



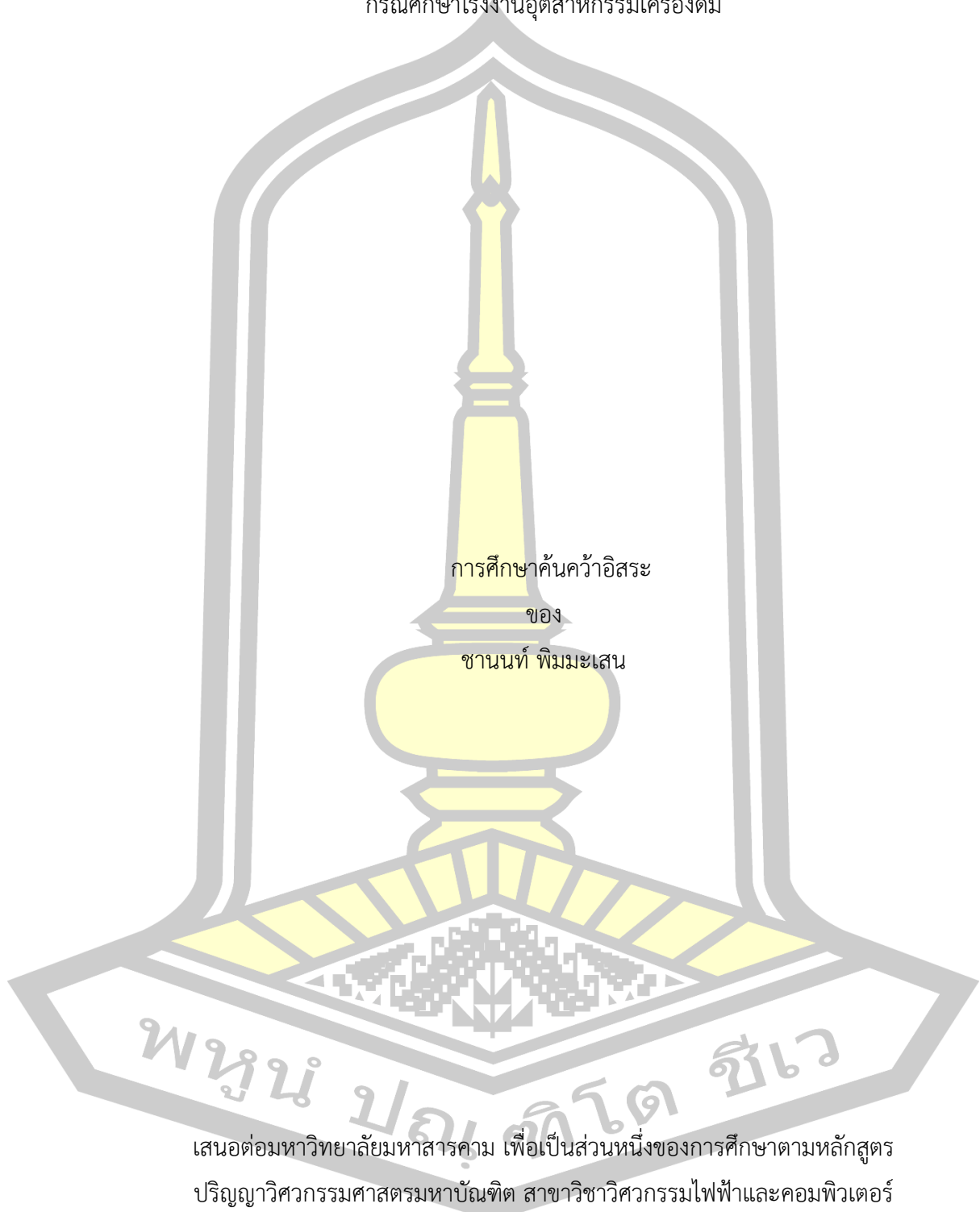
การศึกษาลักษณะของฉากกันที่มีต่อความเร็วลมเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน:
กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
ชานนท์ พิมมะเสน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
เมษายน 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาผลกระทบของฉากกั้นที่มีต่อความเร็วลมเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน:
กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม



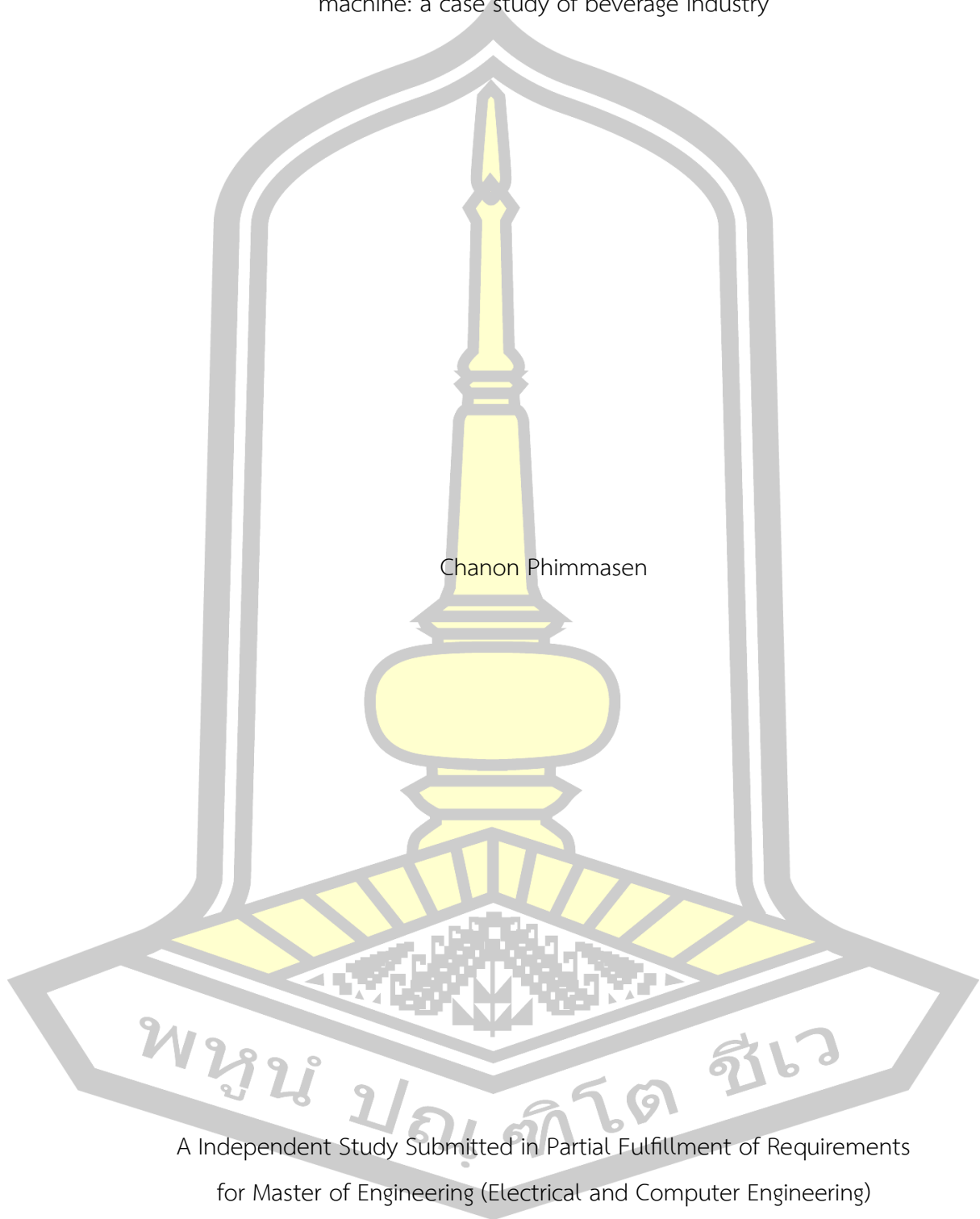
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

A study on an effect of a partition on air velocity in a heat tunnel shrink wrapping
machine: a case study of beverage industry

Chanon Phimmasen



A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

April 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย
ชานนท์ พิมมะเสน แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. สุพรรณนิภา วัฒนนะ)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การศึกษาผลกระทบของฉากกั้นที่มีต่อความเร็วลมเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม		
ผู้วิจัย	ชานนท์ พิมมะเสน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าอิสระเล่มนี้ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฉากกั้นต่อความเร็วการไหลของอากาศภายในเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ลมร้อนในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม โดยการศึกษามุ่งเน้นไปที่สองประเด็นหลัก (1) ผลกระทบของฉากกั้นต่อการหดตัวของฟิล์มภายในเครื่องพ่นฟิล์ม และ (2) อิทธิพลของการไหลของอากาศจากเขตทำความเย็นและสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีต่อการไหลเวียนของความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์ม ซึ่งใช้การวัดความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นและมีฉากกั้นเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการติดตั้งฉากกั้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นการเสนอแนวทางในการปรับปรุงการติดตั้งฉากกั้นเพื่อเพิ่มความเร็วและความเสถียรภายในเครื่องพ่นฟิล์มหด และการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ : เครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ลมร้อน, ความเร็วลม, ฉากกั้น, การปรับปรุงกระบวนการผลิต, คุณภาพการหุ้มของฟิล์ม, พลังงาน

พจนัน ปณฺ ทิโต ชีเว

TITLE	A study on an effect of a partition on air velocity in a heat tunnel shrink wrapping machine: a case study of beverage industry		
AUTHOR	Chanon Phimmasen		
ADVISORS	Professor Worawat Sa-Ngiamvibool , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

The independent study investigates the impact of partitions on the airflow velocity within a hot air shrink tunnel in the beverage industry. It focuses on two main aspects: (1) the effect of partitions on the shrinkage of film inside the shrink tunnel, and (2) the influence of airflow from the cooling zone and external environmental conditions on the circulation of airflow within the shrink tunnel. The independent study utilizes both partitioned and unpartitioned airflow velocity measurements to compare the effects before and after partition installation. The results suggest improvements in partition installation to enhance stability and airflow velocity within the shrink tunnel, leading to reduced energy consumption during the manufacturing process.

Keyword : Shrink film tunnel, Airflow velocity, Partitions, Manufacturing Process Improvement, Film shrinkage, Energy consumption

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความสำเร็จและความกรุณาที่ได้รับจาก ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูลย์ ที่ได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้ คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่มีค่ามอบให้ข้าพเจ้า ตลอดระยะเวลาการศึกษายูที่นี้ ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณอีกครั้งถึง รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร ซึ่งรับผิดชอบในฐานะ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูลย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณนิภา วัฒนะ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ เสริมผล รับผิดชอบในฐานะกรรมการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดความรู้และให้ความอนุเคราะห์ทั้งในด้านการสอนและในการให้เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ระดับ บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มีความกรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านเอกสารและในการให้กำลังใจอย่างต่อเนื่อง

ขอขอบคุณถึงอุตสาหกรรมตัวอย่าง ผู้บริหาร บุคลากรทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองในครั้งนี้

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่มีบทบาทในการสนับสนุนและช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกด้าน รวมถึงเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอส่งมอบความขอบคุณและของที่นำสรรเสริญทั้งหลายนี้ให้แก่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน

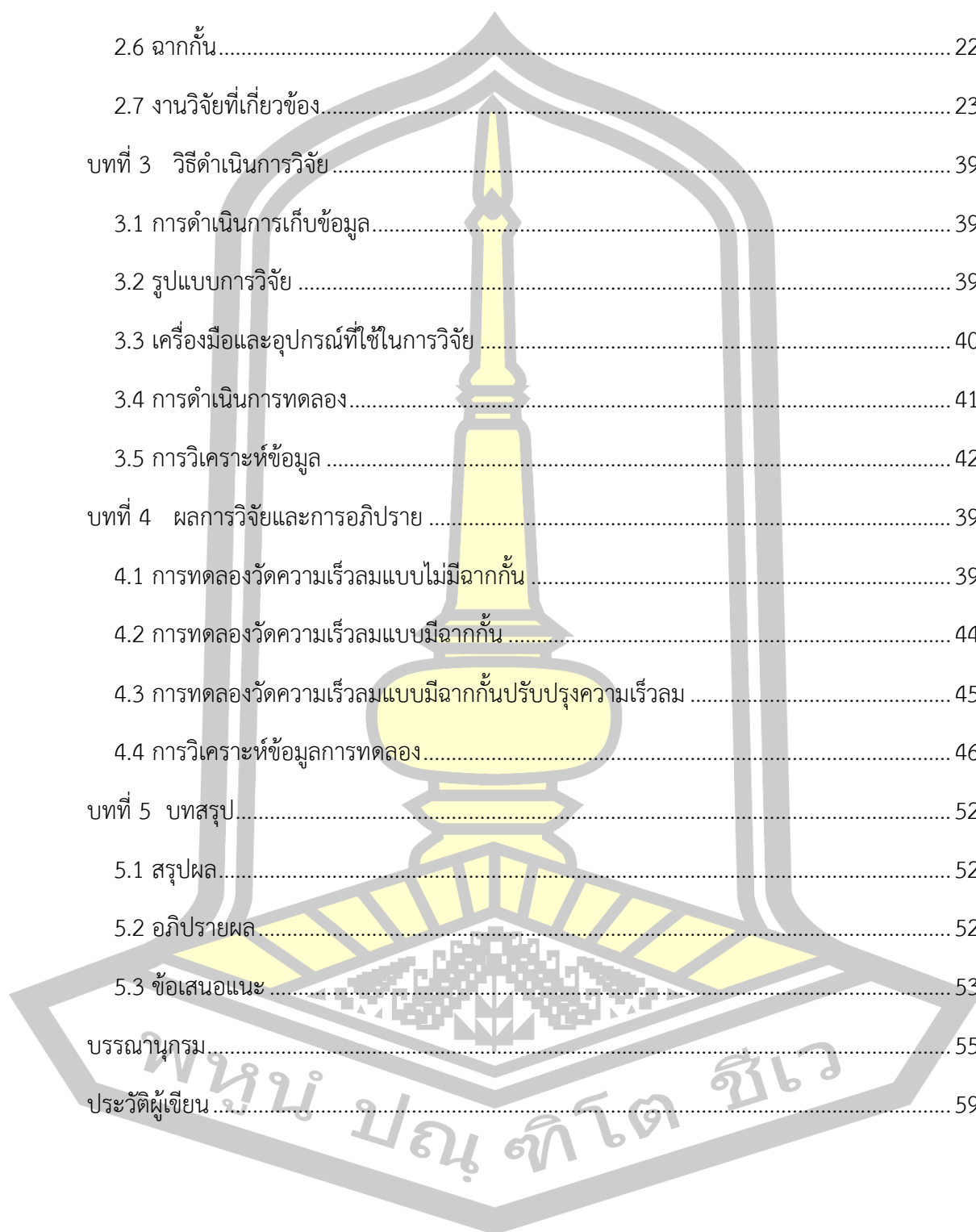
พูน ปณ จิตโต ชีเว

ชานนท์ พิมมะเสน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 กรอบแนวคิด.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 คำนิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
บทที่ 2 ปรัชศน์เอกสารข้อมูล.....	2
2.1 ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม.....	2
2.2 ข้อมูลอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทย.....	4
2.3 เครื่องดื่มฟรุตแบบอู่มงค์ความร้อน.....	6
2.4 หลักการและทฤษฎีการไหลของอากาศ.....	7
2.4.4 เลขย์เรย์โนลด์.....	13
2.4.7 เสถียรภาพของอากาศ.....	16

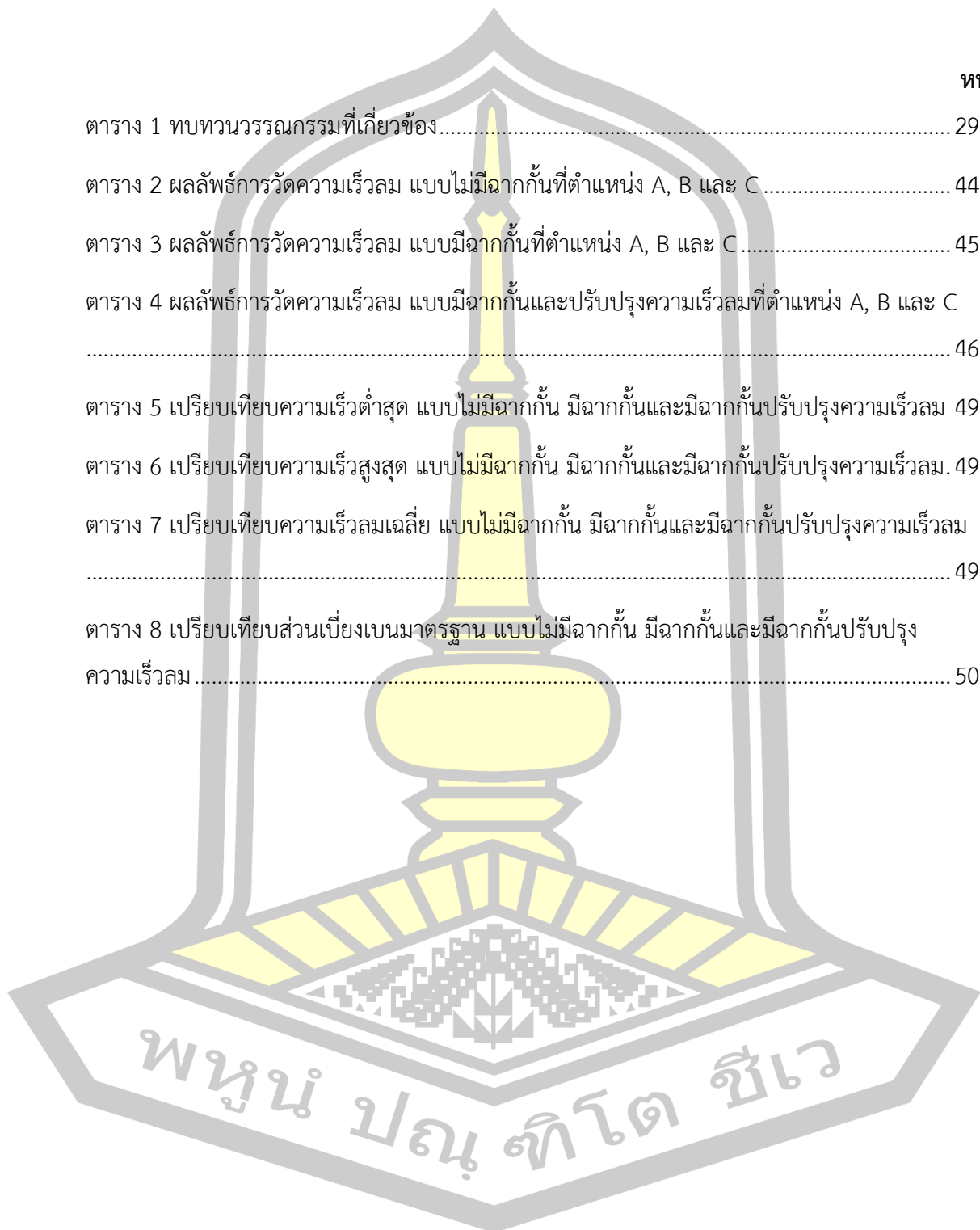
2.5 फिल्महत.....	19
2.6 ฉากกั้น.....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 การดำเนินการเก็บข้อมูล.....	39
3.2 รูปแบบการวิจัย	39
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	41
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	39
4.1 การทดลองวัดความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น	39
4.2 การทดลองวัดความเร็วลมแบบมีฉากกั้น	44
4.3 การทดลองวัดความเร็วลมแบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม	45
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง.....	46
บทที่ 5 บทสรุป.....	52
5.1 สรุปผล.....	52
5.2 อภิปรายผล.....	52
5.3 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	59



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	29
ตาราง 2 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบไม่มีฉากกั้นที่ตำแหน่ง A, B และ C.....	44
ตาราง 3 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบมีฉากกั้นที่ตำแหน่ง A, B และ C.....	45
ตาราง 4 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบมีฉากกั้นและปรับปรุงความเร็วลมที่ตำแหน่ง A, B และ C	46
ตาราง 5 เปรียบเทียบความเร็วต่ำสุด แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม	49
ตาราง 6 เปรียบเทียบความเร็วสูงสุด แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม.	49
ตาราง 7 เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ย แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม	49
ตาราง 8 เปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุง ความเร็วลม	50



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 สัดส่วนเครื่องต้มในอุตสาหกรรมประเทศไทย	4
ภาพประกอบ 2 สัดส่วนเครื่องต้มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องต้มแอลกอฮอล์	5
ภาพประกอบ 3 สัดส่วนเครื่องต้มเชิงปริมาณการบริโภค (2563).....	5
ภาพประกอบ 4 สัดส่วนเครื่องต้มไทยเชิงมูลค่า (2563)	5
ภาพประกอบ 5 การให้ความร้อนในรูปแบบของลมร้อน.....	6
ภาพประกอบ 6 เครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน.....	7
ภาพประกอบ 7 การไหลแบบสามทิศทาง.....	10
ภาพประกอบ 8 การไหลแบบสองทิศทาง.....	10
ภาพประกอบ 9 การไหลแบบทิศทางเดียว	11
ภาพประกอบ 10 การไหลแบบหมุนวน	11
ภาพประกอบ 11 การไหลแบบไม่หมุนวน	12
ภาพประกอบ 12 การไหลแบบราบเรียบ.....	12
ภาพประกอบ 13 การไหลแบบปั่นป่วน	13
ภาพประกอบ 14 แสดงสมดุลของแรงที่กระทำต่อก้อนอากาศ	16
ภาพประกอบ 15 สภาวะไม่มีเสถียรภาพ.....	17
ภาพประกอบ 16 สภาวะมีเสถียรภาพ.....	18
ภาพประกอบ 17 สภาวะกลาง	18
ภาพประกอบ 18 (ก) การพาความร้อนแบบบังคับ (ข) การพาความร้อนแบบอิสระ	19
ภาพประกอบ 19 ฟิล์มหด POF	20
ภาพประกอบ 20 ฟิล์มหด PVC.....	20
ภาพประกอบ 21 ฟิล์ม PE	22

ภาพประกอบ 22 กำแพงลม.....	23
ภาพประกอบ 23 แบบจำลองและเปรียบเทียบก่อน – หลังมีการใช้งานแผงกันลม	24
ภาพประกอบ 24 การติดตั้งม่านอากาศไว้ด้านนอก	28
ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการปิดผนึกของม่านอากาศคู่.....	28
ภาพประกอบ 26 มาตรฐานฟิล์มหุ้มแพ็ก	39
ภาพประกอบ 27 ฉากกัน	41
ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างตำแหน่ง A, B และ C	41
ภาพประกอบ 29 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบไม่มีฉากกันที่ตำแหน่ง A, B และ C	39
ภาพประกอบ 30 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกันที่จุด A, B และ C	44
ภาพประกอบ 31 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกันปรับปรุงความเร็วลมที่จุด A, B และ C	45
ภาพประกอบ 32 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกัน มีฉากกันและมีฉากกันปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง A.....	46
ภาพประกอบ 33 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกัน มีฉากกันและมีฉากกันปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B.....	47
ภาพประกอบ 34 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกัน มีฉากกันและมีฉากกันปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B.....	48
ภาพประกอบ 35 เปรียบเทียบจำนวนลักษณะฟิล์มที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานก่อน – หลังติดตั้งฉากกัน	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์เป็นสิ่งที่ต้องได้มาตรฐานไม่ต่างจากผลิตภัณฑ์เลย ไม่ว่าจะเป็นกล่อง กระดาษ พลาสติกและฟิล์มเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยเมื่อมีการกระจายสินค้า ซึ่งในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มฟิล์มเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ที่ห่อ โดยฟิล์มที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มจะเป็นฟิล์มห่อ ซึ่งมีเครื่องจักรสำหรับการห่อหุ้มฟิล์มซึ่งก็คือเครื่องพันฟิล์มห่อแบบอุโมงค์ความร้อน เครื่องพันฟิล์มห่อเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในสายงานผลิต โดยฟิล์มห่อจะห่อรอบบรรจุภัณฑ์ จากนั้นให้ระบบสายพานลำเลียงพาบรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านเครื่องพันฟิล์ม ขณะที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องพันฟิล์ม ฟิล์มจะห่อตัวโดยการใช้ความร้อนในรูปแบบของลมร้อน ซึ่งลมร้อนจะถูกกำหนดทิศทางและความเร็วลมเพื่อกำหนดลักษณะการห่อหุ้ม เพื่อให้ฟิล์มห่อหุ้มพอดีกับรูปร่างบรรจุภัณฑ์

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องดื่มมีการแข่งขันที่สูงขึ้นจึงต้องอาศัยบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพและเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ ฟิล์มห่อจึงถูกใช้ในการห่อขวดหรือกระป๋องเครื่องดื่ม เมื่อฟิล์มห่อหุ้มจะมีรูปร่างที่พอดีกับรูปร่างของขวดหรือกระป๋อง ซึ่งการจะให้ฟิล์มห่อหุ้มให้พอดีกับขวดหรือกระป๋องนั้นจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางของลมภายในเครื่องพันฟิล์มที่เหมาะสม โดยการที่จะควบคุมความเร็วและทิศทางลมนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความเร็วและทิศทางลมมีการแปรปรวนที่ง่ายต่อการรบกวน หากความเร็วและทิศทางลมมีการแปรปรวนอาจส่งผลกระทบต่อห่อหุ้มฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่ไม่ได้มาตรฐาน ไม่ดึงดูดผู้บริโภคและอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย จากปัญหาการห่อหุ้มฟิล์ม เช่น ฟิล์มถลอกและฟิล์มขาด ซึ่งเครื่องพันฟิล์มห่อจะแบ่งเป็น 2 โซนคือ โซนทำความร้อนเพื่อห่อหุ้มฟิล์มให้เข้ารูป และ โซนทำความเย็นเพื่อทำให้ฟิล์มรัดแน่นและเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยโซนทำความเย็นจะตั้งอยู่ที่จุดทางออกของเครื่องพันฟิล์ม แต่ถึงกระนั้นโซนทำความเย็นบางแห่งจะใช้ลมในการทำให้ฟิล์มเย็นตัวลง หากลมจากโซนทำความเย็นพัดเข้าไปในเครื่องพันฟิล์ม อาจส่งผลกระทบต่อความเร็วและทิศทางของลมทำให้ลมภายในเครื่องพันฟิล์มแปรปรวนและสภาวะภายในของเครื่องพันฟิล์มอาจเปลี่ยนไปเช่นเดียวกันกับบริเวณทางเข้าของเครื่องที่อาจจะเกิดความสูญเสียความเร็วลมกับอากาศภายนอก ฉะนั้นจึงมีการป้องกันลมจากภายนอกและลมจากโซนทำความเย็นไม่ให้พัดเข้าไปภายในเครื่องพันฟิล์ม เพื่อให้ความเร็วและทิศทางของลมภายในเครื่องพันฟิล์มคงที่ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสวยงามและไม่เกิดของเสียในรูปแบบต่าง ๆ

ด้วยเหตุนี้การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉากกันที่มีต่อความเร็วลมในการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉากกันที่มีต่อความเร็วลมในการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานของการวิจัย ไว้ดังนี้

1.3.1 ความเร็วลมส่งผลต่อการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มหด

1.3.2 สมจากโซนทำความเย็นและลมจากภายนอกส่งผลกระทบท่อลมภายในเครื่องพันฟิล์ม

1.3.3 ของเสียที่เกิดขึ้นมาจากความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มหดที่แปรปรวน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) เกี่ยวกับการศึกษาผลของการติดตั้งฉากกันที่มีต่อความเร็วลมในการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อนภายในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีเมท้านั้น

1.5 กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการศึกษาผลของการติดตั้งฉากกันที่มีต่อความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อน ซึ่งมีตัวแปรดังต่อไปนี้

1.5.1 ตัวแปรต้น : ความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มแบบมีฉากกัน

1.5.2 ตัวแปรตาม : ความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์ม ลักษณะการหดหุ้มฟิล์ม

1.5.3 ตัวแปรควบคุม : ระดับความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์ม อุณหภูมิภายในเครื่องพันฟิล์ม ความเร็วสายพานของเครื่องพันฟิล์ม ทิศของท่อปล่อยลมภายในเครื่อง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่มีผลกระทบต่อการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์ม
- 1.6.2 ลมภายในเครื่องพันฟิล์มหด มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น
- 1.6.3 ลดของเสียที่เกิดจากความเร็วลมที่แปรปรวน
- 1.6.4 เป็นแนวทางในการแก้ไขและเพิ่มประสิทธิภาพลมภายในเครื่องพันฟิล์มหด

1.7 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ (manufacturing industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่มีการผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้ในการบรรจุสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ การป้องกันสินค้าไม่ได้รับความเสียหาย และเพื่อใช้ในการขนส่งไปยังลูกค้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากกระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ และไม้

1.7.2 อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (Beverage Industry) หมายถึง อุตสาหกรรมที่มีการผลิตเครื่องดื่มเพื่อบริโภคและส่งออก โดยเครื่องดื่มที่มีการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ หมายถึง เบียร์ สุรากลั่น ไวน์ สุราจากผลไม้ รวมทั้งเครื่องดื่มสุราผสมพร้อมดื่ม เป็นต้น (2) เครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ หมายถึง น้ำอัดลม เครื่องดื่มที่ปรุงรสน้ำผลไม้ เครื่องดื่มน้ำผลไม้ชนิดอัดลม น้ำหวานชนิดอัดลม และเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์อื่น ๆ เช่น โซดา น้ำหวานเข้มข้น น้ำชาเย็น เครื่องดื่มชูกำลัง และเครื่องดื่มเกลือแร่ เป็นต้น

1.7.3 เครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน (Heat Tunnel Shrink Wrapping) หมายถึง เครื่องจักรประเภทหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ มีวัตถุประสงค์หลักคือ ให้ความร้อนในรูปแบบของลมร้อนเพื่อใช้หดหุ้มบรรจุภัณฑ์ ซึ่งวัสดุที่ใช้ทั่วไปในการหุ้มบรรจุภัณฑ์คือฟิล์มหด กระบวนการนี้เรียกว่า "การห่อแบบหด" หรือ "การหดบรรจุภัณฑ์"

1.7.4 ฟิล์มหด (Shrink Film) หมายถึง วัสดุพลาสติกชนิดหนึ่งที่หดตัวเมื่อถูกความร้อน โดยทั่วไปจะใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์และห่อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันบรรจุภัณฑ์เสียหาย

1.7.5 ฉากกั้น (Partition) หมายถึง ฉากกั้นที่ใช้ป้องกันหรือแบ่งแยกพื้นที่ ในการวิจัยนี้ฉากกั้นใช้เพื่อป้องกันการไหลเวียนของอากาศจากโซนทำความเย็นไม่ให้ไหลเข้าไปภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อน

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในการศึกษาเรื่องการศึกษาผลกระทบของฉากกั้นที่มีต่อความเร็วลมเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ในบทนี้ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมเอกสารทฤษฎีขั้นพื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

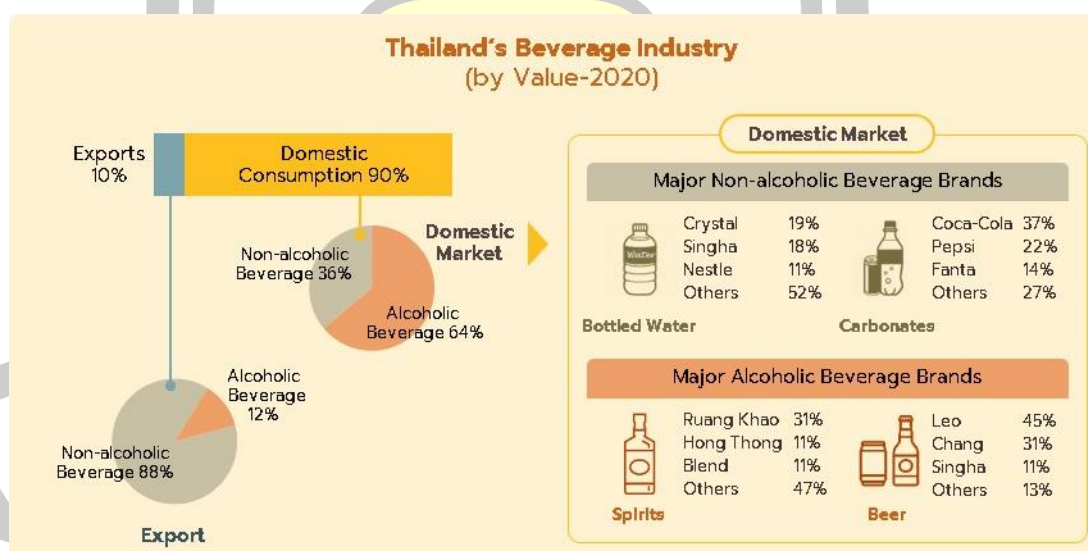
- 2.1 ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม
- 2.2 ข้อมูลอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทย
- 2.3 หลักการทำงานของเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน
- 2.4 หลักการและทฤษฎีการไหลของอากาศ
- 2.5 ฟิล์มหด
- 2.6 ฉากกั้น
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

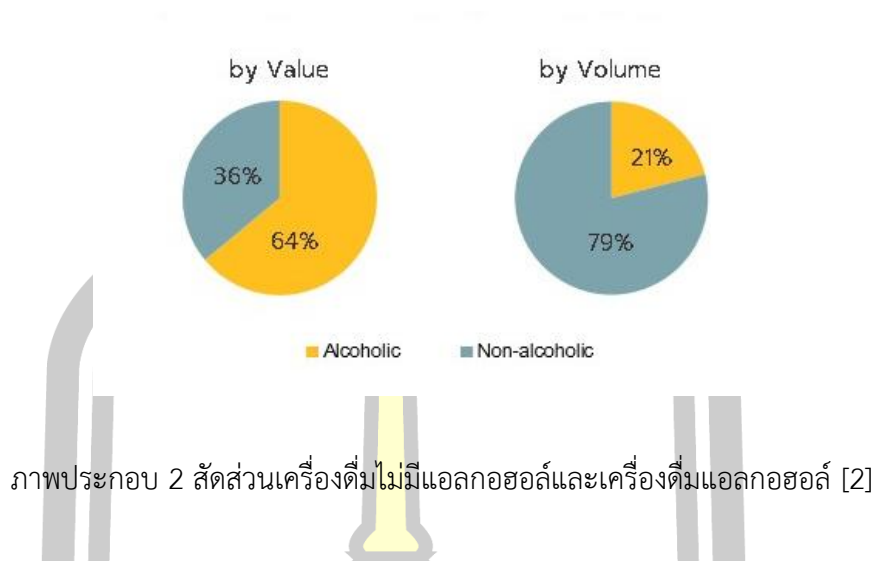
อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม จัดเป็นอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าและมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการแข่งขันสูงเพื่อผลิตสินค้าที่ปลอดภัยและได้มาตรฐานต่อผู้บริโภคทำให้มีผู้ประกอบการจำนวนไม่มากเข้ามาลงทุนในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีผู้ประกอบการน้อยรายแต่มีศักยภาพในการประกอบกิจการ สามารถกำหนดทิศทางของตลาดได้ซึ่งการประกอบกิจการประเภทเครื่องดื่มมีความจำเป็นต้องใช้เงินในการลงทุนจำนวนมากเพื่อซื้อเครื่องจักรและใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ ทันสมัย และมีการควบคุมมาตรฐานด้านอนามัยอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานคุณภาพสูงและมีอายุการใช้งานนาน [1]

2.2 ข้อมูลอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทย

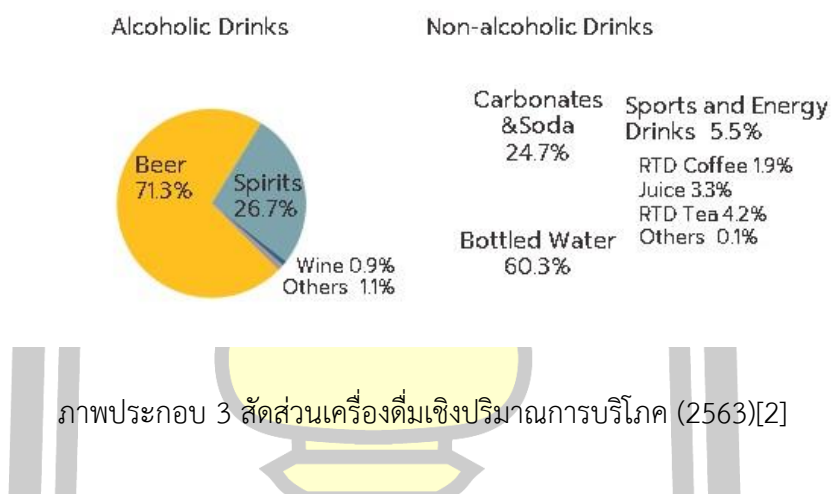
ปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่โดยสามารถผลิตเครื่องดื่มนานาชนิดสนองความต้องการผู้บริโภคในประเทศ (สัดส่วนร้อยละ 90 ของปริมาณผลผลิต) ได้เพียงพอ นอกจากนี้ไทยยังมีการนำเข้าและส่งออกเครื่องดื่ม คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด ดังภาพประกอบ 1 ซึ่งในปี 2563 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มในไทยมีโรงงานที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 420 แห่ง แบ่งเป็น 1) โรงงานเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์ 340 แห่ง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 81 ของจำนวนโรงงานผลิตเครื่องดื่มทั้งหมด 2) โรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 80 แห่ง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 19 ของจำนวนโรงงานผลิตเครื่องดื่มทั้งหมด ปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการบริโภคเครื่องดื่มรวม 1.3 หมื่นล้านลิตร คิดเป็นมูลค่าประมาณ 7.2 แสนล้านบาท ซึ่งแบ่งเป็น ตลาดเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ คิดเป็นสัดส่วน 79:21 ในเชิงปริมาณการบริโภค และ 36:64 ในเชิงมูลค่า ดังภาพประกอบ 2 - 4 เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าในประเทศไทยมีทรัพยากรหรือวัตถุดิบหลักที่สำคัญต่อการผลิตเครื่องดื่มอยู่เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำจืด น้ำตาล ผัก ผลไม้หรือวัตถุดิบอื่นเช่น ชา กาแฟ [2]



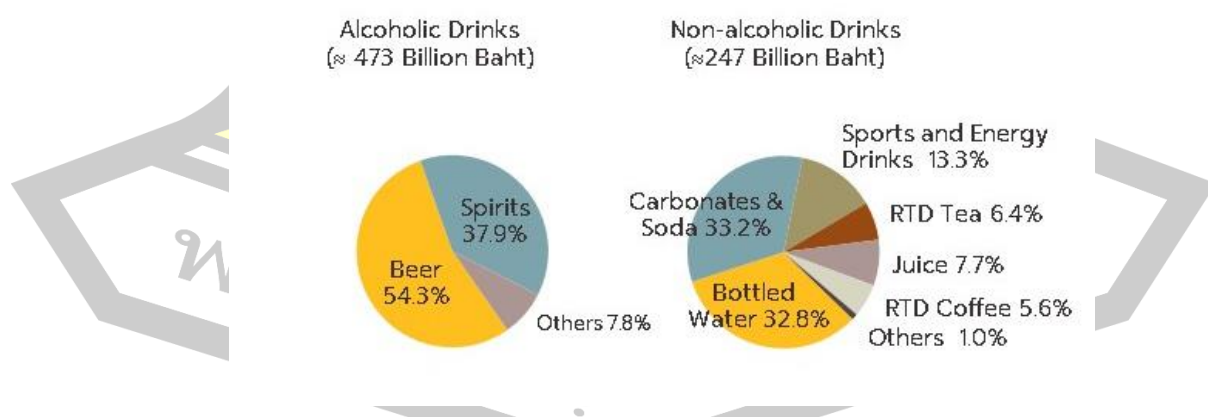
ภาพประกอบ 1 สัดส่วนเครื่องดื่มในอุตสาหกรรมประเทศไทย [2]



ภาพประกอบ 2 สัดส่วนเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ [2]



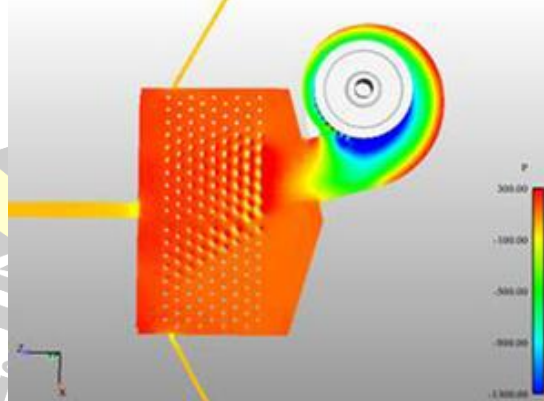
ภาพประกอบ 3 สัดส่วนเครื่องดื่มเชิงปริมาณการบริโภค (2563)[2]



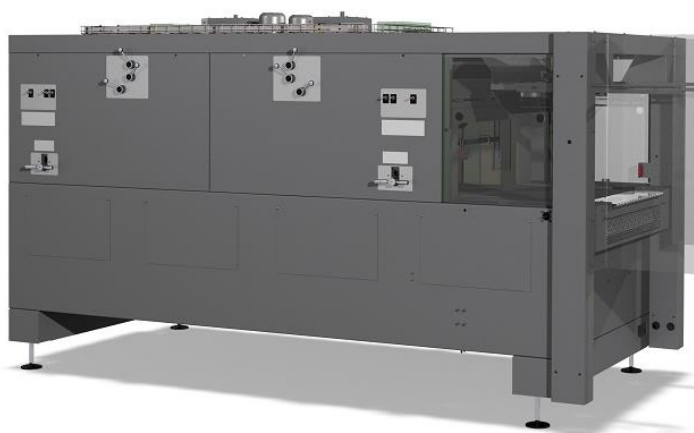
ภาพประกอบ 4 สัดส่วนเครื่องดื่มไทยเชิงมูลค่า (2563) [2]

2.3 เครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน

เครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน เป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการห่อสินค้า การทำงานของเครื่องอบฟิล์มหดจะทำงานต่อเนื่องจากเครื่องห่อฟิล์มหด เพื่อให้สินค้าที่ผ่านจากเครื่องห่อฟิล์มหดมายังเครื่องอบฟิล์มหด ซึ่งเครื่องอบฟิล์มหดจะทำให้ฟิล์มมันหดตัวลงโดยการให้ความร้อนในรูปแบบของลมร้อนดังภาพประกอบ 5 ซึ่งการไหลของลมร้อนได้รับการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมในการหมุนเวียนลมร้อนภายในเครื่องพันฟิล์มให้สม่ำเสมอและควบคุมได้และเมื่อฟิล์มหดตัวจะแนบสนิทกับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ลักษณะฟิล์มจะเรียบเนื่องจากการยืดที่เกิดจากความร้อน ดูรัดขึ้นงานแน่นขึ้นและดูสวยงาม และยังสามารถใช้กับฟิล์มที่เป็นแบบชนิดสวมได้ เมื่อฟิล์มหุ้มบรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านเครื่องพันฟิล์มแล้ว บางแห่งจะมีโซนสำหรับทำความเย็นให้กับบรรจุภัณฑ์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ห่อเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยโซนทำความเย็นจะตั้งอยู่ที่จุดทางออกของเครื่องพันฟิล์ม ซึ่งโซนทำความเย็นบางแห่งจะใช้ลมเป่าให้ฟิล์มเย็นตัวลง หากลมจากโซนทำความเย็นพัดเข้าไปในเครื่องพันฟิล์ม อาจส่งผลกระทบต่อรูปแบบการไหลของอากาศและสภาวะภายในของเครื่องพันฟิล์ม ทำให้การไหลเวียนของลมร้อนภายในเครื่องพันฟิล์มไม่สม่ำเสมอและอาจเป็นนัยสำคัญต่อกระบวนการหดตัวของฟิล์มและคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ ส่งผลนำไปสู่การหดหุ้มที่ไม่สม่ำเสมอ ความสวยงามของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ [3]



ภาพประกอบ 5 การให้ความร้อนในรูปแบบของลมร้อน [4]



ภาพประกอบ 6 เครื่องปั่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน [4]

2.4 หลักการและทฤษฎีการไหลของอากาศ

2.4.1 คุณสมบัติของของไหล

การจะศึกษาให้เข้าใจถึงระบบการไหลของของไหล จะต้องทราบถึงคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของของไหลที่จะประกอบด้วยความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ และความดัน โดยคุณสมบัติของของไหลดังที่กล่าวมา จะนำไปใช้ในการคำนวณวิเคราะห์แก้ปัญหาสมการที่เกี่ยวกับการไหลโดยคุณสมบัติแต่ละชนิดมีค่าจำกัดความดังต่อไปนี้

2.4.1.1 ความหนาแน่น (Mass density, ρ) เป็นคุณสมบัติของของไหลอย่างหนึ่ง ซึ่งหมายถึงปริมาณของมวลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหลนั้น เนื่องจากโมเลกุลของสารจะมีมวลคงที่ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนโมเลกุลของสารนั้นในหนึ่งหน่วยปริมาตร และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจำนวนโมเลกุลของของไหลจะกระจายออกไป ทำให้มีจำนวนโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของของไหลจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัดความดันลงไปบนของไหลจะทำให้มีโมเลกุลจำนวนมากถูกอัดไว้ในหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้นความหนาแน่นของของไหลจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันของของไหลเพิ่มขึ้น

2.4.1.2 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, V) หมายถึงจำนวนปริมาตรของของไหลต่อหนึ่งหน่วยของไหล มักพบในปัญหาเกี่ยวกับการไหลของก๊าซ ปริมาตรจำเพาะเป็นคุณสมบัติของของไหลอีกอย่างหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น (มวลจำเพาะ) สำหรับของเหลว ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวหนาแน่นกว่าก๊าซ แต่สำหรับก๊าซแล้วคุณสมบัติดังที่

กล่าวข้างต้นจะเปลี่ยนไปมากเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน

2.4.1.3 น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight, γ) เป็นคุณสมบัติที่หมายถึงน้ำหนักของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือหมายถึงแรงอันเกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับของไหลในหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งจะเห็นว่าน้ำหนักจำเพาะจะแปรผันตามความหนาแน่นและอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกแต่เนื่องจากค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดตามสถานที่ต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากันดังนั้นน้ำหนักจำเพาะตามสถานที่ต่าง ๆ ก็จะมีค่าไม่เท่ากันด้วย และจากที่ได้กล่าวมาว่า ความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดันนั้นทำให้ค่าของน้ำหนักจำเพาะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน

2.4.1.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, S) คืออัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะ หรือความหนาแน่นของของต่อน้ำหนักจำเพาะ หรือความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน สำหรับของเหลวจะใช้น้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (32.9 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นของไหลมาตรฐาน เนื่องจากค่าของน้ำหนักจำเพาะและความหนาแน่นของของไหลแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นในการนำค่าความถ่วงจำเพาะไปใช้ในการคำนวณที่มีความละเอียด หรือนำไปหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะของของเหลวที่ถูกต้องจึงต้องระบุไว้ด้วยว่าเป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิเท่าใด

2.4.1.5. ความดัน (Pressure) คืออัตราส่วนของแรงต่อพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแนวแรง

2.4.2 ทฤษฎีการไหลของของไหล

ในการศึกษาการไหลของของไหลนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณการไหล อัตราการไหลและทิศทางการไหลอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในการศึกษาสามารถแบ่งชนิดการไหลของของไหลโดยขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่แตกต่างกัน การไหลของของไหลจึงมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การไหลแบบสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ตามจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแต่ความเร็วในการไหล ณ จุดนั้นอาจแตกต่างจากจุดอื่น ๆ ได้ ตัวอย่าง เช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันมากเพียงพอ การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อในอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ การไหลแบบสม่ำเสมอที่จุดต่าง ๆ

2.4.2.2 การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Unsteady Flow) หมายถึงลักษณะการไหลที่ความเร็ว ณ จุดใด ๆ ก็ ตามมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรืออาจขาดช่วงได้ตัวอย่าง เช่น การไหลของน้ำประปาในท่อที่มีแรงดันไม่มากพอ การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อในอัตราการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ การไหลแบบสม่ำเสมอจะวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ

ถึงอย่างไรก็ตามในงานจริงทางด้านวิศวกรรมของของไหลมักจะนิยมแก้ปัญหาให้เป็นของไหลแบบคงตัว เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย

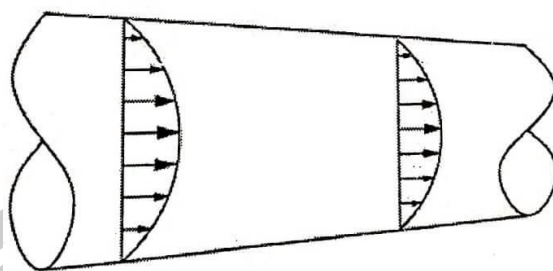
2.4.2.3 การไหลแบบเอกภาพ (Uniform Flow) หมายถึงขณะที่ความเร็วของของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ในของไหล เราจะเรียกว่าเป็นการไหลเอกภาพ

2.4.2.4 การไหลแบบอนเอกภาพ (Non-Uniform Flow) หมายถึงหากความเร็วการไหลของของไหลเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ในของไหล เรียกว่าการไหลแบบอนเอกภาพ

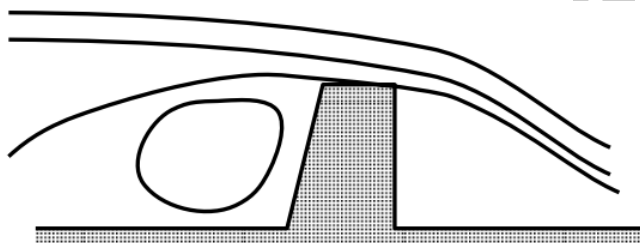
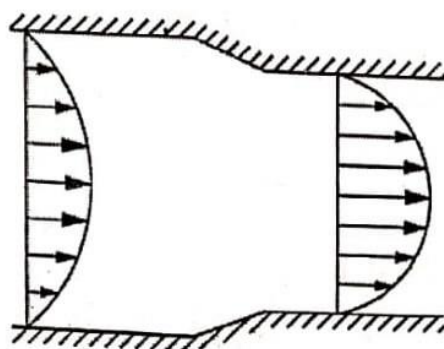
2.4.2.5 การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง (One – Two and Three Dimensional Flow) เป็นการไหลที่เกิดจากการไหลของของไหลที่มีคุณลักษณะหลาย ๆ อย่าง เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ และอื่น ๆ โดยปกติแล้วจะเป็นฟังก์ชันของช่วงขนาดและเวลา คือจะแปรค่ากับแกนของจุดใด ๆ x, y, z และเวลา t การไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลแบบสามทิศทาง ดังภาพประกอบ 7 หรือก็คือการไหลของอากาศผ่านหรือปะทะวัตถุที่มีความสูงและความกว้างไม่ต่างกัน แต่หากคุณลักษณะการไหลไม่ได้แปรค่าเทียบกับเวลา ก็จะเป็นการไหลแบบสามทิศทางคงตัว เมื่อคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างที่เกิดจากการไหลของของไหลเป็นฟังก์ชันเฉพาะกับทิศทางในสองแกนและเวลา โดยไม่แปรค่ากับอีกทิศทางหนึ่ง การไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลแบบสองทิศทาง ดังภาพประกอบ 8 และเมื่อคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างที่เกิดจากการไหลของของไหลเป็นฟังก์ชันเฉพาะกับทิศทางในแกนเดียวและเวลา t เรียกการไหลนี้ว่า การไหลแบบทิศทางเดียว เช่น การไหลในท่อตรง ดังภาพประกอบ 9

ชนิดของการไหล	ไหลแบบไม่คงตัว	ไหลแบบคงตัว
ไหลแบบสามทิศทาง	$V = f(x, y, z, t)$	$V = f(x, y, z)$
ไหลแบบสองทิศทาง	$V = f(x, y, t)$	$V = f(x, y)$
ไหลแบบทิศทางเดียว	$V = f(x, t)$	$V = f(x, y)$

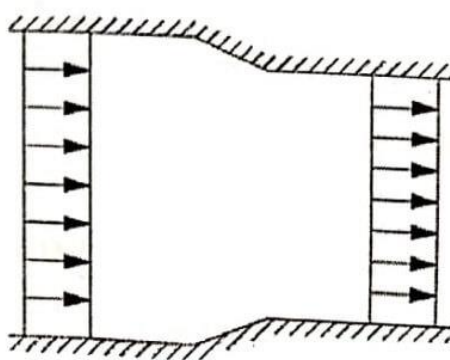
เพื่อให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้นเกี่ยวกับความแตกต่างของการไหลทั้ง 3 ลักษณะ คือการไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง โดยได้แสดงการไหลของของไหลดังภาพประกอบที่ 7, 8 และ 9 [5]

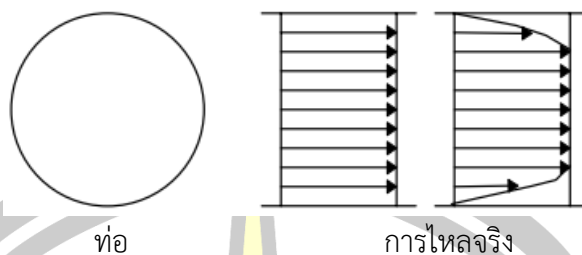


ภาพประกอบ 7 การไหลแบบสามทิศทาง(Three-Dimensional Flow) [6]



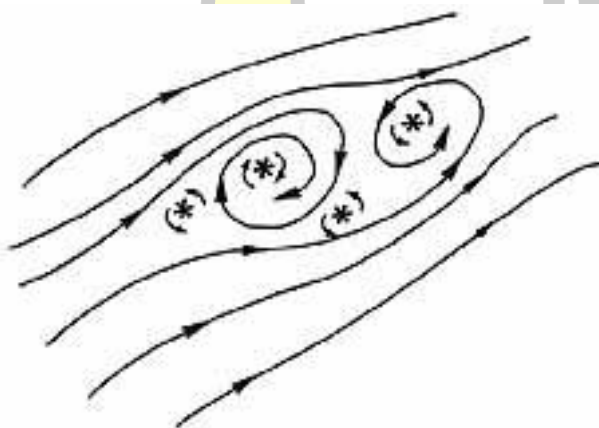
ภาพประกอบ 8 การไหลแบบสองทิศทาง(Two-Dimensional Flow) [6]





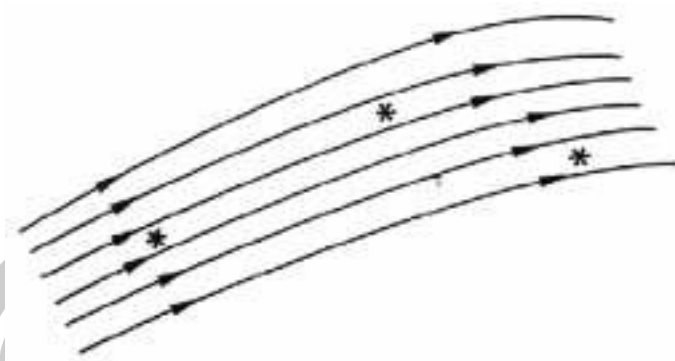
ภาพประกอบ 9 การไหลแบบทิศทางเดียว(One-Dimensional Flow) [6]

2.4.2.6 การไหลแบบหมุนวน (Rotational Flow) คือการไหลในกรณีที่ไหลอนุภาคของของไหลมีการหมุนวนไปรอบ ๆ แกนหมุน (Mass Center) ด้วยความเร็วของแต่ละอนุภาคของของไหลจะแปรค่าโดยตรงกับระยะทางจากจุดศูนย์กลางการหมุนดังภาพประกอบ 10



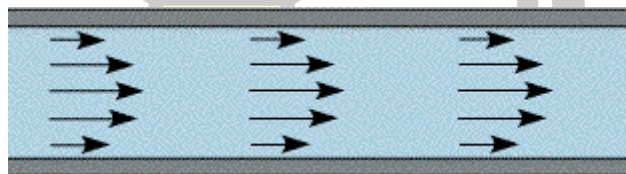
ภาพประกอบ 10 การไหลแบบหมุนวน(Rotational Flow) [7]

2.4.2.7 การไหลแบบไม่หมุนวน (Irrotational Flow) คือการไหลในกรณีที่ไหลอนุภาคของของไหลจะไม่มีการหมุนวนไปรอบ ๆ แกนหมุนดังภาพประกอบ 11 การไหลแบบไม่หมุนวนจะมีเฉพาะของไหลในจินตนาการเท่านั้น ซึ่งของไหลในจินตนาการนั้นการไหลจะไม่เกิดการสัมผัสกันและกันหรือไม่มีความเค้นเฉือนเกิดขึ้นเลย แต่สำหรับการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นจริงแล้ว อาจจะสมมติให้เป็นการไหลแบบหมุนวนได้เหมือนกันถ้าของไหลนั้นไม่มีความหนืดหรือความหนืดน้อยมาก ๆ



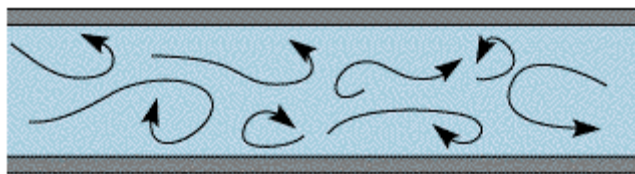
ภาพประกอบ 11 การไหลแบบไม่หมุนวน(Irrotational Flow) [7]

2.4.2.8 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือการไหลที่มีอนุภาคของของไหลที่เคลื่อนที่ไปเป็นชั้นแผ่นเรียบบางเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันและมีความเร็วที่แน่นอน โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่ไปอย่างมีระเบียบดังภาพประกอบ 12 การไหลแบบราบเรียบเกิดจากความหนืดของของไหลที่เป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน เช่น การไหลของของเลือดที่มีความหนืดมาก ๆ



ภาพประกอบ 12 การไหลแบบราบเรียบ(Laminar Flow) [8]

2.4.2.9 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือการไหลที่ในขณะไหลนั้นอนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากกระแสความเร็วของของไหลจะรุนแรงและไม่มีทิศทางที่แน่นอน มีการหมุนวนปั่นป่วน ในขณะไหลระหว่างชั้นของของไหลจะเกิดกระแสไหลวนอนุภาคขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ดังภาพประกอบ 13 ปัญหาการไหลของของไหลในงานวิศวกรรมแทบทั้งหมดจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ในการไหลแบบปั่นป่วนนี้มักเกิดความไม่แน่นอนของอนุภาค จึงทำให้เกิดคลื่นกระแสวิกขุ่นตามจุดต่าง ๆ ในของไหล ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมสมมติให้การไหลแบบปั่นป่วนมีรูปแบบการไหลแบบคงตัว แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของคุณลักษณะที่ไม่ขึ้นกับเวลามาพิจารณาแทนความเป็นจริง [5]



ภาพประกอบ 13 การไหลแบบปั่นป่วน(Turbulent Flow) [8]

2.4.3 สมการของการไหลแบบสม่ำเสมอในทิศทางเดียวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหล

สมการนี้อาศัยหลักการที่ว่า มวลสารย่อมไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือหายไป ซึ่งหมายความว่า ในเส้นทางการไหลที่ต่อเนื่อง ปริมาณการไหลจะคงที่ตลอดเส้นทางนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.1)$$

โดยที่

Q คือ ปริมาณการไหล (ปริมาตร) ต่อหน่วยเวลา

A_1 และ A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของเส้นทางการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

V_1 และ V_2 คือ ความเร็วในการไหลที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ

จากสมการข้างต้นอธิบายได้ว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลขยายใหญ่ขึ้น ความเร็วของการไหลจะลดลง แต่ ถ้าพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลงความเร็วของการไหลจะมากขึ้น ซึ่งใช้อธิบายการไหลของน้ำที่ปากแม่น้ำออกสู่ทะเลซึ่งกว้างกว่าจะข้าลง หรือการไหลของอากาศผ่านช่องแคบจะเร็วขึ้น ซึ่ง สมการนี้เมื่อใช้กับอากาศจะใช้ได้เมื่อความเร็วลมไม่มากเกินไปเท่านั้น มิฉะนั้นอากาศจะเกิดการอัดตัวและปริมาณการไหลที่คำนวณได้จะไม่ถูกต้อง [9]

2.4.4 เลขเรย์โนลด์(Re)

เลขเรย์โนลด์เป็นสมการที่ใช้ในการบอกถึงลักษณะการไหลของของเหลวว่าเป็นการไหลในลักษณะใด ซึ่งมีสมการดังนี้ [5]

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} \quad (2.2)$$

โดยที่

U คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางผนังท่อด้านใน

V คือ ความหนืดเชิงจลน์

พฤติกรรมของการไหลของของไหลภายในท่อแบ่งได้ตามค่าเลขเรย์โนลด์ดังนี้

- เมื่อค่า Re อยู่ในช่วง 0 – 2000 การไหลจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow)
- เมื่อค่า Re อยู่ในช่วง 2001 – 4000 การไหลจะเป็นแบบ Transition Zone จะมีการไหลทั้ง 2 แบบคือ การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) และ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

- เมื่อค่า Re มากกว่า 4001 การไหลจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

โดยส่วนใหญ่การไหลแบบนี้จะเป็นอุปสรรคต่อการวัด Flow Rate โดยตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Reynold's Number) ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการไหล เช่น

อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้คุณลักษณะของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยจะเกี่ยวข้องกับ ความหนืด ความหนาแน่น ฯลฯ ดังนั้น อุณหภูมิจึงมีผลอย่างมากต่อการไหลของของไหล โดยเฉพาะในสภาวะของอากาศ

ความดัน เนื่องจากความดันมีความสัมพันธ์กับแรงและพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในของไหลที่ต้องการวัดจะทำให้ความเร็วการไหลของของไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ความหนาแน่น เนื่องจากความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักและปริมาตร ดังนั้น หากของไหลบรรจุอยู่ในภาชนะที่มีปริมาตรจำกัด ก็จะทำให้มีความหนาแน่นมาก นั่นคืออาจมีผลต่อการไหลของของไหล (ความเร็วของการไหล)

ความหนืด คือ ความต้านทานต่อการไหลของของไหล เช่น น้ำมันหล่อลื่นมักจะหนืดมากกว่าน้ำ หรือน้ำมีความหนืดมากกว่าน้ำมันเบนซิน เป็นต้น ตามปกติความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ความหนืดของอากาศหรือก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง

ความเร็ว จะเป็นตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมของการไหลของของไหลว่าจะเป็นไปในลักษณะใด กล่าวคือ เมื่อความเร็วเฉลี่ยของของไหลเคลื่อนไปอย่างช้า ๆ เราจะเรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) และหากความเร็วมีค่ามากขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งการไหลแบบปั่นป่วนนี้จะพบเห็นกันเป็นส่วนมากและการไหลแบบนี้มีรูปแบบไม่แน่นอน [10]

2.4.5 ความแปรปรวน และความเร็วลม

การไหลของอากาศแบบแปรปรวน คือ การไหลที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) หมายถึง ส่วนของอากาศที่เคลื่อนที่แบบอิสระ (Randomly) ในลักษณะขึ้นลง ในบรรยากาศความ ร้อนจะทำให้เกิดความแปรปรวนทางความร้อนทำให้ การผสมของบรรยากาศเนื่องจากความ แปรปรวนเพิ่มขึ้น

ความแปรปรวนอีกแบบหนึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านสิ่งกีดขวาง ความ แปรปรวนนี้เรียกว่า ความแปรปรวนทางกล ความแปรปรวนทางกลจะเพิ่มขึ้นตามความแรงของลมทำ ให้บรรยากาศผสมผสานกันดี [11]

2.4.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูง

จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกล่าวว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ระบบใด ๆ ระบบจะ มีพลังงานภายในเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กับการทำงานของระบบต่อสิ่งแวดล้อมหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง [11]

$$dQ = dU + p dv \quad (2.3)$$

เมื่อ dQ คือ ปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบ ถ้าสิ่งแวดล้อมมีการถ่ายเทความร้อน ให้แก่ระบบ จะได้ว่า $dQ > 0$ แต่ถ้าระบบมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม จะได้ว่า $dQ < 0$

dU คือ พลังงานภายในหรือพลังงานจลน์รวมในระบบที่เปลี่ยนแปลง ถ้าระบบมีพลังงาน ภายในเพิ่มขึ้น จะได้ว่า $dU > 0$ แต่ถ้าระบบมีพลังงานภายในลดลง จะได้ว่า $dU < 0$

$p dv$ คือ งานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของระบบ ถ้างานที่ระบบกระทำต่อ สิ่งแวดล้อม จะได้ว่า $p dv > 0$ แต่ถ้างานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ จะเรียกว่า $p dv < 0$

ระบบ อาจหมายถึง ก้อนอากาศ (Air parcel) หรือมวลอากาศ (air mass) ทำให้เขียน สมการ (2.4) ใหม่ได้ดังนี้

$$dq = du + p d\alpha \quad (2.4)$$

เมื่อ $dq = \frac{dQ}{M}$ คือ ปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบต่อหนึ่งหน่วยมวล

$du = \frac{dU}{M}$ คือ พลังงานภายในต่อหนึ่งหน่วยมวล เรียกว่า พลังงานภายในจำเพาะ

$p d\alpha = p \frac{dv}{M}$ คือ งานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของระบบต่อหนึ่งหน่วยมวล

โดยที่

$\alpha = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho}$ คือ ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวล เรียกว่า ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

2.4.7 เสถียรภาพของอากาศ(Stability Class)

เสถียรภาพของอากาศพิจารณาได้จากการเคลื่อนที่ของอากาศ ถ้าก้อนอากาศมีการเคลื่อนที่ขึ้น ก้อนอากาศจะมีการขยายตัวและอุณหภูมิจะลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าก้อนอากาศมีการเคลื่อนที่ลง ก้อนอากาศจะถูกอัดตัวและอุณหภูมิจะถูกอัดตัวและอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น

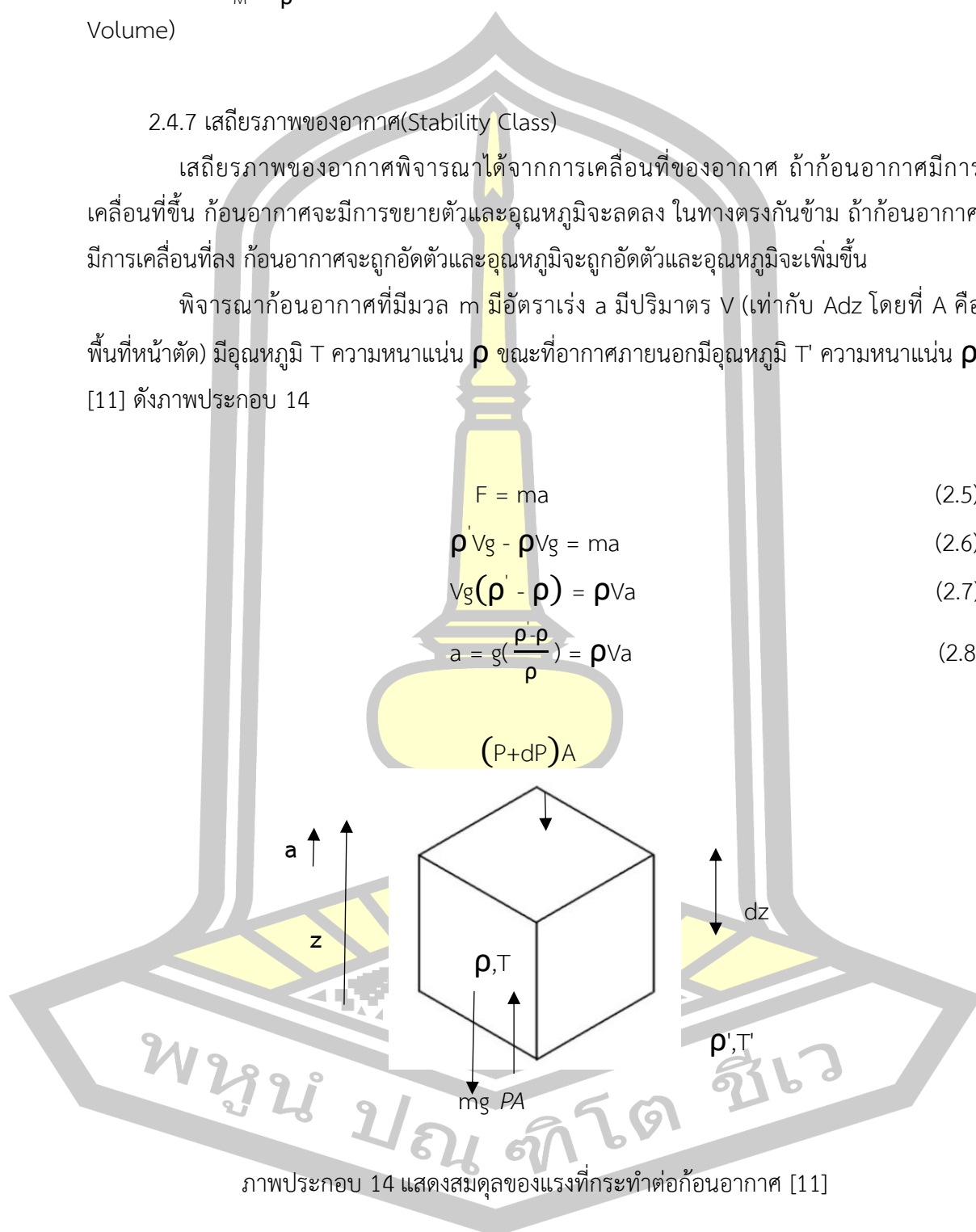
พิจารณาก้อนอากาศที่มีมวล m มีอัตราเร่ง a มีปริมาตร V (เท่ากับ Adz โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัด) มีอุณหภูมิ T ความหนาแน่น ρ ขณะที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ T' ความหนาแน่น ρ' [11] ดังภาพประกอบ 14

$$F = ma \quad (2.5)$$

$$\rho' Vg - \rho Vg = ma \quad (2.6)$$

$$Vg(\rho' - \rho) = \rho Va \quad (2.7)$$

$$a = g\left(\frac{\rho' - \rho}{\rho}\right) = \rho Va \quad (2.8)$$



ภาพประกอบ 14 แสดงสมดุลของแรงที่กระทำต่อก้อนอากาศ [11]

จากกฎของก๊าซสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความดันและอุณหภูมิของอากาศได้ดังนี้

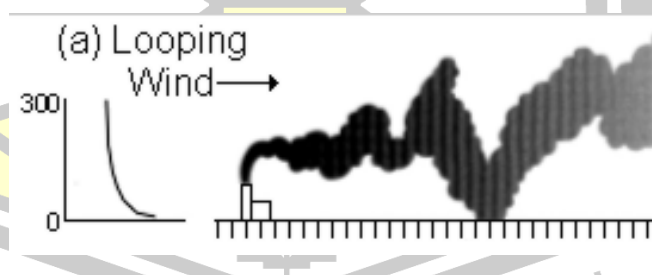
$$\rho = \frac{PM}{RT} \quad (2.9)$$

แทนในสมการ (2.7)

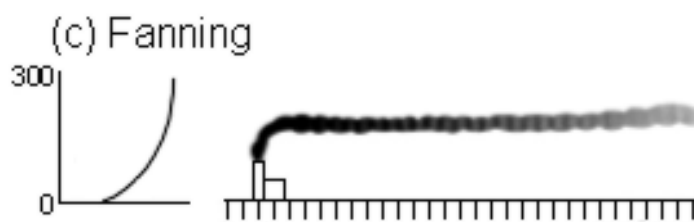
$$a = g \left(\frac{\frac{PM}{RT} - \frac{PM}{RT}}{\frac{PM}{RT}} \right) \quad (2.10)$$

$$a = g \left(\frac{T - T'}{T'} \right) \quad (2.11)$$

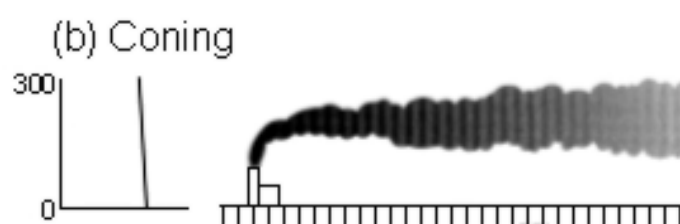
จะเห็นได้ว่า ถ้าก้อนอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมจะทำให้ก้อนอากาศมีอัตราเร่งเป็นบวกกล่าวคือก้อนอากาศจะลอยตัวขึ้นซึ่งจะออกห่างจากตำแหน่งเดิม สภาวะอากาศเช่นนี้เรียกว่า สภาวะไม่มีเสถียรภาพ (unstable) ดังภาพประกอบ 15 ในทางกลับกัน ถ้าก้อนอากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม จะทำให้ก้อนอากาศมีอัตราเร่งเป็นลบ กล่าวคือก้อนอากาศจะจมลงซึ่งจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิม สภาวะอากาศเช่นนี้เรียกว่า สภาวะมีเสถียรภาพ (stable) ดังภาพประกอบ 16 แต่ถ้าก้อนอากาศมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมจะทำให้ก้อนอากาศมีอัตราเร่งเป็นศูนย์ กล่าวคือก้อนอากาศจะลอยนิ่งอยู่ ณ ตำแหน่งเดิม สภาวะอากาศเช่นนี้เรียกว่า สภาวะกลาง (neutral) ดังภาพประกอบ 17 [11]



ภาพประกอบ 15 สภาวะไม่มีเสถียรภาพ(unstable) [12]



ภาพประกอบ 16 สภาวะมีเสถียรภาพ(stable) [12]



ภาพประกอบ 17 สภาวะกลาง(neutral) [12]

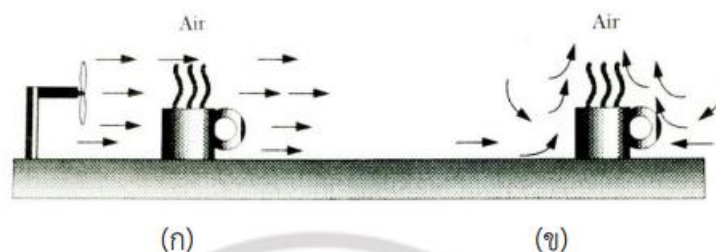
2.4.8 การพาความร้อน

การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลนั้น มวลของของไหลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันออกไป เพื่อส่งถ่ายพลังงานความร้อนหรือรับพลังงานความร้อนจากบริเวณนั้น ตัวอย่างการพาความร้อนได้แก่ การต้มน้ำ น้ำบริเวณก้นภาชนะรับความร้อนจากเปลวไฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะขยายตัวลอยขึ้นไปส่วนบนของน้ำซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าและจะถ่ายพลังงานความร้อนให้แก่ น้ำบริเวณนั้น ขณะเดียวกัน น้ำบริเวณส่วนบนบางส่วนซึ่งเย็นกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าจะตกลงสู่ก้นภาชนะเพื่อรับความร้อน จากนั้นลอยขึ้นเพื่อถ่ายความร้อนแก่น้ำบริเวณด้านบนของน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้จะซ้ำกันเรื่อยไป ทำให้พลังงานความร้อนส่งถ่ายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในของไหลอื่น ๆ เช่น อากาศก็มีกระบวนการพาความร้อนเช่นกัน การพาความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบบังคับและการพาความร้อนแบบอิสระ

2.4.8.1 การพาความร้อนแบบบังคับ เกิดขึ้นเมื่อแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านถ้วยกาแฟร้อน ดังภาพประกอบ 18 (ก)

2.4.8.2 การพาความร้อนแบบอิสระ เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัวของของไหลและแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล ดังภาพประกอบ 18 (ข) โดยความร้อนจากถ้วย

กาแฟจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงหรือหนักกว่า) จะเคลื่อนที่มาแทนที่อากาศที่มีความหนาแน่นต่ำ



ภาพประกอบ 18 (ก) การพาความร้อนแบบบังคับ (ข) การพาความร้อนแบบอิสระ [13]

สำหรับหาอัตราการพาความร้อนจะอยู่ในรูปกฎการเย็นตัวของนิวตันในการพิจารณาการพาความร้อนของของไหลจากกฎการเย็นตัวของนิวตันนั้น เราจะได้ค่าคงตัวค่าหนึ่งซึ่งใช้สำหรับการบอกความสามารถในการพาความร้อน เราเรียกค่าคงตัวนี้ว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และสมบัติของของไหล เป็นต้น [13]

2.5 फिल्मหต

ฟิล์มหตหรือที่เรียกว่าฟิล์มหตหรือพลาสติกหตเป็นวัสดุพลาสติกชนิดหนึ่งที่หตตัวเมื่อถูกความร้อน โดยทั่วไปจะใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์และหตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกัน ด้านทานการจ้ดแงและสวยงาม โดยฟิล์มหตจะมีการจัดกลุ่มหลัก ๆ อยู่ 3 ประเภท ดังนี้

2.5.1 फिल्मหต POF (Polyolefin Shrink Film) หรือ फिल्मน้มน้ เป็นฟิล์มที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการ Double Bubble Blow Film หรือการเป่าฟิล์มตั้งแต่ 3-5 ชั้นขึ้นไป โดยเม็ดพลาสติกจะถูกรีดผ่านหัวโด้ร และนำไปอัดลม เพื่อให้ฟิล์มได้ขยายตัวผ่านน้ำ แล้วนำมาให้ความร้อนเพื่อให้ขยายตัวอีกครั้ง POF จะมีความหนาอยู่ที่ 12 – 30 ไมครอน ในการผลิตจะใช้เม็ดพลาสติกประเภท LLDPE และ PP เป็นหลัก ซึ่งใช้บรรจุสินค้าเพื่อส่งออกต่างประเทศ फिल्मจะมีลักษณะบางใสและเหนียว มีความอ่อนนุ่ม แต่แข็งแรง สามารถมองเห็นสินค้าได้ชัดเจน โดยนิยมใช้กับพวกโรงงานผู้ผลิตอาหาร เวชภัณฑ์ ยา กล่องมือถือ ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 พลาสติก POE (Polyolefin Shrink Film) [14]

2.5.2 พลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride Shrink Film) เป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากเม็ดพลาสติก ใช้งานง่าย สะดวกและมีราคาถูกกว่าพลาสติกประเภทอื่น ๆ ให้ประโยชน์ด้านการบรรจุภัณฑ์สินค้าหลากหลายชนิด ลักษณะเนื้อฟิล์มมีความใส ใช้งานด้วยการเป่าลมร้อนหรือเครื่องอบฟิล์มหด ลักษณะเนื้อฟิล์มจะเปราะและแข็งกว่าฟิล์มแบบอื่นเหมาะกับการห่อบรรจุภัณฑ์เกือบทุกชนิด เช่น ขวด กล่อง ห่อเดี่ยว ห่อรวม เป็นต้น ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 พลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride Shrink Film) [14]

2.5.3 พิล์มหด PE (Polyethylene Shrink Film) เป็น polymer ชนิดหนึ่งของ POF และ PE ถูกใช้ในหลายรูปแบบของงานบรรจุภัณฑ์ พิล์มจะมีความเหนียวมาก เหมาะกับสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ใช้ได้ทั้งฟิล์มหดและฟิล์มยืดแต่การใช้งานจะแตกต่างกันมากในแต่ละชนิด พิล์มหด PE แบ่งได้ 3 ชนิดได้แก่ [14]

2.5.3.1 Low-Density Polyethylene (LDPE) เป็นโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ผลิตโดยใช้แรงดันสูง มีความเหนียวและความยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการกรอบแตก มีความนิ่ม แต่ใสไม่เท่าพลาสติกชนิด PP(Polypropylene) ข้อดีของฟิล์ม LDPE คือ ยืดหยุ่น กันสารเคมีได้ ราคาถูก กันความชื้นได้ดี กันไฟฟ้าได้ดี ปลอดภัยสำหรับบรรจุอาหาร ข้อเสียคือ ไม่ทนความร้อน ติดไฟได้ ไม่ค่อยทนทาน [15]

2.5.3.2 Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE) เป็นพอลิเอทิลีน ที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความใส ผลิตแผ่นฟิล์มสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เป็นวัสดุประสาน (laminated) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร และใช้กับบรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ (aseptic packaging) [16]

2.5.3.3 High-Density Polyethylene (HDPE) เป็นฟิล์มที่มีความหนาแน่นต่ำ มีสีใส เนื้อฟิล์มเหนียว ทนต่อแรงดึงได้ดีเหมาะสำหรับงานถุงที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป [17]

โดยแต่ละชนิดใช้งานอุตสาหกรรมที่ต่างกัน แต่ที่นิยมในงาน shrink wrap packaging คือ LDPE การที่ LDPE เหมาะกับการใช้งานหดหุ้มแพ็คเกจ เนื่องจากความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง เหมาะสำหรับชิ้นงานใหญ่ ๆ และมีน้ำหนักมาก เช่น งานแพ็คเกจน้ำดื่ม, สามารถพิมพ์ข้อความหรือรูปภาพลงไปได้และรักษาภาพที่พิมพ์ลงไปได้ดีคงทนแข็งแรง ดังภาพประกอบ 21

PE มีข้อด้อยคือ มีอัตราการหด (shrink rate) ที่ต่ำ ประมาณ 20% และความใสจะน้อยกว่าฟิล์มชนิดอื่น [14]





ภาพประกอบ 21 ฟิล์ม PE(Polyethylene Shrink Film) [14]

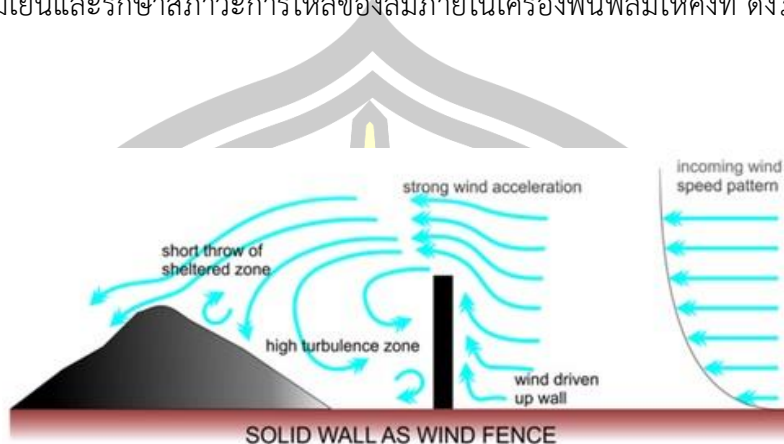
จากประเภทของฟิล์มหด แต่ละประเภทยังก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งทุกประเภทยังจะเป็นการที่ให้ความร้อนแล้วฟิล์มเกิดการหดตัวให้พอดีกับลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการห่อหุ้ม ซึ่งในกระบวนการให้ความร้อนแล้วฟิล์มเกิดการหดตัว จะมีแรงที่เกิดขึ้นขณะที่ฟิล์มหดตัวไปโดนสินค้า ดังนั้นในการนำฟิล์มหดไปใช้จะต้องมีการทดสอบค่าแรงที่จะเกิดขึ้นขณะที่ฟิล์มเกิดการหดตัวก่อน เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์ [14]

จากที่กล่าวมาข้างต้นการหดหุ้มที่ดีควรมีลักษณะหดหุ้มให้แนบชิดติดกับบรรจุภัณฑ์พอดี และมีการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับประเภทฟิล์มที่ใช้งานซึ่งความร้อนที่ให้จะมาจากลมของเครื่องพ่นฟิล์มที่มาจากแบบลมร้อน หากลมร้อนเป่าลมให้ฟิล์มสม่ำเสมอ ลักษณะการหดหุ้มก็จะมีรูปลักษณะสวยงาม กะทัดรัด และหากลมร้อนภายในเครื่องพ่นฟิล์มเป่าไม่สม่ำเสมอ อาจเป็นผลมาจากโซนทำความเย็นที่ติดตั้งอยู่ที่จุดทางออกของเครื่องพ่นฟิล์ม ซึ่งโซนทำความเย็นบางแห่งจะใช้ลมเป่าให้ฟิล์มเย็นตัวลง หากลมจากโซนทำความเย็นพัดเข้าไปในเครื่องพ่นฟิล์ม อาจส่งผลกระทบต่อรูปแบบการไหลของอากาศ มีลมออกมาภายนอกและสภาวะภายในของเครื่องพ่นฟิล์ม ทำให้การไหลเวียนของลมร้อนภายในเครื่องพ่นฟิล์มไม่สม่ำเสมอและอาจเป็นนัยสำคัญต่อกระบวนการหดตัวของฟิล์ม และคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ ส่งผลนำไปสู่การหดหุ้มที่ไม่สม่ำเสมอ ความสวยงามของ บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน และส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดขึ้นได้

2.6 ฉากกัน

ฉากกัน คือ ฉากกันที่ใช้ป้องกันหรือแบ่งแยกพื้นที่ ในการวิจัยนี้ฉากกันใช้เพื่อควบคุมการไหลของลมภายในอุโมงค์ลมร้อนและลดผลกระทบจากลมภายนอก ฉากกันที่ใช้ในกรณีนี้สามารถ

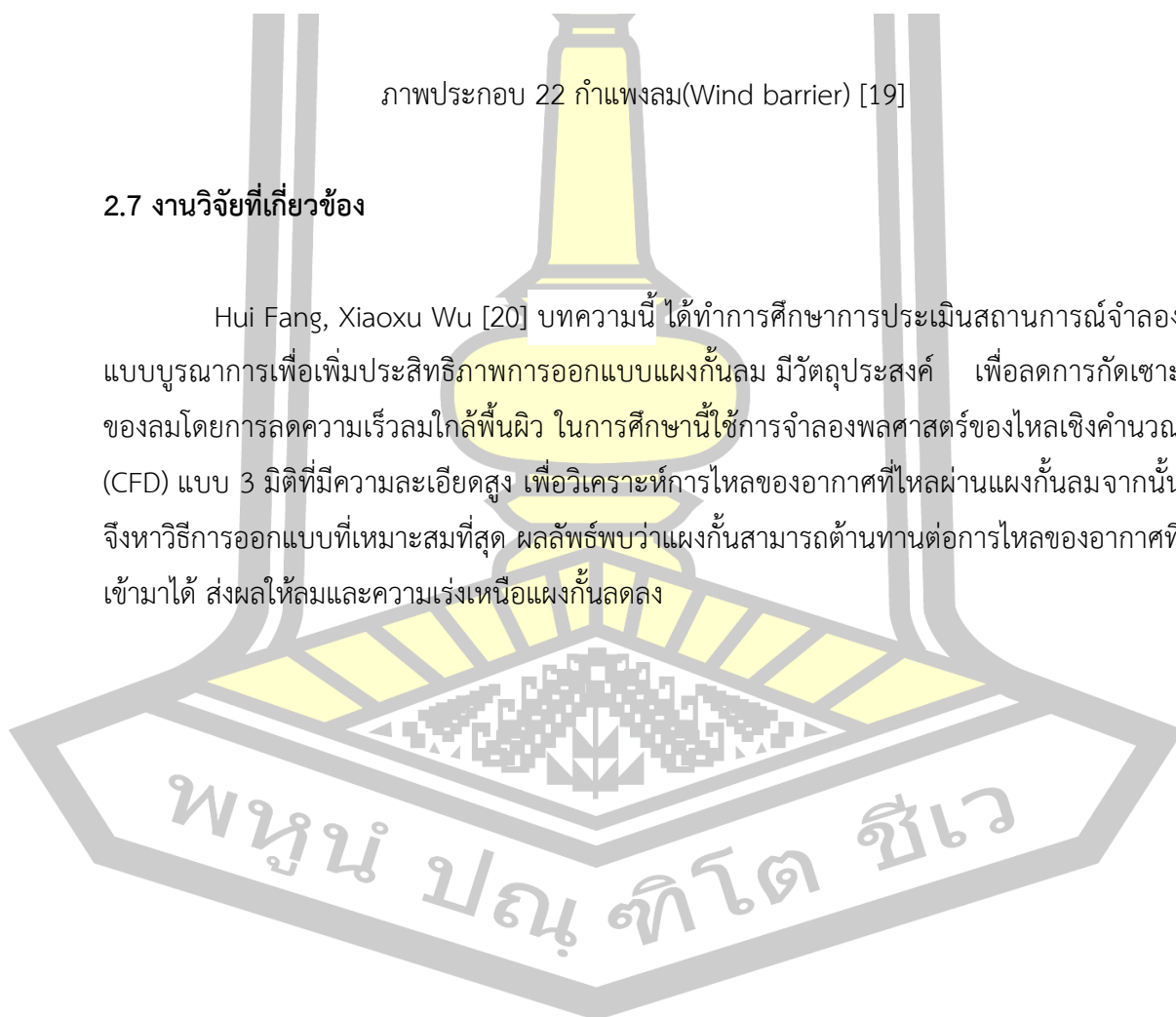
เรียกว่า "windbreak" หรือ "wind barrier" โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการลดการเข้ามาของลมจาก โชนทำความเย็นและรักษาสภาวะการไหลของลมภายในเครื่องพันฟิล์มให้คงที่ ดังภาพประกอบ 22 [18]

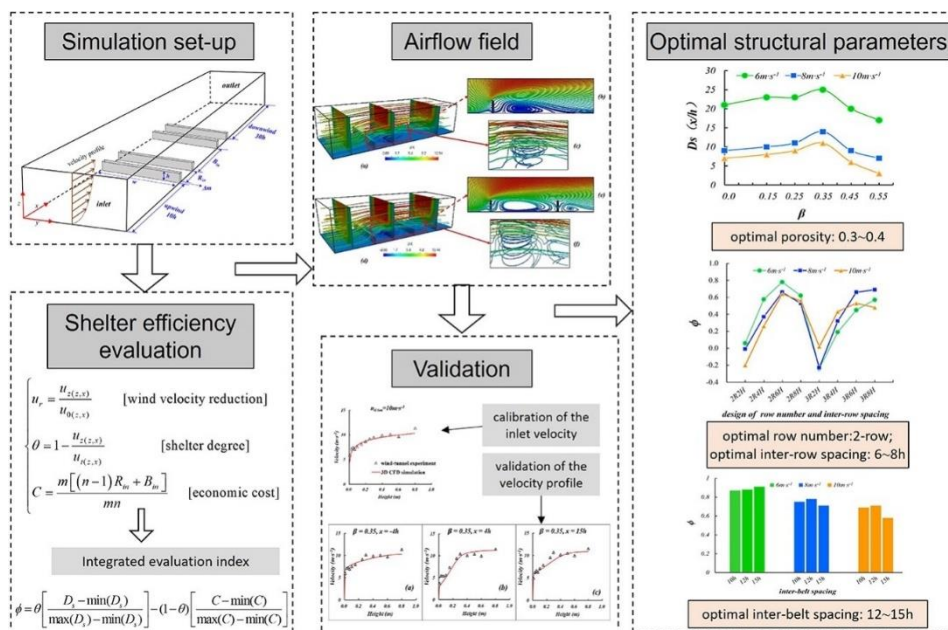


ภาพประกอบ 22 กำแพงลม(Wind barrier) [19]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hui Fang, Xiaoxu Wu [20] บทความนี้ได้ทำการศึกษาการประเมินสถานการณ์จำลองแบบบูรณาการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแผงกันลม มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดการกีดขวางของลมโดยการลดความเร็วลมใกล้พื้นผิว ในการศึกษาที่ใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) แบบ 3 มิติที่มีความละเอียดสูง เพื่อวิเคราะห์การไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผงกันลมจากนั้นจึงหาวิธีการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์พบว่าแผงกันสามารถต้านทานต่อการไหลของอากาศที่เข้ามาได้ ส่งผลให้ลมและความเร่งเหนือแผงกันลดลง





ภาพประกอบ 23 แบบจำลองและเปรียบเทียบก่อน – หลังมีการใช้งานแผงกันลม [20]

Hyun-Jun Kim, Sang-Sub Han [21] บทความนี้ได้ตรวจสอบผลกระทบของความพรุนและความเอียงของแผงกันลมในการทดลองในอุโมงค์ลม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของความพรุนของแผงกันลมและความโน้มเอียงต่อการลดความเร็วลม เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างป่าป้องกันที่มีประสิทธิภาพ โดยมีการทดสอบกล่องกันลม 3 กรณี : กรณี A (ความพรุนร้อยละ 0 โดยมีความเอียง 90 องศา, 80 องศา และ 70 องศา), กรณี B (ความพรุนร้อยละ 25 โดยมีความโน้มเอียงเท่ากัน) และกรณี C (ความพรุนร้อยละ 50 มีความโน้มเอียงเท่ากัน) ผลลัพธ์ แผงกันลมที่มีความพรุนร้อยละ 0 และความเอียง 90 องศา ให้การป้องกันลมในระดับสูงสุดและแผงกันลมที่มีความพรุนร้อยละ 50 และความเอียง 70 องศา ช่วยลดความเร็วลมได้อย่างเพียงพอและป้องกันการหมุนเวียนของลม แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของทั้งความพรุนและความเอียงที่มีต่อการป้องกันลม

Xiaoxu Wu, Xueyong Zou [22] บทความนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของแผงกันลมต่อการไหลของอากาศในอุโมงค์ลม เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพที่กำบังของแผงกันลมที่มีความพรุน พื้นที่แถว และจำนวนแถวที่แตกต่างกัน อ้างอิงจากการตรวจวัดในอุโมงค์ลม โดยใช้แบบจำลองของแผงกันลมที่มีความสูง 5 6 7 และ 14 เซนติเมตร ทำการวางตั้งฉากกับทิศทางลมในอุโมงค์และแผงกันลมมีความโปร่ง 0.3 – 0.4 จากการทดลองพบว่า แผงกันลมที่มีความพรุน 0.35 ให้ผลกำบังที่ดีที่สุดในการลดความเร็วลม โดยแนะนำช่วงความพรุนที่เหมาะสมที่สุดที่ 0.3 - 0.4 สำหรับลดผลกระทบต่อการไหลของอากาศในอุโมงค์ลม

Gordon M. Heisler, David R. Dewalle [23] บทความนี้ได้ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างกันลมต่อการไหลของลม โดยมุ่งเน้นไปที่การทำความเข้าใจผลกระทบของแผ่นกันลมต่อการไหลของอากาศ รวมถึงผลกระทบทางอ้อมต่ออุณหภูมิและความชื้นของอากาศ พบว่าแผงกันลมสามารถลดความเร็วลมลงร้อยละ 20 ซึ่งสรุปได้ว่ายิ่งความโปร่งมากก็จะทำให้สามารถลดความเร็วลมได้น้อย ขณะเดียวกันหากความโปร่งของแผงกันลมน้อยก็จะทำให้สามารถลดความเร็วลมได้มาก

L. J. Hagen, E. L. Skidmore [24] บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของแนวป้องกันลมต่อการไหลของอากาศและผลกระทบของลมที่มีต่ออุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อหาแนวกันลมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และคาดการณ์ผลกระทบที่มีต่อผลผลิตพืช ความคงตัวของดิน และการระเหยของน้ำ โดยกำหนดความสูงและความโปร่งของแนวกันลม พบว่าความพรุนของแผงกันลมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสามารถของแผงกันลมในการลดความเร็วลม

Se-Woon Hong, In-Bok Lee, Hyun-Seob Hwang [25] บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองการถดถอยเพื่อคาดการณ์การลดความเร็วลมโดยใช้รั้วกันลม มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมการทำนายเพื่ออธิบายการลดความเร็วลมด้วยรั้วกันลมเพื่อให้ข้อเสนอแนะในการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งพิจารณาจากความพรุนของรั้ว ความสูงของรั้ว และความเร็วลม และเพื่อคำนวณการกระจายตัวของความเร็วลมที่จะเกิดขึ้น ผลลัพธ์รั้วกันลมสามารถลดความเร็วลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแบบจำลองการถดถอยที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้เป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้จริงสำหรับการออกแบบรั้วกันลมหรือชุดรั้ว

Hrvoje Kozmar, Lorenzo Procino [26] บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของมุมตกกระทบของลมต่อลักษณะของสนามการไหลหลังจากมีสิ่งกีดขวางลม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำบังของแผงกันลมบนสะพานในอุโมงค์ลม ซึ่งใช้เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV) เพื่อกำหนดสนามความเร็วเฉลี่ยและสนามกระแสแนววน ผลลัพธ์พบว่าแผงกันลมบนสะพานมีประสิทธิภาพในการลดความเร็วลมและหากไม่มีสิ่งกีดขวางลม ความเร็วลมบนสะพานจะสูงถึงร้อยละ 80

Ming Wang, Zuxiang Wang [27] บทความนี้ได้วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์แบบไดนามิกของแผงกันลมต่อคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของรถไฟที่กำลังเคลื่อนที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์แบบไดนามิกของสิ่งกีดขวางทางลมต่อคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของ

รถไฟความเร็วสูงที่วิ่งบนสะพานในสภาพแวดล้อมที่มีลมแรง ซึ่งทดสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นในอุโมงค์ลม ผลลัพธ์พบว่าการติดตั้งแผงกันลมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการวิ่งของรถไฟความเร็วสูงได้อย่างมาก โดยการลดผลกระทบของลมบนตัวรถไฟ

Ping Lou, Wei-ming Tao [28] บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของแผงกันลมโค้งที่มีความโค้งที่แตกต่างกันต่อลักษณะอากาศพลศาสตร์ของลมขวางของระบบสะพานรถไฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของแผงกันลมโค้งที่มีความโค้งที่แตกต่างกันต่อลักษณะอากาศพลศาสตร์ของลมขวางของระบบสะพานรถไฟ พบว่าแผงกันลมแบบโค้งช่วยลดความเร็วลมบนดาดฟ้าสะพานให้ต่ำกว่าความสูงที่กำหนดได้อย่างมาก แนะนำให้ใช้แผงกันลมที่มีความโค้ง 0.35 เนื่องจากมีลักษณะสอดคล้องตามหลักอากาศพลศาสตร์ของรถไฟและสะพาน

Xiaoxuan Wu , Zhiyi Guo [29] ได้ทำการตรวจสอบการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของรั้วลมแบบรวมโดยอิงตามข้อมูลการสังเกตทางสัญญาณวิทยาของอาร์เทมิซาอาเรนาเรีย *Salix psammophila* และ *Caragana korshinskii* ที่ปลูกเทียมโดยใช้เทคโนโลยีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามมิติ (CFD) ผลลัพธ์พบว่ารั้วลมแบบรวมแสดงประสิทธิภาพการบังลมที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับแนวกันลมจากพืชป่า โดยแนวกันลม *Caragana* ที่ปลูกเทียมนั้นมีประสิทธิภาพการบังลมสูงสุดที่ความเร็วลมสูง

Wei Tao, Ping Lou [30] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความสูงและความพรุนต่อสิ่งกีดขวางลมประเภทรั้วโค้งและแนวตั้งต่อคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของระบบสะพานรถไฟ โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขและวิธีทดสอบในอุโมงค์ลม วิเคราะห์แรงลมคงที่ของแผงกันลมประเภทรั้วโค้งและแนวตั้ง โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลากและการกระจายแรงดันลมที่พื้นผิว ผลลัพธ์แผงกันลมแบบโค้งช่วยลดแรงลากและโมเมนต์ของรถไฟ ในขณะที่เดียวกันก็ลดผลกระทบของแรงแอโรไดนามิกบนสะพานให้เหลือน้อยที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์การลากของแผงกันลมแบบโค้งมีค่าเพียงประมาณร้อยละ 35 ของค่าสัมประสิทธิ์การลากของแผงกันลมในแนวตั้ง เมื่อรถไฟอยู่ทางด้านรับลมของสะพาน

Tian Qin, Li Xuetong [31] ได้ทำการศึกษาแผงกันลมแบบเคลื่อนย้ายได้ของสะพานแบบเอียง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเร็วลมและผลกระทบต่อนานพาหนะที่วิ่งบนสะพาน ตลอดจนป้องกันความเสียหายต่อแผงกันลมและโครงสร้างของสะพานที่เกิดจากลมพัดแรง ผลลัพธ์พบว่าแผงกันลมแบบเคลื่อนย้ายได้ของสะพานแบบเอียงช่วยลดความเร็วลมและลดผลกระทบต่อนานพาหนะที่

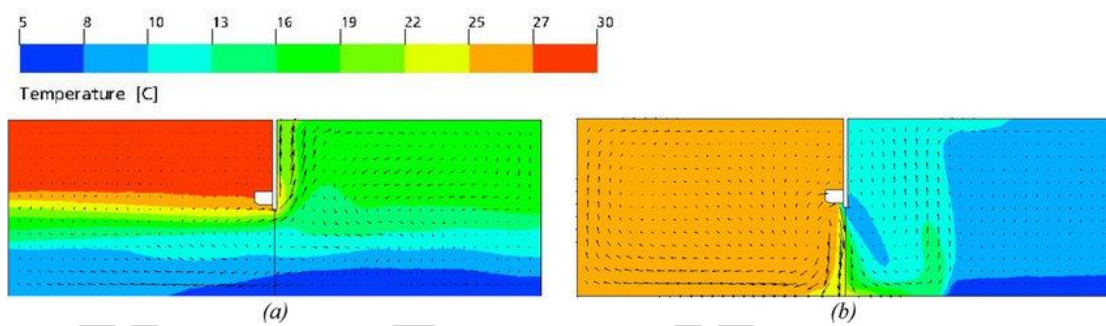
วิ่งบนสะพานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังป้องกันความเสียหายต่อแผงกั้นลมและโครงสร้างสะพานที่เกิดจากลมพัดแรง

Cheng Zhang , Senwen Yang [32] ได้ศึกษาม่านอากาศที่ติดตั้งไว้ที่ทางเข้าอาคาร มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของม่านอากาศภายใต้สภาวะลมต่าง ๆ และทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ของม่านอากาศกับลม โดยทำการทดลองกับแบบจำลองอาคารขนาดย่อที่มีม่านอากาศในอุโมงค์ลม ผลลัพธ์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมสำหรับม่านอากาศมีค่าคงที่สำหรับความเร็วการจ่ายม่านอากาศ มุมจ่าย และความเร็วลมที่แตกต่างกัน แต่จะแปรผันตามทิศทางลม

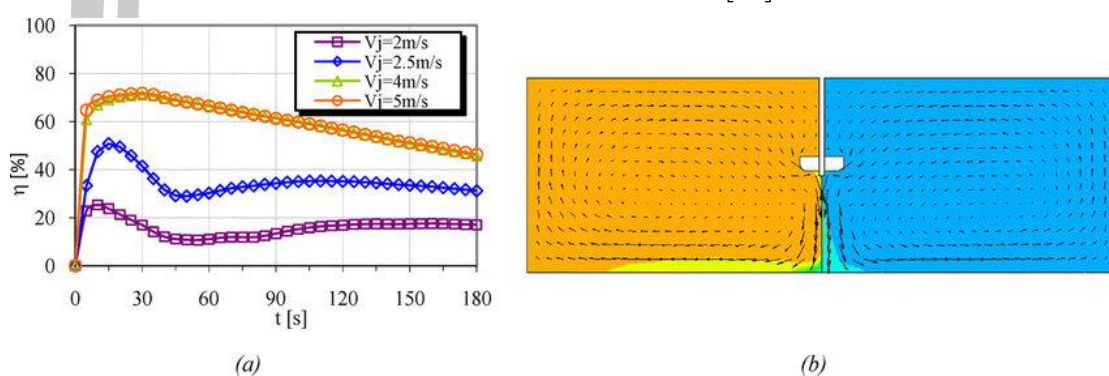
J.C. Gonçalves [33] ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบการปิดผนึกทางเข้าประตูห้องเย็นตามหลักอากาศพลศาสตร์โดยใช้ม่านอากาศแนวตั้งและแนวนอน (ACD) ติดตั้งไว้ทั้งสองด้านของประตู มีจุดประสงค์คือ พัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการจำลองการไหลของอากาศ 3 มิติ แบบปั่นป่วนที่ไม่ร้อนจัด ซึ่งเกิดจากม่านอากาศในระยะเวลาอันสั้นหลังจากเปิดประตู สนามการไหลของอากาศที่เกิดจากการลอยตัวเมื่อปิดม่านอากาศ (ACD) และเปิดประตูถูกมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการประเมินประสิทธิภาพการปิดผนึกประตูห้องเย็น

ผลลัพธ์เชิงตัวเลขมีความเป็นไปได้และสอดคล้องกับการตีความทางกายภาพของปรากฏการณ์การพาความร้อน จากการตรวจสอบก่อนหน้านี้ การทดลองติดตั้งม่านอากาศไว้เพียงอย่างเดียว ทำให้อากาศจากภายนอกยังคงไหลเข้ามาดังภาพประกอบ 24 พบความเร็วที่เหมาะสมของไอพ่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการปิดผนึกสูงสุด ข้อดีของการติดตั้ง ACD ภายนอกห้องเย็นแสดงให้เห็นได้จากการจำลองในปัจจุบัน การศึกษา ม่านอากาศแบบเป่าลงมีประสิทธิภาพการปิดผนึกที่ดีกว่า (มากกว่าร้อยละ 70) เมื่อเทียบกับม่านอากาศแบบแนวนอน (ประมาณร้อยละ 55) แม้ว่าการหมุนเวียนอากาศโดยตรงจะให้ประสิทธิภาพการปิดผนึกที่ดีขึ้น (มากกว่าร้อยละ 80) ดังภาพประกอบ 25 แต่ความซับซ้อนของระบบ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาจะมีความยาก

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบ 24 การติดตั้งมันอากาศไว้ด้านนอก [33]



ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการปิดผนึกของมันอากาศคู่ [33]



ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Hui Fang, Xiaoxu Wu, Xueyong Zou, Xiaofan Yang [20]	เพื่อลดการกัดเซาะของลมโดย การลดความเร็วลมใกล้พื้นผิว	เพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแผง กันลมในวิศวกรรมเมโอเดียน	- จำลองพลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณ (CFD) แบบ 3 มิติที่มี ความละเอียดสูง เพื่อวิเคราะห์ การไหลของอากาศที่ไหลผ่าน แผงกันลม และสำรวจการ ออกแบบที่เหมาะสมที่สุด - ทดลองในอุโมงค์ลมเพื่อ ทดสอบผลกระทบของความ พรุนของแผงกันลมและความ โน้มเอียงต่อการลดความเร็วลม	แผงกันลมที่มีความพรุน 0.3- 0.4 ให้ระยะก้ำบังที่มี ประสิทธิภาพดีที่สุดและให้ใช้ ระยะห่างระหว่างแผงกันลมที่ เหมาะสมที่สุดที่ 12-15 ซม. ขึ้นอยู่กับความเร็วลมในท้องถิ่น
Hyun-Jun Kim, Sang-Sub Han [21]	เพื่อตรวจสอบผลกระทบของ ความพรุนของแผงกันลมและ ความโน้มเอียงต่อการลด ความเร็วลม เพื่อเป็นแนวทาง ในการสร้างปกป้องกันลมที่มี ประสิทธิภาพ	ตรวจสอบผลกระทบของความพรุน ของแผงกันลมและความโน้มเอียง ต่อการลดความเร็วลม	- ทดลองในอุโมงค์ลมเพื่อ ทดสอบผลกระทบของความ พรุนของแผงกันลมและความ โน้มเอียงต่อการลดความเร็วลม	แผงกันลมที่มีความพรุน 0% และความเอียง 90 องศา ให้ การป้องกันลมในระดับสูงสุด

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์) (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Xiaoxu Wu, Xueyong Zou, Chunlai Zhang, Rende Wang, Jingyan Zhao [22]	เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพที่ กำลังของแผงกั้นลมที่มีความ พรุน พื้นที่แถว และจำนวน แถวที่แตกต่างกัน โดยอิงจาก การตรวจวัดอุณหภูมิ	เปรียบเทียบคุณภาพที่กำลังของ แผงกั้นลมกับความพรุน พื้นที่แถว และหมายเลขแถวที่แตกต่างกัน โดยอาศัยการตรวจวัดในอุณหภูมิ	วัดความเร็วลมในอุโมงค์เพื่อ เปรียบเทียบคุณภาพที่กำลังของ แผงกั้นลมที่มีความพรุน พื้นที่แถว และหมายเลขแถวที่แตกต่างกัน	แผงกั้นลมที่มีความพรุน 0.35 ให้ผลกำลังที่ดีที่สุดในแง่ของ การลดความเร็วลม โดย แนะนำช่วงความพรุนที่ เหมาะสมที่สุดที่ 0.3-0.4 สำหรับลดผลกระทบต่อการ ไหลของอากาศในอุโมงค์ลม
Gordon M. Heister, David R. Dewalle [23]	เพื่อศึกษาผลกระทบของ โครงสร้างกั้นลมต่อการไหล ของลม โดยมุ่งเน้นไปที่การ ทำความเข้าใจผลกระทบเชิง หน้าที่ของแผ่นกั้นลมต่อการ ไหลของอากาศ	ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างกั้น ลมต่อการไหลของลม โดยเน้นไปที่ การลดความเร็วลม ความปั่นป่วน และความพรุน	- วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างโครงสร้างกั้นลม การ ลดลม ความปั่นป่วน และตัว แปรอื่น ๆ	แผงกั้นลมสามารถลดความเร็ว ลมลงร้อยละ 20 ซึ่งสรุปได้ว่า ยิ่งความโปร่งมากก็จะทำให้ สามารถลดความเร็วลมได้น้อย ขณะเดียวกันหากความโปร่ง ของแผงกั้นลมน้อยก็จะทำให้ สามารถลดความเร็วลมได้มาก

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
L. J. Hagen, E. L. Skidmore [24]	เพื่อหาแนวโน้มกันลมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และคาดการณ์ผลกระทบที่มีต่อผลผลิตพืช ความคงตัวของดิน และการระเหยของน้ำ	พิจารณาความสามารถของแผงกันลมในการลดความเร็วลม	- เครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่องวัดความเร็วลมและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศนำมาใช้เพื่อวัดความเร็วลม ความเร็วแนวตั้ง และอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ - ทำการทดลองกับแนวกันลมที่มีระดับความพรุนต่างกันเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของการไหลในแนวดิ่งเฉลี่ยและความผันผวนของความเร็วปั่นป่วน	ความพรุนของแผงกันลมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสามารถของแผงกันลมในการลดความเร็วลม

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Se-Woon Hong, In-Bok Lee, Hyun-Seob Hwang [25]	เพื่ออธิบายการลดความเร็วลมด้วยรั้วกันลมเพื่อให้ข้อเสนอแนะในการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ	การพัฒนาแบบจำลองการถดถอยสำหรับการออกแบบรั้วกันลม โดยเน้นไปที่การลดความเร็วลมด้วยรั้วกันลมโดยเฉพาะ	การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และการทดลองในอุโมงค์ลม เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการถดถอยสำหรับการออกแบบรั้วกันลม	รั้วกันลมสามารถลดความเร็วลมได้อย่างมีประสิทธิภาพและแบบจำลองการถดถอยที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้เป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้จริงสำหรับการออกแบบรั้วกันลมหรือชุดรั้ว
Hrvoje Kozmar, Lorenzo Procino b, Alessandra Borsani b, Gianni Bartoli [26]	เพื่อทดลองประสิทธิภาพการกักบังของแผงกั้นลมบนสะพานในอุโมงค์ลม	ประสิทธิภาพการกักบังของแผงกั้นลมบนสะพานในอุโมงค์ลม	ใช้เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV) เพื่อกำหนดสนามความเร็วเฉลี่ยและสนามกระแสหมุนวน	แผงกั้นลมบนสะพานมีประสิทธิภาพในการลดความเร็วลมและหากไม่มีสิ่งกีดขวางลม ความเร็วลมบนสะพานจะสูงถึงร้อยละ 80

ตาราง 1 บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Ming Wang, Zuxiang Wang, Xiaowei Qiu, Xingxing Li, Xiaozhen Li [27]	เพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์แบบไดนามิกของสิ่งกีดขวางทางลมต่อคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของรถไฟความเร็วสูงที่วิ่งบนสะพานในสภาพแวดล้อมที่มีลมแรง	ประสิทธิภาพการกันลมของแผงกันลมในลักษณะแอโรไดนามิกของรถไฟความเร็วสูงที่วิ่งบนสะพานที่รองรับแบบเรียบง่าย	ทดสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นในอุโมงค์ลม	พบว่าการติดตั้งแผงกันลมสามารถลดผลกระทบของแรงดันลมได้อย่างมาก โดยประสิทธิภาพการวิ่งของรถไฟ
Ping Lou, Wei-ming Tao, Chenzhi Cai, Xuhui He, Yunfeng Zou, Yuyan Ai [28]	ตรวจสอบผลกระทบของแผงกันลมโค้งที่มีความโค้งที่แตกต่างกันต่อลักษณะอากาศพลศาสตร์ของลมขวางของระบบสะพานรถไฟ	ตรวจสอบผลกระทบของแผงกันลมโค้งที่มีความโค้งต่างกันต่อลักษณะอากาศพลศาสตร์ของลมขวางของระบบสะพานรถไฟ	ศึกษาผลกระทบของสิ่งกีดขวางลมโค้งที่มีความโค้งต่างกันต่อลักษณะอากาศพลศาสตร์ของลมขวางของระบบสะพานรถไฟ	แผงกันลมแบบโค้งช่วยลดความเร็วลมบนดาดฟ้าสะพานให้ต่ำกว่าความสูงที่กำหนดได้อย่างมาก แนะนำให้ใช้แผงกันลมที่มีความโค้ง 0.35 เนื่องจากมีลักษณะสมดุตามหลักอากาศพลศาสตร์ของรถไฟและสะพาน

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Xiaoxuan Wu, Zhiyi Guo, Rende Wang, Peipei Fan, Hongxu Xiang, Xueyong Zou, Jie Yin, Hui Fang [29]	เพื่อสำรวจการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของรั้วลมแบบรวม ซึ่งรวมถึงแนวป้องกันลม และแผงกันลมอย่างเป็นระบบ เพื่อควบคุมการพังทลายของดิน	การออกแบบและการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของรั้วลมแบบรวม ซึ่งรวมถึงแนวกันลมและแผงกันลม	ใช้เทคนิคโมลิตีฟลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามมิติ (CFD) และแบบจำลองความปั่นป่วนของการขนส่งความเค้นเฉือน (SST) k- ω Reynolds Average Navier Stokes (RANS) ใน Open FOAM เพื่อจำลองสนามการไหลของอากาศรอบรั้วลม	รั้วลมแบบรวมแสดงประสิทธิภาพการบังลมที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับแนวกันลมจากพีชป่า โดยแนวกันลม Caragana ที่ปลูกเทียมนั้นมีประสิทธิภาพการบังลมสูงสุดที่ความเร็วลมสูง
Wei-ming Tao, Ping Lou, Yunfeng Zou, Chenzhi Cai, Xuhui He, Shuo-Jiang [30]	ตรวจสอบผลกระทบของความสูงและความพรุนต่อคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของระบบสะพานรถไฟ	ศึกษาผลกระทบของความสูงและความพรุนของแผงกันลม	ใช้การจำลองเชิงตัวเลขและวิธีทดสอบในอุโมงค์ลม วิเคราะห์แรงลมคงที่ของแผงกันลมประเภทรั้วโค้งและแนวตั้ง โดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลากและการกระจายแรงดันลมที่พื้นผิว	แผงกันลมแบบโค้งช่วยลดแรงลากและโมเมนต์ของรถไฟและลดผลกระทบของแรงแอโรไดนามิกบนสะพานให้เหลือน้อยที่สุด

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Tian Qin, Li Xuotong [31]	ลดความเร็วลมและผลกระทบ ต่อยานพาหนะที่วิ่งบนสะพาน	ป้องกันความเสียหายต่อแผงกัน ลม	ติดตั้งแผงกันลมแบบเบี่ยงเบน ขอบสะพาน	ลดผลกระทบที่วิ่งบนสะพาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันความเสียหาย ต่อแผงกันลมและ โครงสร้างของสะพาน
Cheng Zhang, Senwen Yang, Chang Shu, Liangzhu (Leon) Wang, Ted Stathopoulos [32]	ทำการศึกษามานอากาศที่ ติดตั้งไว้ที่ทางเข้าอาคาร มี วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบ ประสิทธิภาพของมานอากาศ ภายใต้สภาวะลมต่าง ๆ และ ทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ของ มานอากาศกับลม	ทำการศึกษามานอากาศที่ติดตั้ง ไว้ที่ทางเข้าอาคาร	โดยทำการทดลองกับแบบจำลอง อาคารขนาดเล็กที่มีมานอากาศ ในอุโมงค์ลม	ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลม สำหรับมานอากาศมี ค่าคงที่สำหรับความเร็ว การจ่ายมานอากาศ มุม จ่าย และความเร็วลมที่ แตกต่างกัน แต่ละแปรผัน ตามทิศทางลม

ตาราง 1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
J.C. Gonçalves, J.J. Costa, A.R. Figueiredo, A.M.G. Lopes [33]	ทำการศึกษาเปรียบเทียบการปิดผนึกทางเข้าประตูห้องเย็นตามหลักอากาศพลศาสตร์โดยใช้मानอากาศแนวตั้งและแนวนอน (ACD) ติดตั้งไว้ทั้งสองด้านของประตู	การประเมินประสิทธิภาพการปิดผนึกในสถานการณ์ต่าง ๆ รวมถึง मानอากาศที่ติดตั้งภายในภายนอก หรือทั้งสองด้านของประตู ตรวจสอบข้อดีของการติดตั้ง ACD นอกห้องเย็นผ่านการจำลอง	พัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการจำลองการไหลของอากาศ 3 มิติ จำลองสนามการไหลของอากาศที่เกิดจากการลอยตัวเมื่อปิดमानอากาศ (ACD) และเปิดประตู	การปิดผนึกमानอากาศในแนวตั้งมีประสิทธิภาพดีกว่าแนวนอน

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าหากต้องการลดความเร็วลมสามารถใช้แผงกันลมในการลดความเร็วลมได้และสามารถออกแบบแผงกันลมโดยปัจจัยของแผงกันลมนั้นได้จากการกำหนดความสูง ความโปร่ง วัสดุและรูปลักษณะของแผงกันซึ่งยิ่งความโปร่งมากก็จะทำให้สามารถลดความเร็วลมได้น้อย ขณะเดียวกันหากความโปร่งของแผงกันลมน้อยก็จะทำให้สามารถลดความเร็วลมได้มาก ความเร็วและทิศทางการลมภายในเครื่องพันฟิล์มจะมีการไหลที่เหมาะสมต่อการหุ้มฟิล์มอยู่แล้ว แต่หากลมจากภายนอกและลมจากโซนทำความเย็นพัดเข้าสู่ภายในเครื่องพันฟิล์ม อาจส่งผลกระทบต่อสภาวะของลมภายในเครื่องพันฟิล์ม ทำให้ลมภายในเครื่องพันฟิล์มแปรปรวน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยของฉากกันที่ส่งผลต่อความเร็วลมในการหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มหัดแบบอุโมงค์ความร้อน (Heat Tunnel Shrink Wrapping) โดยการเปรียบเทียบความเร็วลมก่อนติดตั้งฉากกัน - หลังติดตั้งฉากกัน เพื่อออกแบบฉากกันที่มีผลต่อความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มที่เหมาะสม ลดความแปรปรวนของลมภายในเครื่องพันฟิล์มหัด ส่งผลให้ได้รับการหุ้มผลิตภัณฑ์ที่ดี ลดของเสียในกระบวนการบรรจุ



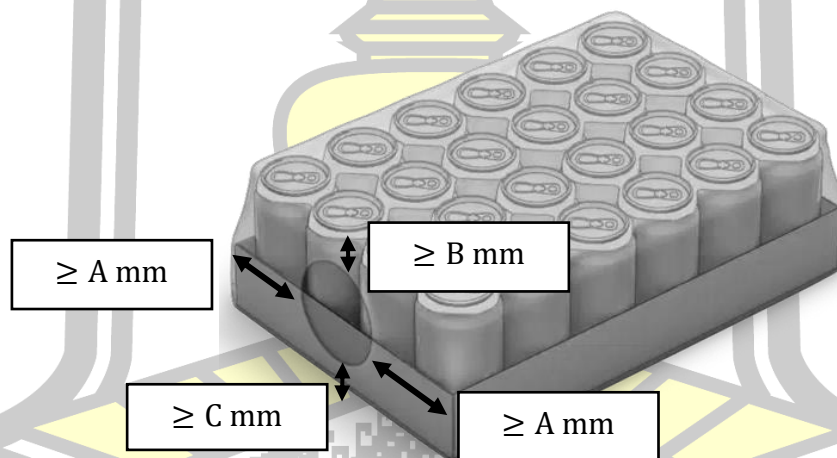
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งที่จะศึกษาเรื่อง ผลกระทบของฉากันที่มีต่อความเร็วลมเครื่องพ่นฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงสาระสำคัญเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาค้นคว้า คือ (1) ศึกษาผลกระทบที่ส่งผลต่อการหดตัวของฟิล์มภายในเครื่องพ่นฟิล์มหด (2) ศึกษาผลกระทบของลมจากโซนทำความเย็นและลมจากภายนอกที่ส่งผลกระทบท่อลมภายในเครื่องพ่นฟิล์ม โดยมีวิธีและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินการเก็บข้อมูล

3.1.1 กำหนดมาตรฐานลักษณะการหุ้มฟิล์มจากขอบลาดถึงหน้าต่างฟิล์ม



ภาพประกอบ 26 มาตรฐานฟิล์มหุ้มแพ็ก

พูน ปณ จิต ชเว

3.1.1.1 फिल्मที่ได้มาตรฐาน

- 1) ความกว้างของหน้าต่างด้านข้าง फिल्मหุ้มแพ็คต้อง $\geq A$ mm
- 2) ความกว้างของหน้าต่างด้านบน फिल्मหุ้มแพ็คต้อง $\geq B$ mm
- 3) ความกว้างของหน้าต่างด้านล่าง फिल्मหุ้มแพ็คต้อง $\geq C$ mm

3.1.1.2 फिल्मที่ไม่ได้มาตรฐาน

- 1) ความกว้างของหน้าต่างด้านข้าง फिल्मหุ้มแพ็คจะ $< A$ mm
- 2) ความกว้างของหน้าต่างด้านบน फिल्मหุ้มแพ็คจะ $< B$ mm
- 3) ความกว้างของหน้าต่างด้านล่าง फिल्मหุ้มแพ็คจะ $< C$ mm

3.1.2 ตัวแปรที่มีการเก็บข้อมูลมีดังนี้

3.1.2.1 ลักษณะฟิล์มหด

1) กลุ่มตัวอย่าง ลักษณะการหุ้มฟิล์ม 100 แพ็คประกอบด้วยฟิล์มที่ได้มาตรฐานคิดเป็น 67% ฟิล์มที่ไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็น 32%

3.1.2.2 ความเร็วลมก่อนติดตั้งฉากั้น

กำหนดความเร็วลมเป่าล่างที่ระดับ X ความเร็วลมเป่าข้างที่ระดับ Y ระยะห่างที่ทำการวัดความเร็วลม A CM ตำแหน่งเป่าด้านข้าง 2 จุด เป่าด้านล่าง 1 จุด ระยะเวลาที่ทำการจับเวลา 120 วินาที

2) กลุ่มตัวอย่าง ความเร็วเฉลี่ยเป่าด้านข้าง 2 จุด 9,582 (CFM) ความเร็วเฉลี่ยเป่าด้านล่าง 7,925 (CFM) (CFM = Cubic Feet per Minute)

3.2 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) เกี่ยวกับการศึกษาความเร็วลมและทิศทางลมที่ส่งผลต่อการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อนภายในโรงงานเครื่องตีเมท้านั้น

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีทั้งสิ้น 2 เครื่องมือ ประกอบด้วย แผนภูมิเส้น แผนภูมิแท่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1.1 แผนภูมิเส้นสำหรับเปรียบเทียบความเร็วลมก่อน – หลังติดตั้งฉากกัน

3.3.1.2 แผนภูมิแท่งสำหรับเปรียบเทียบจำนวนลักษณะฟิล์มที่ผ่านมาตรฐานและจำนวนฟิล์มที่ไม่ผ่านมาตรฐาน

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

3.3.2.1 เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer / Air Flow - Type (anemometer)

3.3.2.2 ฉากกัน

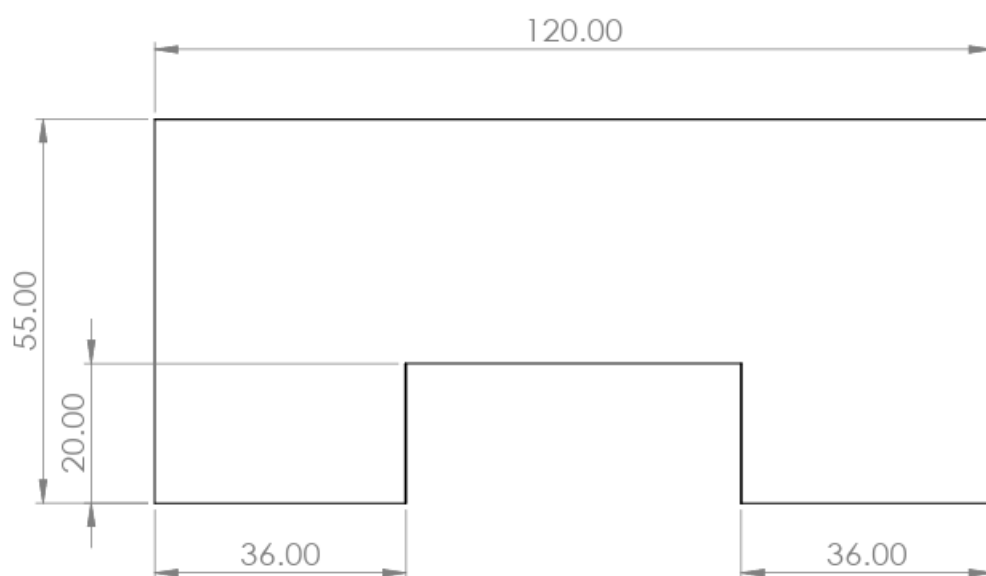
ขั้นตอนการออกแบบฉากกัน

1) วัดขนาดทางเข้า - ทางออกของเครื่องพันฟิล์มหัด เพื่อให้มีความกว้าง ความสูงที่พอดีกับทางเข้า – ออกและเหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งฉากกันจะต้องสามารถปิดทางเข้า – ออกของเครื่องพันฟิล์มได้พอดี

2) รูปทรงของฉากกัน การออกแบบรูปทรงควรออกแบบตามลักษณะทางเข้าและทางออกของเครื่องพันฟิล์ม และลักษณะของผลิตภัณฑ์

3) วัสดุของฉากกันที่เลือกใช้งานคือ สแตนเลส 304 ซึ่งสามารถรักษาความแข็งแรง ความต้านทานความร้อนในอุณหภูมิสูง สภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำและยังมีความต้านทานการกัดกร่อน



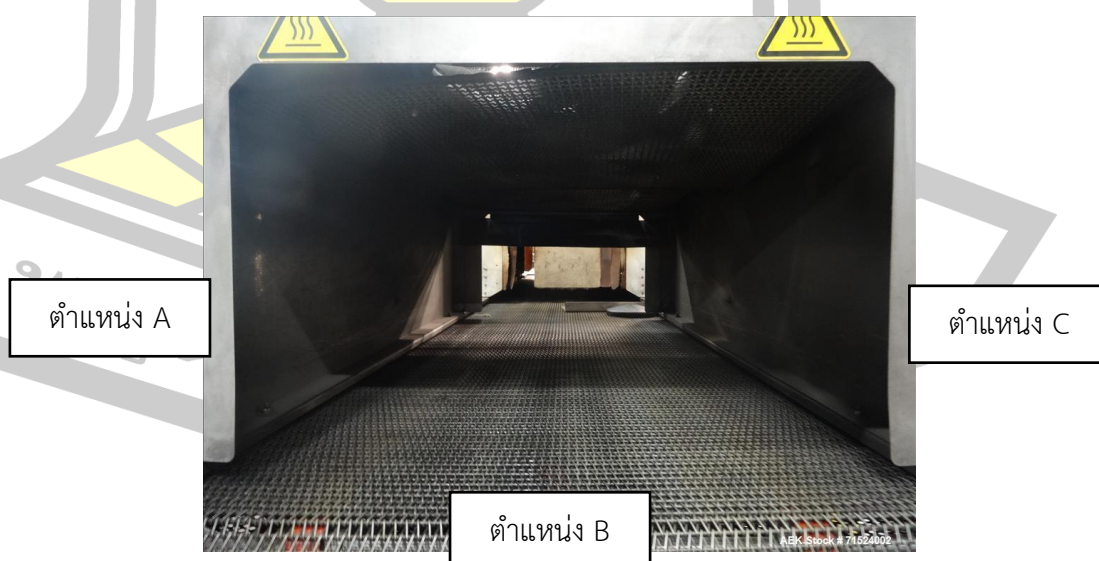


ภาพประกอบ 27 ฉากกัน

3.4 การดำเนินการทดลอง

โดยวิธีการวิจัยจะดำเนินการทดลองดังนี้

3.4.1 กำหนดตำแหน่งในการวัดความเร็วลมด้านข้าง 2 จุด ด้านล่าง 1 จุด จับเวลา 120 วินาที โดยจะใช้ความเร็วลมที่วัดได้ หลังจากผ่านไป 30 วินาที



ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างตำแหน่ง A, B และ C

3.4.2 วัดความเร็วลมเป่าข้าง แบบไม่มีฉากกั้นที่ทางออกที่ตำแหน่ง A, C และวัดความเร็วลมเป่าล่าง แบบไม่มีฉากกั้นที่ทางออกที่ตำแหน่ง B

3.4.3 บันทึกจำนวนลักษณะการหลุดตัวฟิล์มที่ได้ผ่านมาตรฐานและไม่ได้ผ่านมาตรฐาน

3.4.4 วัดความเร็วลมเป่าข้าง แบบมีฉากกั้นที่ทางออกที่ตำแหน่ง A, C และวัดความเร็วลมเป่าล่าง แบบมีฉากกั้นที่ทางออกที่ตำแหน่ง B

3.4.5 บันทึกจำนวนลักษณะการหลุดตัวฟิล์มที่ได้ผ่านมาตรฐานและไม่ได้ผ่านมาตรฐาน

3.4.6 วัดความเร็วลมเป่าข้าง แบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลมที่ทางออกที่ตำแหน่ง A, C และวัดความเร็วลมเป่าล่าง แบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลมที่ทางออกที่ตำแหน่ง B

3.4.7 บันทึกจำนวนลักษณะการหลุดตัวฟิล์มที่ได้ผ่านมาตรฐานและไม่ได้ผ่านมาตรฐาน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิแท่งและแผนภูมิเส้น ดังนี้

3.5.1 แผนภูมิเส้น ใช้เปรียบเทียบความเร็วลมก่อนติดตั้งฉากกั้นกับความเร็วลมหลังติดตั้งฉากกั้น

3.5.2 แผนภูมิแท่ง ใช้เปรียบเทียบระหว่างจำนวนลักษณะฟิล์มที่ได้มาตรฐานและลักษณะฟิล์มที่ไม่ได้มาตรฐาน ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล

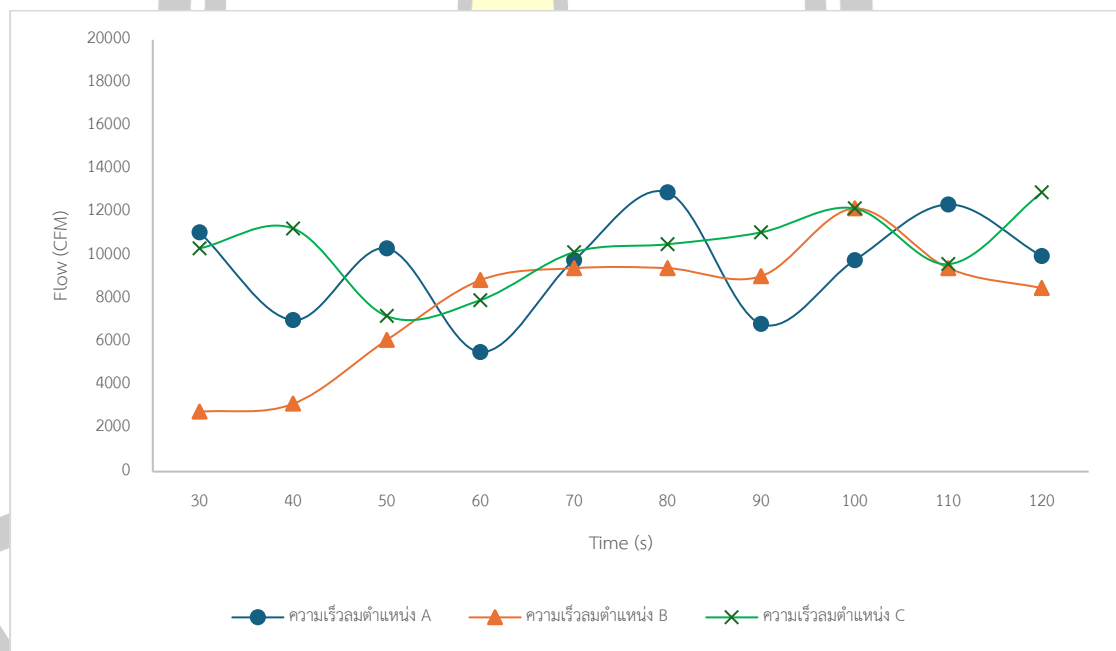


บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการทดลองวัดความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นและวัดความเร็วลมแบบมีฉากกั้นสำหรับการเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งฉากกั้น โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer / Air Flow - Type (anemometer) เพื่อวิเคราะห์ความเร็วลมเฉลี่ยก่อนมีฉากกั้นและหลังมีฉากกั้น การทดลองถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ การทดลองวัดความเร็วลมเฉลี่ยแบบไม่มีฉากกั้นที่ทางออกและการทดลองวัดความเร็วลมเฉลี่ยแบบมีฉากกั้นที่ทางออก ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยภายในเครื่องพ่นฟิล์มหัดแบบมีและไม่มีฉากกั้น

4.1 การทดลองวัดความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น



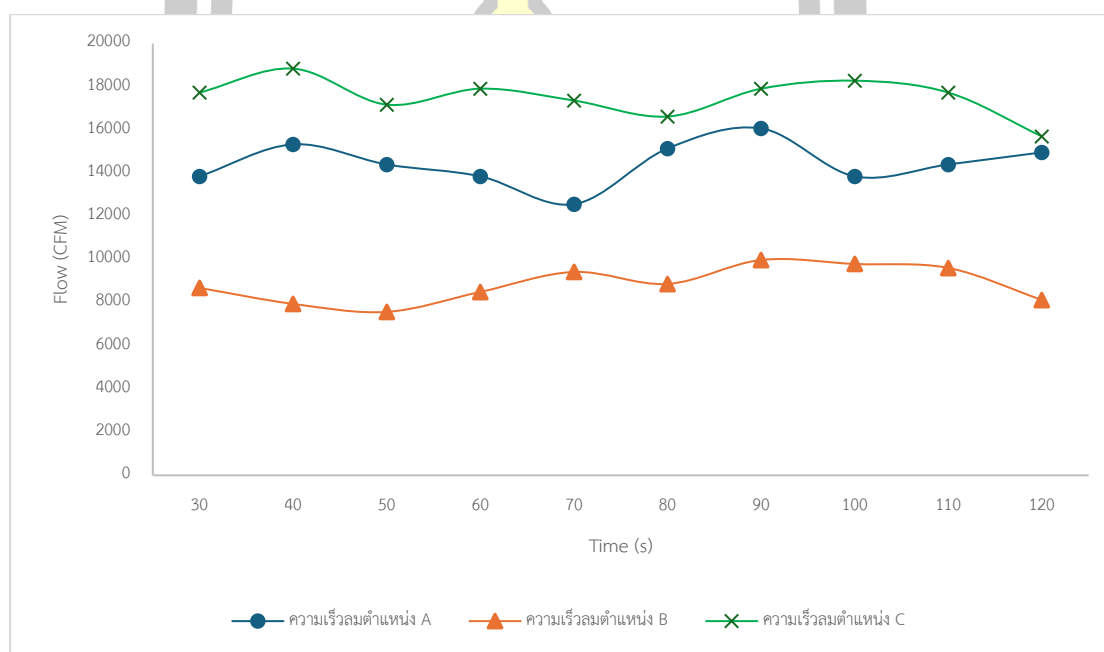
ภาพประกอบ 29 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นที่ตำแหน่ง A, B และ C

จากภาพประกอบ 29 สามารถสังเกตและวิเคราะห์ความเร็วลมในตำแหน่ง A, B และ C จากแผนภูมิเส้นได้ว่า ความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มหัดที่ปล่อยออกมานั้นมีแปรปรวนไม่มีเสถียรภาพทำให้ความเร็วที่วัดได้ขึ้น - ลง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ดัง ตาราง 2

ตาราง 2 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบไม่มีฉากกั้นที่ตำแหน่ง A, B และ C

ตำแหน่ง	ความเร็วต่ำสุด (CFM)	ความเร็วสูงสุด (CFM)	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
A	5,538	13,290	8,942	2,982
B	2,769	12,190	7,925	2,386
C	7,202	12,930	10,222	1,614

4.2 การทดลองวัดความเร็วลมแบบมีฉากกั้น



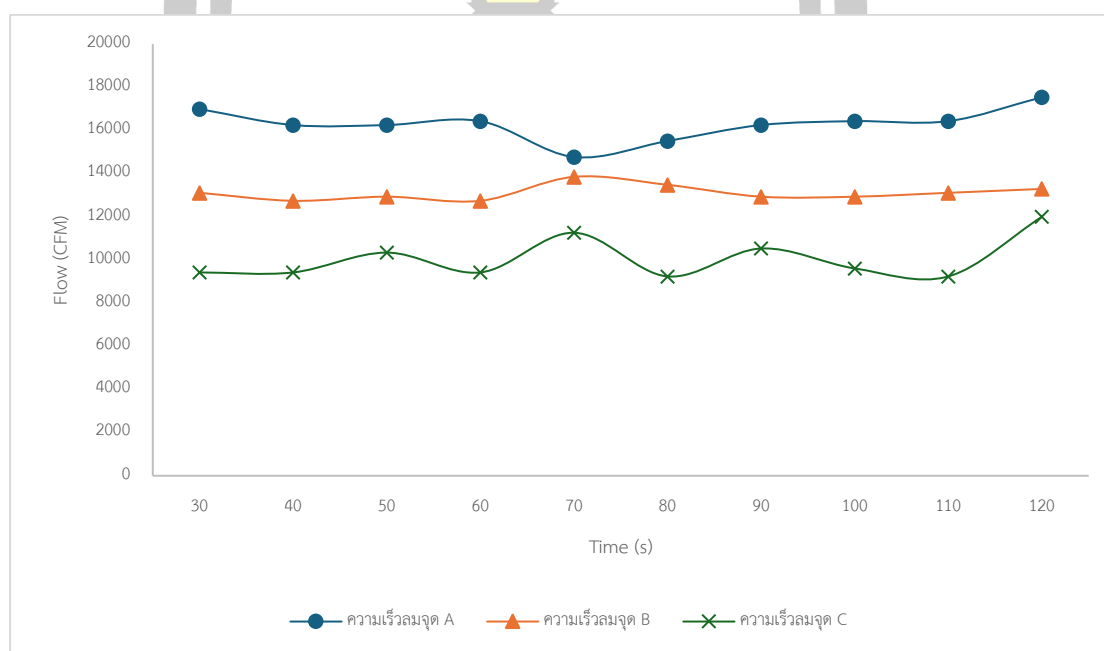
ภาพประกอบ 30 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกั้นที่จุด A, B และ C

จากภาพประกอบ 30 สามารถสังเกตและวิเคราะห์ความเร็วลมในตำแหน่ง A, B และ C จากแผนภูมิเส้นได้ว่า การติดตั้งฉากกั้นนั้นส่งผลให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในเครื่องพ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นและความเร็วลมที่วัดได้นั้นมีความแปรปรวนลดลง มีเสถียรภาพมากกว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกั้นได้ดัง ตาราง 3

ตาราง 3 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบมีฉากกั้นที่ตำแหน่ง A, B และ C

ตำแหน่ง	ความเร็วต่ำสุด (CFM)	ความเร็วสูงสุด (CFM)	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
A	12,560	16,070	14,382	931
B	7,572	10,710	9,040	887
C	15,700	19,580	17,766	967

4.3 การทดลองวัดความเร็วลมแบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม



ภาพประกอบ 31 แผนภูมิเส้นแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลมที่จุด A, B และ C

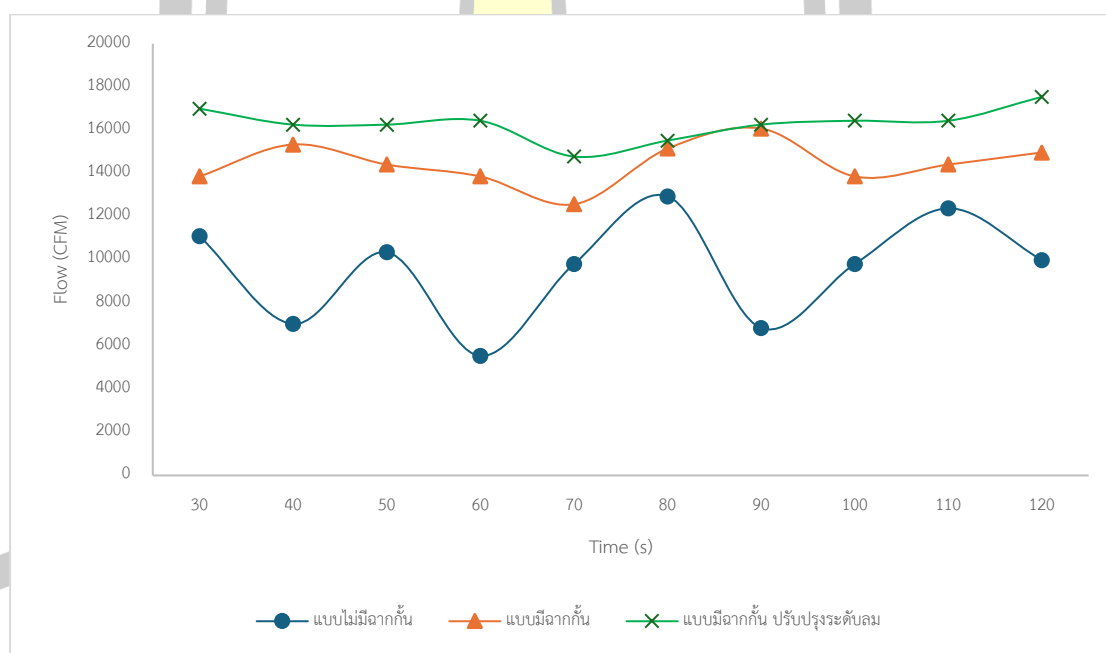
จากภาพประกอบ 31 สามารถสังเกตและวิเคราะห์ความเร็วลมในตำแหน่ง A, B และ C จากแผนภูมิเส้นได้ว่า การปรับปรุงความเร็วลมหลังติดตั้งฉากกั้น ซึ่งปรับปรุงโดยการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มและเพิ่มระยะกำแพงให้ห่างออกจากแพ็คเกจผลิตภัณฑ์ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในเครื่องพ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นและมีเสถียรภาพมากกว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นและมีฉากกั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงความเร็วลมแบบมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลมได้ดัง ตาราง 4

ตาราง 4 ผลลัพธ์การวัดความเร็วลม แบบมีฉากกั้นและปรับปรุงความเร็วลมที่ตำแหน่ง A, B และ C

ตำแหน่ง	ความเร็วต่ำสุด (CFM)	ความเร็วสูงสุด (CFM)	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
A	14,400	18,280	16,192	1,011
B	12,190	13,850	13,028	415
C	8,681	12,000	10,238	890

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

4.4.1 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง A

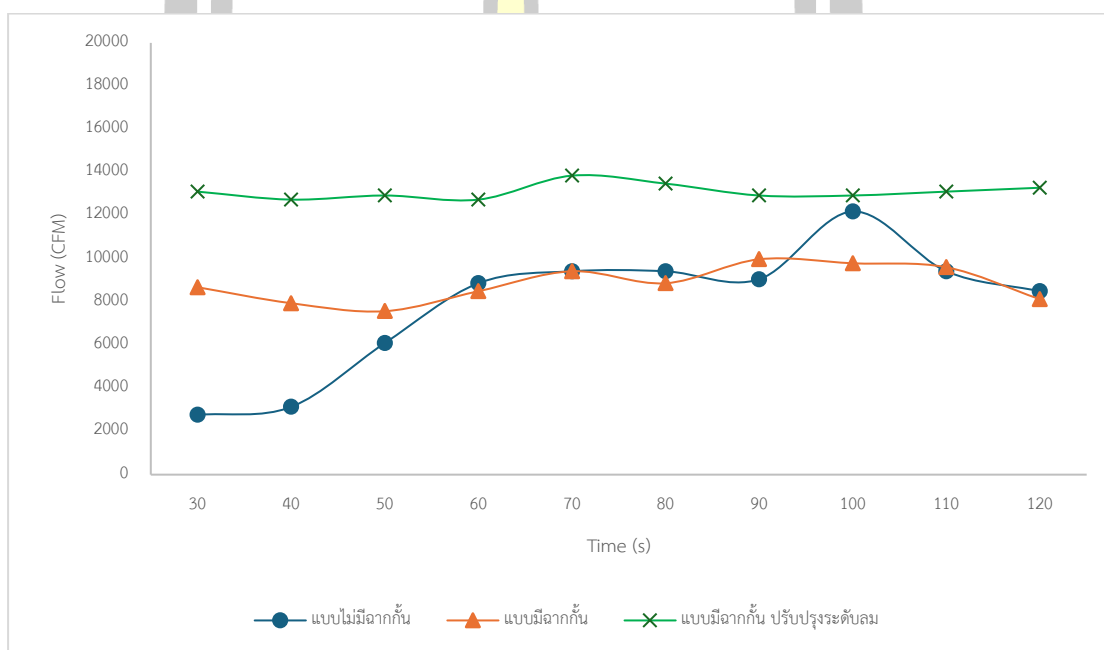


ภาพประกอบ 32 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง A

จากภาพประกอบ 32 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง A จะเห็นว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นที่ระดับ 8 นั้นมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 8,942 CFM หลังติดตั้งฉากกั้นความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 14,382 CFM และ

มีความเสถียรที่เพิ่มขึ้น แต่ความเร็วลม 14,382 CFM ยังเห็นว่ายังไม่เหมาะสมกับการทดสอบแพ็ก จึงมีการปรับปรุงความเร็วลมโดยการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มลงมาที่ 5 ทำให้ได้ความเร็วลมเฉลี่ยหลังปรับปรุงอยู่ที่ 16,192 CFM จึงเป็นความเร็วลมที่เหมาะสมแก่การทดสอบในตำแหน่ง A

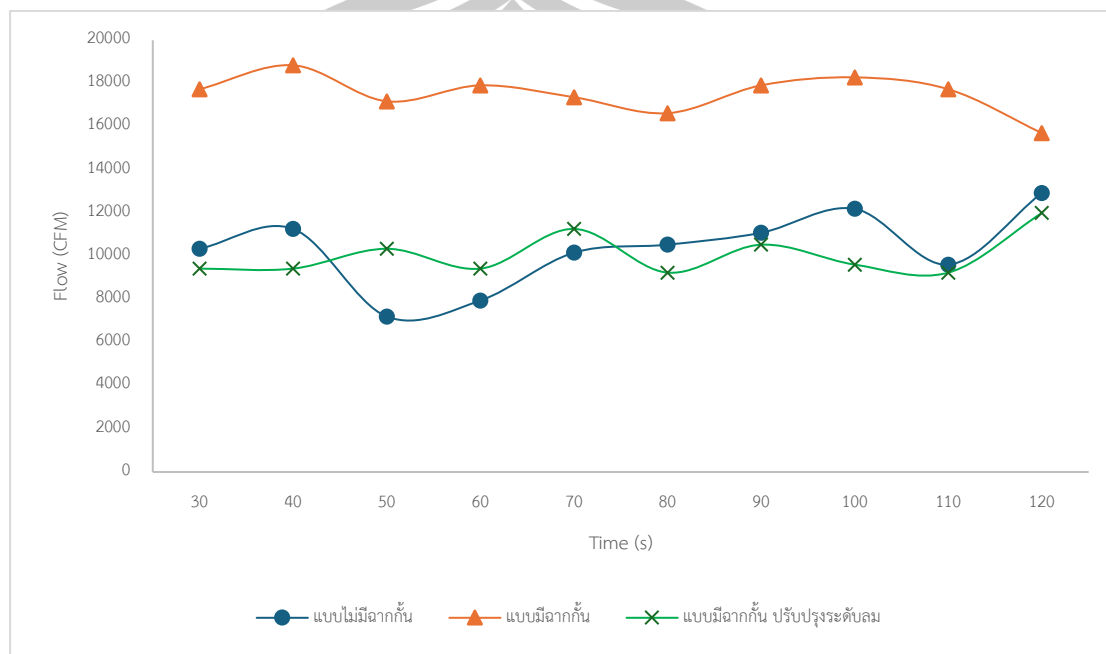
4.4.2 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B



ภาพประกอบ 33 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B

จากภาพประกอบ 33 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B จะเห็นว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นที่ระดับ 8 นั้นมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 7,925 CFM หลังติดตั้งฉากกั้นความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 9,040 CFM และมีความเสถียรที่เพิ่มขึ้น แต่ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 9,040 CFM ยังเห็นว่ายังไม่เหมาะสมกับการทดสอบแพ็ก ในตำแหน่ง B จึงมีการปรับปรุงความเร็วลมโดยการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มลงมาที่ระดับ 4 และเพิ่มระยะกำแพงให้เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ความเร็วลมเฉลี่ยหลังปรับปรุงอยู่ที่ 13,028 CFM จึงเป็นความเร็วลมที่เหมาะสมแก่การทดสอบในตำแหน่ง B

4.4.3 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง C



ภาพประกอบ 34 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง B

จากภาพประกอบ 34 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง C จะเห็นว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นที่ระดับ 8 นั้นมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 10,222 CFM หลังติดตั้งฉากกั้นความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 17,766 CFM และมีความเสถียรที่เพิ่มขึ้น แต่ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 17,766 CFM ยังเห็นว่ายังไม่เหมาะสมกับการหัดหุ้มแพ็กในตำแหน่ง B จึงมีการปรับปรุงความเร็วลมโดยการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มลงมาที่ระดับ 5 และเพิ่มระยะกำแพงให้เพิ่มขึ้นจากเดิม 5 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 15 เซนติเมตร ทำให้ได้ความเร็วลมเฉลี่ยหลังปรับปรุงอยู่ที่ 10,238 CFM จึงเป็นความเร็วลมที่เหมาะสมแก่การหัดหุ้มในตำแหน่ง C

ตาราง 5 เปรียบเทียบความเร็วต่ำสุด แบบไม่มีฉากัน มีฉากันและมีฉากันปรับปรุงความเร็วลม

ตำแหน่ง	ไม่มีฉากัน	มีฉากัน	มีฉากันปรับปรุง ความเร็วลม
	ความเร็วต่ำสุด (CFM)	ความเร็วต่ำสุด (CFM)	ความเร็วต่ำสุด (CFM)
A	1,219	12,560	14,400
B	2,769	7,572	12,190
C	7,202	15,700	8,681

ตาราง 6 เปรียบเทียบความเร็วสูงสุด แบบไม่มีฉากัน มีฉากันและมีฉากันปรับปรุงความเร็วลม

ตำแหน่ง	ไม่มีฉากัน	มีฉากัน	มีฉากันปรับปรุง ความเร็วลม
	ความเร็วสูงสุด (CFM)	ความเร็วสูงสุด (CFM)	ความเร็วสูงสุด (CFM)
A	1,219	13,290	18,280
B	2,769	12,190	13,850
C	7,202	12,930	12,000

ตาราง 7 เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ย แบบไม่มีฉากัน มีฉากันและมีฉากันปรับปรุงความเร็วลม

ตำแหน่ง	ไม่มีฉากัน	มีฉากัน	มีฉากันปรับปรุง ความเร็วลม
	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)	ความเร็วเฉลี่ย (CFM)
A	8,942	14,382	16,192
B	7,925	9,040	13,028
C	10,222	17,766	10,238

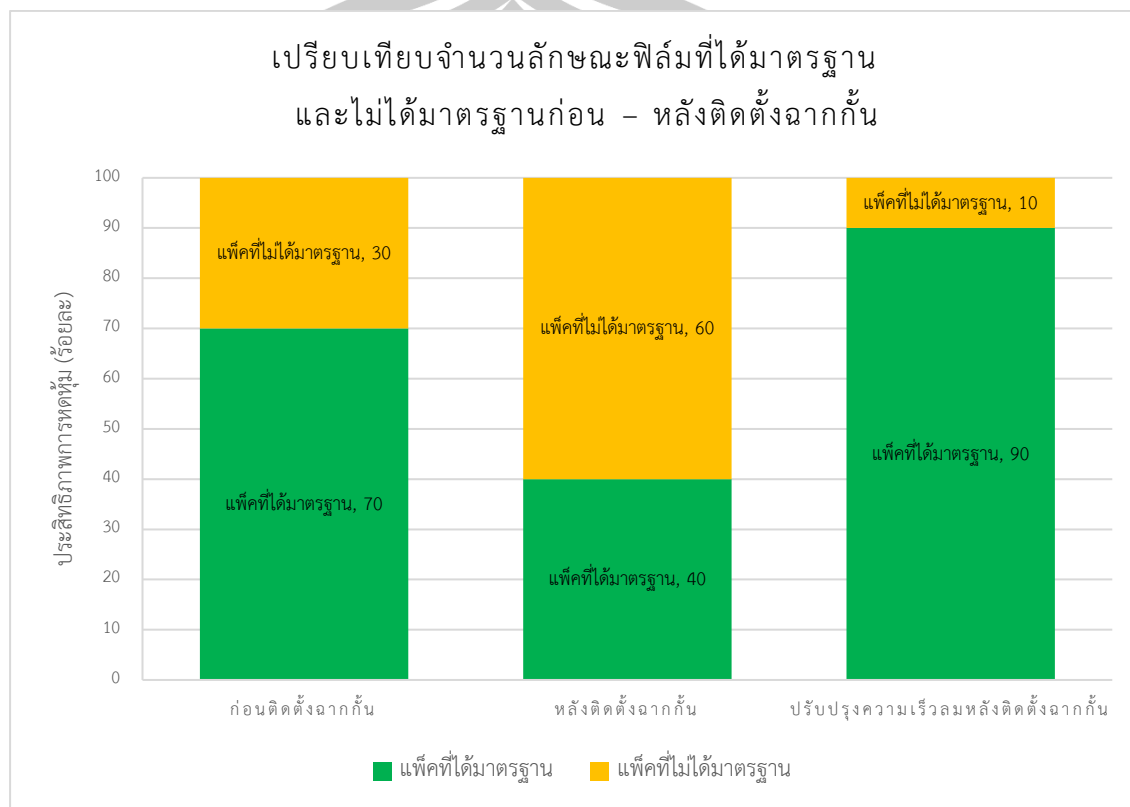
ตาราง 8 เปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุง
ความเร็วลม

ตำแหน่ง	ไม่มีฉากกั้น	มีฉากกั้น	มีฉากกั้นปรับปรุง ความเร็วลม
	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
A	2,982	931	1,011
B	2,386	887	415
C	1,614	967	890

จากตาราง 5 6 7 และ 8 เปรียบเทียบความเร็วต่ำสุด ความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ผลทดลองปรากฏว่าแบบมีฉากกั้นมีค่าความเร็วลมเพิ่มขึ้น และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง เมื่อเทียบกับค่าความเร็วลมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบไม่มีฉากกั้น และการปรับปรุงความเร็วลมหลังติดตั้งฉากกั้น โดยการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มและเพิ่มระยะห่างกำแพง ทำให้ได้ความเร็วลมที่เหมาะสมที่สุดแก่การหัดหุ้ม ส่งผลให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบไม่มีฉากกั้นและมีฉากกั้น

และจากภาพประกอบ 32 33 และ 34 เปรียบเทียบความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น มีฉากกั้นและมีฉากกั้นปรับปรุงความเร็วลม ตำแหน่ง A B และ C ผลการทดลองพบว่าหลังติดตั้งฉากกั้นทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิมและมีความเสถียรที่เพิ่มขึ้น แต่ความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มยังไม่เหมาะสมแก่การหัดหุ้ม ฉะนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์ม โดยการลดระดับความเร็วลม ซึ่งในตำแหน่ง A และ C ใช้ระดับความเร็วลมเดียวกันซึ่งเมื่อปรับลดลงมาแล้วในตำแหน่ง A สามารถให้การหัดหุ้มที่เหมาะสม แต่ในตำแหน่ง C นั้นยังไม่สามารถให้การหัดหุ้มที่เหมาะสมได้จึงต้องเพิ่มระยะกำแพงห่างออกจากแพ็คผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถหัดหุ้มได้ และในการหัดหุ้มตำแหน่ง B นั้นหลังติดตั้งฉากกั้นจะเห็นว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นและความเสถียรเพิ่มขึ้น ถึงกระนั้นก็ยังไม่สามารถหัดหุ้มได้ จึงต้องลดระดับความเร็วลมลง ทำให้ความเร็วลมและความเสถียรเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้ความเร็วลมนี้เหมาะสมแก่การหัดหุ้มในตำแหน่ง B

4.4.4 เปรียบเทียบจำนวนลักษณะฟิล์มที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานก่อนและหลังติดตั้งฉากัน



ภาพประกอบ 35 เปรียบเทียบจำนวนลักษณะฟิล์มที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานก่อน - หลังติดตั้งฉากัน

จากภาพประกอบ 35 เปรียบเทียบจำนวนลักษณะฟิล์มหุ้มแฟ้มที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน พบว่าก่อนติดตั้งฉากันฟิล์มที่ได้มาตรฐานอยู่ที่ร้อยละ 70 ซึ่งหลังติดตั้งฉากันพบว่าฟิล์มไม่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมที่มากเกินไป ส่งผลทำให้ฟิล์มที่ได้มาตรฐานลดลงเหลือร้อยละ 40 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงความเร็วลมหลังติดตั้งฉากัน โดยการลดระดับความเร็วภายในเครื่องพันฟิล์มและเพิ่มระยะห่างกำแพงให้ห่างแฟ้มผลิตมากขึ้น ส่งผลให้ได้ความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มที่เหมาะสมแก่การหุ้ม ผลลัพธ์การปรับปรุงพบว่า การหุ้มฟิล์มที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผล

ผลลัพธ์จากการทดลองการวัดความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นและมีฉากกั้น พบว่าการติดตั้งฉากกั้นไว้ที่บริเวณทางออกของเครื่องพันฟิล์มหด ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ความเร็วลมเพิ่มขึ้นและมีความเสถียรมากกว่าความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้น ซึ่งความเร็วลมแบบไม่มีฉากกั้นนั้นมีการแปรปรวนและไม่มีเสถียรภาพแตกต่างจากความเร็วลมแบบมีฉากกั้นที่การแปรปรวนลดลงและมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลลัพธ์จากการทดลองยังทำให้เห็นว่าความเร็วที่อยู่ภายในเครื่องพันฟิล์มหดนั้นมีค่ามากขึ้น มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง เป็นผลให้ความเร็วลมที่อยู่ภายในเครื่องพันฟิล์มเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ ผลลัพธ์การทดลองยังทำให้เห็นว่าความเร็วลมส่งผลต่อการหดหุ้มฟิล์ม แม้ว่าความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มมีความเสถียรมากขึ้น แต่หากความเร็วลมมากเกินไปก็จะทำให้การหดหุ้มฟิล์มนั้นไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งการปรับปรุงระดับความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มหลังจากติดตั้งฉากกั้นให้เหมาะสม สามารถช่วยทำให้การหดหุ้มแพ็กมีประสิทธิภาพการหดหุ้มเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์แสดงถึงผลลัพธ์ของการติดตั้งฉากกั้นทำให้ความเร็วลมและเสถียรภาพภายในเครื่องพันฟิล์มเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการหดหุ้มของแพ็กผลิตภัณฑ์อีกด้วย

5.2 อภิปรายผล

ผลลัพธ์จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นของการทดลองติดตั้งฉากกั้น เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉากกั้นที่มีต่อความเร็วลมในการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน (Heat Tunnel Shrink Wrapping) พบว่าความเร็วและเสถียรภาพของลมภายในเครื่องพันฟิล์มหดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดตั้งฉากกั้นสามารถป้องกันลมจากลมจากโซนทำความเย็นไหลเข้าสู่ภายในเครื่องพันฟิล์มหด และยังลดการไหลของลมจากภายในเครื่องพันฟิล์มหดออกสู่ภายนอกของเครื่อง ส่งผลให้การหดหุ้มแพ็กผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานเพิ่มขึ้น ซึ่งหลังการติดตั้งฉากกั้นทำให้ต้องปรับปรุงระดับความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มลง ทำให้ความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มลดลง ส่งผลให้การหดหุ้มแพ็กผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมาตรฐานเพิ่มขึ้น จากผลลัพธ์ทำให้เห็นว่าลมจากโซนทำความเย็นและลมจากภายนอกมีผลกระทบต่อลมภายในเครื่องพันฟิล์มทำให้ลมภายในเครื่องพันฟิล์ม

แปรปรวนและไม่มีเสถียร ซึ่งส่งผลให้ของเสียที่เกิดขึ้นนั้นมาจากความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มที่แปรปรวนและไม่มีเสถียร

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองวัดความเร็วลมหลังติดตั้งฉากกัน พบว่าฉากกันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเร็วลมและเพิ่มเสถียรภาพของลมภายในเครื่องพันฟิล์มได้ดีกว่าแบบไม่มีฉากกัน ทั้งในด้านความเร็วลม คุณภาพการหดหุ้มแพ็กผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้การทดลองติดตั้งฉากกันได้ผลลัพธ์ของความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มมีเสถียรภาพ (Stability) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการหดหุ้มแพ็กผลิตภัณฑ์ ทำให้การหดหุ้มแพ็กผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำฉากกันไปใช้ร่วมกับเครื่องพันฟิล์มชนิดอื่นที่มีการแบ่งโซนทำความร้อนและโซนทำความเย็นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการติดตั้งฉากกันสามารถปรับลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มลงได้ ทำให้ระยะขอบหน้าต่างของแพ็กผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการลดระดับความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์มลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการหดหุ้มเพิ่มขึ้น การนำเสนอผลลัพธ์นี้ในมุมมองทางวิชาการช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่นในการใช้ฉากกันเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วและเสถียรภาพของลมภายในเครื่องพันฟิล์มหดในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉากกันที่มีต่อความเร็วลมในการหดหุ้มฟิล์มภายในเครื่องพันฟิล์มแบบอุโมงค์ความร้อน โดยทำการศึกษาค้นคว้าใน 2 หัวข้อหลักดังนี้

5.3.1 ฉากกัน (Partition) : การวิเคราะห์และทำความเข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วลมภายในเครื่องพันฟิล์ม โดยให้คำนึงถึงการติดตั้งฉากกันที่บริเวณทางเข้า – ออกของเครื่องพันฟิล์ม เพื่อให้ความเร็วลมมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น

5.3.2 เครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน (Heat Tunnel Shrink Wrapping) : การศึกษาและทำความเข้าใจถึงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน โดยให้คำนึงถึงการตั้งค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อมีการติดตั้งฉากกัน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง

5.3.3 การวางท่อภายในเครื่องพันฟิล์มหดแบบอุโมงค์ความร้อน (Heat Tunnel Shrink Wrapping) : การวางท่อภายในเครื่องพันฟิล์มหด ควรวางท่อลมที่เชื่อมกับกำแพงลมไว้ที่ฝั่งเดียวกัน

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้จะนำเสนอผลการทดลองวัดความเร็วลมภายในเครื่องพ่นฟิล์มแบบไม่มีฉากันและมีฉากัน ซึ่งหากติดตั้งฉากันต้องศึกษาการใช้งานเครื่องพ่นฟิล์มหดรแบบอุโมงค์ความร้อนที่มีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันหรือสภาพแวดล้อมภายนอกที่จะถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยสำคัญ ทำให้มีความซับซ้อนในการปรับแก้ไขค่าพารามิเตอร์ ดังนั้นผู้วิจัยต้องเข้าใจการทำงานของเครื่องพ่นฟิล์ม เพื่อให้การทำงานของเครื่องพ่นฟิล์มหดรแบบอุโมงค์ความร้อนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง



บรรณานุกรม

- [1] "อุตสาหกรรมเครื่องดัด," in legendnews, ed, 2551.
- [2] ว. ยงพิศาลภพ, "แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2565-2567: อุตสาหกรรมเครื่องดัด," in Krungsri Research, ed, 2565.
- [3] "เครื่องอบฟิล์มหด || Shrink Tunnel Machine," in packing-machine/เครื่องอบฟิล์มหด, ed, 2564.
- [4] "Shrink tunnel," in Innopack Kisters ST shrink tunnel, ed.
- [5] ผ. ภ. ศรีธรรมรัตน์, "โครงการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหลของของไหล ที่ไหลผ่าน Manifold ที่มีช่องการไหลแบบขนาดเล็ก," thesis.swu.ac.th, p. 15, 2549.
- [6] S. Raja, "One, Two and Three Dimension Flow," ed: The TECHE.COM, 2021.
- [7] "SP-367 Introduction to the Aerodynamics of Flight," in history.nasa.gov.
- [8] น. แ. ทวีพล, "Turbulent flow / การไหลแบบปั่นป่วน," ed, 2555.
- [9] (2555) การออกแบบและการทดสอบช่องระบายอากาศผ่านรื้อบัวดักน้ำ. cmuir.cmu.ac.th. 12.
- [10] ญ. เ. กุญชร ศรีพินิจ, รัตติกาล มหาเจริญ, "ชุดสาธิตอัตราการไหลของของไหล," lib.buu.ac.th, p. 22, 2554.
- [11] (2556) บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี. archive.lib.cmu.ac.th. 1.
- [12] "Air Pollution - The Influence Of The Atmospheric Processes," ed.
- [13] โ. เ. ชีวะ ทัศน, "ระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารขนาดเล็ก," eresearch.rbru.ac.th, p. 8, 2558.
- [14] "ฟิล์มหด (Shrink Film) คืออะไร??," in chemihouse.com, ed, 2022.
- [15] "LDPE คืออะไร?? - รับผิดชอบต่อถุงพลาสติกใสคลุมพาเลท, ถุงคลุม ..." in blisscoverbag.com, ed, 2559.
- [16] "LLDPE คืออะไร มีความสำคัญต่อถุงบรรจุภัณฑ์อย่างไร?," in packingdd.com/, ed, 2020.
- [17] "พลาสติกฟิล์ม LDPE & HDPE - Pro-Care Packaging," in procarepackaging.com, ed.
- [18] "Wind Fence Types and Effects - WeatherSolve Structures," in weathersolve.com, ed, 2562.
- [19] W. S. Inc. "Wind Fence Types and Effects - WeatherSolve Structures."

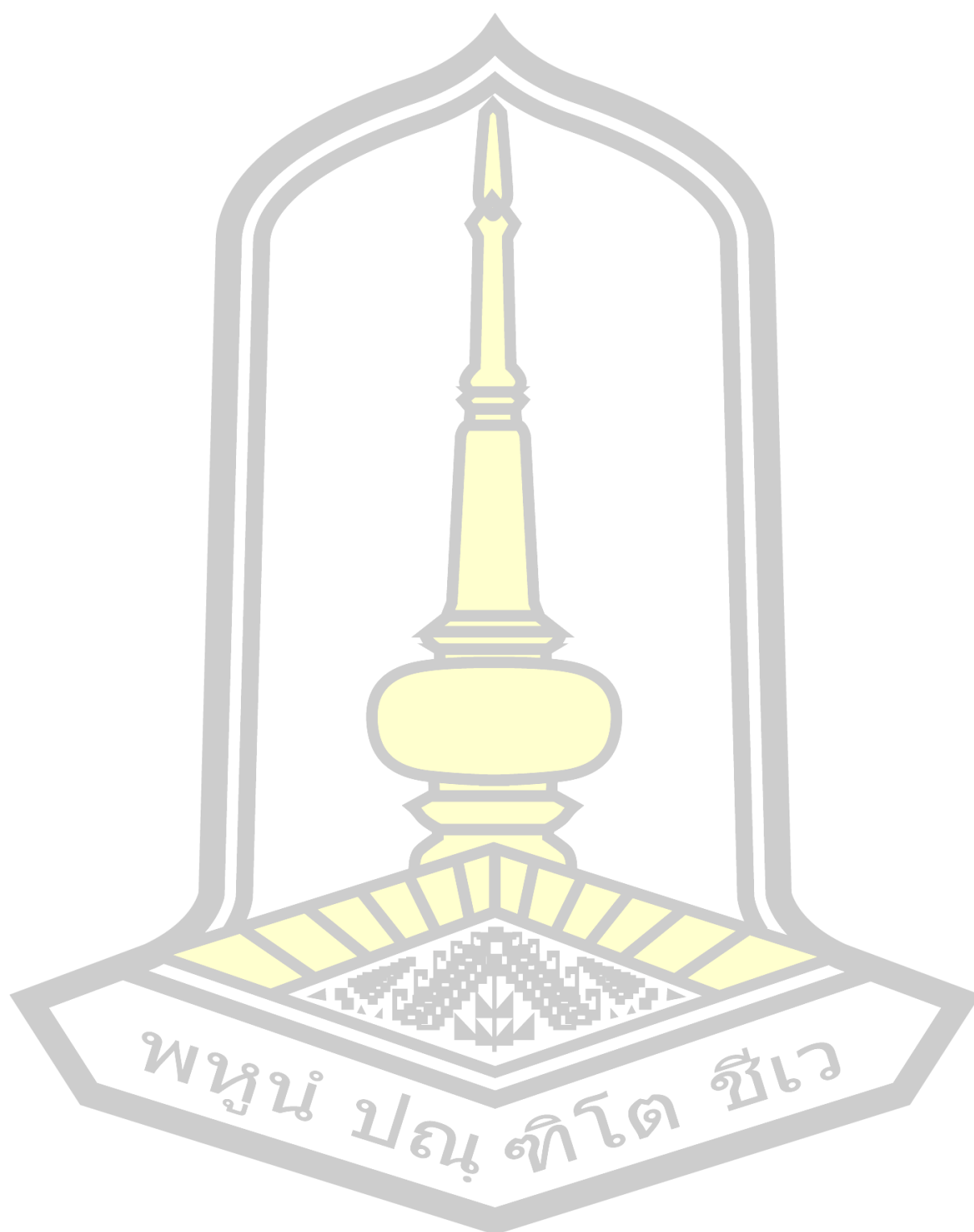
<https://www.weathersolve.com/our-resources/wind-fence-types-and-effects/>

(accessed.

- [20] X. W. Hui Fang, Xueyong Zou, Xiaofan Yang, "An integrated simulation-assessment study for optimizing wind barrier design," sciencedirect, 2018.
- [21] S.-S. H. Hyun-Jun Kim, "Effects of Wind Barrier Porosity and Inclination on Wind Speed Reduction," Applied Sciences, 18 Jul 2023.
- [22] X. Wu, Zou, X., Zhang, C., Wang, R., Zhao, J., & Zhang, "The effect of wind barriers on airflow in a wind tunnel. Journal of arid environments," sciencedirect, 2013.
- [23] G. M. Heisler, & Dewalle, D. R., "Effects of windbreak structure on wind flow. Agriculture, ecosystems & environment," sciencedirect, 1988.
- [24] E. L. S. L. J. Hagen, "Turbulent Velocity Fluctuations and Vertical Flow as Affected by Windbreak Porosity," ASABE Technical Library, 01 Jan 1971.
- [25] I.-B. L. Se-Woon Hong, Hyun-Seob Hwang, "Modelling Wind Velocity Patterns for Windbreak Fence Design," geyseco.es, 2014.
- [26] L. P. b. Hrvoje Kozmar, Alessandra Borsani b, Gianni Bartoli, "Sheltering efficiency of wind barriers on bridges," Journal of Wind Engineering, 2012.
- [27] Z. W. Ming Wang, Xiaowei Qiu, Xingxing Li, Xiaozhen Li, "Windproof performance of wind barrier on the aerodynamic characteristics of high-speed train running on a simple supported bridge," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2022.
- [28] W.-m. T. Ping Lou, Chenzhi Cai, Xuhui He, Yunfeng Zou, Yuyan Ai, "Influence of Wind Barriers with Different Curvatures on Crosswind Aerodynamic Characteristics of a Train-Bridge System," Applied Sciences, vol. 12, no. 3, 2022.
- [29] Z. G. Xiaoxuan-Wu, Rende Wang, Peipei Fan, Hongxu Xiang, Xueyong Zou, Jie Yin, Hui Fang, "Optimal design for wind fence based on 3D numerical simulation," Agricultural and Forest Meteorology, vol. 323, 2022.
- [30] P. L. Wei-ming Tao, Yunfeng Zou, Chenzhi Cai, Xuhui He, Shuo Jiang, "Effects of Curved Wind Barrier on the Aerodynamic Characteristics of a Train–Bridge System and Its Static Wind Load," International Journal of Structural Stability and Dynamics, vol. 22, p. 10, 2022.

- [31] L. X. Tian Qin, Tong Zhihao, Song Peng, "Tilttable bridge movable wind barrier."
- [32] S. Y. Cheng Zhang, Chang Shu, Liangzhu (Leon) Wang, Ted Stathopoulos, "Wind pressure coefficients for buildings with air curtains," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 205, 2020.
- [33] J. J. C. J.C. Gonçalves, A.R. Figueiredo, A.M.G. Lopes, "CFD modelling of aerodynamic sealing by vertical and horizontal air curtains," sciencedirect, 2012.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายชานนท์ พิมมะเสน
 วันเกิด 6 มิถุนายน 2542
 สถานที่เกิด อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 130/7 ตำบลบ้านด้าย อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร 47110
 ตำแหน่งหน้าที่การงาน นิสิต
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2560 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
 พ.ศ. 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 พ.ศ. 2566 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทัต ชีเว