัดส่วนเฉพาะภายในถังกักเก็บแต่ละถังที่ได้เท่านั้น ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Grade}_A = \frac{\text{Mass of material A in the collected fraction}}{\text{Total mass of the collected fraction}} \times 100\%$$

สมการที่ 4-2

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องครั้งแรก แสดงดังรูปที่ 4-10 พบว่า จากถังกักเก็บเศษทองแดง เครื่องมีประสิทธิภาพในการแยกเศษทองแดงร้อยละ 60 และมีประสิทธิภาพในการแยกเศษพลาสติก (สัดส่วนจากถังกักเก็บเศษพลาสติก) ร้อยละ 84



รูปที่ 4-10 ประสิทธิภาพการแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)
ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ครั้งที่ 1

เมื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพในภาพรวม (Total efficiency) ดังสมการที่ 4-3 พบว่า มีประสิทธิภาพการแยกเศษทองแดงและเศษฉนวนพลาสติก ร้อยละ 50.4 ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

$$E = \left(\frac{\text{Weight of product A in stream 1}}{\text{Weight of product A in feed}} \right) \times \left(\frac{\text{Weight of product B in stream 2}}{\text{Weight of product B in feed}} \right) \times 100\%$$

สมการที่ 4-3

การแก้ไขประสิทธิภาพเครื่องแยกทองแดง ทำโดยปรับอัตราส่วนการเขย่า (Vibration) ติดตั้งขอบ (Weir) ที่ปรับระดับได้เพื่อป้องกันเศษพลาสติกไหลมาปนทางด้านทองแดง และไม่นำสายชนิดที่เป็นข้อจำกัดของเครื่องสับมาทดสอบ แล้วจึงนำมาทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องแยกอีกครั้ง ดังรูปที่ 4-11 จากการค่าประสิทธิภาพของการแยกวัสดุในแต่ละถังเก็บ (Grade evaluation) ตามสมการที่ 4-1 พบว่าแต่ละถังเก็บที่ได้ มีประสิทธิภาพการแยกเศษทองแดงและเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 87 และ 93 ตามลำดับ

หากทำการประเมินประสิทธิภาพโดยรวม (Total efficiency) ตามสมการที่ 4-3 พบว่า มีประสิทธิภาพการแยกเศษทองแดงและเศษฉนวนพลาสติก ร้อยละ 80.9 เพราะฉะนั้นเครื่องนี้จึงสามารถนำไปใช้แยกเศษทองแดงจากเศษสายไฟฟ้าได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ



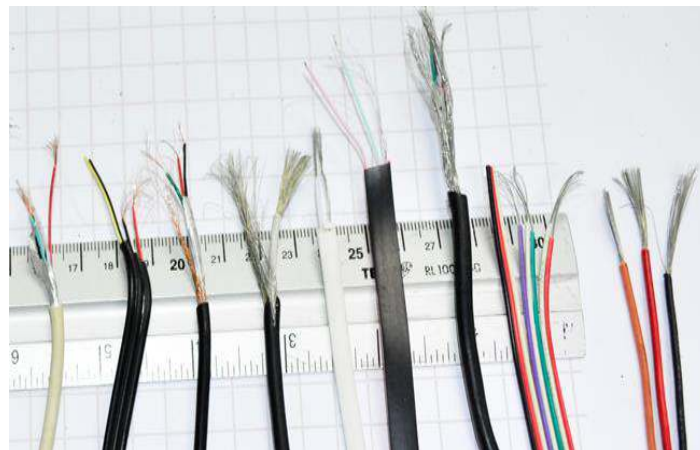
รูปที่ 4-11 ประสิทธิภาพการแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)

ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ครั้งที่ 2

4. ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมในการใช้กับเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง

จากกลุ่มตัวอย่างสายไฟที่นำมาทดสอบพบว่ามี 2 กลุ่มที่ไม่เหมาะสมในการนำมาสับย่อย และคัดแยก ได้แก่

- 1) ประเภทที่ไม่ได้ทำมาจากทองแดง สังเกตจากสีโลหะและคุณสมบัติในการดูดติดแม่เหล็ก ดังรูปที่ 4-12
- 2) ประเภทที่เป็นเส้นเดี่ยว ขนาดเล็ก เช่น สาย LAN และสายโทรศัพท์ ตามบ้าน พวกนี้พลาสติกหุ้มติดแน่นมาก ไม่สามารถสับและเหวี่ยงแยกออกมาได้ ดังรูปที่ 4-13



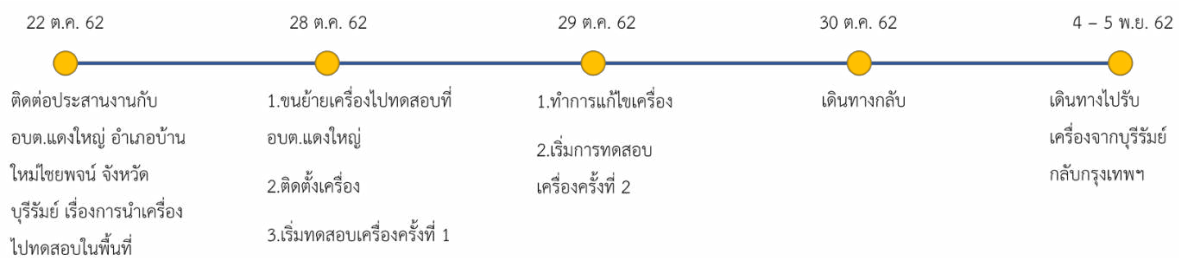
รูปที่ 4-12 ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำมาจากทองแดง



รูปที่ 4-13 ลักษณะเศษสายไฟฟ้าที่เป็นเส้นเดี่ยว ขนาดเล็ก

5. การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง

การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง ได้ดำเนินการระหว่างวันที่ 28-30 ตุลาคม โดยนำเครื่องต้นแบบไปทดลอง ณ สถานที่จริง คือ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งภาพรวมระยะเวลาการลงพื้นที่ทดสอบเครื่องแสดงดังรูปที่ 4-14

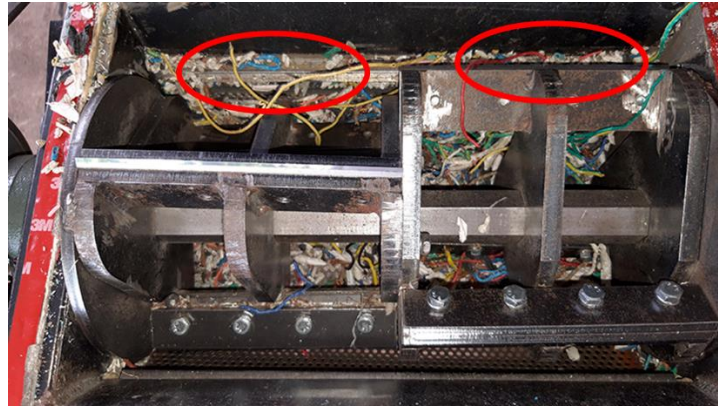


รูปที่ 4-14 ภาพรวมระยะเวลาการลงพื้นที่ทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง

เมื่อทำการขนย้าย และติดตั้งเครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว มีผู้ประกอบการคัดแยกเครื่องใช้ไฟฟ้า 1 ราย นำเศษสายไฟฟ้ามาเพื่อทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า โดยให้ผู้ประกอบการทำการตัดแยกวัสดุแข็งออกจากสายไฟ เช่น หัวปลี สายรัด เป็นต้น จำนวน 5 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4-15 ผลการทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าในครั้งแรก (28 ตุลาคม) พบว่า เมื่อนำเศษสายไฟฟ้าเข้าเครื่องสับประมาณ 30 นาที เศษสายไฟฟ้าได้เข้าไปติดบริเวณใบมีดโรเตอร์กับใบมีดยึด จนไม่สามารถเดินเครื่องได้ ดังรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-15 การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ครั้งที่ 1



รูปที่ 4-16 เศษสายไฟฟ้าติดในใบมีดย่อย

จากผลลัพธ์ดังกล่าว จึงทำการปรับเปลี่ยนงานทอรอบด้านหลังให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (รูปที่ 4-17) เพื่อให้มีแรงบิดมากขึ้น และเปลี่ยนใบมีดชนิดทั้งสแตนคาร์ไบต์พร้อมตั้งระยะใบมีดเพิ่มเป็น 3 มิลลิเมตร อีกทั้งทำการตัดเศษสายไฟฟ้าให้มีขนาดสั้นลง ให้มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร (รูปที่ 4-18) เพื่อให้เครื่องทำงานง่ายขึ้น แล้วดำเนินการทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าอีกครั้ง (29 ตุลาคม) โดยผลการทดสอบพบว่า เครื่องมีการสับย่อยที่ราบรื่นมากขึ้น ดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-17 การปรับเปลี่ยนงานทอรอบของเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า



รูปที่ 4-18 การตัดเศษสายไฟฟ้า



รูปที่ 4-19 การทดสอบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ครั้งที่ 2

สำหรับเครื่องคัดแยกทองแดง ได้ดำเนินการทดสอบในวันที่ 29 ตุลาคม โดยการนำเศษสายไฟฟ้าที่ผ่านการย่อยสับแล้ว จำนวน 2 กิโลกรัม (รูปที่ 4-20) มาเข้าเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 4-21 ผลปรากฏว่า

- 1) ทางด้านบนของเครื่องเขย่า (Feeder) ทองแดงไม่สามารถผ่านแผ่นกั้นได้มากนัก ผู้ดำเนินการทดสอบจึงได้ทำการปรับระยะของแผ่นกั้นขึ้น ผลที่ได้พบว่าฉนวนหุ้มสายไฟกับทองแดงมีการไหลเข้าสู่ตัวเครื่องปนกันมากขึ้น
- 2) ทางด้านท้ายเครื่องเขย่า (Discharge end) หลังจากเทเศษสายไฟฟ้าที่ผ่านการสับลงเครื่องคัดแยกทองแดง พบว่า ทองแดงและฉนวนหุ้มสายไฟปะปนกัน และไหลลงวัสดุรองรับอย่างรวดเร็ว

จึงได้ทำการปรับระดับลม ในระดับต่างๆ ผลปรากฏว่าทองแดงและฉนวนหุ้มสายไฟยังคงปะปนกันและไหลลงวัสดุรองรับเช่นเดิม

- 3) ผู้ดำเนินการทดสอบจึงทำการทดสอบเครื่องเขย่าแยกจนจบ ระยะเวลาการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง



สายไฟที่ยังไม่ผ่านการสับ น้ำหนัก 2 กิโลกรัม



สายไฟที่ผ่านการสับ น้ำหนัก 2 กิโลกรัม

รูปที่ 4-20 เศษสายไฟฟ้าสำหรับการทดสอบเครื่องคัดแยกทองแดง จำนวน 2 กิโลกรัม
(ถาดเหล็กหนัก 1 กิโลกรัม)



รูปที่ 4-21 การทดสอบเครื่องคัดแยกทองแดง

เมื่อนำผลที่ได้จากการคัดแยกมาชั่งน้ำหนัก ทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่

- 1) วัสดุรองรับทองแดง ไม่สามารถชั่งน้ำหนักทองแดงที่ผ่านการคัดแยกได้ เพราะมีปริมาณน้อยเกินไปกว่าที่เครื่องจะอ่านผลได้ (รูปที่ 4-22)
- 2) วัสดุรองรับฉนวนหุ้มสายไฟ สามารถรองรับฉนวน 1.8 กิโลกรัม (รูปที่ 4-23)
- 3) ปริมาณทองแดงที่ค้างอยู่บนเครื่องคัดแยกหนัก 100 กรัม (รูปที่ 4-24)

ซึ่งภาชนะรองรับมีน้ำหนักโดยประมาณ 200 กรัม



รูปที่ 4-22 น้ำหนักทองแดงจากวัสดุรองรับทองแดง



รูปที่ 4-23 น้ำหนักฉนวนหุ้มสายไฟจากวัสดุรองรับฉนวน



รูปที่ 4-24 น้ำหนักทองแดงที่ค้างอยู่บนเครื่องคัดแยกทองแดง

จากคำแนะนำของชาวบ้านที่มาสังเกตการใช้เครื่องคัดแยกทองแดง คือ ต้องการเครื่องที่ทำการแยกได้เร็วขึ้น และลดความดังของเสียงที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงเครื่องโดยการปรับขนาดของชิ้นส่วนอะไหล่ให้มีขนาดที่เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อการนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 เครื่องคัดแยกทองแดงที่ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้ว

6. การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง

การลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการลงพื้นที่ 2 แห่ง ได้แก่

6.1 วันที่ 24 มกราคม 2563 พื้นที่ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ ณ โรงเรียนวัดสุคันธารมย์ โดยมีนายกองค์การบริหารส่วนตำบลแดงใหญ่ เป็นประธานเปิดงาน ซึ่งในงานถ่ายทอดเทคโนโลยีมีผู้ประกอบการและประชาชนผู้สนใจเข้าร่วมจำนวน 71 คน และนักเรียนในโรงเรียนวัดสุคันธารมย์ในระดับมัธยมต้น จำนวน 32 คน ซึ่งมีกิจกรรม ประกอบด้วย การแนะนำและสาธิตการใช้งานเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง รวมถึงการเปิดรับฟังความคิดเห็นจากชุมชน ภาพตัวอย่างการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี แสดงดังรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-26 บรรยากาศการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง ณ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์

6.2 วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2563 พื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอลำดวน จังหวัดอุบลราชธานี ณ หอประชุมเอนกประสงค์เทศบาลตำบลบ้านกอก โดยมีนายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลบ้านกอก เป็นประธานเปิดงาน ซึ่งประกอบด้วย การแนะนำและสาธิตการใช้งานเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง การให้ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากการเผาสายไฟ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ รวมถึงการเปิดรับฟังความคิดเห็นจากชุมชน มีซึ่งในงานถ่ายทอดเทคโนโลยีมีผู้ประกอบการและประชาชน ผู้สนใจเข้าร่วมจำนวน 45 คน นักเรียนระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนบ้านนาแก้วประชาสรรค์ จำนวน 31 คน และนักเรียนระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนบ้านกอก จำนวน 16 คน ภาพตัวอย่างการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี แสดงดังรูปที่ 4-27



รูปที่ 4-27 บรรยายการลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง ณ ตำบลบ้านกอก อำเภอลำดวน จังหวัดอุบลราชธานี

แนวทางส่งเสริมการใช้เครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง สามารถทำได้โดย

- 1) สร้างความตระหนักให้ชุมชนเรื่องสิ่งแวดล้อม ผ่านศูนย์เรียนรู้ของชุมชน
- 2) การเพิ่มมูลค่าให้พลาสติกที่แยกจากทองแดง
- 3) ประสานแหล่งรับซื้อทองแดง
- 4) การผลักดันนโยบายไม่รับซื้อทองแดงจากการเผา

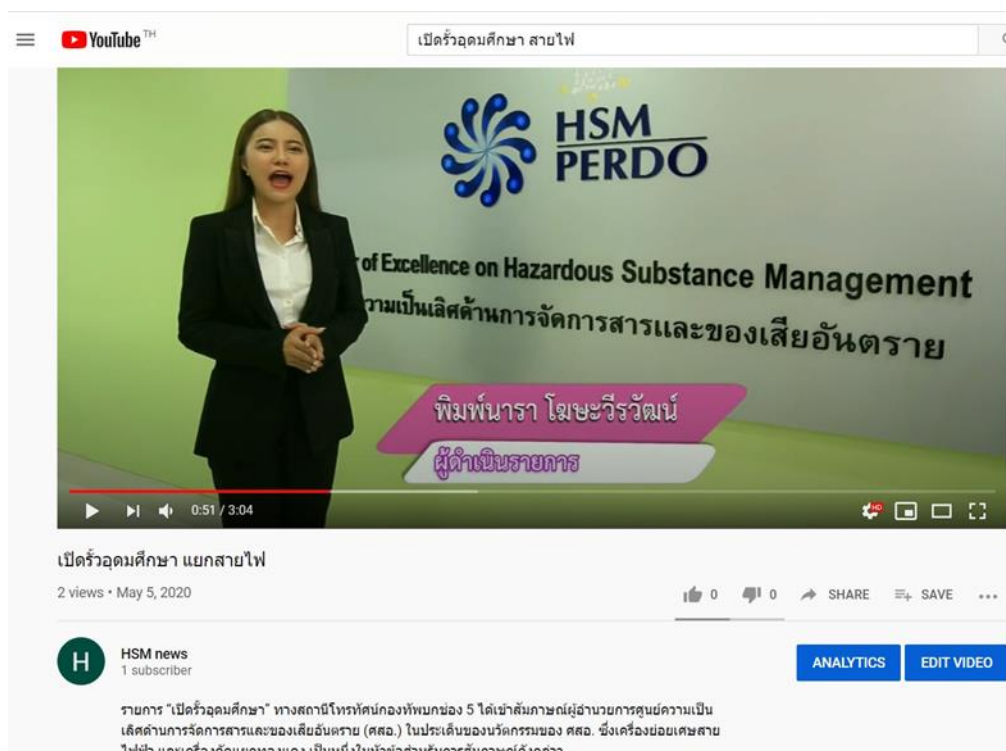
7. การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์โครงการ

7.1 รายการ “เปิดรู้อุดมศึกษา” ทางสถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 ได้เข้าสัมภาษณ์ผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) ในประเด็นของนวัตกรรมของ ศสอ. ซึ่งเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า และเครื่องคัดแยกทองแดง เป็นหนึ่งในหัวข้อสำหรับการสัมภาษณ์ดังกล่าว ดังรูปที่ 4-28



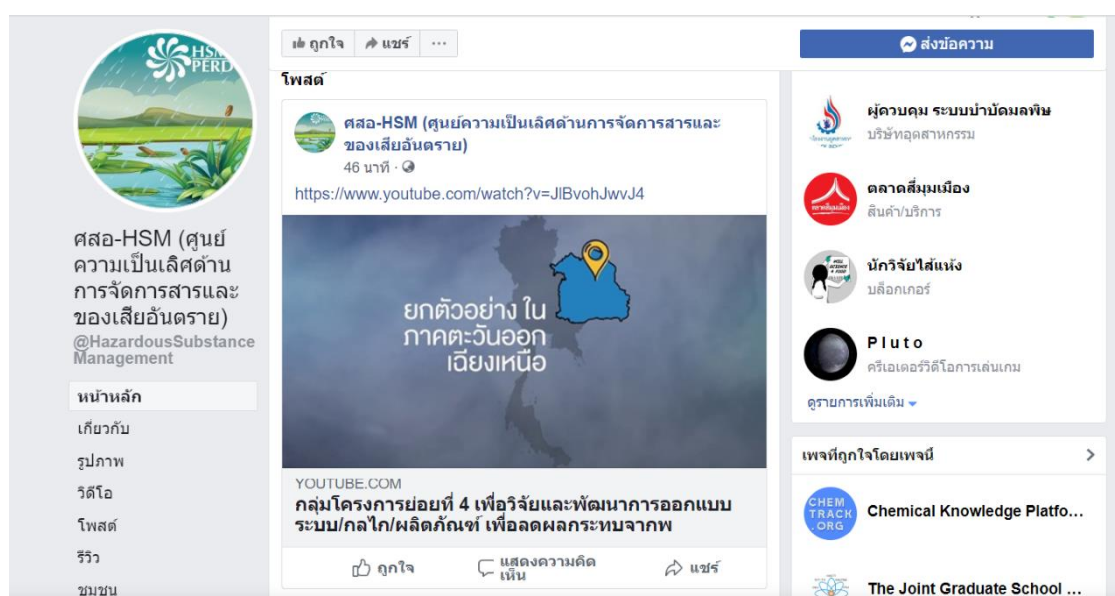
รูปที่ 4-28 การสัมภาษณ์รายการ “เปิดรู้อุดมศึกษา” ทางสถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5

7.2 การประชาสัมพันธ์ผ่านช่อง YouTube Chanel ตัวอย่างดังรูปที่ 4-29



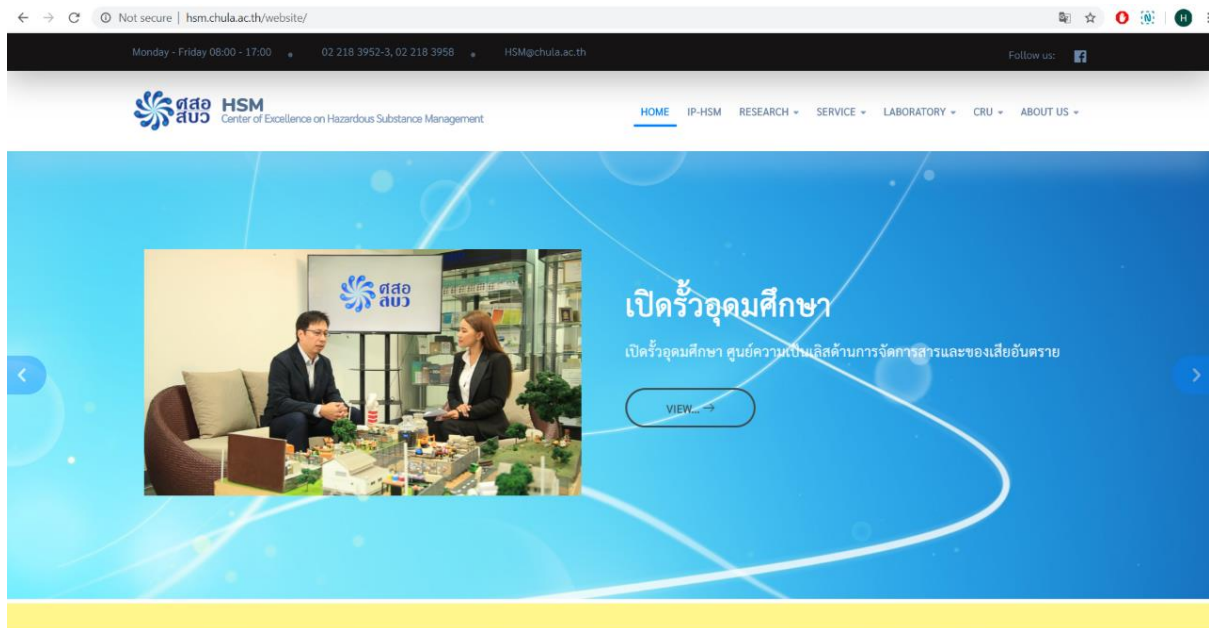
รูปที่ 4-29 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่านช่อง YouTube Chanel

7.3 การประชาสัมพันธ์ผ่าน Facebook ดังรูปที่ 4-30



รูปที่ 4-30 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่าน Facebook

7.4 การประชาสัมพันธ์ผ่าน Website ดังรูปที่ 4-31



รูปที่ 4-31 การประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ผ่าน Website

8. การส่งมอบเครื่อง “อุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ” จำนวน 6 เครื่อง



ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ อว 64.2.42/0183

9 มิถุนายน 2563

เรื่อง ขอส่งมอบเครื่องมือวิจัย

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. เครื่องแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า จำนวน 3 เครื่อง
2. เครื่องฟอกอากาศโดยใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรอง จำนวน 3 เครื่อง

ตามที่ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย กลุ่มเรื่อง การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และของเสียอันตรายชุมชน จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ซึ่งมีกิจกรรม “โครงการอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น (Pre-Feasibility study) ของผลิตภัณฑ์ระดับทดลอง (Lab scale) และประดิษฐ์เครื่องย่อยและ/หรือ สับและแยกสำหรับพลาสติกหุ้มฉนวนและทองแดงออกจากกันเพื่อใช้ในภาคสนาม และเพื่อศึกษาวิธีการนำโฟมพียูมาดัดแปลงเป็นตัวกรองสำหรับกรองอากาศ เพื่อแก้ไขปัญหาการปล่อยมลพิษอากาศจากกิจกรรมการเผาของเสียในพื้นที่ใกล้เคียงผู้ประกอบการรีไซเคิลและคัดแยกนั้น

ทั้งนี้ โครงการฯ ได้ดำเนินการนำ “เครื่องแยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “เครื่องฟอกอากาศโดยใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรอง” ไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการคัดแยกและประชาชนผู้สนใจในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดอุบลราชธานี เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกับนโยบายและวัตถุประสงค์ของศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี โครงการฯ จึงได้ติดต่อประสานกับอาจารย์ ดร.กุลวรรณ ไสร์จี้ เพื่อขอส่งมอบเครื่องมือดังกล่าว จำนวน 6 เครื่อง โดยนำไปจัดแสดงถาวรที่ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีเพื่อการเรียนรู้สำหรับผู้สนใจต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

ผู้อำนวยการ

สำเนาเรียน อาจารย์ ดร.กุลวรรณ ไสร์จี้

อาคารวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 8 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทรศัพท์ 0 2218 3952-3 • โทรสาร 0 2219 2251 • <http://www.hem.chula.ac.th> • E-mail: HSM@chula.ac.th

รูปที่ 4-32 บันทึกนำส่งเครื่องมือวิจัย

กำหนดการส่งมอบเครื่องมือวิจัย “โครงการอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ” ที่ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี วันที่ 16 มิถุนายน 2563

เวลา 13.15 – 13.30 น.	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (หรือผู้แทน) กล่าวต้อนรับหัวหน้าโครงการฯ และนักวิจัย
เวลา 13.30 – 13.45 น.	1. หัวหน้าโครงการฯ สรุปความเป็นมาของโครงการฯ และวัตถุประสงค์ในการดำเนินโครงการ 2. หัวหน้าโครงการฯ มอบของที่ระลึกแก่อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (หรือผู้แทน) และคณะบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
เวลา 13.45 – 14.00 น.	หัวหน้าโครงการฯ ส่งมอบเครื่องมือวิจัย แก่อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (หรือผู้แทน) เพื่อจัดแสดงถาวรที่ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พร้อมถ่ายรูปร่วมกัน
เวลา 14.15 – 14.30 น.	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี (หรือผู้แทน) กล่าวปิดพิธีการส่งมอบเครื่องมือวิจัย “โครงการอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า” และ “โครงการการใช้ประโยชน์จากฉนวนกันความร้อนเหลือทิ้งจากโฟมพียูทดแทนไส้กรองเครื่องฟอกอากาศ”

รูปที่ 4-33 กำหนดการส่งมอบเครื่องมือวิจัย

9. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ปัญหาด้านมลพิษกิจกรรมการคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของผู้ประกอบการหรือกลุ่มชาวบ้านที่รวมตัวกันดำเนินการอยู่ในพื้นที่ชุมชน อาทิจังหวัดกาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ อุบลราชธานี เป็นต้น ปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่ตามมาจากกิจกรรมคัดแยกซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่เกิดจากระหว่างกระบวนการคัดแยกชิ้นส่วนที่มีค่าและการนำจัดการซากชิ้นส่วนหลังการคัดแยกที่ไม่เรียบร้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการลักลอบเผาชิ้นส่วนหรือเศษซากสายไฟขนาดเล็กเพื่อเอาเศษทองแดงไปขายให้ผู้รับซื้อ เกิดปัญหามลพิษทั้งฝุ่นควัน และกลิ่นเหม็นไหม้ ก่อให้เกิดความเดือดร้อน รำคาญกับชุมชนโดยรอบและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งฝุ่นควัน ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยเฉพาะฉนวนหุ้มหรือพลาสติกจากสายไฟมีความอันตรายจากสารเคมี ก่อให้เกิดความอันตรายต่อผู้สูดดมกับผู้ลักลอบเผาและผู้อยู่บริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ยังเป็นฝุ่นฟุ้งกระจายและเป็นสารเคมีตกค้าง ก่อให้เกิดความเสียหายกับพื้นที่การเกษตร ปศุสัตว์ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ การดำเนินกิจกรรมการคัดแยกเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเอาโลหะมีค่า ของผู้ประกอบการด้วยวิธีการเผาซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและค่าใช้จ่ายน้อยในการแยกโลหะมีค่า แต่ก่อให้เกิดต้นทุนความรับผิดชอบต่อสังคมและผลกระทบต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากหากไม่ได้รับการควบคุมดูแลที่ดี เช่น ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล ค่าการจัดการมลพิษหรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟู

สิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการตัดแยกโลหะมีค่าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการอื่นๆ จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าวิธีการเผา โดยเฉพาะกับเศษสายไฟฟ้าขนาดเล็ก

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ทางโครงการได้ศึกษาทางเลือกการตัดแยกเศษสายไฟขนาดเล็กด้วยอุปกรณ์การตัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการตัดแยก โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้ประกอบการใช้เครื่องตัดแยกทองแดงจากสายไฟ ลดการนำสายไฟขนาดเล็กไปเผาเพื่อแยกทองแดงจากฉนวนหุ้ม เพื่อลดการเกิดมลพิษทางอากาศจากการเผาสายไฟจากกิจกรรมการตัดแยกของชุมชน โดยจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ และใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟดังนี้

ตารางที่ 4-1 ภาพรวมการเปรียบเทียบวิธีการตัดแยกเศษทองแดงหรือโลหะมีค่าจากเศษสายไฟขนาดเล็กด้วยวิธีการต่างๆ ในด้านต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ลำดับ	วิธีการตัดแยกโลหะ	ข้อดี	ข้อเสีย
1	การใช้แรงงานคนปอกสายไฟ	- กระบวนการตัดแยกง่าย - ได้ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง สะอาดพร้อมจำหน่าย - เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	- ต้องใช้ทักษะแรงงาน - ประสิทธิภาพต่ำ เมื่อเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้กับเวลาที่ใช้ - ค่าแรงงานสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้
2	การเผา	- กระบวนการตัดแยกง่าย - ต้นทุนดำเนินการต่ำ	- ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพต่ำ ต้องนำไปทำความสะอาดก่อนจำหน่าย - เกิดมลพิษทางอากาศสูง โดยเฉพาะ กลิ่น คิวโนฝุ่นละออง - ต้องฟื้นฟูสถานที่ใช้ดำเนินการ - เกิดผลกระทบต่อผู้อื่นบริเวณกว้าง
3	การใช้สารเคมี ชะละลาย	- ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง สะอาดพร้อมจำหน่าย	- กระบวนการตัดแยกยาก ต้องมีความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ - ต้นทุนสารเคมีแพง - เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ หากจัดการของเสียไม่ดี - มีอันตรายในกระบวนการ - ไม่เหมาะกับผู้ประกอบการทั่วไป

ตารางที่ 4-1 ภาพรวมการเปรียบเทียบวิธีการคัดแยกเศษทองแดงหรือโลหะมีค่าจากเศษสายไฟขนาดเล็ก ด้วยวิธีการต่างๆ ในด้านต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

ลำดับ	วิธีการคัดแยกโลหะ	ข้อดี	ข้อเสีย
4	การใช้เครื่องปอกสายไฟสำหรับสายไฟขนาดเล็ก	- กระบวนการคัดแยกง่าย - ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง สะอาดพร้อมจำหน่าย - ประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้กับเวลาที่ใช้ - เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ไม่สามารถดำเนินการได้กับสายไฟขนาดเล็ก)	- จำกัดขนาดสายไฟต้องที่ไม่เล็กเกินไป - มีต้นทุนค่าอุปกรณ์ และค่าไฟดำเนินการ
5	การใช้เครื่องสับและเครื่องเขย่าสำหรับสายไฟขนาดเล็ก	- กระบวนการคัดแยกง่าย - ประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้กับเวลาที่ใช้ - ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง สะอาดพร้อมจำหน่าย - เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	- มีต้นทุนค่าอุปกรณ์ และค่าไฟดำเนินการ - เป็นเครื่องจักร เกิดเสียงดังขณะทำงาน

ข้อมูลการลงพื้นที่เสี่ยงเป้าหมายในโครงการเพื่อสำรวจรูปแบบของกิจกรรมการคัดแยกเศษสายไฟฟ้าของชุมชน โดยได้ดำเนินการสำรวจ ณ ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี เป็นพื้นที่ศึกษา โดยตำบลบ้านกอกแบ่งเขตการปกครองออกเป็น 6 หมู่ ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจและข้อมูลของทะเบียนการขายของทอดตลาดและของเก่า กรมการปกครอง ปี 2558 พบว่าสถานประกอบกิจการร้านรับซื้อของเก่า คัดแยกและรีไซเคิล ในพื้นที่ตำบลบ้านกอก มีจำนวน 61 ราย สามารถแบ่งตามประเภทการประกอบกิจการ 6 ประเภท ได้แก่

- | | | |
|----------------------------|-------|--------|
| 1) ประเภทขยะรวมทุกประเภท | จำนวน | 7 ราย |
| 2) ประเภทขยะพลาสติก | จำนวน | 20 ราย |
| 3) ประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์ | จำนวน | 13 ราย |
| 4) ประเภทรถจักรยานยนต์ | จำนวน | 9 ราย |
| 5) ประเภทรถยนต์ | จำนวน | 11 ราย |

6) ประเภทถุงน้ำยาล้างไต จำนวน 1 ราย

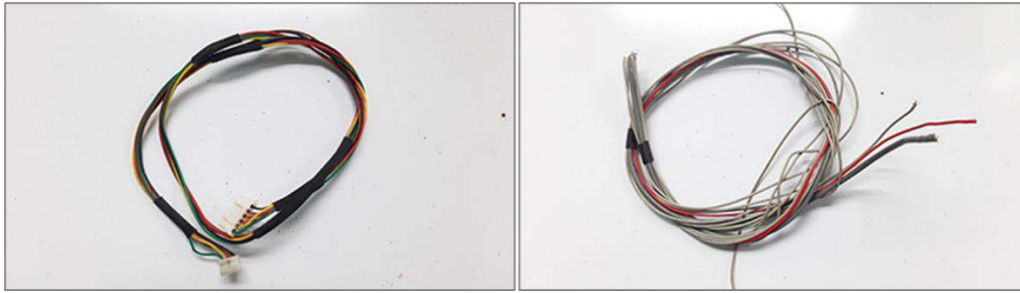
ซึ่งแบ่งเป็น สถานประกอบการคัดแยก จำนวน 9 ราย สถานประกอบการรับซื้อจำนวน 3 ราย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) สถานประกอบการคัดแยกนำวัสดุเข้ามาเพื่อคัดแยกเฉลี่ย 17 ครั้งต่อเดือน และสามารถคัดแยกเศษสายไฟฟ้า/ทองแดง เฉลี่ย 5 กิโลกรัมต่อวัน
- 2) ประเภทของสายไฟฟ้าที่ได้จากการคัดแยก แบ่งเป็น
 - สายไฟฟ้าภายในบ้านเรือน
 - สายต่อพ่วงเครื่องใช้ไฟฟ้า
 - สายวงจรภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า
- 3) สถานประกอบการคัดแยกนำตู้เย็น/ตู้แช่เย็นเข้ามาเพื่อคัดแยก เฉลี่ย 44 เครื่องต่อเดือน
- 4) เครื่องมือที่ใช้ในการคัดแยกเป็นเครื่องมือพื้นฐาน เช่น ค้อน ไขควง กรรไกร คีม สว่าน แฉ โดยสถานประกอบการเพียง 1 รายในการใช้แม่แรงไฮดรอลิกเพื่อช่วยทุ่นแรง
- 5) สถานประกอบการ 8 ใน 9 ราย นำสายไฟขนาดเล็กที่ได้จากการคัดแยก ไปเผา เนื่องจากไม่มีทางวิธีการอื่นที่ดีกว่า

จากข้อมูลการลงพื้นที่เสี่ยงเป้าหมายในโครงการเพื่อสำรวจรูปแบบของกิจกรรมการคัดแยกเศษสายไฟฟ้าของชุมชน ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานีข้างต้น พบว่ากิจกรรมในการคัดแยกเศษสายไฟฟ้านาขนาดเล็กทั้งหมดของชุมชนแห่งนี้ ใช้วิธีการคัดแยกโลหะมีค่าออกจากสายไฟด้วยวิธีการเผาและการใช้เครื่องมืออุปกรณ์และแรงงานคนในการคัดแยก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการลดเกิดมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมการคัดแยกของชุมชนระหว่างการเผาสายไฟและการใช้เครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟ เนื่องจากการดำเนินการที่เหมาะสมกับการดำเนินงานที่เป็นไปได้ของพื้นที่และไม่ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตของคนในชุมชน โดยปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ ดังนี้

1) ปริมาณเศษสายไฟขนาดเล็กของชุมชน

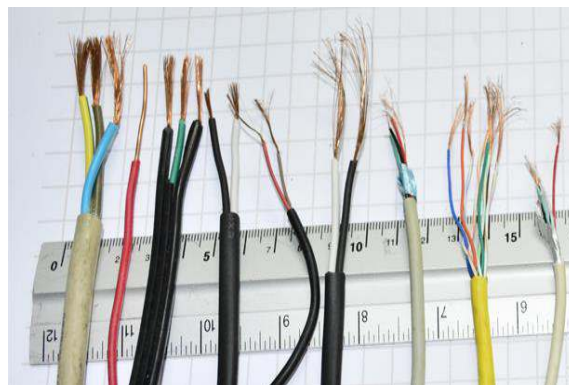
ปริมาณเศษสายไฟขนาดเล็กที่จะนำไปคัดแยกทองแดงของทั้งชุมชนเฉลี่ยอยู่ที่ 765 – 800 กิโลกรัมต่อเดือน โดยแหล่งที่มาของเศษสายไฟขนาดเล็กในพื้นที่ มาจาก 2 แหล่ง คือ 1) จากการรวบรวมเศษสายไฟจากซากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดจากกิจกรรมคัดแยกของผู้ประกอบการเอง เช่น แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตู้เย็น จักรยานยนต์ เป็นต้น และ 2) จากรับซื้อตัวเศษสายไฟจากผู้รวบรวมขายเจ้าอื่นๆ ทั้งในและนอกพื้นที่ โดยมีราคารับซื้ออยู่ที่ 20 กิโลกรัม ราคา 300 บาท หรือ กิโลกรัมละ 15 บาท ดังนั้นต้นทุนของวัตถุดิบหรือเศษสายไฟขนาดเล็กก่อนดำเนินกิจกรรมคัดแยกทั้งหมด 800 กิโลกรัม เท่ากับ 12,000 บาท



รูปที่ 4-34 สายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่เข้ามาคัดแยกในชุมชน

2) ปริมาณผลิตภัณฑ์ทองแดงและราคาขายทองแดงหลังการคัดแยก

สายไฟขนาดเล็กจะมีปริมาณทองแดงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 25 ของน้ำหนักสายไฟ ดังนั้นเศษสายไฟ 800 กิโลกรัมจะมีทองแดงอยู่ที่ 200 กิโลกรัม และราคารับซื้อเศษทองแดงเฉลี่ยอยู่ที่ 110 – 130 บาทต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และความสะอาดของเศษทองแดงที่ผู้ประกอบการนำมาขายให้ผู้รับซื้อ ดังนั้น ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ทองแดงหลังดำเนินการกิจกรรมคัดแยกทั้งหมด 200 กิโลกรัม เท่ากับ 26,000 บาท



รูปที่ 4-35 ทองแดงในสายไฟฟ้า

9.1 การเปรียบเทียบการคัดแยกระหว่างการเผาสายไฟและการใช้เครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟเบื้องต้น

หากเปรียบเทียบการดำเนินการกิจกรรมคัดแยกระหว่างการเผาสายไฟและการใช้เครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟ 1 วัน (8 ชั่วโมงทำงานต่อวัน) โดยไม่รวมต้นทุนค่าดำเนินการต่างๆ จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

การคัดแยกด้วยการเผา

ใน 1 วัน สามารถทำการเผาสายไฟเพื่อแยกทองแดงได้วันละ 100 กิโลกรัม สายไฟ 800 กิโลกรัม ต้องดำเนินการอย่างน้อย 8 วัน ได้ผลิตภัณฑ์ทองแดงที่สามารถนำไปขายได้ประมาณ ร้อยละ 15 ของน้ำหนักทั้งหมด หรือเท่ากับ 120 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือเป็นเถ้าของเสียและฝุ่นที่ต้องนำไปจัดการให้เรียบร้อยต่อ ดังนั้นหากดำเนินการ 800 กิโลกรัม จะได้ผลิตภัณฑ์ทองแดง สามารถขายได้ในราคาที่ต่ำที่สุดกิโลกรัมละ 120 บาท เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องนำไปทำความสะอาด เท่ากับ 14,400 บาท



รูปที่ 4-36 การเผาเศษสายไฟฟ้า

การใช้เครื่องคัดแยกทองแดง

ใน 1 วัน สามารถทำการคัดแยกทองแดงจากสายไฟ ได้วันละ 40 กิโลกรัม (5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) สายไฟ 800 กิโลกรัม ต้องใช้เวลาดำเนินการอย่างน้อย 20 วัน ได้ผลิตภัณฑ์ทองแดงที่สามารถนำไปขายได้ประมาณ ร้อยละ 25 ของน้ำหนักทั้งหมด หรือเท่ากับ 200 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือเป็นเศษฉนวนหุ้มหรือพลาสติกที่สามารถขายได้หรือนำไปจัดการให้เรียบร้อยต่อ ดังนั้นหากดำเนินการ 800 กิโลกรัม จะได้ผลิตภัณฑ์ทองแดง สามารถขายได้ในราคาที่สูงที่สุดกิโลกรัมละ 130 บาท เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความสะอาดไม่ต้องนำไปทำความสะอาดต่อ เท่ากับ 26,000 บาท



รูปที่ 4-37 การใช้เครื่องคัดแยกทองแดง

สรุปได้ว่า การดำเนินการคัดแยกผลิตภัณฑ์ทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก ในปริมาณที่เท่ากัน การคัดแยกด้วยการเผาสายไฟเพื่อให้ได้ทองจะใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานได้เร็วกว่าการคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยกอย่างน้อย 2.5 เท่าของระยะดำเนินการแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้อยและขายได้ในราคาที่น้อยกว่าทำให้มูลค่าของผลิตภัณฑ์ทองแดงที่ขายน้อยกว่าถึง 11,600 บาท หรือประมาณ 1.8 เท่า นอกจากนี้ หากนับรวมการจัดการของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้น การคัดแยกทองแดงด้วยการเผาสายไฟจะสร้างของเสีย เช่น เถ้าและฝุ่น คิวบิก ซึ่งสร้างผลกระทบต่อสังคมสิ่งแวดล้อมในการจัดการ ในขณะที่การคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟจะมีของเสียที่เป็นเศษปกคลุมหุ้มที่รวบรวมจัดการง่ายกว่าหรือสามารถนำไปขายต่อได้และไม่เกิดมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

9.2 การวิเคราะห์ด้านต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า

ในการประเมินด้านต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก จะประเมินตามกำลังการผลิตหรือความจุวัตถุดิบของเครื่องจักรสูงสุดที่ทางที่ปรึกษาได้ออกแบบไว้ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานของผู้ประกอบการทั้งในเรื่องของขนาดหรือต้นทุนของเครื่องจักร ซึ่งตามกระบวนการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนโดยดำเนินการแยกกันได้ คือ 1) ขั้นตอนการลดขนาดของสายไฟด้วยการบดสับย่อยสายไฟขนาดเล็ก และ 2) ขั้นตอนการคัดแยกเศษทองแดงจากฉนวนหุ้มสายไฟ

โดย 1) ขั้นตอนการลดขนาดของสายไฟด้วยการบดสับย่อยสายไฟขนาดเล็ก และ 2) ขั้นตอนการคัดแยกเศษทองแดงจากฉนวนหุ้มสายไฟ โดยจะดำเนินการตามสายไฟขนาดเล็กที่รวบรวมได้ประมาณ 800 กิโลกรัมต่อเดือน ขนาดของความจุที่รองรับ 5 กิโลกรัมต่อรอบชั่วโมง ทำทั้งหมด 8 รอบต่อวัน หรือ 40 กิโลกรัมต่อวัน โดยรายละเอียดของต้นทุนและประโยชน์ต่างๆ จากเทคโนโลยีฯ มีดังนี้

1) ด้านต้นทุนของเทคโนโลยีฯ

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของเทคโนโลยีฯ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.1) ต้นทุนคงที่ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ได้แก่ ค่าพื้นที่ สิ่งปลูกสร้าง เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ การติดตั้งระบบเครื่องจักรต่างๆ ระบบสาธารณูปโภค ระบบป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยมีต้นทุนประมาณการ รายละเอียดดังในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สรุปต้นทุนของเทคโนโลยีฯ

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	รายละเอียด	ราคา	หน่วย
1	พื้นที่และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ	3 * 3 ตารางเมตร (1 ตร.ม. = 5,000 บาท) -โรงเก็บวัสดุดิบ พื้นที่ดำเนินการ ฯลฯ	45,000	บาท
2	เครื่องจักร และ อุปกรณ์		50,000	
2.1	ชุดเครื่องบดสับย่อยขนาด สายไฟขนาดเล็ก	ขนาดจุ 10 กิโลกรัม	25,000	บาท
2.2	ชุดเครื่องคัดแยกทองแดงจาก เศษสายไฟ	ขนาดจุ 5 กิโลกรัม	25,000	บาท
3	ค่าติดตั้งและอุปกรณ์ติดตั้ง ต่างๆ	เช่น ชุดสายไฟ	5,000	บาท
	รวม		100,000	บาท

หมายเหตุ ราคาประมาณการ

1.2) ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายดำเนินการ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการดำเนินงานเป็นประจำ ได้แก่ ค่าวัสดุดิบเศษสายไฟขนาดเล็ก ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องมืออุปกรณ์และภาชนะบรรจุ ค่าซ่อมบำรุง เป็นต้น คิดคำนวณตามวันทำงาน 1 เดือน มีวันทำงาน 20 วัน โดยมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4-3

1.2.1) ด้านวัสดุดิบ

- เศษสายไฟขนาดเล็ก 800 กิโลกรัมต่อเดือน (ราคา 15 บาทต่อกิโลกรัม)

1.2.2) ค่าพลังงาน

- ค่าไฟฟ้า คิดค่าไฟที่ 5 บาทต่อหน่วย (หน่วยไฟฟ้า)
 - เครื่องบดสับย่อยสายไฟ ใช้ไฟฟ้า 0.8 หน่วยต่อชั่วโมง
 - เครื่องคัดแยกทองแดง ใช้ไฟฟ้า 0.5 หน่วยต่อชั่วโมง

1.2.3) ค่าแรงงาน 1 คน ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน เหมวันละ 300 บาท

1.2.4) ค่าอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ภาชนะบรรจุ เครื่องมือช่าง อุปกรณ์ป้องกัน ฯลฯ
เหมาเดือนละ 1,000 บาท

1.2.5) ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ รอบละ 5,000 บาท ปีละ 2 ครั้ง

ตารางที่ 4-3 สรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในกระบวนการ

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	รายละเอียด	ปริมาณที่ใช้ต่อปี	มูลค่า (บาท/ปี)
1	วัตถุดิบ			144,000
1.1	เศษสายไฟฟ้าขนาดเล็ก	ปริมาณ 800 กิโลกรัมต่อเดือน กิโลกรัมละ 15 บาท	9,600 กิโลกรัม	144,000
2.	ค่าพลังงาน			12,480
2.1	เครื่องบดสับย่อยสายไฟ	ใช้ไฟฟ้า 0.8 ยูนิิตต่อชั่วโมง ใช้ไฟ 6.4 ยูนิิตต่อวัน (128 ยูนิิตต่อเดือน)	1,536 ยูนิิตต่อปี	7,680
2.2	เครื่องแยกทองแดง	ใช้ไฟฟ้า 0.5 ยูนิิตต่อชั่วโมง ใช้ไฟ 4 ยูนิิตต่อวัน (80 ยูนิิตต่อเดือน)	960 ยูนิิตต่อปี	4,800

ตารางที่ 4-3 สรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในกระบวนการ (ต่อ)

ลำดับ	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	รายละเอียด	ปริมาณที่ใช้ต่อปี	มูลค่า (บาท/ปี)
3.	ค่าแรงงาน	1 คน เหมจ่ายรายวัน 300 บาท 6,000 บาทต่อเดือน		72,000
4.	ค่าอุปกรณ์อื่นๆ	ภาชนะบรรจุ เครื่องมือช่าง อุปกรณ์ป้องกัน ฯลฯ เหมาจ่ายเดือนละ 1,000 บาท		12,000
5.	ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์	รอบละ 5,000 บาท ปีละ 2 ครั้ง		10,000

		รวม 1+2+3+4+5		250,480
--	--	---------------	--	---------

2) ด้านประโยชน์ (Benefit)

เป็นผลประโยชน์ที่เกิดจากการดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4-4

2.1) ประโยชน์ทางตรง

- ผลិតภัณฑ์โลหะทองแดงเทียบเท่ากับราคา โดยมีราคาประมาณ 130 บาทต่อกิโลกรัม (อ้างอิงจากราคาตลาด) โดยเศษสายไฟขนาดเล็ก 800 กิโลกรัมต่อเดือน ได้ผลิตภัณฑ์โลหะทองแดง 200 กิโลกรัม คิดเป็นเงินเท่ากับ 26,000 บาท



รูปที่ 4-38 ผลิตภัณฑ์โลหะทองแดงจากการคัดแยก

- เศษฉนวนหุ้มหรือพลาสติกที่เหลือจากการคัดแยก โดยมีราคาประมาณ 2 บาทต่อกิโลกรัม (อ้างอิงราคาจากการสอบถาม) โดยเหลือเศษฉนวนหุ้มขนาดเล็กจากกระบวนการ 600 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นเงินเท่ากับ 1,200 บาท



รูปที่ 4-39 เศษฉนวนหุ้มหรือพลาสติกที่เหลือจากการตัดแยกที่ขายได้

2.2) ผลประโยชน์ทางอ้อม

ผลประโยชน์ทางอ้อมในการศึกษานี้ไม่ได้ถูกนำไปคิดประเมินเป็นมูลค่าที่เป็นตัวเงิน เนื่องจากการประเมินมูลค่าการทดแทนด้านสิ่งแวดล้อมประเมินออกมาในรูปตัวเงินทดแทนทำได้ยาก แต่ประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดจากการใช้เครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก ควรจะกล่าวถึงเพื่อชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับหรือทดแทนการนำสายไฟไปเผา เช่น

- ประโยชน์ที่จากการลดปริมาณมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่น คาร์บอน กลิ่นเหม็น สารระเหย สารพิษตกค้าง รวมถึงการที่ภาครัฐประหยัดค่าการจัดการควบคุมการลักลอบเผาหรือปริมาณมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาเศษสายไฟเพื่อคัดแยกทองแดงไปขาย

- ประโยชน์จากประหยัดค่ากำจัดเศษฉนวนหุ้มหรือเศษพลาสติกที่เกิดจากการคัดแยกด้วยเครื่องคัดแยกทองแดงเพราะสามารถนำไปขายได้ ทดแทนการส่งไปกำจัดรวมกับของเสียชุมชนที่ต้นทุนประมาณ 400 บาท ลดภาระของหลุมฝังกลบจากขยะพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก เป็นต้น

ตารางที่ 4-4 รายการผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น

รายการ	รายละเอียด	มูลค่า	หน่วย
1) ขายผลิตภัณฑ์โลหะทองแดง	ราคาขาย 130 บาทต่อกิโลกรัม ผลิตได้ 200 กิโลกรัมต่อเดือน 1 ปี ผลิตได้ 2,400 กิโลกรัม	312,000	บาทต่อปี
2) ขายเศษฉนวนหุ้มหรือพลาสติกที่เหลือจากการคัดแยก	ราคาขาย 2 บาทต่อกิโลกรัม ผลิตได้ 600 กิโลกรัมต่อเดือน 1 ปี ผลิตได้ 7,200 กิโลกรัม	14,400	บาทต่อปี
รวม		326,400	บาท

ที่มา จากการคำนวณ

9.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยี ด้วยเครื่องมือการตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือการตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ได้แก่

(1) ค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เป็นการดูผลต่างของผลลัพธ์ตัวเงินที่ปรับค่าให้อยู่ ณ เวลาปัจจุบันระหว่างผลประโยชน์สุทธิ(PVB) และต้นทุนสุทธิ : PVC) ตลอดอายุโครงการ โดยเงื่อนไขการตัดสินใจพิจารณา ความคุ้มค่าในการลงทุน คือ ค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่ามากกว่าศูนย์ ($NPV > 0$) , ถ้า ค่าปัจจุบันสุทธิ ($NPV \leq 0$) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่าค่าต้นทุนสุทธิมีการมากกว่าผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับ การลงทุนกับโครงการอาจจะไม่คุ้มค่ากับผลประโยชน์ที่ได้รับ

(2) ค่าผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) เป็นการดูสัดส่วนของผลลัพธ์ตัวเงินที่ปรับค่าให้อยู่ ณ เวลาปัจจุบันระหว่างผลประโยชน์สุทธิ (PVB) และต้นทุนสุทธิ (PVC) ตลอดอายุโครงการ โดยเงื่อนไขการตัดสินใจพิจารณา ความคุ้มค่าในการลงทุน คือ สัดส่วนของผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าศูนย์ ($B/C > 0$) , ถ้า ค่าสัดส่วนของผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ($B/C \leq 0$) แสดงว่าค่าต้นทุนสุทธิมีการมากกว่าผลประโยชน์สุทธิที่จะได้รับ การลงทุนกับโครงการอาจจะไม่คุ้มค่ากับผลประโยชน์ที่ได้รับ

(3) อัตราผลตอบแทนภายใน (Interest Rate of Return: IRR) เป็นการดูความคุ้มค่าของการลงทุน เปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสในการลงทุนอื่นๆ โดยค่าเสียโอกาสหรืออัตราคิดลด(i) จะเท่ากับการ

อัตราของดอกเบี้ยหรืออัตราเงินเฟ้อของประเทศ จะทำให้ให้ค่าปัจจุบันสุทธิตลอดโครงการเท่ากับศูนย์ โดยเงื่อนไขการตัดสินใจพิจารณา ความคุ้มค่าในการลงทุน คือ ค่าอัตราผลตอบแทนภายในที่คำนวณต้องมากกว่าค่าอัตราค่าเสียที่กำหนดเป็นค่าเสียโอกาส ($IRR_{cal} > i$)

(4) ระยะการคืนทุน (Pay Back Return :PB) เป็นการประเมินระยะเวลาของการคืนทุนหรือปีที่จะทำผลประโยชน์ที่ได้รับกลับมามีค่ามากกว่าต้นทุนทั้งหมดที่ได้ลงทุนในโครงการไป โดยเงื่อนไขการตัดสินใจพิจารณา ความคุ้มค่าในการลงทุน คือ ระยะเวลาปีที่ได้ผลประโยชน์รวมทั้งหมดของโครงการมากกว่าต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้น ยังอยู่ในอายุของโครงการ

เงื่อนไขการคำนวณวิเคราะห์ผลการตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์

- อายุของโครงการฯ คิดที่ 21 ปี เริ่มนับตั้งแต่การเริ่มโครงการ โดยปีที่ 0-1 คือ ปีก่อสร้าง และเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปีที่ 1 – ปีที่ 20

- อัตราคิดลด (Discount Rate) คิดที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ MLR เท่ากับ ร้อยละ 8 รวมกับอัตราเงินเฟ้อมาตรฐาน ร้อยละ 2 เท่ากับ ร้อยละ 10

โดยการวิเคราะห์การคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก จะประเมินตามกำลังการผลิตหรือความจุต์ดิบของเครื่องจักรสูงสุดที่ทางที่ปรึกษาได้ออกแบบไว้ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานของผู้ประกอบการทั้งในเรื่องของขนาดหรือต้นทุนของเครื่องจักร ซึ่งตามกระบวนการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนโดยดำเนินการแยกกันได้ คือ 1) ขั้นตอนการลดขนาดของสายไฟด้วยการบดสับย่อยสายไฟขนาดเล็ก และ 2) ขั้นตอนการคัดแยกเศษทองแดงจากฉนวนหุ้มสายไฟ โดยจะดำเนินการตามสายไฟขนาดเล็กที่รวบรวมได้ประมาณ 800 กิโลกรัมต่อเดือน ขนาดของความจุที่รองรับ 5 กิโลกรัมต่อรอบชั่วโมง ทำทั้งหมด 8 รอบต่อวัน หรือ 40 กิโลกรัมต่อวัน โดยรายละเอียดของต้นทุนและประโยชน์ต่างๆ มีดังนี้

- ค่าผลประโยชน์สุทธิ รวมตลอดทั้งโครงการ เท่ากับ 3,204,643.31 บาท
- ค่าต้นทุนสุทธิ รวมตลอดทั้งโครงการ เท่ากับ 2,748,334.11 บาท

ตารางที่ 4-5 สรุปผลประโยชน์ต้นทุนการตัดสินใจด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์

เครื่องมือวิเคราะห์การตัดสินใจ	รวม (บาท)
ผลประโยชน์สุทธิ (PVB)	3,204,643.31
ต้นทุนสุทธิ (PVC)	2,748,334.11
ค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	456,309.20
ค่าผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C)	1.17
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	60%
ระยะการคืนทุน (Pay Back)	1 ปี 6 เดือน

หมายเหตุ รายละเอียดการคำนวณตามภาคผนวก จ

เครื่องมือการตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์

- ค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 456,309.20 บาท โดยเกณฑ์การพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน คือ ค่าปัจจุบันสุทธิรวมทั้งโครงการ มีค่ามากกว่าศูนย์ ($NPV > 0$) คำนวณที่จะลงทุนเนื่องจากค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์
- อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) เท่ากับ 1.17 โดยเกณฑ์การพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน คือ ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าศูนย์ ($B/C > 1$) คำนวณที่จะลงทุนเนื่องจากค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมากกว่าหนึ่ง
- อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ ร้อยละ 60 โดยเกณฑ์การพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการ มีค่ามากกว่าอัตราคิดลด ($IRR > 10\%$) คำนวณที่จะลงทุนเนื่องจากค่าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าร้อยละ 10
- ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Return) ระยะเวลาคืนทุนหลังจากปีลงทุน จะได้ผลตอบแทนคืนในระยะเวลาดังกล่าวคืนใน 20 ปี ภายในปี 1 เดือนที่ 6 เงื่อนไขคือเกณฑ์การพิจารณาความคุ้มค่าคือระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าอายุโครงการ 20 ปี

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก โดยในการประเมินความคุ้มค่าของโครงการฯ ตามกระบวนการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนโดยดำเนินการแยกกันคือ 1) ขั้นตอนการลดขนาดของสายไฟ ด้วยการบดสับย่อยสายไฟขนาดเล็ก และ 2) ขั้นตอนการคัดแยกเศษทองแดงจากฉนวนหุ้มสายไฟ พบว่าราคาของผลิตภัณฑ์ทองแดงที่ได้จากการคัดแยกโลหะมีราคารับซื้อตั้งแต่กิโลกรัมละ 110 – 130 บาท ซึ่งคัดแยกการด้วยเครื่องคัดแยกจะทำให้ผลิตภัณฑ์ทองแดงที่ได้สามารถขายได้ในราคาที่สูงที่สุด ในส่วนของต้นทุนคงที่ในด้านของค่าสถานที่หรือค่าเครื่องคัดแยกทองแดง ยังมีค่าการลงทุนคงที่ที่น้อยกว่าประโยชน์ที่

ได้รับจากการขายผลิตภัณฑ์ทองแดงหลังการคัดแยกทั้งปี อยู่ประมาณ 3 เท่า ทำให้มั่นใจได้ว่าการจัดการบริหารจัดการต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ดี จะมีความเป็นไปได้ที่การลงทุน และจากการพิจารณาด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่นำมาใช้ ได้แก่ ค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน(B/C) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) มีค่าผลลัพธ์ผ่านเกณฑ์การพิจารณาความคุ้มค่า มีระยะเวลาในการคืนทุน อยู่ที่ 1 ปี 6 เดือน ดังนั้นสรุปได้ว่าลงทุนเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็ก มีความเหมาะสมที่จะผู้ประกอบการจะลงทุนประกอบการ

9.4 ข้อเสนอแนะ

จากศึกษาผลวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์จะพบว่าการคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็กด้วยเครื่องคัดแยกมีความคุ้มค่าที่ผู้ประกอบการจะลงทุนเนื่องจากผลประโยชน์ในรูปของตัวเงินเกิดมากกว่าค่าการลงทุน และมีระยะในการคืนทุนค่อนข้างเร็วที่ 1 ปี 6 เดือน นอกจากนี้หากมองประโยชน์ในด้านของคุณภาพผลิตภัณฑ์ทองแดงหลังการคัดแยก การแยกด้วยเครื่องคัดแยกอาจจะใช้เวลาเข้าการนำไปเผา แต่คุณภาพของทองแดงที่คัดแยกแล้วสะอาดกว่า ขายได้แพงกว่า และที่สำคัญมีปริมาณคงเหลือมากกว่าถึงร้อยละ 10 ของผลิตภัณฑ์คงเหลือเมื่อเทียบกับการเผา ที่ผลิตภัณฑ์ทองแดงหายไปกับเถ้า นอกจากนี้หากพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมการใช้เครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็กยังสามารถช่วยลดจำนวนหรือลดปริมาณการนำสายไฟขนาดเล็กไปเผาเพื่อเอาทองแดง ซึ่งก็จะทำให้มลพิษทางอากาศจากการเผาลดลงด้วย สุขภาพของผู้ประกอบการและผู้อาศัยบริเวณใกล้เคียงก็จะปลอดภัยจากมลพิษที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์จะสรุปว่าการดำเนินมีความคุ้มค่าที่จะทำ แต่ในมุมมองของผู้ประกอบการจะคงมองว่าการใช้เครื่องคัดแยกยังคงดำเนินการคัดแยกได้ช้าเกินไป ผลิตภัณฑ์ทองแดงที่ได้เป็นฝอย แตกต่างจากที่เคยได้จากการเผาที่มีความกังวลว่าจะไม่มีผู้รับซื้อ และเหตุผลที่สำคัญคือการแยกทองแดงจากสายไฟขนาดเล็กยังไม่ใช้กิจกรรมหรือรายได้หลักจากกิจกรรมการคัดแยก ไม่อยากลงทุนซื้อเครื่องคัดแยกทองแดงจากสายไฟเนื่องจากมีวิธีการอื่นที่คัดแยกและได้ผลิตภัณฑ์เหมือนกันไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม จากข้อจำกัดของผู้ประกอบการในพื้นที่เป็นเรื่องจากพฤติกรรมและธรรมเนียมปฏิบัติที่ใช้เวลาในการปรับเปลี่ยน เพื่อที่จะให้ผู้ประกอบการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศที่สามารถลดลงได้หากมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและเพิ่มความรับผิดชอบต่อสังคมจากกิจกรรมของตนเอง ภาครัฐหรือหน่วยงานรับผิดชอบจึงควรมีนโยบาย มาตรฐานและส่งเสริมการให้ความรู้ความเข้าใจต่อการคำนึงถึงความรับผิดชอบต่อสังคมสิ่งแวดล้อมของผู้ประกอบการเหล่านั้นอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 5

ผลผลิต (Output) หรือตัวชี้วัดแต่ละช่วงรายงานความก้าวหน้า

ตารางที่ 5-1 แสดงแผนการดำเนินงานของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า ซึ่งขณะนี้กิจกรรมที่ดำเนินการแล้วเสร็จและได้ผลผลิตมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินงานของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า

กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
1. จัดทำและส่งแผนการดำเนินงานโครงการโดยละเอียด								
2. ศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์	★							
3. ลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลของผู้ประกอบการคัดแยกเศษสายไฟ และปริมาณของเศษสายไฟฟ้า ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์	★	★						
4. การจัดทำเครื่องต้นแบบ (Prototype product) ในระดับผลิตภัณฑ์ทดลอง (Lab scale)								
4.1 การออกแบบกระบวนการตัด								
1) การทดลองออกแบบ ตามหลักการทำงานตัด	★							
2) จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการตัด	★	★						
4.2 การออกแบบกระบวนการบัด								
1) การจัดซื้อวัสดุแกนบดแบบลูกกลิ้ง	★							
2) ดัดแปลง ประกอบโครงเครื่อง	★	★						

ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า (ต่อ)

กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
4.3 การออกแบบกระบวนการแยกทองแดงออกจากฉนวน								
1) จัดทำชุด Blower สำหรับการแยกฝุ่นออกจากฉนวนและทองแดง	★							
2) การจัดทำชุดเครื่องเขย่า (Shaker) สำหรับการแยกทองแดงออกจากฉนวน	★							
4.4 การดัดแปลงและประกอบโครงเครื่องแยกทองแดงออกจากฉนวน	★	★						
4.5 การนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบและแก้ไข		★						
5. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 (Progress report 1)								
6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นำร่อง Pilot scale design								
6.1 การขยายขนาดจากเครื่องต้นแบบในระดับผลิตภัณฑ์ทดลอง เป็นเครื่องต้นแบบระดับผลิตภัณฑ์นำร่อง		★	★					
6.2 การทดสอบและแก้ไขเครื่องต้นแบบ		★	★					
6.3 การนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบภาคสนาม				★	★			
7. จัดทำรายงานการใช้ประโยชน์								
8. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 (Progress report 2)								
9. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้น (Pre-Feasibility study) ในการออกแบบผลิตภัณฑ์						★		

ตารางที่ 5-1 แผนการดำเนินของกิจกรรมในแต่ละเดือนของโครงการวิจัยอุปกรณ์แยกทองแดงออกจากเศษสายไฟฟ้า (ต่อ)

กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
10. การถ่ายทอดองค์ความรู้ให้ประชาชนผู้สนใจทั่วไป						★		
11. ประชาสัมพันธ์ โดยเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ						★		
12. จัดทำร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft final report)								
13. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ (Final report)								

ผลผลิต 1 ดำเนินการส่งมอบเพื่อนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบภาคสนาม

ผลผลิต 2 ดำเนินการทดสอบเครื่องต้นแบบ

ผลผลิต 3 เผยแพร่ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ

บทที่ 6

ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
แผนที่ตั้งไว้	1. จัดทำและส่งแผนการดำเนินงานโครงการโดยละเอียด								
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	2. ศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์	★							
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	3. ลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลของผู้ประกอบการคัดแยกเศษสายไฟ และปริมาณของเศษสายไฟฟ้า ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์	★	★						
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
4. การจัดทำเครื่องต้นแบบ (Prototype product) ในระดับผลิตภัณฑ์ทดลอง (Lab scale)									
4.1 การออกแบบกระบวนการตัด									
แผนที่ตั้งไว้	1) การทดลองออกแบบ ตามหลักการทำงานตัด	★							
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	2) จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการตัด	★	★						
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้ (ต่อ)

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
	4.2 การออกแบบกระบวนการบด								
แผนที่ตั้งไว้	1) การจัดซื้อวัสดุแกนบดแบบลูกกลิ้ง	★							
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน	— —							
แผนที่ตั้งไว้	2) ดัดแปลง ประกอบโครงสร้าง	★	★						
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน	— —	— —						
	4.3 การออกแบบกระบวนการแยกทองแดงออกจากฉนวน								
แผนที่ตั้งไว้	1) จัดทำชุด Blower สำหรับการแยกฝุ่นออกจากฉนวนและทองแดง	★							
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน	— —							
แผนที่ตั้งไว้	2) การจัดทำชุดเครื่องเขย่า (Shaker) สำหรับการแยกทองแดงออกจากฉนวน	★							
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน	— —							
แผนที่ตั้งไว้	4.4 การดัดแปลงและประกอบโครงสร้างแยกทองแดงออกจากฉนวน	★	★						
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน	— —	— —						
แผนที่ตั้งไว้	4.5 การนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบและแก้ไข		★						
ผลการดำเนินงาน	ยกเลิกการดำเนินงาน		— —						

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้ (ต่อ)

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
แผนที่ตั้งไว้	5. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 (Progress report 1)								
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
	6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นำร่อง Pilot scale design								
แผนที่ตั้งไว้	6.1 การขยายขนาดจากเครื่องต้นแบบในระดับผลิตภัณฑ์ทดลอง เป็นเครื่องต้นแบบระดับผลิตภัณฑ์นำร่อง		★	★					
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	6.2 การทดสอบและแก้ไขเครื่องต้นแบบ		★	★					
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	6.3 การนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบภาคสนาม				★	★			
ผลการดำเนินงาน	รอดำเนินการ								
แผนที่ตั้งไว้	7. จัดทำรายงานการใช้ประโยชน์								
ผลการดำเนินงาน	รอดำเนินการ								
แผนที่ตั้งไว้	8. จัดทำรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 (Progress report 2)								
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	9. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้น (Pre-Feasibility study) ในการออกแบบผลิตภัณฑ์						★		
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								

ตารางที่ 6-1 เปรียบเทียบผลการดำเนินงานกับแผนการดำเนินงานที่ตั้งไว้ (ต่อ)

	กิจกรรม / เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
แผนที่ตั้งไว้	10. การถ่ายทอดองค์ความรู้ให้ประชาชน ผู้สนใจทั่วไป						★		
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	11. ประชาสัมพันธ์ โดยเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ของโครงการ						★		
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	12. จัดทำร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft final report)								
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								
แผนที่ตั้งไว้	13. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ (Final report)								
ผลการดำเนินงาน	แล้วเสร็จตามแผนงาน								

หมายเหตุ ★ คือ แผนที่ตั้งไว้

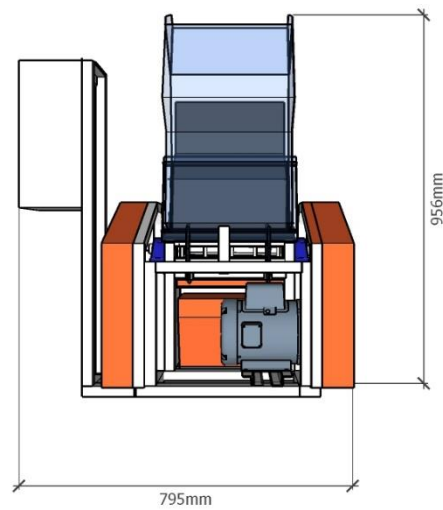
 คือ ผลการดำเนินงานที่ทำแล้วเสร็จ คือ ยกเลิกการดำเนินงาน

โดยในบางกิจกรรมได้ทำการยกเลิกได้แก่ หัวข้อที่ 4.2 การออกแบบกระบวนการบด ในระดับห้องปฏิบัติการ หรือในระดับผลิตภัณฑ์ทดลอง (Lab scale) เนื่องจากได้ออกแบบเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้าแบบใช้ใบมีดหมุนให้เกิดการขบตัด และบดในเครื่องเดียวกัน สำหรับหัวข้อ 4.3 การออกแบบกระบวนการแยกทองแดงออกจากฉนวน หัวข้อ 4.4 การดัดแปลงและประกอบโครงเครื่องแยกทองแดงออกจากฉนวน และหัวข้อ 4.5 การนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบและแก้ไขเครื่องแยกทองแดงในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ยกเลิกการดำเนินการเนื่องจากสามารถดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกทองแดงในระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale) ได้โดยไม่ต้องสร้างเครื่องในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

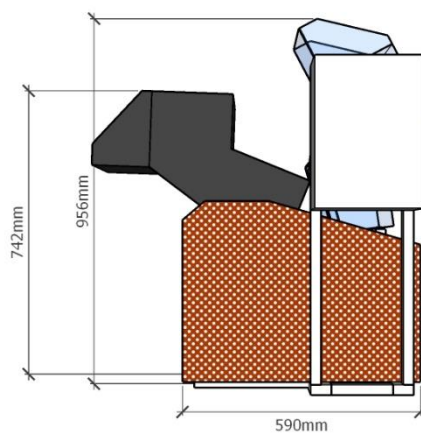
ภาคผนวก ก

แบบการสร้างเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

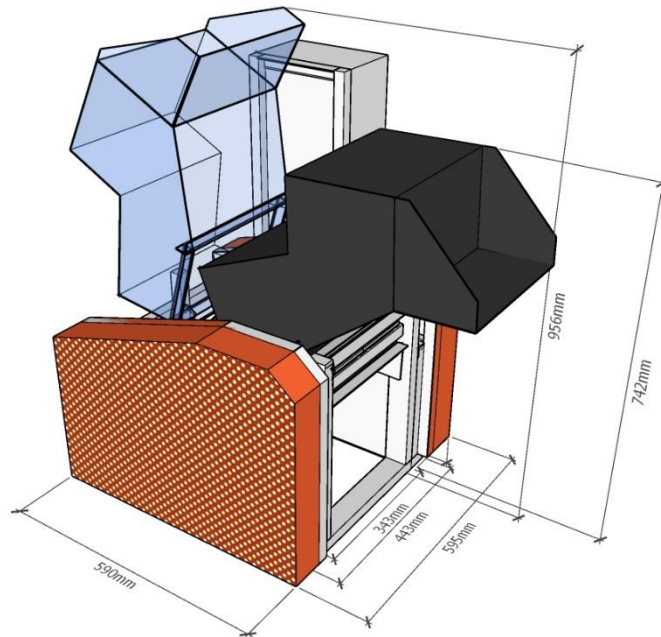
- Front view



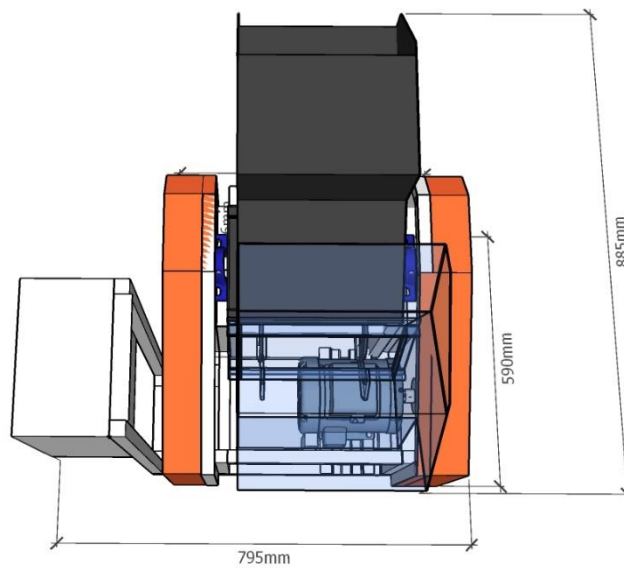
- Side view



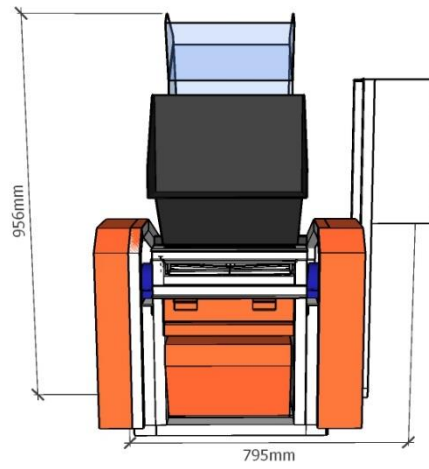
- Overall view



- Top view



- Back view



ภาคผนวก ข

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ สำหรับเครื่องย่อยเศษสายไฟฟ้า
ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

Motor power requirement calculation

- Physical Property of copper:

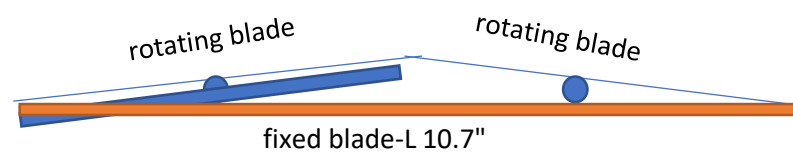
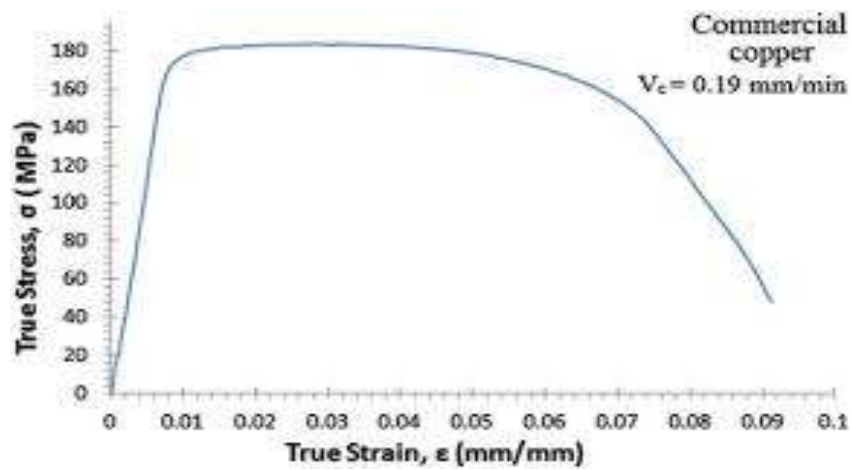
Density	8.93	g/cm ³
Tensile strength	180	Mpa (26,100 psi)
Yield strength	40	Mpa (40-80) (5800 psi)

- Assumption:

- Shear is calculated from a rule of thumb percentage of the yield strength (80% yield strength)
- Shear Stress = F/A . (4,640 psi)
- A = Area is found by the cross section area of the material to be cut that the shredder blade contacts.
- Copper wire cross section 1.50 sq.mm
- A= (assume both sides of blade cut at same time) 0.0047 sq.inch
- F= 21.6 lb
- Motor Torque = $F \cdot D$
- D = Radius distance (at blade tip) 3 inch (Rotor diameter =6")
- Motor Torque = 64.7 lb-inch
- Motor power (Hp) = $\text{Torque (lb-inch)} \cdot \text{rpm} / 63025$

- Determine Rotor speed

- Motor speed 1,400 rpm
- Drive pulley 3 inch
- Driven pulley 5 inch
- Rotor speed 840 rpm
- Motor power 0.86 Hp
- Safety factor 10% = 0.96 Hp
- Therefore, Select motor = 1 Hp



Formula

$$\text{Horsepower} = \frac{\text{Torque}_{\text{in-lb}} \times \text{Speed in RPM}}{63,025}$$

$$\text{Horsepower} = \frac{\text{Torque}_{\text{ft-lb}} \times \text{Speed in RPM}}{5,252}$$

$$\text{Horsepower} = \frac{\text{Torque}_{\text{Nm}} \times \text{Speed in RPM}}{9,550}$$

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาค่าความเร็วอากาศต่ำสุด สำหรับเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table)

Air velocity calculation

$$u_{mf} = \left(\frac{\mu}{d_p \cdot \rho_g} \right) \cdot \left\{ \left[823.69 + 0.0494 \left(\frac{d_p^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} - 28.7 \right\}$$

NOMENCLATURE

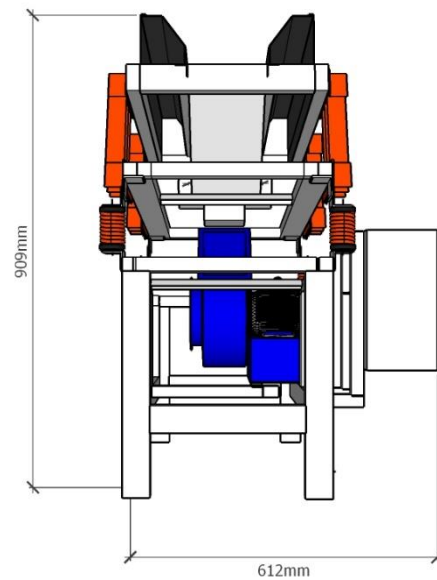
- d_p = diameter of particle based on screen analysis [m]
 d_p^* = a measure of particle size [dimensionless]
 E = total efficiency of separation [%]
 g = acceleration due to gravity [m/s^2]; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 u_{mf} = superficial velocity of air at minimum fluidizing conditions [m/s]
 u_t = terminal velocity of the particle [m/s]
 u_t^* = a measure of terminal velocity [dimensionless]
 μ = absolute viscosity of air [Pa s]; $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$
 ρ_g = density of air [kg/m^3]; $\rho_g = 1.29 \text{ kg/m}^3$
 ρ_{PP} = density of PP flake [kg/m^3]
 ρ_{PVC} = density of PVC flake [kg/m^3]
 ρ_s = density of particle [kg/m^3]
 ϕ_s = sphericity of particle [dimensionless]

Air density	1.29	kg/m ³
pvc density	1370	kg/m ³
u absolute viscosity of air	0.000018	PaS
dimeter of pvc flake	0.003	m
g	9.8	m/s
pPVC-pAir	1368.71	kg/m ³
dp ³	0.000000027	
u ²	3.24E-10	
()	1441935.985	
0.0494()+823.69	72055.32766	
SQRT	239.7312345	
umf	1.12	m/s
blower cap	830	m ³ /hr
duct size	6	inch
area	0.018241469	m ²
Open area	0.075	m ²
v duct	45500.72	
	12.64	m/s
v surface	3.07	m/s

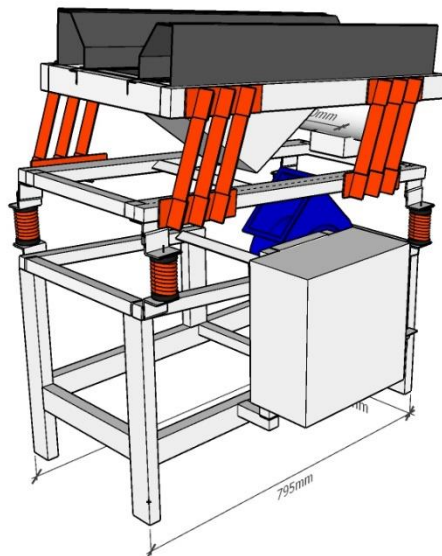
ภาคผนวก ง

แบบการสร้างเครื่องคัดแยกทองแดง (Air table) ระดับเครื่องต้นแบบ (Pilot scale)

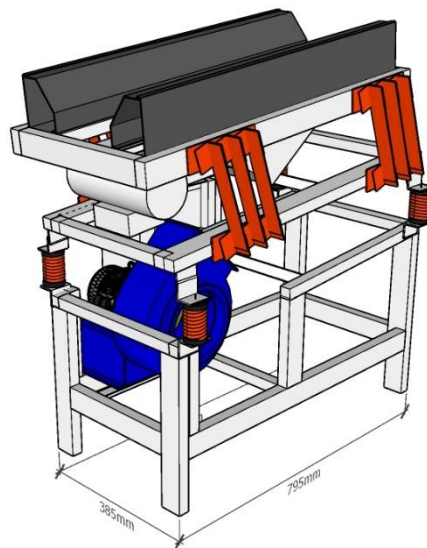
- Back view



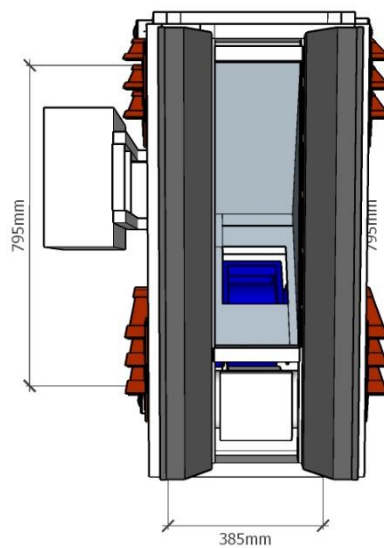
- Side view



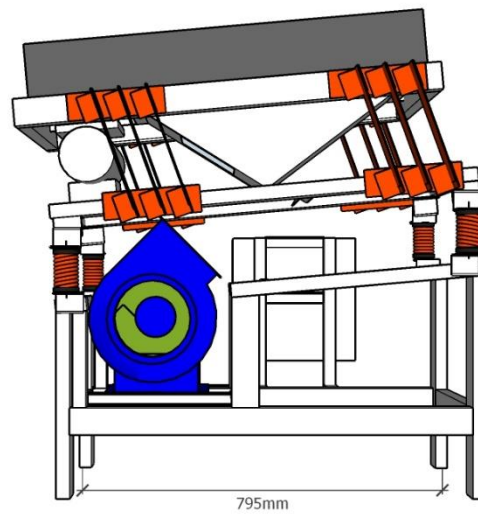
- Front view



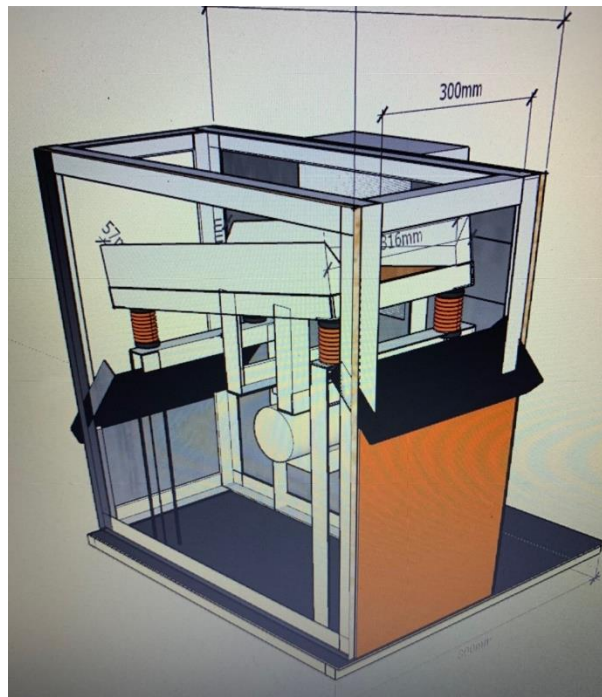
- Top view

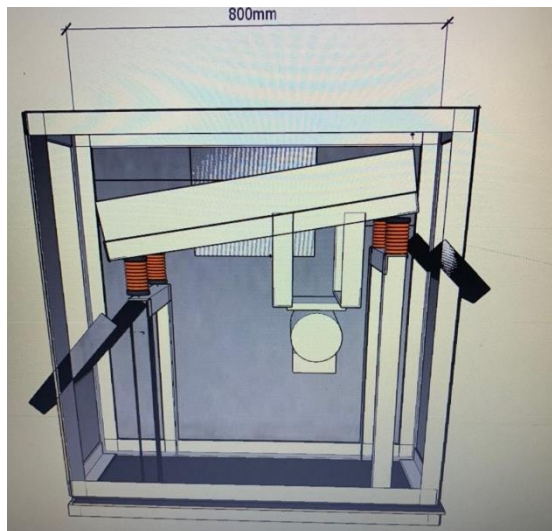
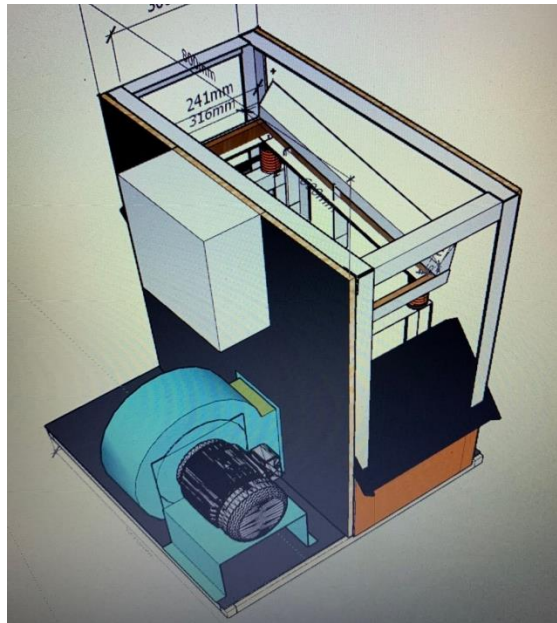


- Side view



- เครื่องคัดแยกทองแดงที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงแล้ว





ภาคผนวก จ

รายละเอียดการคำนวณการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

	รายการปีที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	ด้านผลประโยชน์											
	1.1 ขยายผลิตภัณฑ์โลหะทองแดง	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	312,000.00	
	1.2 เศษขบวนการใหม่หรือพลาสติก	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	
	รวม	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	326,400.00	
2	ด้านต้นทุน											
	2.1 ต้นทุนคงที่											
	(1) พื้นที่และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ											
	(2) เครื่องจักร และ อุปกรณ์											
	เครื่องบดย่อย											
	เครื่องคัดแยก											
	(3) ค่าติดตั้งและอุปกรณ์ติดตั้งต่างๆ											
	รวม											
	2.2 ต้นทุนดำเนินการ											
	(1) วัตถุดิบ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	เศษสายไฟฟ้าขนาดเล็ก	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	144,000.00	
	(2) ค่าพลังงาน(+1.5%)	14,483.55	14,700.80	14,921.31	15,145.13	15,372.31	15,602.90	15,836.94	16,074.49	16,315.61	16,560.35	
	(3) แรงงาน(+3%)	96,761.98	99,664.84	102,654.78	105,734.43	108,906.46	112,173.65	115,538.86	119,005.03	122,575.18	126,252.44	
	(4) ค่าอุปกรณ์	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	
	(5) ค่าซ่อมบำรุง	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00	
	รวม	277,245.53	280,365.64	283,576.10	286,879.56	290,278.77	293,776.55	297,375.80	301,079.52	304,890.79	308,812.78	
	อัตราคิดลด(i=0.08) #(6.5+1.5)%	0.43	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	
	ผลตอบแทนสุทธิ(PVB)	139,987.37	129,617.93	120,016.60	111,126.48	102,894.89	95,273.05	88,215.79	81,681.28	75,630.82	70,028.53	3,204,643.31
	ต้นทุนสุทธิ(PVC)	118,905.86	111,337.05	104,270.34	97,671.31	91,507.97	85,750.57	80,371.45	75,344.86	70,646.87	66,255.23	2,748,334.11
	ค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV)	21,081.51	18,280.88	15,746.26	13,455.17	11,386.92	9,522.47	7,844.34	6,336.42	4,983.94	3,773.31	456,309.20
	ค่าผลตอบแทนต่อต้นทุน(B/C)	1.18	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11	1.10	1.08	1.07	1.06	1.17
	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)											60%
	ระยะการคืนทุน (Pay B)	364,979.49	383,260.37	399,006.63	412,461.80	423,848.72	433,371.19	441,215.53	447,551.95	452,535.90	456,309.20	