

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ท
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ขอบเขตการศึกษา	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	6
2.1 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	6
2.2 ความชื้นสมดุลของวัสดุ	7
2.3 สมการจลนศาสตร์การอบแห้ง	8
2.3.1 สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี	8
2.3.2 สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี	11
2.3.3 สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งเอมไพริคัล	12
2.4 สมการอัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไย	13
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง	14
2.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบแห้ง	15

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	19
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 ข้อกำหนดในการทดลอง	19
3.3 วิธีการทดลองหาอัตราการอบแห้งและการวิเคราะห์อัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไย	20
3.3.1 วิธีการทดลองหาอัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูก	20
3.3.2 การวิเคราะห์อัตราส่วนอุณหภูมิเนื้อลำไย	20
3.4 การทดลองและวิเคราะห์หาสมการการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อลำไย	21
3.4.1 วิธีการทดลอง	21
3.4.2 การวิเคราะห์สมการการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อลำไย	21
3.5 การทดลองอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	22
3.5.1 การออกแบบการทดลอง	22
3.5.2 การทดลอง	22
3.6 การทดลองอัตราการคั่วของเนื้อลำไย	23
3.7 การทดลองและคำนวณค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง	23
3.7.1 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิคงที่	23
3.7.2 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	23
3.7.3 การคำนวณค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง	24
3.8 การจำลองสภาพการอบแห้งเพื่อหาค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ	25
3.9 ขั้นตอนการจำลองสภาพการอบแห้ง	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่	35
4.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายอุณหภูมิของเนื้อลำไย	36
4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง,ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไย	40
4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของเนื้อลำไย	40
4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นสีแดง	43

และค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไย

4.4 ผลการวิเคราะห์แนวทางการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้น	48
4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้น	48
4.6 การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลการทดลองอบแห้ง	50
4.6.1 การอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งคงที่	50
4.6.2 การอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	57
4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของเปลือกลำไยและเนื้อลำไยก่อนและหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่	59
4.8 ผลการวัดค่าสีของเปลือกลำไยและเนื้อลำไยก่อนและหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	61
4.9 ผลการคำนวณค่าอัตราการกินตัวของเนื้อลำไยของการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งเป็นลำดับขั้น	63
4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก รูปภาพ	72
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	81
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	110
ภาคผนวก ง การคำนวณความชื้นของวัสดุและการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด	120
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ	123
ภาคผนวก ฉ โปรแกรมการจำลองสภาพการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	128



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 รูปแบบสมการของความชื้นสมดุล	7
2.2 สมการความสัมพันธ์ของค่าคงการอบแห้งกับอุณหภูมิอากาศอบแห้งของวัสดุต่างๆ	12
2.3 สมการความสัมพันธ์ของค่าคงที่ในสมการของ Page	13
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการจลนศาสตร์ของอัตราส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูก	43
4.2 ค่าสีเปลือกลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ	59
4.3 ค่าสีเนื้อลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ	60
4.4 ค่าสีเปลือกลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ	61
4.5 ค่าสีเนื้อลำไยก่อนและหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ	62
4.6 ค่าอัตราการกินตัวของเนื้อลำไยที่ได้จากการอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้น	63
4.7 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากการทดลองและการจำลองสภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ	64
ข.1 ข้อมูลการทดลองและผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	82
ข.2 ข้อมูลการทดลองและผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	84
ข.3 ข้อมูลการทดลองและผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	86
ข.4 ข้อมูลการทดลองและผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	87
ข.5 ผลการวัดค่าความสว่างของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	89
ข.6 ผลการวัดค่าความสว่างของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	90
ข.7 ผลการวัดค่าความสว่างของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	91
ข.8 ผลการวัดค่าความสว่างของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	92

ข.9 ผลการวัดค่าความความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	93
ข.10 ผลการวัดค่าความความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	94
ข.11 ผลการวัดค่าความความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	95
ข.12 ผลการวัดค่าความความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	96
ข.13 ผลการวัดค่าความความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	97
ข.14 ผลการวัดค่าความความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	98
ข.15 ผลการวัดค่าความความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	99
ข.16 ผลการวัดค่าความความเป็นสีเหลืองของเนื้อลำไยที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	100
ข.17 ผลการทดลองและคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นของลำไย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-73 °C	101
ข.18 ผลการทดลองและคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นของลำไย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-65 °C	102
ข.19 ผลการทดลองและคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นของลำไย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 94-84 °C	103
ข.20 ผลการทดลองและคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นของลำไย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 94-85-76 °C(Recycle 90 %)	105
ข.21 ผลการวัดค่าสีของเปลือกลำไยและเนื้อลำไยก่อนการอบแห้ง แบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบต่างๆ	106
ข.22 ผลการวัดค่าสีของเปลือกลำไยและเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง แบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบต่างๆ	107
ข.23 ผลการทดลองหาค่าอัตราการคืนตัวของเนื้อลำไยที่ได้จากการ อบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นต่างๆ	109
ค.1 ผลการคำนวณหาค่าคง ที่ K, N ที่ใช้ในแบบจำลองสมการทำนายอุณหภูมิ เนื้อลำไยของแบบจำลอง	111
ค.2 ผลการคำนวณหาค่าคงที่ A,B,C และD ที่ใช้ในสมการอัตราส่วนค่าความ เป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง	111
ค.3 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	112
ค.4 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	113
ค.5 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	114
ค.6 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	115

ก.7 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้งของการ อบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นแบบที่1	116
ก.8 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้งของการ อบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นแบบที่2	117
ก.9 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้งของการ อบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นแบบที่3	118
ก.10 ผลการจำลองสภาพการอบแห้งเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้งของการ อบแห้งแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นลำดับขั้นแบบที่4	119
จ. 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	126

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
3.1 ผังแสดงรายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบตู้ขนาดห้องปฏิบัติการ	25
4.1 อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C, 74 °C, 83 °C และ 93 °C ตามลำดับ	36
4.2 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 65°C	37
4.3 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 74°C	38
4.4 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 83°C	38
4.5 เปรียบเทียบอัตราส่วนอุณหภูมิลำไยจากผลการทดลองกับค่าคำนวณได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิ 93°C	39
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C	41
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 74°C	41
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 83°C	42
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง(ΔL)ของเนื้อลำไยกับเวลาอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93°C	42
4.10 อัตราส่วนของค่าความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูกกับเวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C	44
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูกกับเวลา	45

การอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง
ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C

4.12 อัตราส่วนของค่าความเป็นเกลือของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูกกับเวลา	46
การอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C	
4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นเกลือของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งลูกกับ เวลาการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 65°C, 74°C, 83°C, และ 93 °C	47
4.14 อัตราการอบแห้งลำไยทั้งลูกแบบใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบ เป็นลำดับขั้นในแบบต่างๆ	49
4.15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 65 °C	50
4.16 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 74 °C	51
4.17 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 83 °C	52
4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งที่ได้จากการจำลองสภาพ การอบแห้งกับการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 93 °C	53
4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลอง สภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-73 °C	55
4.20 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลอง สภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 93-83-65 °C	56
4.21 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลอง สภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 84-74 °C	57
4.22 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของการทดลองกับการจำลอง สภาพการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 94-85-76 °C มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90 %	58
ก.1 เครื่องแบบแห้งแบบตู้	73
ก.2 เครื่องบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ	73
ก.3 ตู้อบลมร้อน	74
ก.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก	74

ก.5 เครื่องวัดความเร็วลม	75
ก.6 เวอร์เนียร์	75
ก.7 เครื่องวัดสี Color Quest XE Colorimeter	76
ก.8 ผลลัาโยพันรู้ค่อทั้งลูกก่อนอบแห้ง	76
ก.9 ล้าโยอบแห้งที่เวลาต่างๆ ของการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ 65 °C	77
ก.10 ล้าโยอบแห้งที่เวลาต่างๆ ของการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ 74 °C	77
ก.11 ล้าโยอบแห้งที่เวลาต่างๆ ของการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ 83 °C	78
ก.12 ล้าโยอบแห้งที่เวลาต่างๆ ของการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ 93 C	78
ก.13 เนื้อล้าโยอบแห้งใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นล้าดับขึ้นแบบที่1	79
ก.14 เนื้อล้าโยอบแห้งใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นล้าดับขึ้นแบบที่2	79
ก.15 เนื้อล้าโยอบแห้งใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นล้าดับขึ้นแบบที่3	80
ก.16 เนื้อล้าโยอบแห้งใช้อุณหภูมิอบแห้งแบบเป็นล้าดับขึ้นแบบที่4	80

อักษรย่อและสัญลักษณ์

a	ค่าความเป็นสีแดง
b	ค่าความเป็นสีเหลือง
C	อัตราส่วนค่าสีในแต่ละพารามิเตอร์
C_a	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, $\text{kJ} / \text{kg}_{\text{dry air}} \text{ } ^\circ\text{C}$
C_v	ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ, $\text{kJ} / \text{kg}_{\text{water}} \text{ } ^\circ\text{C}$
D	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/h)
E_{blower}	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของพัดลม, kJ / h
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ, kJ/kg
K	ค่าคงที่ของการอบแห้ง, h^{-1}
L	ค่าความสว่าง
M	ความชื้น มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน
M_{in}	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน
M_{eq}	ความชื้นสมดุล มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน
MR	อัตราส่วนความชื้น
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, $\text{kg}_{\text{dry air}} / \text{h}$
m_p	มวลแห้งของวัสดุ, kg
RC	สัดส่วนของการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %
N	ค่าคงที่
P	ค่าคงที่
ΔP	ความดันลดของระบบอบแห้ง, Pa
Q_h	อัตราความร้อนที่ฮีตเตอร์, kJ / h
SAF	อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ, $\text{kg}_{\text{dry-air}} / \text{h} \cdot \text{kg}_{\text{dry-solid}}$
SEC	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, $\text{MJ}/\text{kg}_{\text{water}}$
T	อุณหภูมิ, $^\circ\text{C}$
TR	อัตราส่วนอุณหภูมิ

t	เวลา, h
V	ปริมาตร, m^3
v	ความเร็ว, m/s
W_s	กำลังงานทางไฟฟ้าที่ให้ที่เพลลาของพัดลม, kJ / h
w	น้ำหนักวัสดุ, kg
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศแห้ง, $kg_{dry\ air}/m^3$
η_f	ประสิทธิภาพของพัดลม, เศษส่วน
η_m	ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า, เศษส่วน
ω	อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, $kg_{water}/kg_{dry\ air}$

สัญลักษณ์กำกับล่าง

a	อากาศแห้ง
amb	อากาศแวดล้อม
blower	พัดลม
d.b.	มาตรฐานแห้ง
eq	สภาวะสมดุล
f	หลังอบแห้ง
fn	หลังอบแห้งชั้นใดๆ
h	ลมร้อน
in	เริ่มต้น
mix	อากาศผสม
p	วัสดุอบแห้ง
pn	วัสดุอบแห้งชั้นใดๆ
rc	สัดส่วนของการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
t	เวลาต่างๆ
y	อากาศที่ออกจากพัดลม