



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องเก็บสปอร์เชื้อราในระดับห้องปฏิบัติการ

Design and Test of Laboratory Scale Fungal Spore Harvesting Machine

โดย

นายประชา บุญยวนิชกุล

15 มีนาคม 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องเก็บสปอร์เชื้อราในระดับห้องปฏิบัติการ

Design and Test of Laboratory Scale Fungal Spore Harvesting Machine

นายประชา บุญยวานิชกุล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และสกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG5280243

ชื่อโครงการ : การออกแบบสร้าง และทดสอบเครื่องเก็บสปอร์เชื้อราในระดับห้องปฏิบัติการ

ชื่อนักวิจัย : นายประชา บุญวานิชกุล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

E-mail Address : prachabu@swu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

เชื้อราก่อโรคในแมลงประเภท บิวเวอเรีย เมตาไรเซียม และเพสิโลไมเซส สร้างสปอร์ซึ่งสามารถใช้สำหรับสารกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืชได้ อีกทั้งยังสามารถสลายตัวได้เองตามธรรมชาติโดยไม่หลงเหลือตกค้างเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการใช้สารทำลายสปอร์นั้นเป็นกระบวนการผลิตที่สิ้นเปลืองเวลา ให้อัตราการผลิตต่ำ และไม่สะดวกในการใช้งาน ดังนั้นการออกแบบสร้าง และประกอบเครื่องเก็บสปอร์เชื้อราในรูปผงแห้งจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม และเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ โดยเครื่องเก็บสปอร์ต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยหอแยก และไซโคลน ซึ่งทำหน้าที่แยก และเก็บผงสปอร์เชื้อรา ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อหาสมรรถนะการทำงาน และประสิทธิภาพการแยกคืนสปอร์ด้วยเชื้อราบิวเวอเรีย และเมตาไรเซียมที่ระดับความเร็วลมในการคัดแยกต่างๆ 3 ระดับพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นเครื่องต้นแบบมีสมรรถนะเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากการทำงานของเครื่องทำงานที่รวดเร็วขึ้นและระยะเวลาในการคัดแยกที่สั้นลง ในส่วนของประสิทธิภาพการแยกคืนนั้นสำหรับเชื้อราบิวเวอเรียนั้นประสิทธิภาพในการแยกคืนเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมในการคัดแยก ในขณะที่เชื้อราเมตาไรเซียมนั้นความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นถือว่าเป็นปัจจัยที่ทรงอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการแยกคืน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะการกระจายขนาดของสปอร์เชื้อราทั้งสองประเภท แต่อย่างไรก็ดีผงสปอร์ที่แยกได้นั้นถือว่ามีประสิทธิภาพพอเพียงสำหรับใช้เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช

คำหลัก : บิวเวอเรีย เมตาไรเซียม เชื้อราก่อโรคในแมลง เครื่องเก็บสปอร์เชื้อรา

Abstract

Project Code : MRG5280243

Project Title : Design and Test of Laboratory Scale Fungal Spore Harvesting Machine

Investigator : Pracha Bunyawanchakul Srinakharinwirot University

E-mail Address : prachabu@swu.ac.th

Project Period : 2 years

Insect pathogenic fungi (*Beauveria*, *Metarhizium* and *Paecilomyces*) produce spores, which are an insecticide and can be naturally degraded. There are many of difficulties associate with conventional production process (solution substrate) of these kind of insecticide such as time consuming, low production rate, inconvenient of use. Therefore, the fungal harvesting machine was designed and fabricated to collect powdery fungal spore in this research project. A prototype of fungal spore harvesting machine consists of vortex tower and cyclone separator which were used to separate and collect the fungal spore, respectively. Experimental investigation of working performance and recovery percentage of *Beauveria* and *Metarhizium* was examined at different inlet air velocity. Experimental results show that separation period and separated powder decrease when inlet air velocity increase for both fungi. *Beauveria* spore recovery percentage increase with inlet air velocity, while *Metarhizium* spore not clearly show the recovery percentage trend. This may due to the different of their spore diameter distribution pattern that may influence the aerodynamic characteristic during the separation process. However, the recovery spore was considered to be enough for used as insecticide.

Keywords : *Beauveria*, *Metarhizium*, Insect Pathogenic Fungi, Spore Harvesting Machine

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่สนับสนุนโครงการวิจัยนี้ผ่านสัญญาสนับสนุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหญ่ ประจำปี 2552 เลขที่ MRG5280243 และขอขอบคุณ ศ.ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ นักวิจัยที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาความรู้ แนะนำแง่คิด อีกทั้งสิ่งที่เป็นประโยชน์อื่นๆ จนทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คณะนักวิจัย หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในความอนุเคราะห์ตัวอย่างเชื้อรา และทดสอบการใช้งานของเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา

ประชา บุญวนิชกุล

มีนาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
บทนำ	1
บทที่ 1 การศึกษาคุณลักษณะและสมบัติทางกายภาพของราแมลง	2
1.1 คุณลักษณะและการเจริญเติบโตของราแมลงในห้องปฏิบัติการ	2
1.2 คุณลักษณะทางกายภาพของราแมลง	4
บทที่ 2 การออกแบบ	9
2.1 รูปแบบและหลักการทำงานของเครื่อง	9
2.2 การกำหนดขนาดหอแยก และไซโคลน	10
2.3 การจำลองการไหลในหอแยกสปอร์เชื้อรา	14
2.4 การกำหนดขนาดพัดลม	18
บทที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพ	19
3.1 อุปกรณ์และวิธีการ	19
3.2 ผลการทดสอบ	21
บทที่ 4 สรุป และข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
แบบ Drawing เครื่องต้นแบบ	25
Output งานวิจัย	35
ภาคผนวก Manuscript ของบทความสำหรับเผยแพร่	36

บทนำ

การดำเนินการสร้างเครื่องเก็บสปอร์เชื้อราในระดับห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการ โดยในขั้นแรกได้ทำการศึกษาข้อมูลทางกายภาพของเชื้อราประเภท Beauveria, Metarizium และ Paecilomyces ที่เป็นราแมลงสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าแมลงศัตรูพืช ในเรื่องระยะเวลาที่ใช้เพาะเชื้อที่เหมาะสมในระดับห้องทดลอง คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญต่างๆ อาทิเช่น ขนาดและน้ำหนักของสปอร์ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของก้อนเชื้อราและวัสดุเพาะ และความเร็วลมวิกฤติที่เหมาะสมในการแยกสปอร์

จากนั้นในขั้นต่อมาได้ทำการนำเอาคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้ศึกษา มาทำการออกแบบเครื่องเก็บสปอร์เชื้อรา โดยการกำหนดขนาดไซโคลน (Cyclone Separator) ที่เหมาะสมกับการแยกสปอร์เชื้อราที่ระดับความเร็ววิกฤติจากการทดสอบในขั้นแรก แล้วจึงทำการจำลองการไหลของอากาศเพื่อช่วยกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับหอแยกสปอร์ (Vortex Tower) ทำให้ทราบถึงความดันลดในระบบและสามารถกำหนดขนาดของพัดลมที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่อง จากนั้นจึงเขียนแบบเครื่องในส่วนของหอแยก และไซโคลนที่พร้อมนำไปสั่ง

หลังจากได้ดำเนินการสร้างหอแยก และไซโคลนแล้ว ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นกับก้อนเชื้อรา Beauveria และ Metarizium ที่ระดับความเร็วลมต่างๆ และได้ทำการหาเปอร์เซ็นต์การแยกคืนเชื้อรา (Recovery Percentage) ด้วยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสปอร์ในผงที่ได้จากการแยกและในก้อนวัสดุเพาะ ด้วยการนับจำนวนสปอร์ในสารละลายที่ได้จากการทำละลาย 1 กรัมของผงที่ได้จากการแยก และก้อนเชื้อรา พบว่าได้เปอร์เซ็นต์การแยกคืนอยู่ในระดับที่เข้มข้นพอสำหรับการใช้งาน

บทที่ 1 การศึกษาคุณลักษณะและสมบัติทางกายภาพของราแมลง

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาคุณลักษณะการเจริญเติบโตของราแมลงประเภท *Beauveria*, *Metarhizium* และ *Paecilomyces* ซึ่งถูกเพาะเลี้ยงบนวัสดุเลี้ยงที่เตรียมจากข้าวสารที่หุงสุกเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว และทำการวัดคุณสมบัติทางกายภาพของก้อนวัสดุเพาะ และสปอร์ของราแมลงที่จำเป็นสำหรับการออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อราต่อไป

1.1 คุณลักษณะและการเจริญเติบโตของราแมลงในห้องปฏิบัติการ

สายพันธุ์เชื้อราที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับการเพาะขยายพันธุ์ จากห้องปฏิบัติการการหมักของหน่วยปฏิบัติการกลาง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยสายพันธุ์ที่คัดเลือกนี้ได้รับการทดสอบแล้วว่ามีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีในประเทศไทย และสามารถทำให้แมลงศัตรูพืชเป้าหมายตายในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยมีการเก็บเชื้อพันธุ์ไว้ในธนาคารเชื้อพันธุ์ของศูนย์

การดำเนินการโดยนักวิจัยของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ในขั้นแรกเป็นการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นของสปอร์เชื้อพันธุ์สัดส่วน 1:100 ของสารละลายในคลังเชื้อพันธุ์ แล้วนำไปปลูกลงบนวัสดุตัวกลางเพาะขยายที่เป็นอาหารวันซึ่งบรรจุในภาชนะแล้วปล่อยให้เจริญเติบโตในห้องบ่มที่ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น เป็นเวลา 3 วัน จนเจริญเติบโตดีแล้ว จึงทำการละลายด้วยน้ำสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อถาดละ 10 ml เพื่อให้ได้สารละลายของสปอร์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้มากรองเพื่อขจัดสิ่งเจือปนก่อนนำไปปลูกเคล้าในวัสดุเพาะ

สารละลายที่ได้จากการละลายอาหารวันจะถูกนำไปเพาะขยายตอบนบนวัสดุเพาะที่เตรียมจากข้าวสารหุงสุกซึ่งถูกนึ่งฆ่าเชื้อมาก่อนที่ อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 20-30 นาที ข้าวสุกแบ่งบรรจุในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 500 ml โดยมีปริมาณการบรรจุขวดละประมาณ 100 g จะถูกคลุกเคล้ากับสารละลายและทำการปิดปากด้วยจุกสำลี และหุ้มอลูมิเนียมฟลอยด์ อีกครั้งก่อนถูกนำไปเก็บในห้องบ่มที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จนกระทั่งเชื้อราเจริญเติบโต และมีการสร้างสปอร์

สำหรับเชื้อรา *Beauveria* และ *Paecilomyces* ที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวสปอร์เชื้อรานั้น จะมีการสร้างสปอร์เชื้อราเป็นผงสีขาวฟูยัดเกาะกันแน่นหนาบนผิวของข้าวดังแสดงในรูปที่ 1 (a) มีระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตจนสร้างสปอร์เป็นเวลา 7 วัน ในขณะที่เชื้อรา *Metarhizium* จะมีการสร้างสปอร์ในลักษณะที่เป็นผงสีเขียวบนผิวของข้าวสุกดังแสดงในรูปที่ 1 (b) ในระยะเวลา 14 วัน



(a) Beauveria



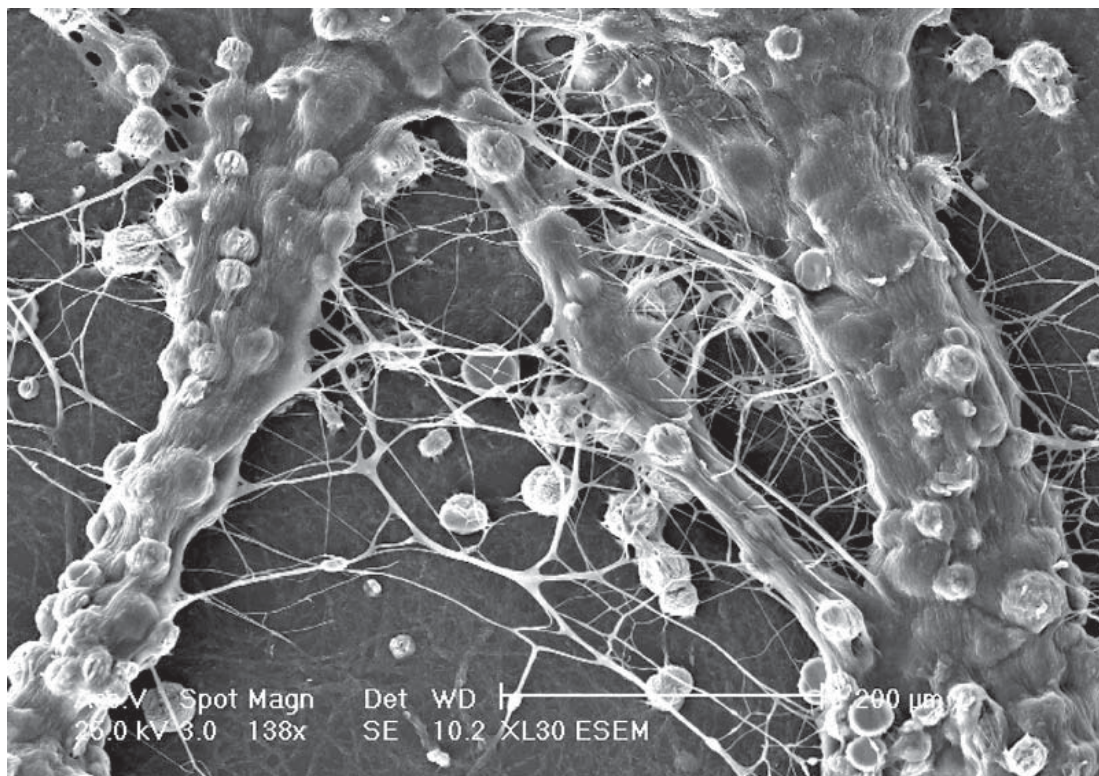
(b) Metarhizium

รูปที่ 1 แสดงเชื้อราที่เพาะในขวดทดลอง (a) Beauveria (b) Metarhizium

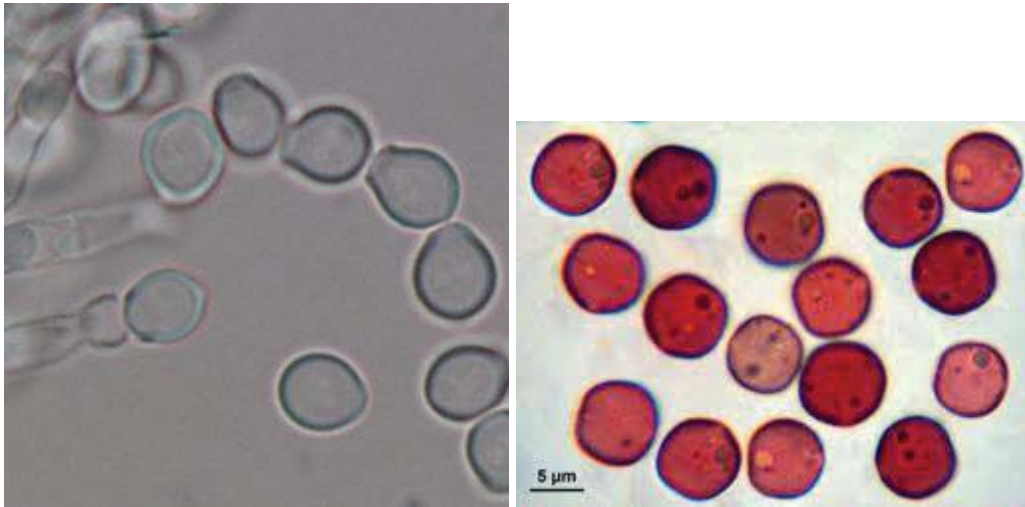
1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของราแมลง

1.2.1 น้ำหนัก ขนาด และความเร็วลมวิฤติของสปอร์เชื้อรา

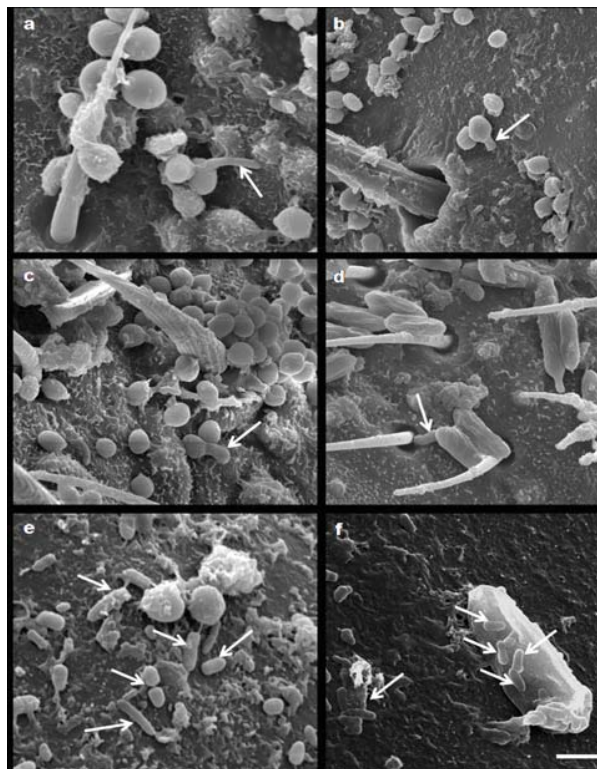
การศึกษาขนาดของสปอร์เชื้อรานั้นทำโดยการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยต้องมีการเตรียมตัวอย่างด้วยกระบวนการเฉพาะเพื่อคงรูปร่าง และลักษณะของสปอร์เชื้อราให้ได้มากที่สุด โดยกระบวนการเตรียมตัวอย่างจะต้องทำการแช่สปอร์ในสารละลายเพื่อคงรูป (Fixation) และทำการระเหยน้ำ (Dehydration) ออกก่อนนำไปส่องวัดขนาด และถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากผลที่ได้พบว่าสปอร์ของเชื้อรา *Beauveria*, *Metarhizium* และ *Paecilomyces* มีรูปร่างใกล้เคียงกับทรงกลมโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสปอร์เชื้อราอยู่ระหว่าง 2.54 – 10.4 μm ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) (b) และ (c)



(a) สปอร์ของเชื้อรา *Beauveria* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.45-3.58 μm



(b) สปอร์ของเชื้อรา *Paecilomyces* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5-10.4 µm



(c) สปอร์ของเชื้อรา *Metarhizium* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.33 - 9.26 µm

รูปที่ 2 ขนาดเฉลี่ยของสปอร์เชื้อรา *Beauveria*, *Metarhizium* และ *Paecilomyces*

สำหรับน้ำหนักเฉลี่ยของสปอร์ได้จากการนับจำนวนสปอร์ ในสารละลายที่ได้จากการละลาย ก่อนเชื้อราตัวอย่างแล้วคำนวณเทียบกับน้ำหนัก เพื่อคำนวณออกมาเป็น Spore/g_{เชื้อรา} ดังสมการ (1)

$$\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา}} = \frac{\text{จำนวนสปอร์เฉลี่ย} \times 5 \times 10^4 \times (\text{Dilute}) \times \text{ปริมาณของสารละลาย}}{\text{น้ำหนักก่อนเชื้อราตัวอย่าง}} \times 100\% \quad (1)$$

ในที่นี้ Dilute = 10^2 และปริมาณของสารละลาย = 50 ml โดยการนับจำนวนสปอร์จะทำซ้ำ 2 ครั้งต่อสปอร์เชื้อราหนึ่งประเภท ความเร็วลมวิกฤติสำหรับสปอร์เชื้อราสามารถคำนวณได้เมื่อทราบขนาด และน้ำหนักของสปอร์โดยอาศัยกฎของสโตกส์ (Stoke's law) ที่แสดงความสัมพันธ์ของ ความเร็ววิกฤติของวัตถุทรงกลมที่ตกอย่างอิสระในกระแสดอากาศด้วยสนามแรงโน้มถ่วงโลกว่า

$$V_t = (gd^2)(\rho_s - \rho_f)/18\mu \quad (2)$$

โดย V_t = terminal velocity of sphere (m/sec),
 g = acceleration of gravity (m/sec²),
 d = "equivalent" diameter of particle (m),
 ρ_s, ρ_f = density of particle and air (kg /m³),
 μ = viscosity of air (kg /sec m).

ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยสมการ (2.1) และ (2.2) ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ สำหรับการออกแบบเครื่องคัดแยกสปอร์เชื้อราออกจากวัสดุเพาะ คือค่าของความหนาแน่นจริงของสปอร์เชื้อรา และค่าความเร็วลมวิกฤติ ซึ่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาด น้ำหนัก ความหนาแน่น และความเร็วลมวิกฤติของสปอร์เชื้อราทั้งสามประเภท

เชื้อรา	ขนาด (μm)	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความเร็วลม วิกฤติ (m/s)
Beauveria	2.45-3.85	6.66×10^{-10}	22,309 – 86,492	0.0118 – 0.0187
Paecilomyces	4.5-10.4	3×10^{-9}	3,879 – 83,440	0.0334 – 0.127
Metarhizium	3.33-9.26	1.613×10^{-9}	5,093 – 62,866	0.0199 – 0.0459

1.2.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรและความเร็วลมวิกฤติของก้อนเชื้อรา

นอกเหนือจากคุณสมบัติทางกายภาพของสปอร์เชื้อรา ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อราแล้วยังมีคุณสมบัติทางกายภาพของก้อนเชื้อรา เช่น ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร และ ความเร็วลมวิกฤติ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเช่นกันสำหรับการออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา

ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของก้อนวัสดุเพาะหาได้ โดยการทดลองบรรจุก้อนเชื้อราลงไปในบีกเกอร์ขนาด 40 ml แล้วทำการชั่งน้ำหนักของก้อนวัสดุเพาะที่บรรจุลงไป ผลการทดลองกับเชื้อรา *Beauveria Metarhizium* และ *Paecilomyces* ได้ผลดังตารางที่ 2 โดยน้ำหนักของก้อนเชื้อราเป็นค่าเฉลี่ย จากการทดสอบบรรจุ 3 ครั้ง

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของก้อนเชื้อรา

เชื้อรา	ปริมาตรบรรจุ (ml)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (kg/m ³)
Beauveria	40	0.0133	333.33
Metarhizium	40	0.0146	366.67
Paecilomyces	40	0.0143	358.33

ในการออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อราให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี จะต้องมีความเร็วลมที่เหมาะสม ที่มากกว่าความเร็วลมวิกฤติของสปอร์เชื้อรา แต่น้อยกว่าความเร็วลมวิกฤติของก้อนเชื้อรา เพื่อให้สปอร์ลอยไปกับอากาศเพียงอย่างเดียวโดยไม่ทำให้ก้อนเชื้อราลอยไปกับอากาศ

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบหาความเร็วลมวิกฤติของก้อนเชื้อราก่อน โดยทดสอบใช้ลมดูดก้อนเชื้อราที่อยู่ในท่อไอแล้วใช้แอนิโมมิเตอร์แบบใบพัดหมุนวัดความเร็วลมบริเวณช่องทางเข้า (ดังแสดงในรูปที่ 3 และทำการปรับความเร็วลมขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งก้อนเชื้อราเริ่มลอยได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 จากการทดสอบในท่อลมดูดด้วยความเร็วลมต่างๆ สำหรับก้อนเชื้อรา *Beauveria*, *Metarhizium* และ *Paecilomyces* พบว่าค่าความเร็วลมวิกฤติสำหรับก้อนเชื้อราทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณที่ 5.6 m/s

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความเร็วลมวิกฤตของข้าวรา

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)	ลักษณะของก้อนข้าวราและผงสปอร์
1	3.9	ก้อนข้าวราไม่ลอยตัว ผงสปอร์ไม่ลอยหลุด
2	4.8	ก้อนข้าวราไม่ลอยตัว ผงสปอร์ลอยหลุดบางส่วน
3	5.6	ก้อนข้าวราลอยตัวไม่ติดตะแกรงด้านบน ผงสปอร์ลอยหลุดหมด
4	5.9	ก้อนข้าวราลอยตัวติดตะแกรงบางส่วน ผงสปอร์ลอยหลุดหมด
5	6.6	ก้อนข้าวราลอยตัวติดตะแกรงหมด ผงสปอร์ลอยหลุดหมด



รูปที่ 3 แสดงการวัดความเร็วลมวิกฤตของก้อนข้าวรา

บทที่ 2 การออกแบบ

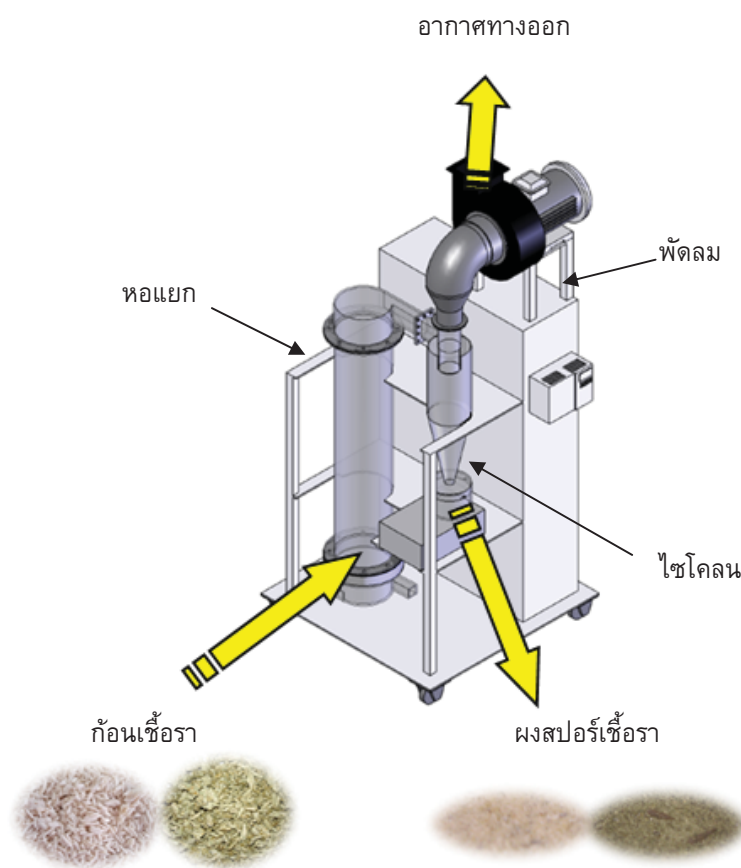
คุณสมบัติทางกายภาพที่ได้ศึกษาในส่วนของ 1 ของรายงานนี้ถูกนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อราในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากการคัดเลือกรูปแบบและกลไกที่เหมาะสมสำหรับการทำงานแยกสปอร์เชื้อรา จากนั้นจึงทำการคำนวณ และกำหนดขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง ซึ่งแสดงดังรายละเอียดในส่วนที่ 2 ของรายงานฉบับนี้

2.1 รูปแบบและหลักการทำงานของเครื่อง

เครื่องจัดเก็บสปอร์เชื้อราจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ หอแยกที่อาศัยกระแสอากาศที่มีความเร็วลมในแนวตั้งมากกว่าความเร็วลมวิกฤติของสปอร์แต่ต่ำกว่าความเร็วลมวิกฤติของก้อนเชื้อรา ไหลผ่านก้อนเชื้อราที่วางอยู่บนตะแกรงทำให้สปอร์ถูกกระแสลมที่มีความเร็วลมมากกว่าความเร็วลมวิกฤติพัดพาไป จากนั้นกระแสอากาศดังกล่าวจะถูกแยกสปอร์เชื้อราออกโดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการแยกสปอร์ออกจากอากาศ โดยใช้ไซโคลนเพื่อสร้างกระแสวนหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนัง กระแสจะพาอนุภาคสปอร์เคลื่อนตัวลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายของไซโคลนจะตกลงไปในถังเก็บสปอร์ ในขณะที่อากาศที่ไม่มีสปอร์จะหมุนวนกลับขึ้นไปยังส่วนบนของไซโคลนออกไปที่ท่อทางออกซึ่งติดตั้งพัดลมเพื่อดูดอากาศออกจากระบบ หลักการทำงาน ลักษณะและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องแยกสปอร์เชื้อราที่ได้ออกแบบนี้ แสดงดังรูปที่ 4 โดยแบบของเครื่องโดยละเอียดแสดงดังแบบ Drawing เครื่องต้นแบบ

อุปกรณ์ที่สำคัญในระบบแยกสปอร์จึงประกอบไปด้วยสองส่วนคือ หอแยกรูปทรงกระบอกที่มีกระแสอากาศไหลเข้าในแนวสัมผัสสองช่องที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันทางด้านล่างเพื่อทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศที่จะช่วยในการกระจายสปอร์บนพื้นผิวก้อนเชื้อรา และไซโคลนดักฝุ่น ซึ่งโดยทั่วไปเราสามารถกำหนดขนาด และหาความดันสูญเสียที่เกิดของไซโคลนที่สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกฝุ่นได้จากการคำนวณทางทฤษฎี (มีรายละเอียดในหัวข้อ 2.2.2)

สำหรับการออกแบบหอแยก เนื่องจากรูปร่างและหลักการทำงานที่แตกต่างไปจากไซโคลนในเบื้องต้นนี้จึงทำได้เพียงกำหนดขนาดจากการประมาณการสมรรถนะในการทำงาน (มีรายละเอียดในหัวข้อ 2.2.1) แต่ไม่สามารถคาดเดาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองการไหลของอากาศที่เกิดในหอแยก และทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในหอแยก (มีรายละเอียดในหัวข้อ 2.3) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณนี้จะนำไปประกอบการคำนวณสำหรับการเลือกพัดลมใช้งานในเครื่องแยกสปอร์เชื้อรานี้ (มีรายละเอียดในหัวข้อ 2.4)



รูปที่ 4 แสดงหลักการทำงาน ลักษณะและ ส่วนประกอบของเครื่องแยกสปอร์ข้าว

2.2 การกำหนดขนาดหอยแยก และไชโคลน

2.2.1 การกำหนดขนาดของหอยแยก (Vortex Tower)

ข้อพิจารณาเบื้องต้นสำหรับการกำหนดขนาดของหอยแยกนั้นจะพิจารณาจากความสามารถในการทำงานของเครื่องที่กำหนดไว้ในเบื้องต้นว่าต้องทำงานแยกสปอร์ข้าวจากก้อนข้าวที่เพาะได้สูงสุด 1 kg ต่อครั้งของการทำงาน โดยกำหนดให้สัดส่วนของก้อนข้าวในหอยแยกมีสัดส่วนไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาตรหอยแยกเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของข้าวสุก และเศษวัสดุอื่นที่ไม่ใช่สปอร์ข้าวที่จะปะปนลอยไปในกระแสอากาศ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาในเบื้องต้นของค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของก้อนข้าวทำให้เราสามารถคำนวณปริมาตรของก้อนข้าว 1 kg ได้และสามารถกำหนดความสูงของหอยแยกได้ในกรณีที่กำหนดให้หอยแยกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ซึ่งถือว่าเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่เล็กหรือใหญ่เกินไปสำหรับเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับ

พื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอกทำให้เราทราบขนาดความสูงของหอแยกว่าควรมีขนาดโดยประมาณ 90 cm เป็นอย่างน้อย โดยแบบของหอแยก ขนาดทางเข้า และทางออก แสดงดัง Drawing ในภาคผนวกที่ 1

2.2.2 การกำหนดขนาดของไซโคลน (Cyclone Separator)

ในการออกแบบไซโคลนพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความหนาแน่นจริงของอนุภาค และอัตราการไหลของก๊าซผ่านระบบ ซึ่งในที่นี่ต้องสัมพันธ์กับความเร็ววิกฤติที่ใช้ในการแยกสปอร์ออกจากก้อนวัสดุเพาะโดยไม่ทำให้วัสดุเพาะลอย ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในส่วนของที่ 1 พบว่าค่าความเร็วที่เหมาะสมที่จะใช้งานสำหรับอากาศที่ไหลผ่านหอแยกควรจะอยู่ระหว่างความเร็ววิกฤติของสปอร์เชื้อรา และความเร็ววิกฤติของก้อนเชื้อราคือ 0.127 – 5.6 m/s

ในกรณีที่ให้ระบบทำงานที่ความเร็วลม 5.6 m/s พบว่าอัตราการไหลของอากาศผ่านระบบอยู่ที่

$$Q = VA_{\text{vortex tower}} = 5.6 \times \pi \times 0.2^2 / 4 = 0.1759 \text{ m}^3 / \text{s}$$

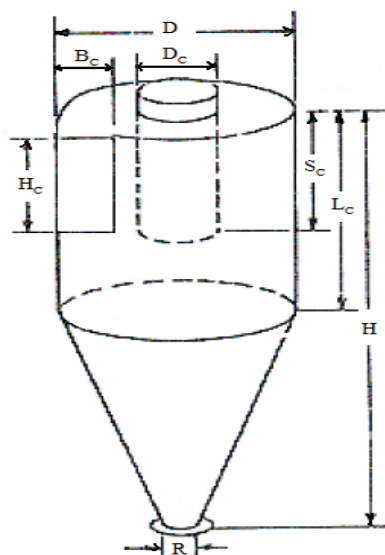
สำหรับการใช้งานทั่วไปของไซโคลน กำหนดให้ความเร็วที่ทางเข้าอยู่ระหว่าง 15-21 m/s ซึ่งเป็นความเร็วประสิทธิภาพที่แนะนำในใช้งานไซโคลนอย่างมีประสิทธิภาพ (ฉัตรชัย 2548) ดังนั้นขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ทางเข้าของไซโคลนจะมีขนาด

$$A = Q/V_{\text{in,cyclone}} = 0.1759/21 = 0.00838 \text{ m}^2$$

และสำหรับเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา กำหนดให้ใช้ไซโคลนมาตรฐานของ Swift (General Purpose) ซึ่งมีขนาดของสัดส่วนเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางดังรูปที่ 5 ซึ่งทำให้เราสามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนได้เท่ากับ 26 cm โดยประมาณ

อย่างไรก็ดีการกำหนดความเร็วของอากาศผ่านหอแยกไว้ที่ระดับความเร็ววิกฤติของก้อนเชื้อราที่ 5.6 m/s อาจทำให้พัดลมที่ใช้ในระบบต้องมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น เนื่องจากมีอัตราการไหลของอากาศสูง และมีระดับความดันสูญเสียค่อนข้างมาก ดังนั้นเพื่อลดขนาดของพัดลมที่ใช้ในระบบจึงต้องทำการกำหนดขนาดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหอแยกให้เหมาะสม แล้วจึงคำนวณขนาดไซโคลนและตรวจสอบความเหมาะสมอีกครั้งด้วยสมการ (3) ที่แสดงขนาดต่ำสุดของอนุภาคที่สามารถแยกได้ด้วยไซโคลน (Cheremisinoff 1993)

Term	Description	High Efficiency		General Purpose	
		Stairmand	Swift	Swift	Peterson and Whitby
D	Body diameter	1.0	1.0	1.0	1.0
H_c	Inlet height	0.5	0.44	0.5	0.5
B_c	Inlet width	0.2	0.21	0.25	0.25
S_c	Outlet length	0.5	0.5	0.625	0.6
D_c	Outlet diameter	0.5	0.4	0.5	0.5
L_c	Cylinder height	1.5	1.4	2.0	1.75
H	Overall height	4.0	3.9	4.0	3.75
R	Dust outlet diameter	0.375	0.4	0.25	0.4
C	Configuration parameter	551.3	699.2	402.9	381.8
N_H	Inlet velocity heads	6.40	9.24	8.0	8.0



รูปที่ 5 แสดงสัดส่วนของขนาดสำหรับ Cyclone มาตรฐานแบบต่างๆ

$$d_p = \left(\frac{9\mu B_c}{\pi N_H V_{in} (\rho_s - \rho_f)} \right) \quad (3)$$

เมื่อ

d_p = ขนาดวิกฤติของอนุภาคในไซโคลน m

B_c = ความกว้างของทางเข้าของก๊าซ m

N_H = จำนวนรอบที่ก๊าซหมุน $N_H = 2$ ถึง 20 ไซโคลนทั่วไป

V_{in} = ความเร็วเข้าของก๊าซ m / sec

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค Kg / m³

ρ_g = ความหนาแน่นของก๊าซ Kg / m³

μ = ความหนืดของก๊าซ Kg / m.sec

ดังนั้นในการดำเนินการใช้งานที่ต้องการแยกสปอร์เชื้อรา โดยให้มีสิ่งเจือปนน้อยควรใช้ความเร็วในหอแยกไม่เกินความเร็ววิกฤติของก้อนเชื้อรา และมีค่าไม่สูงมากนักจนกระทั่งสิ่งเจือปนอื่นๆหลุดลอยไปพร้อมกับสปอร์ ในที่นี้จึงทำการกำหนดขนาดของความเร็วอยู่ที่ระดับ 1.66 m/s ซึ่งมากกว่า 10 เท่าของความเร็ววิกฤติของสปอร์เชื้อราเล็กน้อย จากการคำนวณพบว่าอัตราการไหลของอากาศผ่านระบบอยู่ที่

$$Q = 1.66 \times \pi \times 0.2^2 / 4 = 0.0522 \text{ m}^3 / \text{s}$$

ขนาดพื้นที่หน้าตัดกรณีกำหนดให้ความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลนอยู่ที่ค่าสูงสุด 21 m/s

$$A = 0.00248 \text{ m}^2$$

จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนที่ 0.1409 m หรือประมาณ 14 cm โดยตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนต่างๆ ของไซโคลนที่ได้จากการคำนวณนี้ โดยแบบของไซโคลนแสดงดัง Drawing ในภาคผนวกที่ 1

ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนของไซโคลนสำหรับเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา

สัดส่วน	D	H _c	B _c	S _c	D _c	L _c	H
ขนาด (cm)	14	7	3.5	8.75	7	28	56

และจากการตรวจสอบความเหมาะสมในการแยกอนุภาคของไซโคลนดังกล่าวด้วยสมการ (3) โดยการคำนวณขนาดวิกฤติของอนุภาคที่สามารถแยกได้ด้วยไซโคลนดังกล่าว บนพื้นฐานการทำงานที่ความเร็วอากาศที่ทางเข้าไซโคลน 21 m/s โดยอนุภาคมีความหนาแน่นในช่วง 3,879 - 86,492 kg/m³ พบว่าขนาดวิกฤติเท่ากับ 0.1-0.5 μm ซึ่งต่ำกว่าขนาดของสปอร์เชื้อราที่อยู่ระหว่าง 2.45 – 10.4 μm อยู่มาก และถึงแม้จะลดความเร็วทางเข้าลงเหลือ 15 m/s ซึ่งเป็นความเร็วแนะนำต่ำสุดของการใช้งานไซโคลน ดังกล่าวก็ตาม จากการคำนวณขนาดวิกฤติพบว่าขนาดวิกฤติของอนุภาคที่สามารถดักจับได้ในไซโคลนยังมีขนาดระหว่าง 0.12-0.57 μm ซึ่งต่ำกว่าขนาดของสปอร์เชื้อราที่อยู่ระหว่าง 2.45 – 10.4 μm อยู่ยิ่งมาก ดังนั้นไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 cm ทำงานที่ความเร็วอากาศที่ทางเข้าระหว่าง 15-21 m/s จึงเหมาะสมกับการใช้ดักจับสปอร์เชื้อราในเครื่องแยกสปอร์เชื้อราที่ต้องการสร้าง

สำหรับค่าความดันสูญเสีย (ΔP) ในไซโคลนดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$\Delta P = 0.003 \rho_f V_{in, cyclone}^2 N_H \quad (4)$$

เมื่อ $V_{in, cyclone}$ = ความเร็วของอากาศที่ช่องทางเข้าไซโคลน fps (ฟุต/วินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 32.2 ft/s²

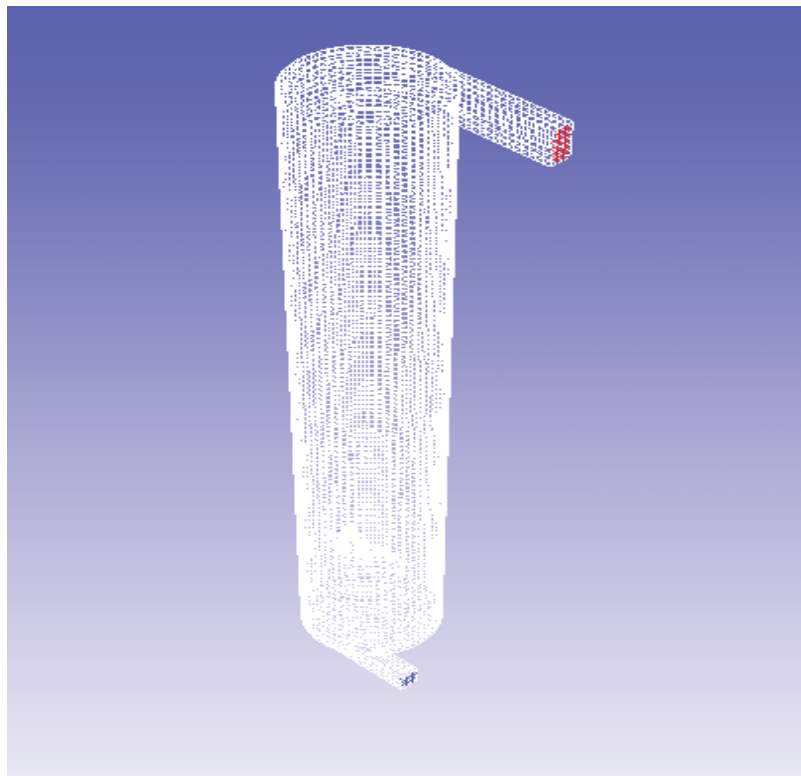
N_H = Number of Inlet Velocity Head (มีค่าเท่ากับ 8 สำหรับ General Purpose Swift Cyclone ดังแสดงในรูปที่ 5)

จากการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่เกิดในไซโคลนพบว่าที่ความเร็วอากาศทางเข้าที่ 21 m/s ไซโคลนมีความดันสูญเสีย 8.82 in WC

2.3 การจำลองการไหลในหอแยกสปอร์เชื้อรา

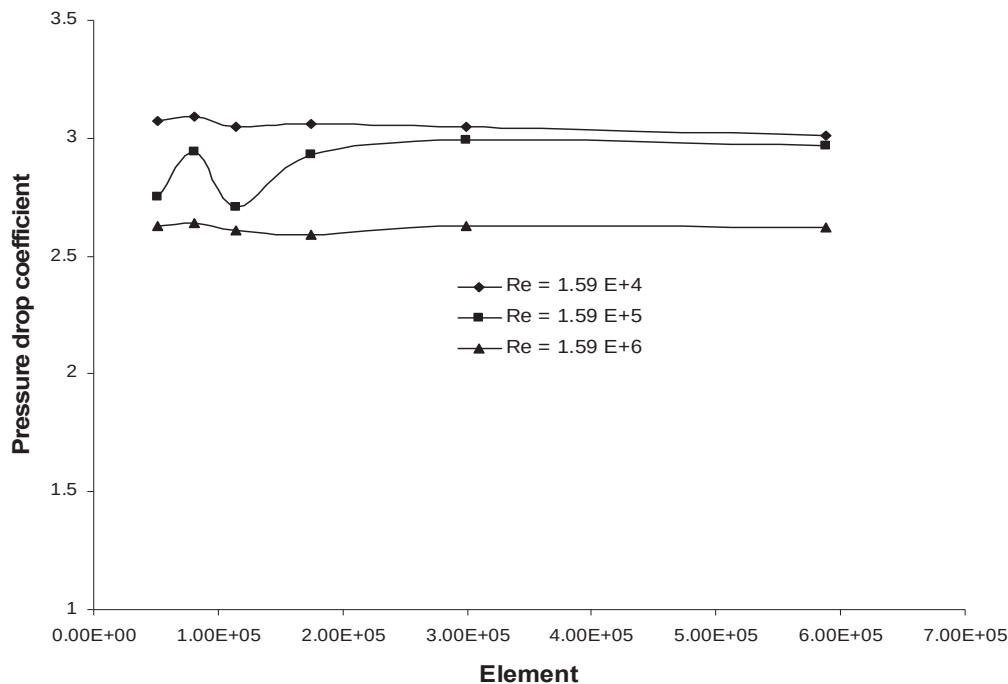
จนถึงขณะนี้การออกแบบเครื่องแยกสปอร์เชื้อรายังไม่อาจทำได้สมบูรณ์ เนื่องจากขาดสมการในการประมาณค่าความดันสูญเสียในหอแยกสปอร์เชื้อราทั้งจากการคำนวณโดยตรง หรือจากการสร้างสมการที่ได้จากข้อมูลเชิงทดลอง เนื่องจากหอแยกเป็นอุปกรณ์ใหม่ที่มีการออกแบบการไหลของอากาศที่แตกต่างจากไซโคลน จึงไม่อาจใช้สมการการคำนวณของไซโคลนมาประมาณค่าความดันสูญเสียได้ แนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้เพื่อทดแทนการคำนวณจากสมการในเชิงทฤษฎี หรือสมการที่ได้จากข้อมูลในเชิงการทดลอง นั่นคือการประมาณค่าด้วยการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลจำลองการไหลของอากาศในหอแยกสปอร์ ซึ่งสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิดในรูปทรงต่างๆที่ซับซ้อนได้โดยไม่ต้องทำการสร้างแบบจำลองและวัดค่าจริง

ในที่นี้ใช้การคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิดกับการไหลของอากาศผ่านหอแยกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm มีขนาดทางเข้า และทางออก 3 x 3 cm และ 3 x 6 cm ด้วยโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลโดยทำการทดสอบระดับความอ่อนไหวต่อระดับความละเอียดของกริดที่ระดับจำนวนปริมาตรย่อยระหว่าง 38,568-588,025 element ที่ระดับ Re ตั้งแต่ 1.59×10^4 - 1.59×10^6 (เทียบได้กับความเร็วที่ทางเข้า 10 และ 100 m/s) รูปที่ 6 แสดงการแบ่งปริมาตรย่อยของหอแยกเพื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 6 แสดงการแบ่งปริมาตรย่อยในหอแยกสปอร์ที่ระดับปริมาตรย่อยที่ 177,114 elements

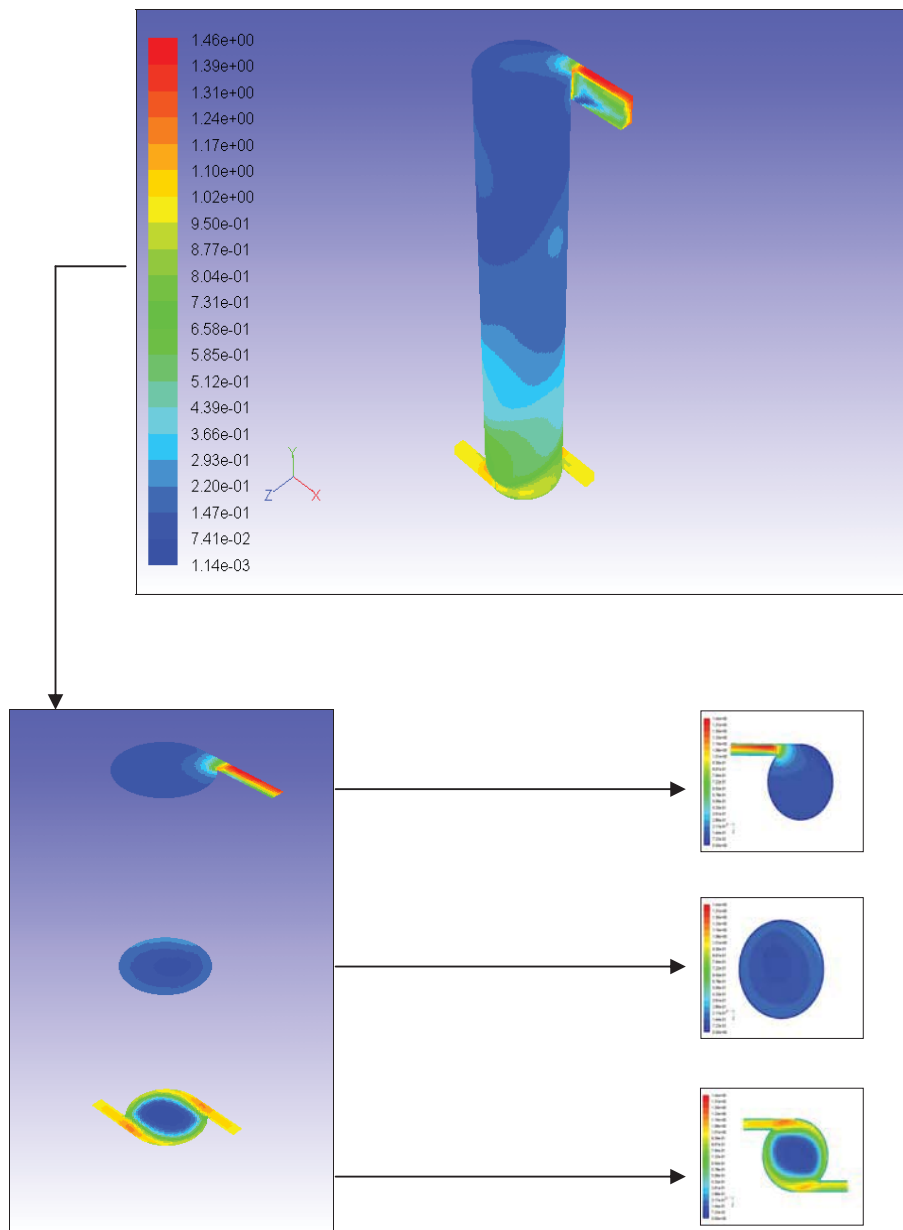
ผลการจำลองการไหลในช่วง Re 1.59×10^4 - 1.59×10^6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิดในหอแยกมีค่าระหว่าง 2.5-3 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 โดยผลของการแบ่งจำนวนปริมาตรย่อยที่มากขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่การคำนวณผลลัพธ์จะต้องใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย และจากการพิจารณาความเหมาะสมในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย และเวลาที่ใช้ในการคำนวณพบว่าที่ระดับการแบ่งปริมาตรย่อย 177,114 element เป็นระดับการแบ่งปริมาตรย่อยที่มีความเหมาะสม



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียของหอแยกสปอร์ที่มีการแบ่งปริมาตรย่อยหลายๆระดับ

จากนั้นจึงพิจารณาผลการจำลองการไหลที่ความเร็วอากาศที่ทางเข้าตั้งแต่ 10-100 m/s ($Re = 1.59 \times 10^4 - 1.59 \times 10^6$) ที่ระดับการแบ่งปริมาตรย่อย 177,114 element เพื่อดูลักษณะการกระจายความเร็ว และค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิด พบว่าลักษณะการกระจายความเร็วบริเวณใกล้ผนังของหอแยก และบริเวณหน้าตัดในแนวระดับที่ตำแหน่งด้านล่าง กึ่งกลาง และทางออกรูปของหอแยกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาจากรูปพบว่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณท่อทางเข้าและทางออกด้านที่ติดกับตัวหอแยก ด้านล่างหอแยกแบบที่มีช่องทางเข้า โดยมีค่าลดลงเรื่อยๆ จากบริเวณทางเข้าด้านล่าง จนกระทั่งถึงด้านบนหอแยก และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในท่อทางออกที่ต่อกับไซโคลน

แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาขนาดความเร็วต่ำสุดของอากาศในแนวแกนของหอแยก เมื่อทำการจำลองการไหลด้วยระดับความเร็วทางเข้าหอแยกที่ 15-21 m/s พบว่าค่าความเร็วต่ำสุดในแนวแกนของหอแยกยังมีค่ามากกว่าค่าความเร็ววิกฤติของสปอร์เชื้อรา จึงคาดการณ์ได้ว่าสปอร์เชื้อราจะถูกแยกออกจากก้อนเชื้อราได้โดยการพัดพาของกระแสอากาศในแนวตั้งในหอแยกดังกล่าว และไหลเข้าสู่ไซโคลนเพื่อคัดแยกออกจากกระแสอากาศในรูปผงแห้งตามที่ต้องการ และจากผลการจำลองการไหลดังกล่าวพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ระดับความเร็วทางเข้าหอแยกที่ 15-21 m/s มีค่าประมาณ 2.8-2.9



รูปที่ 8 แสดงผลการกระจายความเร็วในหอแยกแบบเป็นระดับชั้น (Contour) ที่ตำแหน่งต่างๆ

ดังนั้นค่าความดันสูญเสียที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านหอแยก จึงสามารถหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่ได้จากการจำลองการไหล โดยค่าความดันสูญเสียที่เกิดบริเวณหอแยกซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (5)

$$\Delta P = K \frac{V_i^2}{2g} \quad (5)$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียในท่อแยก ~ 3
 V_i = ความเร็วที่ทางเข้าของท่อแยก

ในที่นี้ท่อแยกมีทางเข้าเป็นท่อทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3 cm จำนวน 2 ท่อวางในแนวสัมผัสที่บริเวณขอบของด้านล่างดังแสดงรายละเอียดในแบบภาคผนวกที่ 1 จากการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่ความเร็วในท่อแยก 1.66 m/s ได้ความดันสูญเสียจากการคำนวณด้วยสมการ (5) เท่ากับ 6.06 inWC

2.4 การกำหนดขนาดของพัดลม

พัดลมที่เหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องแยกสปอร์เชื้อราต้องมีอัตราการไหลของอากาศผ่านพัดลมเท่ากับอัตราการไหลผ่านท่อแยกของอากาศ คือ 0.0522 m³/s และมีความดันสถิตยเท่ากับ ความดันสูญเสียในระบบคือ 14.88 in WC (8.82 + 6.06 in WC) เทียบเท่ากับ 0.38 m WC โดยใช้มอเตอร์ต้นสามารถประมาณได้จากสมการ (Bleier 1997)

$$\text{Air Power} = 1000 \times 9.81 \times 0.38 \times 0.0522 = 198 \text{ watt}$$

กรณีเลือกใช้พัดลมแบบครีปโค้งหลังประสิทธิภาพ 70% มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 70% กำลังงานที่ต้องการคือ

$$\text{Require Power} = 198/0.7/0.7 = 404.1 \text{ watt} = 0.542 \text{ hp}$$

กำหนดค่า S.F. = 50% ดังนั้นขนาดมอเตอร์ที่ต้องการ

$$\text{Motor Power} = 0.542 / 0.5 = 1.08$$

ดังนั้นขนาดมอเตอร์พัดลมที่เลือกใช้เท่ากับ 1.5 แรงม้า

บทที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องจับเก็บสปอร์เชื้อราต้นแบบทำโดยการทดลองเก็บสปอร์เชื้อราสองชนิดคือ *Beauveria* และ *Metarhizium* โดยทำการทดลองแยกสปอร์เชื้อราที่ความเร็วลมสามระดับคือ 20, 16 และ 12 m/s ที่ทางเข้าของหอแยกตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.1.2 สำหรับผงสปอร์ที่ได้ที่บริเวณด้านล่างของไซโคลน จะถูกนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพการคัดแยกสปอร์เชื้อราของเครื่องในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การแยกคั้นดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.1.3

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1 อุปกรณ์การทดสอบ

- เครื่องจับเก็บสปอร์เชื้อรา
- ก้อนเชื้อรา *Beauveria* และ *Metarhizium*
- บีกเกอร์ขนาด 50 cc
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด
- นาฬิกาจับเวลา
- ตู้อบความชื้น

3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแยกสปอร์

1. แบ่งก้อนเชื้อราออกจากขวดทดลอง 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ได้
2. นำก้อนเชื้อราในบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 วัน แล้วนำบีกเกอร์ไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าที่ได้ เพื่อหาค่าความชื้นของก้อนเชื้อรา จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \left(\frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \right) \times 100\%$$

3. แบ่งก้อนเชื้อราจากขวดทดลองออกอีก 10 กรัม เพื่อนำไปทดสอบหาความเข้มข้นของสปอร์เชื้อรา
4. นำขวดที่แยกก้อนเชื้อราออกแล้ว มาชั่งน้ำหนักขวด จดบันทึกค่าที่ได้
5. เทก้อนเชื้อราใส่ในหอแยก แล้วนำขวดทดลองเปล่าไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้
6. ทำการแยกผงสปอร์ออกจากก้อนเชื้อราโดยเครื่องจับเก็บสปอร์เชื้อรา ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าหอแยก 20 m/s (รอบของพัดลม 2800 rpm) จับเวลา สังเกตว่าไม่มีผงสปอร์หลุดออกจากก้อนเชื้อราแล้ว จึงบันทึกเวลาที่ได้

7. นำผงสปอร์ที่ได้แล้วก่อนเชื้อราที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่ได้
8. ทำการทดลอง 1-7 กับก้อนเชื้อราชนิดเดิม แต่เปลี่ยนระดับความเร็วลมที่ทางเข้าเป็น 16 และ 12 m/s (รอบของพัดลม 2240 rpm และ 1680 rpm) ตามลำดับ
9. ทำการทดลอง 1-8 กับก้อนเชื้อราอีกชนิดหนึ่ง

3.1.3 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพการแยกคินสปอร์ (% Recovery)

การหาประสิทธิภาพในการแยกผงสปอร์จากก้อนเชื้อรา โดยใช้เครื่องแยกสปอร์เชื้อราผ่งแห้ง จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสปอร์ในสารละลายที่ได้จากการทำละลาย แล้วนำมานับจำนวนสปอร์ เพื่อคำนวณความเข้มข้นสปอร์ต่อ 1 กรัมของก้อนเชื้อราตามขั้นตอนดังนี้

1. นำผงสปอร์ที่ได้ 0.5 g มาละลายน้ำ 45 mL และนับจำนวนสปอร์ที่ได้ 2 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ย จดบันทึกค่าที่ได้ และนำมาคำนวณค่าจำนวน Spore/g_{ผงสปอร์} ตามสมการ (6) โดยใช้ Dilute = 10^4

$$\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,2}} = \frac{\text{จำนวนสปอร์เฉลี่ย} \times 5 \times 10^4 \times (\text{Dilute}) \times \text{น้ำหนักผงสปอร์}}{\text{น้ำหนักก้อนเชื้อราที่เหลือจากการแยกสปอร์}} \times 100\% \quad (6)$$

2. นำก้อนเชื้อราที่แยกจากขวดทดลอง มาละลายน้ำที่ 50 mL และนับจำนวนสปอร์ที่ได้ 2 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ย จดบันทึกค่าที่ได้ และนำมาคำนวณค่าจำนวน Spore/g_{ผงสปอร์} ตามสมการ (7) โดยใช้ Dilute = 10^2 และปริมาณของสารละลาย 250 ml

$$\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,3}} = \frac{\text{จำนวนสปอร์เฉลี่ย} \times 5 \times 10^4 \times (\text{Dilute}) \times \text{ปริมาณสารละลาย}}{\text{น้ำหนักก้อนเชื้อราที่เหลือจากการแยกสปอร์}} \times 100\% \quad (7)$$

3. นำก้อนเชื้อราที่เหลือจากการทดสอบ มาละลายน้ำ 250 mL และนับจำนวนสปอร์ที่ได้ 2 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย จดบันทึกค่าที่ได้และคำนวณค่าจำนวน Spore/g_{ผงสปอร์} ตามสมการ (1) โดยใช้ Dilute = 10^4 และปริมาณของสารละลาย 50 ml

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกสปอร์ โดยคำนวณ % การแยกคิน (%Recovery) % การตกค้าง (%Non-Recovery) และ % การสูญเสีย (%Loss) ตามสมการ (8) - (10)

$$\% \text{ การแยกคิน (Recovery)} = \frac{\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,2}}}{\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,1}}} \times 100\% \quad (8)$$

$$\% \text{ การตกค้าง (Non-Recovery)} = \frac{\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,3}}}{\text{Spore/g}_{\text{เชื้อรา,1}}} \times 100\% \quad (9)$$

$$\% \text{ การสูญเสีย (Loss)} = 100 - \% \text{ การแยก} - \% \text{ การตกค้าง} \quad (10)$$

3.2 ผลการทดสอบ

3.2.1 ผลการทดสอบการการทำงานของเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา

ตารางที่ 5 และ 6 แสดงผลการทดสอบการแยกสปอร์เชื้อราของเครื่องต้นแบบกับเชื้อราสองชนิดที่มีความชื้นโดยเฉลี่ยของก้อนเชื้อราที่ 10% จากผลการทดสอบพบว่าการแยกสปอร์จะทำได้เร็วขึ้นเมื่อความเร็วลมที่ทางเข้าที่เพิ่มขึ้น แต่จำนวนผงสปอร์จะน้อยลงตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น สาเหตุอาจเนื่องมาจาก ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้สปอร์หลุดลอยไปในกระแสอากาศในหอแยกได้เร็วขึ้นทำให้เครื่องทำงานได้เร็วขึ้น ในขณะที่ความเร็วที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้กระแสอากาศหมุนวนด้านในของไซโคลนมีความเร็วมากขึ้นจนผงสปอร์ถูกดูดกลับเข้าสู่กระแสอากาศด้านในของไซโคลน และไหลออกไปยังช่องทางออกด้านบน ทำให้ผงสปอร์ที่ได้จากเครื่องแยกสปอร์ซึ่งทำงานที่ความเร็วอากาศสูงน้อยกว่าผงสปอร์ที่ได้จากการทำงานที่ความเร็วอากาศที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการแยกสปอร์เชื้อราบิวเวอเรีย

ความเร็ว อากาศ (m/s)	วัดความชื้น			น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	เวลา (นาที)
	น้ำหนักก่อน เชื้อราก่อน อบ (g)	น้ำหนัก ก้อนเชื้อรา หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)	ก้อนเชื้อรา ก่อนแยกผง สปอร์ (g)	ผงสปอร์ ที่ได้ (g)	ก้อนเชื้อรา หลังแยกผง สปอร์ (g)	
12	45.0	40.7	9.55	210.8	1.2	180.8	15
16	41.4	36.9	10.86	231.4	1.2	200.2	14
20	49.8	45.2	9.23	203.8	1.2	163.8	11

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการแยกสปอร์เชื้อราเมตาไรเซียม

ความเร็ว อากาศ (m/s)	วัดความชื้น			น้ำหนักก่อน	น้ำหนัก	น้ำหนักก่อน	เวลา (นาที)
	น้ำหนัก ก้อนเชื้อรา ก่อนอบ(g)	น้ำหนัก ก้อนเชื้อรา หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)	เชื้อราก่อน แยกผง สปอร์ (g)	ผงสปอร์ ที่ได้ (g)	เชื้อราหลัง แยกผง สปอร์ (g)	
12	56.8	52.2	8.09	215.3	0.2	187.5	15
16	39.0	34.4	11.79	234.2	1.0	166.0	14
20	44.8	40.2	10.26	203.7	0.4	165.8	12

3.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกคืนสปอร์ (% Recovery)

ตารางที่ 7 และ 8 แสดงเปอร์เซ็นต์การแยกคืนสปอร์เชื้อรา สำหรับเชื้อรา บิวเวอเรีย เปอร์เซ็นต์การแยกคืนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ดีเปอร์เซ็นต์การแยกคืนของสปอร์เชื้อราเมตาไรเซียม ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีแนวโน้มใดๆที่เห็นได้ชัดตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกระจายขนาดของสปอร์ของเชื้อราเมตาไรเซียมที่มีการกระจายค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 3.33-9.26 μm อาจทำให้สปอร์มีโอกาสหลุดลอยไปกับกระแสอากาศหมุนวนด้านในของไซโคลนได้มากกว่าสปอร์เชื้อราบิวเวอเรียที่มีการกระจายขนาดในช่วงแคบกว่าที่ 2.45-3.85 μm จึงทำให้แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การแยกคืนสปอร์ของเชื้อราเมตาไรเซียมมีความผันผวน ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสปอร์เชื้อราบิวเวอเรียที่แปรผันตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นที่ด้านทางเข้าของระบบ

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การแยกคืนสปอร์เชื้อราบิวเวอเรีย

ความเร็ว อากาศ (m/s)	ความเข้มข้น ของก้อนเชื้อ ราตัวอย่าง (spore/g)	ความเข้มข้น ของผงสปอร์ เชื้อรา (spore/g)	ความเข้มข้น ของก้อนเชื้อ ราที่เหลือ (spore/g)	เปอร์เซ็นต์ การแยก (%)	เปอร์เซ็นต์ การตกค้าง (%)	เปอร์เซ็นต์ การสูญเสีย (%)
12	16.0×10^8	3.2×10^8	8.3×10^8	20	52	28
16	12.6×10^8	4.1×10^8	7.8×10^8	32	62	6
20	17.7×10^8	9.5×10^8	8.0×10^8	54	45	1

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การแยกคืนสปอร์เชื้อราเมตาไรเซียม

ความเร็ว อากาศ (m/s)	ความเข้มข้น ของก้อนเชื้อ ราตัวอย่าง (spore/g)	ความเข้มข้น ของผงสปอร์ เชื้อรา (spore/g)	ความเข้มข้น ของก้อนเชื้อ ราที่เหลือ (spore/g)	เปอร์เซ็นต์ การแยก (%)	เปอร์เซ็นต์ การตกค้าง (%)	เปอร์เซ็นต์ การสูญเสีย (%)
12	6.9×10^8	0.32×10^8	3.9×10^8	5	56	39
16	6.0×10^8	2.38×10^8	3.6×10^8	40	60	0
20	5.6×10^8	0.36×10^8	4.3×10^8	6	77	17

บทที่ 4 สรุป และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานที่ผ่านมาที่ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องแยกสปอร์เชื้อรา ผลการทดสอบการทำงานพบว่าเครื่องสามารถแยกสปอร์เชื้อราได้รวดเร็วขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ทั้งจากการทดสอบกับเชื้อราบิวเวอเรีย และเมตาไรเซียม

ผงสปอร์ที่ได้จากการแยกของเชื้อราบิวเวอเรีย มีเปอร์เซ็นต์การแยกคิ่นที่ดีขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผงสปอร์ที่ได้จากการคัดแยกสปอร์เมตาไรเซียมกลับไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่เกิดกับสปอร์ของเชื้อราบิวเวอเรีย อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบโดยนักวิจัยศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติที่ระดับเปอร์เซ็นต์การแยกคิ่นในระดับเกินกว่า 2×10^8 สปอร์/g นั้นก็ถือว่าเป็นระดับที่พอเพียงสำหรับการใช้งานในการควบคุมแมลงศัตรูพืชได้เช่นกัน ดังนั้นโดยภาพรวมเครื่องแยกสปอร์เชื้อราที่สร้างขึ้นจึงถือว่าใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อให้เครื่องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับการสร้างเครื่องแยกเพื่อให้มีประสิทธิภาพการคัดแยกมากยิ่งขึ้นกว่านี้โดยอาจดำเนินการ

- ปรับปรุงรูปแบบกลไกที่ใช้ในการกระจายก้อนเชื้อราให้สปอร์มีโอกาสถูกกระแสอากาศพัดพาออกไปได้มากยิ่งขึ้น
- นอกจากนี้ อาจทำการปรับเปลี่ยนลักษณะทางเข้าทางออกของหอแยกให้มีลักษณะที่อากาศไหลผ่านได้สะดวกกว่านี้ เพื่อลดขนาดพัดลมที่ใช้งานในระบบ และเพิ่มความแรงของกระแสอากาศที่ไหลผ่านก้อนเชื้อราให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

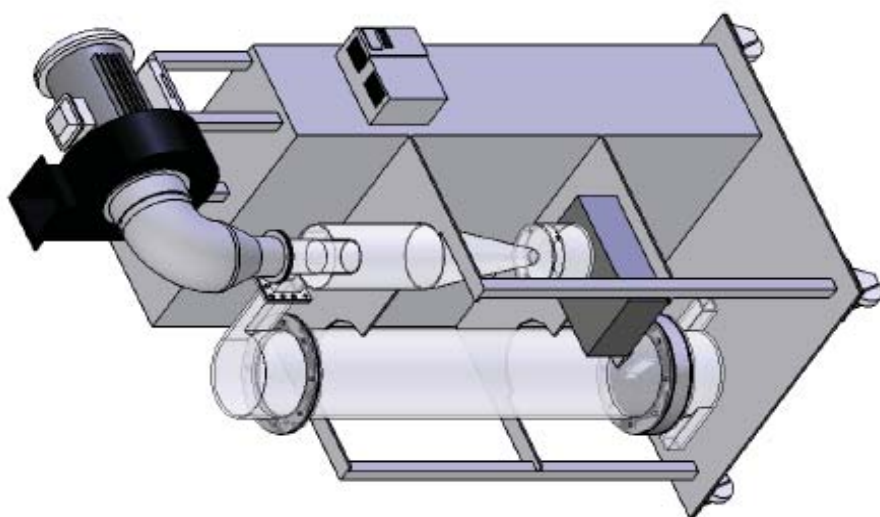
จิตรชัย นิยมล. (2548). ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

F.P. Bleier. (1997) **Fan Handbook: Selection, Application and Design**, New York: McGraw-Hill.

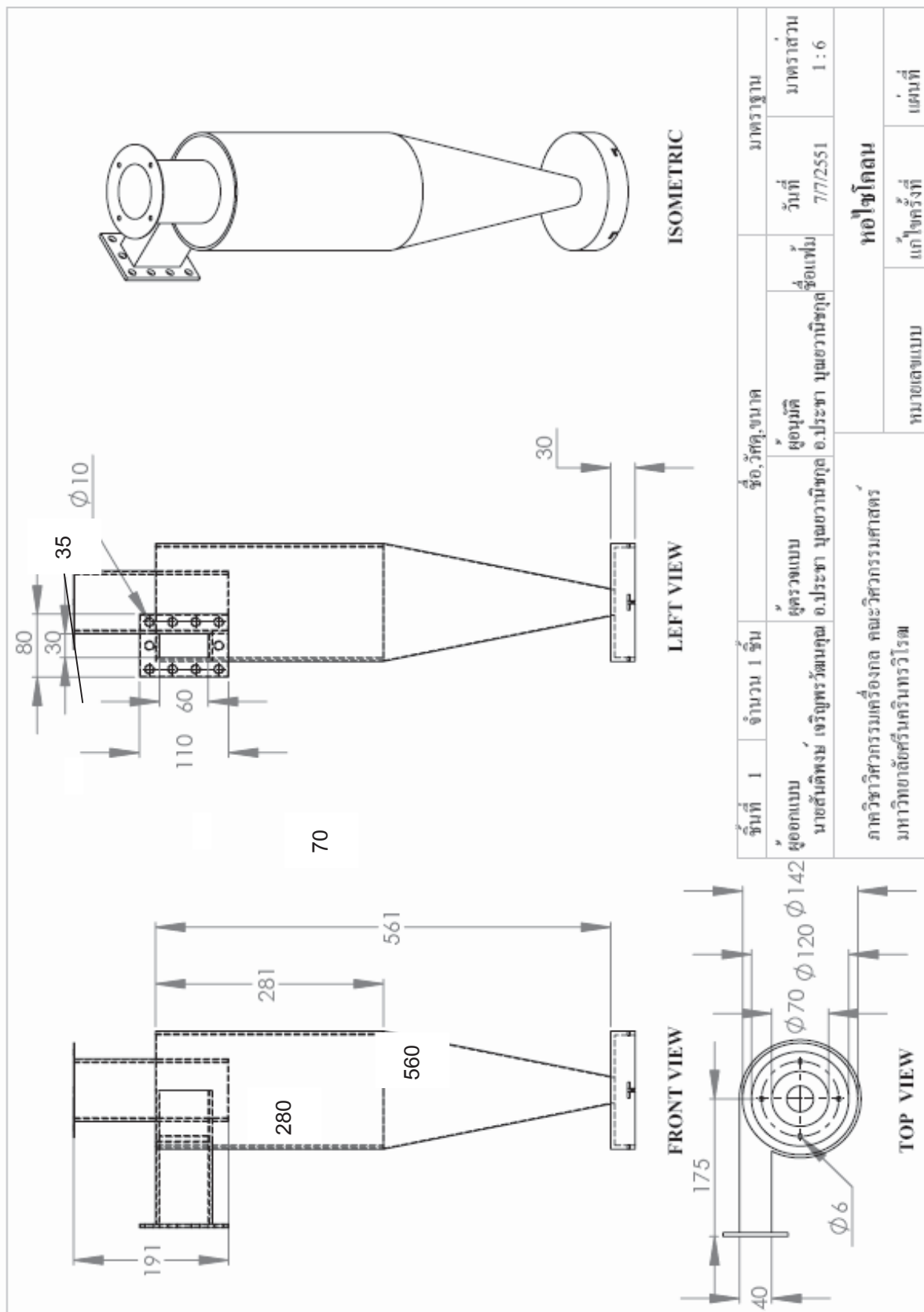
P. N. Cheremisinoff. (1993) **Air Pollution Control and Design for Industry**, New York: M. Dekker.

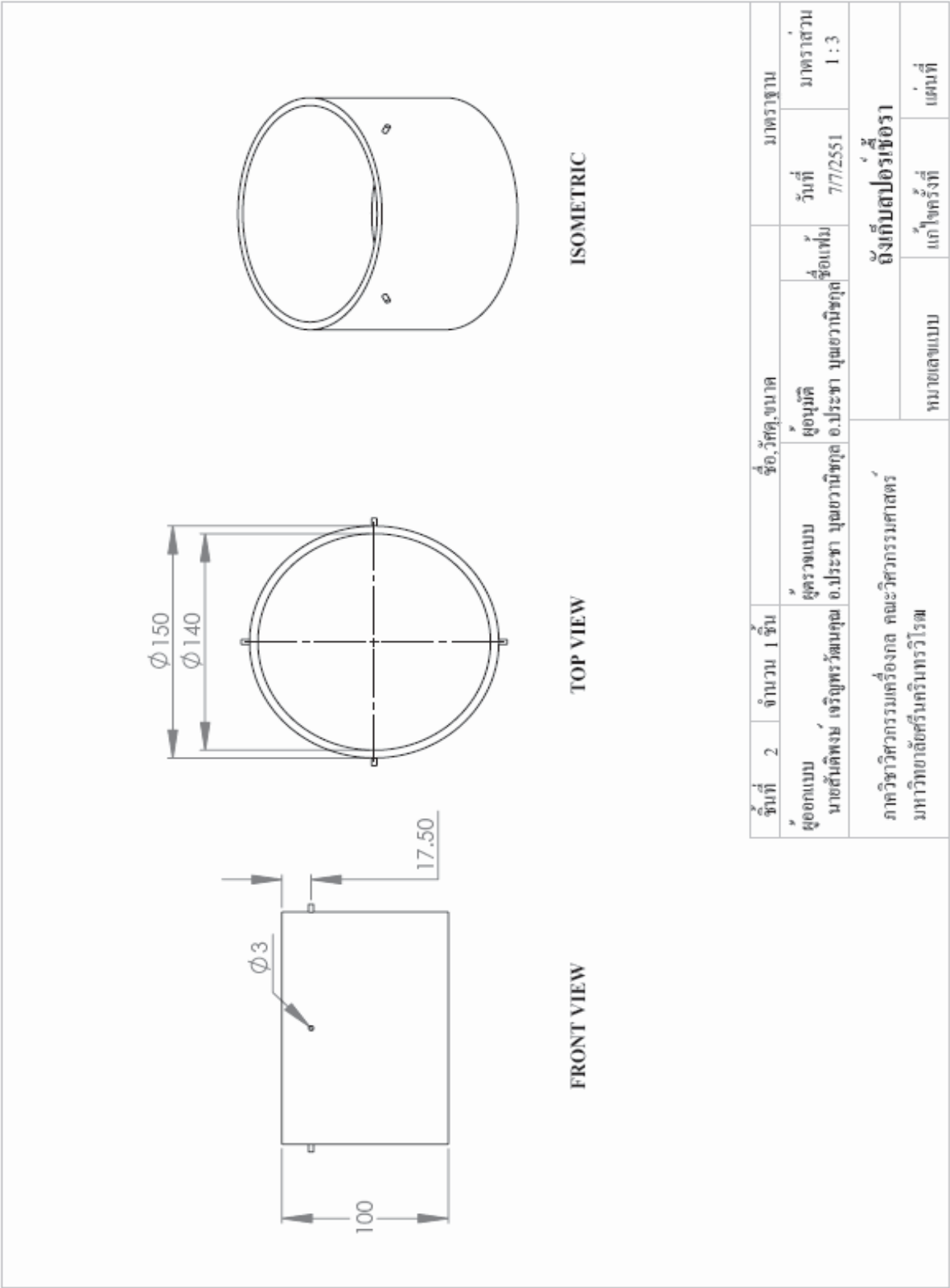
แบบ Drawing

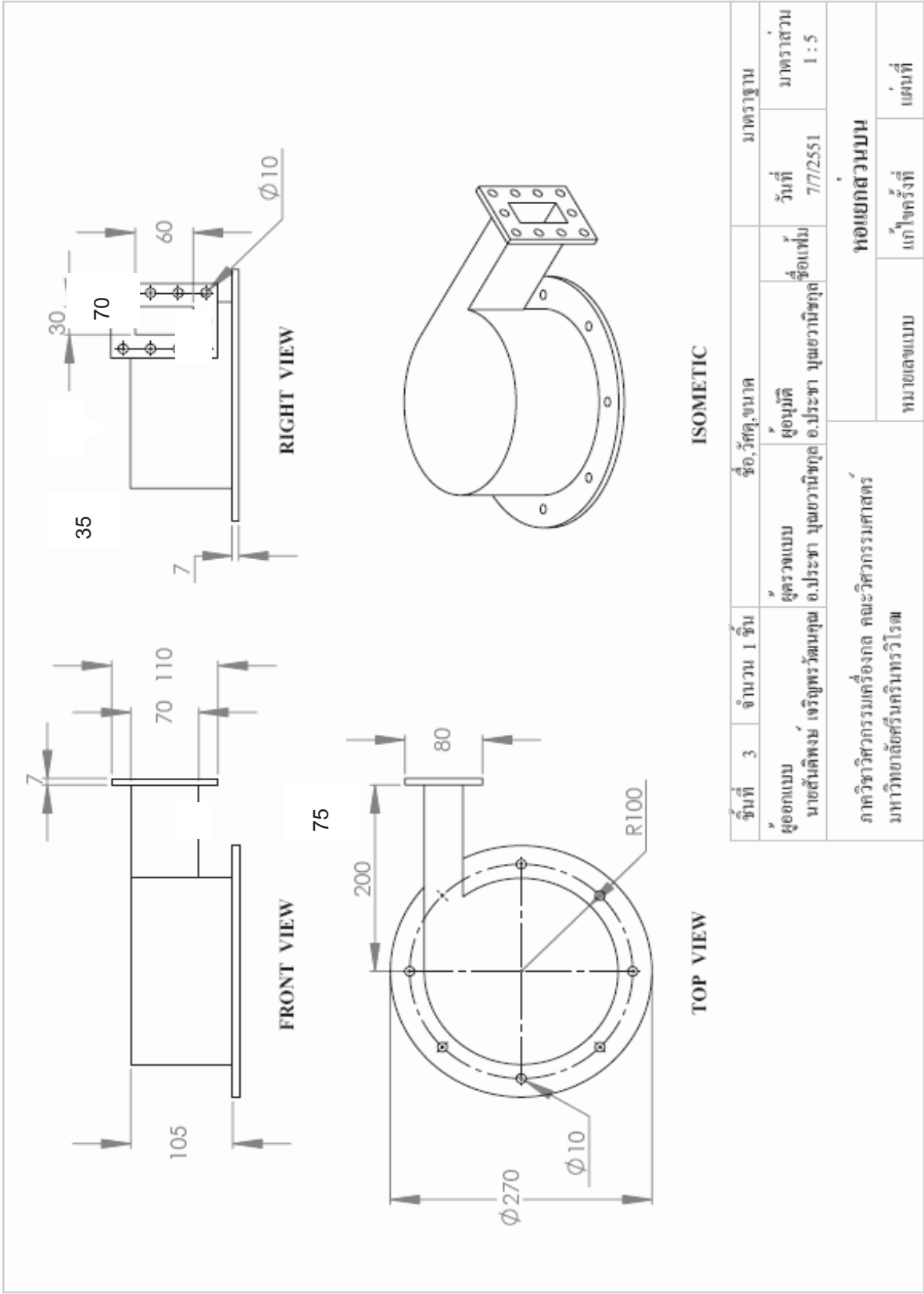
เครื่องต้นแบบ

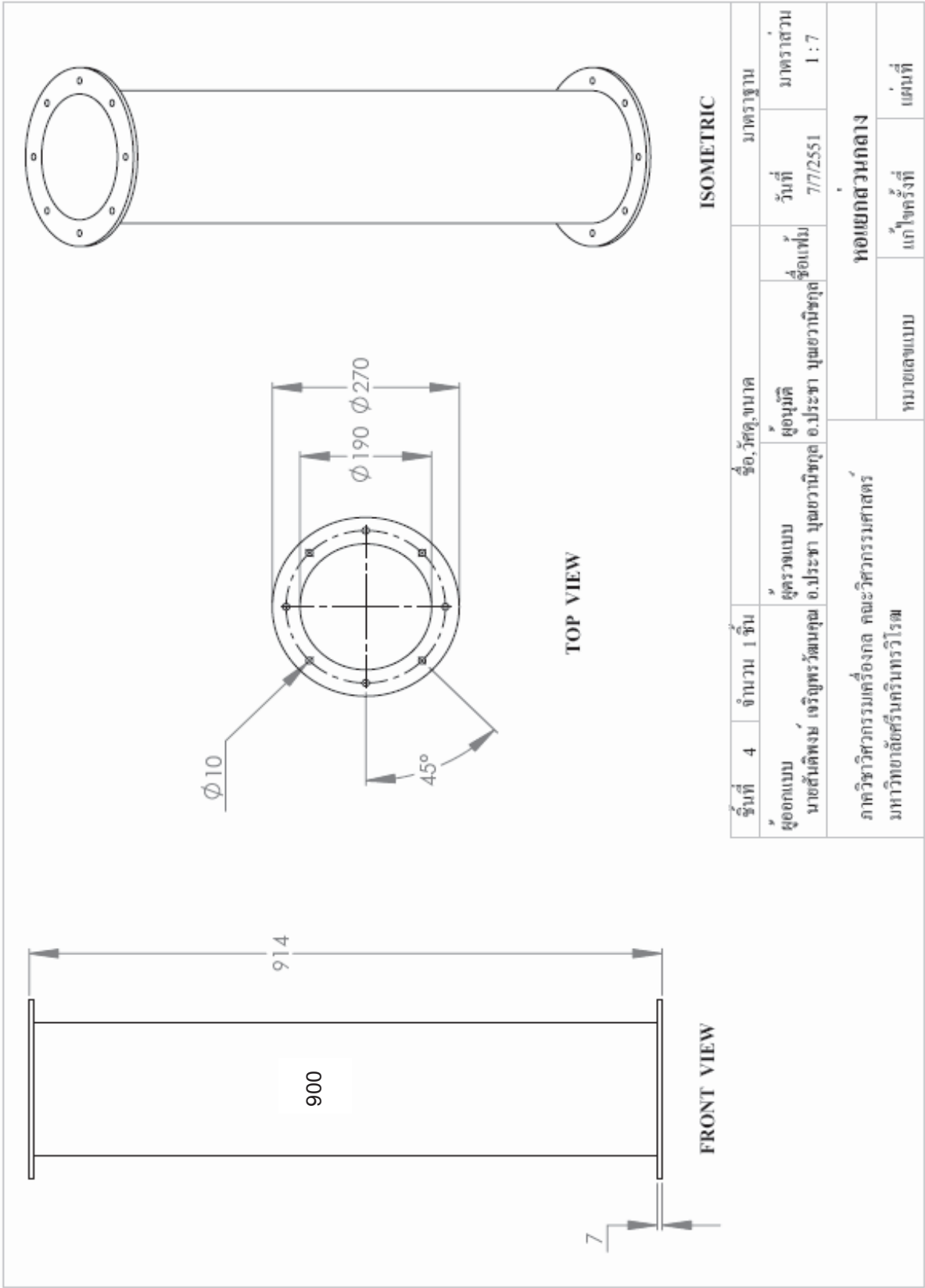


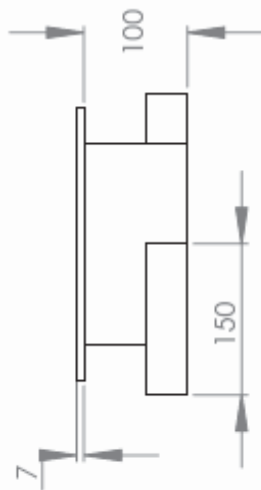
ผู้ออกแบบ นายสันติพงษ์ เจริญพรพัฒน์คุณ	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ตรวจแบบ อ.ประภา บุญยานันทกุล	ผู้อนุมัติ อ.ประภา บุญยานันทกุล	ชื่อวัสดุ-อุปกรณ์ ชื่อเพิ่ม บุญยานันทกุล	วันที่ 7/7/2551	มาตรฐาน มาตรฐาน 1 : 13
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์						
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ						
เครื่องจัดเก็บสปอร์เชื้อรา				แผ่นที่		
หมายเลขแบบ				แก้ไขครั้งที่		



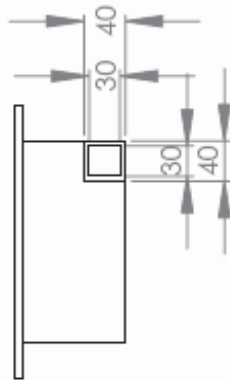




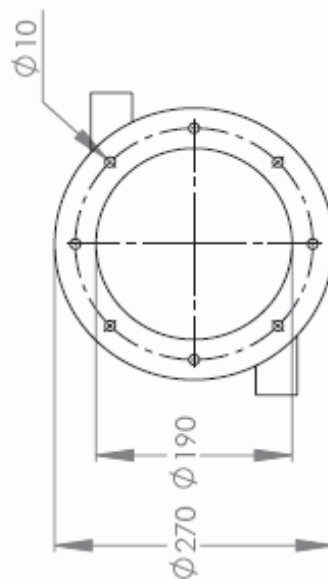




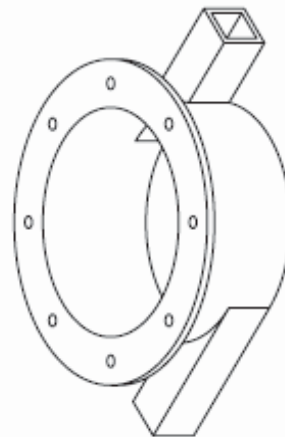
FRONT VIEW



LEFT VIEW



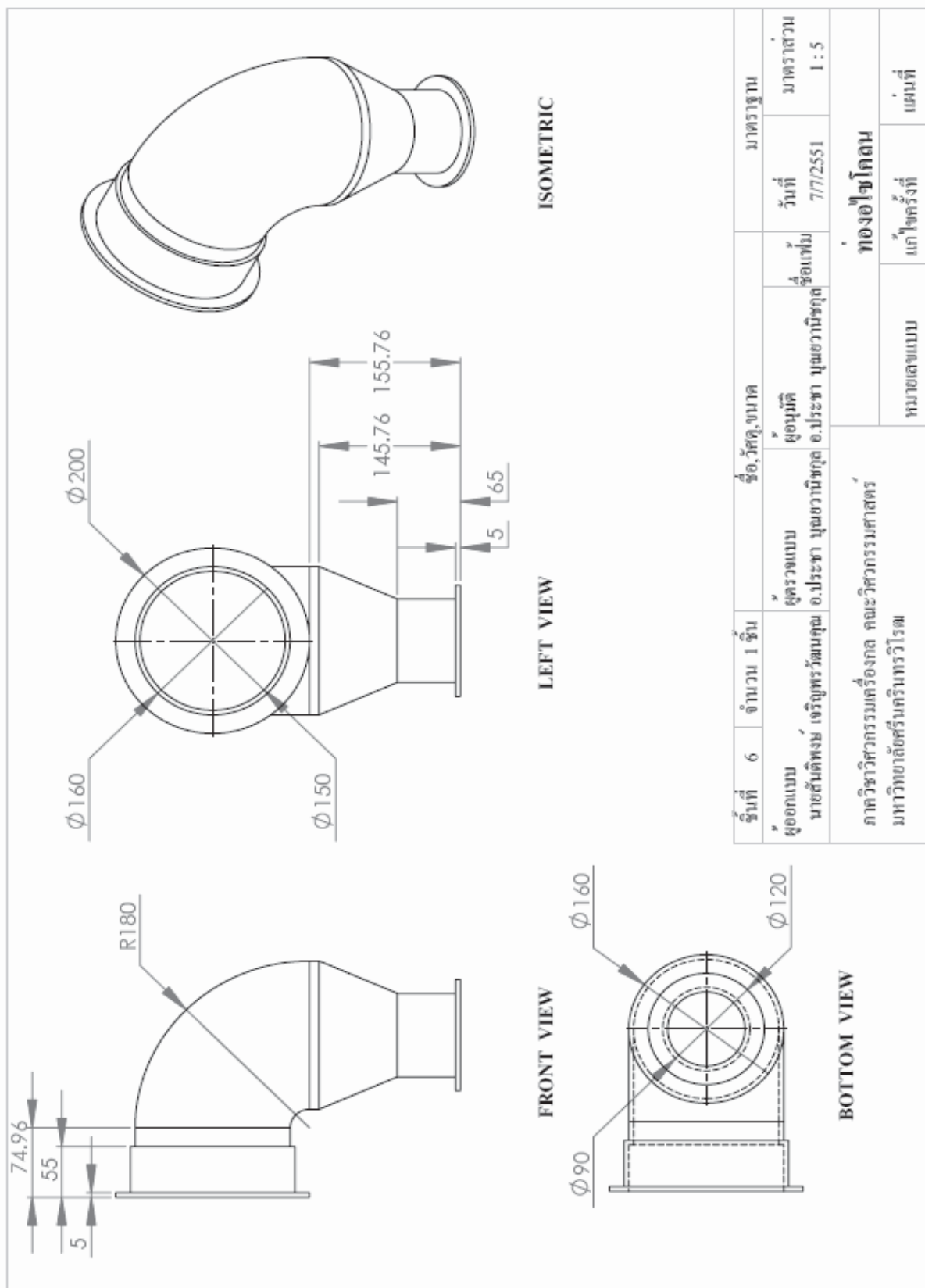
TOP VIEW

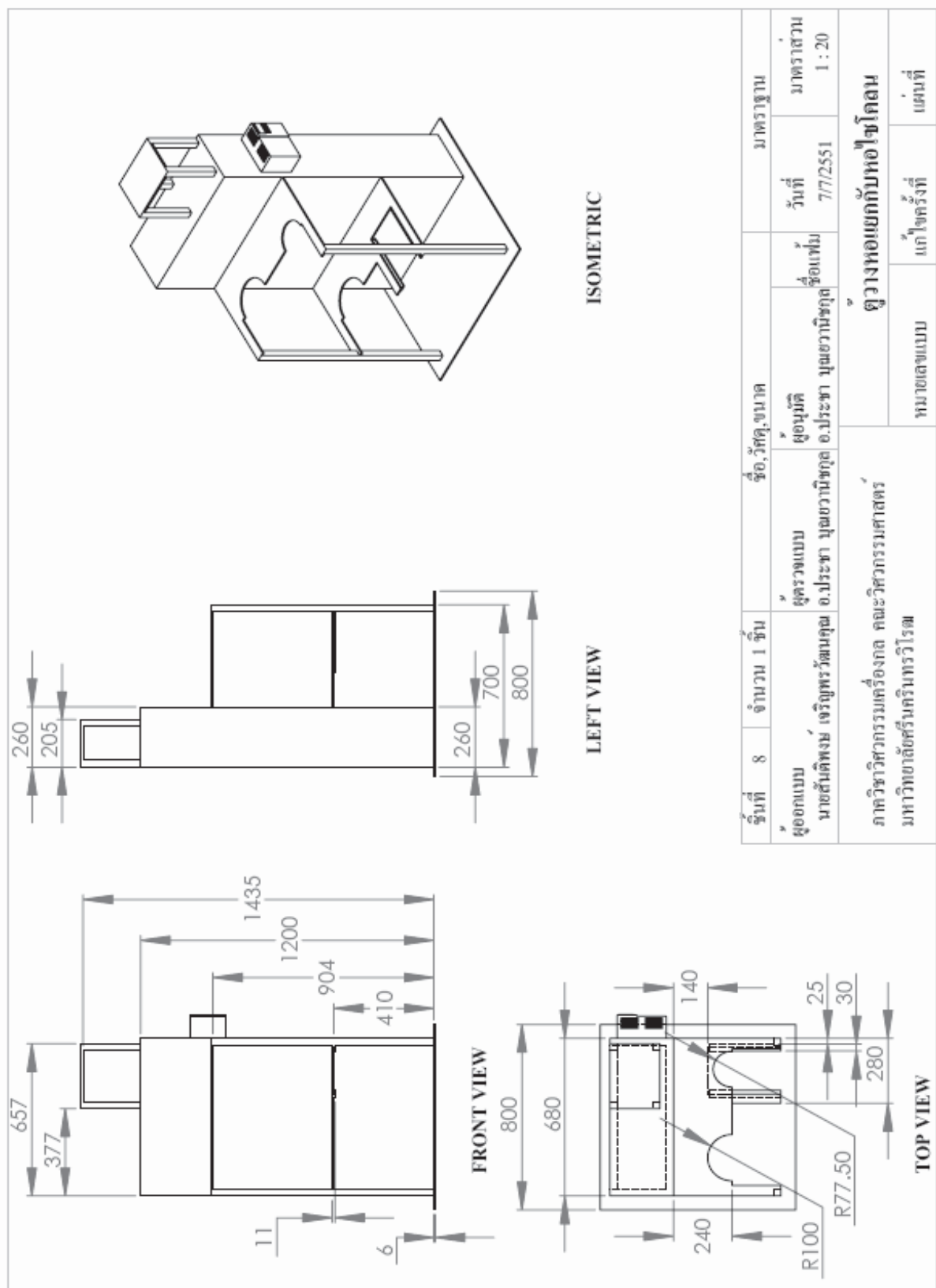


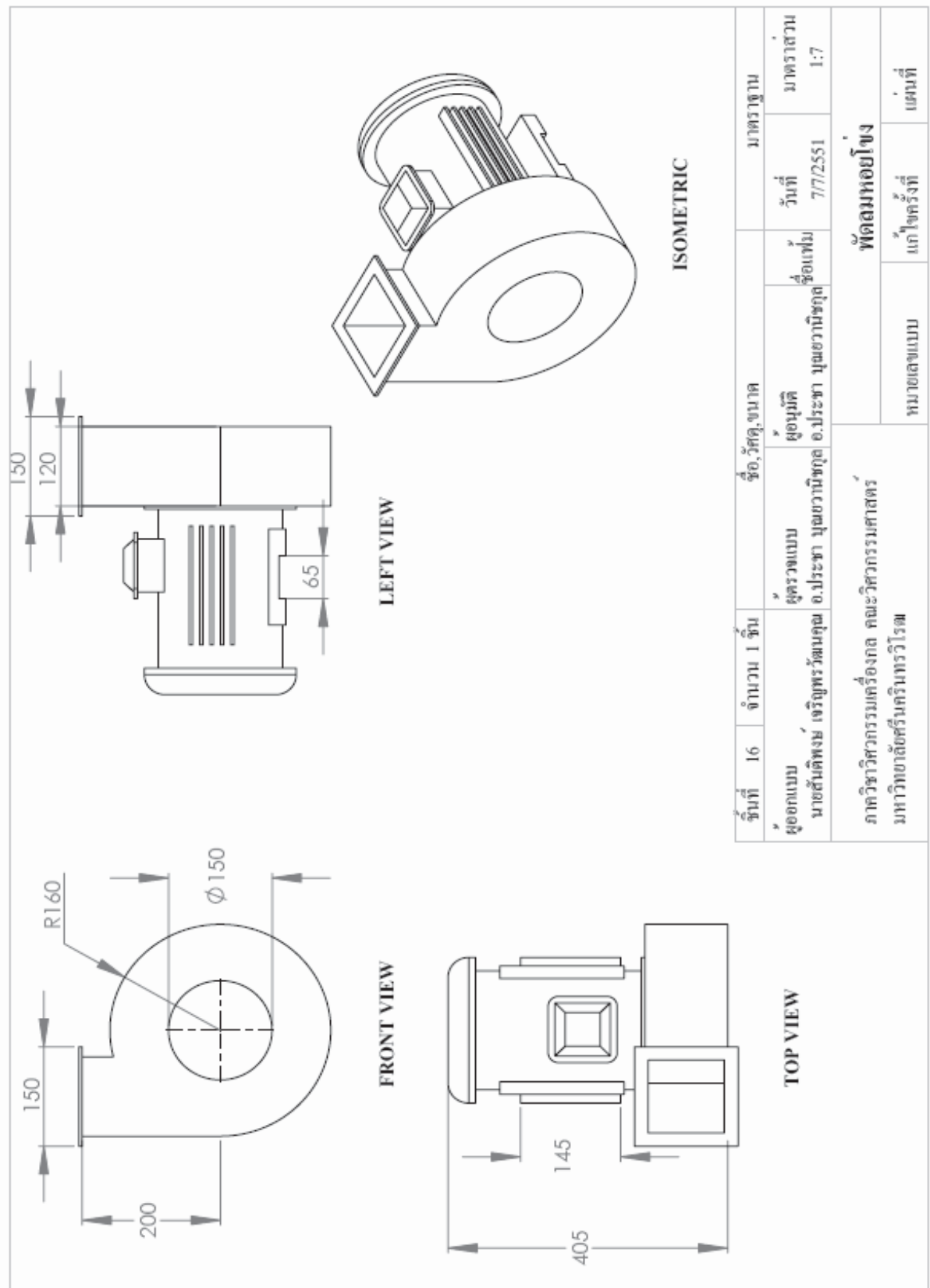
ISOMETRIC

ชิ้นที่ 5	จำนวน 1 ชิ้น	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด	มาตรฐาน
ผู้ออกแบบ นายสันติพงษ์ เจริญพรวัฒนคุณ	ผู้ตรวจแบบ อ.ประชา บุญอวาทินิชกุล	ผู้อนุมัติ อ.ประชา บุญอวาทินิชกุล	มาตรฐาน 1 : 6
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ		ชื่อแฟ้ม 7/7/2551	
		หมายเลขแบบ	วันที่ แผ่นที่

หอแยกส่วนล่าง







Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกอ. และ สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า)

- Bunyawanchakul, P., and Dechaumapai, P., "Some physical and aerodynamic properties of entomopathogenic fungal (*Beauveria bassiana* BCC 2660 and *Metarhizium anisopliae* BCC 19364) isolate of Thailand relevant to design of spore separation machine", *Biocontrol Science and Technology* [Impact Factor 1.102] (submitted)

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นได้นำไปทดลองใช้แยกผงสปอร์ของเชื้อรา *Beauveria* และ *Metarhizium* เพื่อใช้ในโครงการทดสอบการกำจัดและควบคุมศัตรูพืชประเภทเพลี้ยกระโดดภายใต้ชุดโครงการวิจัยของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ภาคผนวก
Manuscript
ของบทความสำหรับเผยแพร่



Some physical and aerodynamic properties of entomopathogenic fungal (*Beauveria bassiana* BCC 2660 and *Metarhizium anisopliae* BCC 19364) isolate of Thailand relevant to design of spore separation machine.

Journal:	<i>Biocontrol Science & Technology</i>
Manuscript ID:	CBST-2012-0095
Manuscript Type:	Research Article
Date Submitted by the Author:	14-Mar-2012
Complete List of Authors:	bunyawanchakul, pracha; Srinakharinwirot, Mechanical Engineering Dechaumpai, Pramote; Chulalongkorn University, Mechanical Engineering Prathumpai, Wai; National Science and Technology Development Agency of Thailand, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology Supothina, Sumalee; National Science and Technology Development Agency of Thailand, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology
Keywords:	Entomopathogenic fungi, Physical properties, Aerodynamic properties, Aerial Conidia, Separation machine

SCHOLARONE™
Manuscripts

**Some physical and aerodynamic properties of entomopathogenic fungal
(*Beauveria bassiana* BCC 2660 and *Metarhizium anisopliae* BCC
19364) isolate of Thailand relevant to design of spore separation
machine.**

Bunyawanchakul, Pracha (corresponding author)

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot
University, Rungsit-Nakhon Nayok Road, Ongkarak, Nakhon-Nayok, THAILAND, 26210*

E-mail prachabu@swu.ac.th

Tel. +6626495000 Ext. 2055 Fax. +6637322609

Dechaumpai, Pramote

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn
University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, THAILAND, 10330*

E-mail fmepdc@eng.chula.ac.th

Prathumpai, Wai

Supothina, Sumalee

*National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC) , National
Science and Technology Development Agency of Thailand (NSTDA),
113 Thailand Science Park, Phahonyothin Road , Klong 1, Klong Luang, Pathumthani,
THAILAND, 12120*

E-mail wai.pra@biotec.or.th, sumaleeu@ biotec.or.th

Acknowledgement

The authors are grateful to the Thailand Research Fund for financial support of this work (MRG5208243). The EPF isolates sample supplied and laboratory analysis of NSTDA are also acknowledged.

For Peer Review Only

1 **Some physical and aerodynamic properties of entomopathogenic fungal**
 2 **(*Beauveria bassiana* BCC 2660 and *Metarhizium anisopliae* BCC**
 3 **19364) isolate of Thailand relevant to design of spore separation**
 4 **machine.**

5

6 Selected physical and aerodynamic properties required for the spore separation
 7 machine design were determined for two genera of entomopathogenic fungi within
 8 the class Hypomycetes, namely; *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC
 9 19364, at a moisture content of 10% dried basis (db.). Aerial Conidia (AC) shape
 10 and size of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 were investigated
 11 and measured. The density and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M.*
 12 *anisopliae* BCC 19364 AC were determined. The bulk density, true density and
 13 porosity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth
 14 substrate were measured. The coefficient of static friction of *B. bassiana* BCC 2660
 15 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate on acrylic, galvanized steel and
 16 stainless steel were tested and calculated. The terminal velocity of *B. bassiana*
 17 BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate also measured.
 18 A prototype of fungal spore separation machine based on pneumatic transport and
 19 cyclonic separation was designed. The cylindrical separation tower of 20 cm
 20 diameter and 90 cm height using as pneumatic transport of AC was selected based
 21 on the bulk density of fungal spore on growth substrate. The cyclone dust collector
 22 of 14 cm diameter using as cyclonic separation devices was selected based on air
 23 flow rate passed through the system, the terminal velocity and true density of AC.
 24 The design cutoff size of the machine is significantly lower than the true diameter
 25 of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC.

26 Key words: Entomopathogenic fungi, Physical properties, Aerodynamic properties,
 27 Aerial Conidia, Separation machine

28

1. Introduction

Global agriculture practices are too dependent upon chemical pesticides. Only 2% of global pesticide market is occupied by products based on biological agents (Moore et al., 1993). There had been interest in application of biological control to replace or reduce chemical pesticide use that focused upon the development of use of microbial biocontrol agent, including bacteria, viruses, protozoa and fungi (Ferguson 1992; Klein 1988; Bidochka and Khachatourians 1991). Nowadays, Entomopathogenic fungi (EPF) are poised to become major commercial insect control agents, and their powdery spores are the keys to any mycoinsecticide or biological control strategy.

Using EPF to control insect pests has many advantages over chemical insecticides (Goettel and Johnson 1992). EPF are typically more selective and have narrower host range than chemicals. They also have greater capacity to be integrated with other biological control agents and can persist for extended periods providing increased protection against insect pests. These microbial agents are also biodegradable, making them more environmentally friendly than chemical insecticide that can leave toxic residual. Numerous laboratory and field studies indicated that EPF can provide a safe and effective control of many important insect pests. Currently, economic interest is focusing upon fungi from three genera within class Hyphomycetes: *B. bassiana*, *M. anisopliae* and *Paecilomyces lilacinus*. Recent research has attempted to meet the challenge of ensuring the stability (e.g. UV inactivation), efficacy at low relative humidity (RH) and mass production of inexpensive yet high quality fungal formulations (Feng Poprawski and Khachatourians 1994).

There are many processes involved with the development of commercial mycoinsecticide based on *B. bassiana* and *M. anisopliae* aerial conidia formulation. First step involves the selection of an EPF strain with desired specificity and host range, that is amenable to mass culturing, possesses high virulence (i.e., speed of action) and pathogenicity (i.e., killing rate), and can persist after release through horizontal transmission to other target insects. The next step is to mass produce this microbial agent. Various mass production processes have been developed for the rapid and efficient harvest of *B. bassiana* and *M. anisopliae* AC in dry powdery form that suitable for long-term storage under natural conditions without significantly loss their viability and infectibility (Khachatourians 1991; Feng et al. 1994; Goettel, 1984; Samsinakova Kalalova Vlcek and Krybal 1981; Thomas Khachatourians and Ingledew 1987; Hegedus Bodochka Miranpuri and Khachatourians 1992). Finally, commercial mycoinsecticide are then formulated with major concerns to ensure the ease of field application with minimal modification of existing chemical application equipment. Formulated mycoinsecticide may be applied in dry powdery form or incorporated into sprayable liquid which necessary to add supplementary agents such as surfactants, wetting agents, emulsifiers, dispersing and sticking agents and anti-evaporants to ensure the maximum efficacy.

Although the successful EPF mass production by mechanically harvest were reported as discussed previously, the physical and aerodynamic properties that are important to design the equipments and machines for storage, separation and collection had not been reported. The information of aerial conidia shape, dimension, density and terminal velocity is essential for accurate design of the separation equipment. Physical

properties of bulk density, true density, porosity and static friction coefficient with various surfaces of *B. bassiana* and *M. anisopliae* on growth substrate are also important; bulk density determined the capacity of storage, while true density is useful for separation equipment; porosity determined the resistance of air flow during aeration and drying. Flow ability is usually measured using static friction coefficient. It recognized by engineer as an important property concern with rational design of bin and other storage structures. Aerodynamic properties such as terminal velocity are useful for air conveyer and pneumatic separation (Mohsenin 1970). Designing of process equipment of entomopathogenic fungal without taking these properties into account may yields poor efficiency machine. For this reason, the objective of this study was to determine some physical and aerodynamic properties of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364, especially isolate found in Thailand. The properties examined include: shape, dimensions, density and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC; bulk density, porosity, true density, static friction coefficient and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate and these properties served as basic information for storage, separation and collection equipments design.

2. Materials and Methods

2.1 *Entomopathogenic fungi*

The EPF isolates obtained from National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC) of National Science and Technology Development Agency (NSTDA) of Thailand were chosen since they had been previously studied for their

activity against a variety of insect pests by BIOTEC research group. These fungi are collected at the BIOTEC culture collection and are publicly access. Conidiospore stock of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 were prepared by mixing a spore suspension with one volume of sterile (50%) v/v glycerol, and adding 100 µg/ml of antibiotic. These stocks were store in 2 ml aliquots at -70oC until used.

The powdery AC was cultivated using cooked rice as a basic growth substrate. Rice (500 g) was soaked in 200 mL of de-ionized water in autoclavable polypropylene bag (30x65 cm) for 30 min. Bag and mixture substrate were then autoclaved at 121oC for 40 min, and their top folded and staple when removed. Once cooled, the rice in each bag inoculated with conidial powder introduced at one corner of the bag, the bag was shaken and the conidia were mixed uniformly throughout the rice. Then, the bags were incubated at 25oC for 7-14 day allowing a profuse mycelial outgrowth on rice kernel for conidial production. Thereafter, top folded and staple were removed allowing the mixture substrate inside bag dried for 3-5 day to reduce moisture content to nearly 10% db. and it ready to used as sample for bulk density, true density porosity, static friction coefficient and terminal velocity examination. Finally, AC of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 were harvested by hand shaking through sieve screen. The harvested aerial conidia were then packed and stored into refrigeration cold chamber at 3oC until used for high performance microscope viewing of shape and dimension of AC. Figures 1 and 2 shows *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate and their powdery AC prepared for studies.

2.2 Shape, dimensions, density and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC

Fungal spores of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 were prepared for viewing with high performance microscope by fixing and dehydration. Proper preparation of biological samples to be viewed by microscopy is essential for preserving fine structure and minimizing sample distortion. Sample preparation was performed in facilities of BIOTEC and viewed using a bright field microscope (Olympus BX51) to obtain the shape and dimensions of sample AC.

Weight of AC was determined by mean of spore counteracting within specific weight of powdery spore sample which were dissolved using specific volume of solution. Therefore, an average specific weight of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC were calculated using equation (1).

$$\text{Spore g}^{-1} = \frac{N \times (5 \times 10^4) \times \text{Dilute} \times V_{\text{sol}}}{W_{\text{sam}}} \quad (1)$$

where N is average spore counted, Dilute is 102, Wsol is volume of solution (50 ml) and Wsam is weight of fungal sample used (g). Density was then calculated based on their weight and volume of their known diameter and length. The terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC involving the presence of airflow could be estimated from Stoke's law as shown in equation (2). This relation derived from the balance of gravitational and resisting drag force when the object freely falling and immersed into an ascendant airflow. When these forces was balanced, the object began move at a constant speed so-called terminal velocity that given by the following relation.

$$V_t = (gd^2)(\rho_s - \rho_f) / 18\mu \quad (2)$$

where V_t is terminal velocity (m/s), g is acceleration of gravity (m/s^2), d is “equivalent volume” diameter (m), ρ_s and ρ_f are density of particle and air (kg/m^3) and μ is viscosity of air (kg/ms).

2.3 Bulk density, true density, porosity, static friction coefficient and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate

The bulk density of fungal on growth substrate defined as the ratio of mass of sample to its total volume. It was determined using modified standard test weight procedure (Singh and Gaswami 1996; Gupta and Das 1997) by filling 90 ml container with mixture substrate were poured from height of about 150 mm at a constant rate, and then weighing the container. The bulk density was calculated from the mass of the seeds and the volume of the container. The true density defined as the ratio between the mass and the true volume of mixture substrate. It was determined by Toluene displacement technique. Toluene was used in place of water because it is absorb lesser and it exhibit low surface tension the more advantages of fill even shallow dips in mixture substrate layer. The volume of toluene displaced was found by immersing a weighted quantity of mixture substrate in the measured toluene (Unal Isik and Tekin 2008). Three replications were taken for each fungal to calculate an average value. The porosity (ϵ) was the ratio of void between particle compared to unit volume of mixture substrate and determined by the following relationship (Eq. (3)) (Mohsenin 1970).

164

$$\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \quad (3)$$

166 where ε is porosity (%), ρ_t is true density (kg/m³) and ρ_b is bulk density (kg/m³).

167 Static friction coefficient against different surfaces, acrylic, stainless steel and galvanized

168 steel were determined using cylinder of diameter 75 mm and depth of 50 mm fill with

169 mixture substrate. With the cylinder resting on the surface, the surface was raised

170 gradually until the filled cylinder start to slide down (Varnumkhasti et al. 2008). The

171 angle of the incline (α) was recorded and the static friction coefficient (μ_s) was calculated

172 using equation (4). Three replications were taken for each fungal to calculate an average

173 value.

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (4)$$

175 The terminal velocity of mixture substrates were measured using an air column

176 system. A sample was placed on the central part of the perforated screen. The airflow

177 upwards in the tube from bottom to the top was controlled until the mixture substrate start

178 to suspend. At this moment, the air velocity were measured using digital anemometer

179 having 0.1 m/s resolution (DIGICON DA-41). Three replications were taken for each

180 fungal to calculate an average value.

181 3. Results and Discussions

182 3.1 Shape, dimensions, density and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660

183 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC

184 The morphologies of AC from *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364

isolated obtained from BIOTEC were studied using bright field microscope. AC from *B. bassiana* BCC 2660 isolates found to have spheroidal appearance as shown in Fig 3 and found considerable variability in spore mean diameter, ranging from 2.5-3.9 μm . Unlike AC from *M. anisopliae* BCC 19364 isolates possessed similar cylindroidal morphology as shown in Fig 4 with variability in diameter and length, ranging from 2.5-2.8 μm and 5.3-6.4 μm , respectively. Table 1 shows summarized of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC properties such as dimensions, weight, density and terminal velocity obtained from experimentation and calculation method expressed in previous section.

As illustrated in Fig 3 and 4, *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC exhibit different morphologies. The different of AC morphologies, especially, the geometric mean of axial dimension may useful in the estimation of the projected area of AC moving in the turbulence or near-turbulence region of air stream. This projected area of the AC was generally indicative of its pattern of the behavior in the flowing fluid such as air and this result in the different terminal velocity range as calculated in Table 1. *M. anisopliae* BCC 19364 AC have higher terminal velocity, which would more difficult to entrain in the air stream than *B. bassiana* BCC 2660 AC during separation process. This characteristic can served as basic data for separation process equipment design due to pneumatic transport of AC. The terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC were 0.0121- 0.0191 m/s and 0.0344 - 0.0399 m/s, respectively. Therefore, the minimum requirement of air velocity used during separation process should not lower than the terminal velocity of each fungal AC and then the optimal design of pneumatic separation system such as volume of air flow, pressure drop

and motor horse power could estimated based on AC properties. In analyzing the aerodynamic behavior of AC, it is observed that the calculated value of terminal velocity of both AC spore were different in their magnitude but exhibit the same order. Therefore, it may proposed here that the air flow rate used for pneumatic separation systems for both fungal AC should be the same and higher than that of the terminal velocity of *M. anisopliae* BCC 19364 AC to ensure the separation of both AC fungal from growth substrate during separation process.

3.2 Bulk density, true density, porosity, static friction coefficient and terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate

B. bassiana BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate with average 10%db. moisture content were taken to measure and calculate their bulk density, porosity, true density, static friction coefficient and terminal velocity using method state in the previous section. Measured and calculated properties of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate shown in Table 2.

As shown in Table 2, the bulk and true density of both fungal on growth substrate were within nearly the same of 720 - 800 kg/m³ and 275 - 280 kg/m³, respectively. But the porosity of *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate exhibit higher percentage value. These properties influence the design of storage equipments. For example an expected size of silo may estimate based on the desired capacity divided by the bulk density of raw materials.

Experimental result shown that static friction coefficient changed with surface tested. The average values of static friction coefficient of friction against galvanized steel,

Stainless steel and Acrylic surface are 0.7, 0.55 and 0.5, respectively for *B. bassiana* BCC 2660 on growth substrate but 0.6, 0.5 and 0.45 for *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate. The highest friction coefficient value obtained for galvanized steel surface, while the lowest values were obtained on acrylic surface for both fungal on growth substrate. However, the static friction coefficient of *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate seem to be lower than *B. bassiana* BCC 2660 on growth substrate for all surface tested this may due to the more dense and porous within their bulk pile that made *M. anisopliae* BCC 19364 on growth easier to skid than *B. bassiana* BCC 2660 on growth substrate on an inclined surface during static friction coefficient test. This property is used to determine the angle of inclination of chute that must be installation in order to achieve consistent flow of fungal on growth substrate in processing unit.

The terminal velocity of fungal on growth substrate is found to be the same of 5.6 m/s for both *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate. Important parameters for pneumatic separation equipment design are the particle density and air flow rate which related to terminal air velocity of AC spore and fungal on growth substrate. This observation is very useful for design pneumatic separation equipment due to the different on AC spore and fungal on growth substrate terminal velocities of 0.399 and 5.6 m/s, respectively. The gas flow rate used during separation process should not low until the air velocity inside separation tower lower than the AC spore terminal velocity and should not high until the air velocity inside pneumatic separation equipment higher than the fungal on growth substrate terminal velocity. Therefore, the most appropriate operating velocity of pneumatic separation equipment is 0.399- 5.6 m/s.

4. Design of Spore Separation Machine

The physical and aerodynamics properties studies earlier are used as the basis for the design of the fungal spore separation machine. The fungal spore separation machine consists mainly of cylindrical separation tower and cyclone dust collection. Cylindrical separation tower using vertically air-flow pass through fungal on growth substrate to separate AC spore. An appropriate velocity of air stream pass through separation tower based on aerodynamics properties of AC spore should be higher than the terminal velocity of *Metarhizium anisopliae* BCC 19364 AC spore (0.399 m/s) to ensure the maximum spore separation and lower than the terminal velocity of fungal on growth substrate (5.6 m/s) to prevent the foreign matters carrier with air stream. After that the AC spore and air stream mixture is passed through the cyclone dust collector to separate AC spore from air stream and collect the powdery AC spore. In this device, AC spore having sufficient inertia impact onto the cyclone wall. The AC spore either retain on the wall or gradually migrate to the dust container located at the bottom of cyclone due to the secondary flow in the boundary layer (Ranz, 1985).

4.1 Sizing of cylindrical separation tower

The tower is designed primarily to have working capacity of 1 kg of fungal on growth substrate per batch, at a commonly used of 10% volume fraction occupied by fungal spore on growth substrate. From the bulk density of fungal spore on growth substrate (475 kg/m³ for *B. bassiana* BCC 2660 and 480 kg/m³ for *Metarhizium anisopliae* BCC 19364) obtained in the previous section, the occupied volume of 1 kg of fungal on growth substrate can be calculated and the height of cylindrical separation tower can be

calculated for 20 cm diameter of tower tube that is considered to be not too large or too small for laboratory scale machine. From the relationship of volume and cross sectional area, the height of separation tower should at least 90 cm.

4.2 Sizing of Cyclone Dust Collector

The most important parameters for cyclone dust collector design are true density of AC spore and air flow rate that related to the terminal velocity that sufficient to pick-up the AC spore without any foreign matters carried. From the previous section, the most appropriate air velocity inside cylindrical separation tower should be between 0.399-5.6 m/s. The volume air flow rate through cyclone dust collector is then calculated base on air velocity and cross-section area of cylindrical separation tower. For general purpose swift cyclone dust collector used, the effective inlet air velocity should be 15-21 m/s (Nimmol 2005). The inlet area of cyclone dust collector could be calculated base on volume air flow rate and effective air velocity and then the dimension of cyclone will be determined (Cheremisinoff 1993).

Incase of AC spore, the most suitable air velocity inside cylindrical separation tower is 1.66 m/s which is higher than four time of AC spore terminal velocity and the volume air flow rate of 0.0522 m³/s was calculated. When using 21 m/s effective velocity at inlet of cyclone, the inlet area of 0.00248 m² was also calculated. Then, the dimension of cyclone dust collector was determined as shown in Table 3. All of cyclone dust collector geometry shown in Fig 5.

Based on the designed dimension, cyclone inlet air velocity of 21m/s and true density of AC spore (2,680-10,175 kg/m³ for *B. bassiana* BCC 2660 and 10,232-15.672 kg/m³ for *Metarhizium anisopliae* BCC 19364), the 50% cutoff size diameter around 0.1-

0.5 μm was determined (Cheremisinoff 1993) and this lower than the AC spore diameter of 2.45-10.4 μm . In case of the lowest recommended the inlet air velocity of 15 m/s, the 50% cutoff diameter of 0.12-0.57 μm was determined and there still lower than AC spore diameter. Therefore, the 14 cm diameter of general purpose swift cyclone dust collector is the most appropriate size for AC spore collection.

5. Conclusion

The investigation of various physical and aerodynamics of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC on growth substrate show that *B. bassiana* BCC 2660 AC found to be spheroidal while *M. anisopliae* BCC 19364 AC found to be cylindrodical. Diameter of spheroidal *B. bassiana* BCC 2660 AC was varied between 2.5-3.9 μm . Cylindrodical *M. anisopliae* BCC 19364 AC diameter and length found to be varied within 2.5-2.8 μm and 5.3-6.4 μm , respectively. The density of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC were 2,680-10,175 kg/m^3 and 10,232-15,672 kg/m^3 , respectively. Terminal velocity of *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC were calculated and varied within 0.0121-0.0191 m/s and 0.0344-0.0399 m/s, respectively. The bulk density, true density and porosity of *B. bassiana* BCC 2660 on growth substrate were 475, 720 kg/m^3 and 34%, respectively. The bulk density, true density and porosity of *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate were 480, 800 kg/m^3 and 40%, respectively. The coefficient of static friction of *B. bassiana* BCC 2660 on growth substrate was 0.5 on acrylic, 0.55 on stainless steel sheet and 0.7 on galvanized steel sheet. The coefficient of static friction of *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate was 0.45 on acrylic, 0.5 on stainless steel sheet and 0.6 on galvanized steel

sheet. The terminal velocity was 5.6 m/s for both *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate.

Based on these physical and aerodynamics properties, AC spore collection machine which consist mainly of cylindrical separation tower and cyclone dust collector were sized. Based on 1 kg working capacity of machine per batch, the diameter and height of cylindrical tower of 20 and 90 cm, respectively were calculated based on the bulk density of fungal spore on growth substrate. The air flow velocity through cylindrical tower of 1.66 m/s was selected as this velocity was higher than the terminal velocity of AC spore and lower than the terminal velocity of fungal on growth substrate. Finally, the diameter of cyclone dust collector of 14 cm then be calculated based on volume air flow rate divided by recommended effective inlet air velocity of 21 m/s.

Acknowledgement

The authors are grateful to the Thailand Research Fund for financial support of this work (MRG5208243). The EPF isolates sample supplied and laboratory analysis of BIOTEC are also acknowledged.

References

- Bidochka, M.J., and Khachatourians, G.G. (1991), 'Microbial and protozoan pathogens of grasshoppers and locusts as potential biocontrol agents', *Biocontrol Science and Technology*, 1, 243-259.
- Cheremisinoff, P.N. (1993), *Air pollution control and design for industry*, New York: Marcel Dekker.

345

346 Feng, M.G., Poprawaki, T.J., and Khachatourians, G.G. (1994), 'Production, formulation
347 and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect
348 control: current status', *Biocontrol Science and Technology*, 4, 3-34.

349

350 Ferguson, J.S. (1992), 'Biological control: an industrial perspective', *Florida
351 Entomologist*, 75, 421-429.

352

353 Goettel, M.S. (1984), 'A simple method for mass culturing entomopathogenic
354 Hyphomycete fungi', *Journal of Microbiological Method*, 3, 15-20.

355

356 Goettel, M. S., and Johnson, D. L. (1992), 'Fungal agents for biocontrol. In *Biological
357 control of Locusts and Grasshoppers*', Proceedings of a workshop held at the
358 International Institute of Tropical Agricultural, Cotonou, Republic of Benin, 29
359 Apr-1 May 1991. (C.J. Lomor and C. Prior, Eds.) CAB International ,
360 Wallingford., 356-361.

361

362 Gupta, R.K., and Das, S.K. (1997), 'Physical properties of sunflower seeds', *Journal of
363 Agricultural Engineering Research*, 66, 1-8.

364

365 Hagedus, D. D., Bidochka, M. J., Miranpuri, G. S., and Khachatourians, G. G., (1992), 'A
366 comparison of the virulence, stability and cell-wall-surface characteristics of three

367 spore types produced by entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*', Apply
 368 Microbiology and Biotechnology, 36, 785-789.
 369
 370 Klein, M.G. (1988), 'Pest management of soil-inhabiting insects with microorganisms',
 371 Agricultural Ecosystem Environmental, 24, 337-349.
 372
 373 Khachatourians, G. G. (1991), 'Physiology and genetics of entomopathogenic fungus' In
 374 K.Esser, & P.A. Lemke (Eds.), The Mycota, Vol VI: Human and animal
 375 relationships (pp. 331-363), Berlin: Splinker Verlag.
 376
 377 Mohsenin, N. N. (1986), Physical properties of plants and animal material, New-York:
 378 Gordon Breach Science Publication.
 379
 380 Moore, D., Bridge, P. D., and Prior, C. (1993), 'The potential of mycoinsecticides',
 381 Biocontrol News Information, 14, 31N-40N.
 382
 383 Nimmol, C. (2005), Dust disposal and ventilation system, Bangkok: Thai-Japan
 384 technology promotion association. (In Thai)
 385
 386 Samsinakova, A., Kalalova, S., Vlcek, V., and Krybal, J. (1981), 'Mass production of
 387 *Beauveria bassiana* for regulation of *Leptinotarsa decemlineata* populations',
 388 Journal of Invertebrate Pathology, 38, 169-184.
 389

Singh, K.K., and Gaswami, T.K. (1996), 'Physical properties of cumin seed', Journal of Agricultural Engineering Research, 64, 93-98.

Thomas, K. C., Khachatourians, G. G., and Ingledew, V. M., (1987), 'Production and properties of *Beauveria bassiana* conidia cultivated in submerged culture', Canadian Journal of Microbiology, 33, 12-20.

Unal, H., Isik, E., and Tekin, Y. (2008), 'Geometric and mechanical properties of mung bean (*Vigna radiata* L.) grain: Effect of moisture', International Journal of Food Properties, 11, 585-599.

Varnumkhasti, M. G., Molie, H., Jafari, A., Keyhani, A. R., Soltanabadi, M. H., Refiee, S., and Kheiralipour, K. (2008), 'Some physical properties of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain', Journal of Cereal Science, 47, 496-501.

Table 1 *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 AC properties

AC fungal	diamete r (μm)	length (μm)	weight (g)	density (kg/m^3)	Terminal velocity (m/s)
<i>B. bassiana</i> BCC 2660	2.5-3.9	-	6.66×10^{-10}	2,680 – 10,175	0.0121 – 0.0191
<i>M. anisopliae</i> BCC 19364	2.5-2.8	5.3-6.4	1.613×10^{-9}	10,232 – 15,672	0.0344 – 0.0399

Table 2 *B. bassiana* BCC 2660 and *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate properties

Fungal on growth substrate properties	<i>B. bassiana</i> BCC	<i>M. anisopliae</i> BCC
	2660	19364
Bulk density (kg/m ³)	475	480
Porosity (%)	34	40
True density (kg/m ³)	720	800
Static friction coefficient		
- Acrylic	0.5	0.45
- Stainless steel	0.55	0.5
- Galvanized steel	0.7	0.6
Terminal velocity (m/s)	5.6	5.6

Table 3 Design dimensions of swift general purpose cyclone dust collector

Dimensions	D	H _C	B _C	S _C	D _C	L _C	H
Size (cm)	14	7	3.5	8.75	7	28	56

463

464 **List of Figures**

465 Fig 1 *B. bassiana* BCC 2660 a) on growth substrate b) AC

466 Fig 2 *M. anisopliae* BCC 19364 a) on growth substrate b) AC

467 Fig 3 Sample of micrographs of spheroidal AC of *B. bassiana* BCC 2660

468 Fig 4 Sample of micrographs of cylindroidal AC of *M. anisopliae* BCC 19364

469 Fig 5 Dimensions of swift general purpose cyclone dust collector

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487 **Word count** 4,632 words

For Peer Review only



Figure 1a B. bassiana BCC 2660 on growth substrate
254x190mm (96 x 96 DPI)



Figure 1b *B. bassiana* BCC 2660 AC
254x190mm (96 x 96 DPI)



Figure 2a *M. anisopliae* BCC 19364 on growth substrate
254x190mm (96 x 96 DPI)



Figure 2b *M. anisopliae* BCC 19364 AC
254x190mm (96 x 96 DPI)

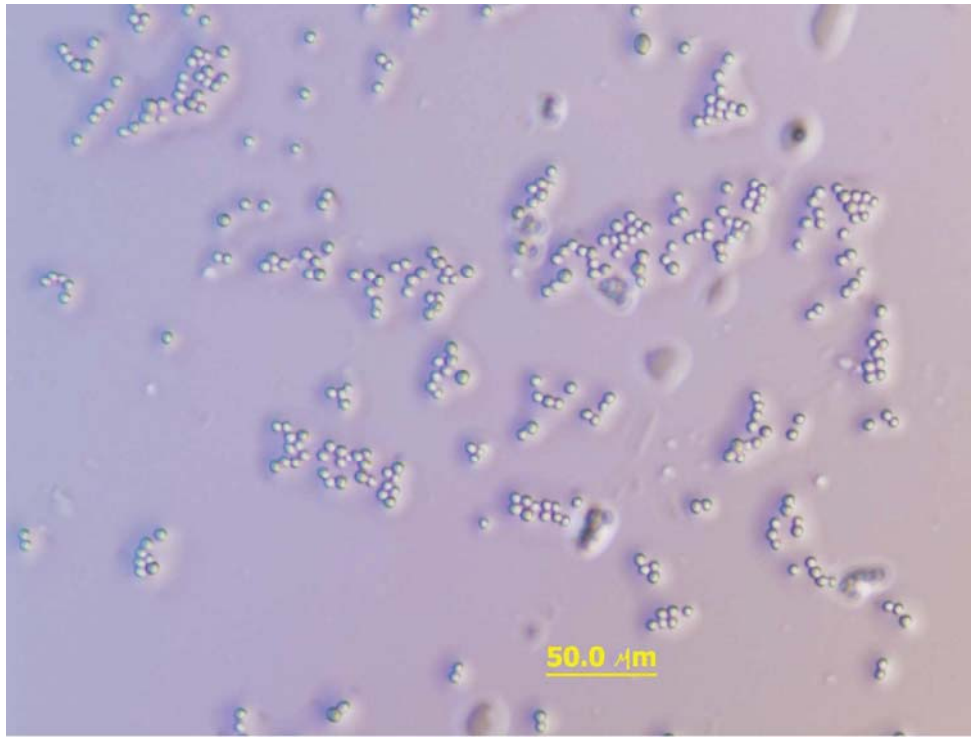


Figure 3 Sample of micrographs of spheroidal AC of *B. bassiana* BCC 2660
1079x812mm (96 x 96 DPI)

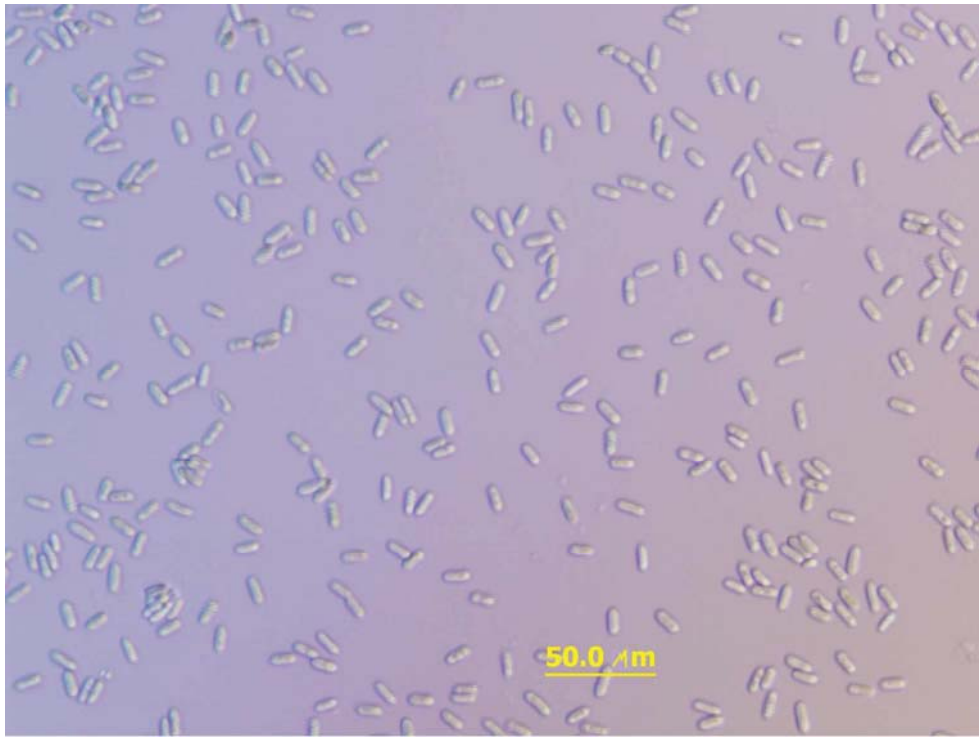


Figure 4 Sample of micrographs of cylindroidal AC of *M. anisopliae* BCC 19364
1079x812mm (96 x 96 DPI)

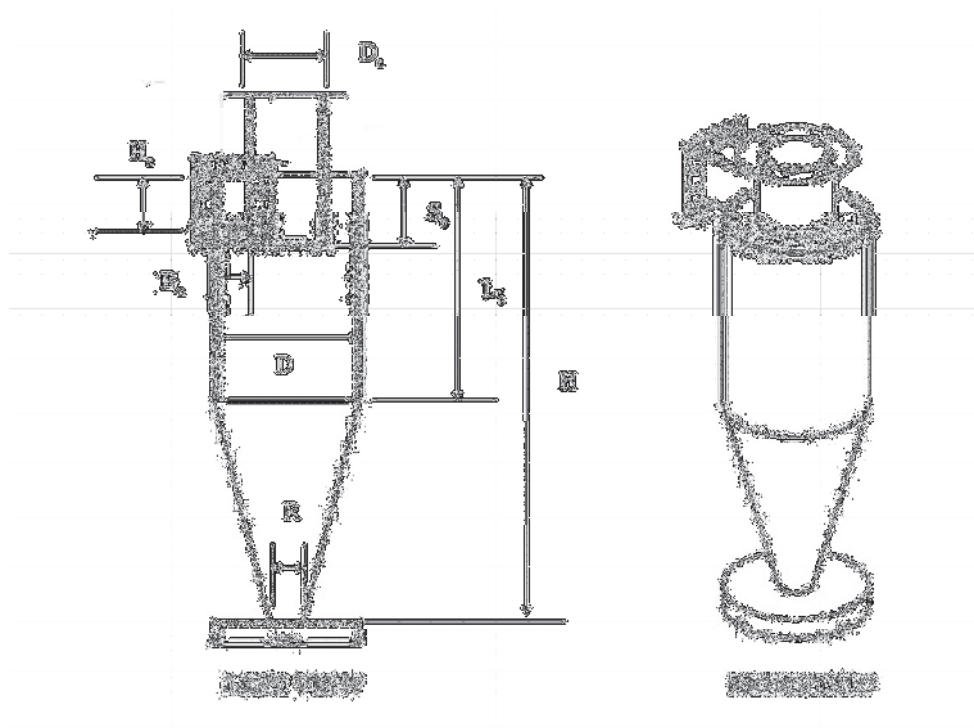


Figure 5 Dimensions of swift general purpose cyclone dust collector
254x190mm (96 x 96 DPI)