

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	9
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	9
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	10
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	11
2.1 คานยื่น	11
2.2 โครงสร้างของสเตรนเกจ	12
2.3 บีบไทป์โพลีคาร์บอเนต	14
2.4 ลักษณะการไหลของของไหล	18
2.5 ชั้นการไหลของของไหล	20
2.6 สมการการไหลต่อเนื่อง	21
2.7 แรงที่เกิดกับวัตถุที่จมอยู่ในของไหล	22
2.8 อุโมงค์ลม	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ	24
3.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ	24
3.2 ตัวแปรสำหรับการทดสอบ	24
3.3 อุปกรณ์การทดสอบ	25
3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ขั้นตอนการทดสอบ	34
3.6 วิธีการวิเคราะห์ผล	38
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	49
4.1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์กับน้ำหนักมาตรฐาน	49
4.2 แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	50
4.3 แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม	51
4.4 แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดสี่เหลี่ยม	52
4.4.1 ขี่วเจ้า	53
4.4.2 ขี่วเหนียว	58
4.4.3 ขี่วญี่ปุ่น	63
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	80
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก การเปรียบเทียบเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดกับเครื่อง Manometer	85
ภาคผนวก ข การสร้างสมการเส้นแนวโน้ม	88
ภาคผนวก ค ตารางการปรับตั้งเครื่อง Weight Transmitter (WT95)	90
ภาคผนวก ง การใช้โปรแกรมเครื่อง Online Excel Datalogger (OD95)	93
โปรแกรม Online Excel Datalogger	94
โปรแกรม History	100
ภาคผนวก จ ขนาดน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ	104
ภาคผนวก ฉ ขนาดเม็ดสี่เหลี่ยมและเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบ	107
ภาคผนวก ช ลักษณะทางกายภาพของเม็ดสี่เหลี่ยม	115
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 คุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวสาลี	7
1.2 เปอร์เซ็นต์ความเป็นทรงกลมของผลไม้ชนิดต่างๆ	9
2.1 ความหนาแน่นกำลัง ( $P_D$ ) สำหรับวัสดุต่างๆ	15
3.1 ขนาดของเม็ดพลาสติกทรงกลมที่ใช้ในการทดสอบ	25
3.2 การปรับเทียบเครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Mettler รุ่น Aj 150	33
3.3 น้ำหนักมาตรฐานที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Mettler รุ่น Aj 150	33
4.1 ค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือกและเม็ดพลาสติกทรงกลม	68
4.2 สมการค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการทดสอบ	69
4.3 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$	75
4.4 สมการค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือกเทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$	76
ค.1 การปรับสวิตช์ Span coarse	91
ค.2 การปรับสวิตช์ Tare coarse	92
จ.1 น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ	105
ฉ.1 ขนาดเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์หอมสุวรรณ	108
ฉ.2 ขนาดเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	109
ฉ.3 ขนาดเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6	110
ฉ.4 ขนาดเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง	111
ฉ.5 ขนาดเมล็ดข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.1	112
ฉ.6 ขนาดเมล็ดข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2	113
ฉ.7 ขนาดเม็ดพลาสติกทรงกลม	114

## สารบัญภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 อุปกรณ์ทดสอบของ Bilanski and Lal	2
1.2 ความยาวของฟางข้าวสาธิตที่มีผลต่อความเร็วของอากาศ	2
1.3 อุปกรณ์ทดสอบของ Kiker and Ross	3
1.4 อุปกรณ์ทดสอบของ Keck and Goss	4
1.5 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์เทียบกับระยะทาง	4
1.6 อุปกรณ์ทดสอบของ Wolfe and Tatepo	5
1.7 อุปกรณ์ทดสอบของ Hallee	6
1.8 การวัดขนาดของเมล็ดธัญพืชชนิดต่างๆ	7
1.9 การประมาณค่าความเป็นทรงกลม	8
2.1 คานยื่นที่มีแรง $F$ กระทำที่ปลายคานและการ โกงลงของคานยื่น	11
2.2 โครงสร้างของสเตรนเกจ	13
2.3 การติดตั้งสเตรนเกจบนคานยื่นและการต่อวงจร ของสเตรนเกจ	14
2.4 กราฟหาค่าแรงค้ำป้อนให้กับวงจรวิส โคนบรีดจ์	16
2.5 การไหลแบบราบเรียบ	18
2.6 การไหลแบบปั่นป่วน	19
2.7 การไหลแบบทิศทางเดียว	19
2.8 การไหลแบบสองทิศทาง	19
2.9 การไหลแบบสามทิศทาง	20
2.10 ชั้นการไหลของของไหลในท่อ	20
2.11 ลำการไหลที่ถูกควบคุมปริมาตร	21
2.12 แรงที่เกิดกับวัตถุที่จมอยู่ในของไหล	22
2.13 กราฟแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของทรงกลม	23
3.1 ตำแหน่งทิศทางลมที่เข้าปะทะเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อทำการทดลอง	25
3.2 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.3 ตำแหน่งการติดตั้งข้าวเจ้าเพื่อการทดสอบ	27
3.4 ตำแหน่งการติดตั้งข้าวเหนียวเพื่อการทดสอบ	27

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ตำแหน่งการติดตั้งขั้วฉนวนเพื่อการทดสอบ	28
3.6 เม็ดพลาสติกทรงกลมที่ใช้การทดสอบ	28
3.7 โพลลเซลล์	29
3.8 เครื่อง Weight Transmitter และ เครื่อง Online Excel Datalogger	30
3.9 การต่อวงจรของ Dimmer Switch กับ มอเตอร์	30
3.10 คิวติคอลมัลติมิเตอร์	31
3.11 เครื่องวัดความเร็วลม	32
3.12 น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องวัดแรงดันทางอากาศพลศาสตร์	34
3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัด	34
3.14 วงจรของเครื่องขยายสัญญาณและต่อเข้ากับชุดของวงจรปริคจ์	35
3.15 การต่อเครื่องรับสัญญาณเข้าเครื่องขยายสัญญาณ	36
3.16 ข้อต่อเครื่องมือวัดความเร็วลม	38
3.17 เข็มฉีดยาที่อยู่ในห้องทดสอบ	39
3.18 ทรงกลมที่อยู่ในห้องทดสอบ	40
3.19 เมล็ดข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องทดสอบ	40
3.20 ความสูงของระยะจากปากทางเข้าอุโมงค์ลมถึงตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบ	41
3.21 กราฟแสดงค่าความหนืดของอากาศ	42
3.22 เข็มฉีดยาสำหรับติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบของอุโมงค์ลม	43
3.23 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า $Re_L$ และ $C_{DL}$ ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	45
3.24 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า $Re_r$ และ $C_{Dr}$ ของเม็ดพลาสติกทรงกลม	47
3.25 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า $Re_g$ และ $C_{Dg}$ ของเมล็ดข้าวเปลือก	48
4.1 กราฟแสดงการปรับเทียบเครื่องวัดด้านทางอากาศพลศาสตร์กับน้ำหนักมาตรฐาน	49
4.2 สัมประสิทธิ์แรงดันทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	50
4.3 สัมประสิทธิ์แรงดันทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม	51
4.4 สัมประสิทธิ์แรงดันทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวเจ้าพันธุ์หอมสุพรรณ ตำแหน่งที่ 1	53
4.5 สัมประสิทธิ์แรงดันทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวเจ้าพันธุ์หอมสุพรรณ ตำแหน่งที่ 2	53



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.1 (ชาซานิชิกิ) ตำแหน่งที่ 2	63
4.26 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.1 (ชาซานิชิกิ) ตำแหน่งที่ 3	64
4.27 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.1 (ชาซานิชิกิ) ตำแหน่งที่ 4	64
4.28 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.1 (ชาซานิชิกิ) ตำแหน่งที่ 5	65
4.29 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมะชิ) ตำแหน่งที่ 1	65
4.30 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมะชิ) ตำแหน่งที่ 2	66
4.31 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมะชิ) ตำแหน่งที่ 3	66
4.32 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมะชิ) ตำแหน่งที่ 4	67
4.33 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมะชิ) ตำแหน่งที่ 5	67
4.34 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวเจ้า พันธุ์หอมสุพรรณ	72
4.35 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวเจ้า พันธุ์หอมมะลิ 105	72
4.36 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวเหนียว พันธุ์ กข.6	73
4.37 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวเหนียว พันธุ์เหนียวสันป่าตอง	73

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวญี่ปุ่น พันธุ์ ก.ว.ก.1 (ชาซานิชิกิ)	74
4.39 ค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดพันธุ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับทรงกลม $C_{Dg}/C_{Dr}$ ของข้าวญี่ปุ่น พันธุ์ ก.ว.ก.2 (อคิตะ โคมะชิ)	74
4.40 แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือก $C_{Dg}$ ที่ตำแหน่งการทดสอบ 5 ตำแหน่ง ทั้ง 6 ชนิดในการทดสอบนี้	77
ก.1 อุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด	86
ก.2 ความเร็วลมภายในห้องทดสอบ	87
ข.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์หอมสุวรรณ ตำแหน่งที่ 1 ที่มาตราส่วนปกติ	89
ง.1 หน้าต่างของโปรแกรม Online Excel Datalogger	94
ง.2 หน้าต่าง Setup AI	95
ง.3 หน้าต่าง Digital Input Setup	95
ง.4 หน้าต่าง Digital Output Setup	96
ง.5 หน้าต่าง Analog Input Setup	97
ง.6 หน้าต่างกราฟข้อมูล	98
ง.7 หน้าต่างการ Set Scale	99
ง.8 หน้าต่าง History	100
ง.9 หน้าต่าง Open File	100
ง.10 หน้าต่าง View Data	101
ง.11 หน้าต่าง View Maximum and Minimum	102
ง.12 หน้าต่าง View Graph	102
ข.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว	116

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$A$	พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล	$m^2$
$A_g$	พื้นที่กริดของสเตรนเกจ	$mm^2$
$A_g$	พื้นที่ของเมตลัดข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องทดสอบ	$m^2$
$A_{Meas}$	พื้นที่หน้าตัดของข้อต่อเครื่องมือวัดความเร็วลม	$m^2$
$A_n$	พื้นที่เงาของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	$m^2$
$A_r$	พื้นที่เงาของเมตพลาสติกทรงกลมที่อยู่ในห้องทดสอบ	$m^2$
$A_T$	พื้นที่หน้าตัดของห้องทดสอบ	$m^2$
$b$	ความกว้างของหน้าตัดคาน	$m$
$C$	ค่าคงที่	-
$C_D$	สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์	-
$C_{Dg}$	สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมตลัดข้าวเปลือก	-
$C_{DL}$	สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	-
$C_{Dr}$	สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมตพลาสติกทรงกลม	-
$D$	เส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุที่ของไหลไหลผ่าน	$m$
$d_g$	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเมตลัดข้าวเปลือก	$m$
$d_{Meas}$	เส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดความเร็วลม	$m$
$d_n$	เส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	$m$
$d_r$	เส้นผ่าศูนย์กลางของเมตพลาสติกทรงกลม	$m$
$d_T$	เส้นผ่าศูนย์กลางของห้องทดสอบ	$m$
$E$	ดัชนีความยืดหยุ่น	$N/m^2$
$F$	แรง	$N$
$F_D$	แรงต้านทั้งหมด	$N$
$F_g$	แรงที่กระทำกับเมตลัดข้าวเปลือก	$N$

## อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F_L$	แรงที่กระทำกับเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	N
$F_r$	แรงที่กระทำกับเม็ดพลาสติกทรงกลม	N
$f$	การสูญเสียหลัก	-
$g$	แรงโน้มถ่วงโลก มีค่าเท่ากับ 9.81	m/s <sup>2</sup>
$h$	ความหนาของหน้าตัดคาน	m
$h$	ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือกตามแนวแกน x	m
$I$	โมเมนต์ความเฉื่อย	m <sup>4</sup>
$K$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของปากแตร มีค่าเท่ากับ 0.05	-
$L$	ความยาวของคาน	m
$l$	ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือกตามแนวแกน y	m
$M$	โมเมนต์ค้ำ	N•m
$m$	จำนวนครั้งของการทดสอบ	-
$n$	จำนวนของตัวอย่างทดสอบ	-
$P_{atm}$	ความดันบรรยากาศ	N/m <sup>2</sup>
$P_D$	ความหนาแน่นกำลัง	W/mm <sup>2</sup>
$P_T$	ความดันในห้องทดสอบ	N/m <sup>2</sup>
$P_g$	กำลังที่สเตรนเกจสามารถขับออกมา	Watt
$R$	ความต้านทานของสเตรนเกจ	Ohm
$R$	ค่าคงที่ของก๊าซ (อากาศ) มีค่าเท่ากับ 286.8	J/kg•K
$Re$	เรย์โนลด์นัมเบอร์	-
$Re_g$	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเมล็ดข้าวเปลือก	-
$Re_L$	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ	-
$Re_r$	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม	-
$R_g$	ความต้านทานของสเตรนเกจ	Ohm
$r$	อัตราส่วนความต้านทาน	-

## อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$S$	ความไวของบีมไทป์โพลดเซลล์	-
$S_g$	เฟคเตอร์ของสเตรนเกจ	-
$S_s$	ความไวของวิสโตนบรีดจ์	-
$T_T$	อุณหภูมิสัมบูรณ์	K
$t_o$	อุณหภูมิในห้องทดสอบ	°C
$V$	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล	m/s
$V_{Meas}$	ความเร็วลมจากการวัด	m/s
$V_T$	ความเร็วลมในห้องทดสอบ	m/s
$V_{Tg}$	ความเร็วลมในห้องทดสอบกรณีติดตั้งเมล็ดข้าวเปลือกทดสอบ	m/s
$V_{TL}$	ความเร็วลมในห้องทดสอบกรณีของเข็มฉีดยาที่ใช้สำหรับติดตั้งตัวอย่างทดสอบ	m/s
$V_{Tr}$	ความเร็วลมในห้องทดสอบกรณีติดตั้งทรงกลมทดสอบ	m/s
$V_o$	แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวิสโตนบรีดจ์	volt
$V_s$	แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย	volt
$w$	ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือกตามแนวแกน z	m
$x$	ระยะทางตามแกน x	m
$y$	ระยะทางตามแกน y	m
$z$	ความสูงจากเส้นอ้างอิงหรือระยะทางตามแกน Z	m
$\rho$	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_B$	รัศมีความโค้งของคานยื่น	m
$\rho_T$	ความหนาแน่นของของไหลในห้องทดสอบ	kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	ความเครียด	N/m <sup>2</sup>
$\mu$	ความหนืดสัมบูรณ์	Pa · sec
$\mu_T$	ความหนืดสัมบูรณ์ในห้องทดสอบ	Pa · sec
$\nu$	ความหนืดจลน์	m <sup>2</sup> /s