เครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้ามลพิษต่ำ

A Low Pollution Robusta Coffee Grinding Machine

วรวิทย์ วรนาวิน

พลรัชต์ บุญมี

ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๕

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการจำกัดมลพิษอันเนื่องจากกระบวนการสีกะลากาแฟโร-บัสต้า ซึ่งทางผู้วิจัยทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของมลพิษเพื่อใช้ในการออกแบบชุดจำกัดมลพิษทั้งแบบแห้งและแบบเปียก โดยชุดจำกัดมลพิษแบบแห้งนี้เลือกใช้ชุดไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส ส่วนกรณีชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก ประกอบไปด้วยห้อง 3 ห้องคือ ห้องกึ่งเปียก ห้องจัดเก็บเปียก และห้องน้ำล้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษ ผลกระทบของมลพิษด้านอื่นๆ และเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมถูกนำมาพิจารณา

ผลการวิจัยพบว่าภายใต้อัตราการสีกะลากาแฟเฉลี่ย 243 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณของมลพิษจากกะลากาแฟอยู่ระหว่างร้อยละ 37.3 ถึง 41.9 โดยพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมลพิษเป็นแบบวิถีโค้ง มีความเร็วประมาณ 14.7 เมตร/วินาที และมีระยะทางที่มลพิษเคลื่อนที่ 5.25 เมตร ภายใต้การออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบแห้งแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการจำกัดมลพิษเพียง 79.25 % เท่านั้น ในขณะที่ชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกนั้นสามารถจำกัดมลพิษได้ 100 % โดยมีแนวโน้มความเป็นเบสเพิ่มสูงขึ้นเป็น pH9 เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ส่วนในกรณีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,400,473 กิโลกรัม หรือคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนที่ 2.1905 ปี

ABSTRACT

The aim of this research is to study with the limited pollution from Robusta coffee grinding process. The pollution behavior is used to design the limited pollution unit by consists of the dry and wet limited pollution unit. By the dry limited pollution unit, tangential air cyclone was regarded. In term of the wet limited pollution unit has to 3 chambers by semi-wet chamber, wet storage chamber and overflow chamber. However, the efficiency of the limited pollution unit, another pollution and economic engineering were determined.

The results of research found that the rate of coffee grinding was 243 kg/hr and the mass of pollution was 37.3 to 41.9%. By the motion of pollution was projectile with the speed approximate 14.7 m/s and the distance of pollution was 5.25 m. Based on the dry limited pollution unit designed, the efficiency of limited pollution just 79.25%. While the wet limited pollution unit can be limited to 100%. The tendency of pH of water in the wet limited pollution unit was increased to pH9 under past in 24 hours. In case of the break-even point must be grinding with 1,400,473 kilograms and payback period will occur at 2.1905 years.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆท่านที่อำนวยความสะดวกในการประสานงานทั้งหมดจนบรรลุผลสำเร็จอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่สร้างแรงผลักดันอันก่อให้เกิดกำลังใจในการทำงาน และต่อสู้กับอุปสรรคและสิ่งบั่นทอนกำลังใจต่างๆ ให้ผ่านพ้นมาได้ด้วยดีตลอดทุกครั้ง

ขอกราบขอบพระคุณท่านอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้ซึ่งให้โอกาสและสนับสนุนงานวิจัยสำหรับครั้งนี้และทุกๆครั้งที่ผ่านมาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณยงยุทธ์ คำเฮียง ผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และกำลังใจตลอดการระยะเวลาการวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สัญลักษณ์และความหมาย	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	3
วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกาแฟ	4
2.3 ขั้นตอนการผลิตกาแฟ	5

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 มลพิษทางอากาศ	5
2.5 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ	7
2.6 อัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตร	10
2.7 ทฤษฎีการออกแบบไซโคลน	11
2.8 ประเภทของไซโคลน	12
2.9 ขนาดและรูปร่างของไซโคลน	13
2.10 สมรรถนะของไซโคลน	14
2.11 ทฤษฎีการออกแบบห้องตกมลพิษ	16
2.12 ชนิดของห้องตกมลพิษ	17
2.13 การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	18
2.14 เศรษฐศาสตร์การลงทุน	18
2.15 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุน	20
บทที่ 3	21
การออกแบบและการคำนวณ	21
3.1 คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้า	21
3.2 คุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า	21
3.3 การเลือกประเภทและการออกแบบของชุดจำกัดมลพิษ	25
3.4 ขั้นตอนการออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง	26
3.5 ขั้นตอนการออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก	30
3.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	39
ผลการวิจัยและการวิจารณ์	39
4.1 สมมุติฐานการทดสอบเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า	39
4.2 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ	39
4.3 สมมุติฐานการทดสอบชุดจำกัดมลพิษ	43
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง	43
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก	47
4.6 การพิจารณาผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	52
บทที่ 5	53
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก ก	56
ภาคผนวก ข	84

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กาแฟพันธุ์โรบัสต้า 5
รูปที่ 2.2 ระบบภาวะมลพิษอากาศ 6
รูปที่ 2.3 การไหลของกระแสอากาศในไซโคลน 11
รูปที่ 2.4 สัดส่วนของไซโคลน 12
รูปที่ 2.5 ไซโคลนที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส 13
รูปที่ 2.6 ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน 13
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพของไซโคลน และอัตราส่วนของขนาดมลพิษ 15
รูปที่ 2.8 ห้องตกมลพิษโดยทั่วไป 16
รูปที่ 2.9 ห้องตกมลพิษแบบไหลตามแนวนอน 17
รูปที่ 2.10 ห้องตกมลพิษแบบถาดหลายชั้น 17
รูปที่ 3.1 หิดขัดสร้างความเสียหาย 22
รูปที่ 3.2 ยางขัด 22
รูปที่ 3.3 ชุดใบพัดพากะลากาแฟ 23
รูปที่ 3.4 ชุดคัดแยกเมล็ดสารกาแฟ 24
รูปที่ 3.5 เครื่องสีกะลากาแฟที่เสร็จสมบูรณ์ 24
รูปที่ 3.6 ชุดไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสที่ออกแบบ 26
รูปที่ 3.7 พฤติกรรมของมลพิษ 27
รูปที่ 3.8 ห้องกึ่งเปียก 31
รูปที่ 3.9 ห้องจัดเก็บเปียก 31
รูปที่ 3.10 ห้องมลพิษ 32
รูปที่ 3.11 ห้องน้ำล้น 32
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการออกแบบชุดกำจัดมลพิษแบบเปียก 33

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 กระบวนการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ 40
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดสารกาแฟและปริมาณมลพิษ 42
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดมลพิษ 42
รูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากับชุดไซโคลน 43
รูปที่ 4.5 แสดงชุดจัดเก็บมลพิษของไซโคลน 44
รูปที่ 4.6 แสดงมลพิษที่ชุดไซโคลนไม่สามารถจัดเก็บได้ 45
รูปที่ 4.7 แสดงมลพิษตกค้างจากกระบวนการพามลพิษออกที่ไม่สมบูรณ์ 45
รูปที่ 4.8 แสดงสัดส่วนมวลของมลพิษที่ทดสอบกับชุดจำกัดมลพิษแบบไซโคลน 46
รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากาแฟกับชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก 47
รูปที่ 4.10 แสดงการต่อท่อน้ำเข้าระบบฉีดแรงดันสูง 48
รูปที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมของมลพิษไหลลงสู่ห้องน้ำล้น 48
รูปที่ 4.12 สีของกระดาษ Universal Indicator 49
รูปที่ 4.13 แสดงการปะปนของมลพิษทุกขนาด 50
รูปที่ 4.14 แสดงการจมลงของมลพิษขนาดเล็กในห้องจัดเก็บเปียก 51
รูปที่ 4.15 แสดงการจมลงของมลพิษขนาดใหญ่ในห้องน้ำล้นเมื่อเวลาผ่านไป 51

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างมลพิษทางอากาศกับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง 8
ตารางที่ 2.2 การกระจายขนาดของมลพิษ 16
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้า 21
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าที่ออกแบบ 25
ตารางที่ 3.3 พฤติกรรมของมลพิษจากการทดสอบ 26
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของการออกแบบไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส 28
ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษรวมทางทฤษฎีที่ใช้กับไซโคลนของมลพิษขนาดต่างๆ 30
ตารางที่ 3.6 รายละเอียดชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก 33
ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 34
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ 41
ตารางที่ 4.2 ผลของพฤติกรรมและปริมาณมลพิษที่เกิดจากการสีกะลากาแฟ 41
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษของชุดไซโคลน 46
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษแบบเปียก 49
ตารางที่ 4.5 ผลสรุปทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 52

สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Q	อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s
A	พื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน	m^2
V	ความเร็วของอากาศ	m/s
d_{pc}	ขนาดตัดของ มลพิษ	m
μ	ค่าความหนืดของอากาศ	Pa.s
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางเข้าของไซโคลน	m
N_e	จำนวนรอบของกระแสวน	-
V_i	ความเร็วของอากาศเข้าสู่ไซโคลน	m/s
ρ_p	ความหนาแน่นของมลพิษ	kg/m^3
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
$E_{(dp)}$	ประสิทธิภาพในการจำกัดย่อยของมลพิษขนาด	%
d_p	ขนาดของมลพิษ	µm

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

กาแฟถือได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจทั้งของโลกและของประเทศไทยโดยมวลรวมของผลผลิตกาแฟภายในประเทศมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70,000 – 80,000 ตันต่อปีในปัจจุบัน กาแฟที่ปลูกในประเทศไทยนั้นมีด้วยกันอยู่ 2 สายพันธุ์คือสายพันธุ์โรบัสต้าและสายพันธุ์อาราบิก้า ซึ่งผลผลิตกาแฟส่วนใหญ่เป็นผลผลิตจากกาแฟโรบัสต้าที่มีสัดส่วนต่อกาแฟอาราบิก้าที่ 90:10 โดยเป็นผลจากปัจจัยของปริมาณและความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกของกาแฟโรบัสต้าที่มีมากกว่า ยิ่งไปกว่านั้นกาแฟ โรบัสต้าเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่ภาคพื้นเอเชีย จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ากาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าค่อนข้างส่งผลกระทบต่อประเทศมากกว่ากาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า อย่างไรก็ตามปริมาณผลผลิตรวมของกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์นั้นถูกใช้บริโภคในประเทศเพียง 30 % เท่านั้น ส่วนกาแฟที่เหลือถูกนำมาแปรรูปเพื่อการส่งออก

กระบวนการแปรรูปกาแฟนั้นเริ่มต้นจากการเก็บเกี่ยวผลกาแฟ อายุ 11 เดือนที่มีผลสุกพอดีมาตากแดดเพื่อลดความชื้นลงเหลือประมาณ 13 % หลังจากนั้นนำเมล็ดกาแฟแห้งมาทำกะเทาะหรือสีบริเวณเปลือกด้านนอกหรือที่นิยมเรียกว่ากะลาออก โดยเมล็ดกาแฟที่ถูกกะเทาะหรือสีกะลาจะเรียกว่าเมล็ดสารกาแฟ หลังจากนั้นเมล็ดสารกาแฟจะถูกนำมาคัดแยกขนาดก่อนนำไปขายให้กับโรงงานเพื่อนำไปแปรรูปต่อไป อย่างไรก็ตามการซื้อขายเมล็ดสารกาแฟจะอ้างอิงตามมาตรฐานของกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ซึ่งหนึ่งในข้อกำหนดนั้นว่าด้วยการกะเทาะเปลือกหรือสีกะลากาแฟออกก่อนทำการซื้อขาย โดยราคาขายผลผลิตกาแฟที่ถูกสีกะลาออกแล้วนั้นมีผลต่างราคาถึง 5-6 เท่าเมื่อเทียบกับเมล็ดกาแฟสด ดังนั้นการสีกาแฟจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดกาแฟซึ่งโดยปกติกระบวนการสีกาแฟในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การสีแบบเปียกที่นิยมสีกับกาแฟอาริบิก้าและการสีแบบแห้งสำหรับกาแฟโรบัสต้า ซึ่งหากพิจารณาถึงการสีกาแฟโรบัสต้าที่มีปริมาณผลผลิตสูงนั้นการสีแบบแห้ง โดยทั่วไปนั้นการสีกะลากาแฟในปัจจุบันนั้นจะทำในโรงสีกาแฟที่มีกำลังการผลิตสูงซึ่งอาศัยเครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังและจะมีฝุ่นละอองจำนวนมากปะปนมาพร้อมกับกะลากาแฟส่งผลทำให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาลักษณะทางกายภาพและกระบวนการสีกาแฟโรบัสต้า เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าภายใต้แนวคิดของการสีกาแฟแบบเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือมีปริมาณมลพิษต่ำและเหมาะสมกับการใช้งานในชุมชนโดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมผสมผสานกับการกับการออกแบบชุดจำกัดมลพิษเพื่อนำมาลดข้อจำกัดด้านระยะเวลาหากมีปริมาณผลผลิตสูงและผลกระทบจากมลพิษที่ส่งผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังพิจารณาไปถึงหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่สามารถวิเคราะห์ถึงจุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุนอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถนำเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้ารวมไปถึงแนวคิด

ดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาชุมชนหรือเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟในภาคใต้ของประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบหลักของกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า ทำให้ชุมชนหรือเกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้แบบอยู่ร่วมกับธรรมชาติอย่างเป็นมิตร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบสร้างเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้ามลพิษต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงปริมาณของการสีกะลากาแฟ

1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของฝุ่นละอองที่เกิดจากการสีกะลากาแฟ

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณมลพิษจากฝุ่นละอองกับการสีแบบปกติ

1.2.5 วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการลงทุน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการสีกะลากาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า ที่มีกระบวนการสีแบบแห้ง โดยจะพิจารณาปริมาณกะลากาแฟที่ออกสู่บรรยากาศ อันเป็นผลจากกระบวนการสีเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับการสีแบบมีอุปกรณ์จัดเก็บ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้การสีกะลากาแฟโรบัสต้ามลพิษต่ำ

1.4.2 ลดมลพิษจากกระบวนการสีกาแฟ

1.4.3 สามารถนำแนวคิดไปประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะการแปรรูปใกล้เคียงกันเช่น กาแฟอาราบิก้า ถั่วเหลือง และข้าว เป็นต้น

1.4.4 สามารถนำความรู้จากวิจัยไปเผยแพร่เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาชุมชนให้อยู่ร่วมกันกับสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นมิตร

1.4.5 เผยแพร่ผลงานในวารสาร/จดสิทธิบัตรเพื่อประโยชน์ในเชิงการค้าหรือเชิงวิชาการ

บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปิยนุช นาคะ และคณะ (2540) ได้เปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า โดยการศึกษาการลดความชื้นเมล็ดกาแฟโรบัสต้าด้วยการทดลอง 3 วิธี คือการตากแห้งบนพื้นซีเมนต์ การอบโดยใช้เตาอบความร้อนและการอบโดยใช้เตาอบแสงอาทิตย์ ซึ่งพบว่าความชื้นหลังการอบโดยใช้เตาอบแสงอาทิตย์มีค่าน้อยที่สุดที่ 9.02% และการอบโดยใช้เตาอบความร้อนมีความสะอาดกว่าทั้งสองวิธี อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของคุณภาพของกาแฟหลังการลดความชื้นของทั้ง 3 วิธีไม่แตกต่างกัน

วลัยภรณ์ ภัสสรศิริ และคณะ (2541) ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีและเอมไซม์ที่เหมาะสมในการหมักสารกาแฟพันธุ์โรบัสต้า โดยพบว่าการหมักกาแฟโดยใช้น้ำเป็นระยะเวลานาน 24-28 ชม. หรือใช้ NaOH นาน 1-5 ชม. หรือใช้เอ็นไซม์ pectinsse ความเข้มข้น 1000-2000 ppm นาน 2-5 ชม. วัด pH และระยะเวลาในการหมักที่ทำให้เมือกล้างออกง่าย จากการทดลองพบว่า การหมักโดยใช้น้ำ จะใช้ระยะเวลา 24-28 ชม. ส่วนการหมักด้วย NaOH 10 % ใช้เวลา 4-5 ชม. เมือกรอบเมล็ดจะหลุดออกง่าย สำหรับเมล็ดที่หมักด้วยเอ็นไซม์ ความเข้มข้น 1500-2000 ppm จะล้างเมือกได้ง่ายที่สุด ส่วนระยะเวลาในการหมักขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่หมัก โดยใช้เวลาหมักประมาณ 2-5 ชม. ในการหมักด้วยน้ำ NaOH และ pactinase มีค่า 4.20-4.46 8.29 8.73 4.07 4.47 ตามลำดับ โดย pH ก่อนหมักประมาณ 5.8 สำหรับคุณภาพในการชิมรสชาติ จากวิธีการหมักทั้ง 3 แบบได้รับการยอมรับจากบริษัทเนสท์เล่ ศูนย์รับซื้อกาแฟสวี จ.ชุมพร

เวียง อากรชี และคณะ (2542) ได้ทำศึกษาสมรรถนะเครื่องสีเปลือกสดกาแฟอาราบิก้าแบบทรงกรวยตัดแนวตั้ง โดยหลังทำการทดลองสีที่ความเร็วรอบที่ต่างกันพบว่า ความเร็วรอบที่ใช้สีสูงสุดที่ 450 รอบ/นาทีให้ปริมาณการสีเฉลี่ยสูงสุดที่ 1,911 ก.ก/ชม. ในทางกลับกันที่รอบดังกล่าวมีเปอร์เซนต์เมล็ดแตกเสียหายโดยน้ำหนักสูงถึง 3.57% อีกทั้งยังพิจารณาจุดคุ้มทุนที่ต้องสี 921,600 ก.ก/ปี และระยะเวลาการคืนทุนที่ 1.55 ปี

ปิยะมาศ ช่วงวาณิต (2546) ได้ทำการศึกษาผลของการสีเปลือกนอกและสลายเยื่อหุ้มเมล็ดด้วยเอนไซม์เพคติเนสทีมีผลต่อระยะเวลาการอบแห้งเมล็ดกาแฟ สรุปได้ว่าการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่ผ่านการสีเปลือกนอกออกและสลายเยื่อหุ้มเมล็ดด้วยเอนไซม์เพคติเนสใช้เวลา 15-21 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่สีเปลือกด้านนอกออกประมาณ 6 ชั่วโมงและต่ำกว่าการอบแห้งกาแฟที่ไม่ผ่านการสีเปลือกนอกออกประมาณ 33 ชั่วโมง โดยความชื้นของวัตถุดิบอยู่ตามมาตรฐานที่ไม่เกิน 13% และรสชาติของกาแฟไม่เปรี้ยวจากวิธีอบแห้งดังกล่าว

ฐิติกาญจน์ ศรธนะรัตน์ (2550) ได้ทำการศึกษาทั่วไปทางด้านเศรษฐกิจ สังคม ต้นทุน และรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้าในจังหวัดเชียงใหม่ โดยผลจากการศึกษาโดยการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้าจำนวน 30 ราย พบว่าในระยะเวลา 10 ปี ของการลงทุนปลูกกาแฟมี

ผลกำไรสะสมติดลบแต่หากพิจารณาเพียงรายได้สุทธิเหนือต้นทุนที่เป็นเงินสดจะมีผลกำไรเป็นบวก อย่างไรก็ตามผลการศึกษาดังกล่าวเป็นผลจากปัจจัยเรื่องความหลากหลายของพฤติกรรมของผู้ปลูกกาแฟเช่น การให้น้ำ การเก็บเกี่ยว ความเสื่อมของอุปกรณ์การเกษตร ค่าเสียโอกาศในการลงทุนในการซื้ออุปกรณ์ และอัตราดอกเบี้ยรวมไปถึงกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษายังมีจำนวนน้อยมาก

อภิญญา โกปริญญา (2549) ได้ทำการศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 10 บริเวณก่อสร้างถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 สายพิษณุโลก-สุโขทัย จากบ้านจำนวน 10 หลัง จำนวน 3 เขต พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 10 ของทั้ง 3 เขตนั้นมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 μg/m^3 ที่ 24 ชั่วโมงและหากบ้านที่อยู่ในบริเวณใต้ลมมีปริมาณ PM 10 สูงกว่าบริเวณเหนือลมอยู่17.54 μg/m^3 ที่ 24 ชั่วโมงและจากการทดสอบสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละออง PM 10 ทีถูกพบภายในบ้านจำนวน 10 หลังดังกล่าวพบว่าลักษณะ องค์ประกอบธาตุหลักเป็น ซิลิกา แคลเซี่ยมและอลูมิเนียมซึ่งเป็นองค์ประกอบธาตุเดียวกับบริเวณที่ก่อสร้างดังกล่าว

Soon-Ung Park และคณะ (2553) ได้ทำศึกษาการประมาณฝุ่นละอองในภาคพื้นเอเชียในปี คศ. 2007 ด้วยวิธีการจำลองแบบจำลองละอองของเหลว Aerosol Model 2 (ADAM2) ซึ่งมีผลสรุปว่าปริมาณค่าเฉลี่ยของฝุ่น PM 10 ประจำปีนี้มีค่า 171 μg/m^3 ที่มีค่าสูงกว่าบริเวณทะเลเหลือง (Yellow Sea) Korean peninsula และ East Sea อยู่ 39 μg/m^3, 25 μg/m^3 และ17 μg/m^3 ตามลำดับ

Kai Zhang และคณะ (2553) ได้ทำศึกษาที่มา เส้นทางและผลกระทบของฝุ่นที่มาจากทะเลทรายในเอเชียที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมและทะเล ด้วยวิธีการตรวจสอบลมพายุที่พัดผ่านประกอบกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผล จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝุ่นทะเลทรายในเอเชียมีที่มาหลักจากประเทศมองโกเลียคือทะเลทราย Gobi, Arid และทะเลทราย Semiarid ที่อยู่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจีนซึ่งตามที่กล่าวมาเป็นจำนวนฝุ่นทะเลทรายครึ่งหนึ่งของโลกโดยฝุ่นทะเลทรายดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทาง biogeochemical และกลไกภูมิอากาศของคาบสมุทรเกาหลี หมู่เกาะของญี่ปุ่น ทะเลแปซิฟิก และอเมริกาเหนือ

2.2 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกาแฟ

2.2.1 ประวัติของกาแฟ

กาแฟโรบัสต้า (Robusta) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Coffee Canephora Pierre ex A.Froehner อยู่ในตระกูล Robiaceae เป็นพันธุ์กาแฟที่ปลูกง่าย มีความทนต่อโรคและสภาพอากาศสูงจึงได้ชื่อว่า Robusta อันมีที่มาจากภาษาลาตินคือ Robust ที่แปลว่าแข็งแกร่ง กาแฟโรบัสต้ามีถิ่นกำเนิดในป่าร้อนชื้น บนพื้นราบ และพื้นที่สูงตามไหล่เขาพบมากตามชายฝั่งทะเลตะวันตกของทวีปแอฟริกา จรดฝั่งทะเลตะวันออกของทวีปและขึ้นมาทางตอนเหนือของทะเลสาบวิกตอเรีย จนถึงทางใต้ของประเทศซูดานกินพื้นที่กว้างใหญ่ไพศาลมาก พบหนาแน่นแถบแม่น้ำคองโกและลุ่มแม่น้ำคูอิลูเมล็ดกาแฟจากกลุ่มแม่น้ำคองโกนี้เองที่แพร่หลายออกไปทั่วทั้งยุโรปและอาเซียน

รูปที่ 2.1 กาแฟพันธุ์โรบัสต้า (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

ประเทศไทยปลูกกาแฟโรบัสต้าได้เฉพาะภาคใต้บนพื้นที่ราบต่ำตามไหล่เขาความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 700 เมตร กาแฟพันธุ์นี้ชอบอากาศร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียส และฝนตกสม่ำเสมอ ซึ่งปลูกมากที่สุดบริเวณ ตำบลเขาทะลุ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร โดยที่กาแฟโรบัสต้ากว่า 60 % เป็นผลผลิตของจังหวัดชุมพร นอกจากนี้ก็มีปลูกที่จังหวัดระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ และพังงา ซึ่งคิดเป็น 9 % ของกาแฟที่ผลิตในประเทศไทย

2.3 ขั้นตอนการผลิตกาแฟโรบัสต้า (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

2.3.1 การเก็บกาแฟเกษตรกรจะเก็บผลกาแฟที่สุกเท่านั้น เพราะเมื่อนำไปแปรรูปจะทำให้กาแฟที่ได้มีคุณภาพดี

2.3.2 ตากกาแฟเมื่อเก็บเกี่ยวผลกาแฟมาจากต้นแล้วนำมาตากแดด ประมาณ 15 -20 วัน บนลานตากที่สะอาดและได้รับแสงแดดเต็มที่ เกลี่ยให้เสมอทั่วกันและหมั่นเกลี่ยบ่อยครั้ง เมื่อผลแห้งจะมีเสียงของเปลือกกับเมล็ดกระทบกัน จึงนำมาเข้าเครื่องสีกาแฟ

2.3.3 การสีหรือกะเทาะเปลือกกาแฟผลหรือเมล็ดกาแฟต้องแห้งสนิท ความชื้นไม่ควรเกิน 13% เมล็ดกาแฟที่แห้งกะลาที่หุ้มเมล็ดจะแตกง่าย สารกาแฟหรือเมล็ดกาแฟดิบจะแข็งใช้เล็บจิกไม่เข้า ถ้าไม่แห้งสนิท จะทำให้สารกาแฟมีสีผิวผิดปกติด่างเป็นดวงขาวๆ บางครั้งพบว่ามีกลิ่นผิดปกติด้วย จึงต้องนำมาตากอีกครั้งนอกจากนี้ผลหรือเมล็ดกาแฟไวต่อการดูดกลิ่นและความชื้น ไม่ควรเก็บไว้นาน ควรรีบสีกาแฟโดยเร็ว

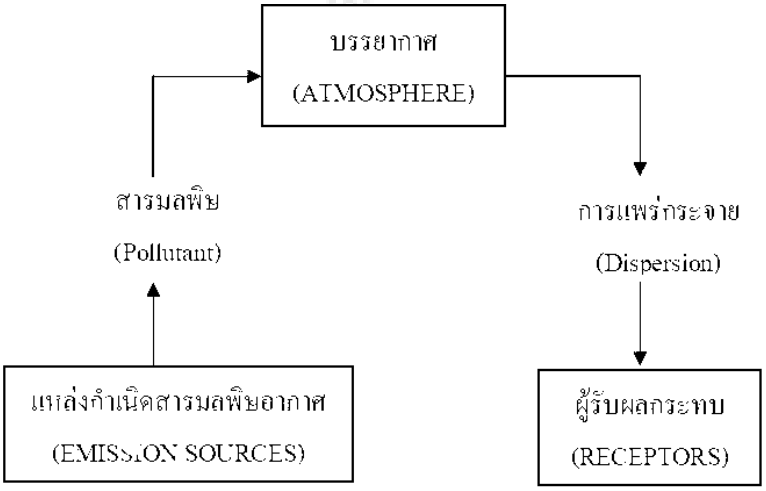
2.3.4 การคัดเกรดเมล็ดกาแฟหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ เป็นสารกาแฟเรียบร้อยแล้วต้องคัดแยกขนาดสิ่งเจือปน เมล็ดบกพร่องต่างๆออกโดยใช้เครื่องมือคัดทำความสะอาดหรือใช้แรงงานคนคัดแยกเพื่อเพิ่มมูลค่าของกาแฟ

2.4 มลพิษทางอากาศ

นพภาพร พานิช และคณะ (2550) มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอ ที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อ

สุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมรอบๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปแบบของก๊าช หยดของเหลว หรือมลพิษของแข็งก็ได้ สารมลพิษหลักที่สำคัญคือ ฝุ่นละออง (SPM) ตะกั่ว (Pb) ก๊าชคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อากาศซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และอากาศโอโซน (O_3)

ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ 3 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน คือ 1.) แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ (Emission) 2.) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และ 3.) ผู้ได้รับผลกระทบ (Receptor) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบภาวะมลพิษอากาศ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

1.) แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ (Emission)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและระบายออกสู่อากาศภายนอกโดยที่ชนิดและปริมาณของมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศและวิธีการควบคุมการระบายมลพิษทางอากาศ

2.) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere)

เป็นส่วนของระบบที่รองรับมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดต่างๆและเป็นตัวกลาง (Medium) ให้มลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกสู่อากาศมีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วและทิศทางกระแสลม รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา และอาคารบ้านเรือนเป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ

3.) ผู้ได้รับผลกระทบ (Receptor)

เป็นส่วนของระบบที่สัมผัสกับสารมลพิษในอากาศ ทำให้ได้รับความเสียหายหรืออันตรายโดย ผู้รับผลเสียอาจเป็นสิ่งที่มีชีวิต เช่น คน พืช และสัตว์หรือเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่นเสื้อผ้า อาคาร บ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้างต่างๆความเสียหายหรือหรือผลกระทบที่เกิดขึ้น จะมีความรุนแรงมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของสารมลพิษในอากาศและระยะเวลาที่สัมผัส

2.5 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ (Sources of Air Pollutants)

นพภาพร พานิช และคณะ (2550) แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ใหญ่ๆ คือ

2.5.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural Sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศตามกระบวนการทางธรรมชาติไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า ทะเลและมหาสมุทร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของละอองเกลือ เป็นต้น

2.5.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-Made Sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้มีการระบายมลพิษทางอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Source) ได้แก่ รถยนต์ เรือยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น
- แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) หมายถึงแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมซึ่งสารมลพิษทางอากาศเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงและเกิดจากกระบวนการการผลิตต่างๆดังแสดงในตัวอย่างตารางที่ 2.1 โดยสรุปได้ดังนี้

(ก) กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำเตาเผาซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการก่อให้เกิดพลังงานความร้อน เช่น เตาเผาเพิ่มความร้อนเตาเผากำจัดของเสีย นอกจากจะทำให้เกิด SO_2NOx เขม่าและ CO แล้วบางครั้งก็ยังมีไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และไดออกซินเกิดขึ้นอีกด้วย

(ข) การถลุงและแปรรูปโลหะ ในกระบวนการถลุงแร่ เช่น การเผาและอบจะเกิดการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี แคดเมียม ปรอทและธาตุอื่นๆในสินแร่ ในการอบแร่ที่ปนอยู่กับกำมะถัน นอกจากจะเกิด SO_2 เป็นจำนวนมากแล้ว ก็ยังมี NOx และเขม่าเกิดขึ้นอีกด้วย

(ค) การทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง เช่นการบดวัตถุดิบ การคัดแยกการผสม แปรรูปและการขนส่งที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง

(ง) การกลั่นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการใช้สารละลายและสีจะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

(จ) การแพร่กระจายของอากาศพิษเกิดจากการจัดการที่ขาดความระมัดระวังการกระจายของสารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า เป็นต้น

(ฉ) การก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละออง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างมลพิษทางอากาศกับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (นพภาพร 2550)

ประเภทอุตสาหกรรม	ชื่อสารมลพิษอากาศ
อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอลูมิเนียม	ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ : HF
โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมอากาศ แอมโมเนียและเยื่อกระดาษ	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ : H_2S
โรงถลุงโลหะ อุตสาหกรรมเคมี	เซเลเนียมไดออกไซด์ : SeO_2
อุตสาหกรรมโซดาไฟ กระบวนการผลิตพลาสติก	ไฮโดรเจนคลอไรด์ : HCl
การผลิตกรดดินประสิว อุตสาหกรรมต่างๆที่มีการสันดาป	ไนโตรเจนไดออกไซด์ : NO_2
การผลิตกรดกำมะถัน อุตสาหกรรมใช้น้ำมันเตา-ถ่านหิน	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ : SO_2
อุตสาหกรรมปุ๋ย	ซิลิคอนฟลูออไรด์ : SiF_4
อุตสาหกรรมย้อมสี การสังเคราะห์สารอินทรีย์	ฟอสจีน (PHOSGENE) : $COCl_2$
การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวทำลาย การฆ่าเชื้อของพืช	คาร์บอนไดซัลไฟด์ : CS_2
การผลิตกรด Hydrocyanic, การผลิตเหล็ก อุตสาหกรรมอากาศ อุตสาหกรรมเคมี	ไฮโดรเจนไซยาไนต์ : HCN
อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย การชุบโลหะ เวชภัณฑ์อินทรีย์การทำพิมพ์เขียว	แอมโมเนีย : NH_3
การผลิตเวชภัณฑ์ ฟอสฟอรัสไดคลอไรด์	ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ : PCl_3
ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ ฟอสฟอรัสไดออกไซด์	ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ : PCl_5
การถลุงฟอสฟอรัส การผลิตสารประกอบฟอสฟอรัส	ฟอสฟอรัสเหลือ : P_4
การผลิตเวชภัณฑ์ การผลิตสีย้อม Chlorosulforic acid	คลอโรซัลโฟริก : HSO_2Cl
การผลิตฟอร์มาลีน หนัง ยางสังเคราะห์ การผลิตวานิช	ฟอร์มาลดีไฮด์ : HCHO
การผลิต Acrylic acid ยางสังเคราะห์ การผลิตวานิช	อะโครลีน : CH_2CHHO
การผลิตกรดกรดฟอสฟอริก ปุ๋ยฟอสฟอริก	ไฮโดรเจนฟอสไฟด์ : PH_4
โรงกลั่นน้ำมัน การผลิตฟอร์มาลีน ตัวทำละลายอินทรีย์	เบนซีน : C_6H_6
การผลิตเมธานอล การผลิตฟอร์มาลีน อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมยางสังเคราะห์ ทำแชลแลค	เมธานอล : CH_3OH
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีโรงถลุงนิเกิล	นิกเกิลคาร์บอนิก : $Ni(CO)_4$
การผลิตกรดกำมะถัน อุตสาหกรรมปุ๋ย โรงงานสารอินทรีย์	กรดกำมะถัน : H_2SO_4
สีย้อม เวชภัณฑ์ สารเคมีเกษตร	โบรมีน : Br_2
อุตสาหกรรมอากาศ การถลุงโลหะ การสันดาปภายใน	คาร์บอนมอนอกไซด์ : CO
อุตสาหกรรมทาร์ ยาเคมี อุตสาหกรรมสี ยางสังเคราะห์	ฟินอล : C_6H_5OH
อุตสาหกรรมยา สารเคมี	Pyridine : C_5H_5N

2.5.3 ประเภทของมลพิษทางอากาศ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

1. อากาศอินทรีย์ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทนบิวเทน เบนซีนaldehydeและ ketone สารอินทรีย์อื่นๆ เช่น formaldehyde, acetone, alcohols organic acids, chlorinated hydrocarbon

2. อากาศอนินทรีย์ได้แก่ อากาศที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ระเหยได้) เช่นNO, NO_2, HNO_3อากาศที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเช่น SO_2 , SO_3 อากาศที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเช่น CO, CO_2สารประกอบที่มีฮาโลเจน (halogen) คือ I, Br, Cl, F ประกอบอยู่ด้วย

3. มลพิษมลสาร (particulate matter) ประกอบด้วยสารต่างๆทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวที่กระจายอยู่ในบรรยากาศซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอน (micron) ไปจนถึงหลายร้อยไมครอน เช่น ควัน เขม่าฝุ่น ขี้เถ้า คาร์บอน ละอองน้ำ น้ำมัน ต่างๆ ซึ่งแยกได้ตามขนาดดังนี้

- ฝุ่นละเอียด (Fine dust) เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 ไมครอน (1 ไมครอนเมตร เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร)
- ฝุ่นหยาบ (Coarse dust) เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน
- ไอ (Fume) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.001-1 ไมครอน
- หมอก (Mist) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-10 ไมครอน

สารมลพิษที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะเรียกว่า สารมลพิษแขวนลอย (Suspended particulate) สารแขวนลอยจะตกลงพื้นจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงอย่างช้าๆ และจะลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลาค่อนข้างนานสารมลพิษเหล่านี้เมื่อออกจากแหล่งกำเนิดสู่อากาศจะถูกพาหรือแพร่กระจายโดยลมในระหว่างการเคลื่อนที่คุณสมบัติอาจเปลี่ยนไปโดยกระบวนการเคมีและกระบวนการที่แสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งสารมลพิษนั้นอาจถูกกำจัดจากอากาศโดยถูกชะล้างออกโดยน้ำฝนถูกดูดกลืน (Absorption) ถูกดูดซับ (Adsorption) หรือเกาะบนพื้นดินหรือพืช การแตกตัวลงมานั้นถึงแม้จะหายไปจากอากาศแต่ทำให้น้ำและดินเกิดมลภาวะขึ้นมาได้

2.5.4 ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของกรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่ๆซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อมประกอบด้วยสารต่างๆทั้งที่เป็นของแข็ง และ ของเหลว ที่กระจายอยู่ในบรรยากาศเป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอนไปจนถึง ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
2. ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate: TSP) มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน
3. ฝุ่นหนัก (Dust fall) ฝุ่นขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนขึ้นไป

- ลักษณะของฝุ่น (Particulate Characteristics)

ฝุ่นละออง **(**Particulate Matter) หมายถึง มลพิษที่เป็นของแข็ง หรือ ของเหลวที่แขวนลอย

อยู่ในอากาศ ถ้ามลพิษขนาดเล็ก เรียกว่า แอโรโซล ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบๆ ตัวเรามีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุล ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพและองค์ประกอบ อาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน มักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการแตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่นการไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ขนาด 10-100 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้น้อยกว่า 1 ไมครอน

- ผลเสียของฝุ่นละออง

1. ผลต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดีเนื่องจากเป็นมลพิษของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นและองค์ประกอบของฝุ่นละออง

2. ผลต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง ทำให้เกิดความสกปรกแก่ อาคาร และสิ่งก่อสร้างและทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้เช่นกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะหินอ่อนหรือวัตถุอื่นๆ เช่น รั้วเหล็ก หลังคาสังกะสี รูปปั้น ฯลฯ

3. ผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตาและยังส่งผลต่อระบบหายใจซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละอองละอองขนาดใหญ่จะถูกดักไว้ที่ขนจมูกส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจทำให้ระคายเคืองแสบจมูกไอ จาม มีเสมหะหรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง

2.6 อัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตร

ฉัตรชัย นิมมล (2548) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ หมายถึง ปริมาตรหรือปริมาณอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลาอัตราการไหล ของอากาศสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของอากาศและพื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้สมการที่ (2.1)

$$Q = AV \tag{2.1}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

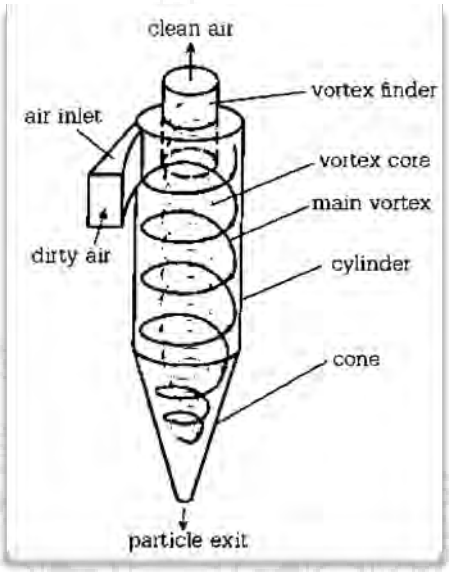
A คือ พื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน (m^2)

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

2.7 ทฤษฎีการออกแบบไซโคลน

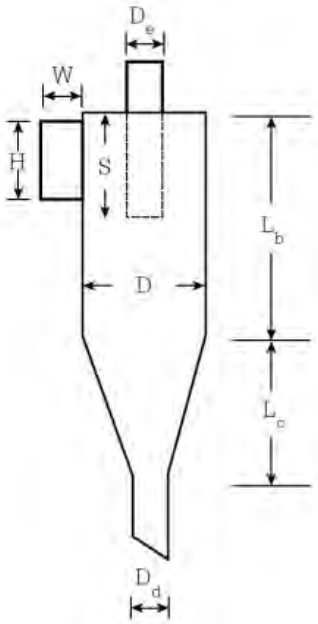
นพภาพร พานิช และคณะ (2550) ไซโคลน (Cyclones) เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดมลพิษอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้หลักการทางกลศาสตร์ (Mechanical) คล้ายกับห้องตกมลพิษ แต่ไซโคลนใช้กลไกหลักในการแยกมลพิษคือแรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหรืออากาศเกิดการหมุนวน (vortex) ขึ้นภายในตัวไซโคลนส่งผลให้มลพิษถูกเหวี่ยงและกระทบกับผนังของไซโคลนเนื่องจากความเฉื่อยหรือโมเมนตัมจากนั้นมลพิษจะตกลงเบื้องล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

โดยทั่วไปไซโคลนรูปแบบตามปกติจะประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก (Cylinder) และมีปลายเป็นรูปโคน (Cone) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การไหลของกระแสอากาศในไซโคลน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

อากาศจะไหลหรือเคลื่อนที่เข้าสู่ไซโคลนที่ช่องอากาศเข้า (air inlet) ที่ส่วนบนโดยไหลเข้าตามแนวสัมผัสเมื่ออากาศไหลผ่านเข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวนที่เรียกว่า main vortex ไหลวนจากบนลงล่างของตัวไซโคลนโดยกระแสวนนี้เมื่อเคลื่อนที่ลงไปจนเกือบถึงปลายโคลนแล้วจะเกิดกระแสวนกลับ (return flow) เคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นด้านบนที่เรียกว่า core vortex โดย core vortex นี้มีขนาดของกระแสวนเล็กกว่า main vortex และหมุนวนอยู่ด้านในของ main vortex เมื่อ core vortex เคลื่อนที่ถึงด้านบนของตัวไซโคลนจะไหลออกจากไซโคลนที่ทางออก (vortex finder) หรืออาจกล่าวได้ว่าอากาศที่ไหลเข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวน 2 ชั้นเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันส่งผลให้มลพิษถูกเหวี่ยงไปกระทบกับผนังและตกลงสู่เบื้องล่าง ส่วนอากาศที่สะอาด (ไม่มีมลพิษ) จะไหลวนหรือหมุนขึ้นผ่านท่อทางออกที่อยู่ด้านบนของไซโคลนโดยการออกแบบสัดส่วนของไซโคลน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัดส่วนของไซโคลน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

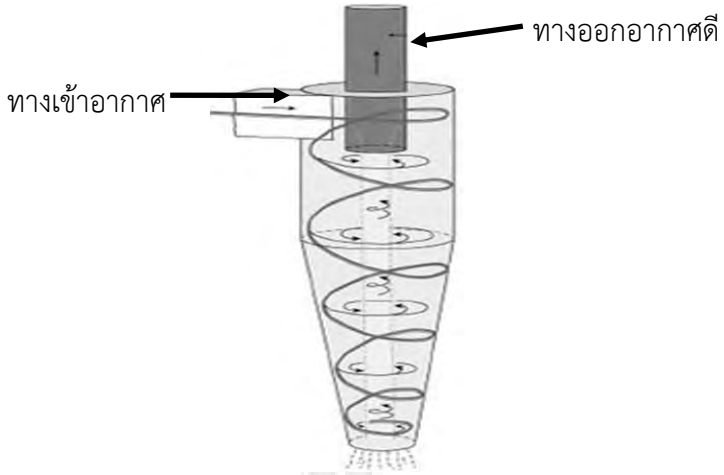
เมื่อ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวไซโคลน (m)
H คือ ความสูงของท่อเข้า (m)
S คือ ความยาวของ Vortex Finder (m)
W คือ ความกว้างของท่อเข้า (m)
D_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายมลพิษ (m)
D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศออก (m)
L_b คือ ความยาวของรูปทรงกระบอก (m)
L_c คือ ความยาวของส่วนไซโคลน (m)

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) มีความสำคัญในการออกแบบขนาดสัดส่วนของไซโคลน เพื่อที่จะนำไปกำหนดสัดส่วนต่างๆของไซโคลน ซึ่งขนาดเส้นผ่านของไซโคลนสามารถคำนวณได้แสดงดังสมการที่ (2.2)

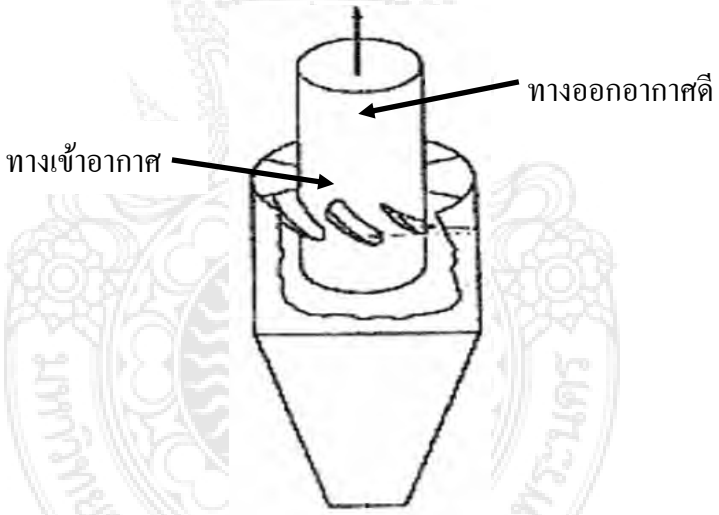
$$D = 3.16\sqrt{A} \tag{2.2}$$

2.8 ประเภทของไซโคลน

นพภาพร พานิช และคณะ (2550) ไซโคลนนอกจากสามารถแบ่งประเภทตามประสิทธิภาพในการจำกัดมลพิษดังที่ กล่าวมาแล้วข้างต้นไซโคลนยังสามารถแบ่งประเภทได้ โดยใช้วิธีการที่อากาศเข้าสู่ตัวไซโคลนเป็นเกณฑ์ซึ่งสามารถแบ่งได้ เป็น 2 ประเภท คือไซโคลนที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส และไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน ดังรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 ไซโคลนที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)



รูปที่ 2.6 ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

2.9 ขนาดและรูปร่างของไซโคลน

นพภาพร พานิช และคณะ (2550) โดยทั่วไปไซโคลนสามารถจับฝุ่นที่มีขนาด 10 ไมครอน หรือใหญ่กว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไซโคลนที่ใช้กันทั่วไปจับมลพิษที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 ไมครอนได้เกิน 90 % แต่ถ้าเป็นไซโคลนชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency) จะมีขนาดเล็ก สามารถจับมลพิษที่มีขนาดเล็กได้ถึง 5 ไมครอนได้ ประสิทธิภาพของการจับมลพิษแยกตามขนาดที่เรียกว่าประสิทธิภาพย่อยของไซโคลน 3 ชนิด คือ ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพสูง ไซโคลนที่ใช้กันทั่วไป และไซโคลนที่รับอัตราการไหลสูง

2.10 สมรรถนะของไซโคลน

นพภาพร พานิช และคณะ (2550) สมรรถนะของไซโคลนจะประกอบตัวแปรที่สำคัญ 3 อย่าง คือ ขนาดตัดของมลพิษ (Cutdiameter) ประสิทธิภาพในการจำกัดรวม และความดันสูญเสียซึ่ง ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะแบบมลพิษไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส (LappleModel) เนื่องจากใช้สมการคำนวณที่ค่อนข้างง่ายและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.10.1 ขนาดตัดของมลพิษหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของมลพิษ เป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษฯ ขนาดตัดของมลพิษ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu D_i}{2\pi N_e V_i(\rho_p - \rho_a)}} \qquad (2.3)$$

เมื่อ d_{pc} คือ ขนาดตัดของมลพิษ (m)

μ คือ ค่าความหนืดของอากาศ (Pa.s)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางเข้าของไซโคลน (m)

N_e คือ จำนวนรอบของกระแสวน (-)

V_i คือ ความเร็วของอากาศเข้าสู่ไซโคลน (m/s)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของมลพิษ (kg/m^3) (จากการทดสอบ)

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ (เท่ากับ 1 kg/m^3)

2.10.2 จำนวนรอบของกระแสวนที่เกิดขึ้น (Ne)

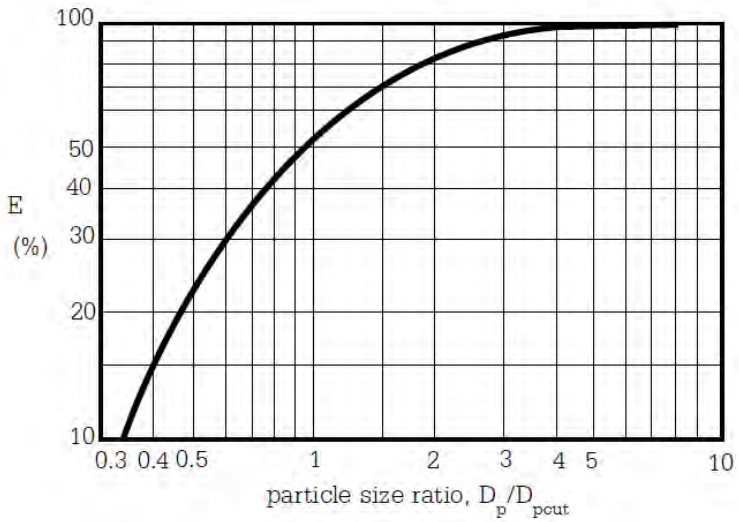
$$N_e = \frac{1}{D_i}[L_b + \frac{L_c}{2}] \qquad (2.4)$$

2.10.3 ประสิทธิภาพในการจำกัดจากสมการที่ (2.2) Lapple ได้พัฒนากราฟมาตรฐานเพื่อหาประสิทธิภาพในการจำกัดย่อยสำหรับอัตราส่วนของ ขนาดมลพิษต่อขนาดตัดต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.7 และเพื่อความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น Theodore และ DePaola ได้พัฒนากราฟมาตรฐานดังกล่าวเป็น สมการเพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพในการจำกัดย่อยแสดงดังสมการที่ (2.5)

$$E_{(dp)} = \frac{1}{[1+\left(\frac{d_{pc}}{d_p}\right)^2]} \quad (2.5)$$

เมื่อ $E_{(dp)}$ คือ ประสิทธิภาพในการจำกัดย่อยของมลพิษขนาด (%)

d_p คือ ขนาดของมลพิษ (μm)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพของไซโคลน และ อัตราส่วนของขนาดมลพิษ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

$$E = E_{(dpi)}G_{(dpi)in} \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือ ประสิทธิภาพในการจำกัด (%)

$E_{(dpi)}$ คือ ประสิทธิภาพในการจำกัดย่อยของมลพิษขนาด d_p (%)

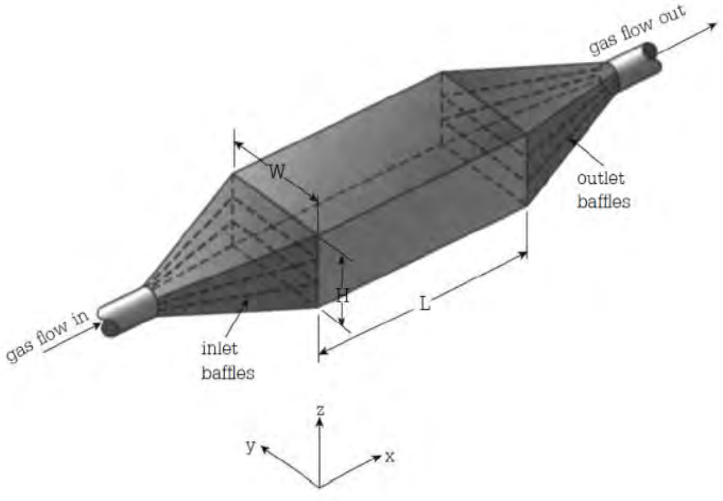
$G_{(dpi)in}$ คือ สัดส่วนของมวล (mass fraction) ที่มีขนาดของมลพิษในกระแสอากาศไหลเข้า

ตารางที่ 2.2 การกระจายขนาดของมลพิษ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมลพิษ (μm)	ค่ากลางของเส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	สัดส่วนมวลของมลพิษ
0-3000	1500	38
3000-5000	4000	12.5
5000-6000	5500	37.5
6000–7400	6700	12.5

2.11 ทฤษฎีการออกแบบห้องตกมลพิษ

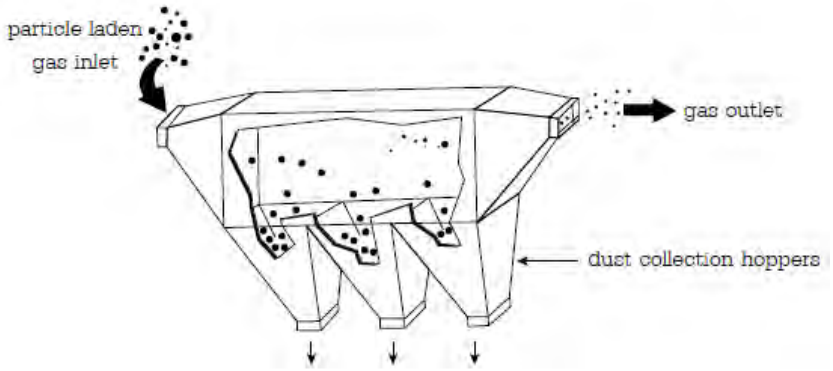
นพภาพร พานิช และคณะ (2550) ห้องตกมลพิษ (Settling chambers) เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศชนิดมลพิษอย่างง่ายและเป็นรูปแบบแรกๆของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษฯ ซึ่งทำการแยกมลพิษ (Particulate Matter; PM) หรือฝุ่น (Dust) ออกจากกระแสของอากาศหรืออากาศ (Gas stream)โดยใช้หลักการทางกลศาสตร์อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) เนื่องจากห้องตกมลพิษแยกมลพิษออกจากกระแสอากาศโดยอาศัยกลไกการตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นห้องตกมลพิษจึงถูกออกแบบให้เป็นห้องที่ขยายใหญ่ และมีความยาวตามแนวนอนโดยอากาศจะไหลเข้าสู่ห้องที่ส่วนหัวและไหลออกทางด้านท้ายของห้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วของกระแสอากาศซึ่งมีมลพิษอยู่มีความเร็วลดลงส่งผลให้มลพิษสามารถตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ในห้องตกมลพิษห้องตกมลพิษใช้แยกมลพิษที่มีขนาดใหญ่ คือ ขนาดประมาณ 40-60 ไมครอน นอกจากนี้ยังใช้สำหรับศึกษาการเคลื่อนที่ของมลพิษในกระแสอากาศ



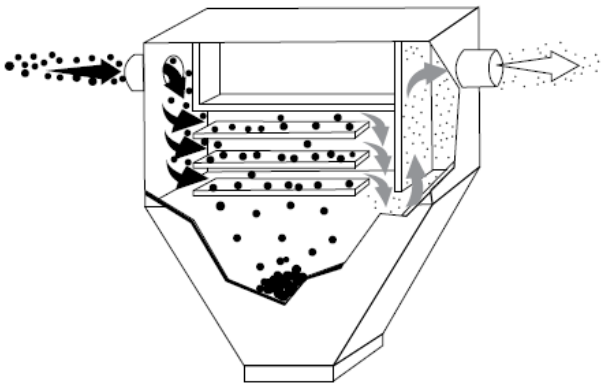
รูปที่ 2.8 ห้องตกมลพิษโดยทั่วไป (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

2.12 ชนิดของห้องตกมลพิษ

ห้องตกมลพิษสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือห้องตกมลพิษแบบไหลตามแนวนอน (Horizontal Flow Gravity Settling Chamber) ดังรูปที่ 2.9 ลักษณะเป็นห้องยาวตามแนวนอน มีท่อเข้า ท่อออก และถังพักสำหรับเก็บฝุ่น กระแสอากาศที่มีฝุ่นไหลเข้าห้องตกมลพิษทางท่อเข้า และเข้าสู่ส่วนขยาย ทำให้กระแสอากาศมีความเร็วลดลงอยู่ในช่วง 0.6-5.0 m/s มลพิษขนาดใหญ่จะตกลงสู่ถังพักด้วยแรงโน้มถ่วง ห้องตกมลพิษแบบถาดหลายชั้น (Multiple tray settling chamber) หรือที่เรียกว่า Howard settling chamber ดังรูปที่ 2.10 มีลักษณะเป็นห้องเหมือนกับห้องตกมลพิษแบบไหลตามแนวนอนแต่มีการเพิ่มเติมถาดเป็นชั้นๆเข้าไปในห้องตกมลพิษ ทั้งนี้เพื่อลดระยะตกของมลพิษหรือเป็นเสมือนการลดความสูง (H) ของห้องตกมลพิษทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจำกัดมลพิษที่มีขนาดเล็ก (ประมาณ 15 ไมครอน) ได้ในถาดแต่ละชั้นสามารถรอรับมลพิษที่ตกโดยแรงโน้มถ่วงของโลกดังนั้นระยะทางในแนวดิ่งซึ่งมลพิษตกและถูกจำกัดจะมีระยะทางน้อยลง ทำให้ห้องตกมลพิษแบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบไหลตามแนวนอนอย่างไรก็ตามการออกแบบจำเป็นต้องกระจายกระแสอากาศให้ไหลผ่านถาดแต่ละชั้นให้สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.9 ห้องตกมลพิษแบบไหลตามแนวนอน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)



รูปที่ 2.10 ห้องตกมลพิษแบบถาดหลายชั้น (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

2.13 การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

คู่มือพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม (2552) อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) หรือเรียกว่าค่า SEC นั้นเป็นการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานของการผลิตสินค้าหรือบริการซึ่งจะพิจาณาถึงการใช้พลังงาน (พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า) ต่อหน่วยการผลิตสินค้าหรือบริการมีหน่วยเป็น MJ/หน่วยการผลิตสินค้าหรือบริการ อย่างไรก็ตามค่า SEC กำลังจะถูกใช้เป็นบรรทัดฐานของการใช้เปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันในอนาคต โดยอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.9

หมายเหตุ หากในกระบวนการผลิตใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยของพลังงานให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเสียก่อนโดยคูณด้วย 3.60 โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้าและอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ

$$\text{SEC} = \frac{(\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้า} \times 3.60) + \text{ปริมาณพลังงานความร้อน}}{\text{ปริมาณผลผลิต (หน่วย)}} \quad (2.7)$$

$$\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{จำนวนวัตต์} \times \text{จำนวนชั่วโมงใช้งาน}}{1000} \quad (2.8)$$

$$\text{อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อชั่วโมง} = \text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อชั่วโมง} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \quad (2.9)$$

2.14 เศรษฐศาสตร์การลงทุน

ไพบูลย์ แย้มเพื่อน (2549) ในอดีตวิศวกรออกแบบงานทางวิศวกรรมมุ่งหวังให้มีอายุการใช้งานที่นาน แข็งแรง มีคุณภาพสูงแต่ในปัจจุบันแนวคิดนั้นถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ประกอบกับมีการแข่งขันกันสูง วิศวกรจึงจำเป็นต้องออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความประหยัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกในการลงทุนในโครงการต่างๆ ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลต้องอาศัยแหล่งข้อมูลจากแหล่งต่างๆเช่น ข้อมูลจากฝ่ายการตลาด ฝ่ายวิศวกรรม ด้านการเงิน ด้านบริหาร โดยการพิจารณาเศรษฐศาสตร์การลงทุนจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

2.14.1 ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

ต้นทุนคงที่คือต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดกิจกรรมเช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเช่าสถานที่ ค่าประกันภัย เป็นต้น ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อยค่าใช้จ่ายจะคงที่ตลอด ส่วนต้นทุนแปรผันคือต้นทุนที่ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต ซึ่งต้นทุนทั้งสองอาจจะรวมไปถึงต้นทุนทางตรงเช่น ค่าแรง ค่าวัสดุ ค่าสาธารณูปโภค เป็นต้น

2.14.2 ต้นทุนรวม

ต้นทุนรวมเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากผลรวมระหว่างผลรวมของต้นทุนคงที่และผลรวมต้นทุนแปรผัน ดังแสดงตามสมการที่ 2.10 ในงานวิจัยนี้ผลรวมของต้นทุนคงที่จะพิจารณาถึงค่าเสื่อม

ราคาเครื่องจักรรายปีและค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคารซึ่งสามารถคำนวณได้ตามดังสมการที่ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ ส่วนในกรณีของผลรวมของต้นทุนแปรผันจะพิจารณาถึงต้นทุนค่าจ้างแรงงาน ต้นทุนค่าไฟฟ้าแปรผันและต้นทุนค่าซ่อมแซมเครื่องจักรโดยรายละเอียดการคำนวณต้นทุนดังกล่าวจะพิจารณาตามสมการที่ 2.16-2.19 อย่างไรก็ตามต้นทุนทุกประเภทที่กล่าวมาจะพิจารณาเป็นหน่วย บาท/กิโลกรัม เพื่อง่ายต่อการพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุน

ต้นทุนรวม = $\sum$ ต้นทุนคงที่ + $\sum$ ต้นทุนแปรผัน (2.10)

$\sum$ **ต้นทุนคงที่** = ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี + ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร (2.11)

กำลังการผลิตต่อปี = อัตราการสีต่อชั่วโมง x ชั่วโมงการทำงานต่อวัน x วันทำงานต่อปี (2.12)

ต้นทุนเครื่องจักร = ราคาเครื่องจักร (2.13)

$$\textbf{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{การอายุการใช้งานเครื่องจักร x กำลังการผลิตต่อปี}} \quad (2.14)$$

$$\textbf{ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร} = \frac{(\text{ราคาเครื่องจักร x อัตราดอกเบี้ย12เดือน})+\text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}} \quad (2.15)$$

$\sum$ **ต้นทุนแปรผัน** = ค่าจ้างแรงงาน + ค่าไฟฟ้าแปรผัน + ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร (2.16)

$$\textbf{ค่าจ้างแรงงาน} = \frac{\text{ราคาค่าจ้างรายวัน x วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังผลผลิตต่อปี}} \quad (2.17)$$

$$\textbf{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = \frac{\text{อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อชั่วโมง x ชั่วโมงทำงานต่อวัน x วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}} \quad (2.18)$$

$$\textbf{ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร x \%ค่าตัวประกอบอายุเครื่องจักรต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}} \quad (2.19)$$

2.15 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุน

ชาติชาย อัศดรศักดิ์ และคณะ (2547) จุดคุ้มทุนหรือจุดเท่าทุน คือจุดที่รายได้จากการลงทุนคุ้มเงินค่าลงทุนหรือหมายทุนรายจ่ายมีค่าเท่ากับรายรับ หรือจุดที่กำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน (Cost) รายได้ (Revenue) และผลกำไรหรือมูลค่าเพิ่ม (Profit) ซึ่งแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต

เวียง อากรชี และคณะ (2542) ระยะเวลาการคืนทุน คือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของราคาเครื่องจักรและผลกำไรหรือมูลค่าเพิ่มที่ได้มาจากหักลบของรายรับกับต้นทุนรวม สำหรับการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.20 ถึง 2.22 ตามลำดับ

$$\textbf{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย x กำลังผลผลิตต่อปี}}{\text{(ราคารับจ้างสีกะลากาแฟ – ต้นทุนค่าใช้จ่าย)}} \qquad (2.20)$$

$$\textbf{ต้นทุนค่าใช้จ่าย} = \frac{\text{ต้นทุนรวม}}{\text{กำลังผลผลิตต่อปี}} \quad \text{เมื่อ (รายรับ – ต้นทุนค่าใช้จ่าย) = ผลกำไร} \qquad (2.21)$$

$$\textbf{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{ผลกำไร}} \qquad (2.22)$$

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

สำหรับการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบเครื่องมือการจำกัดกะลากาแฟที่เป็นมลพิษหลักของกระบวนการสีกาแฟ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยจึงจำเป็นต้องตั้งสมมุติฐานของมลพิษที่เกิดจากกระบวนการสีก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องมือ ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถตั้งสมมุติฐานได้ดังนี้

3.1 คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้า

จากการศึกษาและทดสอบการสีกะลาที่อยู่บริเวณด้านนอกของเมล็ดกาแฟพบว่า ภายใต้ความชื้นของเมล็ดกาแฟประมาณ 13% (มาตรฐานที่ใช้ในการรับซื้อกาแฟของกรมการค้าภายใน) คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้าแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้า

คุณลักษณะของกาแฟโรบัสต้า	ค่า
ความชื้นโดยประมาณ (%)	13
สัดส่วนมวลของเม็ดสารกาแฟจากการสี (%)	58.1 – 62.7
สัดส่วนมวลของกะลากาแฟจากการสี (%)	37.3 – 41.9
ความหนาแน่นเฉลี่ยของเมล็ดสารกาแฟจากการสี (kg/m^3)	0.533
ความหนาแน่นเฉลี่ยของกะลากาแฟที่มีขนาดใหญ่กว่า 100μm (kg/m^3)	0.146
ความหนาแน่นเฉลี่ยของฝุ่นกะลากาแฟที่มีขนาดเล็กกว่า 100μm (kg/m^3)	249.8
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเมล็ดสารกาแฟก่อนการสี (mm/μm)	12.14/12,140
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเมล็ดสารกาแฟหลังการสี (mm/μm)	6.66/6,660
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของกะลากาแฟหลังการสี (μm)	น้อยกว่า 500-6,570

3.2 คุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า

เครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าที่ทางคณะผู้วิจัยใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างมลพิษจากการสีกะลากาแฟโรบัสต้า ซึ่งมีลักษณะทั่วไปเหมือนเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า หากแต่ทางคณะผู้วิจัยมุ่งเน้นไปที่ปริมาณการสีในระดับครอบครัวซึ่งอัตราการสีอยู่ในช่วง 200 – 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวเพียงหลักการออกแบบและค่าคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องสีกะลากาแฟเท่านั้น อย่างไรก็ตามการออกแบบเครื่องสีกะลากาแฟสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักคือ

3.2.1 หลักการออกแบบการสีกะลากาแฟ ถือเป็นส่วนสำคัญที่สุดเนื่องจากการสีกะลากาแฟโรบัสต้าจะใช้หลักการความเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณกะลากาแฟหรือบริเวณเปลือกด้านนอกกาแฟ เนื่องจากเมล็ดกาแฟโรบัสต้ามีเปลือกนอกที่มีความแข็งมาก ดังนั้นการนำเปลือกหุ้มออกจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงกว่ากะลา โดยการสีส่วนใหญ่ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในแนวรัศมีที่ต้องพิจารณาการพาเมล็ดกาแฟและกะลากาแฟที่ถูกสีแล้วให้ไหลออกตามแนวแกนโดยใช้หินขัดดังแสดงตามรูปที่ 3.1

(ก) (ข)

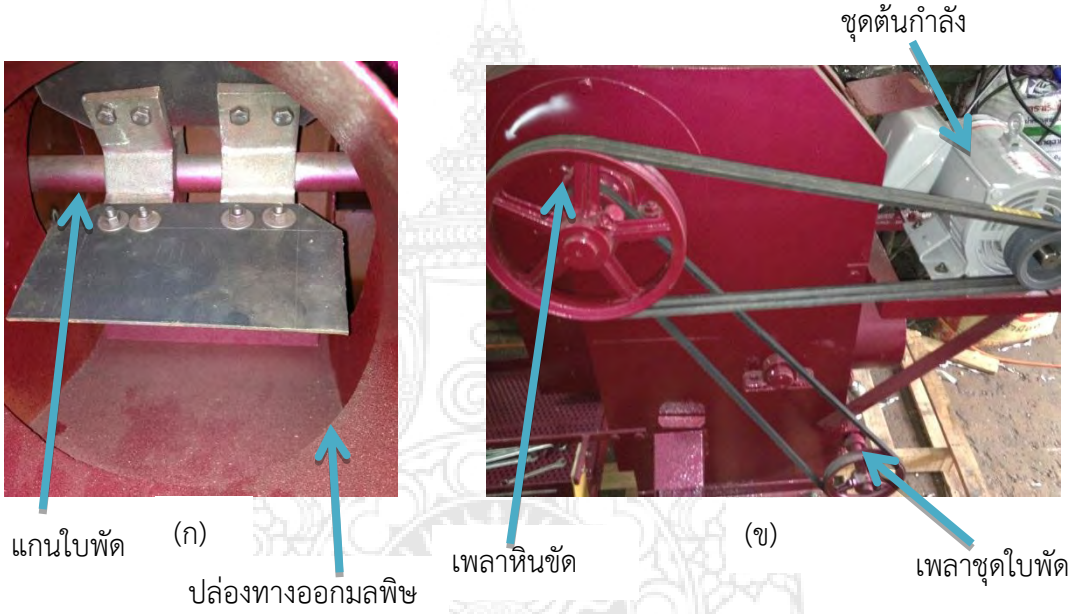
รูปที่ 3.1 หินขัดสร้างความเสียดทาน (ก) ร่องพากะลากาแฟ (ข) ตะแกรงครอบหินขัด

ยิ่งไปกว่านั้นหากการสีกะลากาแฟดำเนินไปอย่างต่อเนื่องการสึกหรอของหินขัดอาจทำให้เกิดช่องว่างในการสีกะลากาแฟมากเกินไปทำให้ไม่สามารถสร้างความเสียดทานได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อลดช่องว่างและปรับช่องว่างในขณะที่ทำการสีได้ ซึ่งปกติการลดช่องว่างของการสีจะใช้ยางขัดวางตามแนวรัศมีโดยมีสกรูปรับตั้งค่าช่องว่างซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2

(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 ยางขัด (ก) ยางขัดวางตามแนวรัศมี (ข) สกรูปรับตั้งช่องว่าง

3.2.2 หลักการออกแบบการพากะลากาแฟ หลังจากการสีเปลือกนอกของกาแฟเสร็จแล้ว จะต้องนำกะลาที่ได้จากการสีออกจากห้องสี โดยการใช้ใบพัดที่ออกแบบมาที่ถูกวางในแนวเดียวกับการไหลออกจากห้องสี เพื่อพากะลากาแฟด้วยการใช้ความดันที่แตกต่างกันของบริเวณหน้าและหลังใบพัด โดยแกนเพลาของใบพัดถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านสายพานที่ถูกต่อจากชุดพู่เลย์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกที่ผ่านการทดรอบให้มีความเหมาะสมกับอัตราส่วนเวลาที่กะลากาแฟตกจากห้องสีมายังห้องพากะลาออก อย่างไรก็ตามชุดใบพัดที่พากะลากาแฟออกนั้นถูกออกแบบให้อยู่ใกล้กับปล่องทางออกกะลากาแฟที่นำมาใช้พิจารณาถึงปริมาณการออกของมลพิษเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบชุดจำกัดมลพิษต่อไป ซึ่งชุดใบพัดพากะลากาแฟแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดใบพัดพากะลากาแฟ (ก) แกนใบพัด (ข) การติดตั้งชุดใบพัดและต้นกำลัง

3.2.3 หลักการออกแบบชุดต้นกำลัง ชุดต้นกำลังถือได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญรองลงมาจากชุดสีกะลากาแฟ เนื่องจากการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงกำลังที่มีต่อภาระการสีกะลากาแฟ อีกทั้งต้องสามารถใช้งานได้ง่าย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณแล้วว่าจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า เป็นต้นกำลังโดยพิจารณาจากภาระการสี บริเวณพื้นที่ใช้งาน มลพิษและปริมาณการสีต่อชั่วโมงเป็นหลัก ซึ่งหากต้องการปริมาณการสีที่มากอาจสามารถใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กทดแทนได้ หากแต่ต้องพิจารณาถึงมลพิษจากการเผาไหม้ที่ออกมาอยู่ในรูปของไอเสีย โดยการติดตั้งชุดต้นกำลังแสดงดังรูปที่ 3.3 (ข)

3.2.4 หลักการออกแบบชุดคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟ ชุดคัดแยกเมล็ดสารกาแฟหรือเมล็ดกาแฟที่ผ่านการสีแล้วเป็นอีกส่วนหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากหากพิจารณาถึงเครื่องสีกะลากาแฟที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันพบว่าจะมีการสร้างชุดคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟเบื้องต้น เพราะทำให้สะดวกต่อ

การนำไปแยกราคาขาย อีกทั้งชุดคัดแยกขนาดมิได้เพียงใช้คัดแยกขนาดเท่านั้น หากแต่ยังสามารถใช้แยกส่วนระหว่างเมล็ดสารกาแฟกับกะลากาแฟที่ถูกชุดใบพัดพาออกไปไม่หมด โดยการคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟนี้ใช้หลักการออกแบบกลไกข้อเหวี่ยงตัวเลื่อน (Slider-Crank) ที่รับกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำให้ถาดที่มีตะแกรงคัดแยกหลายขนาดมีการเคลื่อนที่ในแนวระนาบแบบไป-กลับ ทำให้เมล็ดสารกาแฟที่ผ่านการสีแล้วเคลื่อนที่ไหลออกจากตะแกรงไปยังที่รองรับได้ง่าย ซึ่งชุดคัดแยกเมล็ดสารกาแฟแสดงดังรูปที่ 3.4 ส่วนเครื่องสีกะลากาแฟที่สร้างสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 3.5 ตามลำดับ โดยคุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟแสดงดังตารางที่ 3.2

(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 ชุดคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟ (ก) ตะแกรงคัดแยกขนาด (ข) กลไกข้อเหวี่ยงตัวเลื่อน

รูปที่ 3.5 เครื่องสีกะลากาแฟที่เสร็จสมบูรณ์

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าที่ออกแบบ

รายการ	ค่า
มิติ	
กว้างXยาวXสูง ของเครื่องสีกะลากาแฟ (มิลลิเมตร)	800X150X155
ความโตพู่เลย์ชุดต้นกำลัง (นิ้ว)	4
ความโตพู่เลย์ชุดหินขัด (นิ้ว)	10
ความโตพู่เลย์ชุดใบพัด (นิ้ว)	4
ความโตเพลาหินขัด (นิ้ว)	1.5
ความโตหินขัด (นิ้ว)	8
กว้างXยาวXหนา ของยางขัด (มิลลิเมตร)	80X400X38
จำนวนยางขัด (ชิ้น)	3
ระบบส่งกำลัง	
มอเตอร์ไฟฟ้า (แรงม้า/เฟส/โวลต์)	3/3/380
สายพาน	ร่อง B
จำนวนสายพาน (เส้น)	5
ทิศทางการหมุน	แนวรัศมี/ทวนเข็มนาฬิกา
ระบบคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟ	
กว้างXยาวXสูง ของตะแกรง (มิลลิเมตร)	80X420X470
จำนวนชั้นของตะแกรง (ชั้น)	2
ขนาดความโตรูตะแกรงบน/ล่าง (มิลลิเมตร)	6/5
ระบบคัดแยก	กลไกข้อเหวี่ยง-ตัวเลื่อน
ขนาดเพลาคัดแยก (นิ้ว)	1
ทิศทางการคัดแยก	แนวระนาบ/กลับไป-กลับมา
ความสามารถของเครื่องสี	
อัตราการสีเฉลี่ย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	243

3.3 การเลือกประเภทและการออกแบบของชุดจำกัดมลพิษ

สำหรับการทำให้มลพิษจากกระบวนการสีกะลากาแฟลดลงนั้นทางคณะผู้วิจัยใช้วิธีการจำกัดมลพิษแทนการกำจัด เนื่องจากว่าการกำจัดมลพิษจะทำให้มลพิษจากการสีกะลากาแฟเช่นการเผา หากแต่การกำจัดอาจส่งผลต่อมลพิษด้านอื่นๆแทน ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการจำกัดจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยการเลือกประเภทของชุดจำกัดมลพิษ ในโครงการวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาชุดจำกัดมลพิษได้เป็น 2 แบบคือชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง และชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก อย่างไรก็ตามการเลือกประเภทและการออกแบบมีความจำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมของมลพิษที่ได้จากการสีก่อน จึงจะสามารถทำการ

เลือกประเภทและออกแบบชุดจำกัดมลพิษได้ ดังนั้นพฤติกรรมของมลพิษที่ทางคณะผู้วิจัยทำการทดสอบมาถูกแสดงดังตารางที่ 3.3

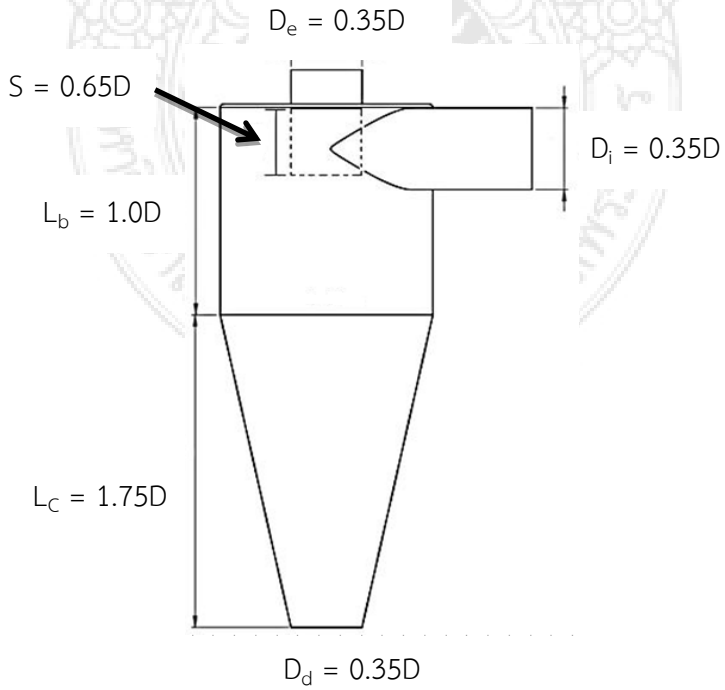
ตารางที่ 3.3 พฤติกรรมของมลพิษจากการทดสอบ

คุณลักษณะ	**ค่า**
*ความเร็วของมลพิษ (m/s)	14.7
แนวการเคลื่อนที่ (-)	วิถีโค้ง
*ปริมาณของมลพิษ (%)	ประมาณ 30-45
*ระยะที่มลพิษเคลื่อนที่ออกจากทางออกแบบปล่อยอิสระ (m)	5.25

*หมายเหตุ พฤติกรรมของมลพิษอาจมีค่าแตกต่างจากนี้ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเครื่องสีกะลากาแฟหรือคุณลักษณะของกาแฟที่นำมาสี

3.4 ขั้นตอนการออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง

สำหรับชุดจำกัดมลพิษแบบแห้งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกชุดจำกัดมลพิษแบบไซโคลนที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสดังแสดงตามรูปที่ 3.6 โดยการออกแบบไซโคลนประเภทที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสนี้จะพิจารณาถึงเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าและอัตราการไหลของกะลากาแฟเป็นหลัก โดยใช้สมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 ชุดไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสที่ออกแบบ

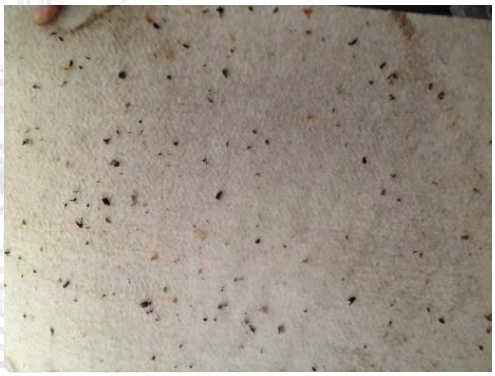
3.4.1 การคำนวณหาอัตราการไหลของมลพิษ

โดยการไหลของมลพิษที่ผ่านท่อทางออกของเครื่องสีกะลากาแฟมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 mm และผลจากการทดสอบความเร็วในการไหลออกของมลพิษที่ท่อทางออกของเครื่องสีกะลากาแฟมีค่า 11.4 m/s ดังนั้นตามสมการที่ 2.1 อัตราการไหลของมลพิษที่พิจารณาการไหลออกของมลพิษที่มีค่าเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อทางออก ซึ่งอันเกิดจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีกะลาสามารถทำให้ทราบว่าพฤติกรรมของมลพิษที่ไหลออกจากท่อทางออกตามรูปที่ 3.7

(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

รูปที่ 3.7 พฤติกรรมของมลพิษ

(ก) การวัดความเร็วลมที่ท่อทางออก (ข) การเคลื่อนที่ของมลพิษ

(ค) มลพิษที่มีขนาดเล็ก (ง) มลพิษที่มีขนาดใหญ่

สมการที่ 2.1 $Q = AV$

$$= \left(\pi \times (0.203)^2 \right) \times 11.4$$

$$Q = 0.369 \ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

ดังนั้นอัตราการไหลของมลพิษที่พิจารณาการไหลออกของมลพิษที่มีค่าเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อทางออกมีค่า 0.369 m^3/s

3.4.2 การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน

การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เนื่องจากการออกแบบตัวแปรอื่นๆของไซโคลจะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน (ตามรูปที่ 3.6) การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนหาได้จากสมการที่ 2.2 คำนวณหาซึ่งรายละเอียดของการออกแบบไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของการออกแบบไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส

รายการ	**ตัวแปร**	**ขนาด (มิลิเมตร/นิ้ว)**
เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน	D	575/22.6
ขนาดท่อทางเข้าของไซโคลน	D_i	201/7.9
ความสูงท่ออากาศดี	S	374/14.7
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศดี	D_e	201/7.9
ความสูงของไซโคลนส่วนตรง	L_b	575/22.6
ความสูงของไซโคลนส่วนกรวย	L_c	1006/39.6
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกของกรวย	D_d	201/7.9

3.4.3 การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของมลพิษที่สามารถใช้กับไซโคลน

การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของมลพิษที่สามารถใช้กับไซโคลนหรือขนาดตัดของมลพิษ จะพิจารณาจากตัวแปรมากมายเช่น จำนวนรอบการกระแสวนในไซโคลน ความหนาแน่นของมลพิษ และความเร็วอากาศเข้าไซโคลนเป็นต้น การหาขนาดตัดของมลพิษถูกคำนวณตามสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4 ตามลำดับ

สมการที่ 2.4

$$N_e = \frac{1}{D_i}[L_b + \frac{L_c}{2}]$$

$$= \frac{1}{201}[575 + \frac{1006}{2}]$$

$$N_e = 5.363$$

ดังนั้นจำนวนรอบกระแสวนในไซโคลนมีค่า 5.363 รอบ

สมการที่ 2.3

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu D_i}{2\pi N_e V_i(\rho_p - \rho_a)}}$$

$$= \sqrt{\frac{9(2.08\times10^{-6})(0.201)}{(2\pi)(5.363)(249.8-1)}}$$

$$d_{pc} = 21.183\times10^{-6}\,\mu m$$

3.4.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษรวมทางทฤษฎีที่ใช้กับไซโคลน

การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษรวมทางทฤษฎีที่ใช้กับไซโคลนตามสมการที่ 2.6 โดยมีตัวแปรที่สำคัญคือประสิทธิภาพการกำจัดย่อยของมลพิษตามสมการที่ 2.5 และสัดส่วนมวลที่มีขนาดของมลพิษในอากาศไหลเข้า (mass fraction) ตามแสดงดังตารางที่ 2.2 อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษทางทฤษฎีที่ใช้กับไซโคลนในกรณีที่มลพิษหรือกะลากาแฟหลังการสีที่มีขนาดต่างๆ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.5

สมการที่ 2.5

$$E_{(dp)} = \frac{1}{[1+\left(\frac{d_{pc}}{d_p}\right)^2]}$$

$$= \frac{1}{[1+\left(\frac{21.183}{6,570}\right)^2]}$$

$$E_{(dp)} = 99.99\%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดย่อยของมลพิษมีค่า 99.99% โดยค่าที่ได้จากการคำนวณนี้พิจารณาจากมลพิษที่มีขนาดโตที่สุด 6,570 μm (ได้จากการทดสอบการสีกะลากาแฟตามตารางที่ 3.1)

สมการที่ 2.6

$$E = E_{(dpi)}G_{(dpi)in}$$

$$= [(0.99\times0.38)+(0.99\times0.125)+(0.99\times0.375)+(0.99\times0.125)]$$

$$E = 0.99$$

ดังนั้นประสิทธิภาพการจำกัดทางทฤษฎีของไซโคลนเท่ากับ 99 %

ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษรวมทางทฤษฎีที่ใช้กับไซโคลนของมลพิษขนาดต่างๆ

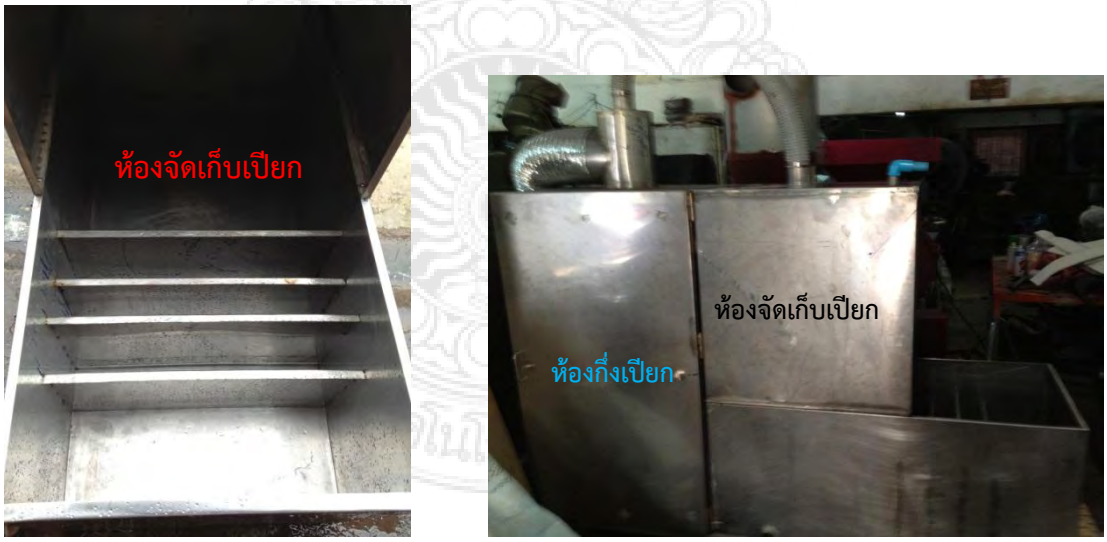
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมลพิษ (μm)	สัดส่วนมวลของมลพิษที่มีขนาดของมลพิษในอากาศไหลเข้า (%)	ประสิทธิภาพในการจำกัดมลพิษทางทฤษฎี(%)
0-3,000	38	99
3,000-5,000	12.5	99
5,000-6,000	37.5	99
6,000-6,570	12.5	99

3.5 ขั้นตอนการออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก

สำหรับชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกชุดจำกัดมลพิษแบบระบบน้ำล้นโดยหลักการพิจารณาการออกแบบเริ่มต้นจากการพามลพิษที่ออกจากท่อทางออกของเครื่องสีกะลากาแฟที่มีขนาดใหญ่ผ่านท่อลำเลียง (Flexible Tube) เข้าจัดเก็บในห้องกึ่งเปียกก่อนตามรูปที่ 3.8 หลังจากนั้นพฤติกรรมของมลพิษขนาดเล็กที่เกิดการฟุ้งกระจายและสามารถเล็ดลอดออกจากชุดจัดเก็บกึ่งเปียก จะไหลเข้าไปสู่ห้องจัดเก็บเปียกที่ถูกเชื่อมต่อกันตามรูปที่ 3.9 ซึ่งมลพิษขนาดเล็กจะถูกแรงดันน้ำที่ฉีดจากท่อขนาดเล็กด้วยความดันจากเครื่องสูบให้ไหลไปปะทะกับแผ่นกั้นที่ปรับมุมการปะทะได้และไหลตกลงสู่ห้องตกมลพิษดังรูปที่ 3.10 ในขณะที่มลพิษขนาดเล็กจะถูกพาเข้าสู่ห้องน้ำล้นที่มีความสูงแตกต่างกัน 2 ชุด ดังแสดงดังรูปที่ 3.11 โดยภายในห้องน้ำล้นถูกบรรจุด้วยกรองผ้าที่สามารถกรองมลพิษได้ขนาดเล็กที่สุดถึง 50 ไมครอน (50 μm)

อย่างไรก็ตามมลพิษขนาดเล็กที่ไม่สามารถเข้ามาที่ห้องน้ำล้นได้ก็จะดูดซึมน้ำทำให้ความหนาแน่นของมลพิษเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีนี้เมื่อความหนาแน่นของมลพิษมีมากกว่าน้ำ มลพิษจึงตกลงสู่พื้นภายในห้องตกมลพิษ ส่วนในกรณีที่มลพิษที่มีขนาดใหญ่และไม่สามารถดูดน้ำได้ ความหนาแน่นของมลพิษก็จะน้อยกว่าน้ำทำให้มลพิษดังกล่าวลอยอยู่บนผิวน้ำ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถช้อนเอามลพิษที่ลอยน้ำออกไปได้ ขั้นตอนการออกแบบชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกแสดงดังรูปที่ 3.12 และรายละเอียดชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกแสดงดังตารางที่ 3.6

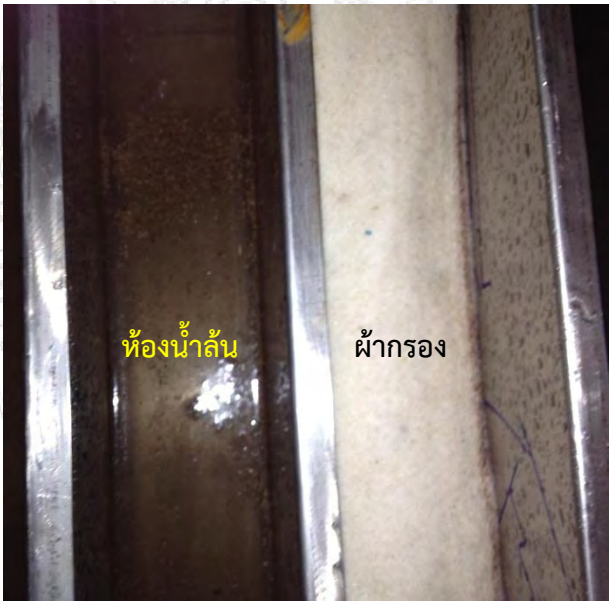
รูปที่ 3.8 ห้องกึ่งเปียก



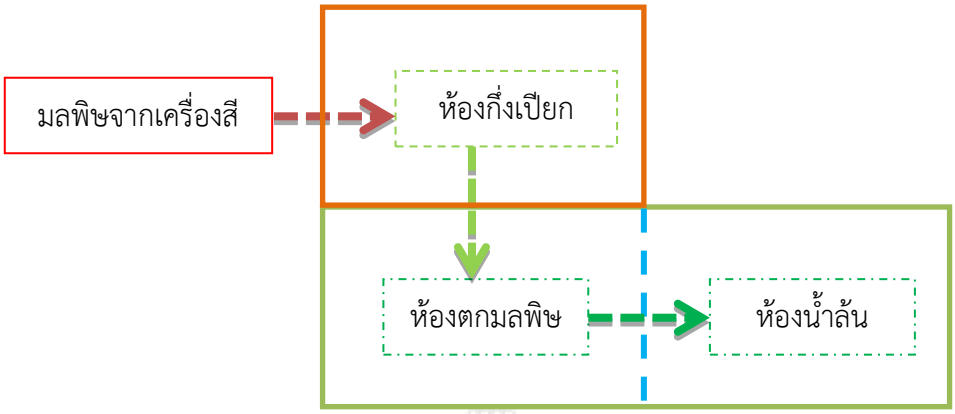
(ก) (ข)

รูปที่ 3.9 ห้องจัดเก็บเปียก (ก) ภาพภายในห้องจัดเก็บเปียก (ข) การเชื่อมต่อห้องจัดเก็บทั้งสอง

รูปที่ 3.10 ห้องมลพิษ



รูปที่ 3.11 ห้องน้ำล้น



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการออกแบบชุดกำจัดมลพิษแบบเปียก

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก

รายการ	**ค่า**
ห้องกึ่งเปียก	
มิติ: กว้างXยาวXสูง (มิลลิเมตร)	630X700X1230
ระยะห่างท่อทางเข้ามลพิษถึงตะแกรง (มิลลิเมตร)	430
ขนาดความโตทางเข้า/ออกของท่อมลพิษ (นิ้ว)	8/3
ความสูงท่อทางเข้ามลพิษ (มิลลิเมตร)	270
ขนาดความโตรูตะแกรง (มิลลิเมตร)	5
ปริมาตรการเก็บมลพิษ (เมตร^3)	0.366
ห้องจัดเก็บเปียก	
มิติ: กว้างXยาวXสูง (มิลลิเมตร)	630X1230X1230
ขนาดความโตท่อทางเข้า/ออกของมลพิษ (นิ้ว)	3/3
ขนาดความโตทางเข้า/ออกของท่อน้ำ (นิ้ว)	1/1
จำนวนรูฉีดน้ำแรงดันสูง/ความโตรู (รู/มิลลิเมตร)	43/5
พิกัดของเครื่องสูบ (แรงม้า)	3/4
ห้องตกมลพิษ	
มิติ: กว้างXยาวXสูง (มิลลิเมตร)	630X660X700
ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการจำกัดมลพิษ (เมตร^3/ลิตร)	0.133/133
ห้องน้ำล้น	
มิติ: กว้างXยาวXสูง (มิลลิเมตร)	630X570X700
ระยะห่างระหว่างห้องน้ำล้น (มิลลิเมตร)	100
ความแตกต่างความสูงของแผ่นกั้นของห้องน้ำล้น (มิลลิเมตร)	

3.6 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมกรรมนั้นมีจุดมุ่งหมายในการพิจารณาปัจจัยในการลงทุน อย่างไรก็ตามเงื่อนไขการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะใช้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงในสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุดเพื่อให้ผลที่แม่นยำมากที่สุดโดยรายละเอียดของตัวแปรต่างๆถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 3.7 อย่างไรก็ตามทางคณะผู้จัดทำมิได้ทำการเปรียบเทียบผลกำไรอันเกิดจากค่ารักษาพยาบาลที่เกิดจากฝุ่นละออง เนื่องจากอัตราค่าใช้จ่ายเรื่องค่ารักษาพยาบาลมีหลากหลายอัตราขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงและประเภทของโรงพยาบาล

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

รายการ	จำนวน	หน่วย
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	8	ชั่วโมง/วัน
วันทำงานต่อปี	300	วัน/ปี
อัตราการสีกะลากาแฟโรบัสต้า	243	กิโลกรัม/ชั่วโมง
ราคาเครื่องสีกะลากาแฟพร้อมชุดจำกัดมลพิษ	187,800	บาท
อายุการใช้งานเครื่องสีกะลากาแฟพร้อมชุดจำกัดมลพิษ	5	ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.936	บาท/หน่วย
อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ12 เดือน (กรกฎาคม 2555)	2.88	บาท/ปี
ค่าจ้างแรงงาน 8 ชั่วโมง	300	บาท/วัน
ราคารับจ้างสีกะลากาแฟโรบัสต้า	0.5	บาท/กิโลกรัม

หมายเหตุ :

- อัตราการสีกะลากาแฟอ้างอิงจากผลการทดสอบ
- ราคาเครื่องสีกะลากาแฟและชุดจำกัดมลพิษอ้างอิงจากต้นทุนการสร้าง
- อายุการใช้งานของเครื่องสีกะลากาแฟอยู่ในช่วงเวลา 5-7 ปี ดังนั้นจึงใช้เวลาต่ำสุดคือ 5 ปี

- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยอ้างอิงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภท 1.1.2 (บ้านพักอาศัยที่ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 401หน่วยขึ้นไป) ที่มา : www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Download/PEA-Tariff.pdf
- ค่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ 12 เดือนอ้างอิงจากธนาคารแห่งประเทศไทย
- ชั่วโมงการทำงานต่อวันและค่าจ้างแรงงาน อ้างอิงจากประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำตามมติคณะรัฐมนตรี

3.6.1 การคำนวณหากำลังการผลิตต่อปี

จากสมการที่ (2.12)

กำลังการผลิตต่อปี = อัตราการสีต่อชั่วโมง×ชั่วโมงการทำงานต่อวัน×วันทำงานต่อปี

กำลังการผลิตต่อปี = 243 × 8 × 300

ดังนั้นกำลังการผลิตต่อปีของการบดถั่วเหลืองมีค่าเป็น 583,200 กิโลกรัม/ปี

3.6.2 การคำนวณหาค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี

จากสมการที่ (2.14)

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{อายุการใช้งานเครื่องจักร} \times \text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี} = \frac{187,800}{5 \times 583,200} = 0.064$$

ดังนั้นค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปีมีค่าเป็น 37,560 บาท/ปี หรือ 0.064บาท/กิโลกรัม

3.6.3 การคำนวณหาค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร

จากสมการที่ (2.15)

$$\text{ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร} = \frac{(\text{ราคาเครื่องจักร} \times \text{อัตราดอกเบี้ย12เดือน}) + \text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร} = \frac{(187,800 \times 0.0288) + 187,800}{583,200} = 0.331$$

ดังนั้นหากฝากธนาคารจะมีเงิน 193,209 บาท โดยมีผลต่างของค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคารคือ 5,409 บาท หรือคิดเป็น 0.009 บาท/กิโลกรัม

3.6.4 การคำนวณหาค่าต้นทุนคงที่

จากสมการที่ (2.11)

$$\sum \text{ต้นทุนคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี} + \text{ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร}$$

$$\sum \text{ต้นทุนคงที่} = 37,560 + 5,409 = 42,969$$

ดังนั้นค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปีมีค่าเป็น 42,969 บาท/ปี หรือ 0.074 บาท/กิโลกรัม

3.6.5 การคำนวณหาค่าจ้างแรงงาน

จากสมการที่ (2.17)

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = \frac{\text{ราคาค่าจ้างแรงงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = \frac{300 \times 300}{583,200} = 0.179$$

ดังนั้นค่าจ้างแรงงานมีค่าเป็น 90,000 บาท/ปี หรือ 0.154 บาท/กิโลกรัม

3.6.6การคำนวณหาค่าไฟฟ้าแปรผัน

จากสมการที่ (2.8)

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อชั่วโมง × ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

$$= 3.75 \times 3.936 = 14.76$$

ดังนั้นอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้ามีค่าเป็น 14.76 บาท/ชั่วโมง หรือคิดเป็น 0.0025 บาท/กิโลกรัม

จากสมการที่ (2.18)

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = \frac{\text{อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าต่อชั่วโมง} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \times \text{วันทำงานต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าแปรผัน} = \frac{14.76 \times 8 \times 300}{583,200} = 0.061$$

ดังนั้นค่าไฟฟ้าแปรผันมีค่าเป็น 35,424 บาท/ปี หรือ 0.061 บาท/กิโลกรัม

3.6.7 การคำนวณหาค่าซ่อมแซมเครื่องจักร

จากสมการที่ (2.19)

$$\text{ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร} \times \%\text{ค่าตัวประกอบอายุเครื่องจักรต่อปี}}{\text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร} = \frac{187{,}800 \times 0.2}{583{,}200} = 0.064$$

สำหรับ % ค่าตัวประกอบอายุเครื่องจักรต่อปี นั้นจะพิจารณาเป็นแบบเส้นตรง โดยจะใช้การลดลงของอายุการใช้งานเครื่องจักร ดังนั้นการลดลงของอายุเครื่องจักรคิดเป็นร้อยละ 20 ต่อปี เพราะฉะนั้นค่าซ่อมแซมเครื่องจักรมีค่าเป็น 37,560 บาท/ปี หรือ 0.064 บาท/กิโลกรัม

3.6.8 การคำนวณหาค่าต้นทุนแปรผัน

จากสมการที่ (2.16)

$\sum$ ต้นทุนแปรผัน = ค่าจ้างแรงงาน + ค่าไฟฟ้าแปรผัน + ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร

$\sum$ ต้นทุนแปรผัน = 90,00 + 35,424 + 37,560

ดังนั้นต้นทุนแปรผันมีค่าเป็น 162,984 บาท/ปี หรือ 0.279 บาท/กิโลกรัม

3.6.9 การคำนวณหาค่าต้นทุนรวม

จากสมการที่ (2.10)

$$\text{ต้นทุนรวม} = \sum \text{ต้นทุนคงที่} + \sum \text{ต้นทุนแปรผัน}$$

ต้นทุนรวม = 42,969+162,984 = 205,953

ดังนั้นค่าต้นทุนรวมมีค่าเป็น 205,953 บาท/ปี หรือ 0.353 บาท/กิโลกรัม

3.6.10 การคำนวณหาจุดคุ้มทุน

จากสมการที่ (2.20)

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย} \times \text{กำลังการผลิตต่อปี}}{(\text{ราคารับจ้างสีกะลากาแฟ} - \text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย})}$$

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{0.353 \times 583,200}{(0.5 - 0.353)} = 1,400,473$$

ดังนั้นจุดคุ้มทุนมีค่าเป็น 1,400,473 กิโลกรัม

3.6.11 การคำนวณหาระยะเวลาการคืนทุน

จากสมการที่ (2.22)

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ราคาเครื่องจักร}}{\text{ผลกำไร} \times \text{กำลังการผลิตต่อปี}}$$

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{187,800}{0.147 \times 583,200} = 0.0067$$

ดังนั้นระยะเวลาการคืนทุนมีค่าเป็น 2.1905 ปี

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิจารณ์

สำหรับในบทนี้เป็นการแสดงผลการวิจัยและการวิจารณ์ผลที่ได้รับจากการวิจัย ซึ่งผลการวิจัยจะเป็นผลที่ได้จากการทดสอบ โดยผลการทดสอบที่ได้แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ 1) ผลของความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า 2) ผลการจำกัดมลพิษแบบแห้ง 3) ผลของการจำกัดมลพิษแบบเปียก โดยทั้ง 3 ส่วนนี้ใช้สมมุติฐานการทดสอบที่แตกต่างกันซึ่งทางคณะผู้วิจัยจะเสนอในหัวข้อต่อไป

4.1 สมมุติฐานการทดสอบเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า

การทดสอบเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าถือได้ว่าเป็นเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากผลที่ได้จากการออกแบบเครื่องสีกะลากาแฟ ส่งผลให้ทราบถึงความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟที่เป็นสาเหตุหลักของการปล่อยปริมาณมลพิษ ดังนั้นหากทราบถึงอัตราการสีกะลากาแฟก็สามารถทำการประเมินปริมาณมลพิษที่ออกสู่บรรยากาศ ซึ่งสามารถใช้ในการออกแบบชุดจำกัดมลพิษให้มีความเหมาะสมได้ โดยสมมุติฐานการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.1.1 ปริมาณหรืออัตราการสีเฉลี่ยของเครื่องสีกะลากาแฟ ถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ โดยมลพิษที่ได้จากการสีจะใช้ในการออกแบบชุดจำกัดมลพิษ

4.1.2 ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการสีกะลากาแฟ ถูกนำมาพิจารณาการออกแบบชุดจำกัดมลพิษ อีกทั้งทำให้ทราบพฤติกรรมของมลพิษที่เกิดจากการสีทั้งความเร็ว ทิศทางการเคลื่อนที่ และขนาดของมลพิษ

4.2 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ

ทางคณะผู้วิจัยจะพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการสีเพื่อนำมาใช้หาอัตราการสีเฉลี่ย ซึ่งกระบวนการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟแสดงดังรูปที่ 4.1 และผลการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟแสดงดังตารางที่ 4.1

การเตรียมวัตถุดิบทดสอบ

การพิจารณาความเร็วและพฤติกรรมของมลพิษหลังการสี

การพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณของเมล็ดสารกาแฟและปริมาณมลพิษ

รูปที่ 4.1 กระบวนการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถของเครื่องสีกะลากาแฟ

ครั้งที่	มวลของวัตถุดิบ (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้		อัตราการสี (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
		นาที	ชั่วโมง	
1	40	9.84	0.164	243.90
2	40	10.05	0.168	238.81
3	40	9.702	0.162	247.37
เฉลี่ย	40	9.864	0.165	243.36

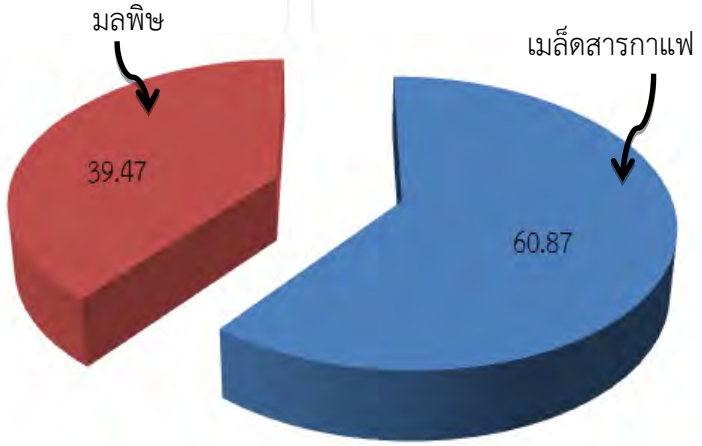
จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการสีหรืออัตราการสีเฉลี่ยกาแฟมีค่า 243.36 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ด้วยอัตราการป้อนวัตถุดิบและความเร็วรอบการสีคงที่ที่ 40 กิโลกรัม และ 820 รอบต่อนาที ซึ่งจากผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการสีทั้ง 3 ครั้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเวลาที่ใช้ในการสีต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 9.702 และ 10.05 นาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยได้แสดงผลของพฤติกรรมและปริมาณมลพิษที่เกิดจากการสีกะลากาแฟ โดยดังแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของพฤติกรรมและปริมาณมลพิษที่เกิดจากการสีกะลากาแฟ

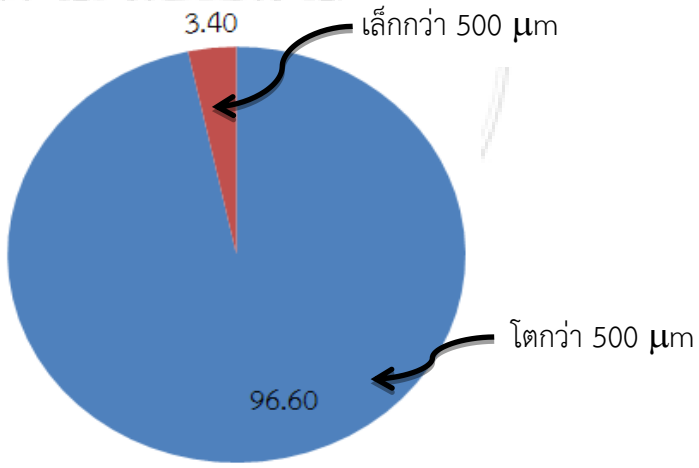
ครั้งที่	พฤติกรรมของมลพิษ			ปริมาณของมลพิษ			
	ความเร็ว (m/s)	แนวการเคลื่อนที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ (m)	สัดส่วนมวล (%)		สัดส่วนขนาดของมลพิษ (%)	
				เมล็ดสารกาแฟ	มลพิษ	โตกว่า500 μm	ต่ำกว่า 500 μm
1	14.67	วิถีโค้ง	5.26	58.1	42.9	96.4	3.6
2	14.83	วิถีโค้ง	5.25	62.7	37.3	97.6	2.4
3	14.70	วิถีโค้ง	5.24	61.8	38.2	95.8	4.2
เฉลี่ย	14.70	-	5.25	60.87	39.47	96.60	3.40

ผลจากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมลพิษมีแนวทางการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งและมีระยะการเคลื่อนที่เฉลี่ยที่ออกจากท่อทางออกสูงถึง 5.25 เมตร หรือกล่าวได้ว่า

ภายใต้การสีกะลากาแฟทำให้เกิดมลพิษในอากาศมีรัศมีมากกว่า 5 เมตร ในขณะที่ความเร็วของมลพิษมีค่าเฉลี่ย 14.7 เมตร/วินาที หรือคิดเป็นความเร็วที่สูงถึงประมาณ 53 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในกรณีของปริมาณมลพิษพบว่าสัดส่วนมวลเฉลี่ยของมลพิษมีค่า 39.47% โดยคิดเป็นสัดส่วนมลพิษที่มีขนาดโตและต่ำกว่า 500μm เป็น 96.6% และ3.4% ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดสารกาแฟและปริมาณมลพิษแสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนกรณีความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดมลพิษแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดสารกาแฟและปริมาณมลพิษ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดมลพิษ

4.3 สมมุติฐานการทดสอบชุดจำกัดมลพิษ

การทดสอบชุดจำกัดมลพิษของทางคณะผู้วิจัยแบ่งเป็น 2 กรณี คือชุดจำกัดมลพิษแบบแห้งและชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้มีสมมุติฐานการทดสอบใกล้เคียงกัน โดยสมมุติฐานการทดสอบชุดจำกัดมลพิษแสดงดังต่อไปนี้

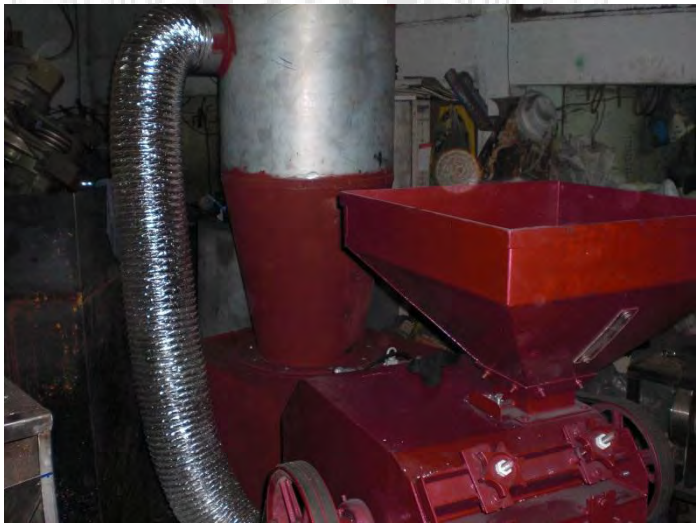
4.3.1 การจำกัดมลพิษเป็นเพียงการลดโอกาสที่มลพิษที่ได้จากการสีออกสู่บรรยากาศ มิได้ทำให้มลพิษนั้นหายไป

4.3.2 การจำกัดมลพิษต้องไม่ก่อให้เกิดมลพิษด้านอื่นๆ

4.3.3 การทดสอบจะพิจารณาถึงประสิทธิภาพเชิงปริมาณของการจำกัดมลพิษ

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบแห้งหรือชุดไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสนั้นจะพิจารณาถึงผลเปรียบเทียบ 2 กรณี คือปริมาณการไหลออกสู่บรรยากาศหรือปริมาณมลพิษที่ไม่สามารถจัดเก็บได้ และการเปรียบเทียบกับการจัดเก็บทางทฤษฎี ซึ่งกระบวนการทดสอบการจำกัดมลพิษด้วยชุดไซโคลนประเภทอากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัสถูกแสดงดังต่อไปนี้ การเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากาแฟกับชุดไซโคลน ผลจากการสีกะลากาแฟทำให้กะลากาแฟหรือมลพิษไหลออกจากท่อทางออกของเครื่องสีกะลากาแฟ โดยใช้ท่อลำเลียง (Flexible Tube) ขนาด 8 นิ้ว เป็นตัวเชื่อมต่อเข้าชุดไซโคลน ดังแสดงตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากับชุดไซโคลน

การตรวจสอบการจัดเก็บมลพิษ มลพิษที่เข้ามาสู่ชุดไซโคลนจะตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก หลังจากนั้นจะตกลงสู่ชุดจัดเก็บมลพิษที่อยู่บริเวณด้านล่างของฐานไซโคลน ซึ่งในชุดจัดเก็บมลพิษถูกหุ้มด้วยกรองผ้าที่สามารถกรองมลพิษได้ขนาดเล็กที่สุดถึง 50 ไมครอน เพื่อป้องกันมิให้มลพิษกระจายออกนอกชุดเก็บดังแสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งการตรวจสอบการจำกัดมลพิษจะนำผลของการจัดเก็บมลพิษมาพิจารณาประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษ โดยการนำมวลของของมลพิษที่สามารถจัดเก็บได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณมลพิษที่ไม่สามารถจัดเก็บได้ดังแสดงดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.5 แสดงชุดจัดเก็บมลพิษของไซโคลน

รูปที่ 4.6 แสดงมลพิษที่ชุดไซโคลนไม่สามารถจัดเก็บได้

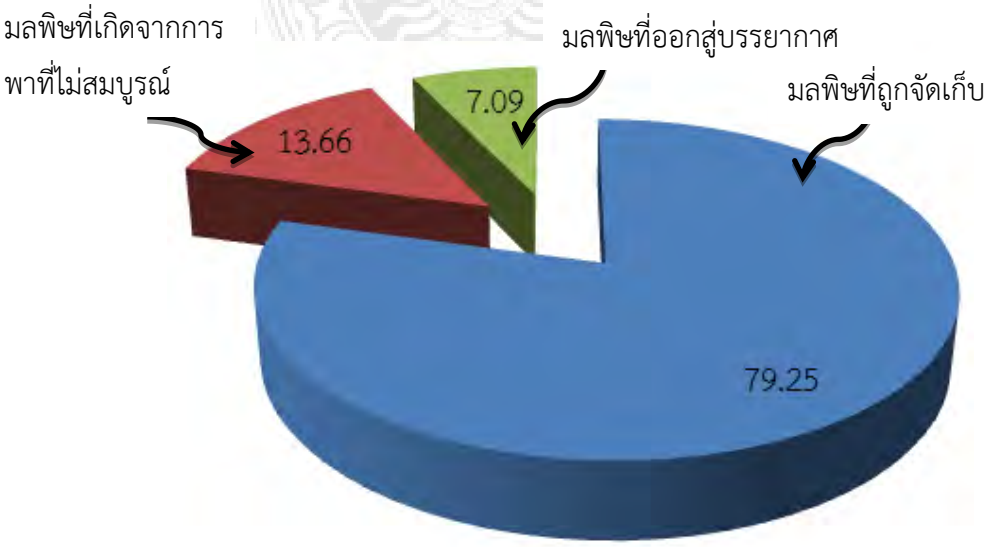
จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของมลพิษจำนวนหนึ่งที่ชุดไซโคลนไม่สามารถทำการเก็บได้โดยมลพิษที่ไม่สามารถจัดเก็บได้จะลอยออกจากบริเวณท่ออากาศดีที่อยู่บริเวณปลายด้านบนของชุดไซโคลนและตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ยิ่งไปกว่านั้นยังมีมลพิษอีกจำนวนหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนพามลพิษออกที่ไม่สมบูรณ์ โดยจะไหลออกจากตะแกรงคัดแยกขนาดดังแสดงตามรูปที่ 4.7 อย่างไรก็ตามมลพิษที่เกิดจากการสีไม่สมบูรณ์นี้จะมีโอกาสน้อยมากที่จะฟุ้งกระจายในอากาศเนื่องจากพฤติกรรมการตกลงของมลพิษที่ออกจากตะแกรงคัดแยกขนาดอยู่ในระดับต่ำมากจากพื้น อีกทั้งขนาดของมลพิษยังมีขนาดที่ใหญ่อีกด้วย ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษของชุดไซโคลนถูกแสดงดังตารางที่ 4.3

รูปที่ 4.7 แสดงมลพิษตกค้างจากกระบวนพามลพิษออกที่ไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษของชุดไซโคลน

รายการ	ค่า
วัตถุดิบ (กิโลกรัม)	22
เวลาที่ใช้ในการสีเฉลี่ย (นาที)	7.42
ปริมาณเมล็ดสารกาแฟหลังการสี (กิโลกรัม)	12.83
ปริมาณมลพิษ	
ปริมาณมลพิษที่ถูกจัดเก็บ (กิโลกรัม)	7.27
ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการพาที่ไม่สมบูรณ์ (กิโลกรัม)	1.25
ปริมาณมลพิษที่ออกสู่บรรยากาศภายนอก (กิโลกรัม)	0.65
สัดส่วนมวลของมลพิษ	
มลพิษที่ถูกจัดเก็บ (%)	79.25
มลพิษที่เกิดจากการพาที่ไม่สมบูรณ์ (%)	13.66
มลพิษที่ออกสู่บรรยากาศภายนอก (%)	7.09

ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษของชุดไซโคลนตามตารางที่ 4.3 พบว่าจากการทดสอบการสีจำนวน 3 ครั้ง โดยการป้อนวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ย 22 กิโลกรัม ปริมาณมลพิษที่ชุดไซโคลนสามารถทำการจัดเก็บได้มีค่า 7.27 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 79.25% ในขณะที่ปริมาณมลพิษที่ไม่สามารถจัดเก็บได้ทั้งในกรณีที่เกิดจากพาไม่สมบูรณ์และมลพิษที่ออกสู่บรรยากาศภายนอกมีค่า 1.9 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 21.75% ซึ่งมีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการจัดเก็บทางทฤษฎีจากการคำนวณถึง 19.75% ซึ่งสัดส่วนมวลของมลพิษที่ทดสอบกับชุดจำกัดมลพิษแบบไซโคลนแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงสัดส่วนมวลของมลพิษที่ทดสอบกับชุดจำกัดมลพิษแบบไซโคลน

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกแบ่งการพิจารณาได้ 2 กรณี คือผลของปริมาณการจำกัดมลพิษกับปริมาณมลพิษที่ไม่สามารถจำกัดได้ และผลของมลพิษด้านน้ำเสียจากการจำกัดมลพิษ ซึ่งกระบวนการทดสอบการจำกัดมลพิษด้วยชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกถูกแสดงดังต่อไปนี้

การเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากาแฟกับชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก ถูกกระทำเช่นเดียวกับชุดจำกัดมลพิษแบบไซโคลน หากแต่มีการเพิ่มเติมการต่อท่อลำเลียงขนาด 3 นิ้ว ดังแสดงดังรูปที่ 4.9 จากบริเวณเหนือห้องกึ่งเปียกเข้ามายังห้องจัดเก็บเปียก หลังจากนั้นทำการต่อท่อน้ำเข้าระบบฉีดแรงดันสูง เพื่อฉีดน้ำความดันสูงให้มลพิษที่เข้ามาสู่ห้องจัดเก็บเปียกปะทะกับแผ่นปะทะดังรูปที่ 4.10 โดยมลพิษจะไหลลงสู่ห้องน้ำล้นดังรูปที่ 4.11 เพื่อทำการจัดเก็บต่อไป จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่อยู่ภายในห้องจัดเก็บเปียกถูกนำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความเป็นมลพิษทางเคมีต่อไป

รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องสีกะลากาแฟกับชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก

รูปที่ 4.10 แสดงการต่อท่อน้ำเข้าระบบฉีดแรงดันสูง

รูปที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมของมลพิษไหลลงสู่ห้องน้ำล้น

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการจำกัดมลพิษแบบเปียก

รายการ		**ชุดจำกัดมลพิษแบบเปียก**		
		ห้องกึ่งเปียก	ห้องจัดเก็บเปียก	ห้องน้ำล้น
ปริมาณมลพิษ (กิโลกรัม)		7.25	มี (ไม่สามารถเก็บผลได้)	มี (ไม่สามารถเก็บผลได้)
พฤติกรรมของมลพิษ		ตกลงสู่ห้องจัดเก็บและมีบางส่วนไหลเข้าห้องจัดเก็บเปียก	มลพิษขนาดเล็กจมลงสู่พื้นด้านล่างของห้องจัดเก็บส่วนมลพิษขนาดใหญ่ไหลเข้าสู่ห้องน้ำล้น	มลพิษที่มีขนาดใหญ่ลอยอยู่เหนือห้องน้ำล้น
*ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (เทียบกับกระดาษ Universal Indicator)	ก่อนการทดสอบ	-	กลาง/pH 7	กลาง/pH 7
	1 ชั่วโมง	-	สีของกระดาษเปลี่ยนเป็นไปในทิศทางเบส/pH 8	สีของกระดาษเปลี่ยนเป็นไปในทิศทางเบส/pH 8
	6 ชั่วโมง	-	ระดับความเป็นเบสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง/pH<9	ระดับความเป็นเบสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง/pH<9
	12 ชั่วโมง	-	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง pH<9	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง pH<9
	24 ชั่วโมง	-	มีค่าเป็นเบสที่ pH 9	มีค่าเป็นเบสที่ pH 9

*หมายเหตุ การทดสอบความเป็นกรด-เบสของน้ำใช้การเทียบสีตามรูปที่ 4.12

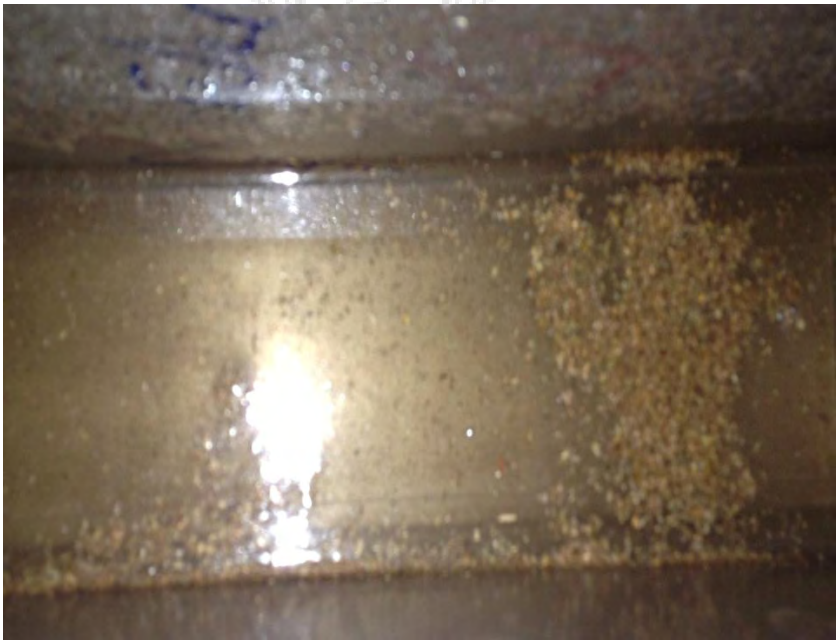
รูปที่ 4.12 สีของกระดาษ Universal Indicator
ที่มา: http://www.maceducation.com/e-knowledge/2412212100/15.htm

ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.4 เปิดเผยให้เห็นถึงปริมาณมลพิษในห้องจัดเก็บเปียกและห้องน้ำล้นไม่สามารถเก็บผลการทดสอบเพื่อนำมาชั่งน้ำหนักของมลพิษได้ เนื่องจากมลพิษที่ตกลงสู่ห้องทั้งสองนี้มีมวลของน้ำเข้าไปในมลพิษ สำหรับกรณีพฤติกรรมของมลพิษในห้องทั้ง 3 นั้นมีพฤติกรรมแตกต่างกัน โดยห้องกึ่งเปียกและห้องจัดเก็บเปียกมีมลพิษทุกขนาดปะปนกันอยู่ดังแสดงตามรูปที่ 4.13 อย่างไรก็ตามขนาดของมลพิษที่เล็กในห้องเก็บเปียกจะจมลงสู่ด้านล่างของห้องตามรูปที่ 4.14 ในขณะที่ห้องน้ำล้นมีเพียงมลพิษที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำลอยอยู่เท่านั้น หากแต่เมื่อเวลาผ่านไปมลพิษขนาดใหญ่จะทำการดูดซึมน้ำในห้องน้ำล้นแล้วจมลงสู่พื้นด้านล่างตามรูปที่ 4.15 เนื่องจากความหนาแน่นมีค่ามากกว่าน้ำ ส่วนการทดสอบการเป็นกรด-เบสของน้ำมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือค่าความเป็นเบสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป

(ก) (ข)

รูปที่ 4.13 แสดงการปะปนของมลพิษทุกขนาด (ก) ห้องกึ่งเปียก (ข) ห้องจัดเก็บเปียก

รูปที่ 4.14 แสดงการจมลงของมลพิษขนาดเล็กในห้องจัดเก็บเปียก



รูปที่ 4.15 แสดงการจมลงของมลพิษขนาดใหญ่ในห้องน้ำล้นเมื่อเวลาผ่านไป

4.6 การพิจารณาผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่คณะผู้วิจัยให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการลงทุนและผลตอบแทนที่ได้จากการได้ประโยชน์ซึ่งทรัพย์สินหรือสิ่งที่ทำการลงทุน โดยผลสรุปจากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลสรุปทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

รายการ		**ค่า**			
		กิโลกรัม	ปี	บาท/ปี	บาท/ กิโลกรัม
ต้นทุนคงที่	ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรรายปี	-	-	37,560	0.064
	ค่าเสียโอกาสเงินฝากธนาคาร	-	-	5,409	0.009
	ผลรวมต้นทุนคงที่	-	-	42,969	0.074
ต้นทุนแปรผัน	ค่าจ้างแรงงาน	-	-	90,000	0.154
	ค่าไฟฟ้าแปรผัน	-	-	35,424	0.061
	ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร	-	-	37,560	0.064
	ผลรวมต้นทุนแปรผัน	-	-	162,984	0.279
ต้นทุนรวม	ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน	-	-	**205,953**	**0.353**
ผลกำไร	การรับจ้างสีกะลากาแฟ	-	-	85,730	0.147
จุดคุ้มทุน		1,400,473		-	-
ระยะเวลาการคืนทุน			2.1905	-	-

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าจุดคุ้มทุนของการรับจ้างสีกะลากาแฟมีค่า1,400,473 กิโลกรัม หรือคิดเป็นระยะเวลาการคืนทุน 2.1905 ปี อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการพิจารณาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุนที่ได้อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามกำลังการผลิตต่อปี ซึ่งในกรณีนี้ทางคณะผู้วิจัยยังมิได้พิจารณาผลกำไรจากการที่ผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคทางเดินหายใจที่เกิดจากฝุ่นละอองเนื่องจากไม่สามารถชี้วัดเป็นเงิน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

5.1.1 เครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้าเป็นเครื่องมือที่จำลองการสร้างมลพิษเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของมลพิษทั้งความเร็ว แนวการเคลื่อนที่ และระยะทางการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ปริมาณของมลพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนมวลระหว่างเมล็ดสารกาแฟและมลพิษ รวมไปถึงสัดส่วนขนาดของมลพิษ ล้วนแล้วแต่ได้มาจากเครื่องสีกะลากาแฟทั้งสิ้น ซึ่งข้อมูลที่กล่าวมาถูกใช้ในการออกแบบชุดจำกัดมลพิษทั้งสองแบบ ส่วนในกรณีความสามารถในการสีเฉลี่ยอยู่ที่ 243 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.1.2 ชุดจำกัดมลพิษแบบแห้ง (ไซโคลนที่อากาศไหลตามแนวเส้นสัมผัส) ที่ถูกออกแบบมานี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่คาดการณ์หรือที่คำนวณไว้ทางทฤษฎี โดยสามารถจำกัดมลพิษได้เพียง 79.25% เท่านั้น ซึ่งมีผลต่างกับที่คำนวณทางทฤษฎีถึง 19.75% ซึ่งมลพิษที่ไม่สามารถจำกัดได้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 500 μm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์อันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมลพิษที่ไม่สามารถจัดเก็บได้นั้นมีแหล่งที่มาจากบริเวณปลายด้านบนของชุดไซโคลน

5.1.3 ชุดจำกัดมลพิษแบบเปียกมีความสามารถจำกัดมลพิษประเภทฝุ่นละอองได้ดีกว่าแบบแห้ง โดยไม่มีปริมาณมลพิษออกสู่บรรยากาศภายนอกได้เลย ซึ่งมลพิษทั้งหมดจากการสีกาแฟถูกจัดเก็บอยู่ภายในห้องกึ่งเปียก ห้องจัดเก็บเปียก และห้องน้ำล้น ยิ่งไปกว่านั้นผลความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่อยู่ภายในห้องทั้งสองเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง มีแนวโน้มเป็นเบสที่ค่า pH 9 จากdki เริ่มต้นที่ pH 7

5.1.4 ผลการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมแสดงถึงจุดคุ้มทุนของการรับจ้างสีกะลากาแฟที่ 1,400,473 กิโลกรัม ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนที่ 2.1905 ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปริมาณมลพิษที่ไหลออกจากปลายด้านบนของชุดไซโคลนสามารถทำการจัดเก็บได้โดยใช้ผ้ากรองที่มีขนาดช่องว่างระหว่างรูต่ำกว่าขนาดมลพิษ ซึ่งควรพิจารณาการไหลของอากาศด้วย

5.2.2 การฟุ้งกระจายเนื่องจากค่าความหนาแน่นของมลพิษมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของอากาศ จึงมีโอกาสเสี่ยงที่ผู้ปฏิบัติงานอาจเกิดโรคทางเดินหายใจอันเกิดจากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองได้

5.2.3 ความเร็วที่สูงมากของมลพิษที่ได้จากการสี ยังจะก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะอื่นๆของร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งดวงตา หากการติดตั้งเครื่องสีอยู่สูงกว่าระดับสายตา

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **คู่มือพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม**. กระทรวงพลังงาน. 2552

ฉัตรชัย นิมมล.ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ (Dust Disposal and Ventilation System). กรุงเทพมหานคร,พิมพ์ครั้งที่ 2 ธันวาคม 2548

ชาติชาย อัศดรศักดิ์ และ พัชราภรณ์ เนียมมณี. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 1. 2547

ฐิติกาญจน์ ศรธนะรัตน์. **ต้นทุนและผลตอบแทนของการทำสวนกาแฟอาราบิก้า ในอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ห้องสมุดงานวิจัย (วช.). 2550

นพภาพร พานิช และคณะ.ตำราบำบัดมลพิษทางอากาศ.กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ.2550

ปิยนุช นาคะและคณะ. **เปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า**. สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร. 2540

ปิยะมาศ ช่วงวาณิต. **ศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟโรบัสต้าและลดระยะเวลาการอบแห้ง.** วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ห้องสมุดงานวิจัย (วช.). 2546

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) . กรุงเทพมหานคร. 2549. เกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2542

วลัยภรณ์ ภัสสรศิริและคณะ. **ศึกษาการใช้สารเคมีและเอมไซม์ที่เหมาะสมในการหมักสารกาแฟพันธุ์โรบัสต้า**.ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรสถาบันวิจัยพืชสวน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541

เวียง อากรชีและคณะ. **การศึกษาสมถนะเครื่องสีเปลือกสดกาแฟอาราบิก้า.** ภาควิชาวิศวกรรม

อภิญญา โกปริญญา. **การศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 10) บริเวณก่อสร้างถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 สายพิษณุโลก-สุโขทัย.** วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยนเรศวร. ห้องสมุดงานวิจัย (วช.). 2549

Kai Zhangและคณะ. **Source, route and effect of Asian sand dust on environment and the oceans**. Chinese Research Academy of Environmental Sciences. Beijing, China. Available online 3 July 2010.

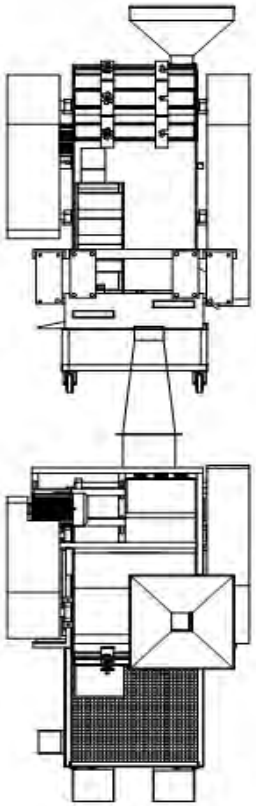
Soon-Ung Park และคณะ. **Estimates of Asian dust deposition over the Asian region by using ADAM2 in 2007.** Center for Atmospheric and Environmental Modeling, Seoul, South Korea. 151-919. Available online 15 March 2010.

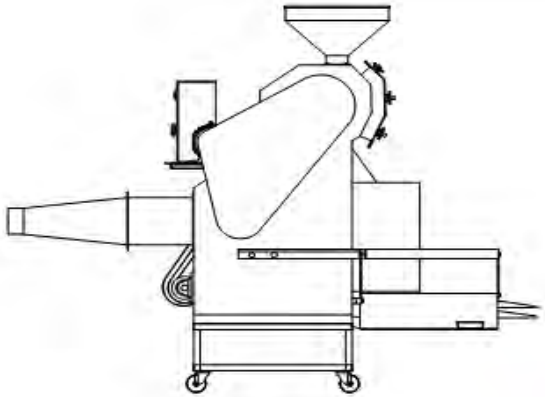
แหล่งที่มา : **กรมวิชาการเกษตร.** http://www.m.doa.go.th/aeri/files/research/am4812_coffee_miller.pdf. ค้นเมื่อ วันที่ 15 กันยายน 2554

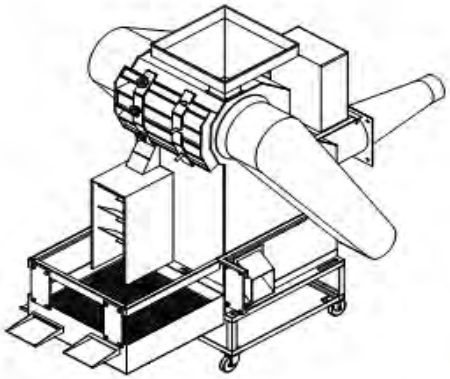
แหล่งที่มา : http://www.maceducation.com/e-knowledge/2412212100/1515.htm (6 มิถุนายน 2555)

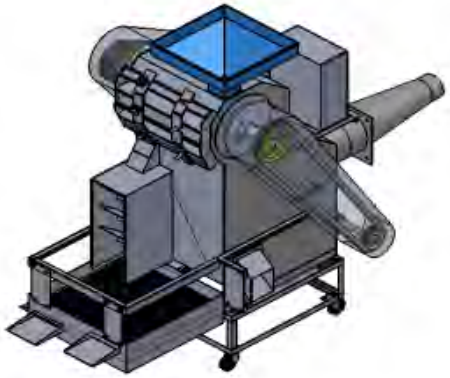
ภาคผนวก ก

แบบเครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้ามลพิษต่ำ

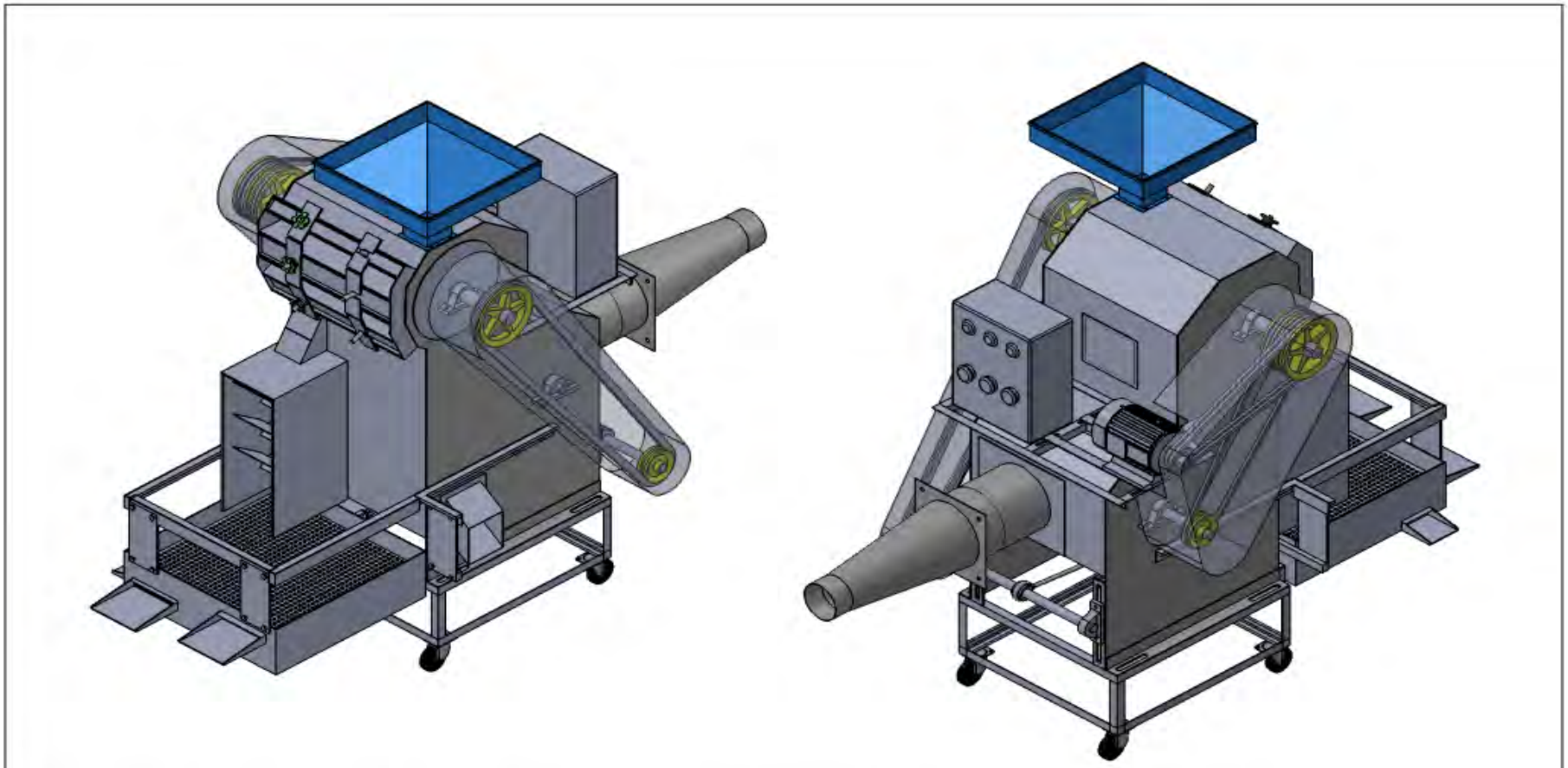




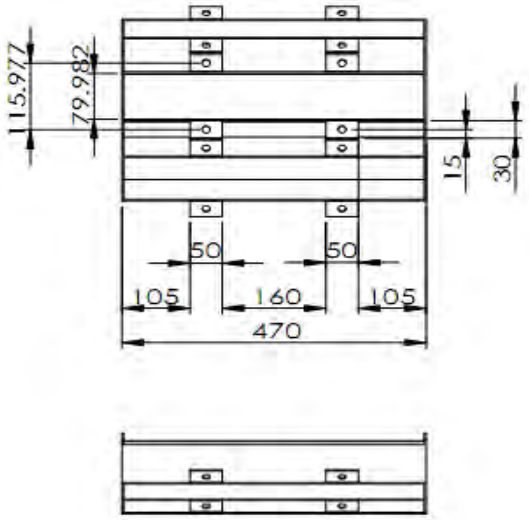


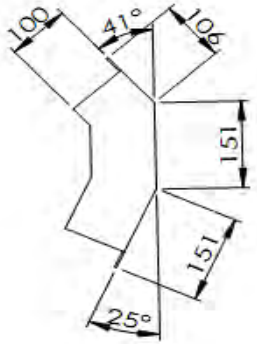


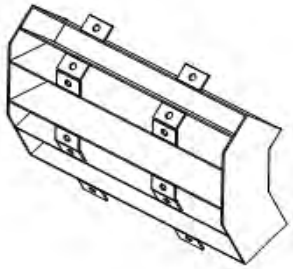
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 1 OF 27



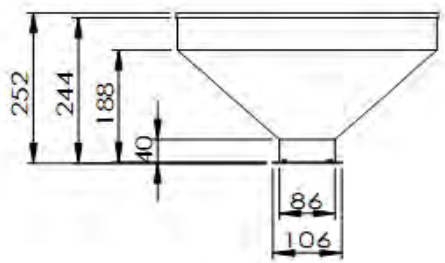
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON				
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012					
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10	
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 2 OF 27	

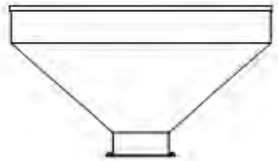


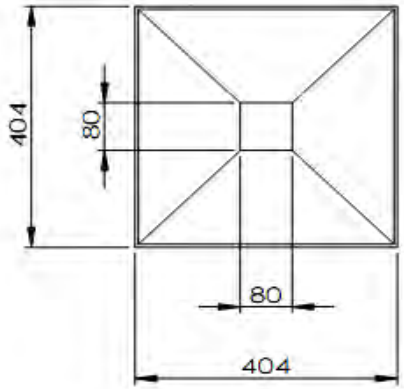


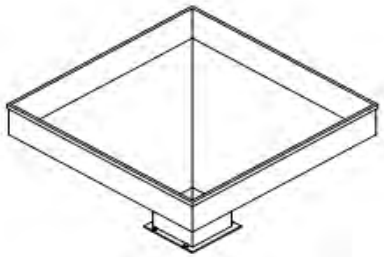


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 3 OF 27

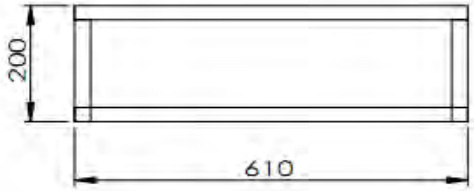


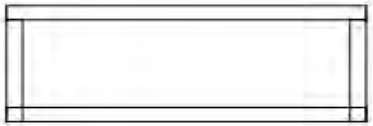


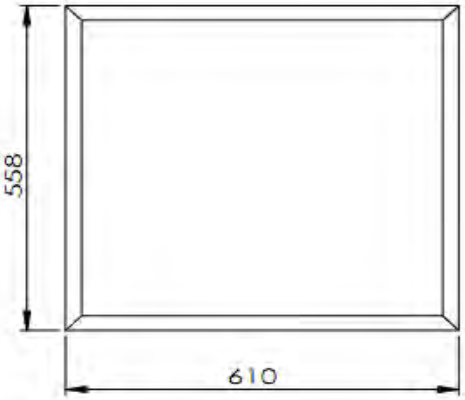


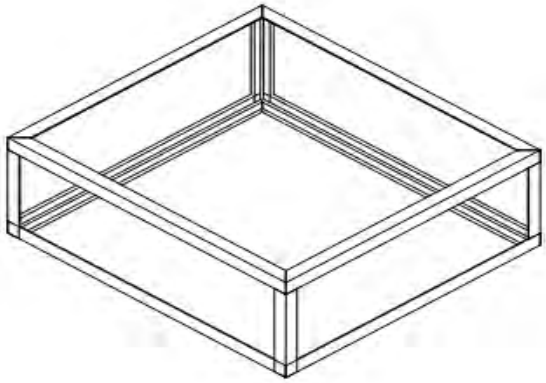


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 4 OF 27

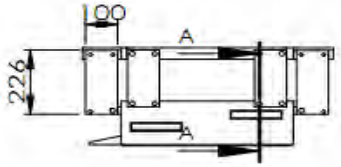


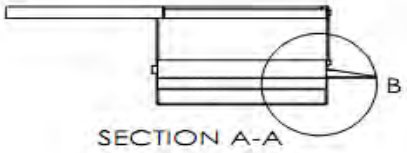


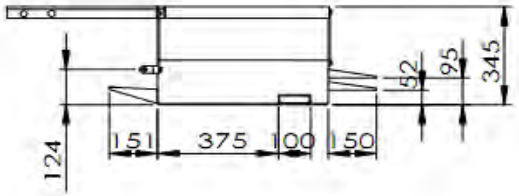


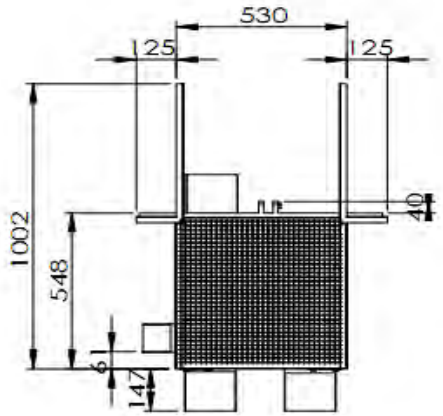


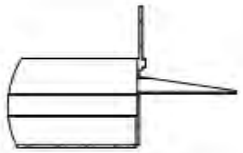
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON				
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012					
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10	
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 5 OF 27	



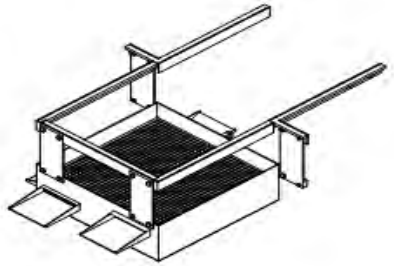




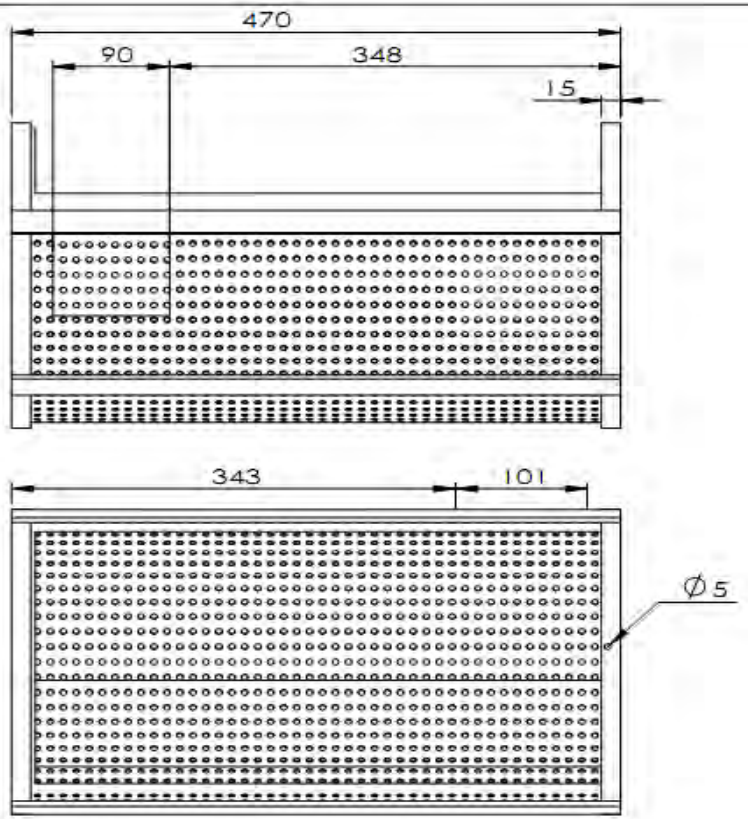


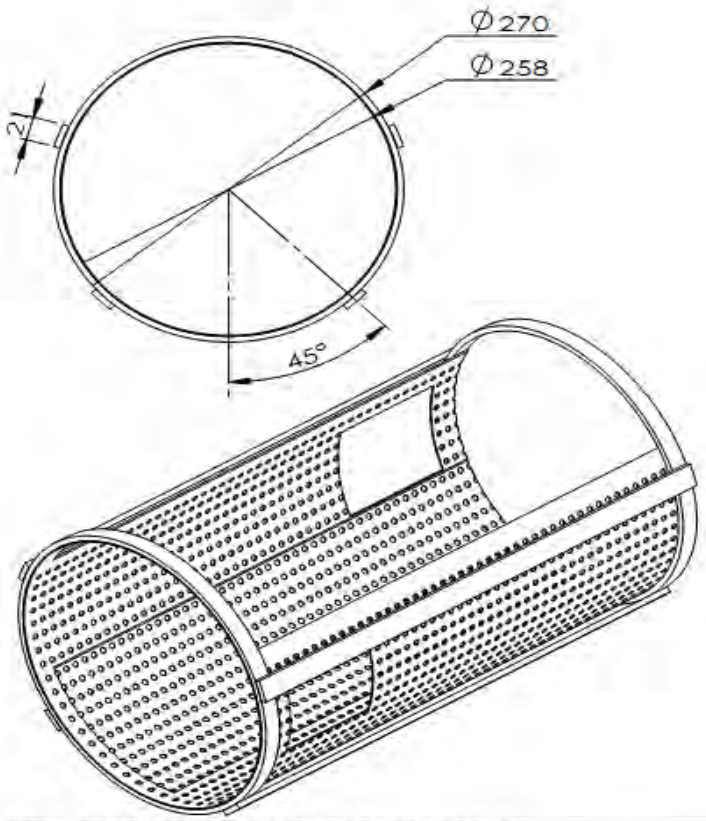


DETAIL B
SCALE 1 : 10

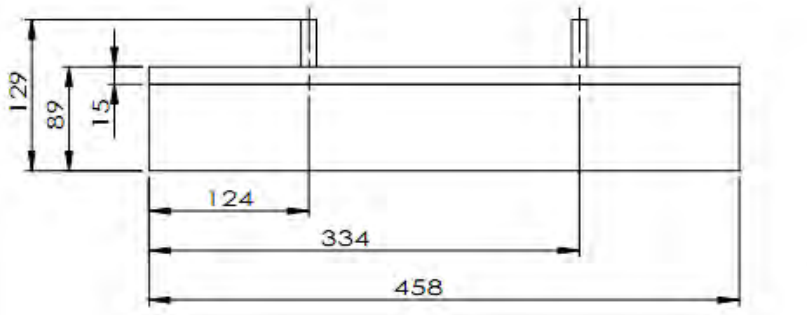


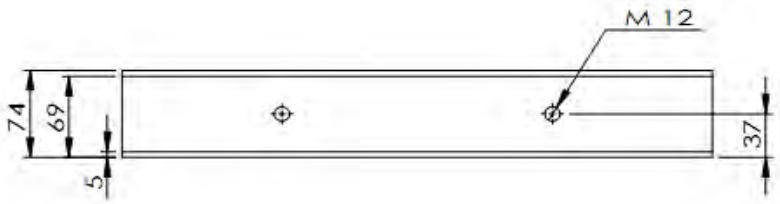
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 6 OF 27

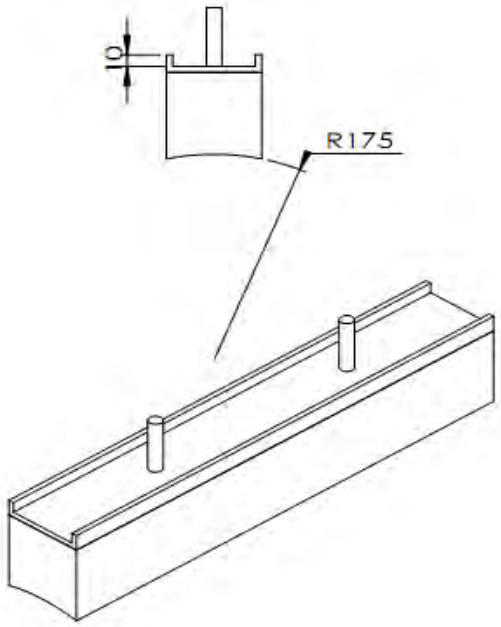




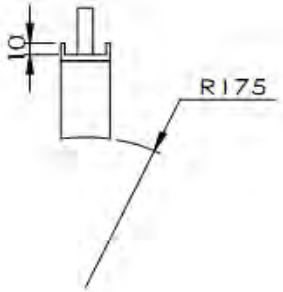
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 7 OF 27

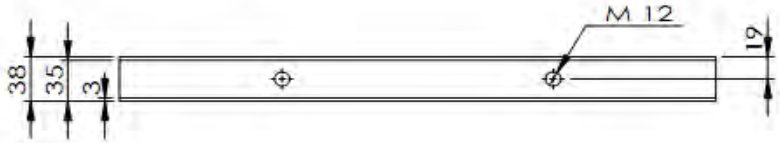


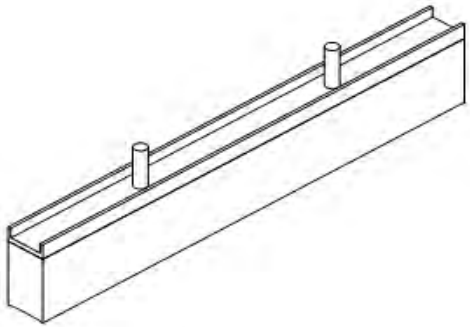




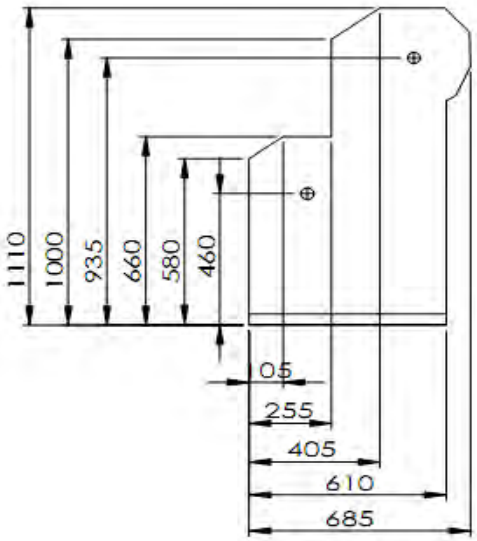
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 8 OF 27

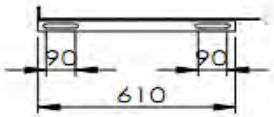


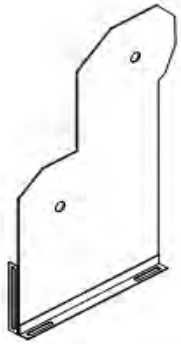




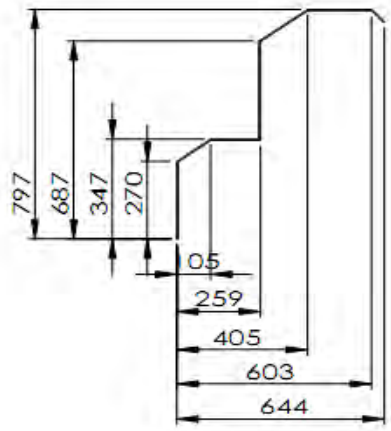
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON				
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012					
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10	
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 9 OF 27	

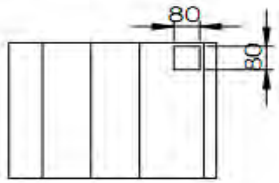


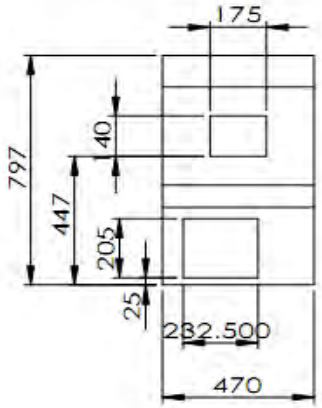


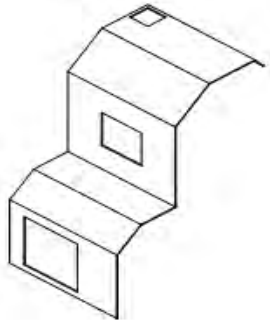


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 10 OF 27

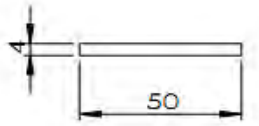


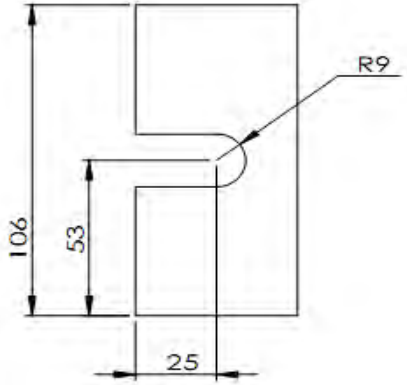


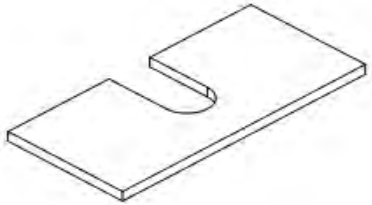




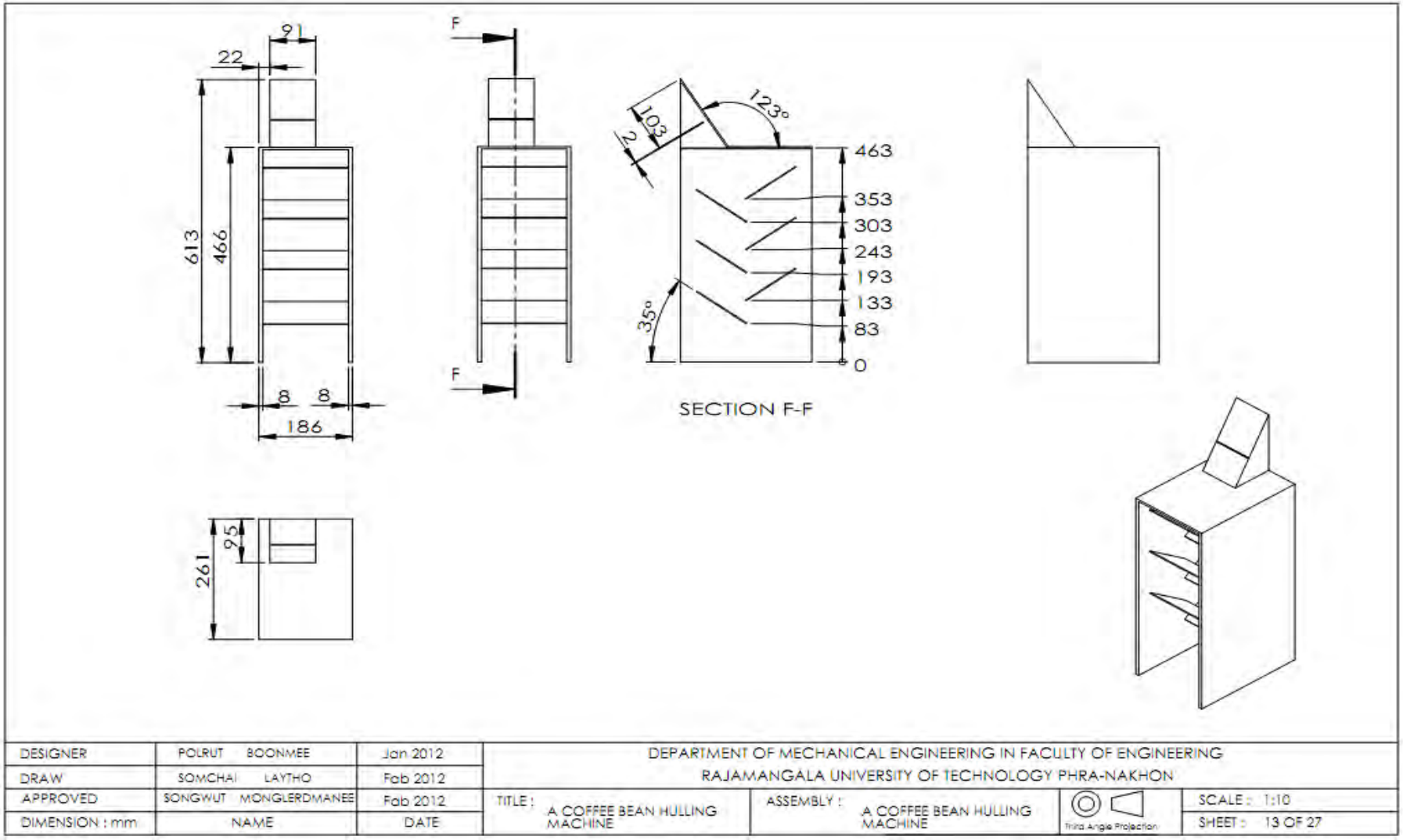
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 11 OF 27



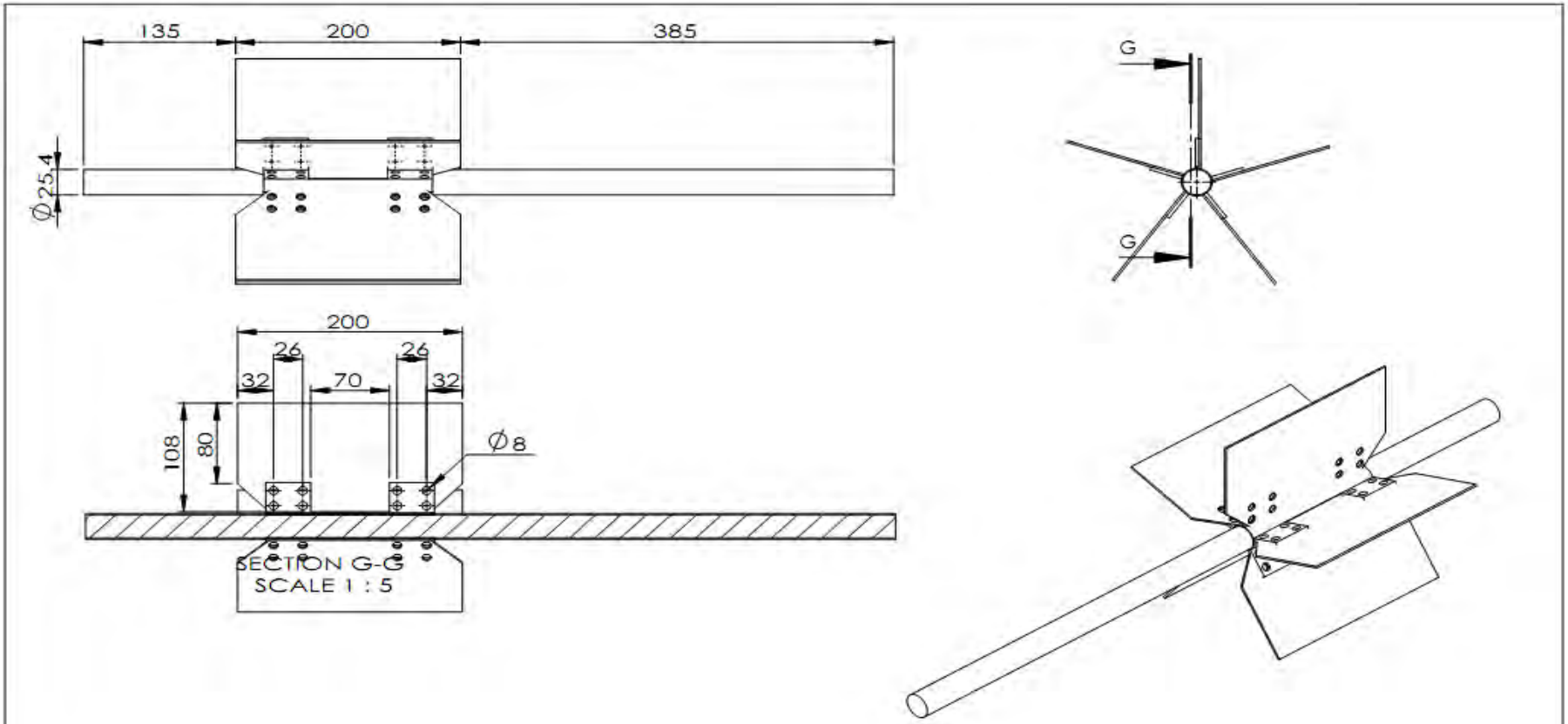




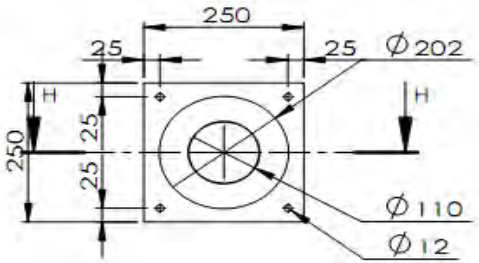
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 12 OF 27

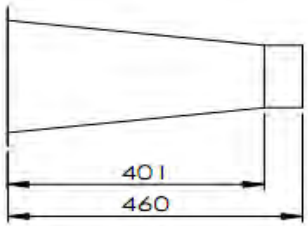


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 13 OF 27

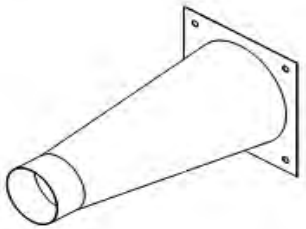


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON				
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012					
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10	
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 14 OF 27	

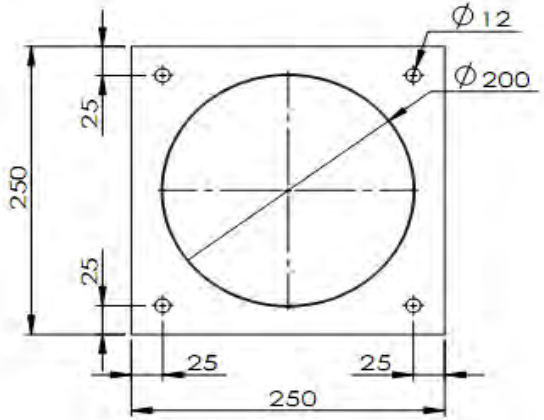


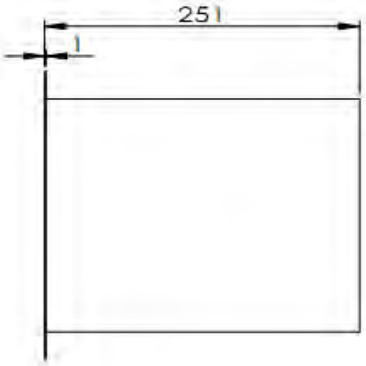


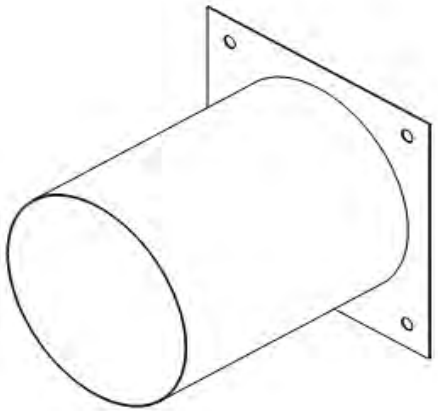
SECTION H-H



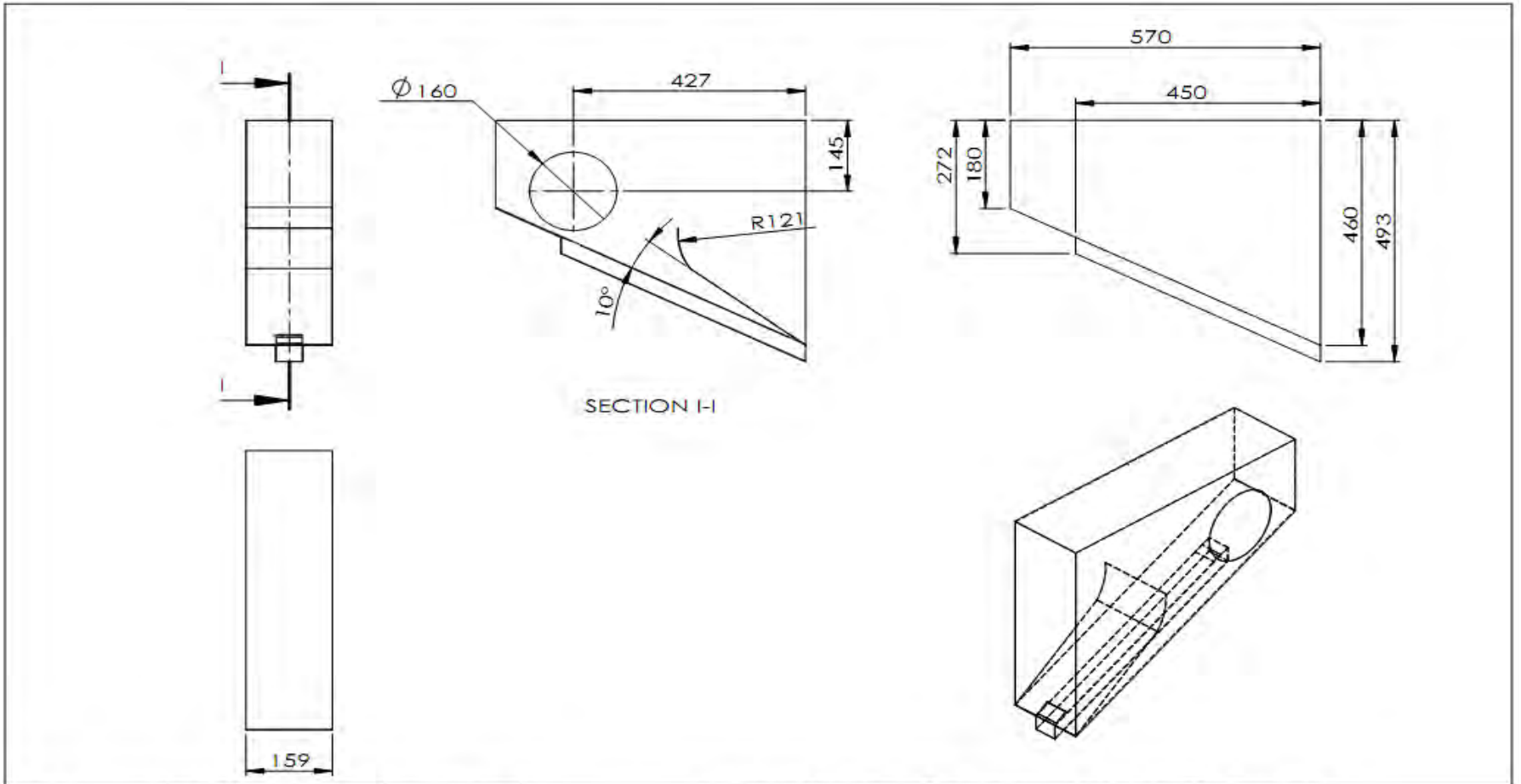
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 15 OF 27



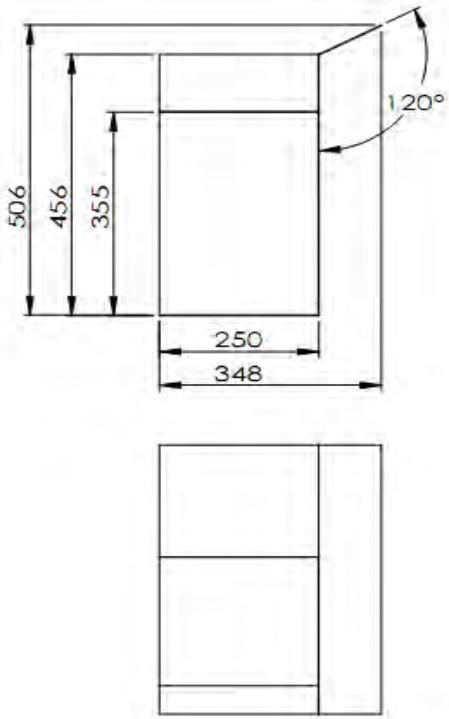


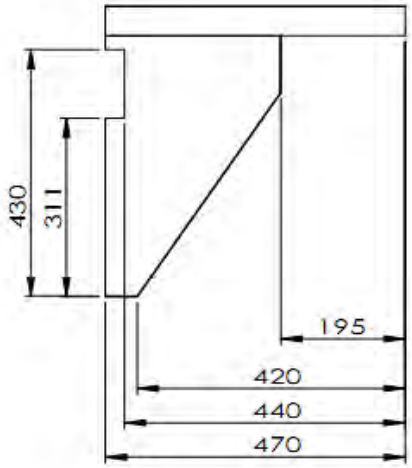


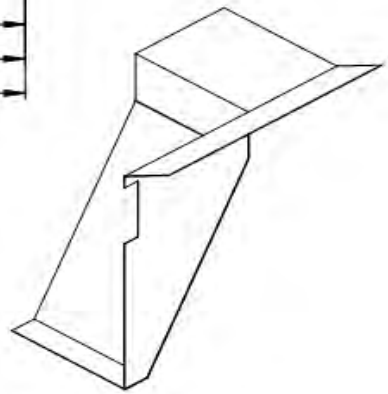
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 16 OF 27



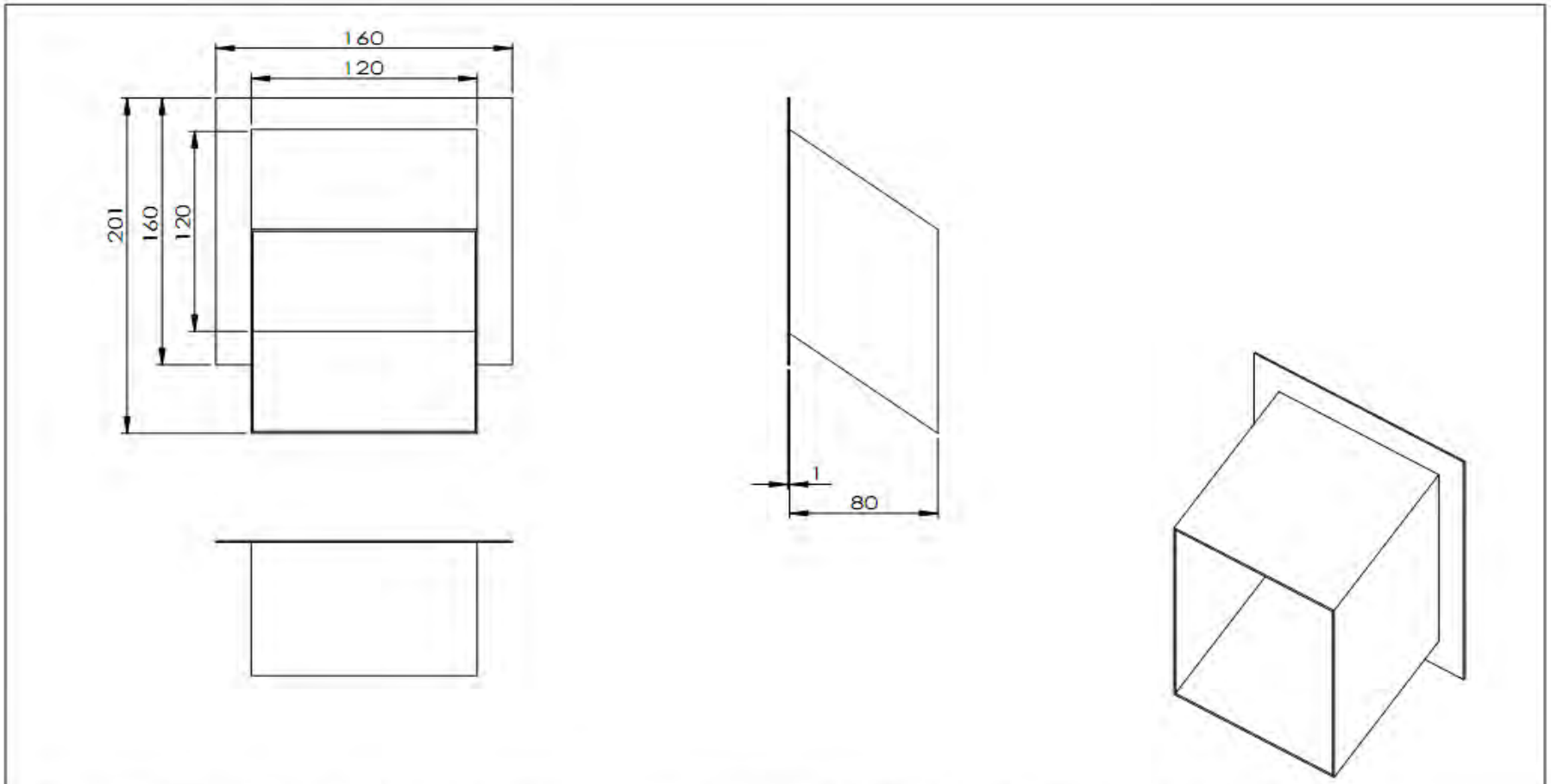
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 17 OF 27



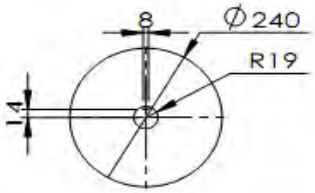


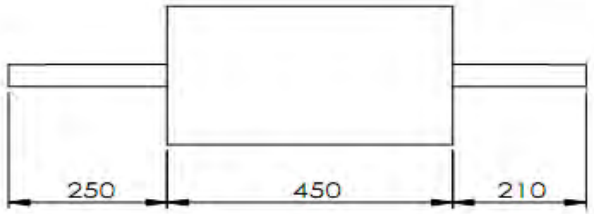


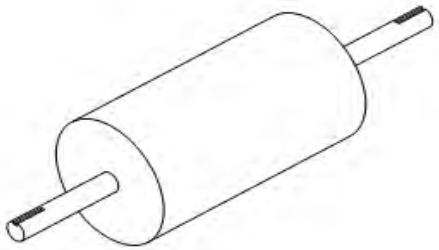
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 18 OF 27



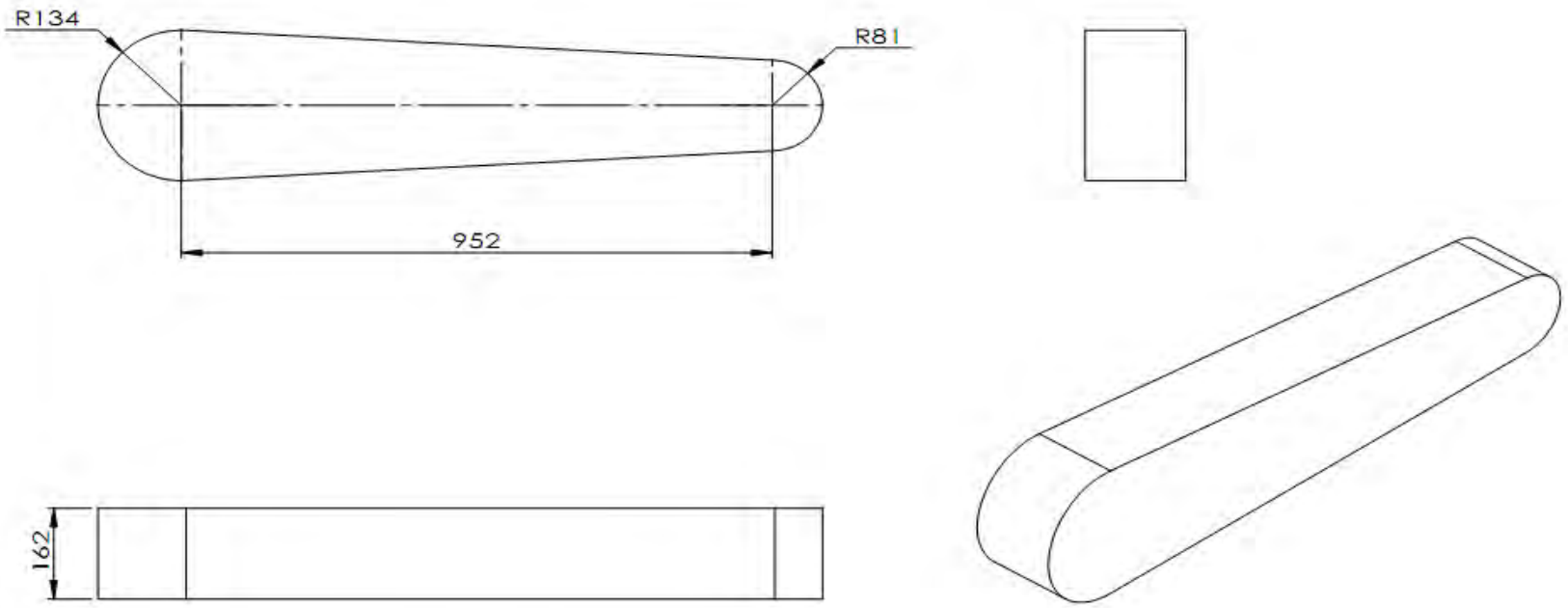
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON				
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012					
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Trird Angle Projection	SCALE : 1:10	
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 19 OF 27	



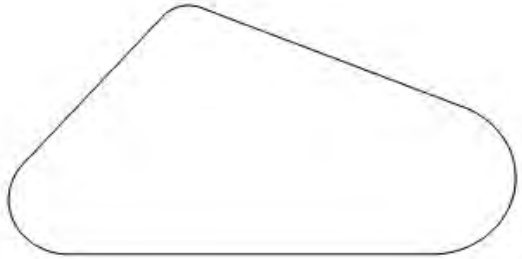


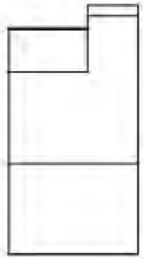


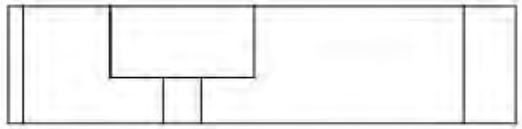
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 20 OF 27

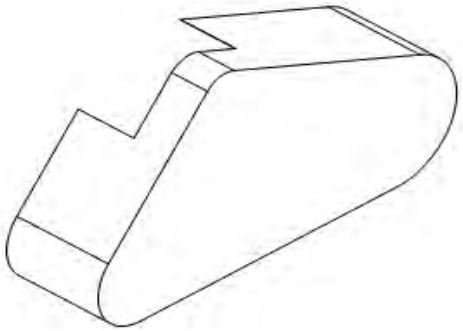


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 21 OF 27

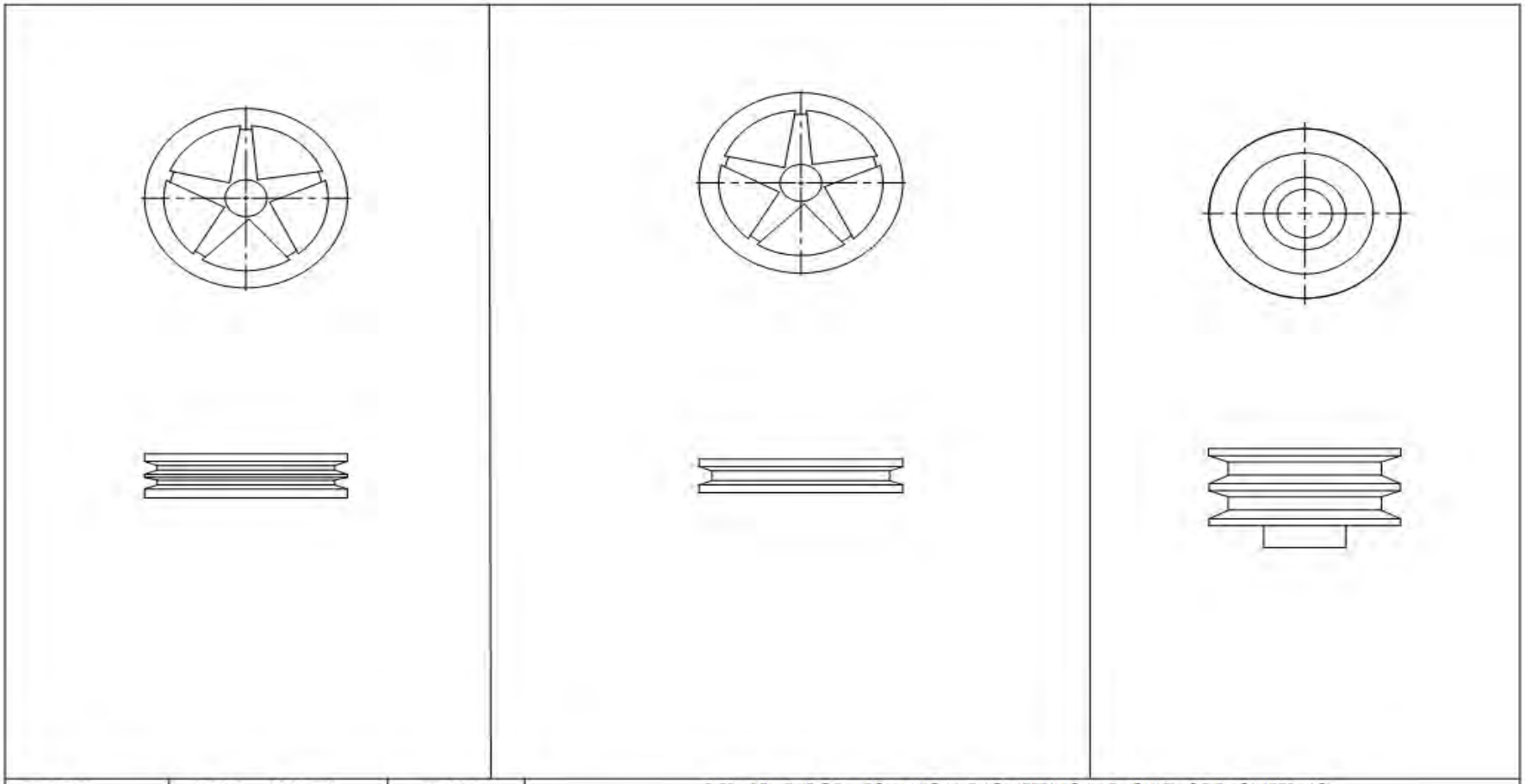




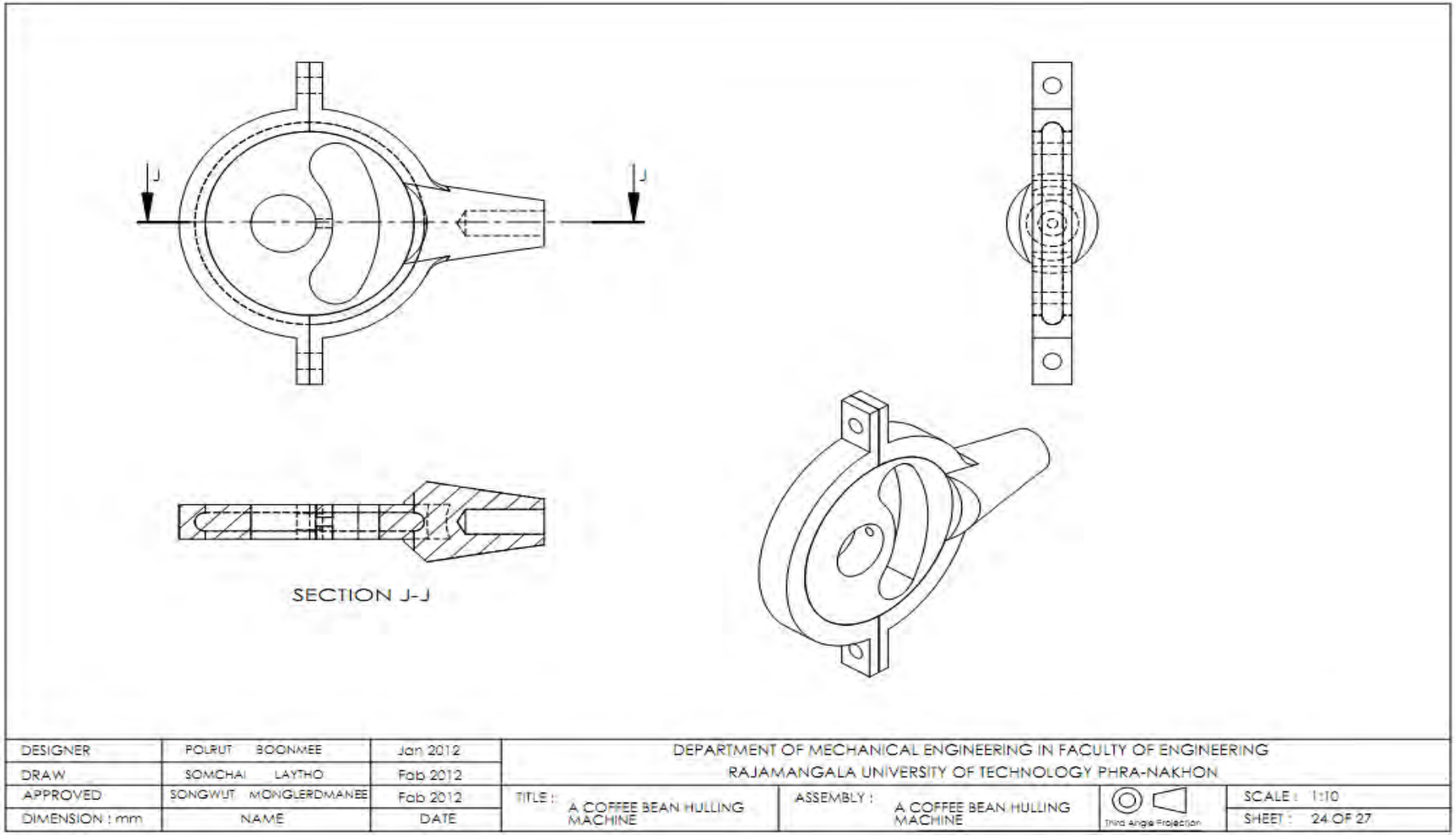




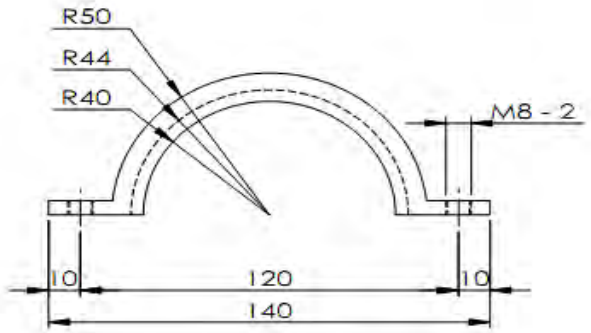
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 22 OF 27

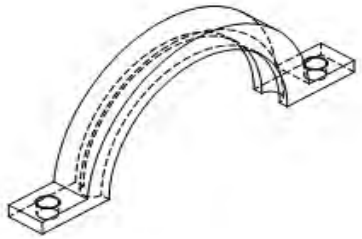


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Fab 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Fab 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 23 OF 27

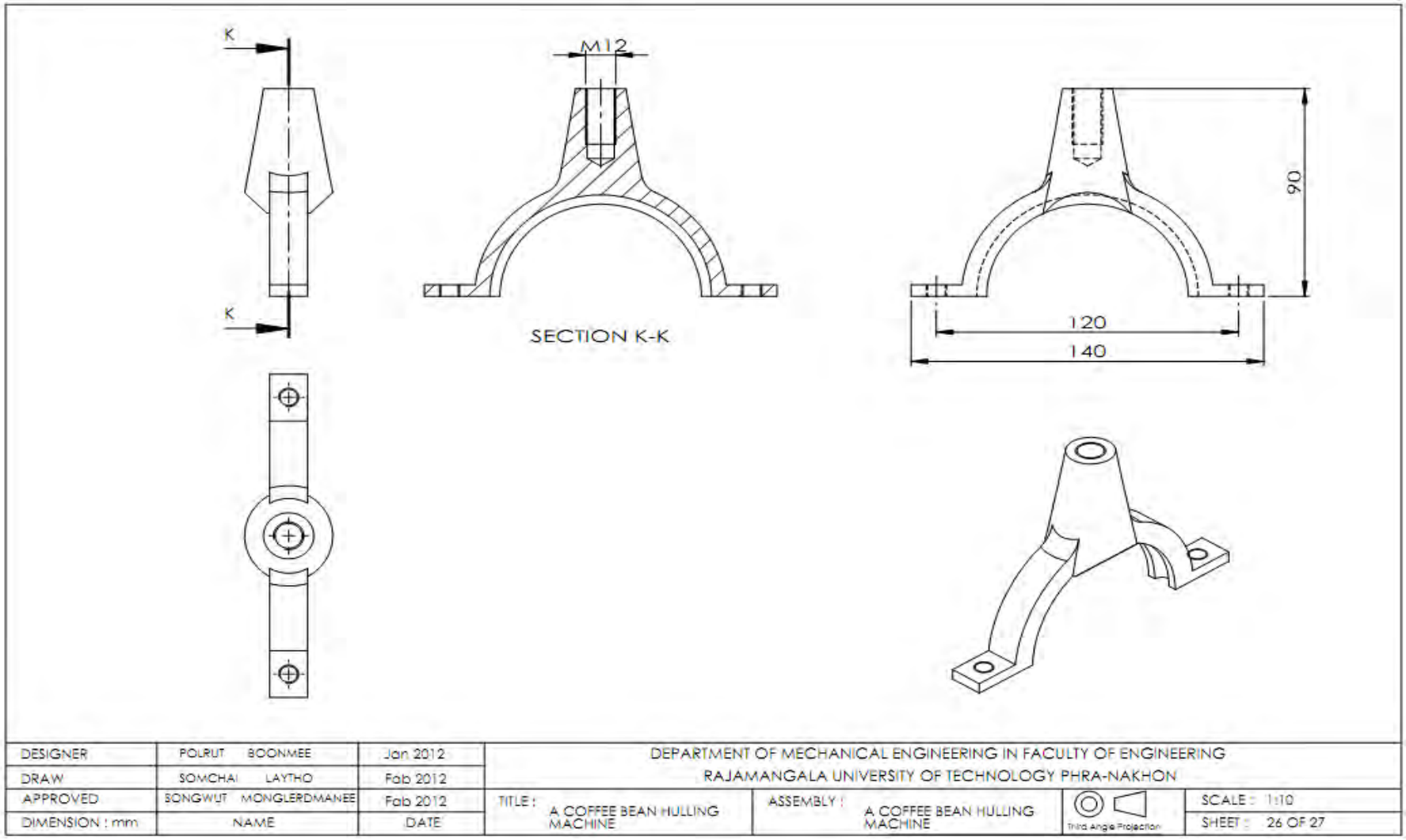


DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 24 OF 27

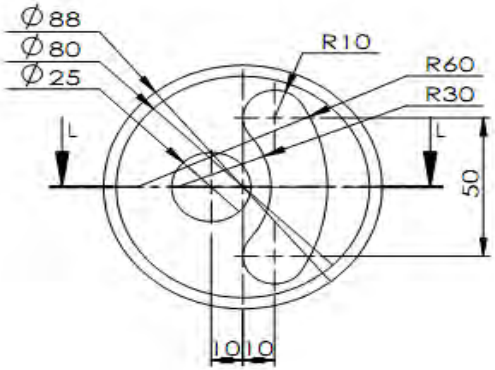


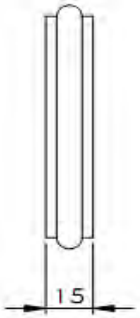


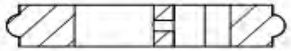
DESIGNER	POURUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 25 OF 27



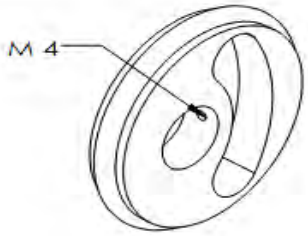
DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 26 OF 27







SECTION L-L
SCALE 1 : 2



DESIGNER	POLRUT BOONMEE	Jan 2012	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON			
DRAW	SOMCHAI LAYTHO	Feb 2012				
APPROVED	SONGWUT MONGLERDMANEE	Feb 2012	TITLE : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	ASSEMBLY : A COFFEE BEAN HULLING MACHINE	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DIMENSION : mm	NAME	DATE				SHEET : 27 OF 27

ภาคผนวก ข

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิทย์ วรนาวิน
   ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Vorawit Voranavin

2. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน
   ตำแหน่งบริหาร -
   ตำแหน่งวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail
   สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Tel. 02-9132424 ต่อ 138 Fax. 02-9132424 ต่อ 138, E-mail vorawit_nbk@hotmail.com

4. พ.ศ. 2551 วศม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
   พ.ศ. 2540 คอบ. วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - ความปลอดภัยในงานอุตสาหกรรม (Industrial Safety)
   - เครื่องจักรการเกษตร (Agricultural Machinery)
   - การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)
   - การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Energy Conservation)

6. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
   งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วแสดงดังตารางด้านล่าง

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1.เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	2549	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20	ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548	หัวหน้าโครงการ
2.The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	การประชุมวิชาการนานาชาติ ครั้งที่ 2 : Green Technology and Productivity	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
3.เครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2553	ระบบฐานข้อมูลงานวิจัย วช.	ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2553	ผู้ร่วมวิจัย
4. ลิขสิทธิ์วรรณกรรมเรื่องเครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2554	กรมทรัพย์สินทางปัญญา	ส่วนตัว	ผู้ร่วมจดลิขสิทธิ์
5.การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในหัวรีฟอร์มด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์	2554	วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
6. เครื่องบดถั่วเหลืองเป็นผงแป้งแบบจานร่วมกับลูกกลิ้ง	2554	ระบบฐานข้อมูลงานวิจัย วช.	ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2554	ผู้ร่วมวิจัย
7. ลิขสิทธิ์วรรณกรรมเรื่องเครื่องบดถั่วเหลืองเป็นผงแป้งแบบจานร่วมกับลูกกลิ้ง	รอดำเนินการ	กรมทรัพย์สินทางปัญญา	ส่วนตัว	ผู้ร่วมจดลิขสิทธิ์

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายพลรัชต์ บุญมี
   ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Polrat Boonme

2. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน
   ตำแหน่งบริหาร -
   ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ประจำ สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
   สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Tel. 02-9132424 ต่อ 138 Fax. 02-9132424 ต่อ 138, E-mail me_boon@hotmail.com

4. พ.ศ. 2551 วศ.ม. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย เชียงใหม่
   พ.ศ. 2543 วศ.บ.วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - ความร้อนประยุกต์ (Applied Thermal System)
   - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)

6. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
   งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วแสดงดังตารางด้านล่าง

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1.จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อสับปะรดแว่น	2551	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผู้วิจัย
2.The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	Green Technology and Productivity	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2553	ผู้ร่วมเสนอผลงาน
3.เครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า		เผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2553	ผู้ร่วมวิจัย
4. ลิขสิทธิ์วรรณกรรมเรื่องเครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2554	กรมทรัพย์สินทางปัญญา	ส่วนตัว	ผู้ร่วมจดลิขสิทธิ์

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
   ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Acting2. Sub L.T. Songwut Mongkonlerdmanee

2. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน
   ตำแหน่งบริหาร -
   ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ประจำ สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
   สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Tel. 02-9132424 ต่อ 138 Fax. 02-9132424 ต่อ 138, E-mail songwut41@hotmail.com

4. พ.ศ. 2551 วท.ม. วิศวกรรมยนต์ Automotive Engineering หลักสูตรนานาชาติ The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
   พ.ศ. 2547 อส.บ. เทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (พระนครเหนือ)

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - ระบบเบรกสำหรับรถยนต์ 2 และ 3 เพลา (hydraulic, Air over hydraulic, Full air)
   - เครื่องจักรกลการเกษตรและการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า (Agricultural machine, process)

6. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
   งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วแสดงดังตารางด้านล่าง

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1.Investigation of brake force distribution for Three axle Double Deck Bus in Thailand	2549	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20	ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผู้วิจัย
2.Experimental Investigation of Brake Behavior for Modified Three-Axle Double Deck Bus in Thailand	2550	วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม เล่มที่ 15	ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผู้ร่วมวิจัย
3.The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	การประชุมวิชาการนานาชาติ ครั้งที่ 2 : Green Technology and Productivity	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้วิจัย/ผู้นำเสนอผลงาน
4.เครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า		เผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2553	ผู้ร่วมวิจัย
5. ลิขสิทธิ์วรรณกรรมเรื่องเครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2554	กรมทรัพย์สินทางปัญญา	ส่วนตัว	ผู้ร่วมจดลิขสิทธิ์
6. เครื่องบดถั่วเหลืองเป็นผงแป้งแบบจานร่วมกับลูกกลิ้ง	2554	ระบบฐานข้อมูลงานวิจัย วช.	ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปี 2554	ผู้ร่วมวิจัย
7. ลิขสิทธิ์วรรณกรรมเรื่องเครื่องบดถั่วเหลืองเป็นผงแป้งแบบจานร่วมกับลูกกลิ้ง	รอดำเนินการ	กรมทรัพย์สินทางปัญญา	ส่วนตัว	ผู้ร่วมจดลิขสิทธิ์