



การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่น
แบบไซโคลน

โดย

พงศธร อารมณ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2566

DESIGN OF DUST COLLECTOR FOR ANGLE GRINDER VIA CYCLONE
SYSTEM

BY

PONGSATHON AROM



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN
ENGINEERING MANAGEMENT

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2023

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

พงศธร อารมณ

เรื่อง

การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2566

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนทลี ศาสนนันท์)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

ล็กขณา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ฤกษ์เกษม)

คณบดี

(ศาสตราจารย์ ดร.สัญญา มิตรเอม)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบ ดักจับฝุ่นแบบไซโคลน
ชื่อผู้เขียน	พงศธร อารมณ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล ศาสนนันท์
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสถานการณ์การประสบอันตราย หรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การลดการประสบอันตรายจากการทำงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยฉบับนี้เป็นการออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์ที่ช่วยลดผลกระทบมลภาวะทางอากาศจากการใช้งานหินเจียรมือไฟฟ้า โดยใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone dust collector) และ เทคนิคการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco design) มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ จากนั้นทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบโดยทดลองกรองอนุภาคผงเหล็กขนาด 300 ไมครอนที่ความเร็วลมทางเข้าไซโคลน คือ 11.4, 22.8 และ 34.2 เมตร/นาที่ และเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยการคำนวณประสิทธิภาพการเก็บกักรวม

จากการทดลองพบว่า ที่ความเร็วลมทางเข้าไซโคลน 11.4, 22.8, และ 34.2 เมตร/นาที่ ให้ผลการกรองอนุภาคผงเหล็กเท่ากับ 98.5, 98.7 และ 98.9 เปอร์เซ็นต์และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับการคำนวณเท่ากับ 1.57, 1.31 และ 1.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ในการทำชิ้นงานต้นแบบสามารถรีไซเคิลได้ 100 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น, ไซโคลน, การออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม, หินเจียรมือ

Independent Study Title	DESIGN OF DUST COLLECTOR FOR ANGLE GRINDER VIA CYCLONE SYSTEM
Author	Pongsathon Arom
Degree	Master of Engineering
Major Field/Faculty/University	Engineering Management Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Associate Professor Dr.Montalee Sasananan
Academic Years	2023

ABSTRACT

At present, occupational injury and sickness is increasingly found in industrial workplace so it becomes an important issue to reduce injury from work. This research aims to design and develop a dust collector device for reducing air pollution from angle grinder by using the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), cyclone dust collector, and eco design concepts. The efficiency of prototype was measured by experimenting with filtering iron powder smaller than 300 microns at different wind speed (cyclone inlet of 11.4, 22.8, and 34.2 m/s), and calculated overall cyclone efficiency in order to compare filter efficiency.

The experiment revealed that wind speed of 11.4, 22.8 and 34.2 m/s had resulted in cyclone filter efficiency of 98.5, 98.7 and 98.9%, respectively. In comparison to theoretical calculation, it was found that the percentage error was 1.57, 1.31 and 1.08%, respectively. The materials for making prototype are 100% recyclable.

Keywords: TRIZ, Cyclone, Eco design, Angle grinder

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล ศาสนนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำค้นคว้าอิสระครั้งนี้เป็นอย่างสูง ที่สละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษา แนะนำ และให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุฑตามระ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ฤกษ์เกษม ที่ให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำในการปรับปรุงงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษา และคุณชมพูนุช พิกุล เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่คอยดูแลประสานงานด้านต่าง ๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านในครั้งนี้เป็นอย่างสูงไว้ในโอกาสนี้

พงศธร อารมณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 นวัตกรรม	5
2.1.1 ประเภทของนวัตกรรม	5
2.1.2 รูปแบบของนวัตกรรม	5
2.2 แนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	6

2.2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA : Life Cycle Assessment)	7
2.2.2 การเลือกใช้วัสดุ	8
2.3 ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)	9
2.3.1 ความหมายและความเป็นมาของ TRIZ	9
2.3.2 เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ของ TRIZ	10
2.4 ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน	14
2.4.1 หลักการทำงานของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน	14
2.4.2 ส่วนประกอบของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน	15
2.4.3 ประเภทของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน	16
2.4.4 ปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน	17
2.4.5 การหาประสิทธิภาพของไซโคลน	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	23
3.1 รวบรวมข้อมูลฝุ่นหลักจากการผลิตของแผ่นกึ่งนำสาร	23
3.1.1 ขนาดอนุภาคของฝุ่นหลักจากการเกิดผิวชิ้นงานในโรงงาน กรณีศึกษา	23
3.2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)	24
3.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิค	24
3.2.2 ระบุความขัดแย้งทางเทคนิค	25
3.3 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ	26
3.3.1 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับให้แรงดูด	27
3.4 การเลือกวัสดุ	30
3.4.1 การกำหนดความต้องการในการออกแบบ	30
3.4.2 แปลความหมายความต้องการในการออกแบบ	31
3.4.3 การคัดกรองจากข้อจำกัด	31
3.4.4 การจัดอันดับวัสดุโดยใช้คุณสมบัติวัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์	35
3.5 จัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน ต้นแบบ	33
3.5.1 ส่วนสร้างลมดูด และชุดอุปกรณ์ควบคุม	33

3.5.2 อุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นเหล็กสำหรับหินเจียมือ	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของลม	38
4.1.1 ความเร็วลม	39
4.1.1 อัตราการไหลของลม	39
4.2 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค	40
4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง	40
4.2.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาค	42
4.3 การอภิปรายผล	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการวิจัย	44
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	44
5.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม	44
5.3.1 อุปกรณ์ให้สร้างลมดูดและไซโคลน	45
5.3.2 อุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียมือ	45
5.3.3 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม	45
5.4 ปัญหาและอุปสรรค	45
รายการอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง	50
ภาคผนวก ข แบบโครงสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ	51
ภาคผนวก ค ลายวงจรบอร์ดควบคุมเสริมและโปรแกรมควบคุมการทำงาน	58
ประวัติผู้เขียน	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	6
2.1 หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้นและคำอธิบาย	11
2.2 39 สมบัติที่มักจะทำให้เกิดความขัดแย้ง	12
3.1 นำหน้าอนุภาคจากการตัดแยกด้วยชุดตะแกรงทดสอบ	24
3.2 หลักการเสนอแนะระหว่าง ปัจจัยอันตราย/ความซับซ้อนของอุปกรณ์	26
3.3 หลักการเสนอแนะระหว่างพื้นที่ของวัตถุ ซึ่งอยู่หนึ่งกับที่/ความยาวของวัตถุ ซึ่งอยู่หนึ่งกับที่	26
3.4 การคัดกรองวัสดุจากข้อจำกัดในการออกแบบและคุณสมบัติของวัสดุ	31
4.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาค	42
4.2 รายการวัสดุในการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ	43

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภูมิจำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุในโรงงาน	2
1.2 แผนภูมิเครื่องจักรหยุดชะงักแผนกเชื่อมโลหะ	2
2.1 วัฏจักรชีวิต 5 ชั้น	7
2.2 แผนการ 4 ขั้นตอนการเลือกวัสดุ	8
2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุแบบได้อย่างเสียอย่าง	10
2.4 แบบจำลองสสาร-สนาม	13
2.5 ระบบจำลอง สสารสนาม 4 รูปแบบพื้นฐาน	14
2.6 รูปแบบการไหลในระบบไฮดรอลิก	15
2.7 ส่วนประกอบของไฮดรอลิก	15
2.8 การออกแบบไฮดรอลิกแบบต่าง ๆ	16
3.1 ตัวอย่างฝุ่นเหล็กในแผนกเชื่อมโลหะ	23
3.2 ชุดตะแกรงทดสอบ 0.3, 0.6 และ 0.9 มิลลิเมตร	23
3.3 แบบจำลองสสาร-สนามของฟังก์ชันการทำงานของระบบ	25
3.4 การออกแบบส่วนสร้างแรงลมดูด	27
3.5 การออกแบบไฮดรอลิกและถังเก็บฝุ่น	29
3.6 ภาพประกอบ 3 มิติและภาพตัดขวางของอุปกรณ์ให้แรงลมดูด	29
3.7 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กด้านข้างและภาพตัดขวาง	30
3.8 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กมุมมองด้านล่าง	30
3.9 ความต้องการในการออกแบบ	31
3.10 การจัดอันดับโดยใช้วัตถุประสงค์เป็นเกณฑ์ (กลุ่มโลหะ)	32
3.11 การจัดอันดับโดยใช้วัตถุประสงค์เป็นเกณฑ์ (กลุ่มพลาสติก)	33
3.12 การปรับปรุงส่วนสร้างแรงลมดูด	34
3.13 ชิ้นงานต้นแบบส่วนสร้างแรงลมดูด	34
3.14 ผังการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต้นแบบ	35
3.15 อุปกรณ์ควบคุมต้นแบบ	35
3.16 ไฮดรอลิกและถังเก็บฝุ่นต้นแบบ	36
3.17 อุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กจากหินเจียรมือต้นแบบ	37

4.1 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-48SD	38
4.2 ผลการวัดความเร็วลม	39
4.3 ผลการวัดอัตราการไหลของลม	40
4.4 ฟังดำเนินงานการทดลองอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ	41
4.5 กราฟการเปรียบเทียบการคำนวณประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคและผล ผลการทดลอง	42



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
a	ความสูงช่องทางเข้าอากาศ
b	ความกว้างทางเข้าอากาศ
$d_{p,c}$	ขนาดตัดอนุภาค
d_{pi}	ขนาดของอนุภาค
h_b	ความสูงทรงกระบอกของไซโคลน
h_c	ความสูงกรวยของไซโคลน
n_i	ประสิทธิภาพการเก็บกักย่อยของอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง l
B	เส้นผ่านศูนย์กลางกรวยทางออก
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้าอากาศ
H	ความสูงรวมของไซโคลน
H_V	จำนวน inlet velocityhead
K	ค่าคงที่เท่ากับ 16 สำหรับไซโคลนที่มีท่อทางเข้าตามแนวสัมผัส
N_e	จำนวนรอบกระแสวน
S	ความสูงช่องทางออกของอากาศ
V_i	ความเร็วของอากาศเข้าสู่ไซโคลน
W	ความกว้างช่องทางเข้า
μ	ความหนืดอากาศ
ρ_p	ความหนาแน่นอนุภาค
ρ_a	ความหนาแน่นอากาศ
ΔP	ความดันลด

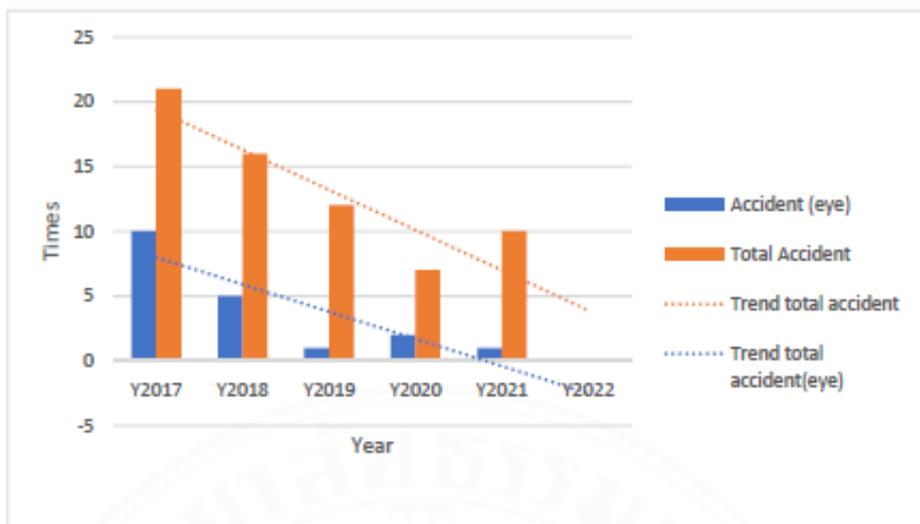
บทที่ 1

บทนำ

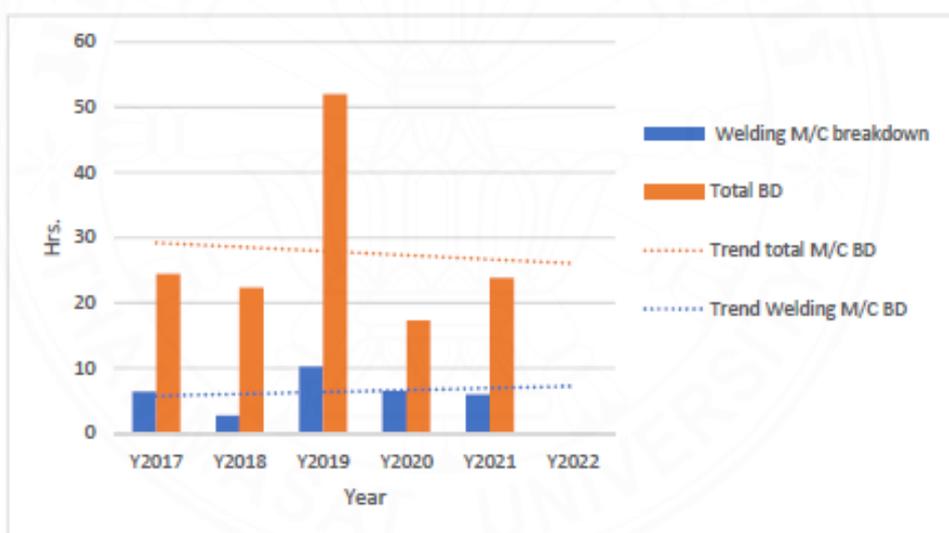
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลของ สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคมกระทรวงแรงงาน ส่วนที่ 4 สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วย เนื่องจากการทำงาน ปี พ.ศ. 2559 - 2563 พบว่า สาเหตุที่ลูกจ้างประสบอันตรายจากการทำงานหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานสูงสุด 5 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2559 - 2563 คือ (1) วัตถุหรือสิ่งของตัด/บาด/ทิ่มแทง เป็นสาเหตุหลักของการประสบอันตรายโดยเฉลี่ย 5 ปี มีลูกจ้างประสบอันตรายจำนวน 106,668 ราย คิดเป็นร้อยละ 24.11 ต่อปี ของจำนวนการประสบอันตรายทั้งหมด (2) วัตถุหรือสิ่งของพังทลาย/หล่นทับ มีลูกจ้างประสบอันตราย จำนวน 71,130 ราย คิดเป็นร้อยละ 16.07 ต่อปี (3) วัตถุหรือหรือสิ่งของกระแทก/ชน มีลูกจ้างประสบอันตราย จำนวน 60,779 ราย คิดเป็นร้อยละ 13.74 ต่อปี (4) วัตถุหรือสิ่งของหรือสารเคมีกระเด็นเข้าตา มีลูกจ้างประสบอันตราย จำนวน 51,142 รายคิดเป็นร้อยละ 11.56 ต่อปี และ (5) วัตถุหรือสิ่งของ หนีบ/ดิ่ง มีลูกจ้างประสบอันตราย จำนวน 35,633 รายคิดเป็นร้อยละ 8.05 ต่อปี

ปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษาี้คือลูกจ้างประสบอันตรายจาก วัตถุหรือสิ่งของเข้าตาเนื่องจากการทำงานร่วมกับอุปกรณ์หินเจียรมือที่ใช้ในการขัดชิ้นงานก่อนการเชื่อมชิ้นงานโลหะ และขัดเก็บแนวเชื่อมทำให้เกิดฝุ่นเหล็กลอยในอากาศ จากสถิติลูกจ้างประสบอันตรายจากหัวข้อดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 27.36 ของอันตรายทั้งหมดในระยะเวลา 5 ปีดังแสดงในภาพที่ 1.1 อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อเครื่องจักรในการผลิตโดยทำให้เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้าในอุปกรณ์ควบคุมเนื่องจากฝุ่นเหล็กในอากาศเกาะตัวกันบนอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าโดยมีฝุ่นเหล็กเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 22.65 ในระยะเวลา 5 ปี ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ของส่วนงานเชื่อมโลหะ



ภาพที่ 1.1 แผนภูมิจำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุในโรงงาน



ภาพที่ 1.2 แผนภูมิชั่วโมงเครื่องจักรหยุดชะงักแผนกเชื่อมโลหะ

จากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้นทั้งในเรื่องลูกจ้างประสบอันตรายจากสภาพแวดล้อมในการทำงานและผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักร งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือโดยใช้หลักการกรองอากาศแบบระบบไซโคลน และออกแบบชิ้นงานตามหลักการของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) และแนวทางการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Eco design)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ
- 1.2.2 เพื่อจัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือประสิทธิภาพการกรองอนุภาคสูง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถรองรับการใช้งานร่วมกับเครื่องเจียร์มือที่ใช้ภายในโรงงานได้
- 1.3.2 อุปกรณ์สามารถกรองฝุ่นในอากาศได้น้อยกว่า 500 ไมครอน
- 1.3.3 อุปกรณ์ดูดฝุ่นจากหินเจียร์มือมีอัตราการไหลผ่านของลมมากกว่า 30 ลิตร/นาที
- 1.3.4 อุปกรณ์ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์
- 1.3.5 อุปกรณ์มีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตามน้ำหนักอนุภาคที่ใช้ทดสอบ

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 รวบรวมข้อมูลปัญหาฝุ่นเหล็กในแผนกเชื่อมโลหะ
- 1.4.2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)
- 1.4.3 ออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นและแนวทางการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม
- 1.4.4 จัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ (ต้นแบบ)
- 1.4.5 ทดสอบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ (ต้นแบบ) สามารถกรองฝุ่นเหล็กได้น้อยกว่า 500 ไมครอน/แรงลมผ่านมากกว่า 30 ลิตร/นาที และมีประสิทธิภาพการกรองมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ตามจำนวนน้ำหนักอนุภาคที่ใช้ทดสอบ
- 1.4.6 ปรับปรุงอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ
- 1.4.7 เรียบเรียงผลการศึกษา

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการวิจัยจะกำหนดไว้ภายในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย									
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. รวบรวมข้อมูลปัญหาฝุ่นเหล็กในแผนกเชื่อมโลหะ										
2. วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)										
3. ออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นและแนวทางการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (eco design)										
4. จัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ (ต้นแบบ)										
5. ทดสอบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ (ต้นแบบ) สามารถกรองฝุ่นเหล็กได้ไม่น้อยกว่า 50 ไมครอน/แรงลมผ่านมากกว่า 30 ลิตร/นาที										
6. ปรับปรุงอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ										
7. เรียบเรียงผลการศึกษา										

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ลดอุบัติเหตุจากละอองฝุ่นเหล็กเข้าตาผู้ปฏิบัติงาน
- 1.6.2 ลดความเสี่ยงจากการเจ็บป่วยจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน
- 1.6.3 ป้องกันการเกิดอัคคีภัยจากการลัดวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง
- 1.6.4 ลดเครื่องจักรหยุดชะงักจากการลัดวงจรทางไฟฟ้าโดยมีฝุ่นเหล็กเป็นตัวนำ
- 1.6.5 ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นวัตกรรม

2.1.1 ประเภทของนวัตกรรม

นวัตกรรมสามารถแยกประเภทของนวัตกรรมออกเป็น 4 ประเภท ตามการจำแนกของ Rebecca M.Handerson และ Kim B.Clark (1990) ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 นวัตกรรมปฏิรูป (Radical Innovation)

นวัตกรรมปฏิรูป คือ นวัตกรรมที่เกิดขึ้นใหม่ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมอย่างสิ้นเชิง ซึ่งนวัตกรรมปฏิรูปเป็นนวัตกรรมที่มากกว่าการนำสิ่งของที่มีอยู่มาปรับปรุงแก้ไขหรือพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นแต่คือสิ่งที่เกิดจากการคิดค้นขึ้นมาใหม่ทั้งหมด

2.1.1.2 นวัตกรรมส่วนเพิ่ม (Incremental Innovation)

นวัตกรรมส่วนเพิ่ม คือ การปรับปรุงพัฒนาสิ่งที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพหรือคุณภาพเพิ่มมากขึ้นโดยปรับปรุงองค์ประกอบหรือส่วนประกอบหรือปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ ของสิ่งที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

2.1.1.3 นวัตกรรมลำดับชั้น (Modular Innovation)

นวัตกรรมลำดับชั้น คือ การใช้องค์ประกอบหรือส่วนประกอบที่มีความทันสมัยและมีเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าเพื่อเชื่อมโยงกับการทำงานของส่วนประกอบเดิมของสิ่งของที่มีอยู่ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานเดิมของสิ่งของที่ทำการปรับปรุง

2.1.1.4 นวัตกรรมเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (Architectural Innovation)

นวัตกรรมเปลี่ยนแปลงรูปแบบ คือ นวัตกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงรูปแบบใหม่แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและส่วนประกอบเดิมของผลิตภัณฑ์

2.1.2 รูปแบบของนวัตกรรม

ตามการจำแนกรูปแบบของนวัตกรรมจาก สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (2553) ได้ทำการจำแนกรูปแบบของนวัตกรรมออกเป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

2.1.2.1 นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Innovation)

นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตขึ้นในเชิงพาณิชย์โดยอาจจะมีการปรับปรุงพัฒนาตัวผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นหรือเป็นสิ่งใหม่ในตลาด

2.1.2.2 นวัตกรรมกระบวนการ (Process Innovation)

นวัตกรรมกระบวนการ คือ การปรับเปลี่ยนทางกระบวนการหรือวิธีการในรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากเดิม ซึ่งสามารถแบ่งนวัตกรรมกระบวนการออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) **นวัตกรรมด้านกระบวนการทางเทคโนโลยี (Technological Process Innovation)** คือ การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นโดยการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

(2) **นวัตกรรมองค์กร (Organization Process Innovation)** คือ องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ที่สั่งสมมาขององค์กรเกิดเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กรให้สูงขึ้น

2.1.2.3 นวัตกรรมบริการ (Service Innovation)

นวัตกรรมบริการ คือ นวัตกรรมที่ช่วยให้องค์กรสามารถเข้าถึงข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้บริการหรือผลิตภัณฑ์ และนำข้อมูลมาช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของตลาดในปัจจุบัน

2.2 แนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco Design)

แนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco design) เป็นแนวทางในการออกแบบที่คำนึงถึงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยแนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะเป็นกรอบแนวทางปฏิบัติให้นักพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์ เช่น การเลือกชนิดหรือประเภทของวัสดุที่จะนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบให้มีความเหมาะสมทั้งด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานของตัวผลิตภัณฑ์มาเป็นวัสดุในการผลิต ลดการใช้วัสดุที่เป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อมในการออกแบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการที่ทำให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการพื้นฐานดังนี้

2.2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA : Life Cycle Assessment)

คือ การประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์และกระบวนการในด้านการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีมุมมองต่อผลิตภัณฑ์เปรียบเสมือนสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์

2.2.1.1 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เบื้องต้น คือ การประเมินที่พิจารณาตลอดวงจรหรือวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่สนใจซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 วัฏจักรชีวิต 5 ขั้น ที่มา:หาญพล, 2559, หน้า 8

(1) การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw material acquisition) ขั้นตอนนี้จะรวมตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ จากการแปรสภาพวัสดุในธรรมชาติให้กลายเป็นวัตถุดิบที่ต้องการในการผลิต

(2) กระบวนการผลิต (Manufacturing) ขั้นตอนกระบวนการผลิตเป็นการนำวัตถุดิบที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการแปรสภาพจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและส่งต่อไปให้ผู้บริโภค รวมถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์

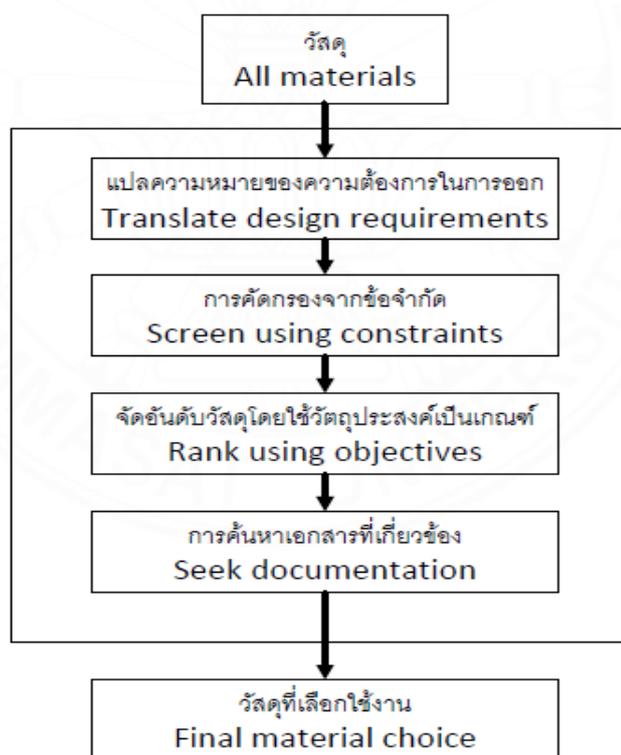
(3) การขนส่ง (Transportation or Distribution) เป็นขั้นตอนที่ขนส่งสินค้าไปยังผู้บริโภคซึ่งรวมซึ่งมุ่งเน้นไปที่พลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการระหว่างจัดส่งสินค้า

(4) การใช้งาน (Use) เป็นขั้นตอนที่ผู้บริโภคนำสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาในขั้นตอนก่อนหน้าไปใช้งานโดยพิจารณาด้าน วัสดุ พลังงาน และมลพิษที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานผลิตภัณฑ์

(5) การจัดการซาก (Disposal or End of life) เป็นขั้นตอนที่ผลิตภัณฑ์ผ่านการใช้งานจากขั้นตอนก่อนหน้าและหมดอายุการใช้งาน ซึ่งต้องนำไปสู่กระบวนการกำจัดโดยจะนับตั้งแต่ การขนส่งผลิตภัณฑ์ไปกำจัด กระบวนการตัดแยก การแยกชิ้นส่วนเพื่อนำไปรีไซเคิล การเผาหรือการฝังกลบ เป็นต้น

2.2.2 การเลือกวัสดุ (Materials Selection)

คือ หลักการเลือกวัสดุที่เหมาะสมระหว่างความต้องการในการออกแบบผลิตภัณฑ์ และวัสดุที่ใช้ในการผลิตขึ้นมาซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนแผนการเลือกวัสดุให้เหมาะสมในการใช้งานดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนการ 4 ขั้นตอนในการเลือกวัสดุ ที่มา : Ashby, M.F.2013, หน้า 232

2.2.2.1 แปลความหมายของความต้องการในการออกแบบ คือ การระบุถึงหน้าที่ในการทำงาน ข้อจำกัด วัตถุประสงค์ ของตัวผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดความชัดเจนถึงข้อจำกัดของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตโดยเป็นไปตามความต้องการของการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.2.2.2 การคัดกรองจากข้อจำกัด คือ การกำหนดข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการในการใช้งานและคัดกรองวัสดุที่ไม่สามารถทำตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ ออกจากการตัดสินใจเลือกวัสดุ

2.2.2.3 จัดอันดับวัสดุโดยใช้วัตถุประสงค์เป็นเกณฑ์ คือ การเลือกวัสดุที่ผ่านการคัดกรองจาก การคัดกรองจากข้อจำกัด มาทำการจัดอันดับวัสดุที่สามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดโดยจะต้องมีเกณฑ์การจัดอันดับวัสดุที่แน่นอน

2.2.2.4 การค้นหาเอกสารที่เกี่ยวข้อง คือ การค้นหาเอกสารที่เกี่ยวข้องที่แสดงถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุถึงความเหมาะสมในการใช้งานโดยจะค้นหาวัสดุที่ถูกจัดอันดับต้นๆ ของการจัดอันดับเพื่อทำการตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสม

2.3 ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)

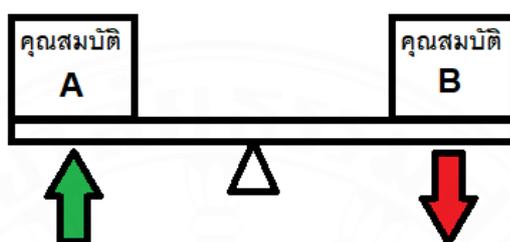
2.3.1 ความหมายและความเป็นมาของ TRIZ

TRIZ ย่อมาจาก Theory of Inventive Problem Solving หรือทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น ถูกคิดค้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดย วิศวกรชาวรัสเซีย ชื่อ เคนริค อัลต์ชูลเลอร์ ได้ทำการค้นคว้าและวิเคราะห์สิทธิบัตรมากกว่า 2 ล้านฉบับในปี ค.ศ. 1946 ในขณะนั้นมีมติความเชื่อที่ว่า นวัตกรรมที่เกิดขึ้นต่างมีจุดเชื่อมโยงในการคิดแก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน ในปี ค.ศ. 1956 บทความชิ้นแรกของอัลต์ชูลเลอร์ และ ซาฟิโร เรื่อง “จิตวิทยาของความคิดสร้างสรรค์ในเชิงประดิษฐ์คิดค้น” ได้ถูกตีพิมพ์ในวารสารทางจิตวิทยา ต่อมาในเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 1968 TRIZ ได้ถูกจัดสัมมนาขึ้นเป็นครั้งแรกเรื่องวิธีวิทยาในเชิงประดิษฐ์คิดค้นที่เมืองซินทารี ในสาธารณรัฐจอร์เจียจากการค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลของสิทธิบัตรของอัลต์ชูลเลอร์และลูกศิษย์ทำให้สามารถสร้างทฤษฎีและเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังต่อไปนี้

2.3.2 เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ของ TRIZ

2.3.2.1 ความขัดแย้งเชิงเทคนิคกับหลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น

ความขัดแย้งทางเทคนิค คือ เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสิ่งหนึ่งให้ดีขึ้นแต่อาจจะลดทอนทำให้คุณสมบัติของอีกสิ่งหนึ่งลดน้อยลง กล่าวคือ เมื่อต้องการปรับปรุงให้ได้สิ่งหนึ่งมาอาจจะเสียคุณสมบัติอีกสิ่งหนึ่งไปดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของวัตถุแบบได้อย่างเสียอย่าง ที่มา : ไตรสิทธิ์, 2552, หน้า 29

โดยแนวคิดของ TRIZ จะไม่ใช้การแก้ปัญหาเชิงเทคนิคแบบได้อย่างเสียอย่างแต่จะแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้นให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติที่ต้องการโดยไม่ลดทอนคุณสมบัติทั้งสองสิ่งให้น้อยลงผ่านกรอบแนวคิดดังต่อไปนี้

(1) หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น เป็นการรวบรวมแนวคิดในการแก้ปัญหาของสิทธิบัตรที่ อัลซูเลอร์และลูกศิษย์ได้ทำการศึกษาและสรุปออกมาเป็นหลักการถึงความคล้ายคลึงกันของการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้น สามารถสรุปหลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น พร้อมคำอธิบายถึงความหมายดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้นและคำอธิบาย

ลำดับ	TRIZ 40	คำอธิบาย	ลำดับ	TRIZ 40	คำอธิบาย
1	แบ่งเป็นส่วน (segmentation)	1)แบ่งวัตถุออกเป็นสามอิสระ 2)ทำเป็นแบบพับเก็บได้ 3)เพิ่มระดับชั้นของกรแบ่งส่วนวัตถุ	19	กระทำเป็นจังหวะ (periodic action)	1)แทนที่การกระทำแบบต่อเนื่องให้เป็นแบบจังหวะ 2)ถ้าการกระทำเป็นจังหวะอยู่แล้วให้เปลี่ยนความถี่ 3)ใช้ช่วงของพฤติกรรมระหว่างจังหวะให้เป็นประโยชน์
2	สกัดออก (extraction)	1)คัดส่วนที่ไม่จำเป็นหรือเป็นลักษณะเฉพาะออกมา 2)คัดเอาส่วนที่จำเป็นหรือลักษณะเฉพาะออกมา	20	กระทำอย่างต่อเนื่อง (continuity of useful action)	1)ชิ้นส่วนของวัตถุทุกชิ้นต้องทำงานอย่างต่อเนื่องแต่ทำครั้งเดียว 2)กำจัดช่วงหยุดพักและจังหวะระหว่างกลางให้หมดไป 3)เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาให้เป็นแบบหมุน
3	คุณสมบัติเฉพาะที่ (local quality)	1)เปลี่ยนวัตถุหรือโครงสร้างภายนอกจากสิ่งที่เป็นเนื้อเดียวกันให้ต่างกันเฉพาะส่วน 2)ส่วนที่เป็นวัตถุต่างกันจะให้อัตราการทำงานที่ต่างกัน 3)ส่วนต่างๆของวัตถุนั้นให้ใช้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน	21	กระทำอย่างรวดเร็ว (rushing through)	1)กระทำที่อันตรายหรือมีความเสี่ยงสูงด้วยความรวดเร็ว
4	อสมมาตร (asymmetry)	1)เปลี่ยนรูปแบบสมมาตรของวัตถุให้เป็นแบบไม่สมมาตร 2)ถ้าวัตถุเป็นแบบไม่สมมาตรอยู่แล้วให้เพิ่มความไม่สมมาตร	22	เปลี่ยนวิกฤติให้เป็นโอกาส (covert harm into benefit)	1)ใช้ประโยชน์จากปัจจัยอันตราย 2)ใช้ปัจจัยอันตรายอีกอย่างหักล้างกัน 3)เพิ่มระดับของความปลอดภัยให้สิ่งจุดที่ปลอดภัย
5	รวมกัน (consolidation)	1)เชื่อมตัววัตถุที่เหมือนกันหรือการทำงานต่อเนื่องกัน 2)ใช้วิธีการไปพร้อมกัน	23	ป้อนกลับ (feedback)	1)ใช้ระบบป้อนกลับ 2)ปรับเปลี่ยนระบบป้อนกลับเดิม
6	อนันตประสงค (universality)	1)สร้างสมรรถนะหลายอย่างเข้าไปในวัตถุเดียวกัน จนตัวส่วนที่ไม่จำเป็นออกไปได้	24	ใช้ตัวกลาง (mediator)	1)ใช้ตัวกลางในการส่งผ่านหรือดำเนินการกระทำ 2)เชื่อมโยงวัตถุที่ต้องการกับวัตถุอื่นชั่วคราว
7	ซ้อนกัน (nesting)	1)นำวัตถุไปใส่ไว้ในอีกวัตถุหนึ่ง 2)สอดครีตอื่นเข้าไปในวัตถุที่รูกลวง	25	บริการตัวเอง (self service)	1)วัตถุให้บริการหรือดำเนินการซ่อมแซมตนเอง 2)ใช้วัสดุหรือพลังงานที่เป็นของเสีย
8	คานน้ำหนัก (counterweight)	1)ชดเชยน้ำหนักของวัตถุโดยรวมเข้ากับวัตถุอื่นทำให้วัตถุลอยได้ 2)ชดเชยน้ำหนักของวัตถุ โดยคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอากาศหรือของเหลว	26	เลียนแบบ (copying)	1)ใช้ของที่ง่ายและราคาถูกแทนที่ของที่เปราะบางและใช้เวลานาน
9	กระทำการต้านทานก่อน (prior counter-action)	1)วางน้ำหนักแรงตั้งต้านทานไว้ล่วงหน้า เพื่อชดเชยความเค้นที่ไม่พึงปรารถนา	27	ใช้แล้วทิ้ง (dispose)	1)ใช้วัสดุที่มีราคาถูกแทนวัตถุที่มีราคาแพง โดยยอมลดคุณสมบัติบางอย่าง
10	กระทำก่อน (prior action)	1)เปลี่ยนแปลงกับวัตถุล่วงหน้าทั้งหมดหรือบางส่วน 2)ติดตั้งอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า	28	แทนที่ระบบเชิงกล (replacement of mechanical system)	1)แทนที่ระบบเชิงกลด้วยระบบแก๊ส ความร้อน ลมพัดด้วยคลื่น 2)ใช้สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก หรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 3)เปลี่ยนสภาพแวดล้อม 4)ใช้อุปกรณ์แม่เหล็ก
11	ป้องกันไว้ก่อน (cushion in advance)	1)เตรียมมาตรการฉุกเฉินไว้ล่วงหน้า เพื่อชดเชยความน่าเชื่อถือต่ำของวัตถุ	29	ใช้ระบบนิวแมติกหรือไฮดรอลิก (pneumatic or hydraulic construction)	1)แทนที่ชิ้นส่วนที่เป็นของแข็งของวัตถุด้วยก๊าซหรือของเหลว
12	ศักยภาพเท่ากัน (equipotentiality)	1)เปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานไม่ต้องมีการยกวัตถุขึ้นลง	30	เยื่อยืดหยุ่นและฟิล์มบาง (flexible membranes or thin films)	1)เปลี่ยนโครงสร้างปกติทั่วไปเป็นเยื่อยืดหยุ่นหรือฟิล์มบาง 2)แยกตัวออกจากสภาพแวดล้อมภายนอกโดยการไม่ยืดเยื่อยืดหยุ่นหรือฟิล์มบาง
13	ทำกลับทาง (do it in reverse)	1)ทำสิ่งที่ตรงข้ามกับสิ่งที่ถูกกำหนดไว้ 2)ทำให้วัตถุหรือสภาพแวดล้อมที่เคลื่อนที่อยู่กับที่ และ ทำสิ่งที่อยู่กับที่ให้เคลื่อนไหว 3)จับวัตถุพลิกกลับหัว	31	วัสดุพรุน (porous material)	1)ทำให้วัตถุเป็นรูพรุนหรือใช้ส่วนประกอบที่มีรูพรุนเสริมเข้าไป 2)ถ้าวัตถุรูพรุนอยู่แล้วให้ใส่สารที่ต้องการไว้ในรูพรุนล่วงหน้า
14	ทรงกลม (spheroidality)	1)เปลี่ยนเส้นตรงให้เป็นเส้นโค้ง เปลี่ยนวงรีให้เป็นทรงกลม เปลี่ยนลูกบาศก์ให้เป็นลูกบอล 2)ใช้ลูกกลิ้ง เกลียว 3)เปลี่ยนการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงให้เป็นการหมุน	32	เปลี่ยนสี (changing of colour)	1)เปลี่ยนสีวัตถุหรือสภาพแวดล้อม 2)เปลี่ยนระดับความโปร่งใสของวัตถุหรือสภาพแวดล้อม 3)ใช้สารเติมแต่งที่มีสีเพื่อสังเกตรูวัตถุหรือกระบวนการ 4)หากมีการใช้สารเติมแต่งแล้วให้ใช้สารเรืองแสงช่วย
15	พลวัต (dynamicity)	1)เปลี่ยนคุณลักษณะภายนอกของวัตถุหรือสภาพแวดล้อมให้เกิดการทำงานที่เหมาะสม 2)ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ไม่ได้ ทำให้เคลื่อนที่ได้ หรือเปลี่ยนให้กลับไปกลับมาได้ 3)แบ่งวัตถุออกเป็นสองส่วนที่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งให้สัมพันธ์กันได้	33	เนื้อเดียวกัน (homogeneity)	1)วัตถุซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกันหรือเกิดมาจากวัสดุอย่างเดียวกัน
16	กระทำเพียงบางส่วนหรือมากกว่า (partial or excessive action)	1)ทำให้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ตั้งใจไว้	34	ใช้ชิ้นส่วนที่สลายและสร้างใหม่ (rejecting and regenerating part)	1)ใช้ชิ้นส่วนที่สลายและสร้างใหม่หรือถูกตัดแปลงระหว่างกระบวนการทำงาน 2)ชิ้นส่วนของวัตถุถูกใช้ไปในระหว่างทำงานครุคูณนำกลับมาใช้ใหม่
17	แปลงสู่มิติใหม่ (transition into a new dimension)	1)เปลี่ยนการเคลื่อนที่จาก 1 เป็น 2 หรือจาก 2 เป็น 3 มิติ 2)ใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบหลายระดับของวัตถุ 3)เอียงวัตถุหรือวางตียงแดง 4)ใช้ประโยชน์จากพื้นที่ผิวด้านตรงข้าม 5)สะท้อนแสงไปยังด้านข้างหรือฝั่งตรงข้ามวัตถุ	35	เปลี่ยนลักษณะสมบัติ (transformation of the properties)	1)การแปลงลักษณะสมบัติ 2)เปลี่ยนความเข้มข้นหรือความหนาแน่น 3)เปลี่ยนระดับความยืดหยุ่น 4)เปลี่ยนอุณหภูมิหรือปริมาตร
18	สั่นเชิงกล (mechanical vibration)	1)ใช้ประโยชน์จากการแกว่ง 2)ถ้ามีการแกว่งอยู่แล้วเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น 3)ใช้คลื่นความถี่สั้นพ้อง 4)เปลี่ยนการสั่นสะท้อนเชิงกลเป็นความถี่สั้นสะท้อนจากความดัน 5)ใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	36	แปลงสถานะ (phase transition)	1)ใช้ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของวัตถุ
			37	ขยายตัวด้วยความร้อน (thermal expansion)	1)ใช้การขยายหรือหดตัวของวัตถุโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 2)ใช้วัสดุสองชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่างกัน
			38	เติมอากาศอย่างรวดเร็ว (accelerated oxidation)	1)เปลี่ยนการเติมออกซิเจนจากระดับหนึ่งไปสู่ระดับที่สูงขึ้นอีก
			39	สภาพแวดล้อมเฉื่อย (inert environment)	1)เปลี่ยนสภาพแวดล้อมปกติเป็นสภาพแวดล้อมเฉื่อย 2)เดินสารที่เป็นกลางหรือสารเติมแต่งเข้าไปในวัตถุ 3)ดำเนินการในสุญญากาศ
			40	วัสดุคอมโพสิท (composite materials)	1)เปลี่ยนวัสดุเนื้อเดียวเป็นวัสดุผสม

ที่มา : ดัดแปลงจาก.ไตรสทิธี, 2552, หน้า 31.

(2) ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง เป็นเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นโดยการรวบรวมสิทธิบัตรและงานวิจัยเพื่อเป็นการแสดงถึงความขัดแย้งทางเทคนิคที่มักเกิดขึ้นในการเพิ่มคุณสมบัติของวัตถุโดยสามารถแบ่งออกเป็น 39 สมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งใช้ร่วมกับหลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้นเพื่อแสดงถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาความขัดแย้งดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 39 สมบัติที่มักเกิดความขัดแย้ง

ลำดับ	ความขัดแย้ง	ลำดับ	ความขัดแย้ง
1	น้ำหนักของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	21	กำลัง
2	น้ำหนักของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	22	การสูญเสียพลังงาน
3	ความยาวของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	23	การสูญเสียสาร
4	ความยาวของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	24	การสูญเสียข้อมูล
5	พื้นที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	25	การสูญเสียเวลา
6	พื้นที่ของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	26	มวลของสาร
7	ปริมาตรของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	27	ความน่าเชื่อถือ
8	ปริมาตรของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	28	ความแม่นยำของการวัด
9	ความเร็ว	29	ความแม่นยำของการผลิต
10	แรง	30	ปัจจัยอันตรายซึ่งกระทำต่อวัตถุ
11	แรงดึง แรงดัน	31	ปัจจัยอันตรายซึ่งออกมาจากวัตถุ
12	รูปร่าง	32	ความสามารถในการผลิต
13	เสถียรภาพของวัตถุ	33	ความสะดวกในการใช้
14	ความแข็งแรง	34	ความสะดวกในการเก็บรักษา
15	ความคงทนของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	35	ความสามารถในการปรับตัวได้
16	ความคงทนของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	36	ความซับซ้อนของอุปกรณ์
17	อุณหภูมิ	37	ความยากในการตรวจวัด
18	ความสว่าง	38	ระดับของความเป็นอัตโนมัติ
19	พลังงานที่หายไปโดยวัตถุซึ่งเคลื่อนที่	39	ผลิตภาพ
20	พลังงานที่หายไปโดยวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่		

ที่มา : ดัดแปลงจาก.ไตรสิทธิ์, 2552, หน้า 33.

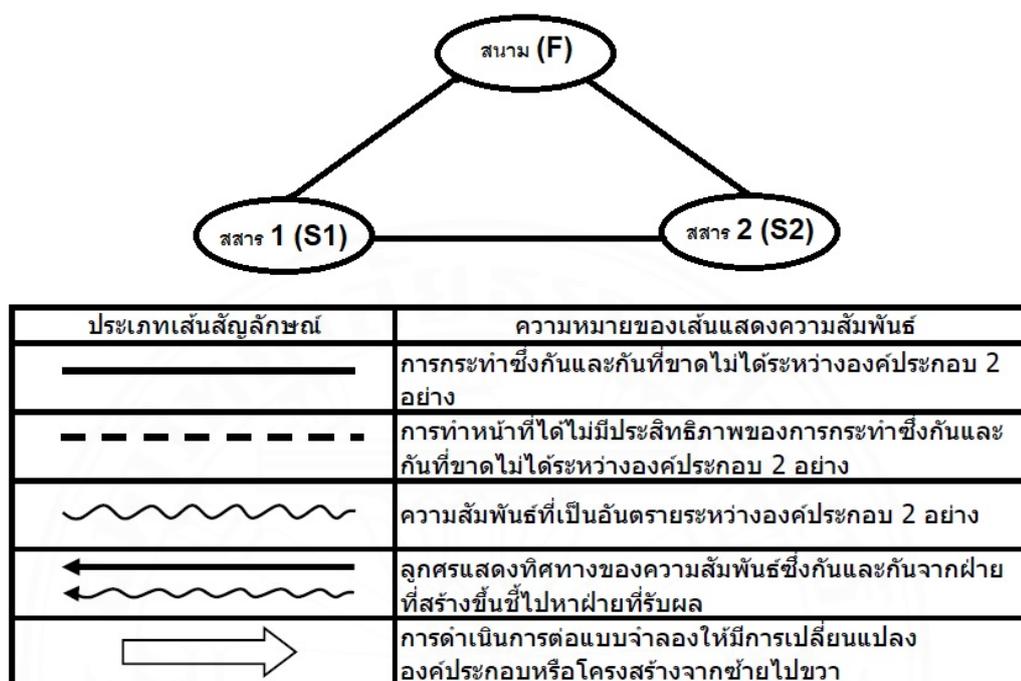
2.3.2.3 การวิเคราะห์แบบจำลอง สสาร-สนาม

เป็นหนึ่งในเครื่องมือของ TRIZ ที่ถูกคิดค้นขึ้นโดยทำให้เห็นแก่นแท้ของปัญหาชัดเจนขึ้นโดยการแปลงปัญหาเหล่านั้นให้กลายเป็นโมเดลภาพและนำโมเดลภาพมาทำการวิเคราะห์โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองของ สสาร-สนาม จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก ดังนี้

สสาร คือ ระบบทางเทคนิคหรือส่วนย่อยของระบบ เช่น วัสดุ เครื่องมือ ขึ้น ส่วนเป็นต้น แสดงในแบบจำลองด้วยตัวอักษร S ดังแสดงในภาพที่ 2.4

สนาม คือ พลังงานหรือแรงที่กระทำต่อ สสาร ทำให้สสารเกิดการทำหน้าที่ตามระบบที่ออกแบบไว้ แสดงในแบบจำลองด้วยตัวอักษร F ดังแสดงในภาพที่ 2.4

เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ คือ เส้นที่ทำหน้าเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในแบบจำลองดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองสสาร-สนาม ที่มา : ดัดแปลงจาก.ไตรสิทธิ์, 2552, หน้า 42-43

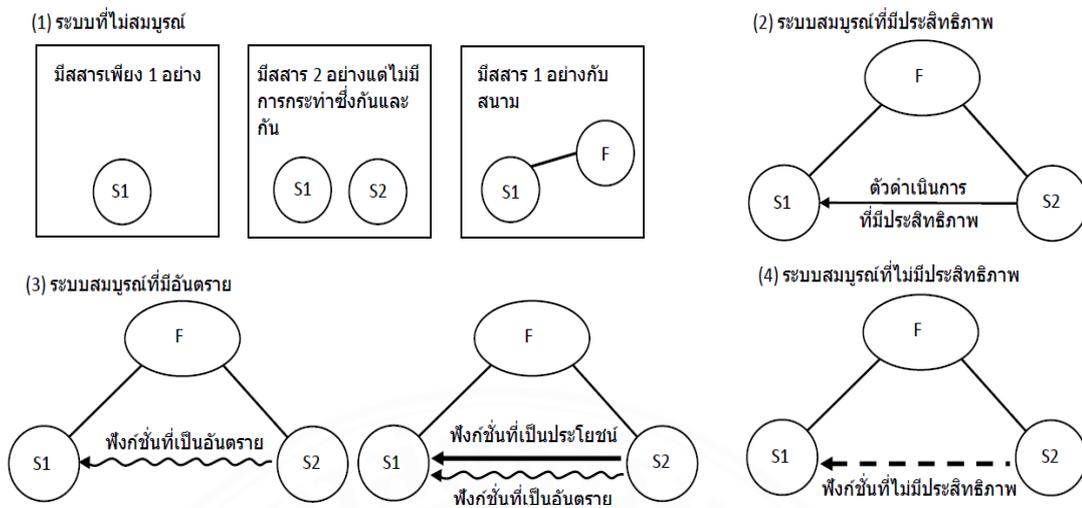
ซึ่งแบบจำลองสสาร-สนาม ที่อัลต์ชูลเลอร์ คิดค้นขึ้นมาสามารถจำแนกได้เป็น 4 รูปแบบพื้นฐานดังต่อไปนี้

(1) **ระบบที่ไม่สมบูรณ์** คือ ระบบที่มีองค์ประกอบไม่ครบ 3 อย่าง หากขาดองค์ประกอบของสสาร 2 อย่าง และ สนาม 1 อย่างจะถือว่าเป็นระบบที่ไม่สมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.5

(2) **ระบบสมบูรณ์ที่มีประสิทธิภาพ** คือ ระบบที่มีองค์ประกอบของระบบอย่างน้อยที่สุดคือ สสาร 2 อย่างและสนาม 1 อย่าง ดังแสดงในภาพที่ 2.5

(3) **ระบบสมบูรณ์ที่มีอันตราย** คือ ระบบที่มีองค์ประกอบครบถ้วนแต่มีการทำงานที่เป็นอันตรายระหว่างองค์ประกอบเกิดขึ้นในระบบ ดังภาพที่ 2.5

(4) **ระบบสมบูรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ** คือ ระบบที่มีองค์ประกอบครบถ้วนแต่ยังมีการทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์เกิดขึ้นในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.5

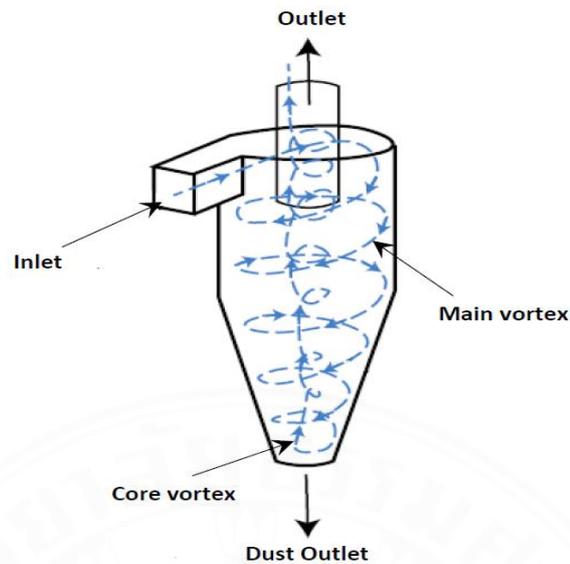


ภาพที่ 2.5 ระบบจำลองสสาร-สนาม 4 รูปแบบพื้นฐาน
ที่มา : ดัดแปลงจาก.ไตรสิทธิ์, 2552, หน้า 45-47

2.4 ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone dust collector)

2.4.1 หลักการทำงานของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน

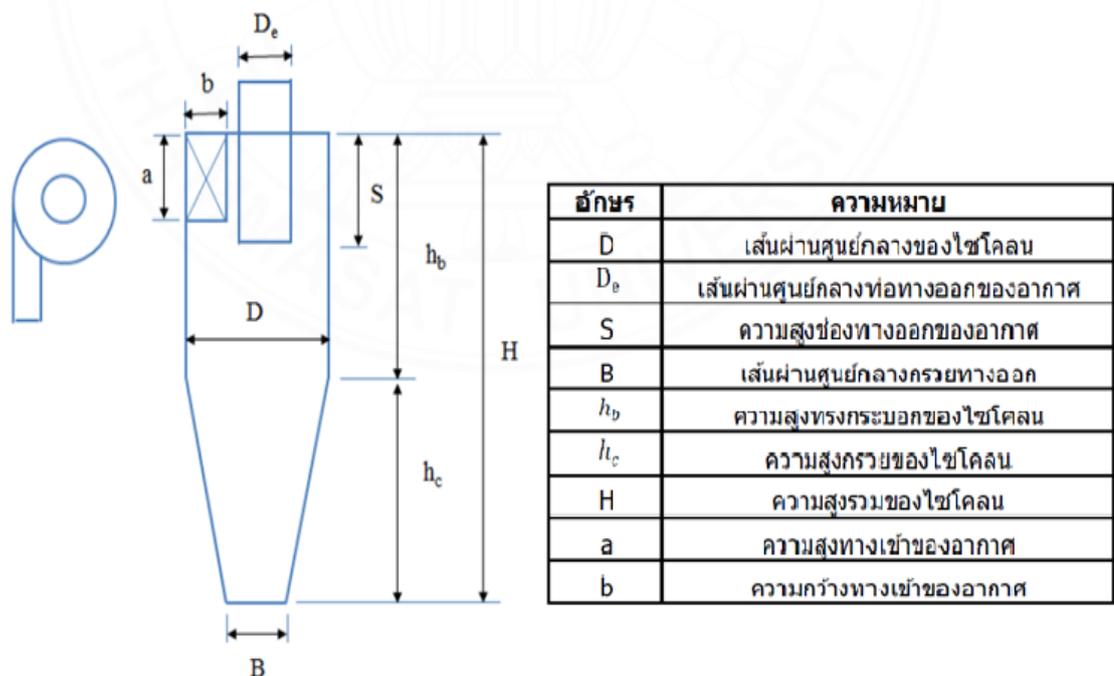
ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนเป็นเครื่องมือที่สามารถคัดแยกอนุภาคของแข็งออกจากของไหล (ของเหลว หรือ ก๊าซ) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากของไหลผ่านเข้าสู่ภายในของไซโคลนในแนวสัมผัสกับผนังด้านในจะเกิดกระแสวนขึ้นเรียกว่า main vortex ขึ้นซึ่งจะเหวี่ยงแยกอนุภาคของแข็งหรือสิ่งที่เป็นของไหลไปตามขอบผนังด้านในและเคลื่อนที่ตามแนวขอบสัมผัสด้านในที่มีรูปทรงเรขาคณิตเป็นทรงกรวยลงไปยังด้านล่างเมื่อ main vortex ลงมาถึงปลายด้านล่างของรูปทรงกรวยอนุภาคของแข็งจะตกลงออกไปยังด้านนอกในขณะเดียวกันจะเกิดกระแสวนขนาดเล็กขึ้น เรียกว่า core vortex กระแสวนดังกล่าวจะหมุนวนขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับ main vortex และออกสู่ภายนอกดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 รูปแบบการไหลในระบบไซโคลน ที่มา : รัชชานนท์, 2563, วารสารสิ่งแวดล้อม, หน้า 3

2.4.2 ส่วนประกอบของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน

โครงสร้างของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนสามารถแยกเป็นส่วนประกอบตามสัดส่วนในการออกแบบได้ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของไซโคลน ที่มา : ดัดแปลงจาก สุทิน, 2558, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 58

2.4.3 ประเภทของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน

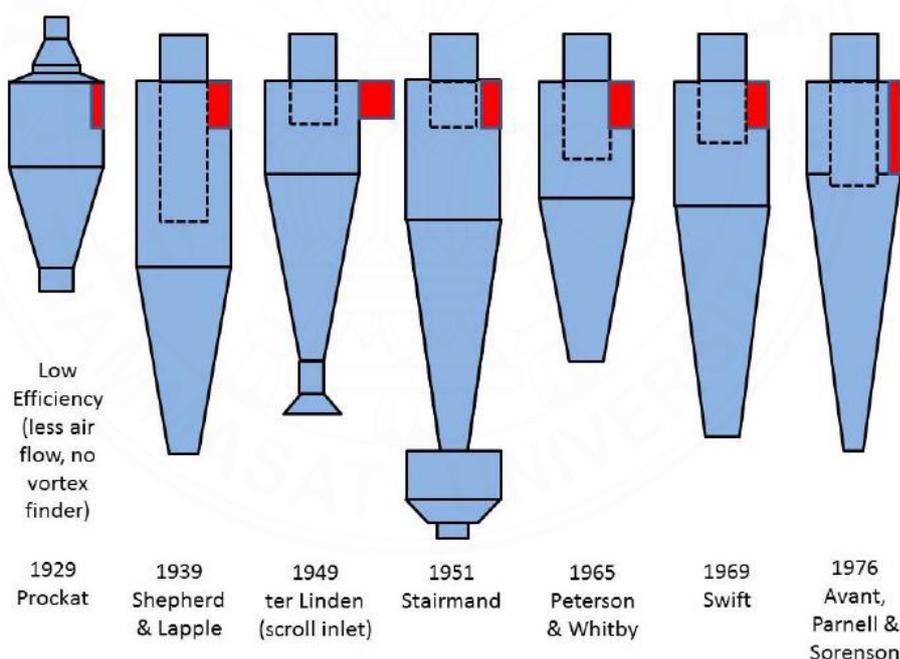
ประเภทของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนสามารถจำแนกตามประสิทธิภาพการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ (รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง,2563) คือ การใช้งานที่เน้นถึงประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคสูง และการใช้งานที่เน้นปริมาณในการคัดแยกหรืออัตราการไหลที่สูง

2.4.3.1 ไซโคลนเน้นประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคสูง

ไซโคลนลักษณะนี้จะมีขนาดเล็กเน้นในการแยกอนุภาคของแข็งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงในการดำเนินการ ยกตัวอย่างการออกแบบของ Stairmand, Peterson & Whitby, Leith & Litch และ Lapple ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.8

2.4.3.2 ไซโคลนเน้นปริมาณในการคัดแยกหรืออัตราไหลที่สูง

ไซโคลนในลักษณะนี้มักจะมีขนาดใหญ่กว่าไซโคลนที่เน้นประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคสูงจึงทำให้ไซโคลนประเภทนี้สามารถรองรับอัตราการไหลที่สูงได้แต่ประสิทธิภาพในการคัดแยกจะต่ำ ยกตัวอย่างการออกแบบของ Sproull และ Barth ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การออกแบบไซโคลนรูปแบบต่าง ๆ

ที่มา : Paul A.Funk and Kevin D.Baker,2013, หน้า 40

2.4.4 ปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน

นอกจากการออกแบบระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคหรือสิ่งเจือปนออกจากของไหลแล้วแต่ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน (รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง, 2563) โดยสามารถระบุปัจจัยได้ดังต่อไปนี้

2.4.4.1 ปริมาณของแข็งในระบบ

ระบบที่มีปริมาณของแข็งปริมาณมากจะทำให้อนุภาคเกาะกันเป็นกลุ่มทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่จึงทำให้ระบบแยกอนุภาคได้ดีแต่อาจส่งผลให้ระบบอุดตันและทำให้ระบบมีความดันลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

2.4.4.2 การแตกหักของอนุภาคของแข็ง

ระบบที่มีการนำอนุภาคของแข็งกลับมาใช้หมุนเวียนหลังผ่านระบบการกรองอากาศไปแล้วอาจทำให้ของแข็งที่หมุนเวียนกลับเข้าระบบเดิมเกิดการกระทบกันจึงเกิดการแตกหักทำให้อนุภาคของแข็งมีขนาดเล็กลงซึ่งเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบดักจับฝุ่นได้น้อยลง

2.4.4.3 ความชื้นในตัวกลาง

ความชื้นส่งผลให้อนุภาคของแข็งจับตัวกันซึ่งสามารถเกิดการอุดตันของระบบหรือเกิดการสะสมของอนุภาคภายในผิวขอบด้านในของระบบไซโคลนส่งผลให้แรงดันของระบบมีประสิทธิภาพลดลง

2.4.4.4 ระบบลำเลียงของแข็ง

หากเกิดปัญหาในระบบลำเลียงอนุภาคเช่นเกิดการรั่วไหลของระบบลำเลียงอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกของอนุภาคลดน้อยลง

2.4.5 การหาประสิทธิภาพของไซโคลน

สามารถหาค่าประสิทธิภาพของไซโคลนได้จาก การหาค่าประสิทธิภาพในการกักเก็บรวม และ การหาค่าความดันลด โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.4.5.1 การหาค่าประสิทธิภาพในการกักเก็บรวม

คือ ค่าอัตราส่วนของขนาดอนุภาคต่อขนาดตัดอนุภาค ณ ค่าอัตราการไหลที่กำหนด(Lapple,1950) และได้มีการพัฒนาเป็นสมการประสิทธิภาพในการกักเก็บรวม (Theodore&DePaola, 1980) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$n_i = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{p,c}}{d_{pi}}\right)^2\right]} \quad (1)$$

ซึ่งขนาดตัดอนุภาคคือค่าที่คำนวณขึ้นเพื่อพิจารณาการประสิทธิภาพการคัดแยกของไซโคลนโดยที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคตัดจะถูกกักเก็บได้ด้วยประสิทธิภาพที่มากกว่า 50% สามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$d_{p,c} = \left[\frac{9\mu W}{2\pi N e V i (\rho_p - \rho_a)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

2.4.5.2 การหาค่าประสิทธิภาพจากความดันลด

คือ ค่าปริมาณการสิ้นเปลืองหรือสูญเสียไปในการพาอนุภาคเข้าสู่ไซโคลนเพื่อการกรองอนุภาค สามารถแสดงสมการความดันลด (Shepherd & Lapple, 1939 และ Lapple, 1951) ดังต่อไปนี้

$$\Delta P = \frac{1}{2} (\rho_a V_i^2 H_v) \quad (3)$$

โดยที่ค่า H_v สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H_v = K \left[\frac{HW}{D_e^2} \right] \quad (4)$$

2.4.5.3 การหาค่าประสิทธิภาพจากปริมาณการคัดกรองอนุภาค

คือ การวัดปริมาณของอนุภาคก่อนและหลังการกรองอนุภาคโดยปริมาณ (Yuhei k & Takayuki H. & Yoshinari Y. and Keishi T, 2015) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$n = \frac{m_c}{m} \times 100 \quad (5)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่ของกรอบแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและนำองค์ความรู้ และกรอบแนวคิดดังกล่าวมาบูรณาการในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอน งานวิจัยนี้ได้ศึกษารวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

P.Kantare,A.Krupan, A.Dewaathale & A.S.Dalkilic (2021) ได้ทำการศึกษากการออกแบบระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนที่สามารถกรองอนุภาคขนาดเล็ก 10-15 μm ในระบบการกรองของเครื่องทำความสะอาดโดยปราศจากการใช้ไส้กรองอากาศโดยทำการออกแบบด้วยอัตราส่วนโดยใช้สมการความต่อเนื่องของ เนเวียร์-สโตกส์ มาใช้ในการคำนวณอัตราส่วนของไซโคลนอนและนำการออกแบบไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพผ่านซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์หลักการ พลศาสตร์ของไหล โดยพบว่า การออกแบบระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของของระบบคือรูปทรงของไซโคลนอนที่ก่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขึ้นภายใน

Gurveer Singh,Dheeraj Saini & Laltu Chandra (2016) ได้ทำการศึกษากการออกแบบและการประเมินระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนสำหรับกรองอากาศขาเข้าของเครื่องรับอากาศร้อนปริมาตรแบบเปิด พบว่า ค่า CFD ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับแบบจำลองระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนของ Lapple และประสิทธิภาพของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในขณะใช้งานซึ่งส่งผลต่อความต้องการพลังงานในการใช้งานของระบบ ดักจับฝุ่นที่ทำการออกแบบไว้

Masoumeh Mofarrach,Pin Chen,Zhen Liu & Keping Yan (2019) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของอิเล็กทรอนิกส์ไซโคลนอนโดยนำผงซีเถ้ามาเป็นวัสดุเจือปนในอากาศที่ต้องการกรองออกจากระบบและทำการออกแบบการทดลองภายใต้อัตราการไหลที่แตกต่างกัน และแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มสนามไฟฟ้าสถิตทำให้ประสิทธิภาพของระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนอนดีขึ้นและภายใต้สภาวะความเร็วขาเข้าที่ต่ำสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการกรองให้ดียิ่งขึ้นได้ โดยการเพิ่มแรงดันทางไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าสถิต

Jolius Gimbun,Thomas S.Y. Choong,A.Fakhru'L-Rali & T.G. Chuah (2004) ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคในอากาศตามพารามิเตอร์การออกแบบ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนอน ขนาดของตัวแยกไซโคลนอน อุณหภูมิในการทำงาน ความหนาแน่นและความหนืด และความเร็วขาเข้าของไซโคลนอน ตามรูปแบบการออกแบบของ Lapple,Koch & Licht,Li & Wang และ Lozia & Leith พบว่าแบบจำลองของ Li & Wang มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ มีความคลาดเคลื่อน3%จากข้อมูลการทดลอง และประสิทธิภาพ

ของไซโคลนจะเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนที่ลดลงเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางที่สูงขึ้นจะถูกสร้างขึ้นในเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก, ประสิทธิภาพของไซโคลนลดลงตามความกว้างของช่องขาเข้า, ความแตกต่างของความหนาแน่นของอนุภาคอากาศและความเร็วเข้าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของไซโคลนสูงขึ้น และประสิทธิภาพของไซโคลนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจากจาก 19.85 เป็น 719.85 °C เนื่องจากความหนืดของอากาศเพิ่มขึ้น

เมสันต์ สังขมณี (2552) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศขนาดเล็ก (0.3-1 μm) โดยการทดลองสมรรถนะในการดักจับฝุ่นระหว่างไซโคลนที่ประกอบแผ่นกรอง และไซโคลนธรรมดา ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ขนาดอนุภาค ความเร็วทางเข้า และคุณลักษณะของแผ่นกรองพบว่าค่าการทะลุผ่านของไซโคลนความเร็วในช่วง 1.84-16.72 ms^{-1} มีค่าลดลงเมื่อความเร็วหรืออนุภาคเพิ่มขึ้นและไซโคลนที่ประกอบแผ่นกรองจะให้ประสิทธิภาพการกรองที่ดีกว่าและความดันสูญเสียลดลง นอกจากนี้ การเพิ่มความกว้างของแผ่นกรองเส้นใยจาก 4 mm เป็น 8 mm ค่าการทะลุผ่านจะลดลงเมื่อเทียบกับไซโคลนธรรมดา เป็น 0.3-5.5%, 1.3-15.8% และ 1.7-19.9% สำหรับอนุภาคขนาด 0.3, 0.5 และ 1 μm และค่าความสูญเสียที่ลดลงเพิ่มจาก 32.7 เป็น 38.8% กรณีแผ่นกรองสแตนเลสสตีล เมื่อปริมาณแผ่นกรองเพิ่มจาก 0.94 เป็น 1.83 g ค่าการทะลุผ่านที่ลดลงเมื่อเทียบกับไซโคลนธรรมดาเป็น 3.7-14.8%, 4.3-31.2% และ 11.6-41.2% และค่าความดันสูญเสียลดลง 23.51 เป็น 20.5%

สุทิน พลบุรณ์ (2559) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกของอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคในอากาศด้วยการทดลองโดยใช้ท่อทางออกอากาศขนาด 30, 50 และ 60 mm, อนุภาคของแกลบเผาขนาด 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 μm และความเร็วของอากาศเข้า 6.61, 7.5 และ 7.93 m/s จากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศและขนาดของอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของไซโคลนเพิ่มขึ้นและขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกเท่ากับ 50 mm ที่ความเร็วลมทางเข้าเท่ากับ 7.93 m/s มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ที่ขนาดอนุภาคเท่ากับ 0-150, 150-250, 250-500 และ 500-850 ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 97.20%, 97.91%, 98.71% และ 99.13% ตามลำดับ

Paul Frobisher (2010) ได้ทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการพัฒนานวัตกรรมด้วยทฤษฎี TRIZ และทำการออกแบบโปรแกรมการฝึกอบรมทฤษฎี TRIZ ที่ผ่านการพัฒนาให้เหมาะสมกับภาคอุตสาหกรรม โดยจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการมีผู้เข้าร่วมในการอบรม 17 คน พบว่าผู้เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการสามารถเรียนรู้ทำความเข้าใจการประยุกต์ใช้ทฤษฎี TRIZ ได้ง่ายกว่าวิธี FMEA

Khairul M.K. (2017) ได้ทำการศึกษาพัฒนาวิธีการออกแบบที่รวมแนวคิดของทฤษฎี TRIZ และ ทฤษฎี SA (TRIZ-SA) และนำวิธีการทางด้านความปลอดภัย Function Constraint Model (FCM) & Safety Principle Guide (SPG) มาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการออกแบบรูปปลั๊กซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อน ผ่านการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพของผลงานทางวิชาการและสิทธิบัตร พบว่า การรวมกันของทฤษฎี TRIZ และ SA ส่งผลให้สามารถแก้ปัญหาทางการออกแบบได้ง่ายขึ้น และการนำหลักการทางด้านความปลอดภัยเข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบรูปทรงผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดกรอบแนวคิดใหม่ในการออกแบบแนวคิดการออกแบบที่ปลอดภัยและสร้างสรรค์

ศิริกุล (2557) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงแบบบรรจุภัณฑ์เลนส์สายตาพลาสติกชนิดกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเพื่อประกอบมาช่วยในการปรับปรุงและทำการเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์หลังการปรับปรุงโดยพิจารณาในหัวข้อ เวลาในการประกอบบรรจุภัณฑ์ด้วย เทคนิคบูธทรอยด์และดีวีเอส ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ให้สามารถใช้วัสดุกระดาษเพียงอย่างเดียวและใช้เทคนิคการพับขึ้นรูป การสอดเข้าล็อกแทนการใช้กาวในการยึดติดบรรจุภัณฑ์ พบว่าสามารถลดชิ้นส่วนของบรรจุภัณฑ์ลงได้ร้อยละ 33.33 เพิ่มประสิทธิภาพการประกอบขึ้นร้อยละ 2.94 และลดต้นทุนเกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ลงร้อยละ 8.61 ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถลดลงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์เดิม

พิพัฒน์พงศ์ (2556) ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนแปรรูปบรรจุขวด โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่การใช้พลังงานและวัตถุดิบในช่วงกระบวนการผลิตตลอดจนถึงขั้นตอนการขนส่งผลิตภัณฑ์และใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ Eco-indicator 99 และวิธี EDIP 2003 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนแปรรูปบรรจุขวดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ในช่วงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต รองลงมาคือผลกระทบจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ทางด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และได้เสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวโดย การออกแบบระบบเติมน้ำปรุงที่ลดการใช้พลังงาน และการเสนอใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ก๊าซ NGV เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งผลิตภัณฑ์แทนการใช้น้ำมัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนได้เรียนรู้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคัดแยกอนุภาคของไซโคลนขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของไซโคลนและอุณหภูมิขณะใช้งานโดยรูปทรงทางเรขาคณิตส่งผลต่อประสิทธิภาพจาก ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงของไซโคลนจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของไซโคลนเพิ่มขึ้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องขาเข้าที่เพิ่มขึ้นจะลดประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของไซโคลนลดลงอีกทั้งอุณหภูมิ

การใช้งานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อากาศมีความหนืดเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของไซโคลนลดลง ในส่วนของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ได้เรียนรู้ว่าสามารถนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อแก้ปัญหาเชิงเทคนิคที่เกิดขึ้นร่วมกับหลักการความปลอดภัยเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และในส่วนของ การออกแบบที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-Design) ได้เรียนรู้วิธีการการเลือกวัสดุที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านกรอบแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และการนำทฤษฎีการออกแบบ เพื่อการผลิต (DFMA) สามารถลดทอนวัสดุที่ไม่จำเป็นในผลิตภัณฑ์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยในงานวิจัยนี้จะนำความรู้ที่ได้รับจากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหีบเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน และการคัดเลือกวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ในภาพรวมของงานวิจัยยังขาดด้านผลกระทบจากการไหลของอนุภาคในอากาศต่อผนังด้านในของไซโคลน โดยงานวิจัยนี้มีจุดแข็งในด้านการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตที่เป็นความขัดแย้งทางเทคนิคที่เกิดขึ้นในการลดอันตรายที่เกิดจากกระบวนการและมีจุดด้อยในด้านการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของไซโคลนจากการทดลองใช้งานเนื่องจากการทดลองใช้งานในพื้นที่เปิดอาจส่งผลไม่เท่ากับการทดลองในพื้นที่ปิดอีกทั้งจำนวนอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเปิดผิวเหล็กไม่สามารถระบุได้ชัดเจนเป็นปริมาณได้

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลฝุ่นเหล็กจากการผลิตของแผ่นเชื่อมโลหะ

3.1.1 ขนาดอนุภาคของฝุ่นเหล็กจากการเปิดผิวชิ้นงานในโรงงานกรณีศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้โดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นเหล็กที่หล่นตามแรงโน้มถ่วงในพื้นที่การผลิตจากแผ่นเชื่อมโลหะน้ำหนัก 900 กรัม มาทำการคัดแยกหาขนาดของอนุภาคแสดงในภาพที่ 3.1 โดยใช้ชุดตะแกรงทดสอบขนาด 0.9, 0.6 และ 0.3 มิลลิเมตรหรือ 900, 600 และ 300 ไมครอนดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างฝุ่นเหล็กในแผ่นเชื่อมโลหะ



ภาพที่ 3.2 ชุดตะแกรงทดสอบขนาด 0.3, 0.6 และ 0.9 มิลลิเมตร (จากซ้ายไปขวา)

โดยสามารถแยกขนาดอนุภาคของฝุ่นเหล็กในแผนกเชื่อมโลหะออกเป็น 4 กลุ่มขนาด คือ ขนาดอนุภาค 0-300, 300-600, 600-900 และ 900 ไมครอนขึ้นไป แสดงปริมาณสัดส่วนน้ำหนักของอนุภาคฝุ่นเหล็กในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักอนุภาคจากการคัดแยกด้วยชุดตะแกรงทดสอบ

ขนาดอนุภาคฝุ่น (ไมครอน)	น้ำหนัก (กรัม)	สัดส่วน (%)
0-300	790	87.8
300-600	70	7.8
600-900	10	1.1
900 ขึ้นไป	15	1.7

3.2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)

3.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิค

การวิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิคของกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นสามารถอธิบายตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.2.1.1 ชิ้นส่วนหลักของระบบทางเทคนิคและหน้าที่การทำงาน

- (1) **ชิ้นโลหะ** จะต้องได้รับการเตรียมผิวก่อนการเชื่อมโลหะโดยการเปิดผิวเหล็กดิบออก
- (2) **หินเจียรมือ** แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
- (3) **ใบหินเจียร** ขัดหรือเสียดสีผิวเหล็กดิบออกจากชิ้นโลหะ
- (4) **พลังงานกล** ทำหน้าที่หมุนใบหินเจียรจึงทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างใบหินเจียรและชิ้นโลหะ

3.2.1.2 การทำงานของระบบทางเทคนิค

จากกระบวนการเชื่อมโลหะในส่วนของ การเตรียมผิวโลหะก่อนการเชื่อม และการเก็บรอยแนวเชื่อม โดยการใช้พลังงานงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานงานกลทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ติดเข้าไปหินเจียร เพื่อต้องการให้เกิดการเสียดสีขึ้นระหว่างใบหินเจียรและผิวโลหะที่ต้องการเปิดผิวหรือเก็บรอยเชื่อม ฝุ่นเหล็กที่เกิดจากการเสียดสีผิวเหล็กดิบด้านนอกออกเป็นผลพลอยได้ของกระบวนการดังกล่าวซึ่งก่อให้เกิดผลร้ายต่อพนักงานในบริเวณรอบพื้นที่

3.2.1.3 ระบุลักษณะซึ่งควรได้รับการปรับปรุงหรือขจัดทิ้งไป

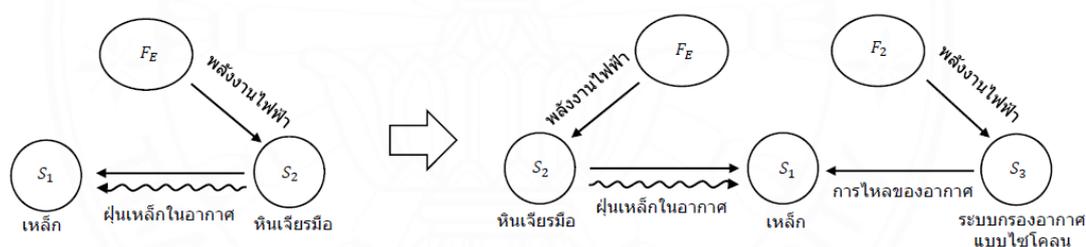
(1) **ฝุ่นเหล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ** ปรับปรุงกระบวนการเปิดผิวโลหะ เหล็กดิบ โดยการนำฝุ่นเหล็กที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการออกจากอากาศ เพื่อลดฝุ่นเหล็กในอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพพนักงานแผนกเชื่อมโลหะ และลดการหยุดชะงักของเครื่องจักรในแผนกดังกล่าว

3.2.2 ระบุความขัดแย้งทางเทคนิค

นำผลการวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิคมาดำเนินการระบุความขัดแย้งทางเทคนิคและวิธีที่ใช้ในการตามหลักทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)

3.2.2.1 ระบุวิธีใช้ในการปรับปรุงหรือขจัดออกไป

งานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกวิธีการกรองอากาศด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนที่ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของรูปทรงไซโคลนในการแยกอนุภาคระหว่างสารแขวนลอยในอากาศออกโดยสามารถสรุปแสดงเป็นภาพการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แบบจำลองสสาร-สนามของฟังก์ชันการทำงานของระบบ

3.2.2.2 ระบุลักษณะสมบัติที่ด้อยลงเมื่อมีการปรับปรุงหรือขจัดออกไป

(1) **ความซับซ้อนของอุปกรณ์** การกรองอนุภาคที่ปนอยู่ในอากาศด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนจำเป็นต้องประกอบด้วย ไซโคลน และระบบดูดอากาศ เป็นอุปกรณ์หลักในการใช้งานกล่าวคือ เมื่อระบบดูดอากาศดูดอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นเหล็กแขวนลอยเข้ามาจะทำการกรองอนุภาคออกจากอากาศออกก่อน โดยผ่านอุปกรณ์ไซโคลนและเมื่อกรองอนุภาคแขวนลอยออกแล้วจะทำการกรองละเอียดอีกครั้งหนึ่งผ่านระบบการกรองของระบบดูดอากาศ

(2) **พื้นที่ของวัตถุซึ่งอยู่ร่วมกับที่** การนำระบบไซโคลนมาใช้ร่วมกับระบบดูดอากาศจะทำให้ขนาดของอุปกรณ์มีขนาดใหญ่และทำให้เสียพื้นที่ในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์

3.2.2.3 ใช้ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้งในการแก้ปัญหา

(1) ปัจจัยอันตราย/ความซับซ้อนของอุปกรณ์

การกรองอนุภาคที่ปนอยู่ในอากาศด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน จำเป็นต้องประกอบด้วย ไซโคลน และ ระบบดูดอากาศ เป็นอุปกรณ์หลักในการใช้งาน กล่าวคือ เมื่อระบบดูดอากาศดูดอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นเล็กแขวนลอยเข้ามาจะทำให้การกรองอนุภาคออกจากอากาศ ซึ่งจากตารางแมทริกซ์ความขัดแย้งสำหรับแก้ปัญหาความขัดแย้งเชิงเทคนิคได้แสดงแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังแสดงในตารางที่ 3.2 และได้แสดงตารางแมทริกซ์ความขัดแย้งในภาคผนวก ก. โดยได้เลือกข้อเสนอแนะ ข้อที่ 1 แบ่งส่วนอุปกรณ์ออกเพื่อลดความซับซ้อนของระบบ

ตารางที่ 3.2 หลักการเสนอแนะระหว่าง ปัจจัยอันตราย/ความซับซ้อนของอุปกรณ์

ความขัดแย้งทางเทคนิค	พิกัดในตารางแมทริกซ์	หลักการข้อที่เสนอแนะ	ชื่อของหลักการ
ปัจจัยอันตราย / ความซับซ้อนของอุปกรณ์	31 x 36	19	กระทำเป็นจังหวะ
		1	แบ่งส่วน
		31	วัสดุพรุน

(2) พื้นที่ของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่/ความยาวของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่

จากการปรับปรุงความขัดแย้งทางด้านเทคนิคด้านปัจจัยอันตรายออกไป ก่อให้เกิดความขัดแย้งทางด้านเทคนิคของพื้นที่ของวัตถุที่มีขนาดเพิ่มขึ้น จึงใช้ซึ่งจากตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง สำหรับแก้ปัญหาความขัดแย้งเชิงเทคนิคได้แสดงแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยได้เลือกข้อเสนอแนะ ข้อที่ 7 โดยการลดพื้นที่ของอุปกรณ์โดยการวางซ้อนกัน

ตารางที่ 3.3 หลักการเสนอแนะระหว่าง พื้นที่ของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่/ความยาวของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่

ความขัดแย้งทางเทคนิค	พิกัดในตารางแมทริกซ์	หลักการข้อที่เสนอแนะ	ชื่อของหลักการ
พื้นที่ของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่ / ความยาวของวัตถุซึ่งอยู่นิ่งกับที่	6 x 4	26	เลียนแบบ
		7	ซ้อนกัน
		9	กระทำการด้านทานก่อน
		39	สภาพแวดล้อมเฉื่อย

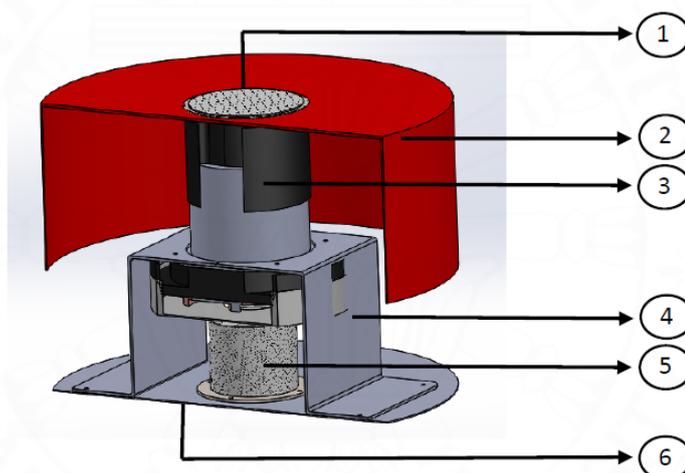
3.3 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ

จากข้อเสนอแนะของความขัดแย้งทางเทคนิคที่เกิดขึ้นในกระบวนการของทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นสามารถแบ่งการออกแบบออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ การออกแบบอุปกรณ์สำหรับสร้างลมดูด ไซโคลนและถังเก็บฝุ่น และการออกแบบอุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นเล็กจากหินเจียร์มือรายละเอียดแสดงในภาคผนวกข และการออกแบบการทำงานและการควบคุมรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.

3.3.1 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับให้แรงลมดูด

จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ตามข้อเสนอแนะของเมทริกซ์ความขัดแย้งระหว่าง ปัจจัยอันตราย/ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และพื้นที่ของวัตถุที่อยู่หนึ่งกับที่/ความยาวของวัตถุที่อยู่หนึ่งกับที่ งานวิจัยนี้ได้ทำงานเลือกข้อเสนอแนะข้อที่ 1 การแบ่งส่วนมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบการกรองอากาศแบบไซโคลนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังแสดงในภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5 แสดงภาพประกอบสามมิติของอุปกรณ์สำหรับให้แรงดูด

3.3.1.1 ส่วนสร้างแรงลมดูด ในการออกแบบส่วนสร้างแรงลมดูดสามารถแยกส่วนประกอบดังต่อไปนี้ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การออกแบบส่วนสร้างแรงลมดูด

- (1) ตะแกรงป้องกัน ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมจากใบพัดมอเตอร์
- (2) โคฟเวอร์ป้องกันด้านบน ทำหน้าที่ป้องกันประกายไฟจากการเชื่อม
- (3) มอเตอร์โบลเวอร์ ทำหน้าที่สร้างแรงดูดสำหรับอุปกรณ์
- (4) ขายึดมอเตอร์ ทำหน้าที่ยึดมอเตอร์เข้ากับเพลทกั้นห้องลม
- (5) กรองสแตนเลส 80 ไมครอน ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์จากฝุ่นเหล็ก
- (6) เพลทกั้นห้อง ทำหน้าที่กั้นห้องลมจากไซโคลน

3.3.1.2 ไซโคลนและถังเก็บฝุ่น

ในการออกแบบส่วนไซโคลนและถังเก็บฝุ่นสามารถแยกส่วนประกอบดังต่อไปนี้ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยจากตารางที่ 3.1 พบว่า อนุภาคฝุ่นเหล็กในแผนกเชื่อมโลหะ

มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ช่วง 0-300 ไมครอน งานวิจัยนี้เลือกใช้ไซโคลนที่มีลักษณะรูปทรงทางเลขาคณิตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กและเรียวลงเพื่อทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่มากขึ้น และจากรูปทรงเรขาคณิตของไซโคลนที่เลือกสามารถหาขนาดตัดอนุภาคจากสมการที่ (2) ได้ดังต่อไปนี้

โดยกำหนดให้

$\mu = 18.7 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ที่อุณหภูมิ 30°C , $W = 0.04 \text{ m}$, $Ne = 6$, $Vi = 34.2 \text{ m/s}$, $\rho_p = 5710 \text{ kg/m}^3$ และ $\rho_a = 1.164 \text{ kg/m}^3$

$$d_{p,c} = \left[\frac{9\mu W}{2\pi Ne Vi (\rho_p - \rho_a)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$d_{p,c} = \left[\frac{9(18.7 \times 10^{-6})(0.04)}{2\pi(6)(34.2)(5710 - 1.164)} \right]^{1/2}$$

$$d_{p,c} = \left[\frac{6.732 \times 10^{-6}}{7360457.203} \right]^{1/2}$$

$$d_{p,c} = 0.956 \times 10^{-6} \text{ m}$$

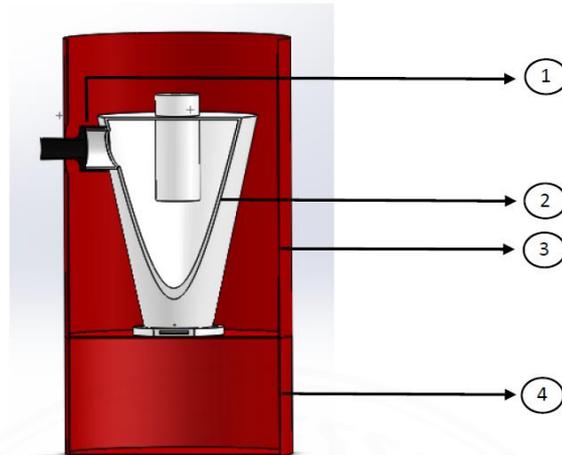
และนำค่าขนาดตัดอนุภาคแทนในสมการประสิทธิภาพการกักเก็บรวม

(1) โดยกำหนดให้ $d_{pi} = 300$ ไมครอน

$$n_i = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{p,c}}{d_{pi}} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

$$n_i = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.956 \times 10^{-6}}{300 \times 10^{-6}} \right)^2 \right]}$$

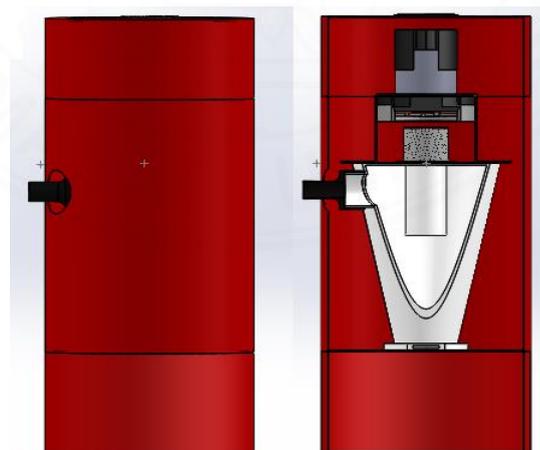
$$n_i = 0.9999 \text{ หรือ } 99.99\%$$



ภาพที่ 3.5 การออกแบบไซโคลนและถังเก็บฝุ่น

- (1) ข้อต่อลด ทำหน้าที่เชื่อมต่อเข้ากับท่อลมดูด
- (2) ไซโคลน ทำหน้าที่กรองฝุ่นเหล็ก
- (3) โคฟเวอร์ป้องกันไซโคลน ทำหน้าที่ป้องกันประกายไฟโดนไซโคลน
- (4) ถังเก็บฝุ่น ทำหน้าที่เก็บฝุ่นเหล็กจากไซโคลน

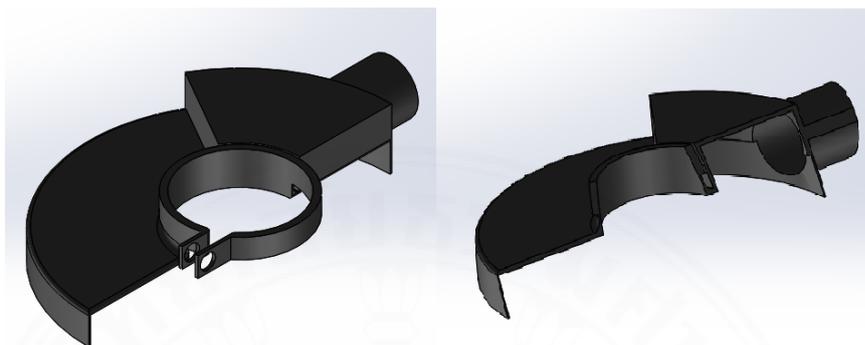
เมื่อนำการออกแบบในภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5 มาประกอบเข้าด้วยกัน เป็นโมเดลสามมิติสามารถแสดงในภาพที่ 3.6



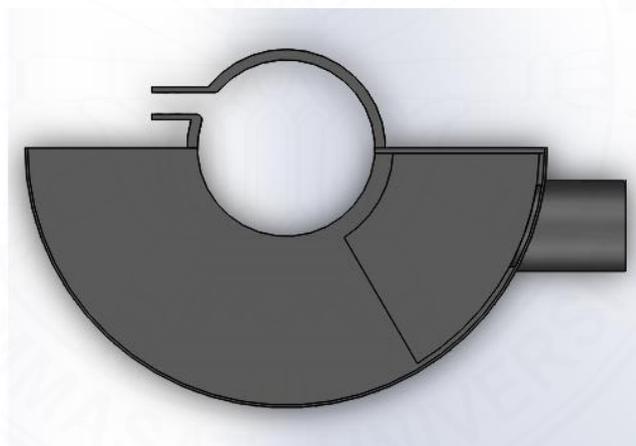
ภาพที่ 3.6 ภาพประกอบสามมิติและภาพตัดขวางอุปกรณ์ให้แรงลมดูด

3.3.1.3 อุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นเหล็กจากหินเจียร์มือ

งานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นเหล็กจากหินเจียร์มื่อดังแสดงใน ภาพที่ 3.7 และภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กด้านข้างและภาพตัดขวาง



ภาพที่ 3.8 การออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กมุมมองด้านล่าง

3.4 การเลือกวัสดุ

3.4.1 กำหนดความต้องการในการออกแบบ

ในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มื่อด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนได้กำหนดความต้องการในการออกแบบดังแสดงในภาพที่ 3.9

ข้อจำกัดในการออกแบบ

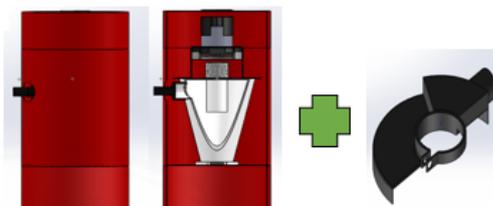
- สามารถรีไซเคิลได้
- น้ำหนักเบา

วัตถุประสงค์

- ต้นทุน
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การใช้งานรีไซเคิลในปัจจุบัน

วัสดุที่มีคุณสมบัติ

- อุณหภูมิในการทำงาน
- ความเหนียวแตกหัก
- ไม่เป็นสนิม



ภาพที่ 3.9 ความต้องการในการออกแบบ

3.4.2 แปลความหมายความต้องการในการออกแบบ

จากภาพที่ 3.9 สามารถแปลความหมายความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน คือ อุปกรณ์สามารถทนประกายไฟที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิ 100 องศา มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิม น้ำหนักเบา และสามารถรีไซเคิลตัวอุปกรณ์ได้

3.4.3 การคัดกรองจากข้อจำกัด

จากข้อจำกัดในการออกแบบสามารถคัดกรองวัสดุที่อาจนำมาใช้ในการจัดทำต้นแบบของอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนโดยมีข้อมูลจากตารางคุณสมบัติของวัสดุในการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การคัดกรองวัสดุจากข้อจำกัดในการออกแบบและคุณสมบัติของวัสดุ

Material	General properties	Mechanical properties	Thermal properties	Eco-property material	End of life	
	Price (USD/kg)	Fracture toughness ($MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}$)	Max service temp ($^{\circ}C$)	Eco-indicator(mPts)	Co2 foot print recycling (kg/kg)	Recycle fraction in current supply (%)
Low carbon steel	0.68-0.74	41-82	350-400	106	0.4-0.48	40-44
Stainless steel	8.2-9.1	62-150	750-820	310	0.65-0.8	35-40
Aluminum alloys	2.4-2.7	22-35	120-200	710	1.9-2.3	41-45
Polyamide (Nylons,PA)	3.9-4.3	2.2-5.6	110-140	495	2.31-2.8	0.5-1
Polypropylene (PP)	1.85-2.05	3-4.5	100-115	254	2.0-2.2	5-6
Polyethylene(PE) HDPE/LDPE	1.7-1.9	1.4-1.7	90-110	287	2.7-3.0	8-9.5
Polycarbonate (PC)	3.8-4.2	2.1-4.6	101-144	463	2.3-2.8	0.5-1
Polystyrene (PS)	2.1-2.3	0.7-1.1	76.9-103	320	2.6-3.1	5-6

ที่มา :ดัดแปลงจาก Michale F.Ashby, 2013, หน้า459-511.

3.4.4 การจัดอันดับวัสดุโดยใช้คุณสมบัติวัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์

สามารถแบ่งกลุ่มแสดงการจัดอันดับจากวัสดุได้เป็นสองกลุ่มและมีเกณฑ์การจัดอันดับตามคุณสมบัติและวัสดุตามวัตถุประสงค์ คือ อุณหภูมิในการทำงาน ความเหนียวไม่แตกหัก ไม่เป็นสนิม ราคาถูก ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการใช้งานรีไซเคิลในปัจจุบัน

3.4.4.1 กลุ่มโลหะ

ใช้วัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์ สามารถแสดงการจัดอันดับของวัสดุที่จะใช้งานวิจัยนี้ดังในภาพที่ 3.10

:ราคา

No	Material	Price (USD/kg)
1	Low carbon steel	0.68-0.74
2	Aluminum alloys	2.4-2.7
3	Stainless steel	8.2-9.1

:ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

No	Material	Eco-indicator(mPts)
1	Low carbon steel	106
2	Stainless steel	310
3	Aluminum alloys	710

:การใช้งานรีไซเคิลในปัจจุบัน

No	Material	Recycle fraction in current supply (%)
1	Aluminum alloys	41-45
2	Low carbon steel	40-44
3	Stainless steel	35-40

ภาพที่ 3.10 การจัดอันดับโดยใช้วัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์ (กลุ่มโลหะ)

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตเป็นอันดับแรกในการอัปไซเคิลวัสดุเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยโรงงานกรณีศึกษามีการใช้งาน Low carbon steel และ Stainless steel จึงได้เลือกวัสดุดังกล่าวมาทำอุปกรณ์ต้นแบบอีกทั้งในแง่ของ Eco-indicator วัสดุ Low carbon steel และ Stainless steel ยังมีคะแนนที่น้อยกว่า Aluminum alloys และการป้องกันการแตกหักวัสดุทั้งสองที่เลือกยังมีค่าที่มากกว่า Aluminum alloys

3.4.4.2 กลุ่มพลาสติก

ใช้วัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์ สามารถแสดงการจัดอันดับของวัสดุที่จะใช้งานวิจัยนี้ดังในภาพที่ 3.11

:ราคา

No	Material	Price (USD/kg)
1	Polyethylene(PE) HDPE/LDPE	1.7-1.9
2	Polypropylene (PP)	1.85-2.05
3	Polystyrene (PS)	2.1-2.3
4	Polycarbonate (PC)	3.8-4.2
5	Polyamide (Nylons,PA)	3.9-4.3

:ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

No	Material	Eco-indicator (mPts)
1	Polypropylene (PP)	254
2	Polyethylene(PE) HDPE/LDPE	287
3	Polystyrene (PS)	320
4	Polycarbonate (PC)	463
5	Polyamide (Nylons,PA)	495

:การใช้งานรีไซเคิลในปัจจุบัน

No	Material	Recycle fraction in current supply (%)
1	Polyethylene(PE) HDPE/LDPE	8-9.5
2	Polypropylene (PP)	5-6
3	Polystyrene (PS)	5-6
4	Polycarbonate (PC)	0.5-1
5	Polyamide (Nylons,PA)	0.5-1

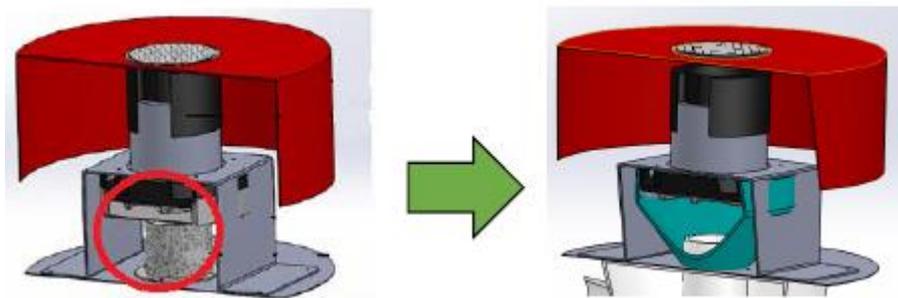
ภาพที่ 3.11 การจัดอันดับโดยใช้วัสดุประสงค์เป็นเกณฑ์ (กลุ่มพลาสติก)

ในกรณีพลาสติกไม่มีวัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ภายในโรงงานกรณีศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกจากเกณฑ์ราคา และการใช้งานหมุนเวียนวัสดุรีไซเคิล พบว่า Polyethylene (PE) HDPE/LDPE อยู่ในอันดับต้นของเกณฑ์การประเมินจึงได้เลือกวัสดุดังกล่าวมา ทำอุปกรณ์ต้นแบบ

3.5 จัดทำอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนต้นแบบ

3.5.1 ส่วนสร้างลมดูด และชุดอุปกรณ์ควบคุม

3.5.1.1 ส่วนสร้างลมดูด จากการออกแบบหัวข้อ 3.3.1.1 ส่วนสร้างลมดูด ได้มีการปรับเปลี่ยนในส่วนของกรองสแตนเลสออกและเปลี่ยนเป็นข้อต่อลด pvc เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับช่องทางออกของไซโคลนเข้ากับ มอเตอร์โบลเวอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.12 และแสดงชิ้นงานต้นแบบ ส่วนสร้างแรงลมดูดในภาพที่ 3.13

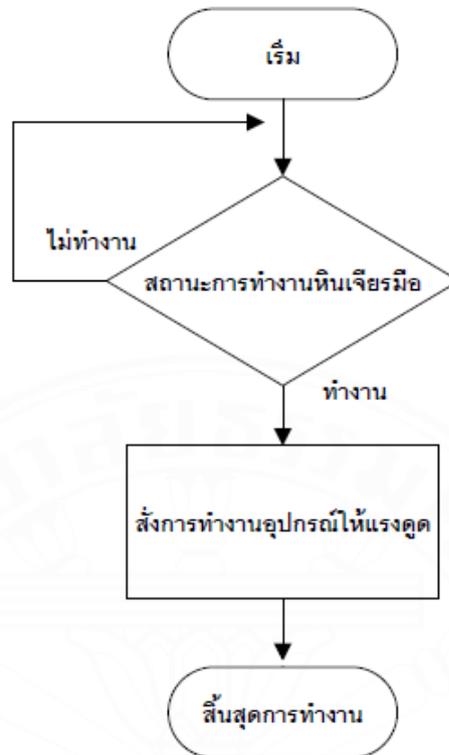


ภาพที่ 3.12 การปรับปรุงส่วนสร้างแรงลมดูด



ภาพที่ 3.13 ชิ้นงานต้นแบบส่วนสร้างแรงลมดูด

3.5.1.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการทำงานของ อุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือโดยเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานด้วยภาษา C++ โดยเริ่มที่มีการ ตรวจสอบการทำงานของหินเจียร์มือไฟฟ้าว่ามีสถานะการทำงานหรือไม่โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับการ ไหลของกระแสไฟฟ้าและอ่านค่าโวลต์หรือภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ออกมาและประมวลผลด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์หากภาระทางไฟฟ้ามีมากกว่า 2 แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการเปิด การทำงานของรีเลย์ไฟฟ้าเพื่อเปิดการทำงานของมอเตอร์ให้แรงดูดของอุปกรณ์ดังแสดงในผังการ ทำงานในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ผังการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต้นแบบ

3.5.1.3 ส่วนประกอบอุปกรณ์ชุดควบคุม

โดยสามารถแยกส่วนประกอบหลักของชุดควบคุมออกเป็นส่วประกอบ
ได้ 3 ส่วนหลักดังแสดงในภาพที่ 3.15 ดังนี้



ภาพที่ 3.15 อุปกรณ์ควบคุมต้นแบบ

(1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมและประมวลผลการทำงาน ของระบบโดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO มาใช้ในการทำต้นแบบ

(2) วงจรเสริมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ วงจรไฟฟ้าที่ออกแบบมาให้ สอดคล้องกับการทำงานของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย ชุดแปลงแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ ทำหน้าที่ แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vac เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 Vdc, รีเลย์ควบคุม ทำหน้าที่เปิดหน้าสัมผัสให้กับชุดปรับแรงดันไฟฟ้า และเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่อ่านภาระทางไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับเต้ารับไฟฟ้า

(3) ชุดปรับแรงดันไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าผ่านค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงของตัวต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันตามที่ต้องการตั้ง

3.5.2 ไชโคลนและถังเก็บฝุ่น

จากการออกแบบในหัวข้อ 3.3.1.2 ไชโคลนและถังเก็บฝุ่นแสดงในภาพที่ 3.16 ทางด้านซ้ายเปรียบเทียบกับชิ้นงานต้นแบบทางด้านขวา



ภาพที่ 3.16 ไชโคลนและถังเก็บฝุ่นต้นแบบ

3.5.3 อุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นหลักสำหรับหินเจียร์มือ

จากหัวข้อ 3.3.1.3 ในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นหลักสำหรับหินเจียร์มือ งานวิจัย จากการออกแบบดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้เลือก เซฟการ์ด ของหินเจียร์มือไฟฟ้ามาทำการ ปรับปรุงโดยมีการปรับปรุงในส่วนปลายของ เซฟการ์ดให้เปิดออกเพื่อคายอนุภาคขนาดใหญ่ที่เกิด จากการเจียร์และประกายไฟที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 อุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กจากหินเจียรมือต้นแบบ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของลม

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและขอบเขตงานวิจัยในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.2 และ 1.3 ประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลน และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในหัวข้อที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ สามารถแบ่งผลการทดสอบออกเป็นสองหัวข้อคือ ความเร็วลม และ อัตราการไหลของลม วัดผลด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-48SD ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และทำการวัดผลความเร็วลมและอัตราการไหลของลมที่อุปกรณ์สำหรับดูดฝุ่นหลัก สำหรับหินเจียร์มือโดยมีระยะห่างระหว่างจุดตรวจวัดและช่องทางเข้าลมของไซโคลนเท่ากับ 1 เมตร



ภาพที่ 4.1 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-48SD

4.1.1 ความเร็วลม

ความเร็วลมของชิ้นงานต้นแบบสามารถวัดค่าได้ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ในหน่วยของ เมตร/วินาที



ภาพที่ 4.2 ผลการวัดความเร็วลม

จากภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของลมเท่ากับ 34.2 เมตร/วินาที

4.1.2 อัตราการไหลของลม

อัตราการไหลของลมของชิ้นงานต้นแบบสามารถวัดค่าได้ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ในหน่วยการวัด CMM (Cubic Meters per Minute) หรือลูกบาศก์เมตร/นาที



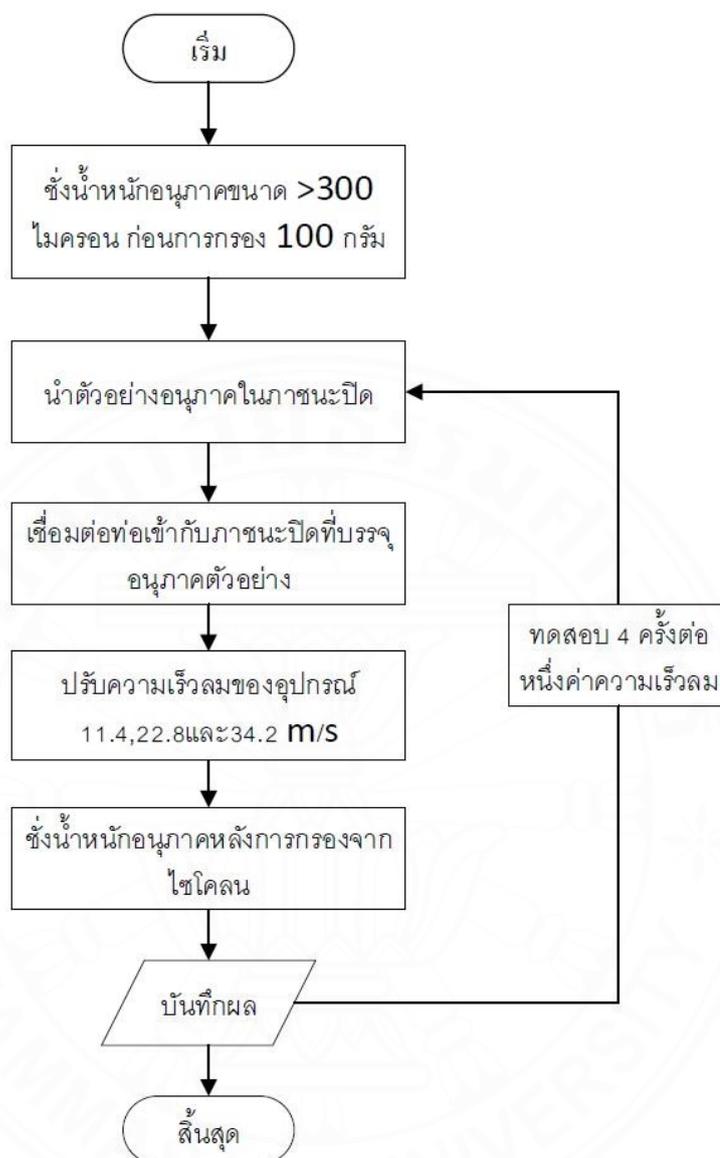
ภาพที่ 4.3 ผลการวัดอัตราการไหลของลม

จากภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของลมเท่ากับ 1.578 ลูกบาศก์เมตร/นาทีย ซึ่งสามารถแปลงหน่วยให้ตรงตามขอบเขตงานวิจัย เท่ากับ 1578 ลิตร/นาทีย

4.2 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงเป็นผังการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ผังดำเนินงานการทดลองอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือ

จากภาพที่ 4.4 (1) ทำการชั่งน้ำหนักอนุภาคผงเหล็กขนาดน้อยกว่า 300 ไมครอน ก่อนการกรองโดยกำหนดน้ำหนัก 100 กรัม (2) นำอนุภาคผงเหล็กที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในภาชนะปิด (3) เชื่อมท่อลมดูดเข้ากับภาชนะปิดที่ใส่อนุภาคผงเหล็ก (4) ปรับความเร็วลมช่องทางเข้าของอุปกรณ์ให้แรงลมดูดให้มีค่าเท่ากับ 11.4, 22.8 และ 34.2 m/s ตามลำดับ (5) ชั่งน้ำหนักอนุภาคหลังการกรองผ่านไซโคลน (6) บันทึกผลน้ำหนักของอนุภาคหลังการกรอง (7) ทำการทดลองซ้ำกับอนุภาค 4 รอบต่อหนึ่งความเร็วลมช่องทางเข้า

4.2.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าคำนวณ ประสิทธิภาพการกักเก็บรวมต่อปริมาณน้ำหนักหลังการกรองของไซโคลนดังแสดงในตารางที่ 4.1

โดยกำหนดตัวแปรในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการกักเก็บรวม ดังต่อไปนี้

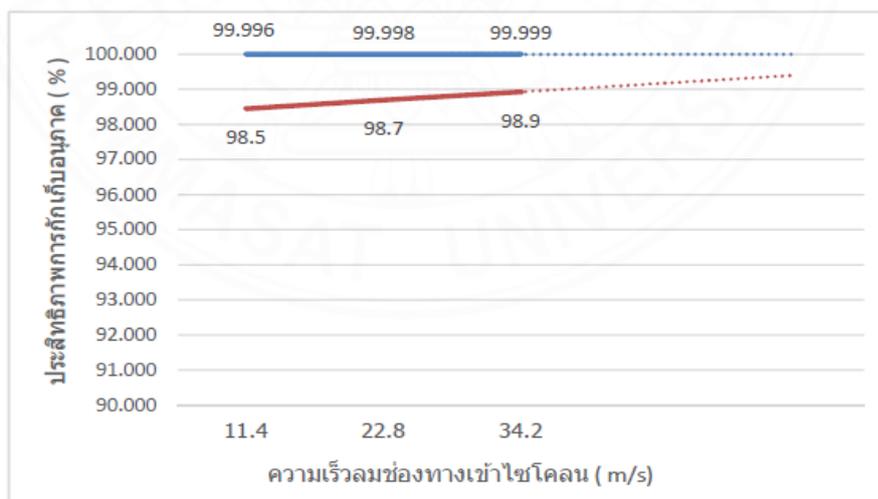
$\mu = 18.7 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 0.04\text{ m}$, $N_e = 6$, $V_i = 11.4, 22.8$ และ 34.2 m/s , $\rho_p = 5710\text{ kg/m}^3$ และ $\rho_a = 1.164\text{ kg/m}^3$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาค

ความเร็วลมช่องทางเข้า (m/s)	ประสิทธิภาพการกักเก็บจากการคำนวณ		น้ำหนักหลังผ่านการกรอง (g)				น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ผลการทดลอง ประสิทธิภาพ (%)
	ขนาดตัดอนุภาค (um)	ประสิทธิภาพ (%)	การทดลองครั้งที่					
			1	2	3	4		
11.4	1.65	99.996	98.2	98.4	98.1	99.1	98.5	98.5
22.8	1.17	99.998	98.4	98.6	99.1	98.7	98.7	98.7
34.2	0.96	99.999	98.3	98.8	99.2	99.4	98.9	98.9

4.3 การอภิปรายผล

จากตารางที่ 4.1 สามารถเปรียบเทียบการคำนวณประสิทธิภาพการกรองอนุภาคต่อผลการทดลองได้ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟการเปรียบเทียบการคำนวณประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคและผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 รายการวัสดุในการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ

ลำดับ	รายการวัสดุ	ประเภทวัสดุ	จำนวน	รีไซเคิล	รีไซเคิล
1	ถังน้ำมัน 20 ลิตร	Low carbon steel	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	เซฟการ์ดหินเจียร์มือไฟฟ้า 7 นิ้ว	Low carbon steel	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	ฝาตะแกรงพัดลม 4.5 นิ้ว	Stainless steel	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	น็อตตัวผู้ ขนาด 4 มม.	Stainless steel	14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	น็อตตัวเมีย ขนาด 4 มม.	Stainless steel	14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	น็อตเกลียวปสลอย	Stainless steel	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	เพลทกันห้อง	Stainless steel	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	ขายึดมอเตอร์	Stainless steel	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	ไซโคลน	HDPE	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	อะแดปเตอร์เครื่องดูดฝุ่น 30 มม.	PVC	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	เทอร์มินอล	PVC	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	สวิตช์ไฟกันฝุ่น	PVC	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Copper			
12	ท่อเครื่องดูดฝุ่น	EVA	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	มอเตอร์	Low carbon steel	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Magnet			
		Copper			
14	Arduino UNO R3	RoHs	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	บอร์ดเสริม Arduino	RoHs	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
รวม			45	5	45

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าคำนวณประสิทธิภาพการกรองอนุภาคและผลการทดลองการกรองอนุภาคที่ขนาดเล็กกว่า 300 ไมครอนมีค่า %error เท่ากับ 1.57, 1.31 และ 1.08% ตามลำดับ โดยค่าการกรองอนุภาคของอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.5, 98.7, และ 98.9% จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือด้วยระบบดักจับฝุ่นแบบไซโคลนต้นแบบมีประสิทธิภาพน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี สาเหตุเกิดจากค่าตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง คือ อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้นระหว่างการทดลอง ส่งผลให้ค่าความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าที่กำหนดในสูตรคำนวณ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของอุปกรณ์ต้นแบบต่ำกว่าค่าที่คำนวณจากทฤษฎี และจากตารางที่ 4.2 ตามแนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือต้นแบบใช้วัสดุจำนวน 45 ชิ้นโดยวัสดุทั้งหมดเป็นวัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้และเป็นวัสดุรีไซเคิลจากของเสียในกระบวนการผลิตจำนวน 5 ชิ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียร์มือต้นแบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สรุปผลได้ว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีประสิทธิภาพตามขอบเขตงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ คือ 1) สามารถใช้ร่วมกับหินเจียรมือไฟฟ้าภายในโรงงานกรณีศึกษา 2) สามารถกรองฝุ่นในอากาศที่มีขนาดน้อยกว่า 500 ไมครอน 3) มีอัตราการไหลผ่านของลมมากกว่า 30 ลิตร/นาที 4) วัสดุที่ใช้ในการทำชิ้นงานต้นแบบสามารถรีไซเคิลได้มากกว่า 90% และ 5) มีประสิทธิภาพการกักเก็บรวมมากกว่า 90% ตามน้ำหนักอนุภาคที่ใช้ทำการทดสอบ

ในการเลือกวัสดุสำหรับจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบตามแนวทางการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ วัสดุรีไซเคิลจากกระบวนการผลิตคิดเป็น 11.1% และวัสดุทั้งหมดสามารถรีไซเคิลได้คิดเป็น 100% ของวัสดุทั้งหมดซึ่งตรงตามขอบเขตงานวิจัยที่กำหนดไว้ คือ อุปกรณ์ใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในด้านโครงสร้างของอุปกรณ์ควรเพิ่มความหนาเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทนแรงลมดูดหรือแรงสุญญากาศโดยไม่เสียรูป ถึงเก็บอนุภาคควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวครอบ (cover) ป้องกันไซโคลนเพื่อไม่ให้เกิดแรงสุญญากาศขึ้นในถังและเพิ่มพื้นที่ส่งผ่านอนุภาคให้มีความครอบคลุมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางของใบเจียรเพื่อเพิ่มความสามารถในการพาอนุภาคเข้าสู่ไซโคลน นอกจากนี้อุปกรณ์ต้นแบบสามารถปรับปรุงในด้านวิธีการยึดติดกันของชิ้นงานโดยใช้สแนปล็อกเพื่อความง่ายในการประกอบแทนการใช้สกรูยึด ซึ่งจะช่วยลดจำนวนชิ้นส่วนลงได้ นอกจากนี้ในอนาคตสามารถพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถปรับความเร็วลมเข้าโดยอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดอนุภาคเป้าหมายในการกักเก็บ ซึ่งจะช่วยในการประหยัดพลังงาน

5.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม

สำหรับการออกแบบและทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือเป็นการออกแบบเพื่อใช้งานในลักษณะอุปกรณ์ส่วนบุคคลสามารถประยุกต์ใช้หลักการในการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 อุปกรณ์ให้ลมดูดและไซโคลน

5.3.1.1 อุปกรณ์สร้างลมดูด ในการใช้งานในพื้นที่ปฏิบัติงานจริงในภาคอุตสาหกรรมควรกำหนดอุปกรณ์ให้แรงลมดูดสามารถครอบคลุมพื้นที่การทำงานโดยมีความเร็วลมที่เหมาะสมในการพาอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการเจียรชิ้นงานเข้าสู่ระบบการกรองอนุภาคเพื่อลดจำนวนของอุปกรณ์ลงและทำให้มีพื้นที่การทำงานที่สะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน

5.3.1.2 ไซโคลน เช่นเดียวกับอุปกรณ์ให้แรงลมดูดควรออกแบบให้สอดคล้องกับพื้นที่ปฏิบัติงานโดยอาจแบ่งเป็นโซนพื้นที่การทำงานและใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและทนต่อสภาพอากาศการเกิดออกไซด์บนผิวของไซโคลนได้ดีเช่นสแตนเลสสตีลเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ เป็นต้น

5.3.2 อุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือ

ในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมควรออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือให้ไม่ส่งผลกระทบต่ออาการเคลือบผิวของผู้ปฏิบัติงานเพื่อรองรับชิ้นงานที่มีความหลากหลายในกระบวนการผลิตทั้งนี้สามารถออกแบบโดยการตัดชิ้นส่วนสายดูดฝุ่นออกและเปลี่ยนเป็นฉากตะแกรงหรือห้องที่สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ให้ลมดูดเพื่อนำพาอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการเจียรชิ้นงานไปยังไซโคลนแทนสายลมดูด

5.3.3 การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม

ตัวอย่างการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบของงานวิจัยนี้ที่ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรปรับแรงดันในการควบคุมอุปกรณ์สามารถประยุกต์ใช้เข้ากับอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศผ่านการประมวลผลจาก พี.แอล.ซี ที่ทำการตรวจสอบการใช้งานของหินเจียรมือ กล่าวคือ สามารถใช้ พี.แอล.ซี ประมวลผลว่ามีการใช้งานหินเจียรมือไฟฟ้าอยู่หรือไม่ ถ้ามีการใช้งานมีการใช้งานอยู่จำนวนเท่าใด และทำการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อปรับความเร็วลมให้เหมาะสมกับต่ออนุภาคที่เกิดขึ้นเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการใช้งาน

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

จากการทดลองประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของอุปกรณ์ดูดฝุ่นสำหรับหินเจียรมือเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการคำนวณประสิทธิภาพการกักเก็บต่อน้ำหนักของอนุภาคฝุ่นเหล็กหลังผ่านการกรอง พบว่าข้อมูลที่นำมาใช้เป็นค่าตัวแปรในการคำนวณประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาค

เช่นค่า ความหนืดของอากาศ และความหนาแน่นของอากาศ แปรผันตรงกับอุณหภูมิซึ่งขณะทำการทดลองไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นให้มีความคงที่ได้ จึงส่งผลให้ค่าคำนวณประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคต่อน้ำหนักอนุภาคหลังผ่านการกรองของไซโคลนไม่ตรงกันแต่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงตามที่คำนวณ



รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- สกอตต์ ดี.. (2563) คู่มือสร้างนวัตกรรมใน 4 สัปดาห์ (ณัฐยา สิ้นตระการผล). กรุงเทพฯ:บริษัท เอ็กซ์เพอร์เน็ท จำกัด. (ต้นฉบับพิมพ์ปี 2012).
- ผศ.หาญพล พึ่งรัมย์. (2559) การประเมินวัฏจักรชีวิต หลักการและการประยุกต์ใช้ ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ผศ.ไตรสิทธิ์ เบญจบุญยสิทธิ์. (2552).เรียนรู้ความคิดสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ: เอดิสันเพรสโปรดักส์.
- ชูเลียง เลพ. (1997). TRIZ 40 หลักการสร้างสรรค์นวัตกรรม (ปัญญา ผลอนันต์,วีชร ดิสสะมาน, และ ผศ.วิเชียร เบญจวัฒนาผล,ผู้แปล). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2545.
- Ashby, M.F. (2013) Materials and the environment U.S.A.:Butterworth-Heinemann.

บทความวารสาร

- รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง. (2563). “ไซโคลน” เครื่องมือคัดแยกฝุ่นในภาคอุตสาหกรรม. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24(ฉบับที่4).
- สุทิน พลบูรณ์. (2559). อิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพของไซโคลนดักฝุ่นละออง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 23(3), 56-63.
- G. Singh, D. Saini & L. Chandra. (2016). On the evaluation of a cyclone separator for cleaning of open volumetric air receiver. Applied Thermal Engineering. 97, 48-58. doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.10.087
- J. Gimbun, Thomas S.Y. Choong, A.Fakhru’L-Rali & T.G. Chuah. (2004). PREDICTION OF THE EFFECT OF DIMENSION, PARTICLE DENSITY, TEMPERATURE, AND INLET VELOCITY ON CYCLONE COLLECTION EFFICIENCY. Jurnal Teknologi, 40(F), 37-50.
- Lapple, C.E.(1950). Gravity and centrifugal separation. Ind. Hyg. Quart. 11: 40-48.
- M. Mofarrach, P. Chen, Z. Liu & K. Yan. (2019). Performance comparison between micro and electro micro cyclone. 101, 103368.doi:10.1016/j.elstat.2019.103368

- P.A. Funk, K.D. Baker. (2013) Dust Cyclone Technology. *Journal of Cotton Science*, 17, 40-51.
- P. Kantare, A. Krupan, A. Dewaathale & A.S. Dalkilic. (2021). CFD analysis of cyclone separator used for fine filtration in separation industry. *Case Studies in Thermal Engineering*. 28, 101384. doi:10.1016/j.csite.2021.101384
- Shepperd, G. B., Lapple, C.E.(1939). Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. *Industrial and Engineering Chem. Res.* 31: 972-984.
- Theodore, L., De Paola, V. (1980). Predicting cyclone efficiency. *J. Air Pollution Control Assoc.* 30 (10): 1132-1133.
- Yuhei, K, Takayuki, H., Yoshinari, Y. and Keishi, T. Investigation on dust collection and particle classification performance of cyclone by airflow control for design of cyclone. *Power Technology*, 2015; 277: 22-35.

วิทยานิพนธ์

- พิพัฒน์พงศ์ กอบกู้ไพบูลย์กิจ. (2556). การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดฝักอ่อนแปรรูปบรรจุขวดโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม.
- ศิริกุล ฌ น่าน. (2556). การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เลนส์พลาสติกชนิดกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาการพัฒนางานอุตสาหกรรม.
- เมสันต์ สังขมณี. (2552). สมรรถนะการดักจับอนุภาคแอโรโซลของอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยไซโคลนและแผ่นกรอง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิทยาศาสตร์, สาขาเคมีเชิงฟิสิกส์.
- Khairul M.K.. (2017). Development of integrated systematic approach co design for complex products. (Unpublished doctor's thesis). Univer: Malaysia, Faculty of the Engineering.
- F. Paul. (2010). A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF PHILOSOPHY. (Unpublished master's thesis). University of Bath, Faculty of Mechanical Engineering.

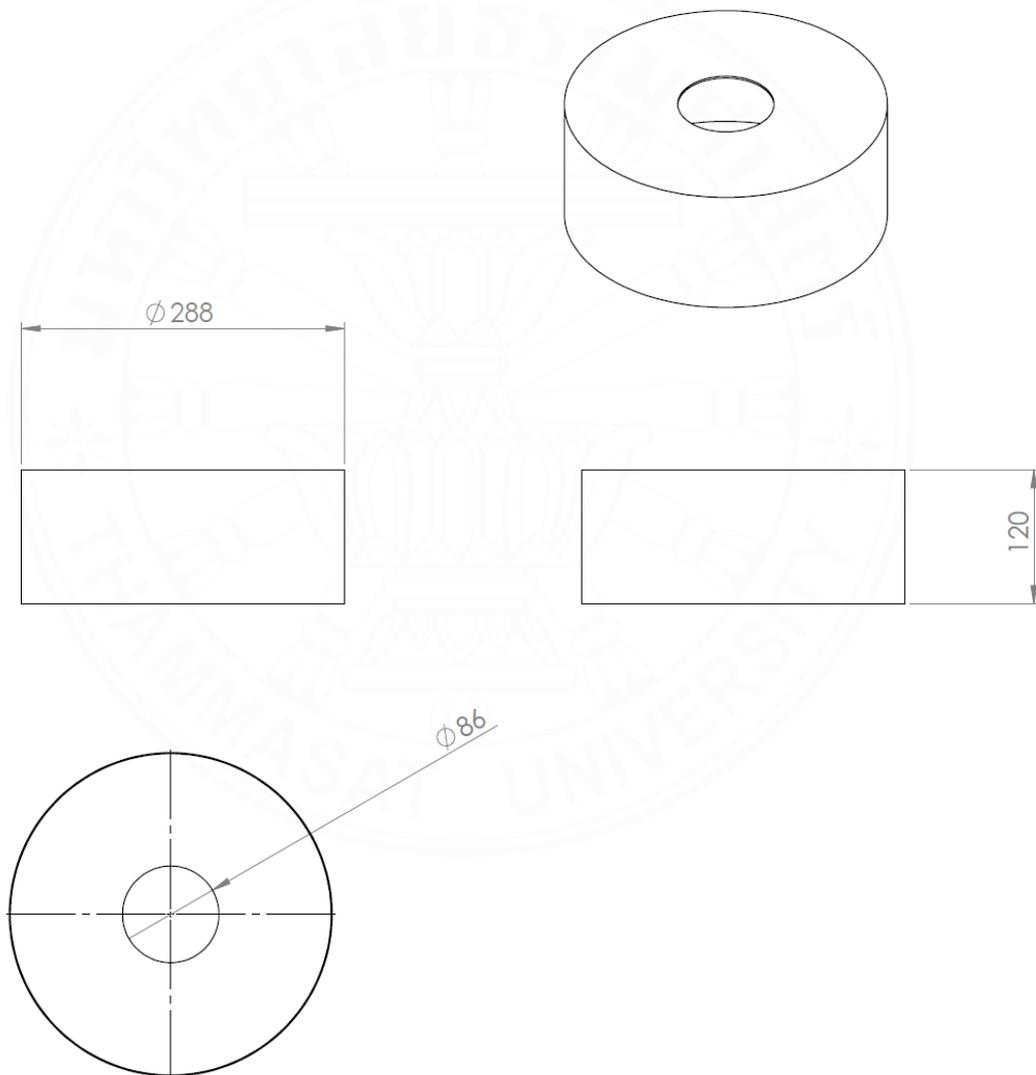


ภาคผนวก

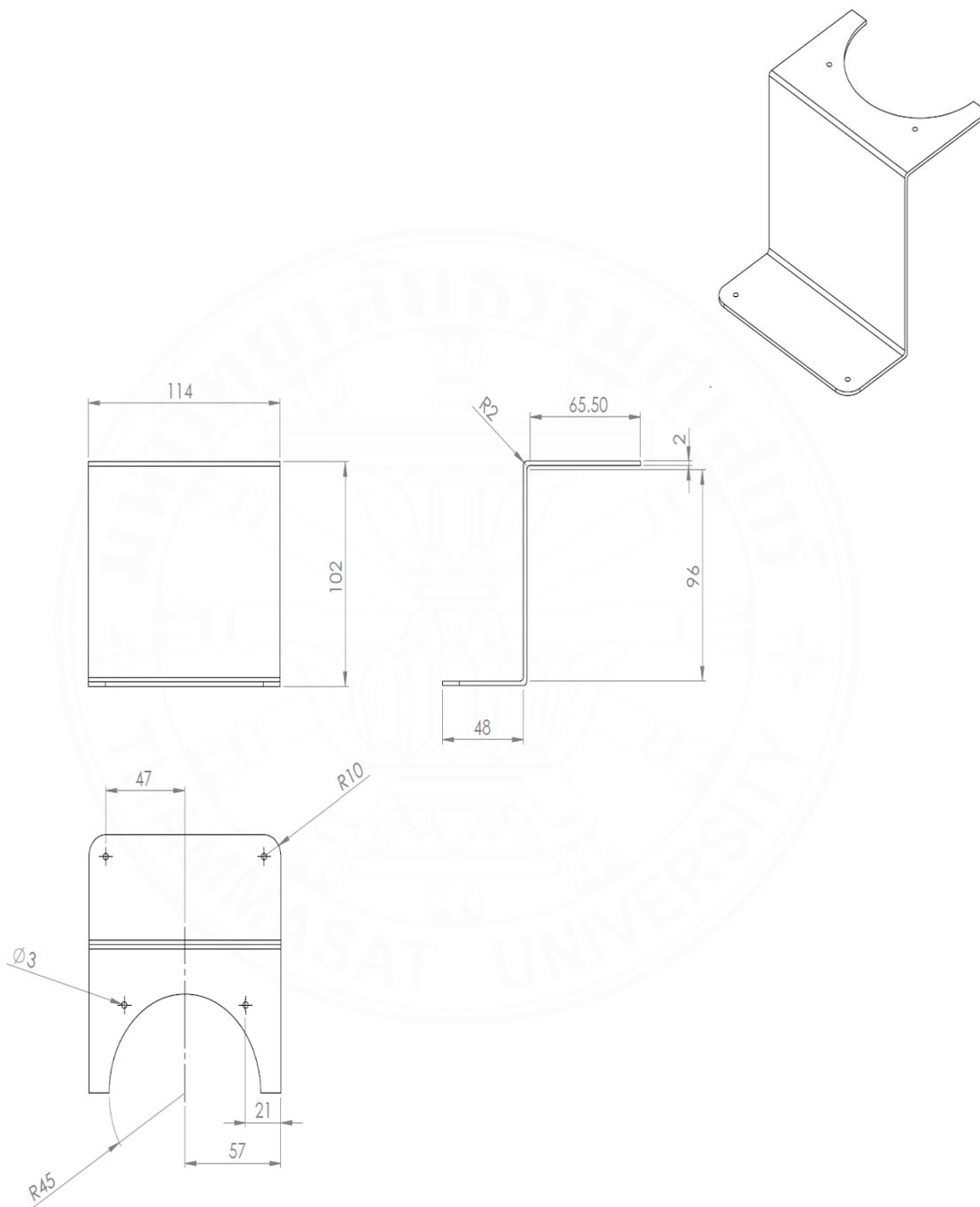
ภาคผนวก ข
แบบโครงสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ

1. อุปกรณ์สำหรับสร้างลมดูด

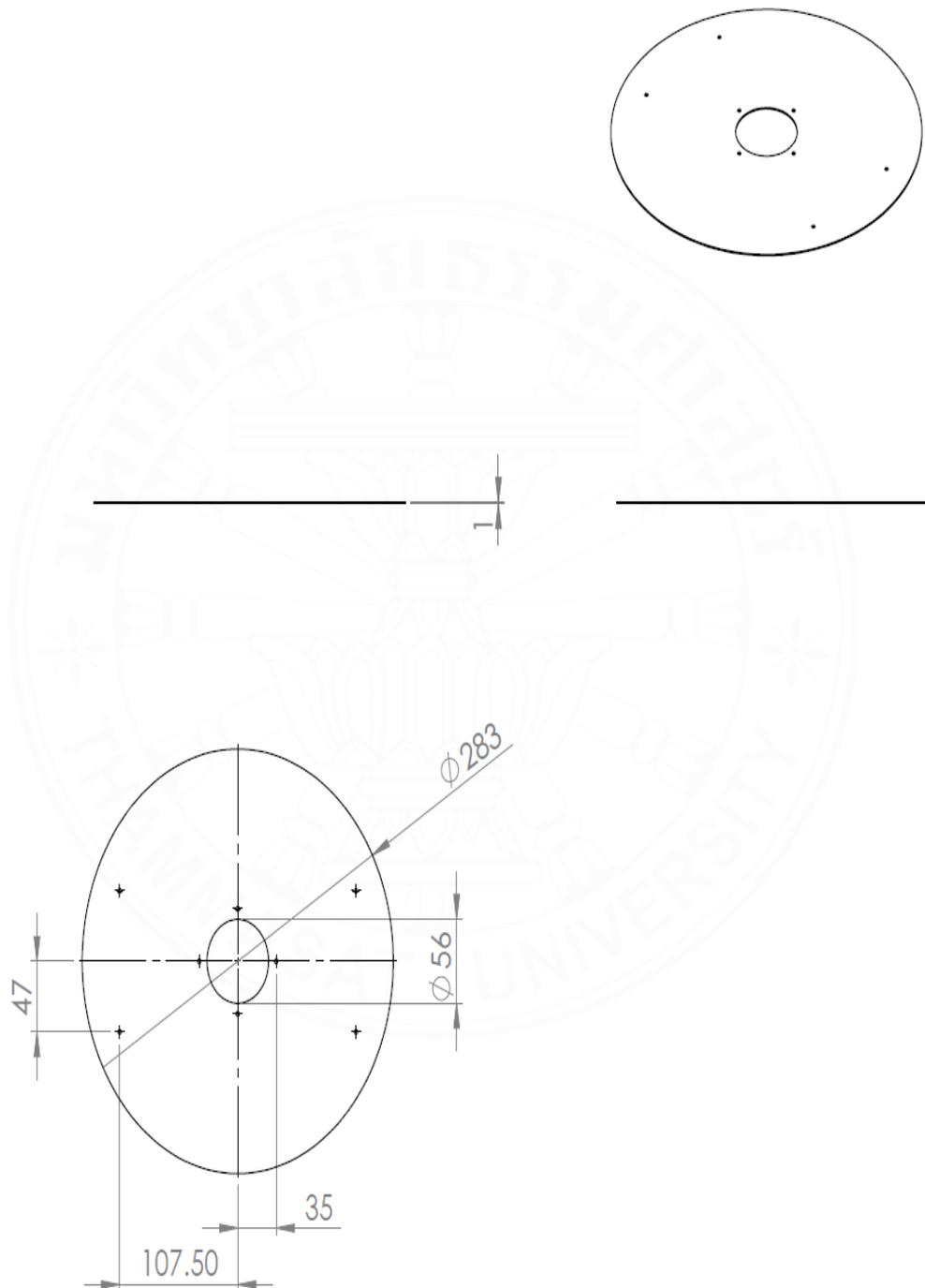
1.1 โคมไฟเวอร์ป้องกันด้านบน



1.2 ขายึดมอเตอร์

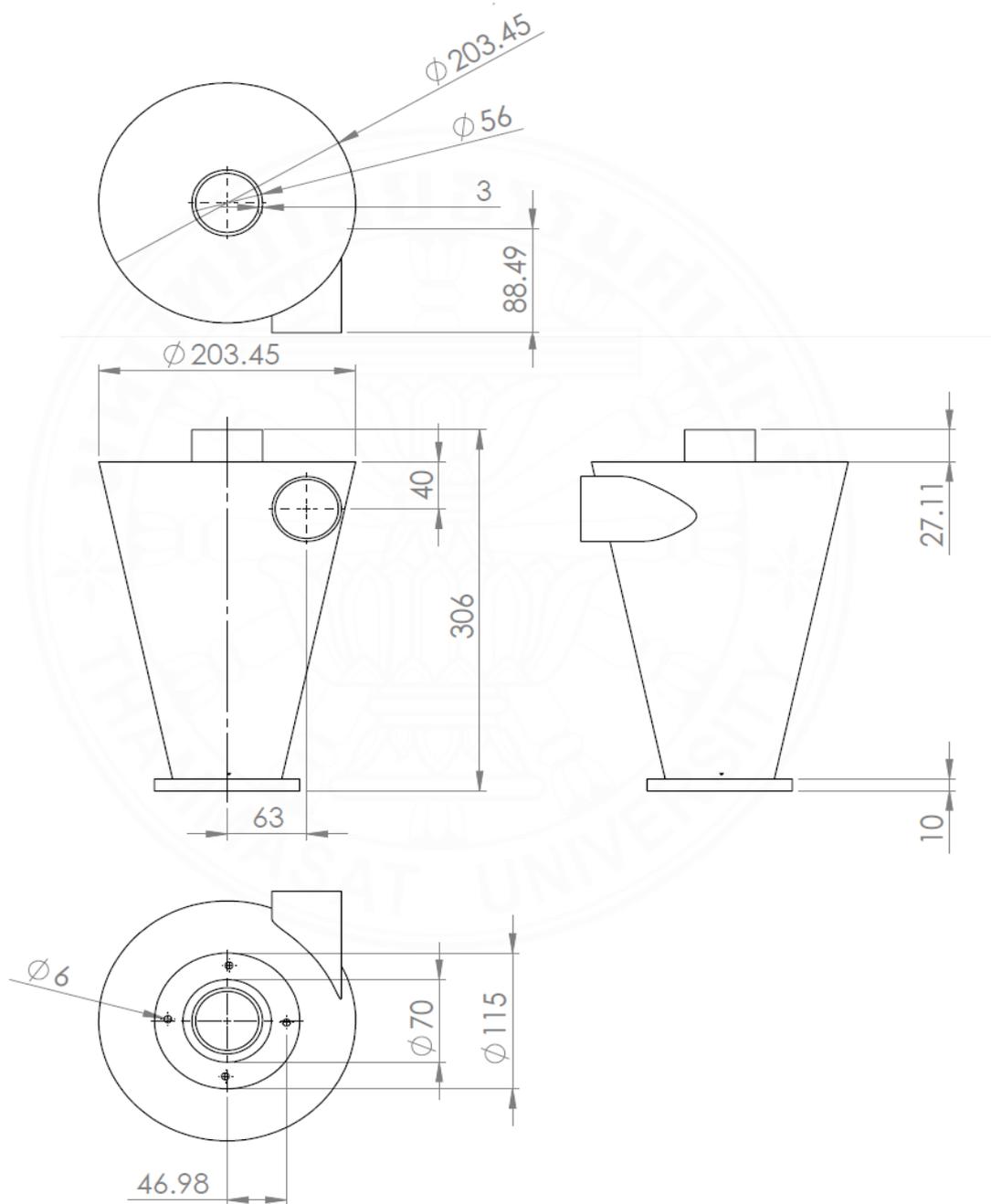


1.3 เพลตกันห้อง

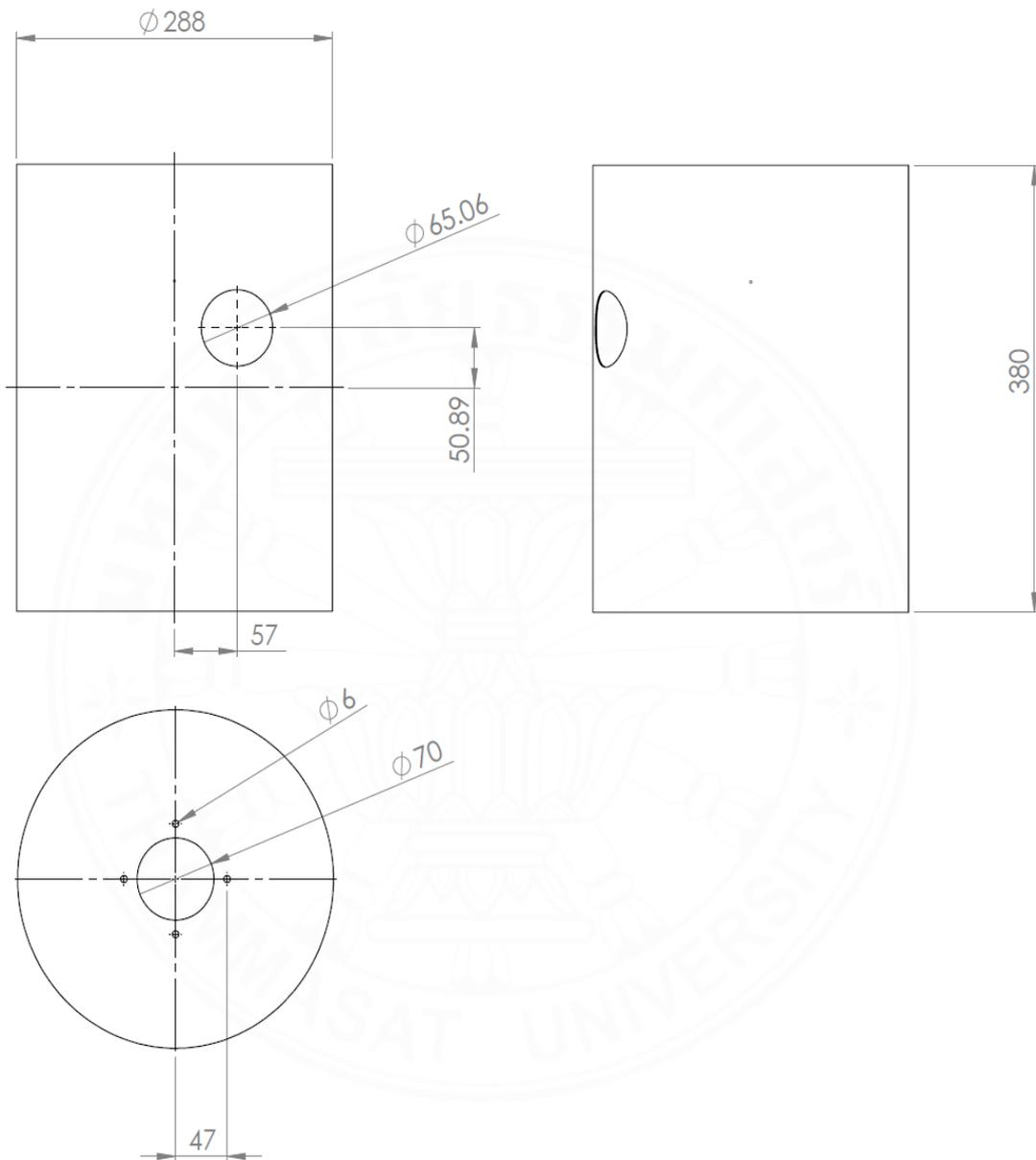


2. ไชโคลนและถังเก็บฝุ่น

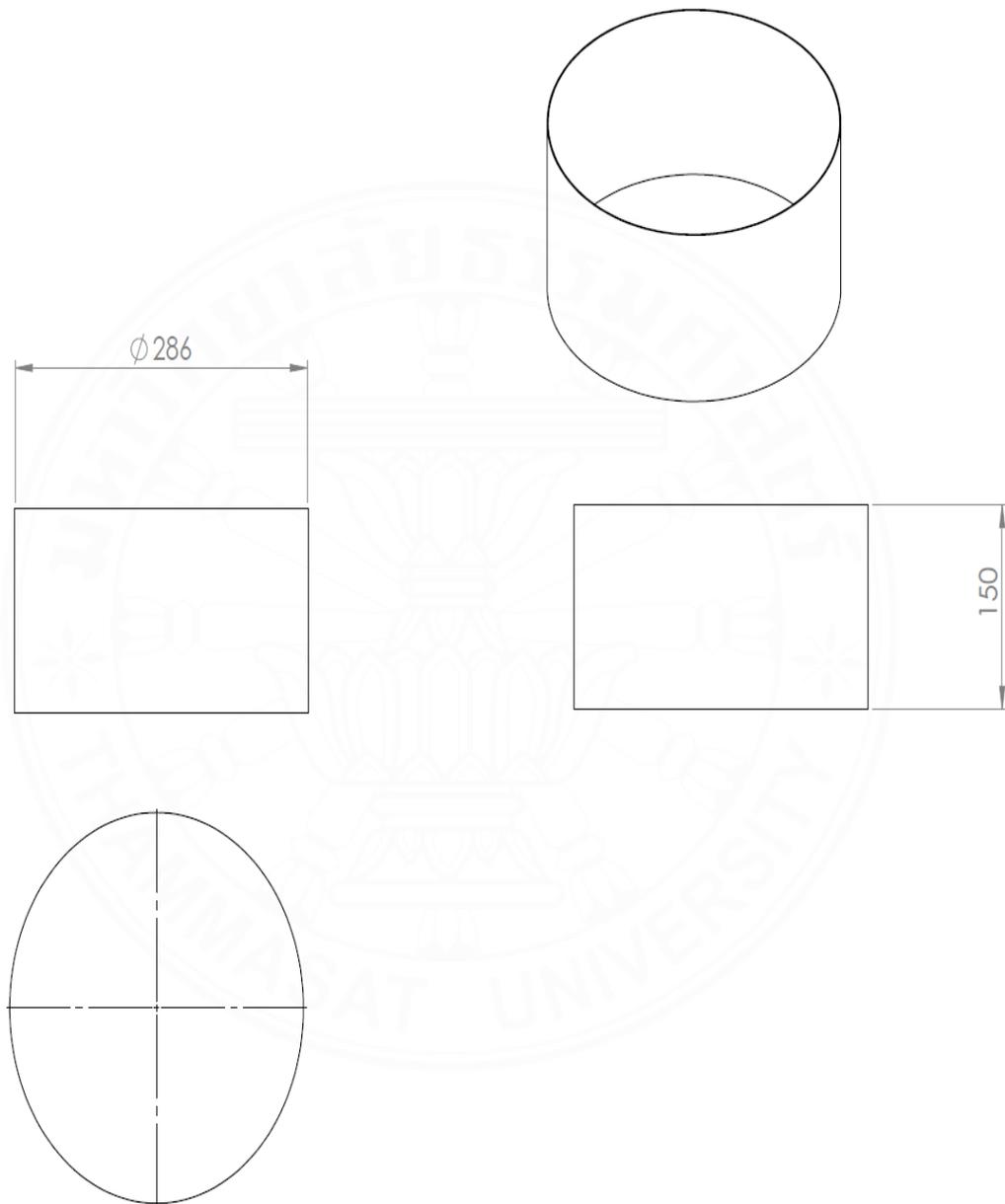
2.1 ไชโคลน



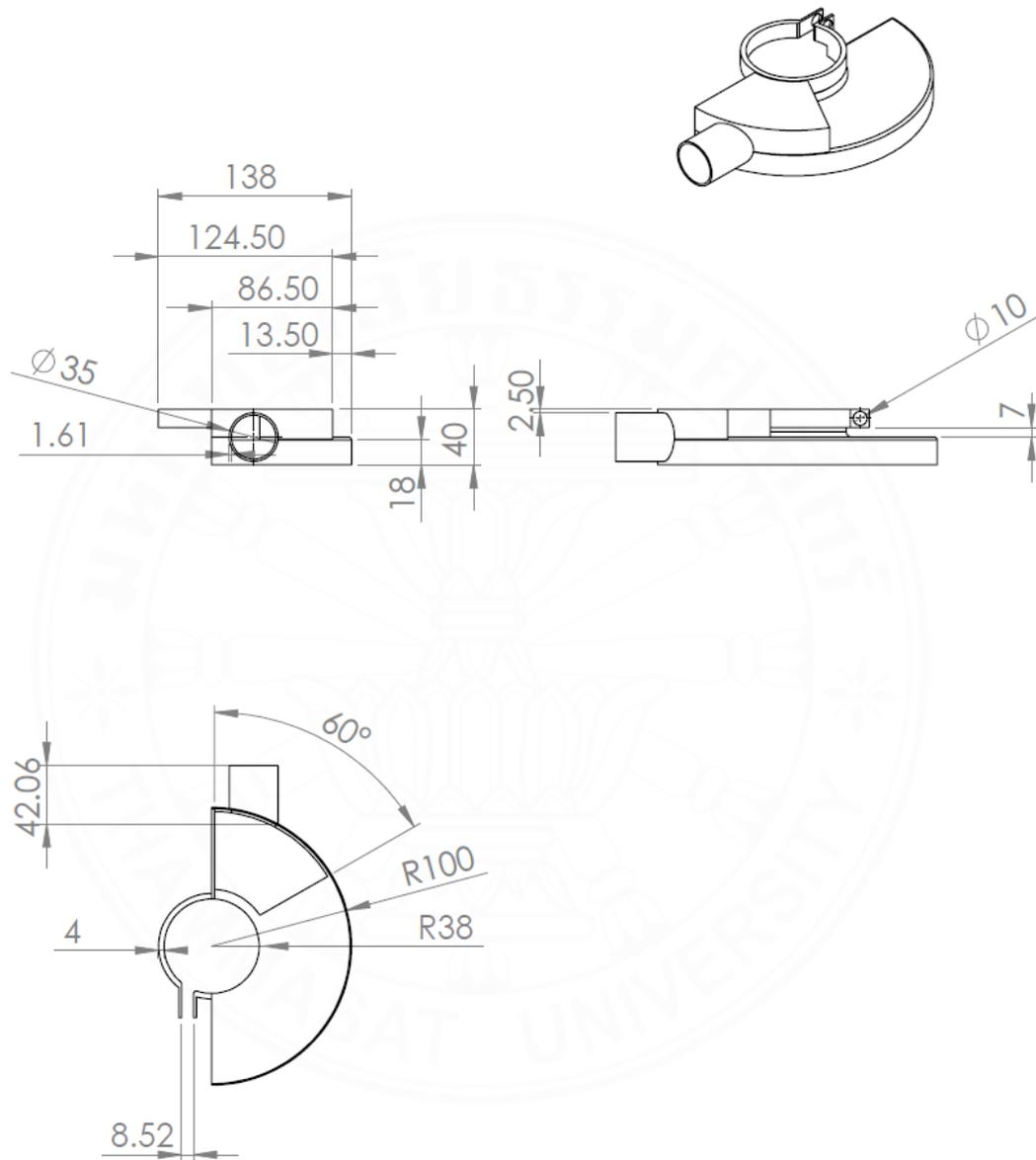
2.2 โคฟเวอร์ป้องกันไซโคลน



2.3 ถังเก็บฝุ่น

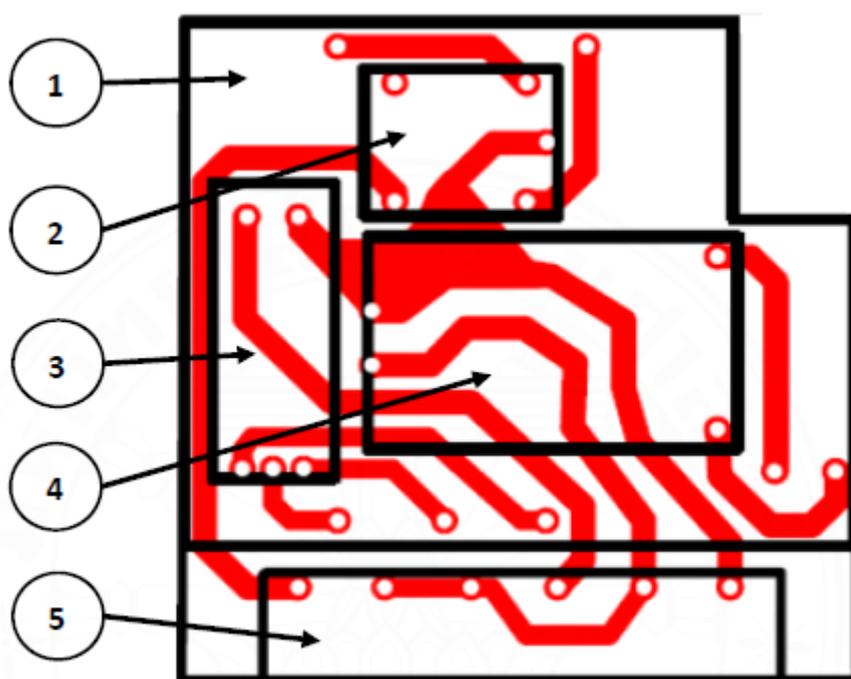


3. อุปกรณ์ดูดฝุ่นเหล็กจากหินเจียรมือ



ภาคผนวก ค

ลายวงจรบอร์ดควบคุมเสริมและโปรแกรมควบคุมการทำงาน



รายการอุปกรณ์

- 1) แผ่นทองแดงหน้าเดียว
- 2) รีเลย์ควบคุม 5VDC
- 3) เซนเซอร์วัดกระแส ACS712-20A
- 4) หม้อแปลงแรงดัน 220 VAC เป็น 5 VDC HLK-5M05
- 5) เทอร์มินอล KF8500

```
const int sensorIn = A0;
int mVperAmp = 185;
double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;
void setup() {

    Serial.begin (9600);
    Serial.println ("ACS712 current sensor");
    pinMode(5,OUTPUT);

}

void loop()
{
    Voltage = getVPP();
    VRMS = (Voltage/2.0) *0.707; //root 2 is 0.707
    AmpsRMS = (VRMS * 1000)/mVperAmp;

    if (AmpsRMS >=1)
    {
        digitalWrite(5,HIGH);
    }
    else
    {
        digitalWrite(5,LOW);
    }

}
```

```
float getVPP()
{
    float result;
    int readValue;
    int maxValue = 0;
    int minValue = 1024;
    uint32_t start_time = millis();
    while((millis()-start_time) < 1000) //sample for 1 Sec
    {
        readValue = analogRead(sensorIn);
        if (readValue > maxValue)
        {
            maxValue = readValue;
        }
        if (readValue < minValue)
        {
            minValue = readValue;
        }
    }

    result = ((maxValue - minValue) * 5.0)/1024.0;

    return result;
}
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายพงศธร อารมณ
วันเดือนปีเกิด	17 มิถุนายน พ.ศ. 2536
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2555 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่ง	วิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท โซติก ประเทศไทย จำกัด
ทุนการศึกษา (ถ้ามี)	-
ผลงานทางวิชาการ	DESIGN OF DUST COLLECTOR FOR ANGLE GRINDER VIA CYCLONE SYSTEM การประชุมวิชาการระดับชาติด้านการพัฒนาการ ดำเนินการทางอุตสาหกรรมครั้งที่ 14 ประจำปี 2556
ประสบการณ์ทำงาน	ปี พ.ศ. 2561 ตำแหน่ง วิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท โซติก (ประเทศไทย) จำกัด ปี พ.ศ. 2561 ตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการ บริษัท แชนมินาไซซิสเท็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี พ.ศ. 2560 ตำแหน่ง วิศวกรบริการ บริษัท พานาโซนิค อินดัสเตรียล ดีไวซ์ เซลส์ (ประเทศไทย) จำกัด