Agricultural Sci. J. 47 : 3 (Suppl.) : 445-450 (2016) ว. วิทย. กษ. 47 : 3 (พิเศษ) : 445-450 (2559)

การวิเคราะห์การไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดของเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยใช้เทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหล

Analysis of Air Circulation and Distribution inside Centrifuge-Fan-Operated Separation Unit of Rice Seed Processing Machinery Using Computational Fluid Dynamics Technique

ปิยะพงษ์ วงค์ขันแก้ว[1*] ประยุตต์ คำหอมรื่น[1] และ พิชิตพงศ์ อินทเสน[1]

Piyapong Wongkhunkeaw[1*], Prayut Kumhomruen[1] and Pichitpong Intasean[1]

Abstract

Seed cleaning is a process that separates impurities from pure seeds, as well as removal of debris, low quality, infested or infected seeds and seeds of different species (weeds). These impurities can cause diseases and insects that results in loss during storage in both quantity and quality. Rice seed processing machine was designed and developed on the basis of specific gravity and physical properties of rice seeds. The machine consists of storage tank, feeder unit, suction-fan-operated separation unit, and sieves. The design of suction-fan-operated separation unit did not include circulation and distribution of inside air; as a result, the separation and cleaning units can not operate efficiently. Therefore, this research aims to study an effect of structural shape of suction-fan-operated unit on air circulation and distribution, using Computational Fluid Dynamics (CFD). Variables in this study consisted of shape of outside structure – cylindrical rounded shape and pyramid with square base shape and shape of air inlet rectangular shape and round shape. Results of the study showed that pyramid structure with square base shape and rectangular air inlet, provided the most consistent circulation and distribution ratio.

Keywords: Separation, Cleaning and Computational Fluid Dynamics (CFD)

บทคัดย่อ

การทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์เป็นการคัดแยกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากเมล็ดพันธุ์ รวมไปถึงการคัดเอาเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และมีน้ำหนักเบาออกจากเมล็ดที่สมบูรณ์ เพราะสิ่งเจือปนเหล่านี้จะก่อให้เกิดโรคและแมลงตามมา ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษาทั้งในด้านเชิงปริมาณและคุณภาพ เครื่องแปรสภาพเมล็ดข้าวถูกออกแบบและพัฒนาโดยใช้หลักการความถ่วงจำเพาะและลักษณะทางกายภาพเมล็ด ซึ่งประกอบด้วย ถังพักข้าว, ระบบปล่อยข้าว, ระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูด และตะแกรงโยก การออกแบบระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดพบว่าไม่มีการคำนึงถึงเรื่องการไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศภายใน จึงส่งผลกระทบให้การคัดแยกและทำความสะอาดมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยจึงศึกษารูปร่างของโครงสร้างระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดที่มีผลต่อการไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศโดยการใช้เทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหลสำหรับการวิเคราะห์ โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย รูปร่างของโครงสร้างภายนอก ได้แก่ แบบทรงกรวยกลม แบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม และรูปร่างช่องอากาศเข้า ได้แก่ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบรูกลม ผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างของระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมและรูปร่างช่องอากาศทางเข้าด้านหน้าสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีอัตราการไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากที่สุด

คำสำคัญ: การคัดแยก, การทำความสะอาด, การจำลองผลทางพลศาสตร์ของไหล

คำนำ

การปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์เป็นกระบวนการลดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาและทำให้เมล็ดพันธุ์มีความสะอาด แข็งแรง ต้านทานโรคและแมลงอีกด้วย การปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆได้แก่ การลดความชื้น การทำความสะอาด และการปรับปรุงเมล็ด ซึ่งการทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์เป็นการคัดแยกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากเมล็ดข้าว รวมถึงการคัดเมล็ดลีบ, ไม่สมบูรณ์และมีน้ำหนักเบาออกจากเมล็ดที่สมบูรณ์ เนื่องด้วยสิ่งเจือปนเหล่านี้

[1] สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก 65000

[1] Department of Agricultural Machinery, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok 65000

ก่อให้เกิดโรคและแมลงทำให้เกิดการสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษาทั้งในด้านเชิงปริมาณและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (วิไล, 2549)

การทำความสะอาดเมล็ดข้าวส่วนใหญ่อาศัยหลักการของความถ่วงจำเพาะของวัสดุและลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว โดยเครื่องมีหลักการทำงานคือสิ่งเจือปนที่มีน้ำหนักเบาจะถูกคัดแยกออกโดยใช้พัดลมดูดแยกออกก่อน จากนั้นสิ่งเจือปนที่มีน้ำหนักมากกว่าและมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างจากข้าวจะถูกคัดแยกโดยตะแกรงอีกครั้งหนึ่ง (Asea *et al*., 2010) งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการคัดแยกและทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วยระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดในรูปแบบต่างๆ แต่งานวิจัยเหล่านั้นได้เกิดจากการลองผิดลองถูกหลายครั้ง ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งในด้านของวัสดุและงบประมาณเป็นจำนวนมาก และการแสดงผลยังคงเป็นในรูปแบบตัวเลขซึ่งไม่สามารถมองเห็นการกระจายตัวของอากาศและทิศทางการไหลที่เกิดขึ้นภายในได้ งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหลโดยใช้คอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอากาศของระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วยรูปร่างของโครงสร้างภายนอกและรูปร่างช่องอากาศเข้า ซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อนำผลการศึกษาไปทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ และเป็นการไหลแบบมีความหนืดทางอากาศพลศาสตร์ สมการที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน โดยสามารถเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปอย่างง่ายดังนี้ คือ

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i}+\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial y_i}=0 \qquad (1)$$

โดยค่า ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศมีหน่วยเป็น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), ตัว i, j จะเป็นตัวแสดงมิติการเคลื่อนที่ของเวคเตอร์ความเร็วอากาศ, u คือ ค่าความเร็วอากาศ (เมตร), g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง), P คือ ความดัน (ปาสคาล), k คือ Turbulent Kinetic Energy และ μ คือ Turbulent Viscosity

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j}+\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial y_j}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\left[\frac{\partial}{\partial x_i}u\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_j}\mu\left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j}\right]\right]$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน y

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j}+\frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial y_j}=-\frac{\partial p}{\partial y_i}+\left[\frac{\partial}{\partial x_i}u\left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_j}\mu\left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j}\right]\right]+(\rho-\rho_0)g \qquad (2)$$

สมการพลังงาน

$$\rho c_p\left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i}+\frac{\partial(v_i T_j)}{\partial y}\right]=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[k\frac{\partial T_j}{\partial x_i}\right]+\frac{\partial}{\partial y_i}\left[k\frac{\partial T_j}{\partial y_i}\right] \qquad (3)$$

รูปแบบในการศึกษาและวิจัยในงานวิจัยนี้จะอาศัยความสัมพันธ์ของสมการทางคณิตศาสตร์และความสามารถทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองสนามการไหลที่ซับซ้อนและมีรูปแบบการไหลของสภาพอากาศที่อัดตัวไม่ได้และมีรูปแบบการไหลเป็นแบบปั่นป่วนภายใน

สมการความต่อเนื่องของของไหล (The equation of continuity) อัตราการไหล (flow rate, Q) คือผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของของไหลกับความเร็วของของไหลไม่ว่าจะผ่านตำแหน่งใด อัตราการไหลจะคงที่เสมอ (ธัญดร, 2553)

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \qquad (4)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \qquad (5)$$

โดยค่า ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศมีหน่วยเป็น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), A คือพื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน (ตารางเมตร), v คือความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) และ Δt คือเวลาที่เปลี่ยนแปลง (วินาที)

2. แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลของระบบแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ในรูปแบบต่าง ๆ

การวิเคราะห์แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดของเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ จะใช้แบบจำลอง 3 มิติ เพื่อที่จะสามารถทราบถึงทิศทางการไหลและการกระจายตัวของอากาศที่เกิดขึ้นภายใน มีการกำหนดทิศทางอากาศเข้าและออก (Figure 1) เงื่อนไขการวิเคราะห์ค่าปริมาตรการไหลของอากาศที่ปลายทางออกของอากาศ 10 เมตรต่อวินาที, แบบการไหลแบบปั่นป่วน Turbulent Flow, ไม่มีการลื่นไถลของอากาศ (No Slip), เป็นการไหลแบบไม่อัดตัว Incompressible Flow, แบบจำลองความปั่นป่วนแบบซนิด Standard K-epsilon Model และความดันที่ทางเข้าจะเป็นความดันบรรยากาศ (วีรยุทธ, 2557) โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วยรูปร่างของโครงสร้างภายนอก ได้แก่ แบบทรงกรวยกลม แบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม และรูปร่างช่องอากาศเข้า ได้แก่ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบรูกลม

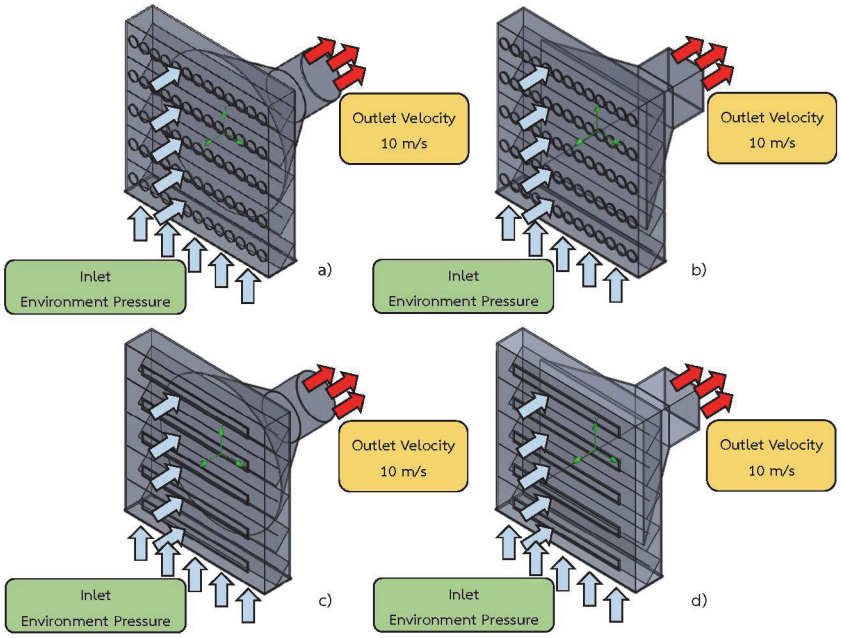


Figure 1 Characteristic of air flow direction in centrifuge-fan-operated separation unit of rice seed processing machinery; a) Cylindrical rounded shape with round air inlet b) Square pyramid base shape with round air inlet c) Cylindrical rounded shape with rectangular air inlet d) Square pyramid base shape with rectangular air inlet

3. วิธีการวิเคราะห์ผล

ทำการเปรียบเทียบการกระจายตัวและทิศทางการไหลของอากาศในแต่ละแบบจำลอง และเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของความเร็วลมในตำแหน่งต่างๆ ภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดของเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ (Figure 2)

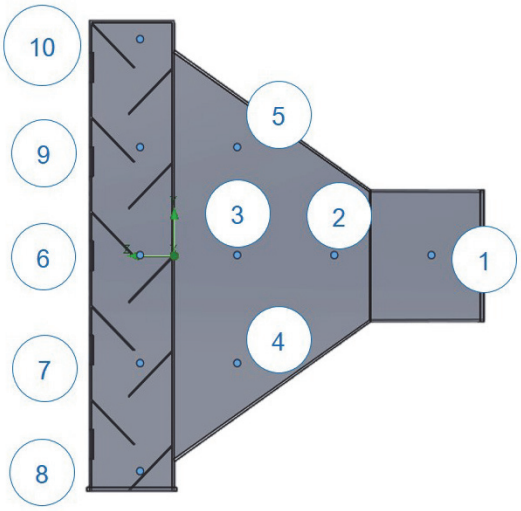


Figure 2 Position of air velocity in suction-fan-operated separation unit.

ผล

ลักษณะการไหลเวียนของอากาศภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดของเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบต่าง ๆ

จากการศึกษาการไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamics, CFD) มีตัวแปรทั้งหมด 4 แบบดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะรูปร่างของโครงสร้างภายนอกและรูปร่างช่องอากาศเข้า เพื่อวิเคราะห์หาการไหลเวียนและการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการหาแบบจำลองที่เหมาะสมก่อนที่จะได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่อง (Table 1) และ (Figure 3) พบว่าความเร็ว ณ ส่วนด้านหน้าของแบบจำลองหรือตำแหน่งที่ 6-10 ของทุกๆ แบบจำลองจะมีความเร็วอยู่ในช่วง 0-2.20 เมตรต่อวินาที แต่โครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวยและมีช่องอากาศแบบรูกลมมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 จุดสูงที่สุด เท่ากับ 1.59 เมตรต่อวินาที ณ ส่วนท้ายของแบบจำลองหรือตำแหน่งที่ 1-5 ของทุกๆ แบบจำลองจะมีความเร็วอยู่ในช่วง 1.57-10.81 เมตรต่อวินาที แต่โครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวยและมีช่องอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 จุดสูงที่สุด เท่ากับ 5.31 เมตรต่อวินาที เหตุที่ความเร็วในช่วงแรกนี้น้อยเนื่องจากระบบคัดแยกนี้เป็นแบบพัดลมดูดความเร็ว ณ จุดทางเข้าของอากาศจึงน้อยกว่าทางออก หากพิจารณาความเร็วเฉลี่ยภายในเครื่องทั้งหมดพบว่าโครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวยและมีช่องอากาศแบบรูกลมมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 3.41 เมตรต่อวินาที

Table 1 Air velocity and position inside suction-fan-operated separation unit in each variables.

Shape	Position	Air velocity (m/s)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
Cylinder Cone	round	10.61	9.48	1.66	2.48	1.96	1.97	2.29	1.68	1.64	0.38	3.41
	rectangular	10.81	9.58	1.81	2.47	1.92	1.69	1.08	1.38	1.50	0.31	3.25
Pyramid Cone	round	10.76	5.25	1.57	2.42	1.94	1.68	1.36	1.78	0.25	0.00	2.70
	rectangular	10.75	5.26	1.60	2.61	1.91	1.61	1.46	1.77	0.38	0.00	2.73

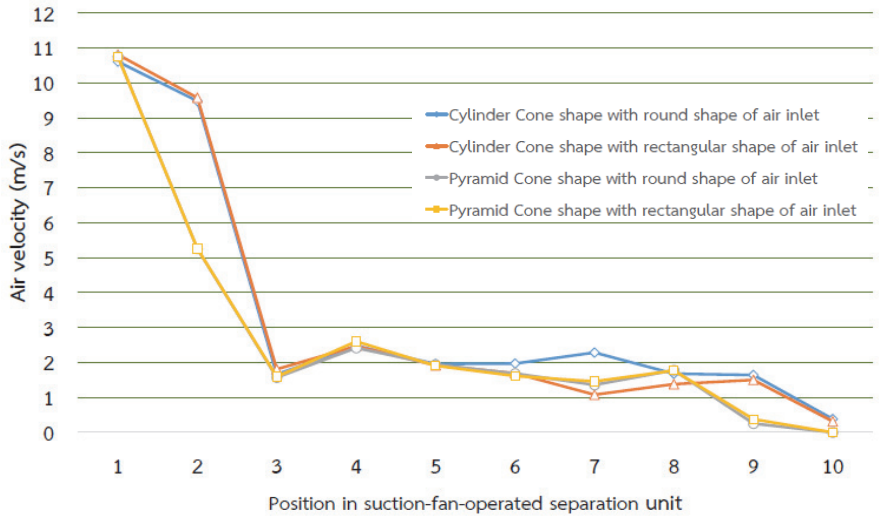


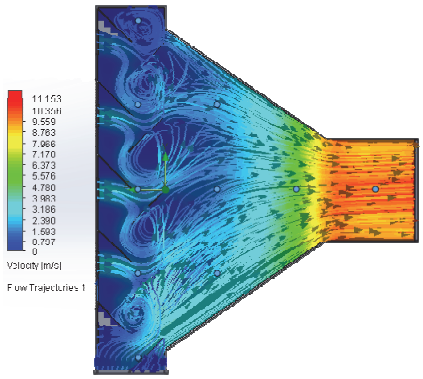
Figure 3 The relationship between air velocity and position inside suction-fan-operated separation unit in each variables.

Table 2 ผลการเปรียบเทียบความเร็วลมโดยใช้สมการความต่อเนื่องของของไหล (The equation of continuity) สมการที่ (5) และการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล พบว่า ณ ตำแหน่งที่ 3 ความเร็วลม มีความเร็วใกล้เคียงกันทั้งสองรูปแบบ แต่ความเร็วลมจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล จะมีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ยที่ 0.53 เมตรต่อวินาที เช่นเดียวกับตำแหน่งที่ 1 ความเร็วลมจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล จะมีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ยที่ 0.73 เมตรต่อวินาที

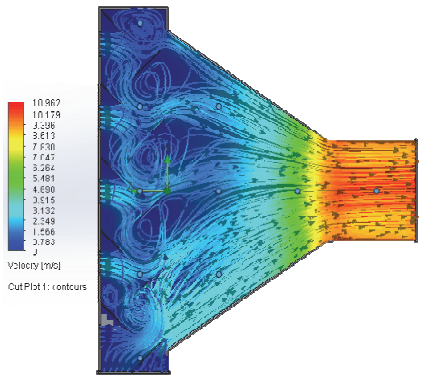
Table 2 A comparison of air velocity by using the equation of continuity and Computational Fluid Dynamics (CFD) in each variables.

Shape	Position	Diameter (cm)		Area (cm^2)		Velocity (m/s)			
						Equation		Simulation	
		3	1	3	1	3	1	3	1
Cylinder	round	23.93	8.05	449.53	50.87	1.13	10.00	1.66	10.61
Cone	rectangul	23.93	8.05	449.53	50.87	1.13	10.00	1.81	10.81
Pyramid	round	21.20	7.12	449.44	50.69	1.13	10.00	1.57	10.76
Cone	rectangul	21.20	7.12	449.44	50.69	1.13	10.00	1.60	10.75

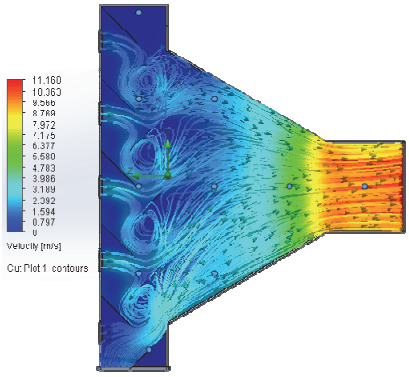
Figure 4 แสดงเวกเตอร์การไหลเวียนและการกระจายตัว หากเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวยกับโครงสร้างภายนอกแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมพบว่าการไหลเวียนและการกระจายตัวของโครงสร้างภายนอกแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมมีการไหลเวียนและการกระจายตัวที่ดีกว่าโครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวย สำหรับการไหลเวียนและการกระจายตัวระหว่างช่องทางเข้าอากาศแบบกลมกับช่องทางเข้าอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าพบว่าการไหลเวียนและการกระจายตัวของช่องทางเข้าอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีการไหลเวียนและการกระจายตัวที่ดีกว่าแบบกลม ในขณะที่พื้นที่ทางเข้าของอากาศเท่ากัน



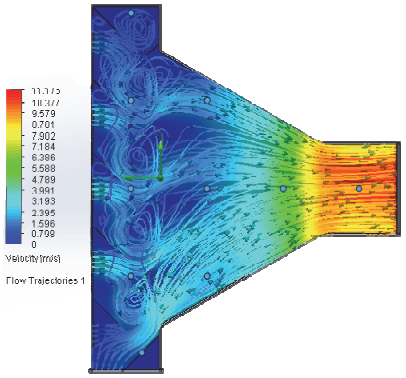
a) Cylindrical rounded shape with round air inlet



b) Cylindrical rounded shape with rectangular air inlet



c) Square pyramid base shape with round air inlet



d) Square pyramid base shape with rectangular air inlet

Figure 4 Vector of air velocity in inside suction-fan-operated separation unit in each variables.

วิจารณ์ผล

การศึกษาการไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamics, CFD) มีตัวแปรทั้งหมด 4 แบบ ปรับเปลี่ยนไปตามลักษณะรูปร่างของโครงสร้างภายนอกและรูปร่างช่องอากาศเข้า พบว่าความเร็วเฉลี่ยภายในเครื่อง

ทั้งหมดโครงสร้างภายนอกแบบทรงกรวยและมีช่องอากาศแบบรูกลมมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุด เนื่องจากตามหลักกลศาสตร์การไหลของไหลซึ่งว่าด้วยสมการความต่อเนื่องของของไหล (The equation of continuity) อัตราการไหล (flow rate, Q) คือผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของของไหลกับความเร็วของของไหลไม่ว่าจะผ่านตำแหน่งใด อัตราการไหลจะคงที่เสมอ (ธัญดร, 2553) ดังนั้นทำให้ทราบว่าหากของไหลผ่านรูขนาดเล็กส่งผลทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มสูงขึ้น การไหลเวียนและการกระจายตัวของโครงสร้างภายนอกแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมและมีช่องทางเข้าอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีการไหลเวียนและการกระจายตัวที่ดีที่สุดกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากการเปิดของช่องทางเข้าของอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าและส่วนด้านโครงสร้างภายนอกที่เป็นแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมเป็นแบบที่มีพื้นที่รับกว้างส่งผลให้การไหลเวียนและกระจายตัวดีขึ้นด้วย

สรุป

การไหลเวียนและการกระจายตัวของอากาศภายในระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamics, CFD) โครงสร้างภายนอกแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมและมีช่องทางเข้าอากาศแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นแบบที่มีความเหมาะสมในการนำไปสร้างระบบคัดแยกโดยใช้พัดลมดูดเครื่องแปรสภาพเมล็ดพันธุ์เนื่องจากมีการไหลเวียนและกระจายตัวดีกว่าแบบอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์นี้ยังคงเป็นเพียงการคำนวณและวิเคราะห์ตามทฤษฎีเท่านั้น หลังจากมีการสร้างเครื่องสำเร็จควรทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอีกครั้งหนึ่ง

คำขอบคุณ

บทความวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ธัญดร ออกวะลา. 2553. กลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

วิไล ปาละวิสุทธิ์. 2549. เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเชิงพาณิชย์. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์กิจรุ่งเรือง, กรุงเทพมหานคร. 117 หน้า.

วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล. 2557. การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล. วิศวสารลาดกระบัง 31 : 1-6.

Asea, G., G. Onaga, N.A. Phiri and D. K. Karanja. 2010. Rice seed production manual. National Crops Resources Research Institute (NaCRRI) and CABI Africa, Uganda. 75 pages.