

ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบงวดในสภาวะความดัน
ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

บดินทร์ชาติ สุขบท

คุณูปนิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

MUNICIPAL SOLID WASTE BATCH DRYING SYSTEM
UNDER THE NORMAL VACUUM

BODINCHAT SUKBOT

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements

for Doctor of Philosophy in Technology Management

Academic Year 2012

Copyright of Bansomdejchaopraya Rajabhat University

ชื่อเรื่องคุณูปนิพนธ์ ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบงวดในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

ชื่อนักศึกษา นายบัณฑิตรัชชาติ สุขบท

คณะกรรมการที่ปรึกษาคุณูปนิพนธ์


.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทิฆงทรัพย์)

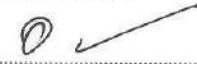

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คำรณ สิริชนกุล)


.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี กวินเสกสรรค์)

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาอนุมัติให้คุณูปนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยี


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริวรรณ เอี่ยมสะอาด)


.....อธิการบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลสิทธิ์ หนูชูชัย)

คณะกรรมการสอบคุณูปนิพนธ์


.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย แหวนเพชร)


.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก ดร.ทิวลิป เตือรือมา)


.....กรรมการ


(รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย กล้าจริง)


.....กรรมการ

(ดร.สมสิทธิ์ นุ้ลต๋าม)


.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.อมิชาต ภัทรธรรม)


.....กรรมการ ผู้แทนจากคณะกรรมการบริหาร

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี กวินเสกสรรค์) โครงการปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

ชื่อเรื่อง	ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ
ชื่อผู้วิจัย	บัณฑิตรัชชาติ สุขบท
สาขาวิชา	การจัดการเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ทิมทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. บุญมี กวินเสกสรรค์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. คำรณ ติระชนกุล
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) หาสมการทางจลนศาสตร์เชิงประจักษ์สำหรับอธิบายจลนศาสตร์ของการลดความชื้นขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ 2) ประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งขยะมูลฝอยแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ และ 3) ประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบการอบแห้งแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ โดยบรรจุขยะมูลฝอยจำลองปริมาณ 10 กิโลกรัม ลงในถังปฏิกรณ์อบแห้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ ในแต่ละงวดของการทดลอง วัดอุณหภูมิ ความดัน และน้ำหนักของน้ำที่ได้จากการควบแน่นทุก 15 นาที จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

ผลการวิจัยพบว่า 1) สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งสำหรับอธิบายจลนศาสตร์ของการลดความชื้นคือ $MR(P,T,t) = \frac{at^b}{3} + \frac{t}{3} \left(\frac{10^{Q(P)}}{c} + \frac{10^{Q'(T)}}{c'} \right)$ 2) สมรรถนะของระบบโดยอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดต่ำลง ที่ทุกค่าของอุณหภูมิแม้จะสูงขึ้นก็ตามและมีค่ามากที่สุดเมื่อความดันที่ -80 mmHg ที่อุณหภูมิของลมร้อน 60 °C ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิกงที่ 60 °C ที่ระดับความดันลดลงในช่วง -50 ถึง -70 mmHg และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และ 3) ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบมีค่าระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 10 เดือน กับ 14 วัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิได้เท่ากับ 31,016.27 บาท และค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับ 15.04 % ซึ่งเป็นโครงการที่น่าลงทุน

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอยชุมชน ระบบอบแห้งแบบวงกลม สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

Title	Municipal Solid Waste Batch Drying System Under the Normal Vacuum
Author	Bodinchat Sukbot
Program	Technology Management
Major Advisor	Associate Professor Dr. Sombat Teekasaap
Co-Advisor	Associate Professor Dr. Boonmee Kawinseksan
Co-Advisor	Associate Professor Dr. Kumron Sirathanakul
Academic Year	2012

ABSTRACT

The purposes of this research were; 1) to find the obvious correlative equation for explaining the kinetic dehydration process of decreasing humidity in the municipal solid waste in the batch dryer, 2) to determine the performance of dehydration of the batch dryer, and 3) to find out the cost of producing and the return in terms of economic evaluation. The pressure inside the batch dryer while decreasing humidity was lower than the outside normal pressure. The operation was on the build up laboratory scale drying machine, batch dryer, the drying used 10 kilograms municipal solid waste under the normal vacuum in each batching, while measured temperatures, pressures and weights of water which was condensed in every 15 minutes until the weight was unchanged.

The research results; 1) the kinetic of municipal solid waste dehydration process can be explained by empirical equation $MR(P,T,t) = \frac{a t^b}{3} + \frac{t}{3} \left(\frac{10^{Q(P)}}{c} + \frac{10^{Q'(T)}}{c'} \right)$, 2) the performance of municipal solid waste batch drying, which the condition of drying pressure was lower than that of the prototype, was lead to the result of increasing in dehydration rate when the pressure was declining, moreover, the temperature also rised to the highest when the pressure was decrease to the level of -80 mmHg and when the hot air temperature at the moment is 60°C, in the case of specific energy consumption was likely to lessen to 60°C while the pressure decreased in the range of - 50 to - 70 mmHg, however, it increased if the temperature increased, and in addition, 3) there is an economic evaluation for calculating the cost of expenses and the return, during five years of the calculated pay-back period this project the result took only three years ten months and fourteen days, net present value was equal to 31,016.27 bath, and internal rate of return was equal to 15.04 %, so this project is interesting investment.

Keywords : municipal solid waste, batch drying system, normal vacuum

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี ด้วยความเมตตาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาคุณฐิติพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี กวินเสกสรรค์ และรองศาสตราจารย์ ดร.คำณ สิริชนกุล เป็นอย่างสูง ที่ได้สละเวลาให้แนวคิด ข้อเสนอแนะ รวมทั้งตรวจสอบข้อบกพร่อง ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านของมหาวิทยาลัย ราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์อย่างมาก จนคุณฐิติพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนต่อผู้วิจัยตลอดมา

บดินทร์ชาติ สุขบท

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ช
สารบัญภาพ.....		ซ
บทที่ 1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	คำถามวิจัย	3
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ	5
	กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
	บทนำ.....	6
	การจัดการปัญหาขยะชุมชน.....	7
	การจัดการขยะแบบเชื้อเพลิงขยะ.....	9
	การลดความชื้น	12
	สภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ.....	14
	กลไกการอบแห้ง.....	19
	สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์การอบแห้ง.....	20
	สมรรถนะของระบบอบแห้ง.....	20
	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	20
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	27
	วัตถุประสงค์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	27
	1. วัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัย.....	27
	2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	28
	3. การวางแผนการทดลอง.....	33
	4. ขั้นตอนการทดลอง.....	33
	5. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล.....	38
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	39
	การวิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลอง.....	39
	การปรับเส้นโค้ง.....	43
	การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	61
	ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง.....	72
	การค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบ.....	80
	1. การประมาณการรายได้.....	80
	2. การประมาณค่าใช้จ่ายหรือต้นทุน.....	80
	3. การคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุน.....	81
	4. ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	82
	5. การคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนภายใน.....	84
บทที่ 5	สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	85
	สรุปผลการวิจัย.....	85
	อภิปรายผลการวิจัย.....	85
	ข้อเสนอแนะ.....	86
	ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ.....	86
	ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป.....	87
	บรรณานุกรม	88

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก		92
ภาคผนวก ก	ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์การทดลอง	93
ภาคผนวก ข	เกียรติบัตรผลงานวิจัย และผลงานวิจัยที่ร่วมเสนอในงานประชุมวิชาการ.....	125
ภาคผนวก ค	ประกาศนียบัตรและวุฒิบัตรการสัมมนาอบรมด้านการจัดการเทคโนโลยีในต่างประเทศ.....	128
ประวัติผู้วิจัย.....		133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554.....	8
2	ร้อยละของความเป็นสุญญากาศที่ระดับความดันต่าง ๆ ในหน่วยวัดความดันที่นิยมใช้	16
3	ตารางงานการทดลอง.....	37
4	ฟังก์ชันกำลังจาก 16 การทดลอง กลุ่มที่ 1-4.....	60
5	ความดันในห้องอบที่อยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาของกลุ่มที่ 1-4.....	62
6	ฟังก์ชันกำลังจาก 16 การทดลอง กลุ่มที่ 5-8.....	64
7	อุณหภูมิของลมร้อนในห้องอบที่ความดันของห้องอบในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลาของกลุ่มที่ 5-8.....	66
8	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายอัตราการอบแห้งขณะมูลฝอยชุมชนแบบงวดในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ.....	67
9	อัตราการอบแห้ง.....	72
10	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ.....	77
11	รายได้จากการพยากรณ์ในอีก 5 ปีข้างหน้า.....	80
12	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน.....	81
13	รายจ่ายในกระบวนการผลิต แรงงาน และไฟฟ้า.....	81
14	การคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุน.....	82
15	การคำนวณค่าผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	83
16	การคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ.....	84

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดการวิจัย.....	5
2	สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554.....	8
3	(a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา.....	12
	(b) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของวัตถุดิบ.....	12
4	(a) ระดับสภาวะสุญญากาศ.....	15
	(b) เปรียบเทียบระดับสุญญากาศระหว่าง Pressure Absolute และ Pressure Guage.....	15
5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดของน้ำและความดัน.....	17
6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและช่วงระดับความดัน 3 ระดับ.....	18
7	กลไกการอบแห้งด้วยอากาศร้อน.....	19
8	กลไกการอบแห้งด้วยสุญญากาศ.....	19
9	องค์ประกอบขยะชุมชนเฉลี่ยทั่วประเทศไทย.....	27
10	แผนภูมิระบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่สามารถลดความดันในห้องอบให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ	28
11	ชุดทดลองระบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่สามารถลดความดันในห้องอบให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ	28
12	(a) เครื่องเป่า(ดูด)อากาศแบบวงแหวน.....	25
	(b) เครื่องวัดความเร็วลมแบบเวนจูรี.....	25
	(c) เครื่องวัดความเร็วลมแบบออร์ฟิส.....	25
13	วาล์วระบายความดัน	
	(a) ภาพวาดวาล์วระบายความดันลักษณะปิด.....	30
	(b) ภาพวาดวาล์วระบายความดันลักษณะเปิด	30
	(c) ภาพวาดวาล์วระบายความดัน.....	30
14	ชุดควบคุมการทำงานทั้งระบบ.....	30
15	ชุดควบคุมอุณหภูมิ RKC รุ่น CB900 1/4 DIN Temperature Controller w/ SSR output & Alarms.....	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องเป่าลมร้อนแบบวงแหวน รุ่น ATV312H037M2 variable speed drive ATV312 - 0.37kW - 1kVA - 41 W - 200..240 V - 1-phase supply.....	31
17	ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องคู่อิออนแบบวงแหวน รุ่น FRENIC – Mini 3PH Series ของ Fuji Electronic.....	32
18	เทอร์โมสแตทควบคุมระบบทำความเย็น 220 V มีหัวเสียบ 2 ขา Model K50-P1125.....	32
19	ขยะมูลฝอยก่อนอบความชื้น 45 %wb.....	34
20	ตะกร้าเปล่าบนเครื่องชั่ง.....	34
21	ปากห้องปฏิบัติการอบแห้ง.....	35
22	ภาชนะรองรับหยดน้ำที่หุ้มด้วยฉนวนกันการควบแน่นของอากาศรอบ ๆ ภายนอกและวางบนเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง CAMRY ขนาด Capacity: 1kg/ 2.2 lb; Graduation: 5g/ 1/8 oz จาก Zhongshan Camry Electronic Co Ltd: China.	36
23	ขยะมูลฝอยหลังอบ.....	37
24	ข้อมูลการทดลองระหว่างน้ำหนักของน้ำควบแน่น(กรัม)และเวลา จาก 16 การทดลอง.....	40
25	ข้อมูลการทดลองระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งจาก 16 การทดลอง.....	41
26	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งจาก 16 การทดลอง.....	42
27	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 1 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -50 mm.....	44
28	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 2 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -60 mmHg.....	45
29	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 3 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -70 mmHg.....	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 4 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -80 mmHg.....	47
31	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 5 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -50 mmHg.....	48
32	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 6 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -60 mmHg.....	49
33	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 7 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -70 mmHg.....	50
34	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 8 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -80 mmHg.....	51
35	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 9 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -50 mmHg.....	52
36	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 10 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -60 mmHg.....	53
37	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 11 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -70 mmHg.....	54
38	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 12 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -80 mmHg.....	55
39	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 13 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -50 mmHg.....	56
40	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -60 mmHg.....	57
41	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 15 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -70 mmHg.....	58
42	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 16 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -80 mmHg.....	59
43	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องอบที่อยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลา.....	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องอบที่ความดันอยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลา.....	66
45	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -60 mmHg.....	68
46	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 13 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -50 mmHg.....	69
47	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 16 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -80 mmHg.....	70
48	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -80 mmHg.....	71
49	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 50 °C	73
50	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 60 °C	74
51	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 70 °C	75
52	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 80 °C	76
53	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 50 °C	78
54	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 60 °C	78
55	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะในห้องอบอุณหภูมิ 70 °C	79

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ ในขณะที่ห้องอบอุณหภูมิ 80 °C	79

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีปริมาณขยะ 15,159,180 ตัน ในปี 2553 คิดเป็นปริมาณขยะ 41,532 ตันต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี 2552 ที่มีขยะ 41,410 ตันต่อวัน โดยกรุงเทพมหานครและพื้นที่นอกเขตเทศบาลมีปริมาณขยะลดลง ในขณะที่เขตเทศบาลรวมถึงเมืองพัทยา มีปริมาณขยะเพิ่มขึ้น (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2555) จากที่ผ่านมามีการลงทุนก่อสร้างระบบกำจัดขยะเป็นเงินถึง 22,000 ล้านบาท แต่สัดส่วนที่จะนำขยะไปใช้ประโยชน์ไม่ได้มากขึ้น และคาดว่าในปี 2558 จะมีปริมาณขยะต่อวันถึง 49,680 ตัน หรือ 17.8 ล้านตัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) หลายหน่วยงานจึงให้ความสนใจการจัดการกับปัญหาขยะที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้นนี้ ด้วยการรณรงค์ลดปริมาณขยะ การแยกขยะ การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และรวมถึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีในการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีกำจัดขยะที่สามารถแปลงขยะเป็นพลังงานและใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลายแบบ ได้แก่ (1) เทคโนโลยีการฝังกลบและระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Technology in Landfill Gas to Energy) (2) เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Technology in Incineration) (3) เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Technology in Municipal Solid Waste Gasification: MSW Gasification) (4) เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Technology in Anaerobic Digestion) (5) เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Technology in Refuse Derived Fuel: RDF) (6) เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ก (Technology in Plasma Arc) และ (7) เทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันดิบ (Technology in Turning Plastic Waste Into Crude Oil)

อย่างไรก็ตามแม้ขยะมูลฝอยจะเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าราคาถูกและช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะได้ในระดับหนึ่งนั้น แต่ก็มีข้อจำกัดซึ่งมักได้รับการต่อต้านจากชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นการมีค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะที่เหมาะสม และมีเทคโนโลยีที่เหมาะสม ก่อนนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน รวมทั้งการให้การสนับสนุนจากภาครัฐต่อการผลิตไฟฟ้าจากขยะแก่ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer : SPP) หรือรายเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) โดยกำหนดอัตราส่วนเพิ่มการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากขยะ 2.50 บาทต่อหน่วย และหากเป็นโครงการใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ให้อัตราเพิ่มพิเศษอีก 1 บาทต่อหน่วย เป็น 3.50 บาทต่อหน่วย ระยะเวลา 7 ปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) เป็นสิ่งจูงใจ

การใช้ขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้เพื่อการเผาไหม้ โดยตรงมักก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากขยะมูลฝอย มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชุมชนและฤดูกาล อีกทั้งยังมีค่าความร้อนต่ำ มีปริมาณเถ้าและความชื้นสูง ซึ่งก่อความยุ่งยากให้กับผู้ออกแบบ โรงเผาและผู้ปฏิบัติ และควบคุมการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ยาก

ดังนั้นเทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะจึงเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เป็นการแปรรูปขยะมูลฝอยโดยผ่านกระบวนการจัดการเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีเพื่อทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงขยะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ และเชื้อเพลิงขยะที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานต่อไป เพราะขยะมูลฝอยที่ได้ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะได้ค่าความร้อนสูง มีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงดีกว่า การนำขยะมูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาใช้โดยตรง เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ และมีข้อดีที่สามารถกำจัดขยะได้หลายประเภท ปลอดภัย โรค มีค่าความร้อนสูง ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

จากรายงานผลการสำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอยทั่วประเทศปี 2548 ว่ามีองค์ประกอบของเศษอาหารและอินทรีย์สารรวมกัน 63.57% โดยเศษอาหาร 30.59% และอินทรีย์สาร อื่นๆ 32.98% (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2550) และตามที่ได้มีการสำรวจและพบว่าความชื้นของขยะมูลฝอยของประเทศไทยเท่ากับ 40.4%wb (มาตรฐานเปียก: Wet Basis : wb) เป็นขยะจากเศษอาหาร 46%wb (Chaya and Gheewala, 2007) สอดคล้องกับรายงานเกี่ยวกับขยะอินทรีย์ (Organic Waste) ในมูลฝอยของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2550 เท่ากับ 48%wb (Kaosol, 2009) จะเห็นว่าขยะมูลฝอยหรือเศษอาหารที่มีสารอินทรีย์และความชื้นสูงเหล่านี้ ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการจัดการเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ทำให้เป็นเชื้อเพลิงขยะที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานได้จึงต้องลดความชื้นให้เหลือไม่เกินในช่วง 22.40 ถึง 26.80 %wb (Nasiman Sapari *et al.*, 2011)

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของวัสดุที่มีความเปียกชื้นในห้องอบจึงน่าจะตอบโจทย์ในเรื่องข้างต้นนั้นได้ โดยเทคโนโลยีการอบแห้งนั้นมีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของวัสดุ ระยะเวลาการอบแห้งคุณภาพของวัสดุ และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งถือว่ามีความสำคัญ เพราะเป็นตัวแปรสำคัญด้านต้นทุน การอบแห้งโดยที่ทำให้ห้องอบอยู่ในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศในขณะอบแห้ง เพื่อช่วยให้น้ำในเนื้อวัสดุระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะช่วยลดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (Jaya and Das, 2003) ถึงแม้การอบแห้งในห้องอบอยู่ในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จะทำให้น้ำในวัสดุจะระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในทางปฏิบัติก็ยังจำเป็นต้องใช้แหล่งผลิตความร้อนช่วยเพื่อลดระยะเวลาการ

อบแห้ง แต่เนื่องจากยังขาดข้อมูลการศึกษาการลดความชื้นด้วยการให้ห้องอบอยู่ในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ โดยเฉพาะวัตถุที่จะอบแห้งในงานวิจัยนี้เป็นขยะมูลฝอยชุมชน

การศึกษาคูณลักษณะของระบบอบแห้งดังกล่าวเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบอบแห้งแบบงวดและให้ห้องอบอยู่ในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ สำหรับการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูงให้ลดลงในระดับที่สามารถนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะได้ ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งที่รวดเร็วและต่อเนื่องในอนาคต ซึ่งจะ เป็นต้นแบบของเครื่องอบแห้งที่อาศัยหลักการของระบบการอบแห้งด้วยอากาศร้อนภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ โดยใช้ความร้อนจากแหล่งที่เป็นพลังงานเหลือทิ้ง (Delivered Heat Out) และสามารถประยุกต์ไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อื่นในระบบการผลิตระดับอุตสาหกรรม และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

คำถามวิจัย

ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบงวดโดยห้องอบอยู่ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ สำหรับการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูงให้ลดลงในระดับที่สามารถนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะได้จะต้องทราบอะไรบ้าง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งสำหรับอธิบายจลนศาสตร์ของการลดความชื้นขยะมูลฝอยของระบบอบแห้งแบบงวดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ
2. เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งขยะมูลฝอยแบบงวดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ
3. เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบการอบแห้งแบบงวดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาระบบผลิตวัตถุดิบจากขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะที่มีเป้าหมายที่จะศึกษาแนวทางการจัดการวัตถุดิบก่อนที่จะนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะ โดยเน้นที่การจัดการระบบการอบแห้งขยะมูลฝอยจากชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูงภายใต้สภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งเป็นนวัตกรรมระบบอบแห้งที่มีความแตกต่างและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ระบบอบแห้งต้นแบบสำหรับลดความชื้นขยะมูลฝอยจากชุมชนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบเตรียมป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ ที่ใช้ประโยชน์ได้
2. ทราบถึงค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลดความชื้นขยะมูลฝอยจากชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

นิยามศัพท์เฉพาะ

ระบบอบแห้งแบบงวด (Batch Drying System) หมายถึง ระบบการอบแห้งที่อาศัยหลักการของระบบการอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งที่เป็นพลังงานเหลือทิ้งที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันซึ่งในแต่ละงวดของการอบแห้งระดับความดันในห้องอบมีค่าต่างกัน

สถานะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ (Normal Vacuum) หมายถึง สถานะที่ความดันในห้องอบแห้งมีความดันลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติหรือมีความดันติดลบ โดยการดูดเอาอากาศออกด้วยปั๊มดูดอากาศ

ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste: MSW) หมายถึง ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งมีความชื้นปะปนมาด้วย เป็นขยะที่เกิดขึ้นจากอาคารที่พักอาศัย สถานที่ทำการ โรงงานอุตสาหกรรม หรือตลาดสด และมีปริมาณ ลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยมีทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารซึ่งสามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ และบางชนิดก็ไม่อาจจะย่อยสลายได้

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derive Fuel: RDF) หมายถึง ผลของการปรับปรุง และแปลงสภาพของขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้าน ค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมืองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ

การลดความชื้น (Dehydration) หมายถึง การนำโมเลกุลของน้ำออกจากสารหรือกำจัดน้ำออกไป เช่นการอบแห้ง เป็นต้น

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio : MR) หมายถึง ปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัตถุที่กำลังอบแห้ง เทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมด ที่อยู่ภายในวัตถุ ซึ่งสามารถระเหยได้ ในสถานะการอบแห้งหนึ่ง ๆ

สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้ง (Empirical Drying Kinetics Equation: EDKE) หมายถึง สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆของการอบแห้งที่ได้มาจากการทดลอง

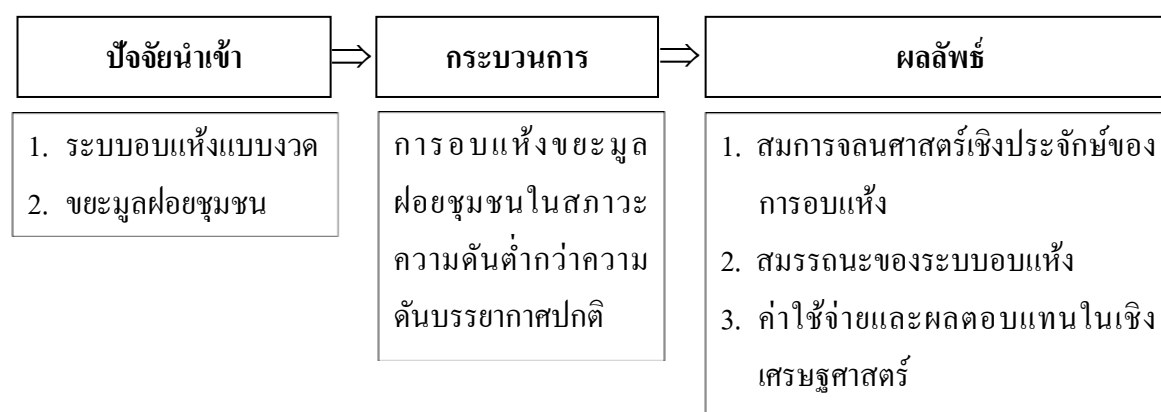
อัตราการอบแห้ง (Drying Rate : DR) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อหน่วยเวลา ระหว่างการทำแห้งหรือลดความชื้น

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัตถุดิบแห้ง

สมรรถนะของระบบอบแห้ง (Drying System Performance: DSP) หมายถึงเกณฑ์เชิงเปรียบเทียบของค่าอัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบ

ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ (The Cost of Producing and the Return in term of Economics) หมายถึงเงินลงทุนและผลตอบแทนของโครงการ โดยนำข้อมูลด้านการตลาด ด้านเทคนิค และด้านการจัดการ มาคาดคะเนรายรับและต้นทุนของโครงการ เพื่อจัดทำการเงินล่วงหน้า (Proforma Statement) และวิธีการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนโดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากระยะเวลาคืนทุน (Pay-back Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) และอัตราผลตอบแทนลดค่า (Internal Rate to Return)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นหลักการ ทฤษฎี แนวคิด และผลงานวิจัย สามารถประมวลสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย และนำเสนอตามลำดับดังนี้

1. บทนำ
2. การจัดการปัญหาขยะชุมชน
3. การจัดการขยะแบบเชื้อเพลิงขยะ
4. การลดความชื้น
5. สภาพความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ
6. กลไกของการอบแห้ง
7. สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์การอบแห้ง
8. สมรรถนะของเครื่องอบแห้ง
9. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนำ

ขยะมูลฝอยของประเทศไทยมีปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็วตามการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคของประชาชน การจัดการขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพตามเป้าหมายคือต้องสามารถเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยไปกำจัดอย่างถูกหลักวิชาการได้ประมาณร้อยละ 90 ของขยะที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ประการ คือ การวางแผน การจัดองค์การ การจัดบุคลากร งบประมาณ และเทคโนโลยี (อารีย์ ลัดดาชยพร และคณะ, 2541) การจัดการขยะมูลฝอยด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงของรัฐบาล และการที่ไม่เปิดโอกาสให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมในการคิดริเริ่ม การพิจารณาตัดสินใจ การร่วมปฏิบัติ และร่วมรับผิดชอบในเรื่องต่าง ๆ ย่อมมีผลกระทบต่อถึงตัวประชาชน (จุฑามาศ ทับจันทร์, 2545) แต่การมีส่วนร่วมของประชาชนนั้นต้องมีอิสรภาพที่จะมีส่วนร่วม มีความสามารถที่จะมีส่วนร่วม และเต็มใจที่จะมีส่วนร่วม (นิรันดร์ จงวุฒิเวศย์, 2527) ดังนั้นในการเลือกใช้เทคโนโลยีใดก็ตามในการจัดการปัญหาขยะ รัฐหรือผู้เกี่ยวข้องต้องคำนึงถึงสิ่งดังกล่าวเหล่านี้

การจัดการปัญหาขยะชุมชน

สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ผลิตขยะเฉลี่ยมากที่สุดในโลก และมีปริมาณมากขึ้นทุกปี องค์ประกอบของขยะประเทศต่างๆ ทั่วโลกส่วนมากมีขยะที่เป็นประเภทอาหาร รองลงมาคือ กระดาษ และไม้ แต่ประเทศกำลังพัฒนามีสัดส่วนของขยะประเภทอาหารสูงกว่าประเภทกระดาษหรือไม้ ประเทศที่พัฒนาแล้วสัดส่วนของขยะประเภทกระดาษและไม้มีสัดส่วนที่สูงกว่า (ศูนย์วิจัยและจัดการคุณภาพอากาศ, 2554) สำหรับประเทศไทยปริมาณขยะมูลฝอยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและกรุงเทพมหานครมีมากที่สุด รองลงมาคือภาคเหนือและภาคกลาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) สิ่งคุกคามที่เกิดจากการเผาขยะพบว่ามีสารมลพิษหลายชนิด ได้แก่ ฝุ่นขนาดเล็ก คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไดออกซิน ฟลูออแรน Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), Polychlorinated Biphenyl (PCB) รวมทั้งโลหะหนักต่างๆ ได้แก่ ตะกั่ว สารหนู ปรอท แคดเมียม แบเรียม โครเมียม เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ หัวใจ ระบบประสาท พัฒนาการของเด็กทารกในครรภ์มารดา และมะเร็งในหลายระบบของร่างกาย (Thorn, 2001)

การจัดการปัญหาขยะชุมชนสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การลดปริมาณขยะ การนำกลับมาใช้ใหม่ การทำปุ๋ย การฝังกลบ และการเผา ในบรรดาวิธีการต่างๆ การลดปริมาณขยะเป็นวิธีที่แก้ปัญหาที่ต้นเหตุ แต่ทำได้ยาก ในขณะที่วิธีการอื่นๆ มีทั้งข้อดีข้อเสีย รวมทั้งต้นทุนในการจัดการที่แตกต่างกันไป ส่วนขยะประเภทสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารหรือเศษพืช นอกจากการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีที่ดีที่สุดแล้ว ยังสามารถนำไปทำเชื้อเพลิงขยะได้อีก ซึ่งเชื้อเพลิงขี้เถ้าอาจเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญในอนาคตโดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน

สำหรับการจัดการขยะในประเทศไทยยังไม่มียุทธศาสตร์การดำเนินการอย่างจริงจังมักปล่อยให้เป็นที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (ศูนย์วิจัยและจัดการคุณภาพอากาศ, 2554) ซึ่งมีปัญหาในเรื่องของงบประมาณและความรู้เชิงเทคนิคในการจัดการ ทำให้พื้นที่หลายแห่งไม่มีการจัดการอย่างเป็นระบบ ประชาชนในหลายพื้นที่จึงจัดการกันเอง และเลือกที่จะใช้วิธีการเผา ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ดังนั้นการศึกษาวิจัยวิธีการกำจัดขยะด้วยวิธีการต่างๆ ทั้งในเชิงเทคนิค ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติโดยให้มุ่งแก้ปัญหาที่ต้นทางจึงเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง

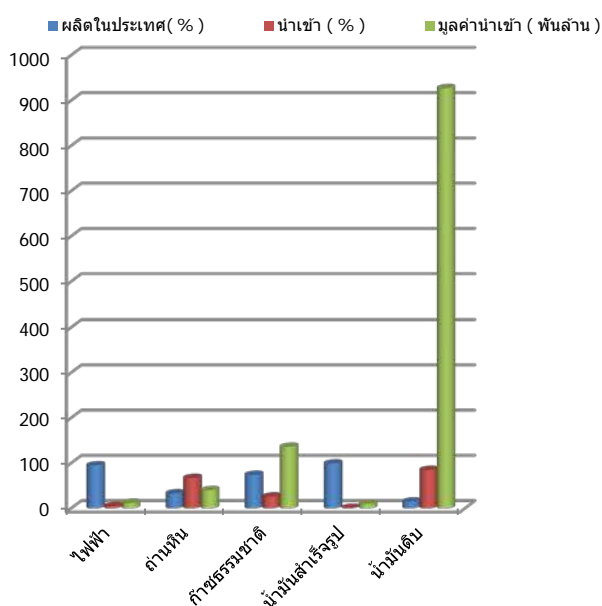
ในปี 2554 ที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก กว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้น (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2) เพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมัน

เชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่นและยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทน ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกึ่งหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต

ตารางที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554

พลังงาน	ผลิตในประเทศ(%)	นำเข้า(%)	มูลค่านำเข้า(พันล้านบาท)
ไฟฟ้า	95	5	12
ถ่านหิน	33	67	40
ก๊าซธรรมชาติ	74	26	136
น้ำมันสำเร็จรูป	99	1	10
น้ำมันดิบ	15	85	927
			1,125

(กระทรวงพลังงาน, 2555)



ภาพที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554

(กระทรวงพลังงาน, 2555)

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศคาดว่า ในปี 2564 จะมีความต้องการ 99.838 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (kilotons of oil equivalents: ktoe) (พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันดิบ 1 พันตัน หรือ ประมาณ 42 เทอราจูล หรือ Tera Joule: TJ) จากปัจจุบัน 71,728 ktoe และจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553 - 2573 รวมทั้งจากแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555 - 2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe ในปี 2555 เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด และกำหนดยุทธศาสตร์ ในการจัดทำแผนที่นำทาง (Roadmap) เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555 - 2564) หรือ Alternative Energy Development Plan: AEDP (2012 - 2021) โดยเฉพาะยุทธศาสตร์การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร ในเรื่องของการขับเคลื่อนรายเทคโนโลยี เกี่ยวกับพลังงานจากขยะ เป้าหมายในปี 2564 คือ 160 MW ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 13.45 MW โดยมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน Alternative Energy Development Plan: AEDP ที่สำคัญ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555) ดังนี้ (1) การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง เช่น ส่งเสริมสนับสนุนการผลิตพลังงานจากขยะในองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ขนาดกลางและขนาดเล็ก และส่งเสริมสนับสนุนการผลิตพลังงานจากขยะในชุมชนขนาดเล็ก เช่น ในโรงเรียน วัด ชุมชนหน่วยงานต่างๆ (2) การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบฯ ที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน เช่น เร่งรัด ปรับปรุง แก้ไขพระราชบัญญัติร่วมทุน พ.ศ.2535 เพื่อเอื้อให้เอกชนสามารถเข้าร่วมทุนกับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ในการผลิตพลังงานจากขยะทุกรูปแบบ โดยเฉพาะส่งเสริมการจัดการขยะแบบเชื้อเพลิงขยะ แล้วนำมาผลิตความร้อนร่วมในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งส่งเสริมการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก (3) การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน เช่น สร้างการมีส่วนร่วมในพื้นที่เป้าหมาย การจัดตั้งระบบผลิตพลังงานจากขยะ รมณรงค์ให้ความรู้แก่เด็กเยาวชนในการจัดการขยะเพื่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมเชิงลึกระดับพื้นที่ (4) การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร เช่น ศึกษาการจัดการเชื้อเพลิงขยะ วิจัยพัฒนาเตาเผาขยะและระบบผลิตพลังงานจากขยะขนาดเล็กไม่เกิน 50 ตัน/วัน ให้สามารถผลิตในประเทศ และพัฒนามาตรฐานและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

การจัดการขยะแบบเชื้อเพลิงขยะ

ได้มีการจัดระบบกลุ่มเชื้อเพลิงขยะเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบกลุ่มสหรัฐอเมริกา และระบบกลุ่มยุโรป (สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, 2551) โดยระบบกลุ่มสหรัฐอเมริกาแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ตั้งแต่ RDF-1 คือ การใช้ขยะมาเป็นเชื้อเพลิงในสภาพที่ถูกจัดเก็บมาโดยตรงเลย อาจมีการแยกชิ้นส่วนที่มี

ขนาดใหญ่ออกมาในกรณีนี้สามารถเห็นได้ด้วยตา RDF-2 คือ ขยะที่ถูกจัดเก็บมาแล้วมาผ่านกระบวนการคัดแยกนำสิ่งที่ไม่ดีออก รวมถึงผ่านกระบวนการลดขนาดอย่างหยาบ ๆ ไม่ละเอียดมากนัก RDF-3 จะเหมือนกับ RDF-2 แต่จะมีการลดขนาดให้เล็กลง มาถึงตรงนี้จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเป็น RDF-2 หรือ RDF-3 องค์ประกอบของขยะส่วนใหญ่ (หรือเกือบทั้งหมด) จะมีแต่องค์ประกอบที่เผาไหม้ได้เท่านั้น

ถ้าต้องการเชื้อเพลิงไปใช้กับเทคโนโลยีที่ต้องการขนาดของเชื้อเพลิงที่เล็กละเอียด เช่น ระบบกันสะเทือนยิง (Suspension Firing System) ก็จะนำ RDF-4 หรือในทางตรงกันข้าม ถ้าต้องการเชื้อเพลิงขยะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนส่ง จากนั้นนำ RDF-3 มาผ่านกระบวนการอัดหรือที่เรียกว่า RDF-5 ในระหว่างกระบวนการอัด อาจจะมีการเติมส่วนประกอบต่าง ๆ เพิ่มเข้าไปเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นตามต้องการ เช่น เติมหินปูนเพื่อช่วยในการดูดซับแก๊สที่มีสภาพเป็นกรดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทางความร้อน เติมถ่านหินเพื่อช่วยเพิ่มค่าพลังงานที่สูงขึ้น หรืออาจผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการควบคุมปริมาณองค์ประกอบที่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ปริมาณคลอไรด์ ปริมาณโลหะหนัก ที่มีอยู่ในขยะให้มีปริมาณที่กำหนดหรือสามารถควบคุมได้ด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานที่ใช้งานอยู่ สำหรับ RDF-6 และ RDF-7 คือ เชื้อเพลิงขยะที่ไม่ได้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็งเหมือนกับ RDF-1 ถึง RDF-5 ก่อนหน้านี้ แต่อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลว ตามลำดับ การที่จะเปลี่ยนสภาพจากเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงแก๊สสามารถทำได้โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gassification) ซึ่งแก๊สที่ได้ประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H₂) เป็นองค์ประกอบหลัก และแก๊สอื่น ๆ เช่น มีเทน (CH₄) หลังจากนั้นต้องผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า Fischer-Tropsch Synthesis (การเผาไหม้อินทรีย์สารแบบจำกัดปริมาณออกซิเจนทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์) ได้เชื้อเพลิงที่เป็นแก๊สออกมา เรียกว่า ก๊าซเชื้อเพลิง (Producer Gas หรือ Syngas)

ส่วนการเปลี่ยนสภาพจากเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทำได้โดยผ่านกระบวนการเรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือการให้ความร้อนในสภาพไร้อากาศ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งออกมาในรูปของเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก แต่ของเหลวที่วานี้ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ได้ทันที เพราะยังอยู่ในสภาพที่คล้ายกับน้ำมันดิบ จำเป็นต้องไปผ่านกระบวนการกลั่นก่อน จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงแก๊สหรือเชื้อเพลิงเหลวนั้น เป็นการเพิ่มคุณค่าและทางเลือกของการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปแบบของพลังงาน แต่สิ่งที่ยังเป็นอุปสรรคสำคัญ ก็คือความเชื่อมั่นในเทคโนโลยี แม้ว่าทั้งเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน และเทคโนโลยีไพโรไลซิส ไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่ก็จริง แต่สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังอยู่แค่ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งยังอยู่แค่ในระดับวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ดังนั้นการนำมาใช้กับ

ขยะของประเทศไทย ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมากกับขยะของประเทศที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทนี้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศทางกลุ่มยุโรป จึงต้องพิจารณาต่อไป

ส่วนระบบของกลุ่มยุโรปมักเรียกประเภทของเชื้อเพลิงขยะตามลักษณะทางกายภาพ ซึ่งมี 3 ประเภท ได้แก่ c-RDF (Coarse RDF), f-RDF (Fluff RDF) และ d-RDF (Densified RDF) เมื่อเทียบกับระบบกลุ่มสหรัฐอเมริกา ได้ว่า c-RDF เทียบได้กับ RDF-1, f-RDF เทียบได้กับ RDF-3 และ d-RDF เทียบได้กับ RDF-5

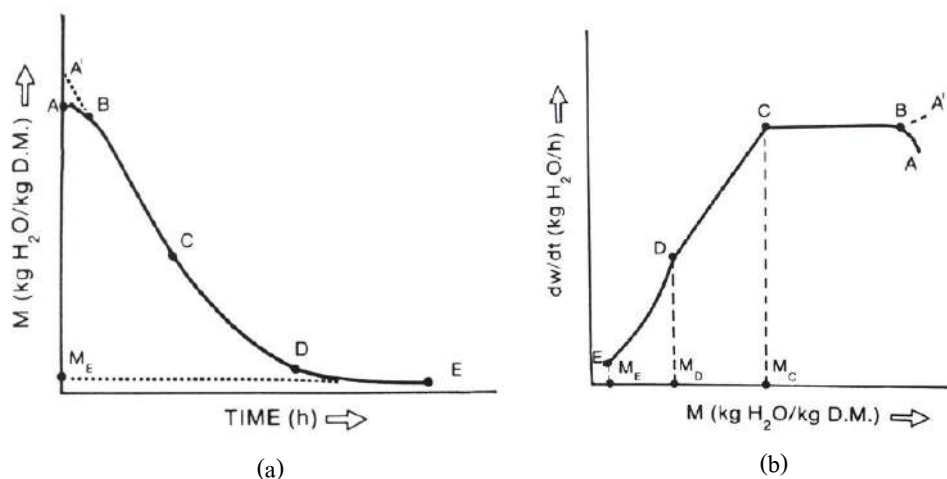
การออกแบบขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง ขึ้นอยู่กับสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะมูลฝอยได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (เช่น โลหะและแก้ว) ได้จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ โดยทั่วไปขยะถูกนำมาคัดแยกส่วนที่นำไปกลับใช้ซ้ำได้ (เช่น โลหะ อลูมิเนียม และแก้ว) และคัดแยกอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่มีความชื้นสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบป้อนเข้ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือผลิตสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) สำหรับส่วนประกอบมูลฝอยที่เหลือถูกนำไปลดขนาด ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกระดาษ เศษไม้ พลาสติก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงในรูปของ c-RDF หรือ RDF ชนิดหยาบ หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น d-RDF ในการพิจารณาว่า จะผลิตเชื้อเพลิงขยะชนิดใดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้สถานที่ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะ และสถานที่ที่ใช้งาน สัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะมูลฝอย 1 ตัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดการเก็บขยะ กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะ และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ จากรายงานของ European Commission Directorate General Environment พบว่าสัดส่วนการผลิตเชื้อเพลิงขยะอยู่ในช่วงระหว่าง 23-50% โดยน้ำหนักของขยะที่ป้อนเข้า ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (European Union) มีประมาณ 3 ล้านตันต่อปี (European Commission-Directorate General Environment, 2003) ได้แก่ ออสเตรีย ฟินแลนด์ เยอรมนี อิตาลี เนเธอร์แลนด์ และสวีเดน มีการศึกษาและพัฒนาระบบการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้เบลเยียมและสหราชอาณาจักรกำลังอยู่ระหว่างการพัฒนา ส่วนญี่ปุ่นมีโรงงานแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 2.5-390 ตัน/วัน ขึ้นอยู่กับการวางแผนการจัดการขยะในแต่ละพื้นที่ โดยเฉลี่ยแล้วจะมีกำลังการผลิตประมาณ 50 ตัน/วัน

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณซัลเฟอร์และคลอไรด์ อย่างไรก็ตามการ

แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งหรือการลดความชื้นก่อนการอัดแท่ง เพราะขยะมูลฝอยที่ส่วนมากเป็นเศษอาหารมีสารอินทรีย์และความชื้นสูง

การลดความชื้น

กระบวนการลดความชื้นคือการแยกน้ำออกจากวัตถุที่ชื้นให้เหลืออยู่น้อยที่สุด ด้วยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ โดยอาศัยความร้อนไล่ความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุ (ขยะมูลฝอยชุมชน) ออกไป ซึ่งเป็นการอบแห้งโดยการพา คือการเป่าอากาศร้อนผ่านวัตถุชื้น ความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัตถุ ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำให้น้ำที่อยู่ผิวและในเนื้อวัตถุเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ และถูกพาออกไปด้วยกระแสอากาศที่ไหลผ่านนั้น โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัตถุประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิว (Unbound Moisture) และ ความชื้นในเนื้อวัตถุ (Bound Moisture) ซึ่งความชื้นรอบผิวจะเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศที่อยู่รอบๆ ผิววัตถุชื้น (Relative Humidity) ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย ซึ่งต่างก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้ง ในทางปฏิบัติการอบแห้งวัตถุใด ๆ ความชื้นสุดท้ายของวัตถุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัตถุจะอยู่ที่ ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) หรือที่จุด E ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา

(b) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของวัตถุพูน

(Geankoplis, 1993; Rizvi, 1995)

ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา บอกให้ทราบถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ค่านี้เรียกว่า อัตราการอบแห้ง (Drying Rate:DR) ปกติการอบแห้งวัตถุหนึ่ง ๆ อัตราการอบแห้งมี 2 ช่วง คือ (ก) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Drying Period) คือ การอบแห้ง

ในช่วงที่มีอัตราการระเหยน้ำต่อพื้นที่ เป็นการอบแห้งในช่วงที่วัตถุดิบมีความชื้นสูง ความชื้นจึงเดินทางมาสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่ถ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว ส่วนใหญ่เป็นความชื้นรอบผิว (Adsorbed Moisture) หรือ ความชื้นอิสระ (Unbound Moisture) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 ช่วง B - C สามารถเขียนแสดงในรูปของสมการได้ตามสมการ (1)

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_c A}{L} (T_v - T_i) \quad (1)$$

เมื่อ $\frac{dM}{dt}$ = อัตราการอบแห้ง (kg/s)

h_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากอากาศ
ร้อนสู่ผิววัตถุ

A = พื้นที่ผิวของวัตถุ (m^2)

L = ความร้อนแฝงของน้ำในวัตถุ (J/kg)

T_v = ค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง และ

T_i = อุณหภูมิผิวต่อระหว่างอากาศและวัตถุ

และ (ข) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period) คือ การอบในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัตถุแห้งลง เมื่อน้ำในวัตถุเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทันกับอัตราการระเหยจากผิว ผิววัตถุก็จะพร่องน้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกราฟลดลงไปถึงจุด D ที่ผิววัตถุแห้งอย่างสมบูรณ์ ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวอาจค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และค่าอัตราการอบแห้งลดลง อาจจะแปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ช่วง C - D วัตถุดิบบางประเภทอาจมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ตลอดการอบเลยก็ได้ (โดยเฉพาะพวกผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล อโวคาโด ฯ) ทั้งนี้การอบแห้งสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของวัตถุดิบลดลงถึงจุดความชื้นสมดุลจุด E และสามารถแสดงอัตราการอบแห้งในรูปสมการดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (2)$$

เมื่อ M_e = ความชื้นสมดุลของวัตถุ

M = ความชื้นของวัตถุขณะเวลา t ใด ๆ

k = ค่าคงที่การอบแห้ง (Drying Constant)

หรืออยู่ในรูปของอัตราส่วนความชื้นจะได้

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-kt}$$

$$MR = e^{-kt}$$

$$\log MR = -kt \log e$$

$$\text{หรือ} \quad \log MR = kt \quad (3)$$

เมื่อ $k = -k \log e$ เป็นค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรควบคุม เช่น อุณหภูมิ (T) ความดัน (P) ความเร็วของลมร้อน (v) ปริมาตรของถัง (V) รวมทั้งความชื้นเริ่มต้น (M_0) ด้วย

สถานะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ

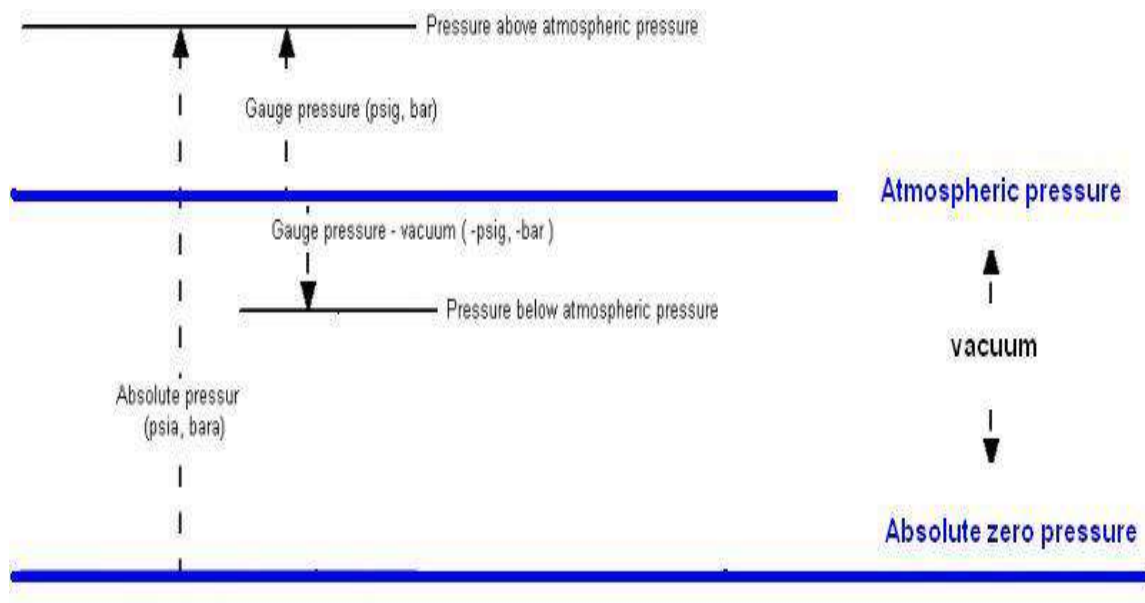
สุญญากาศ (Vacuum)

ระบบสุญญากาศมีรากฐานความเป็นมาเริ่มต้นจากศตวรรษที่ 15 เมื่อชาวโรมัน มีความพยายามที่จะทำการสูบน้ำจากบ่อ ต่อมากาลิเลโอ (ค.ศ.1564-1642) ได้พยายามทำการวัดความกดดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล (Atmospheric Pressure) และ Torricelli (ค.ศ.1608-1647) ได้พยายามสร้างเครื่องวัดความดันของอากาศ แบบมาโนมิเตอร์ต่อมา B. Pascal (ค.ศ.1623-1662) ได้สรุปสัมพันธภาพของความดันอากาศที่เปลี่ยนไปที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ กัน ระบบสุญญากาศถูกสร้างขึ้นจากปั๊มกลสุญญากาศตัวแรกโดย Magduburg O. Guericke (ค.ศ.1602-1686) ปัจจุบันมีความพยายามที่จะใช้ระบบสุญญากาศมาประยุกต์ใช้งานได้ในด้านต่าง ๆ มากมาย ซึ่งระดับความดันสุญญากาศถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ระดับต่ำ (Low level) คือ อยู่ในช่วง -25 จนถึง -736 mmHg ระดับกลาง (Medium Level) อยู่ในช่วง 1 จนถึง 10^{-3} torr หรือ -759 mmHg จนถึง -759.999 mmHg ระดับสูง (High Level) อยู่ในช่วง 10^{-3} จนถึง 10^{-7} torr หรือ -759.999 mmHg จนถึง -759.999999 mmHg และระดับสูงพิเศษ (Extreme high Level) อยู่ในช่วง 10^{-7} torr ลงไป

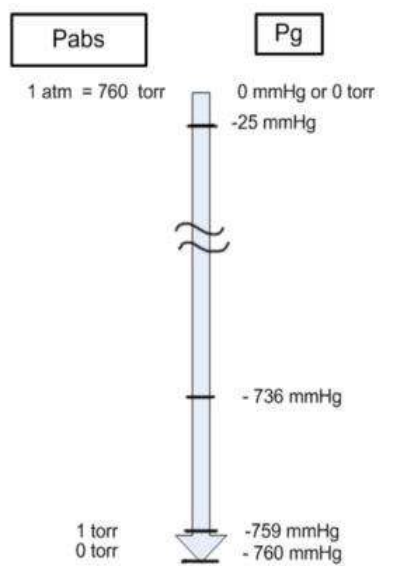
จึงกล่าวได้ว่าที่ว่างซึ่งมีความดัน (Pressure) ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) และความดันที่มีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศนี้จึงเรียกว่า ความดันสุญญากาศ (Vacuum Pressure, P_{vac}) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P_{vac} = \text{Atmospheric Pressure} - \text{Absolute Pressure} \quad (3)$$

ดังนั้นความดันสุญญากาศคือความแตกต่างของความดันระหว่างความดันบรรยากาศและความดันในระบบที่ถูกดูดออกไปดูภาพที่ 4 และตารางที่ 2 ประกอบ



(a)



(b)

ภาพที่ 4 (a) ระดับสถานะสุญญากาศ
 (b) เปรียบเทียบระดับสุญญากาศระหว่าง Pressure Absolute (Pabs) และ Pressure Gauge (Pg)
 (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2549)

ตารางที่ 2 ร้อยละของความเป็นสุญญากาศที่ระดับความดันต่าง ๆ ในหน่วยวัด

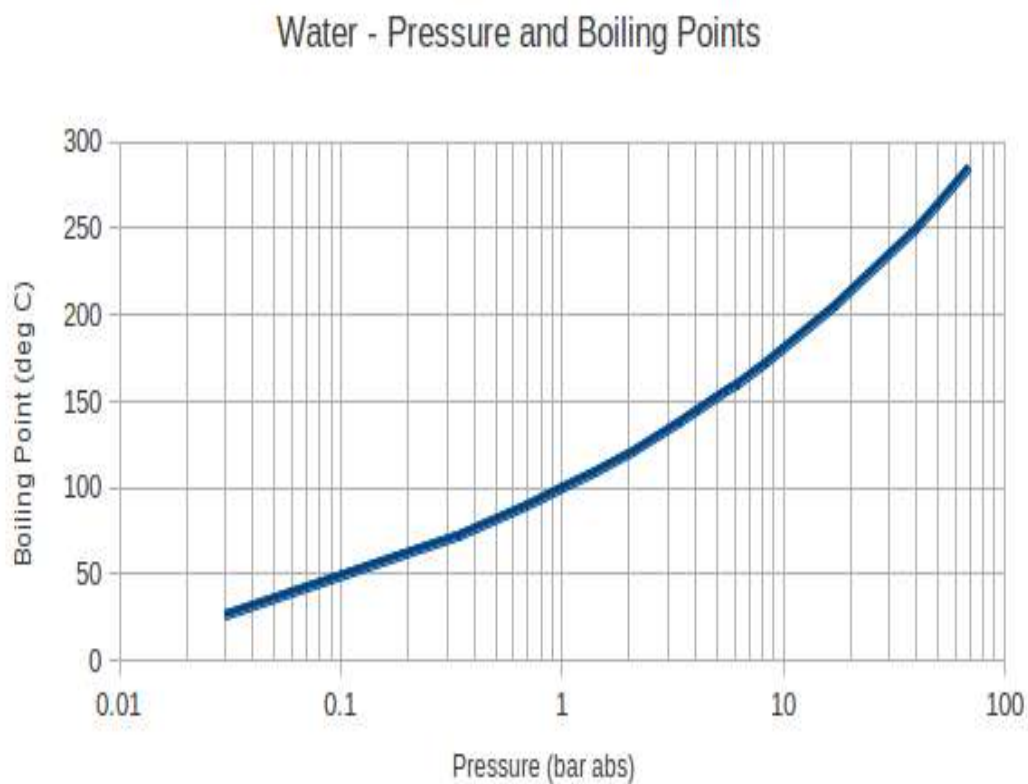
ความดันที่นิยมใช้

% Vacuum	Torr mmHg	microns	psia (abs) (lb/in ²)	inHg Absolute	inHg Guage	kPa abs
0	760	760000	14.7	29.92	0	101.4
1.3	750	750000	14.5	29.5	0.42	99.9
1.9	735.6	735600	14.2	28.9	1.02	97.7
7.9	700	700000	13.5	27.6	2.32	93.5
21	600	600000	11.6	23.6	6.32	79.9
34	500	500000	9.7	19.7	10.22	66.7
47	400	400000	7.7	15.7	14.22	53.2
50	380	380000	7.3	15	14.92	50.8
61	300	300000	5.8	11.8	18.12	40
74	200	200000	3.9	7.85	22.07	26.6
87	100	100000	1.93	3.94	25.98	13.3
88	90	90000	1.74	3.54	26.38	12
89.5	80	80000	1.55	3.15	26.77	10.7
90.8	70	70000	1.35	2.76	27.16	9.3
92.1	60	60000	1.16	2.36	27.56	8
93	51.7	51700	1	2.03	27.89	6.9
93.5	50	50000	0.97	1.97	27.95	6.7
94.8	40	40000	0.77	1.57	28.35	5.3
96.1	30	30000	0.58	1.18	28.74	4
96.6	25.4	25400	0.49	1	28.92	3.4
97.4	20	20000	0.39	0.785	29.14	2.7
98.7	10	10000	0.193	0.394	29.53	1.3
99	7.6	7600	0.147	0.299	29.62	1
99.9	1	1000	0.01934	0.03937	29.88	0.13
99.9	0.75	750	0.0145	0.0295	29.89	0.1
99.99	0.1	100	0.00193	0.00394	29.916	0.013
99.999	0.01	10	0.000193	0.000394	29.9196	0.0013
100	0	0	0	0	29.92	0

เมื่อ $1 \text{ psi (lb/in}^2\text{)} = 6,894.8 \text{ Pa (N/m}^2\text{)} = 6.895 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 6.895 \times 10^{-2} \text{ bar}$

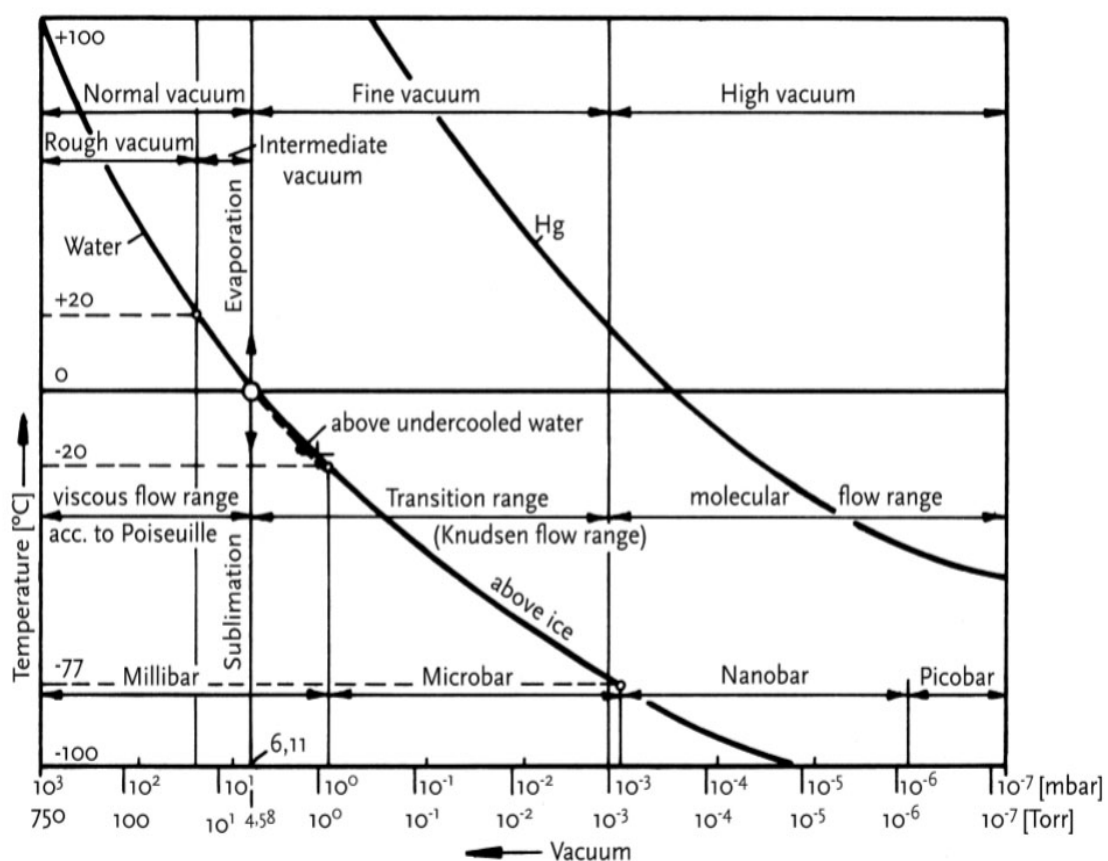
(EngineeringToolBox, 2001)

เมื่อน้ำถูกทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดที่ความดันใดมีขนาดมากพอที่จะทำให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในมวลของน้ำโดยจุดเดือดจะขึ้นอยู่กับความดันและจุดเดือดของน้ำที่ความดันตั้งแต่ 0.03 – 70 bar (abs) ในแบบ logarithm scale ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดของน้ำ (°C) และความดัน
(EngineeringToolBox, 2001)

สำหรับกระบวนการทางวิศวกรรมความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนและมวลโดยทั่วไปในทางปฏิบัติมักจัดระดับไว้เป็น 3 ระดับ (Bannwarth, 2005) ดังแสดงในภาพที่ 6 ได้แก่ (1) Basic หรือ Normal Vacuum อยู่ในช่วงความดันตั้งแต่ 760 ถึง 25 mmHg (2) Fine หรือ Medium Vacuum อยู่ในช่วงความดันตั้งแต่ 25 ถึง 0.000 975 mmHg (3) High Vacuum อยู่ในช่วงความดันตั้งแต่ 0.000 975 ถึง 0.000 000 975 09 mmHg



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและช่วงระดับความดัน 3 ระดับ

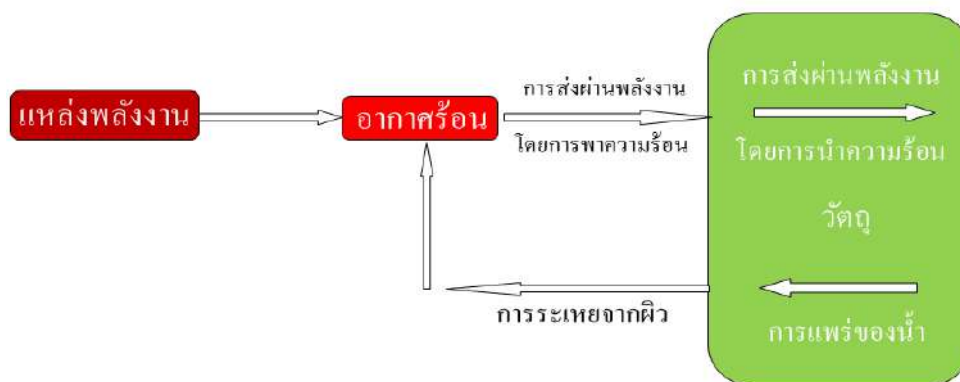
(Bannwarth, 2005)

โดยส่วนมากแล้วงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ มักจะทำการอบแห้งที่ระดับสุญญากาศระดับ Basic หรือ Normal Vacuum อยู่ในช่วงความดันตั้งแต่ 760 ถึง 25 Torr หรือ mmHg (Drouzas and Schubert, 1996); Zhangjingang and Lamb, 2007; Liu *et al.*, 2009; Stanish *et al.*, 1986; Taniguchi and Nishio, 1991)

กลไกของการอบแห้ง

(1) กลไกการอบแห้งด้วยอากาศร้อน

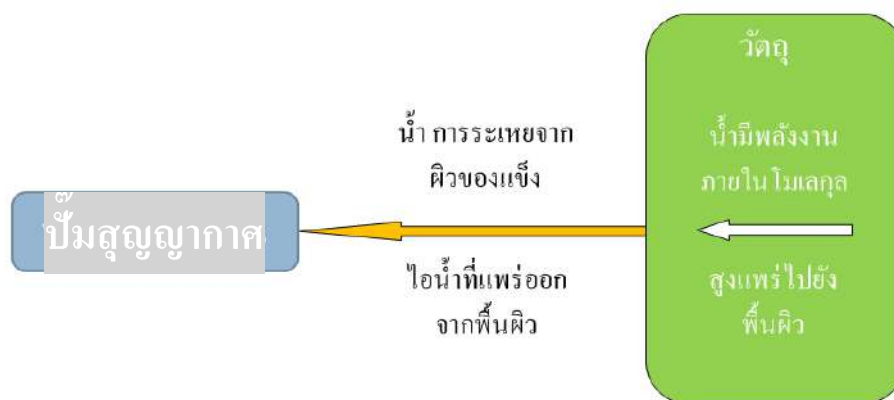
กลไกการอบแห้งด้วยอากาศร้อน พลังงานจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังผิวของวัตถุที่นำมาอบแห้งด้วยการพาความร้อนน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นไอและแพร่สู่อากาศแห้งที่บริเวณพื้นผิว ซึ่งความแตกต่างของความชื้นภายในวัตถุดิบนี้เองเป็นตัวก่อให้เกิดการแพร่ของโมเลกุลของน้ำที่ผิว ดูภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กลไกการอบแห้งด้วยอากาศร้อน
(ดัดแปลงจาก Wadsworth *et al.* , 1990)

(2) กลไกการอบแห้งด้วยสุญญากาศ

การลดระดับความดันให้อยู่ในระดับสุญญากาศจะส่งผลให้อุณหภูมิของการระเหยลดลง อันเนื่องมาจากน้ำมีพลังงานภายในโมเลกุลสูงแพร่ออกไปยังพื้นผิว และน้ำดังกล่าวจะระเหยกลายเป็นไอน้ำแพร่ออกจากพื้นผิว ดูภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กลไกการอบแห้งด้วยสุญญากาศ
(ดัดแปลงจาก Wadsworth *et al.* , 1990)

สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้ง

สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์การอบแห้งเป็นสมการที่สร้างจากแนวโน้มข้อมูลการทดลอง การประยุกต์ใช้สมการเชิงประจักษ์ของการอบแห้งเพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ความชื้น ซึ่งถ้าสามารถทราบสมการที่เหมาะสม ก็สามารถทำนายค่าความชื้นในแต่ละช่วงเวลาระหว่าง การอบแห้งได้อย่างเหมาะสม ทำให้ทราบเวลาสิ้นสุดการอบแห้งได้ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง

สมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง สามารถทำได้ในเทอมของอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) โดยอาศัยสมการที่ (4) และ (5)

$$DR = \frac{m_{pi} - m_{pf}}{t} \quad (4)$$

เมื่อ m_{pi} คือ น้ำหนักวัตถุก่อนอบแห้ง (kg)

m_{pf} คือ น้ำหนักวัตถุหลังอบแห้ง (kg)

t คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

และ

$$SEC = \frac{EP}{M_{vw}} \quad (5)$$

เมื่อ EP คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ (kW-hr)

M_{vw} คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหย (kg)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินงานในโครงการนี้ สามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยอาศัยการประมาณรายได้ การประมาณรายจ่าย เกณฑ์การตัดสินใจ ระยะเวลาคืนทุน (Pay-Back Period : PB) จากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate to Return : IRR) และ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพอดี หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้ว มีค่าเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งหลักการตัดสินใจของระยะเวลาคืนทุน (จำนวนปี) คือระยะเวลายิ่งสั้น (น้อย) ยิ่งดีเพราะความเสี่ยง

(Risk) น้อย และมีสภาพคล่อง (Liquidity) มากกว่า และระยะเวลายาว (มาก) ไม่ดีเพราะความเสี่ยงของโครงการสูงตามระยะเวลาที่ยาว(วันชัย วิจิรวนิช และ สุทัศน์ รัตนเกือกังวาน, 2540)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการ ซึ่งคำนวณได้ด้วยการทำส่วนลดกระแสผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน หรืออาจคำนวณหาจากความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนรวม และมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนรวม มีเกณฑ์ในการตัดสินใจได้แก่ ในกรณีที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิตั้งแต่ 0 หมายความว่า มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย แสดงว่าโครงการนั้นให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน และในกรณีที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 หมายความว่า มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับน้อยกว่าหรือเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย แสดงว่า โครงการนั้นให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ควรนำเงินที่จะลงทุนไปฝากธนาคารเพื่อรับดอกเบี้ยหรือนำเงินไปลงทุนในโครงการอื่นที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากว่า (กิติพงษ์ ถือสัตย์, 2547)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุน โดยการหาค่าอัตราลด (Discount Rate) ที่ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนและต้นทุนเท่ากัน ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ หรือต้นทุนของเงินทุนก็ควรลงทุน แต่ถ้าค่าน้อยกว่าก็ควรปฏิเสธการลงทุน(วันชัย วิจิรวนิช และ สุทัศน์ รัตนเกือกังวาน, 2540)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

ประภาพร แก้วสุกใส (2549) ได้ศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ผลการศึกษา สรุปได้ว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเฉลี่ยในช่วง ปีคภาครเรียนเท่ากับ 1,376.66 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนในช่วงเปิดภาคเรียนปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเฉลี่ยในช่วงวันทำการ 7,946.66 กิโลกรัมต่อวัน หรือมีปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องจัดการสูงสุดวันละประมาณ 8 ตันต่อวัน คิดเป็นอัตราการผลิตขยะมูลฝอยเฉลี่ย 1.3 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยองค์ประกอบขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ เศษผักผลไม้/เศษอาหาร ช่วงปิดเทอมพบเป็นร้อยละ 30.91 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดและช่วงเปิดเทอมพบเป็นร้อยละ 46.65 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด องค์ประกอบขยะมูลฝอยที่มีปริมาณรองลงมาใน 4 อันดับแรก ได้แก่ พลาสติก กระดาษ โฟมและผ้า ส่วนระบบการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัย ได้จัดให้มีภาชนะรองรับขยะมูลฝอย 2 ประเภท สำหรับขยะเปียกและขยะแห้ง การเก็บขนและขนส่งขยะมูลฝอยใช้รถยนต์บรรทุกขยะแบบอัดท้ายของมหาวิทยาลัย ขนส่งขยะมูลฝอยไปกำจัด ณ สถานที่ เทกองและฝังกลบขององค์การบริหาร

ส่วนตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ประชากรร้อยละ 80.30 มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย อยู่ในระดับปานกลาง การพัฒนาพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยควรมีการสร้างและปลูกฝังทัศนคติที่ดี ที่ถูกต้องและเหมาะสม สำหรับแนวทางในการจัดการ ขยะมูลฝอย คือ การลดปริมาณขยะมูลฝอย โดยมีแนวทางในการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนทิ้งลงภาชนะ 4 ประเภท คือ ขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิล ขยะอันตรายและขยะทั่วไป ภาชนะรองรับมีข้อความตามประเภทและสัญลักษณ์อย่างชัดเจน มีการนำขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ตามประเภทของขยะ แยกขยะอันตราย และ มีการจัดกิจกรรมส่งเสริมสนับสนุนการลดและการแยกขยะมูลฝอย

วิชา วิชาการพัฒนา (2550) ได้ศึกษาพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย สรุปได้ว่า การกำจัดขยะของกรุงเทพมหานคร ใช้วิธีการ 2 วิธี คือ การทำปุ๋ยหมักด้วยวิธี Compost ใช้ขยะประมาณ 1,000 ตันต่อวัน และใช้ระบบฝังกลบที่บ่อฝังกลบอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม และบ่อฝังกลบ อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา การฝังกลบเป็นวิธีการกำจัดขยะที่ง่ายและต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่น มีการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ แต่ในระยะยาวจะมีปัญหาจากพื้นที่ฝังกลบ และจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ดังนั้นการกำจัดขยะ โดยใช้เทคโนโลยีระบบ Anaerobic Digestion และระบบเผาทำลายด้วยความร้อนย่อมเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในอนาคตอันใกล้ การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบกำจัดขยะมูลฝอยมีความเป็นไปได้มากขึ้น

อดิเทพ วรรณจรยา (2553) ได้ศึกษาการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชน โดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายแบบ ใช้เชื้อจุลินทรีย์ ขยะมูลฝอยชุมชนจำลองที่ใช้ในการทดลองนี้ปริมาณ 10 kg ประกอบด้วย เศษผักสด เศษข้าวสุก และเศษใบไม้แห้ง มาผสมคลุกเคล้ากันในอัตราส่วน 5:3:2 โดยมวล โดยใช้เศษผักสอง ขนาดคือ ที่ขนาดเศษผัก 50 mm และ 25 mm ขยะที่เตรียมได้มีค่าความชื้นเริ่มต้นที่ 70% w.b. นำไป ใส่ในหีองอบแห้งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m สูง 1.6 m ที่มีความลึกชั้นขยะใน คอลัมน์ของเครื่องอบแห้งเป็น 0.7 m ถูกเป่าด้วยอากาศแวดล้อมด้วยอัตราการไหลของอากาศ 6 m³/min/ ton of garbage เป็นระยะเวลา 14 วัน จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของขยะมีค่า 30% w.b. จากการทดลอง ทั้ง 5 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1, 3 และ 4 ใช้ขยะเศษผักขนาดกว้าง 2 cm x ยาว 2.5 cm และการ ทดลองที่ 2 และ 5 กรณีใช้ขยะเศษผักขนาดกว้าง 2 cm x ยาว 2.5 cm พบว่าความร้อนที่เกิดจากการย่อย สลายขยะสามารถลดความชื้นขยะลงได้เกือบทั้ง 5 การทดลอง โดยค่าความชื้นสุดท้ายของขยะการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 52, 23, 17, 25 และ 19% w.b. ตามลำดับ ผลของการอบแห้งขยะมูลฝอย ที่ใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สูงเป็นสาเหตุทำให้อัตราการอบแห้งของขยะมูลฝอยลดลง และ ขนาดขยะที่ทดลองไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง 6 m³/min/ ton of garbage

ศิพร เมธาคูปต์ (2546) ศึกษาการอบแห้งมะขามป้อมเกล็ดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำและเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียสและ

ความดันสัมบูรณ์ 7 10 และ 13 กิโลปาสกาล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นการศึกษาจลนศาสตร์ การอบแห้งและการเสื่อมคุณภาพ (ในแง่ของวิตามินซีและลี) ของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับมะขามป้อม จากผลการทดลองด้านจลนศาสตร์การอบแห้งพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการลดลงของความชื้นของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบที่ทำการศึกษา อย่างไรก็ตาม พบว่าความดันมีผลต่ออัตราการลดลงของความชื้นในการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง แต่มีผลเพียงเล็กน้อยในกรณีการอบแห้งแบบสุญญากาศ นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้ถึงความชื้นตามที่ต้องการในกรณีการอบแห้งแบบสุญญากาศมีค่าน้อยกว่า เวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งแบบ ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ทุกสภาวะการอบแห้ง และพบว่าสมการของ Page สามารถอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งทั้งสองแบบที่ทำการศึกษาได้ดีในทุกสภาวะการอบแห้งที่ทำการศึกษา ($R^2 = 0.9334 - 0.9868$) ในแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความดันไม่มีผลต่อการรักษาสี และวิตามินซีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ ในขณะที่มีเพียงอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งเท่านั้นที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการรักษาสีและวิตามินซีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ เมื่อพิจารณาผลของการอบแห้งทั้งสองวิธีต่อคุณภาพของมะขามป้อมเกลือ พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่า และมีสีที่ดีกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ ยกเว้นกรณีของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 75 องศาเซลเซียส และความดันสัมบูรณ์ 7 กิโลปาสกาล ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับที่วัดได้ในตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ (หากแต่การเปลี่ยนสีไม่มีความสำคัญในแง่ของผู้บริโภคในกรณีของผลิตภัณฑ์มะขามป้อมเกลือ) ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 75 °C ความดันสัมบูรณ์ 7 kPa จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมะขามป้อมเกลือ

งานวิจัยต่างประเทศ

Carolina Armijo de Vega *et al.* (2003) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสถาบันการศึกษาของชาวเม็กซิกันกับโปรแกรมการจัดการขยะมูลฝอย : กรณีศึกษาเป็นมหาวิทยาลัย ผลการศึกษา สรุปได้ว่า ประเทศเม็กซิโกมีโอกาสในการจัดการขยะมูลฝอยให้มีความยั่งยืนได้ ยากมาก สิ่งที่สถาบันการศึกษาควรปฏิบัติ คือการจัดอบรมให้อาจารย์มีความรู้และวิธีการในการจัดการขยะมูลฝอยและการรีไซเคิล มีการจัดกิจกรรมการลดปริมาณขยะมูลฝอยภายในสถาบัน การแยกขยะมูลฝอยในสถาบัน มีการรณรงค์ให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในโครงการที่มีกิจกรรมการรีไซเคิลและการลดปริมาณขยะมูลฝอย สนับสนุนและจัดให้นักศึกษาได้มีโอกาสเยี่ยมชมศูนย์การรีไซเคิลและสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยของเมืองเป็นต้น

Simkins and Noian (2004) ได้ศึกษาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในมหาวิทยาลัย ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัย จะดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องมีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ กรอบแนวคิดของระบบการจัดการ การตั้งเป้าหมายการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น งบประมาณในการจัดการที่เพียงพอ การให้ความรู้ความเข้าใจ และการสร้างทัศนคติที่ดี เกี่ยวกับระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในการจัดการขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยกับนักศึกษาและบุคลากร

Adani *et al.* (2002) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของขยะมูลฝอยชุมชน และอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อการอบแห้ง ค่าความร้อน และระดับความเสถียรในการผลิตเชื้อเพลิงขยะ โดยการทดลองเป็นการดูดอากาศแวดล้อมจากพัดลมขนาด 0-1200 l/hr จากด้านบน ผ่านชั้นขยะสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ทรงกระบอกแบบอะเดียเบติก Fix Bed ขนาด 148 ลิตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง 486 mm สูง 800 mm) การทดลองใช้ขยะมูลฝอยชุมชน 44 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง A, B และ C กำหนดให้มีอุณหภูมิที่จุดวัดในตัวขยะเท่ากับ 70, 60 และ 45 °C ตามลำดับ ทำการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้การปรับค่าอัตราการไหลของอากาศในแต่ละของการทดลอง A, B และ C เท่ากับ 6.3, 11.6 และ 23.1 kg/h ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การทดลอง A มีค่าอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 166 g/kg ค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับ 409 g/kg และค่าปริมาณพลังงานเท่ากับ 10,351 kJ/kg การทดลอง B มีค่าอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 132 g/kg ค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับ 665 g/kg และมีค่าปริมาณพลังงานเท่ากับ 13,558 kJ/kg และการทดลอง C มีค่าอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 18 g/kg ค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับ 667 g/kg และมีค่าปริมาณพลังงานเท่ากับ 14,056 kJ/kg จากผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ว่า ค่าอัตราการย่อยสลาย และค่าการสูญเสียน้ำมีค่าที่ตรงข้ามกัน โดยถ้ามีค่าการสูญเสียน้ำที่มีปริมาณมากดังในการทดลอง C จะส่งผลให้เกิดการย่อยสลายที่ต่ำ และมีระดับความเสถียรของขยะที่ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ขยะมีค่าปริมาณพลังงานที่สูง แต่ถ้ามีค่าการสูญเสียน้ำในขยะปริมาณที่มากดังการทดลอง A จะทำให้ค่าการย่อยสลาย และค่าระดับความเสถียรของขยะจะมีค่าที่ตรงข้ามกับการทดลอง C

Zhang *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชีวภาพของขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความชื้นสูง โดยใช้เทคโนโลยีแบบ Aerobic และแบบ Hydrolytic วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือการหาค่าที่เหมาะสมของความเร็ว และช่วงระยะเวลาการระบายอากาศในกองขยะในวิธี Hydrolytic เพื่อนำค่าที่เหมาะสมที่ได้มาใช้ร่วมกับการอบแห้งแบบ Bio-drying การศึกษาการทดลองจะใช้ขยะมูลฝอยชุมชนที่ประกอบด้วย ขยะครัวเรือน กระดาษ พลาสติก และอื่นๆ ในปริมาณร้อยละ 60, 23, 11 และ 6 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นำผสมให้ได้ขยะในปริมาณ 32 kg แล้วเสร็จแล้วใส่ในถังปฏิกรณ์ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 400 mm สูง 1,200 mm หุ้มด้วยฉนวนหนา 100 mm ส่วนด้านล่างมีตะแกรงเจาะรูขนาด 2 mm เพื่อรองรับขยะ และถัดลงมาจากชั้นตะแกรงจะมีชั้นระบายน้ำชะขยะที่ทำด้วยก้อนดินเผาทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 mm การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์อบแห้งจะใช้การเป่าอากาศ

ด้วยพัคลมจากด้านล่างผ่านขยะไหลสู่ด้านบนด้วยอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.45 \text{ m}^3 / \text{kg} / \text{m}$ การทดลองจะแบ่งออกเป็น 5 การทดลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 2.7 จากผลการทดลองพบว่า การใช้วิธีแบบ Hydraulic ซึ่งเป็นวิธีการให้อากาศอย่างไม่เพียงพอ เพื่อให้จุลินทรีย์แบบ Facultative ผลิตเอนไซม์แบบ Extracellular ออกมาเพื่อทำการ Hydraulicize สารประกอบโมเลกุลใหญ่และทำลายผนังเซลล์ หรือเมมเบรนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ที่ถูกย่อยสลายน้ำทำให้เกิดขยะออกมา จากผลที่ได้พบว่าความถี่ และช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของการทำวิธีแบบ Hydraulic นี้คือใช้ความถี่ 6 ครั้งต่อวัน และทำในระยะเวลา 4 วัน และจากผลที่ได้นี้พบว่า การทดลองที่ 2 ขยะที่ผ่านการกระบวนการ Bio-Drying โดยวิธีร่วมแบบ Hydraulic และแบบ Aerobic นี้มีค่าน้ำหนักขยะที่ได้ออกมามีค่าต่ำสุด

Sugni *et al.* (2005) ได้ศึกษาการอบแห้ง และทำการเสถียรของขยะมูลฝอยชุมชนแบบพลิกกลับขยะ การทดลองใช้ถังปฏิกรณ์หมักปุ๋ยแบบอะเดียเบติกทรงกระบอกขนาด 148 ลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง A, B, และ C ซึ่งแต่ละการทดลองมีเงื่อนไขดังนี้ การทดลอง A แบ่งขยะออกเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 20 cm และขยะมีความชื้น 419 g/kg ค่าของแฉียงระเหยได้ 654 g/kg และมีเถ้า 346 g/kg การทดลอง B แบ่งขยะออกเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 20 cm ขยะมีค่าความชื้น 247 g/kg ค่าของแฉียงระเหยได้ 776 g/kg และมีเถ้า 224 g/kg การทดลอง C แบ่งขยะออกเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 20 cm และลักษณะขยะเหมือนกับการทดลอง B แต่จะมีการพลิกกลับขยะเป็นช่วงๆ กำหนดให้อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์โดยการใส่การควบคุมการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติทุกการทดลองไว้ที่อุณหภูมิ 45°C และในแต่ละการทดลองใช้ขยะมูลฝอยชุมชน 40 kg จากผลการทดลองพบว่า การทดลอง A มีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละชั้น โดยที่ชั้นบนสุดมีค่าของอุณหภูมิที่วัดได้เท่ากับ 30°C และชั้นล่าง 60°C และการทดลอง B ก็มีความแตกต่างของอุณหภูมิเหมือนกับการทดลอง A ส่วนการทดลอง C มีความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นขยะแต่ละช่วงน้อยกว่า 2 การทดลองแรก สำหรับค่าการสูญเสียน้ำในขยะเท่ากับ 205, 229 และ 301 g/kg ตามลำดับ การทดลอง B มีการสูญเสียน้ำในขยะเท่ากับ 120, 153 และ 169 g/kg ในชั้นบน กลาง และชั้นล่างตามลำดับ ส่วนการทดลอง C มีการสูญเสียน้ำในขยะเท่ากับ 134, 140 และ 134 g/kg ในชั้นบน กลาง และชั้นล่าง ตามลำดับ จากผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองแสดงให้เห็นว่า การทดลอง C ซึ่งใช้วิธีการแบบพลิกกลับขยะเป็นช่วง ๆ มีผลทำให้ค่าการสูญเสียน้ำของขยะในแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

Dongqing *et al.* (2008) ได้ศึกษาการอบแห้งชีวภาพของขยะมูลฝอยชุมชนที่มีปริมาณความชื้นที่สูงโดยใช้วิธีเทคนิคร่วมแบบ Aerobic and Hydraulic Stage โดยศึกษาประสิทธิภาพของ Bio-Drying ที่ใช้ระบบร่วมแบบ Aerobic และแบบ Hydraulic คูณผลเปรียบเทียบระหว่างขยะที่ผสมและไม่ได้ผสม Inoculation Material การทดลองใช้ Inoculation Material และขยะมูลฝอยชุมชนมาผสมกันในอัตราส่วน 1:9 โดยมวล ปริมาณ 32 kg และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองได้แก่ การทดลอง

A และ C เป็นการทดลองที่ใช้ระบบ Aerobic ที่ไม่ผสม และผสม Inoculation Material และการทดลอง B และ D เป็นการทดลองโดยใช้ระบบร่วมคือ Aerobic กับ Hydraulic ที่ไม่ผสม และผสม Inoculation Material โดยระบบ Hydraulic จะทำงานใน 4 วันแรก และหลังจากนั้นระบบ Aerobic จะทำงานต่อ รายละเอียดตามตารางที่ 3 การทดลองจะทำการบรรจุขยะที่ทำการผสมแล้วใส่ในถังปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm สูง 1,200 mm ทุ่มฉนวนหนา 100 mm มีตะแกรงเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ใช้สำหรับรองรับขยะ และ ถัดลงมามีลูกบอลดินเผาวงเรียงเพื่อใช้เป็นส่วนที่รับน้ำชะขยะ (Leachate) ทำการเป่าอากาศจากด้านล่างสู่ผ่านขยะขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์โดยใช้พัดลม (Whirl Pool Pump) ด้วยอัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.45 m/kg-m-h

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยแบบงวดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ มีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัยดังนี้ วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การวางแผนการทดลอง ขั้นตอนในการทดลอง และขั้นตอนในการประมวลผลการทดลอง

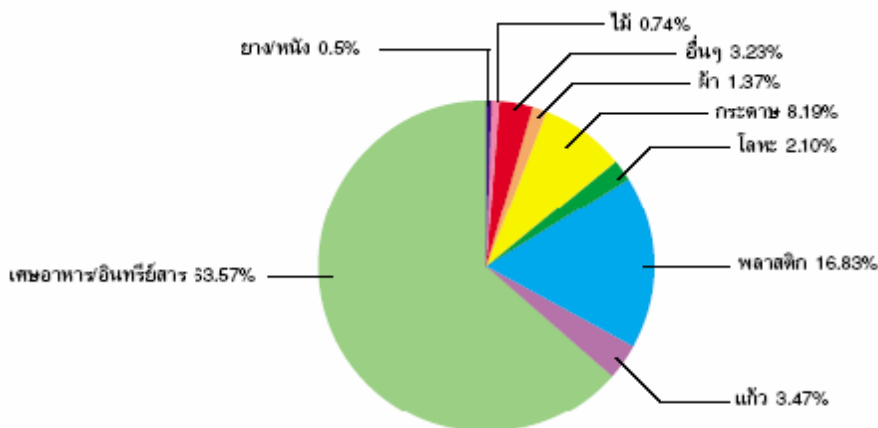
วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุสำหรับงานวิจัย

ขยะมูลฝอยจากชุมชน (MSW) ที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบ ตามประเภทขยะ 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 3.1 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2550) คือ

ประเภท **Combustible** ซึ่งได้แก่ เศษอาหาร/อินทรีย์สาร 63.57% (ได้แก่ เศษอาหาร 30.59% และสารอินทรีย์ (ใบไม้ กิ่งไม้ และอื่นๆ) 32.98%) กระดาษ 8.19% พลาสติก 16.83% ไม้ 0.74% ยาง/หนัง 0.5% ผ้า 1.37% อื่นๆ ที่แยกไม่ได้ 3.23% (ได้แก่ ผ้าอ้อมสำเร็จรูป ผ้าอนามัย และกระดาษทิชชู) และ

ประเภท **Non combustible** ซึ่งได้แก่ แก้ว 3.47% โลหะ 2.10%



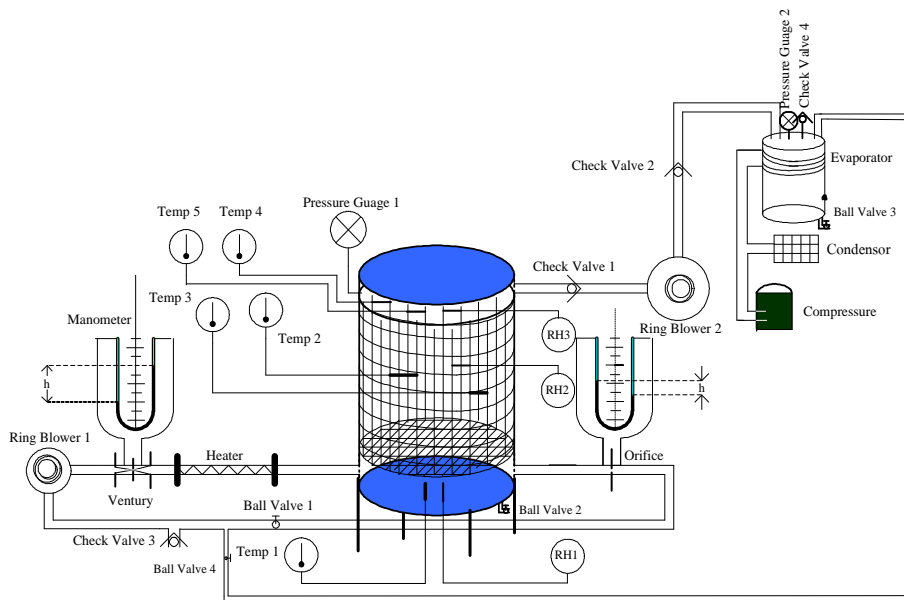
ภาพที่ 9 องค์ประกอบขยะชุมชนเฉลี่ยทั่วประเทศไทย
(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2550)

ผู้วิจัยได้จำลองขยะมูลฝอยจำลองขึ้นมาตามสัดส่วนตามประเภทขยะแบบ Combustible จำนวน 10 kg บรรจุตะกร้าลวดตาข่ายหรือ Fix Bed จัดวางในห้องปฏิบัติการอบแห้ง ประกอบด้วย เศษอาหาร

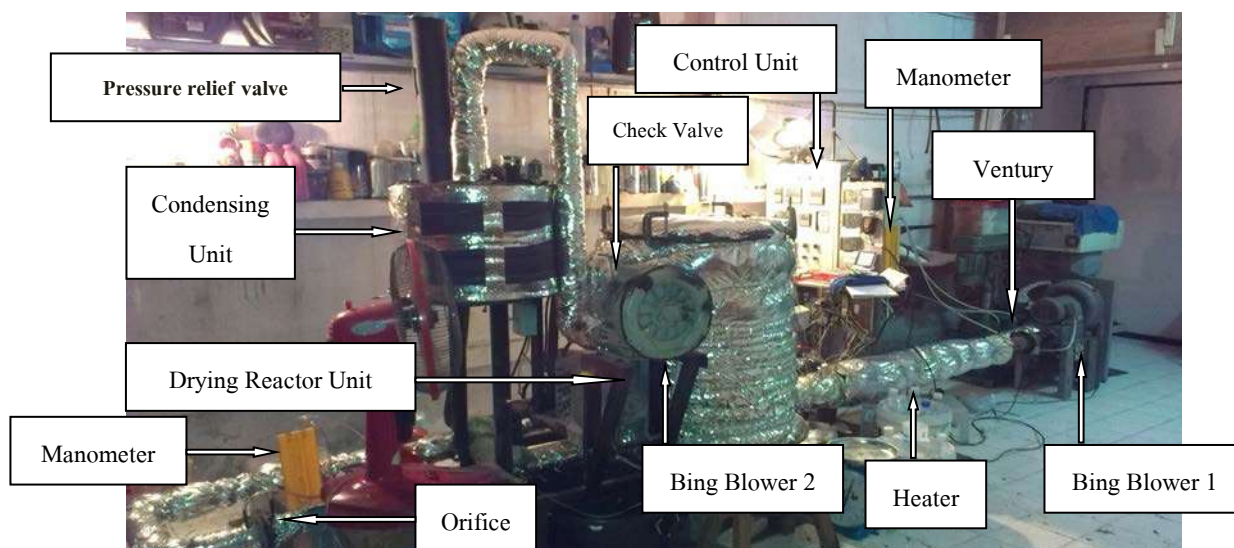
m3 kg ใบไม้ 3 kg กระดาษ 1 kg พลาสติก 2 kg ฝ้าย 0.5 kg คละกั้น (เศษอาหาร+ใบไม้+กระดาษ+ไม้+ฝ้าย) 0.5 kg

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ระบบบอบแห้ง สำหรับการทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ 2 ชุด ดังแสดงไว้ในภาพที่ 10 และ 11 มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 10 แผนภูมิระบบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่สามารถลดความดันในห้องอบให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ



ภาพที่ 11 ชุดทดลองระบบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่ลดความดันในห้องอบให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

2.1 ชุดปฏิกรณ์อบแห้งและควบแน่น มี 2 ส่วนได้แก่ ส่วนอบแห้ง และส่วนควบแน่น โดยส่วนอบแห้งประกอบด้วยห้องอบแห้งรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 m สูง 0.85 เมตร ส่วนล่างต่อท่อเหล็กขนาด 0.075 m เป็นทางเข้าของลมร้อนจากการทำงานของเครื่องเป่าลมแบบวงแหวน (Ring Blower 1) (ภาพที่ 12 a) พัดเอาลมผ่านชุดผลิตความร้อน (Heater) ความเร็วของลมร้อนวัดได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบเวนจูรี (Ventury) (ภาพที่ 12 b) และเครื่องวัดความเร็วลมแบบออริฟิซ (Orifice) (ภาพที่ 12 c) ในฝั่งตรงข้าม ผลต่างของความเร็วลมที่ผ่านจากเครื่องวัดทั้งสองก็คือความเร็วลมที่ขึ้นไปด้านบนซึ่งเป็นห้องอบแห้ง ลมร้อนที่ทราบความเร็วนี้ จะทำให้ขยะเปียกที่บรรจุตะกร้าลดตาข่ายหรือ Fix Bed จัดวางในห้องปฏิกรณ์อบแห้ง (Drying Reactor Unit) มีความร้อนจนกลายเป็นไอน้ำระเหยออกทางด้านบนไปยังส่วนควบแน่น (Condensing Unit) ซึ่งประกอบด้วยห้องควบแน่นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 m สูง 0.30 m ส่วนบนต่อท่อเหล็กขนาด 0.075 m เป็นทางเข้าของไอร้อนจากการดูดของเครื่องดูดลมแบบวงแหวน (Ring Blower 2) และพ่นไอร้อนผ่านแผงควบแน่นที่อยู่ภายในห้องควบแน่นรูปทรงกระบอก โดยผ่านชุดป้องกันแรงดันย้อนกลับ (Check Valve 1, 2) (ดูภาพที่ 10, 11) เป็นผลให้ห้องควบแน่นความดันสูงขึ้นและควบคุมความดันด้วยวาล์วระบายแรงดัน (Pressure relief valve : ภาพที่ 10 ตำแหน่ง Check Valve 4) (ดูภาพที่ 13 ประกอบ) ในขณะที่ห้องปฏิกรณ์อบแห้งมีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ (Normal Vacuum)



(a)

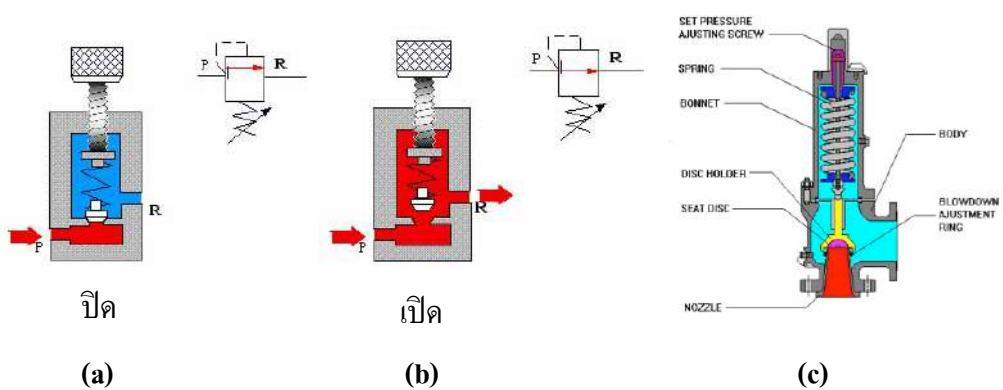


(b)



(c)

ภาพที่ 12 (a) เครื่องเป่า(ดูด)อากาศแบบวงแหวน
(b) เครื่องวัดความเร็วลมแบบเวนจูรี และ
(c) เครื่องวัดความเร็วลมแบบออริฟิซ



ภาพที่ 13 วาล์วระบายความดัน (Pressure relief valve)

(a) ภาพวาดวาล์วระบายความดันลักษณะปิด

(b) ภาพวาดวาล์วระบายความดันลักษณะเปิด และ

(c) ภาพวาดวาล์วระบายความดัน

(Daniel Katzman *et al.*, 2007)

2.2 ชุดควบคุม ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมส่วนต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 14 มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 14 ชุดควบคุมการทำงานทั้งระบบ

2.2.1 ชุดควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 15 ชุดควบคุมอุณหภูมิ RKC รุ่น CB900 1/4 DIN Temperature Controllerw/ SSR output & Alarms

2.2.2 ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องเป่าลมร้อนแบบวงแหวน 1



ภาพที่ 16 ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องเป่าลมร้อนแบบวงแหวน รุ่น ATV312H037M2 variable speed drive ATV312 - 0.37kW - 1kVA - 41 W - 200..240 V - 1-phase supply

2.2.3 ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องดูดไอร้อนแบบวงแหวน 2



ภาพที่ 17 ชุดควบคุมอัตราเร็วของเครื่องดูดไอร้อนแบบวงแหวน รุ่น FRENIC – Mini 3PH Series ของ Fuji Electronic

2.2.4 ชุดควบคุมระดับความเย็นด้วยเทอร์โมสตัทควบคุมความเย็นของส่วนความแน่นของไอน้ำ (Ice Condensing Chamber)



ภาพที่ 18 เทอร์โมสตัทควบคุมระบบทำความเย็น 220 V มีหัวเสียบ 2 ขา Model K50-P1125

3. การวางแผนการทดลอง

การทำงานของระบบอบแห้งขยะมูลฝอยจำลองที่ใช้ในการทดลอง (ดังแสดงในภาพที่ 10) ออกแบบให้เป็นเครื่องอบแห้งแบบเบดนิ่ง และเป่าด้วยอากาศร้อนที่ได้จากแหล่งความร้อน (Heater) ตัวถังปฏิกรณ์อบแห้งทำจากถังเหล็กขนาด 148 ลิตร ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 m สูง 0.85 m มีตะกร้าลวดตาข่ายทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 m สูง 0.5 m ใช้สำหรับบรรจุขยะอบแห้ง และมีโครงเหล็กเป็นฐานรองรับ เมื่อเครื่องเป่าลมแบบวงแหวน 1 ทำงานก็จะพัดเอาอากาศผ่านเครื่องวัดความเร็วลมแบบเวนจูรี (วัดความเร็วขาเข้า) แล้วพาอากาศร้อนจากชุดผลิตความร้อนผ่านไปยังห้องอบแห้ง ผ่านท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.075 m เข้าด้านล่างของถังปฏิกรณ์อบแห้ง ทรงกระบอก แล้วอากาศร้อนจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ทาง คือทางด้านตรงข้ามผ่านท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.04 m ห่างออกมาระยะ 1.50 m อากาศร้อนส่วนนี้ผ่านเครื่องวัดความเร็วลมแบบออริฟิซ (ความเร็วขาออก 1) แล้ววนกลับตามท่อผ่านวาล์วลดแรงดันชนิด Ball Valve ไปยังเครื่องเป่าอากาศแบบวงแหวน 1 ทางด้านคูด และอีกทางหนึ่งอากาศร้อนส่วนนี้ (ใช้ในการอบแห้ง) โดยผ่านชั้นขยะแล้วจะถูกระบายทางท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.015 m ด้วยการดูดจากเครื่องดูดลมแบบวงแหวน 2 ทางส่วนด้านบนของตัวถังโดยที่ลมร้อนและไอน้ำจะถูกส่งเข้าไปยังส่วนควบแน่นที่ถูกควบคุมความดันด้วยวาล์วระบายแรงดัน ซึ่งจะช่วยให้ถังปฏิกรณ์อบแห้งมีความดันลดลง โดยชุดป้องกันแรงดันย้อนกลับทั้งสอง จะทำหน้าที่คอยปิดกั้นแรงดันย้อนกลับ ความเร็วของอากาศร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นของขยะก็คือผลต่างของความเร็วขาเข้าและความเร็วขาออก ในขณะเดียวกันไอน้ำที่ถูกส่งเข้าไปมาส่วนควบแน่น จะถูกควบแน่นจากไอกลายเป็นหยดน้ำ ผ่านออกมาทาง Ball Valve 3 (ภาพที่ 10) และสามารถรองรับหยดน้ำด้วยภาชนะที่หุ้มด้วยฉนวนกันการควบแน่นของอากาศภายนอกดังแสดงในภาพที่ 22

4. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ในแต่ละงวดของวัตุคิบัติที่ใช้เมื่อทำการทดลอง สามารถเก็บข้อมูลจากมาตรวัดทุกจุด ในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสม และในแต่ละการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักวัตุคิบัติขึ้นก่อนนำเข้าห้องอบและหลังการอบ มีรายละเอียดดังนี้คือ

4.1 เตรียมขยะมูลฝอยจำลองปริมาณ 10 kg ซึ่งประกอบด้วย ประกอบด้วย เศษอาหาร 3 kg ใบไม้ 3 kg กระดาษ 1 kg พลาสติก 2 kg ผ้า 0.5 kg คละกั้น (เศษอาหาร+ใบไม้+กระดาษ+ไม้+ผ้า) 0.5 kg โดยนำมาคลุกเคล้ากัน และขนาดของขยะ โดยเฉลี่ยแล้วตัดให้มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วให้ขยะมีความชื้นเริ่มต้นที่ 45 % wb



ภาพที่ 19 ขยะมูลฝอยก่อนอบความชื้น 45 %wb

4.2 ขยะที่เตรียมไว้ในข้อ 4.1 ถูกนำไปใส่ในตระกร้าลวดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 m สูง 0.50 m

4.3 นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบสปริงขนาดพิกัด 15 kg ที่มีความละเอียด ± 100 g ซึ่งวางอยู่บนเครื่องสปริงรุ่น ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตะกร้าเปล่าบนเครื่องชั่ง

4.4 นำตะกร้าขยะไปบรรจุลงในถังอบแห้ง ปิดฝาให้สนิทดังแสดงในภาพที่ 21 แล้วทำการทดลอง โดยกดสวิทช์เปิดที่ชุดควบคุมการทำงานทั้งระบบ ด้วยการเก็บข้อมูลจากมาตรวัดทุกจุดในระยะเวลาเท่าๆ กัน (ทุก 15 นาที) (ตำแหน่งของมาตรวัดรูปภาพที่ 10 และ 11 ประกอบ) โดยเฉพาะน้ำหนักของหยดน้ำจากการควบแน่นบนเครื่อง CAMRY (รูปภาพที่ 22) ลงในตารางบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 21 ปากห้องปฏิบัติการอบแห้ง



ภาพที่ 22 ภาพระรองรับหยดน้ำที่หุ้มด้วยฉนวนกันการควบแน่นของอากาศรอบ ๆ ภายนอก และวางบนเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง CAMRY ขนาด Capacity: 1kg/ 2.2 lb; Graduation: 5g/1/8oz จาก Zhongshan Camry Electronic Co Ltd: China.

ตารางที่ 3 ตารางงานการทดลอง

การทดลองที่ 1 $T_{in} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -50\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 2 $T_{in} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -60\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 3 $T_{in} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -70\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 4 $T_{in} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -80\text{ mmHg}$
การทดลองที่ 5 $T_{in} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -50\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 6 $T_{in} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = 60\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 7 $T_{in} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -70\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 8 $T_{in} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -80\text{ mmHg}$
การทดลองที่ 9 $T_{in} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -50\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 10 $T_{in} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -60\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 11 $T_{in} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -70\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 12 $T_{in} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -80\text{ mmHg}$
การทดลองที่ 13 $T_{in} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -50\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 14 $T_{in} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -60\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 15 $T_{in} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -70\text{ mmHg}$	การทดลองที่ 16 $T_{in} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ V_{in} $P = -80\text{ mmHg}$



ภาพที่ 23 ขยะมูลฝอยหลังอบ

5. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 16 การทดลอง มาประมวลเพื่อ

5.1 ทาสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการลดความชื้นขยะมูลฝอยในเครื่องอบแห้งแบบวงดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติโดยวิธีการปรับเส้นโค้ง

5.2 ประเมินสมรรถนะการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง โดยวัด ปริมาณ น้ำ ที่ระเหยระหว่าง การทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักน้ำควบแน่นจากเครื่องอบแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง CAMRY ขนาด Capacity: 1kg/ 2.2 lb; Graduation: 5g/ 1/8 oz จาก Zhongshan Camry Electronic Co Ltd: China. ทำการบันทึกค่าทุก ๆ 15 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง และวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก Kilowatt-hour Meter จากการบันทึกข้อมูลในส่วนนี้้นำไปหาค่า อัตราการทำแห้ง (Drying Rate) ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของระบบ

5.3 ประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดย การประมาณการรายได้ การประมาณการค่ารายจ่าย การคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) การคำนวณค่าผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และการคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

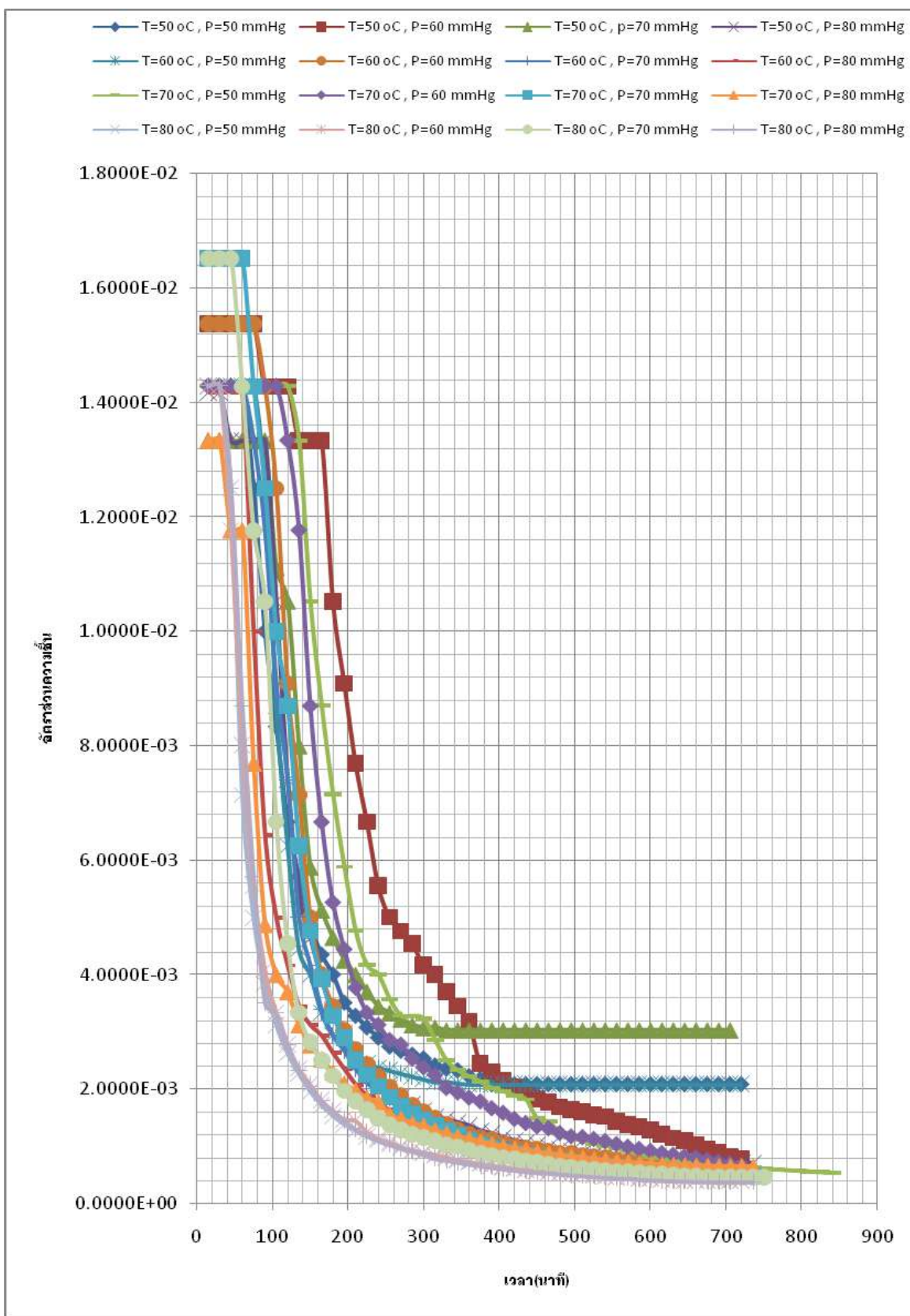
ในบทนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 16 การทดลอง มาวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อหาสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการลดความเข้มข้นของมลพิษในเครื่องปฏิกรณ์ออบแห้งที่อยู่ในสถานะความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ รวมทั้งประเมินสมรรถนะ และค่าใช้จ่าย ผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งนี้ด้วย

การวิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองอบแห้งเสร็จสิ้นแล้วทำให้ทราบค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป ดังข้อมูลที่แสดงไว้ในภาพที่ 24 เป็นข้อมูลการทดลองระหว่างน้ำหนักของน้ำควบแน่น(กรัม:g)และเวลา ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งแสดงไว้ในภาพที่ 25 และนำมาเขียนกราฟการอบแห้งที่สถานะต่าง ๆ จาก 16 การทดลองได้ดังแสดงในภาพที่ 26

การทดลองที่																
เวลา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)															
0	70	65	75	70.5	70	65	70	70.5	70	70	60.5	75	70	70	60.5	70
15	70	65	75	70.5	70	65	70	70.5	70	70	60.5	75	70	70	60.5	70
30	70	65	75	70.5	70	65	70	70.5	70	70	60.5	75	70	70	60.5	70
45	70	65	75	75	70	65	70	70.5	70	70	60.5	85	80	85	60.5	80
60	70	65	75	75	70	65	70	70.5	70	70	60.5	85	140	125	70	115
75	80	65	75	75	70	65	75	100	70	70	70	130	200	180	85	175
90	100	70	75	75	80	70	85	155	70	70	80	205	260	245	95	285
105	120	70	90	95	115	80	110	200	70	70	100	250	320	300	150	300
120	150	70	95	135	160	110	135	240	70	75	115	270	380	360	220	360
135	175	75	125	185	225	140	200	290	75	85	160	320	440	425	300	430
150	205	75	170	215	250	200	240	320	95	115	210	360	510	480	355	490
165	230	75	195	255	300	250	295	340.5	115	150	255	395	580	555	400	560
180	250	95	215	295	340	290	340	380	140	190	305	435	650	615	450	620
195	285	110	235	335	365	330	375	425	170	225	345	475	720	680	510	690
210	305	130	250	380	385	370	425	480	210	265	400	505	780	690	560	770
225	325	150	270	425	410	410	475	530	240	300	445	540	850	800	610	840
240	345	180	290	450	420	450	505	580	250	320	490	560	900	880	675	915
255	365	200	300	495	430	490	540	610.5	280	350	540	640	950	935	730	970
270	375	210	310	535	440	530	605	660	305	360	590	670	1020	1005	780	1040
285	385	220	320	570	450	580	655	715	305	395	640	710	1070	1080	830	1100
300	395	240	325	610	460	620	675	770	310	420	690	730	1120	1130	870	1175
315	415	250	325	655	470	670	740	800	350	445	740	775	1170	1190	920	1275
330	425	270	330	675	470	720	775	850	400	495	790	810	1250	1235	980	1320
345	430	290	330	700.5	475	780	800	910	430	515	840	850	1320	1310	1010	1385
360	450	315	330	730.5	480	820	855	940	450	540	910	875	1380	1380	1075	1455
375	460	410	330	780	480	860	875	995	470	560	970	910	1430	1450	1145	1515
390	480	435	330	810	480	900	920	1035	495	600	1040	950	1490	1520	1190	1585
405	480	465	330	860.5	480	940	940	1085	510	630	1090	990	1560	1575	1250	1655
420	480	490	330	900	480	985	995	1120	530	675	1150	1025	1620	1635	1300	1715
435	480	520	330	940	480	1025	1055	1155	550	710	1200	1050	1670	1700	1350	1795
450	480	550	330	970	480	1060	1115	1195	675	740	1255	1095	1740	1750	1400	1855
465	480	565	330	1000.5	480	1095	1175	1230	700	760	1315	1130	1790	1820	1455	1880
480	480	595	330	1040	480	1130	1235	1260	810	810	1355	1160	1845	1885	1540	1945
495	480	610	330	1080.5	480	1150	1290	1290	865	850	1390	1195	1910	1950	1575	2010
510	480	625	330	1120	480	1190	1350	1320	905	860	1445	1230	1970	2000	1625	2070
525	480	650	330	1160	480	1220	1395	1350	955	885	1495	1270	2010	2055	1680	2135
540	480	660	330	1190	480	1255	1440	1375	990	915	1545	1300	2060	2120	1735	2195
555	480	700	330	1210	480	1310	1480	1410	1030	960	1595	1340	2110	2180	1785	2260
570	480	730	330	1240.5	480	1345	1525	1435	1075	1005	1660	1370	2180	2240	1835	2260
585	480	750	330	1280	480	1405	1580	1460	1135	1045	1705	1395	2220	2305	1890	2380
600	480	780	330	1310	480	1435	1640	1480	1215	1085	1760	1420	2280	2370	1925	2430
615	480	830	330	1330	480	1455	1670	1500	1270	1130	1815	1440	2340	2435	1975	2480
630	480	880	330	1345	480	1485	1735	1515	1315	1170	1855	1460	2400	2490	2025	2525
645	480	920	330	1360	480	1520	1780	1530	1360	1210	1895	1475	2420	2515	2075	2570
660	480	980	330	1375	480	1555	1825	1545	1410	1240	1940	1490	2430	2520	2125	2600
675	480	1050	330	1385	480	1585	1850	1555	1445	1310	1980	1500	2435	2520	2165	2630
690	480	1130	330	1395	480	1615	1860	1565	1485	1370	2100	1510	2440	2530	2195	2640
705	480	1220	330	1400	480	1645	1865	1570	1500	1435	2115	1515	2440	2535	2210	2645
720	480	1300		1405	480	1650		1575	1550	1505	2120	1520	2445	2540	2215	2650
735				1410				1580	1600		2125	1530			2220	2655
750									1650						2225	
765									1680							
780									1720							
795									1755							
810									1790							
825									1830							
840									1875							

ภาพที่ 24 ข้อมูลการทดลองระหว่างน้ำหนักของน้ำความแน่น(กรัม:g)และเวลา จาก 16 การทดลอง



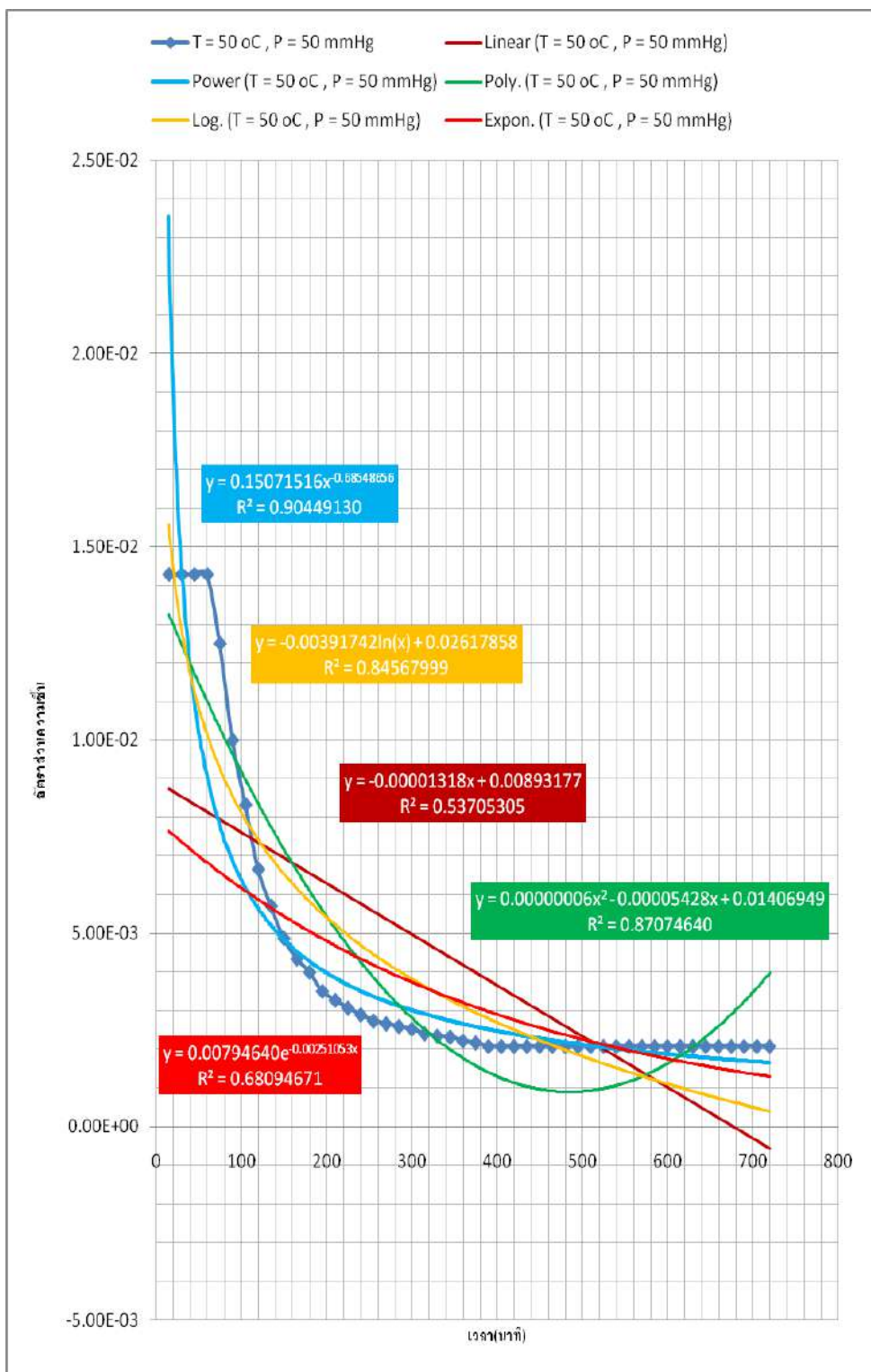
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นและเวลาในการอบแห้งจาก 16 การทดลอง

จากกราฟการอบแห้งทั้ง 16 การทดลอง (ภาพที่ 26) โดยรวมพบว่าเส้นกราฟที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในขณะมูลฝอยชุมชนมี 3 ลักษณะที่คล้ายกันในสภาวะการทดลองที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรกเวลาผ่านไประยะหนึ่งเส้นกราฟไม่มีความชันหรือความชันเท่ากับศูนย์แสดงว่าความชื้นหรือน้ำที่เกาะติดอยู่กับขยะมูลฝอยชุมชนยังไม่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งนี้เพราะพลังงานความร้อนที่มาจากลมร้อนอยู่ในช่วงการกระจายและแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของขยะและโมเลกุลของน้ำที่เกาะติดอยู่กับขยะ และเมื่อได้รับพลังงานเพียงพอระดับหนึ่งน้ำจึงเริ่มระเหยออกมา แต่ที่อุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกันระยะเวลาในช่วงแรกนี้จึงแตกต่างกัน ในช่วงต่อมาอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วโดยความชันของเส้นกราฟมีค่ามาก เมื่อดูโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วงนี้น้ำหนักของขยะมูลฝอยในห้องอบมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และสำหรับช่วงท้าย ๆ ความชันของเส้นกราฟมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ เกือบจะมีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าค่าความชื้นในเนื้อขยะมูลฝอยในห้องอบมีค่าเท่ากับความชื้นของอากาศรอบ ๆ ขยะมูลฝอยในห้องอบซึ่งเป็นความชื้นสมดุลซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen, Z. and Lamb, F. M. (1995)

การปรับเส้นโค้ง

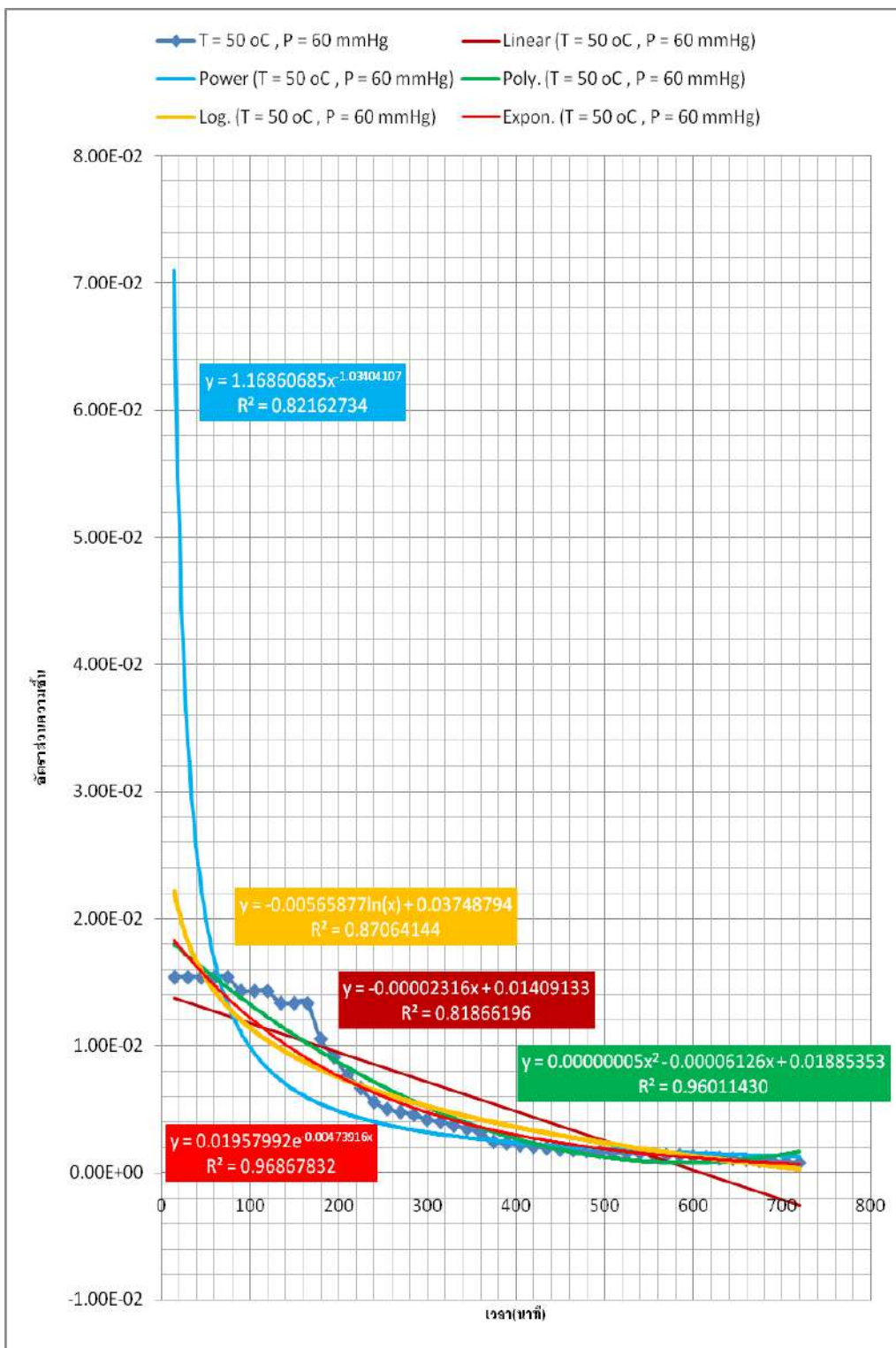
การปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) เป็นการเลือกฟังก์ชันของเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลจากแผนภาพกระจายที่มองเห็นแนวโน้ม (Trend) ซึ่งอาจจะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งแบบต่าง ๆ ถ้าเป็นเส้นตรงเรียกว่า ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) ถ้าไม่เป็นเส้นตรงเรียกว่า ความสัมพันธ์ไม่ใช่เชิงเส้น (Non-Linear Relationship) โดยที่ฟังก์ชันอาจจะผ่านหรือผ่านทุกจุดของข้อมูล แต่จะต้องเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและใกล้เคียงกับทุกจุดมากที่สุด (Kreyszig, 1993)

ดังนั้นการวิเคราะห์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้จึงต้องนำข้อมูลจากการทดลองทั้ง 16 การทดลอง มาทำการเปลี่ยนข้อมูลที่มีลักษณะเป็นกลุ่มของจุดออกมาให้เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความต่อเนื่องโดยการ Generating Nonlinear Curve Fits Using Excel's Charts ด้วยการเลือก Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits 4 แบบได้แก่ Logarithmic, Polynomial, Power และ Exponential และ linear Curve Fitting หรือการใช้ Excel's Charts Trendline Feature จาก 5 Trendlines ซึ่งได้แก่ Linear, Logarithmic, Polynomial, Power และ Exponential เป็นราย การทดลองดังต่อไปนี้



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 1 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -50 mmHg

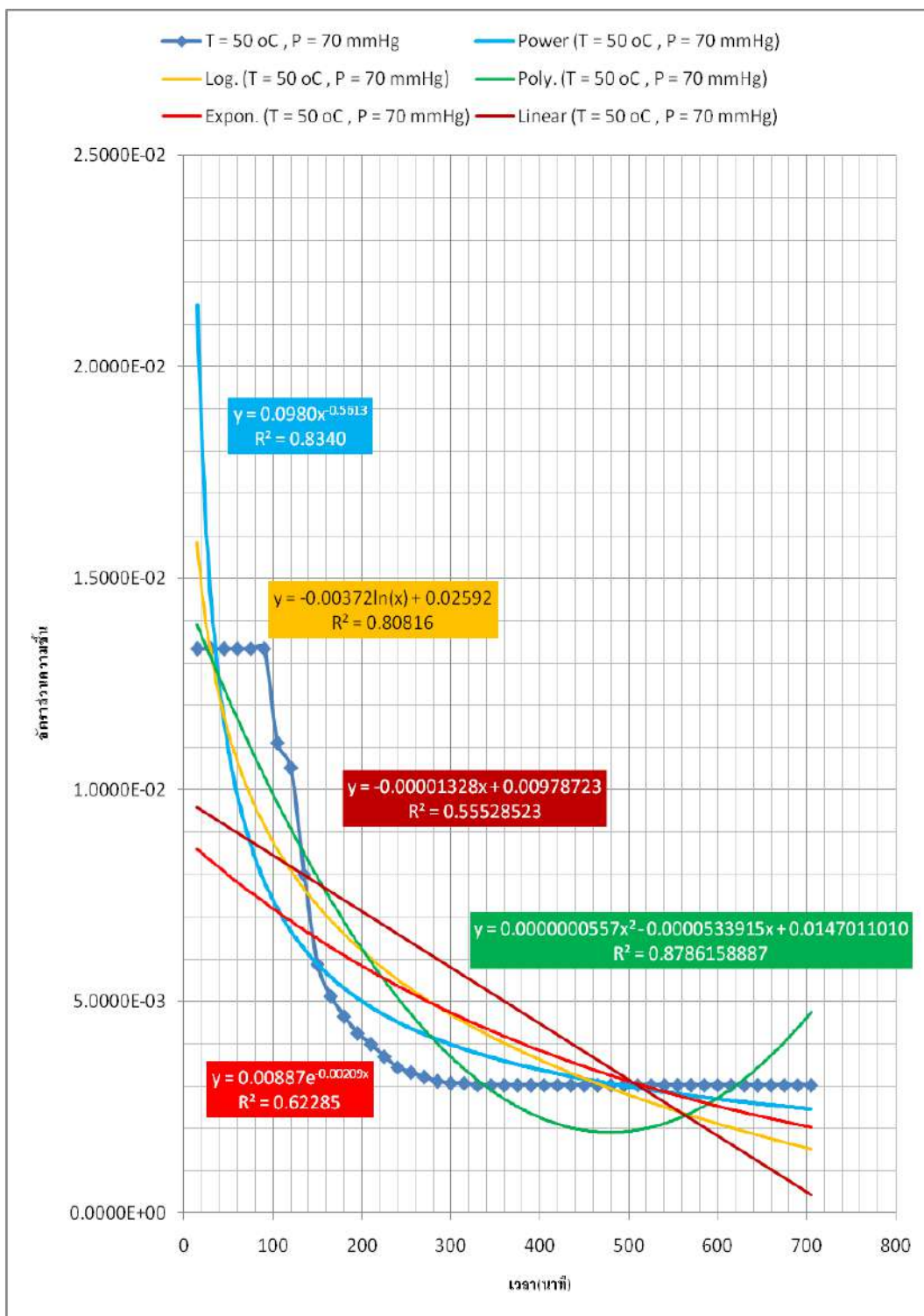
พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.15071516 x^{-0.68548656}$ ซึ่ง เป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.90449130



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความถี่ขึ้นและเวลาในการอบแห้ง

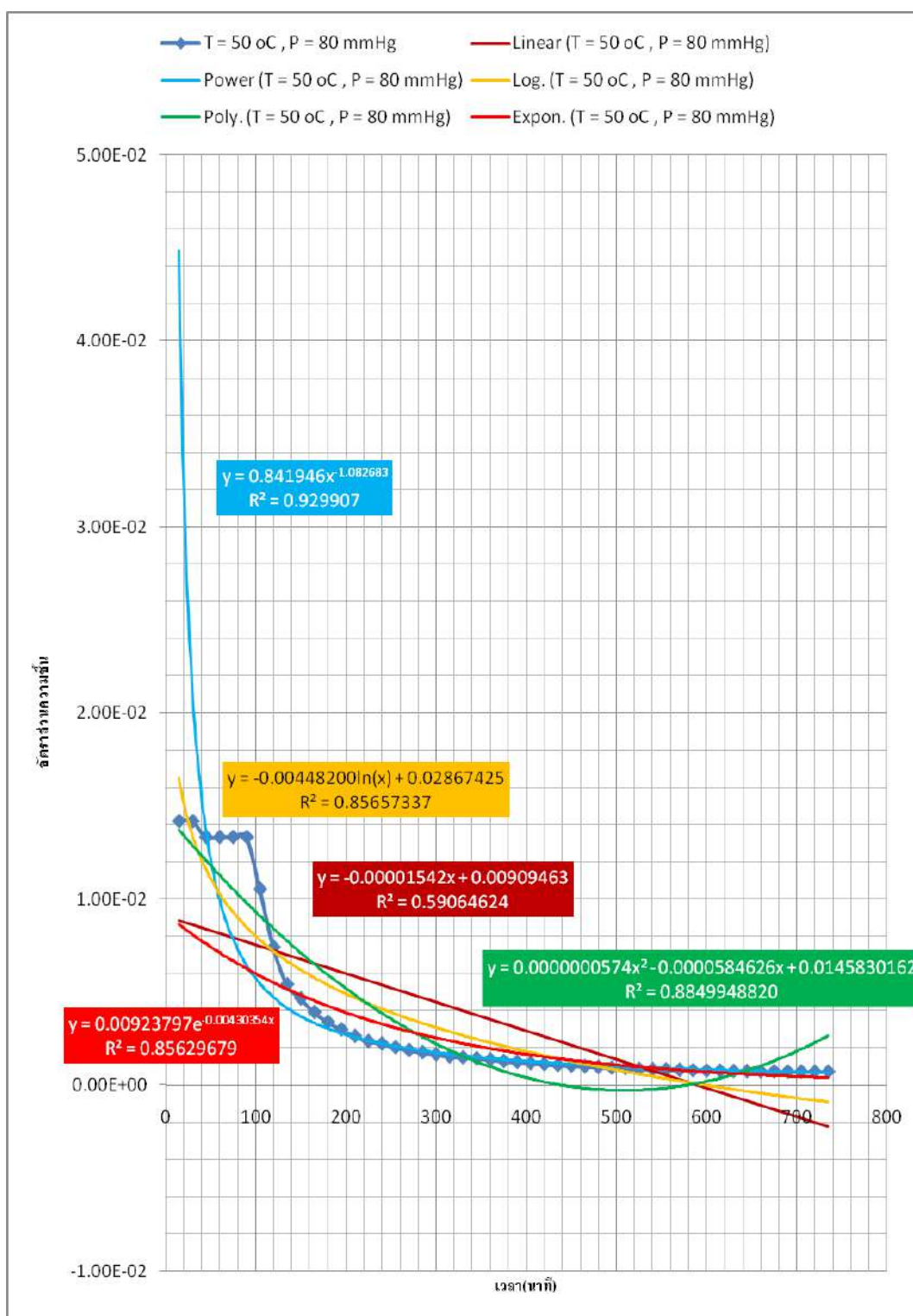
การทดลองที่ 2 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -60 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.16860685 x^{-1.03404107}$ เป็น Power function เข้ารูปดีโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ในระดับ 0.82162734 ซึ่งอยู่ในระดับยอมรับได้



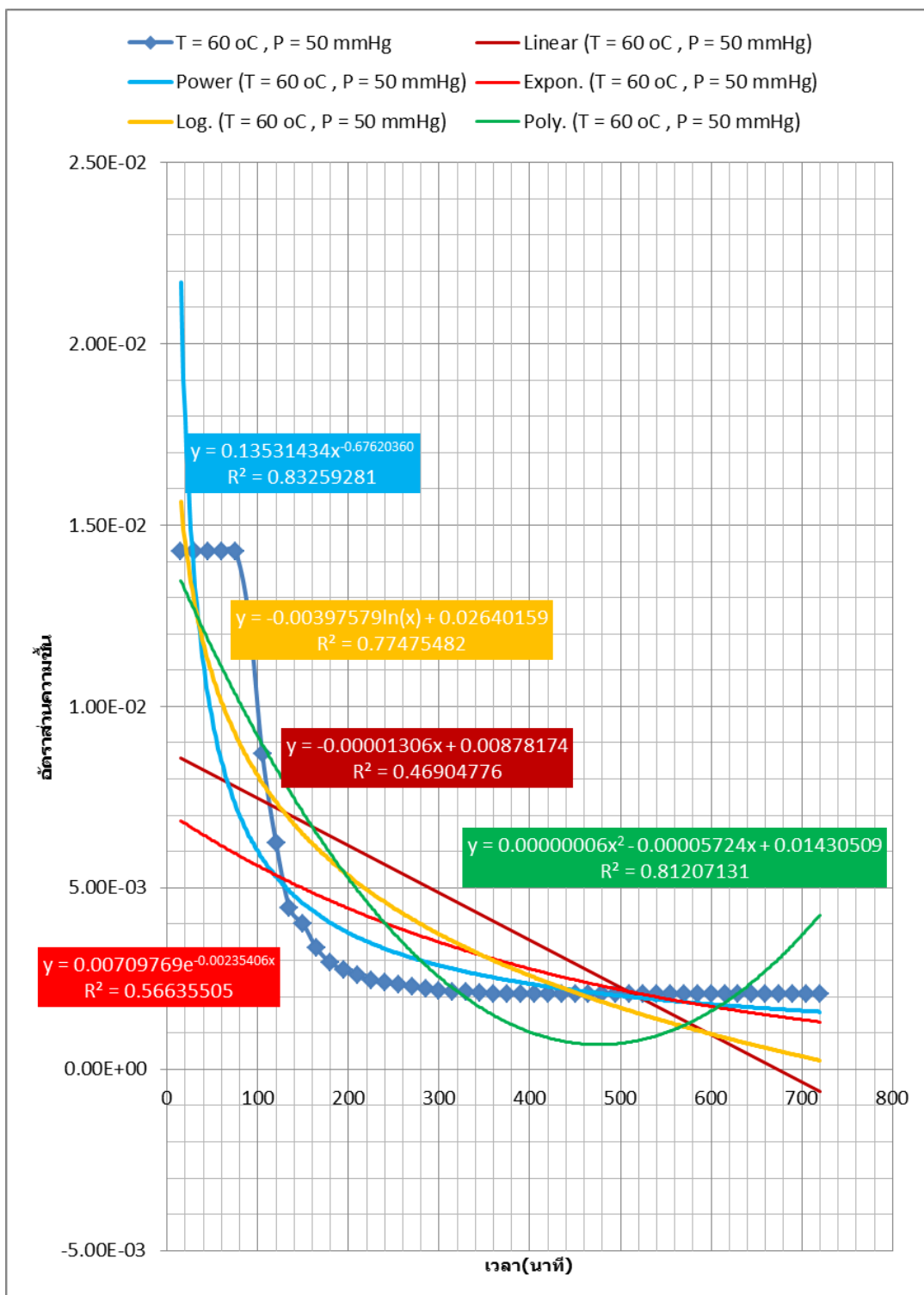
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 3 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -70 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.0980 x^{-0.5613}$ เป็น Power function เข้ารูปดีโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ในระดับ 0.8340 ซึ่งอยู่ในระดับยอมรับได้



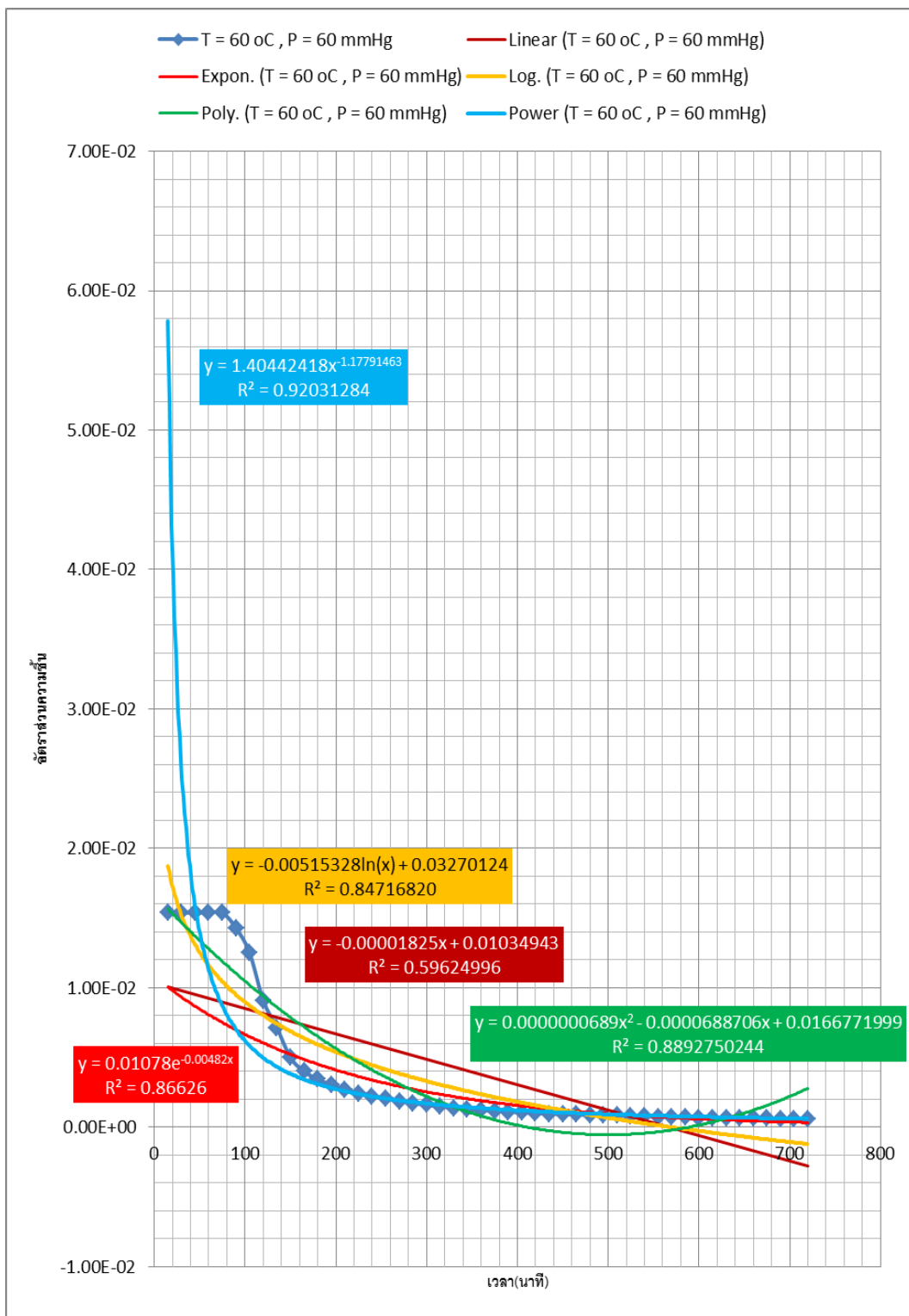
ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 4 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 50 °C ความดัน -80 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.841946 x^{-1.08268}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดในค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.929907



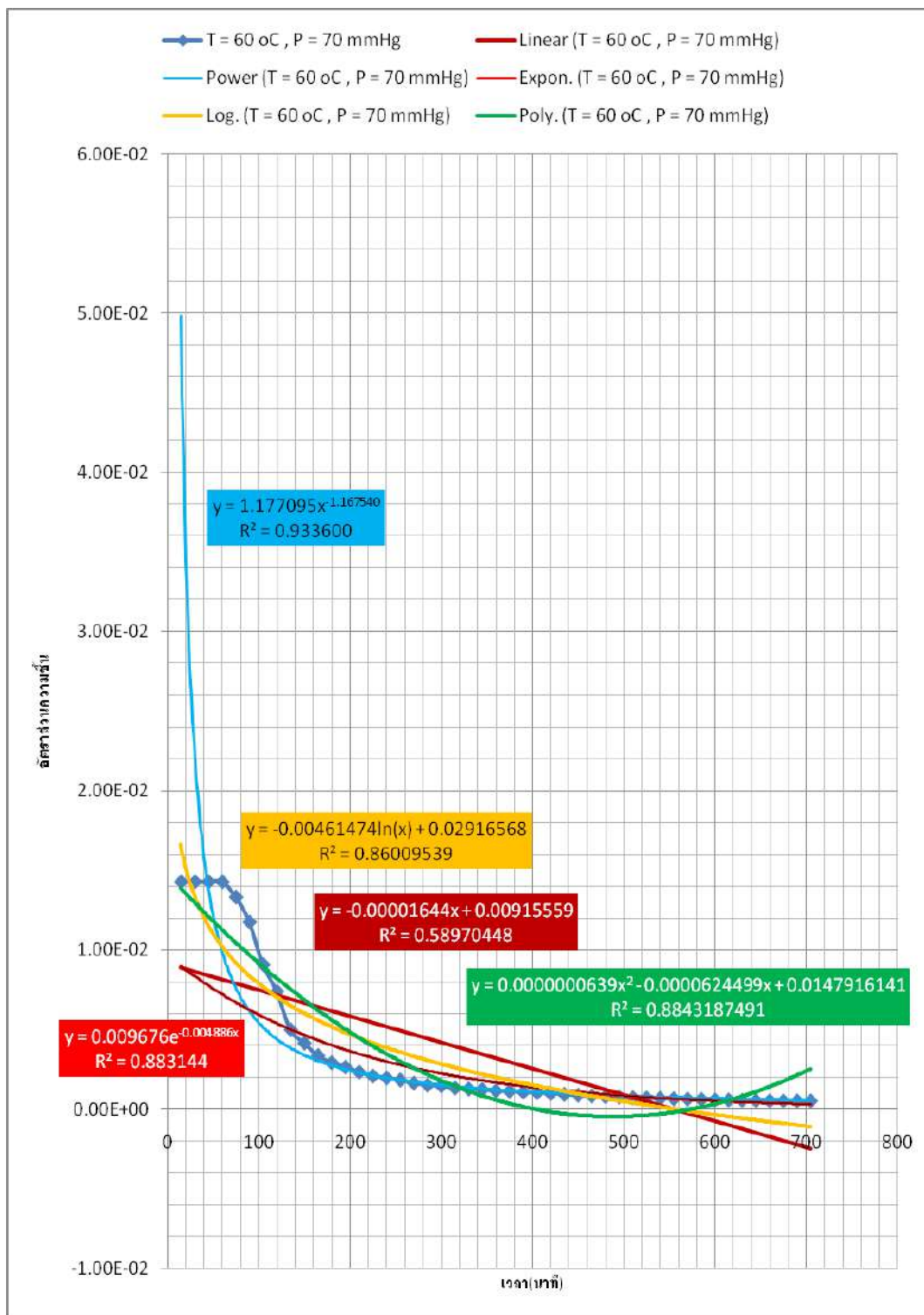
ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 5 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -50 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.13531434 x^{-0.67620360}$ ซึ่ง เป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.83259281



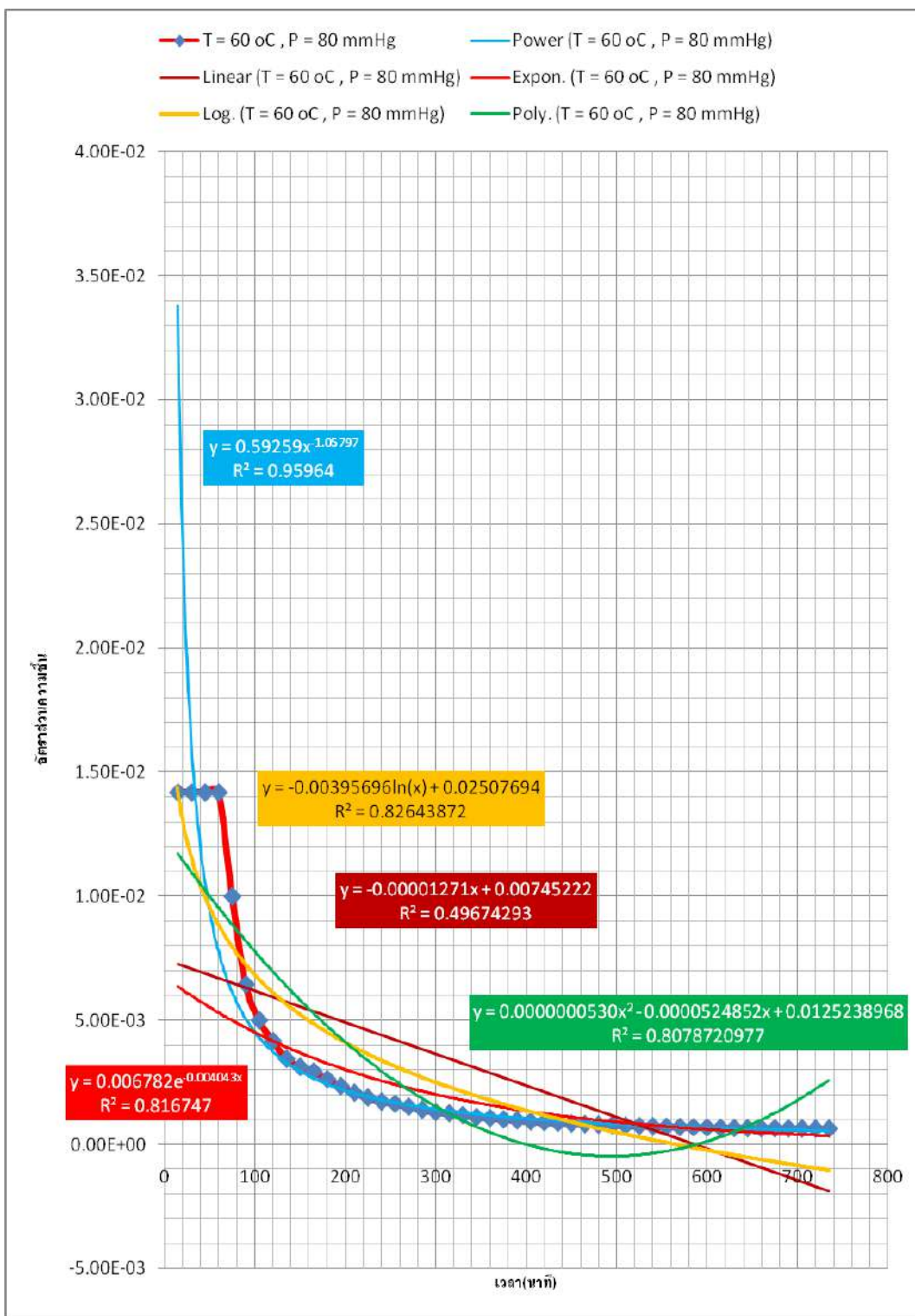
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 6 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -60 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.40442418 x^{-1.1791463}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.92031284



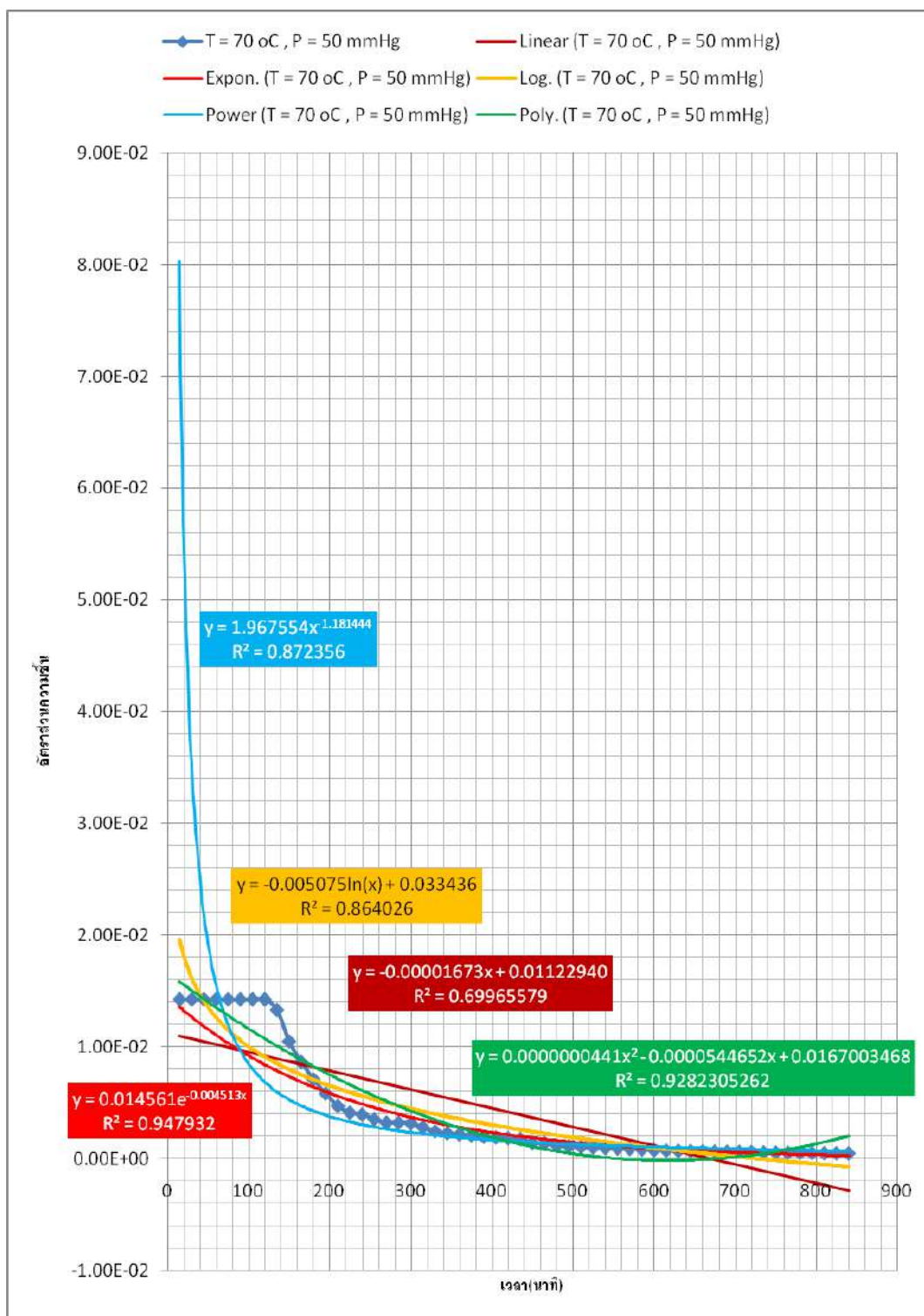
ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 7 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -70 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.177095 x^{-1.167540}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุด โดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.933600



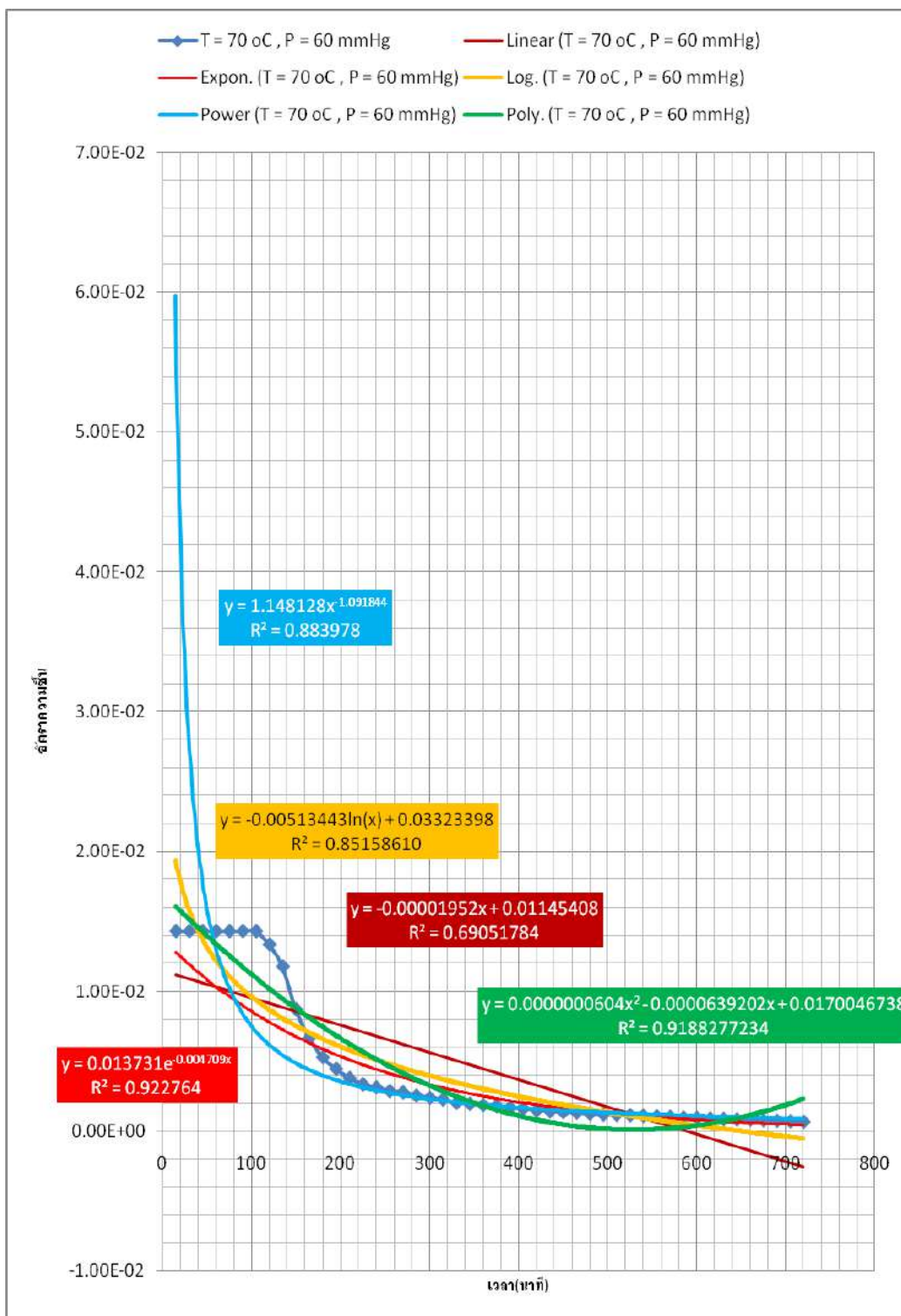
ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 8 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 60 °C ความดัน -80 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.59259 x^{-1.06797}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดในค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.95964



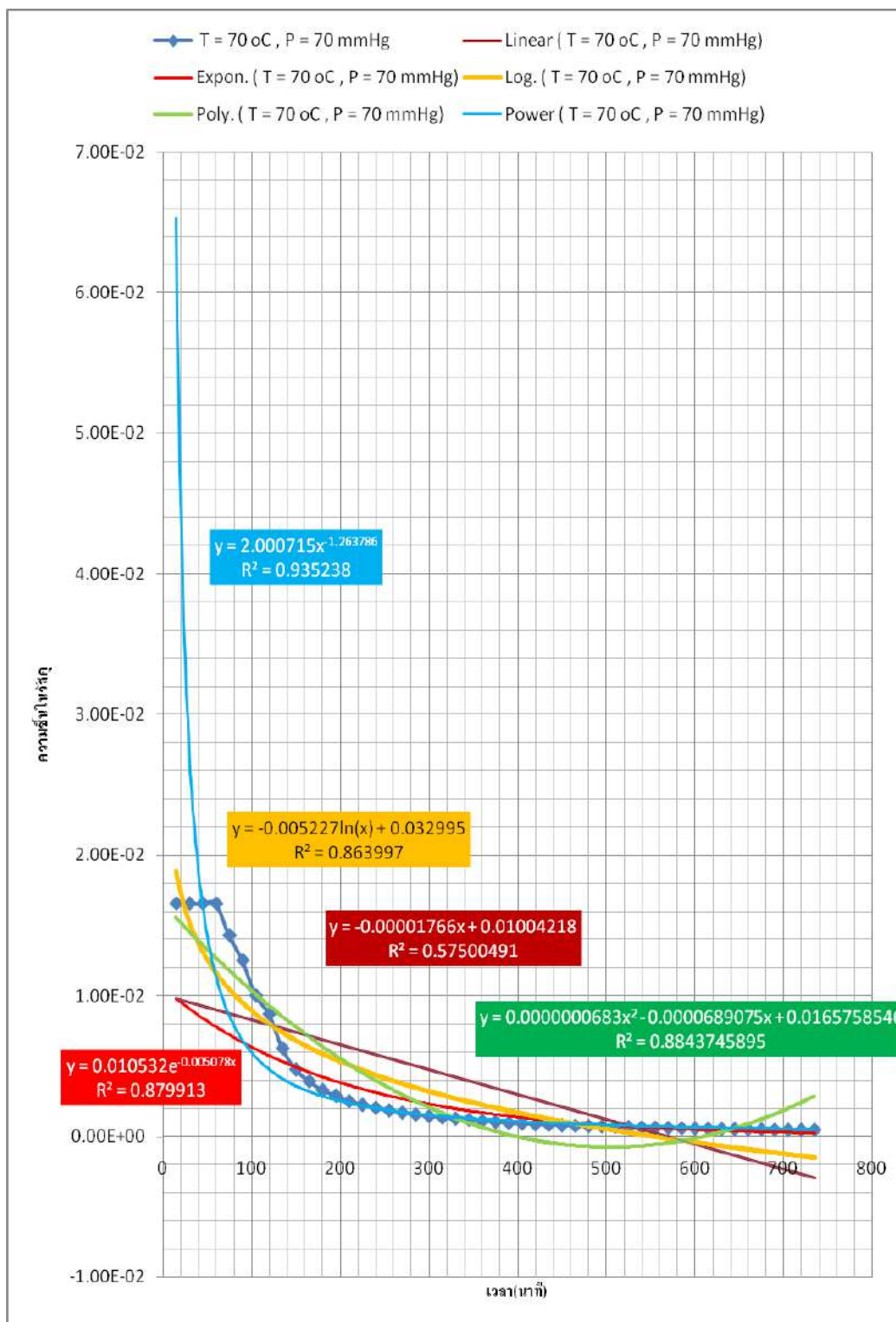
ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 9 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -50 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.96755 x^{-1.181444}$ ซึ่งเป็น Power function เข้ารูปดีโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ในระดับ 0.872356 ซึ่งอยู่ในระดับยอมรับได้



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 10 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -60 mmHg

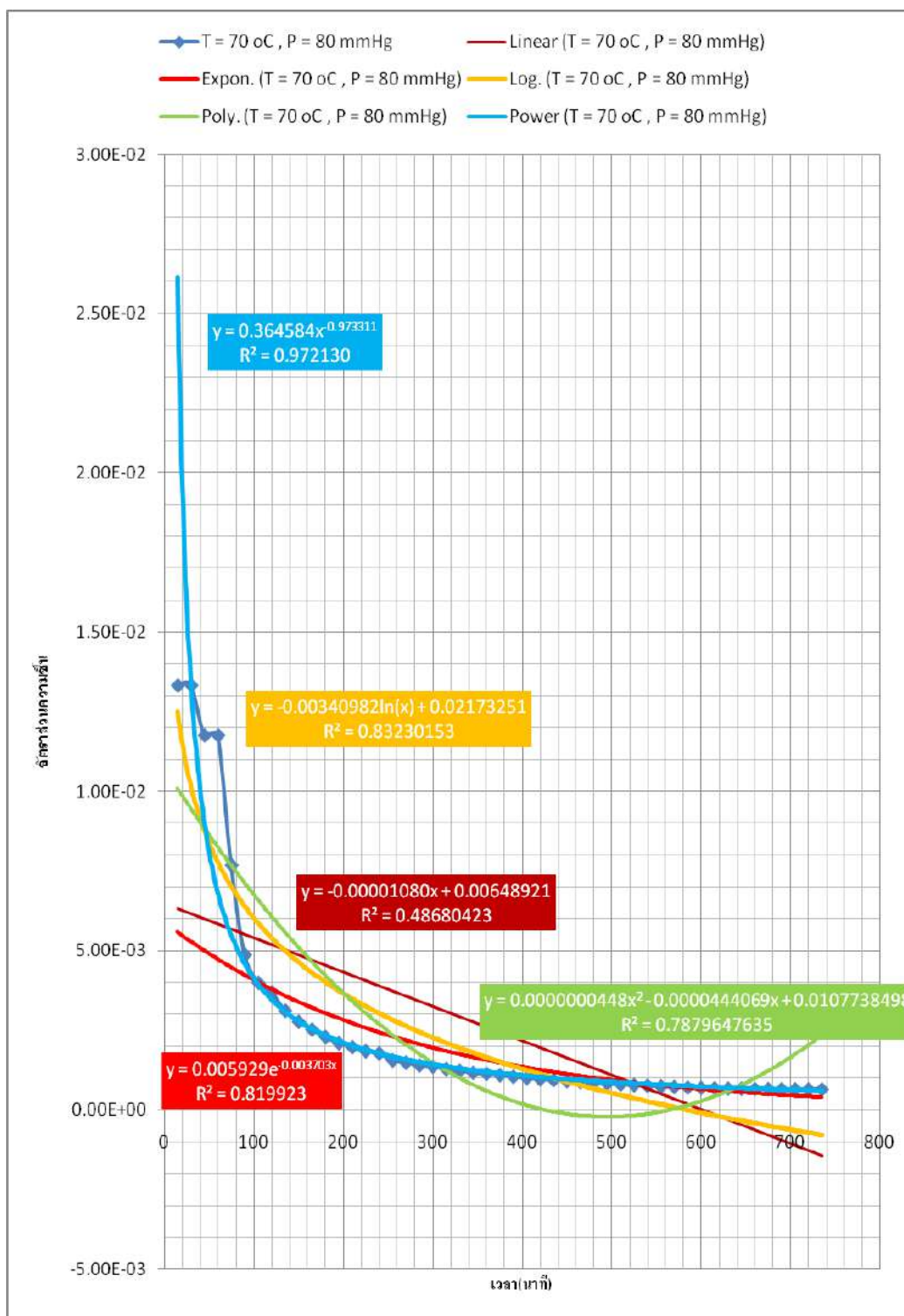
พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.148128 x^{-1.091844}$ ซึ่งเป็น Power function เข้ารูปดีโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ในระดับ 0.883978 ซึ่งอยู่ในระดับยอมรับได้



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง

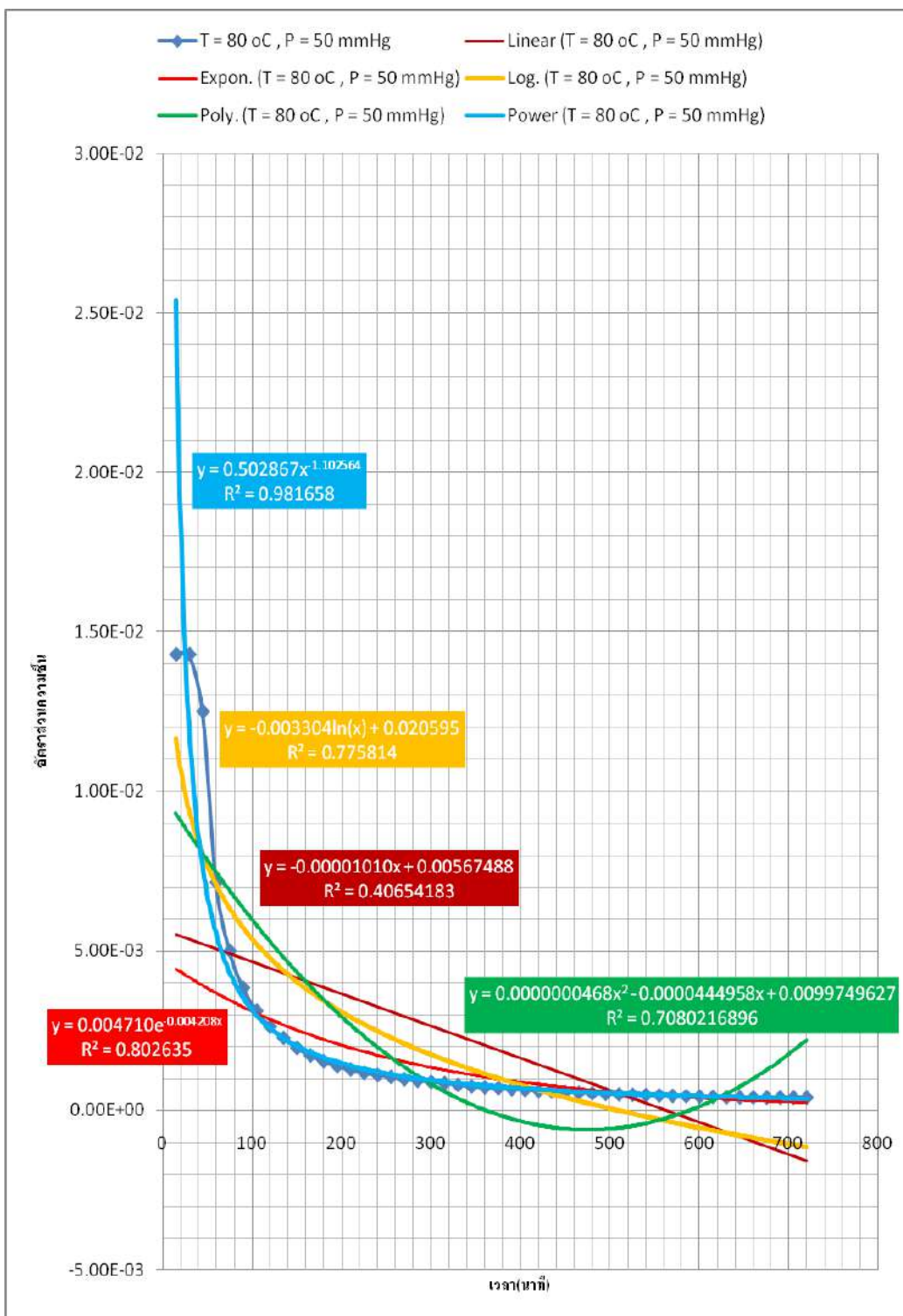
การทดลองที่ 11 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -70 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 2.000715 x^{-1.263786}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.935238



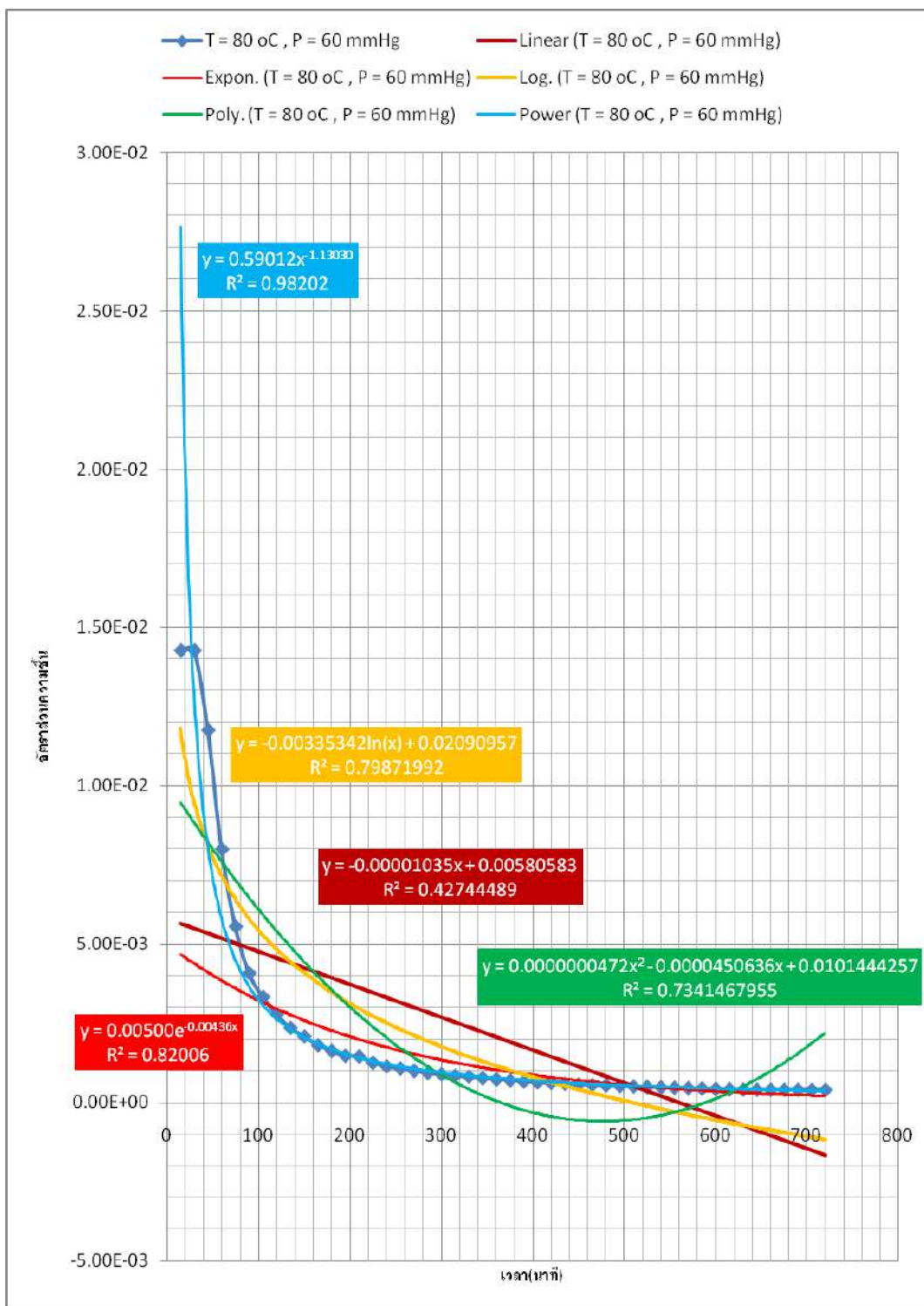
ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 12 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -80 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.364584 x^{-0.973311}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.972130



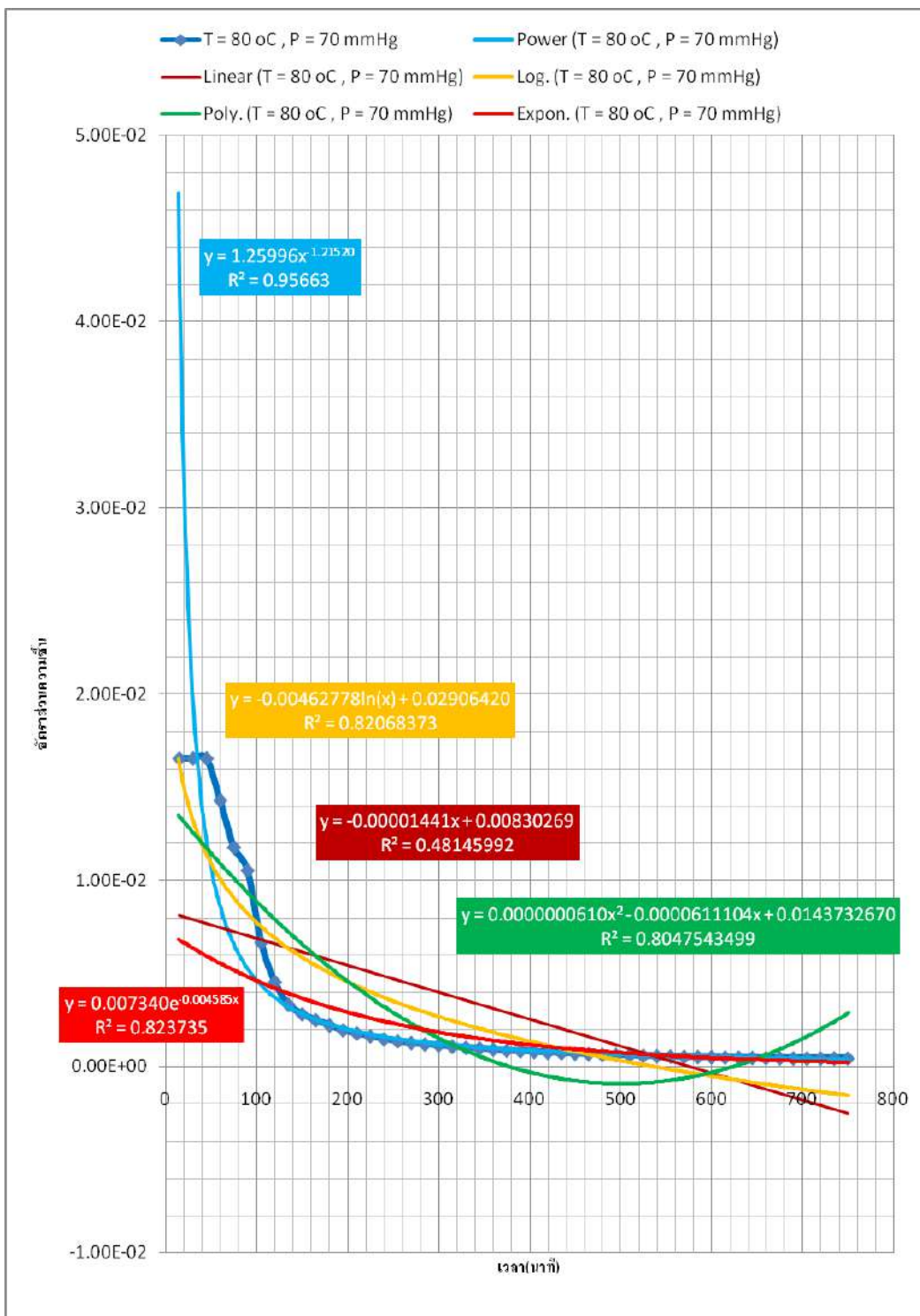
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 13 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -50 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.502867 x^{-1.102564}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.981658



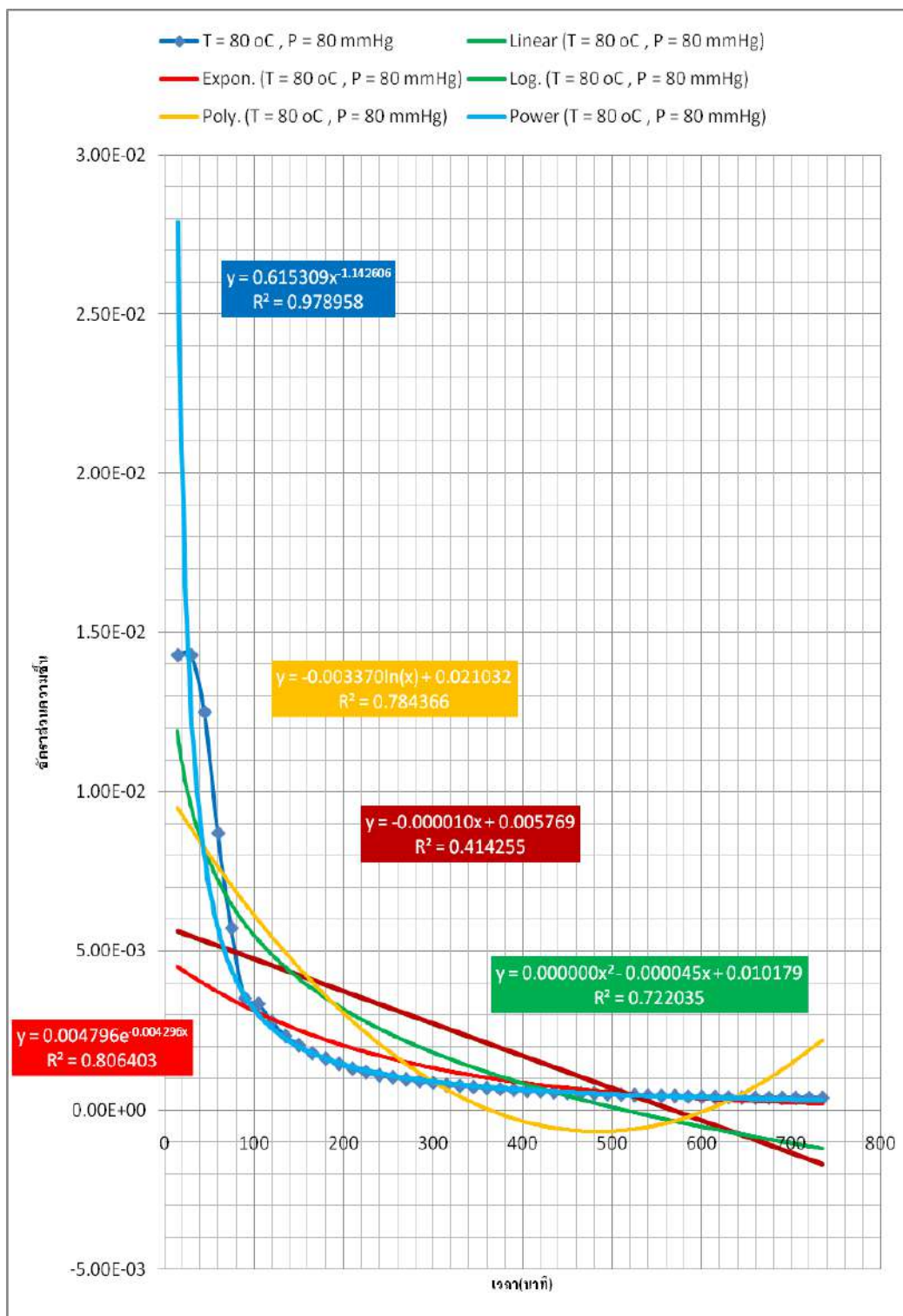
ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -60 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.59012 x^{-1.13030}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.98202



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง การทดลองที่ 15 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -70 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 1.25996 x^{-1.21520}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.95663



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้ง
การทดลองที่ 16 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -80 mmHg

พบว่า Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits และมีสมการ $y = 0.615309 x^{-1.142600}$ ซึ่งเป็น Power function และเข้ารูปดีที่สุดโดยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.978958

ผลจากการปรับเส้นโค้งของกราฟทั้ง 16 การทดลอง ในรูปแบบของฟังก์ชันต่าง ๆ จะเห็นว่า ฟังก์ชันกำลัง (Power Function) จะเข้ารูปดีที่สุดประกอบด้วยค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังที่ แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ฟังก์ชันกำลังจาก 16 การทดลอง กลุ่มที่ 1- 4

กลุ่มที่	การทดลองที่	ความดัน (P:mmHg)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)	ฟังก์ชันกำลัง	R^2
1	1	- 50	50	$y_1 = 0.15072x^{-0.68549}$	$R_1^2 = 0.90449$
	5		60	$y_5 = 0.13531x^{-0.67620}$	$R_5^2 = 0.83259$
	9		70	$y_9 = 1.96755x^{-1.18144}$	$R_9^2 = 0.87236$
	13		80	$y_{13} = 0.50287x^{-1.10256}$	$R_{13}^2 = 0.98166^{***}$
2	2	- 60	50	$y_2 = 1.16861x^{-1.03404}$	$R_2^2 = 0.82163$
	6		60	$y_6 = 1.40442x^{-1.17792}$	$R_6^2 = 0.92031$
	10		70	$y_{10} = 1.14813x^{-1.09184}$	$R_{10}^2 = 0.8840$
	14		80	$y_{14} = 0.59012x^{-1.13030}$	$R_{14}^2 = 0.98202^{****}$
3	3	- 70	50	$y_3 = 0.09800x^{-0.56130}$	$R_3^2 = 0.83400$
	7		60	$y_7 = 1.17705x^{-1.16754}$	$R_7^2 = 0.93360$
	11		70	$y_{11} = 2.00072x^{-1.26379}$	$R_{11}^2 = 0.93524$
	15		80	$y_{15} = 1.25996x^{-1.21520}$	$R_{15}^2 = 0.95663$
4	4	- 80	50	$y_4 = 0.84195x^{-1.08268}$	$R_4^2 = 0.92991$
	8		60	$y_8 = 0.59259x^{-1.05797}$	$R_8^2 = 0.95904$
	12		70	$y_{12} = 0.36458x^{-0.97331}$	$R_{12}^2 = 0.97213^*$
	16		80	$y_{16} = 0.61531x^{-1.14261}$	$R_{16}^2 = 0.97896^{**}$

จากตารางข้างบนจะเห็นว่ารูปแบบสมการกรณีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น (MR) และเวลา (t) ที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในรูปของฟังก์ชันกำลัง (Power Function) ดังนั้น จึงสามารถเขียนในเทอมทั่วไปของกรณีนี้ในรูปแบบของฟังก์ชันกำลังได้ว่า

$$\log MR = -1.034011875 \log t + \log 0.16438716$$

$$\log MR = \log t^{-1.034011875} + \log 0.16438716$$

$$MR = 0.16438716 t^{-1.034011875}$$

หรือ $MR = at^b$ (6)

เมื่อ $a = 0.16438716$ และ $b = -1.03411875$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่สามารถหาได้จากการทดลอง

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 4 กลุ่มที่ 1- 4 โดยที่ y คือ อัตราส่วนความชื้น (MR : Moisture Ratio) เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) และ x คือ เวลา (t : Drying Time) เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) เมื่อแทนค่าได้ฟังก์ชันกำลังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t แยกตามระดับความดัน P และอุณหภูมิ T ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม (Control Variable) ได้ดังต่อไปนี้

ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ $P = -50$ mmHg ณ อุณหภูมิที่ 50 °C, 60 °C, 70 °C และ 80 °C ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -0.68549 \log t + \log 0.15072$$

$$\text{ที่ } T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -0.67620 \log t + \log 0.13531$$

$$\text{ที่ } T = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.18144 \log t + \log 1.96755$$

$$\text{ที่ } T = 80 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.10256 \log t + \log 0.50287$$

ฉะนั้นได้

$$4 \log \text{MR} = -3.65569 \log t + \log 0.02368$$

$$\text{หรือ } \log \text{MR} = -0.9139225 \log t + \log 0.39227933 \quad (7)$$

ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ -60 mmHg ณ อุณหภูมิที่ 50 °C, 60 °C, 70 °C และ 80 °C ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.03404 \log t + \log 1.16861$$

$$\text{ที่ } T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.17792 \log t + \log 1.40442$$

$$\text{ที่ } T = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.09184 \log t + \log 1.14813$$

$$\text{ที่ } T = 80 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.13030 \log t + \log 0.59012$$

ฉะนั้นได้

$$4 \log \text{MR} = -4.43410 \log t + \log 1.11198$$

$$\text{หรือ } \log \text{MR} = -1.108525 \log t + \log 1.026890755 \quad (8)$$

ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ -70 mmHg ณ อุณหภูมิที่ 50 °C, 60 °C, 70 °C และ 80 °C ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -0.56130 \log t + \log 0.09800$$

$$\text{ที่ } T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.16754 \log t + \log 1.17705$$

$$\text{ที่ } T = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} : \log \text{MR} = -1.26379 \log t + \log 2.00072$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } T = 80^{\circ}\text{C} : \quad \log MR &= -1.21520 \log t + \log 1.25996 \\ \text{ฉะนั้นได้} \end{aligned}$$

$$4 \log MR = -4.20783 \log t + \log 0.29078$$

$$\text{หรือ } \log MR = -1.0519575 \log t + \log 0.734329767 \quad (9)$$

ที่ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ -80 mmHg ณ อุณหภูมิที่ 50 °C, 60 °C, 70 °C และ 80 °C ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } T = 50^{\circ}\text{C} : \quad \log MR = -1.08268 \log t + \log 0.84195$$

$$\text{ที่ } T = 60^{\circ}\text{C} : \quad \log MR = -1.05797 \log t + \log 0.59259$$

$$\text{ที่ } T = 70^{\circ}\text{C} : \quad \log MR = -0.97331 \log t + \log 0.36458$$

$$\text{ที่ } T = 80^{\circ}\text{C} : \quad \log MR = -1.14261 \log t + \log 0.61531$$

ฉะนั้นได้

$$4 \log MR = -4.25657 \log t + \log 0.111923$$

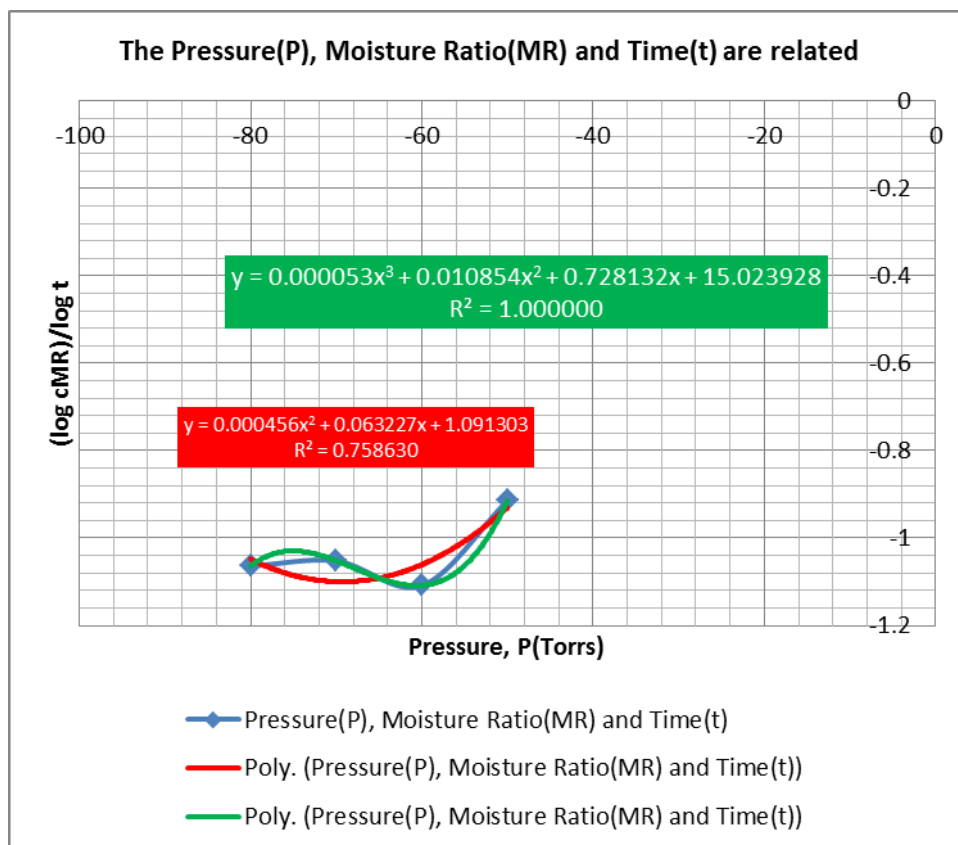
$$\text{หรือ } \log MR = -1.0641425 \log t + \log 0.578402066 \quad (10)$$

จากสมการ (7) (8) (9) และ (10) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องอบที่อยู่ในสถานะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของความชื้นและเวลาดังแสดงในตารางที่ 5 ได้จากการปรับเส้นโค้งของกราฟระหว่างค่าความชื้นของสมการดังกล่าวกับความดันดังภาพที่ 43 และจะเห็นว่าเส้นกราฟที่เข้ารูปได้ดีกับข้อมูล คือ $y = 0.000456x^2 + 0.063227x + 1.091303$ โดยมีค่า $R^2 = 0.758630$ ซึ่งหมายความว่า x (ความดันหรือ P) มีอิทธิพลต่อ y [สัดส่วนของค่า log ของอัตราส่วนความชื้น (cMR) และเวลา(t)] อยู่ ร้อยละ 75.86 อีก ร้อยละ 24.14 ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น และถ้าปรับเส้นโค้งในอันดับที่ 3 จะได้เส้นกราฟที่เข้ารูปได้สนิทดีมาก คือ $y = 0.000053x^3 + 0.010854x^2 + 0.728132x + 15.023928$ ขณะที่ค่า $R^2 = 1.00000$

ตารางที่ 5 ความดันในห้องอบที่อยู่ในสถานะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า

log ของความชื้นและเวลา ของกลุ่มที่ 1-4

ความดัน (mmHg)	$\frac{\log \text{ cMR}}{\log t}$
-50	-0.9139225
-60	-1.1085250
-70	-1.0519575
-80	-1.0641425



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องอบที่อยู่ในสถานะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ
ขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลา

ดังนั้น เมื่อแทนค่า y ด้วย $\frac{\log cMR}{\log t}$ และ x ด้วย P จะได้

$$MR = \frac{t}{c} 10^{Q(P)} \quad (11)$$

เมื่อ $Q(P) = 15.023928 + 0.728132P + 0.010854P^2 + 0.000053P^3$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับ
ความดัน สภาพวัตถุที่ใช้ออบแห้ง และ c เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับค่า P, MR และ t สามารถหาได้จากการ
ทดลอง

ตารางที่ 6 ฟังก์ชันกำลังจาก 16 การทดลอง กลุ่มที่ 5 - 8

กลุ่มที่	การทดลองที่	ความดัน (P:mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	ฟังก์ชันกำลัง	R ²
5	1	- 50	50	$y_1 = 0.15072x^{-0.68549}$	$R_1^2 = 0.90449$
	2	- 60		$y_2 = 1.16861x^{-1.03404}$	$R_2^2 = 0.82163$
	3	- 70		$y_3 = 0.09800x^{-0.56130}$	$R_3^2 = 0.83400$
	4	- 80		$y_4 = 0.84195x^{-1.08268}$	$R_4^2 = 0.92991$
6	5	- 50	60	$y_5 = 0.13531x^{-0.67620}$	$R_5^2 = 0.83259$
	6	- 60		$y_6 = 1.40442x^{-1.17792}$	$R_6^2 = 0.92031$
	7	- 70		$y_7 = 1.17705x^{-1.16754}$	$R_7^2 = 0.93360$
	8	- 80		$y_8 = 0.59259x^{-1.05797}$	$R_8^2 = 0.95904$
7	9	- 50	70	$y_9 = 1.96755x^{-1.18144}$	$R_9^2 = 0.87236$
	10	- 60		$y_{10} = 1.14813x^{-1.09184}$	$R_{10}^2 = 0.8840$
	11	- 70		$y_{11} = 2.00072x^{-1.26379}$	$R_{11}^2 = 0.93524$
	12	- 80		$y_{12} = 0.36458x^{-0.97331}$	$R_{12}^2 = 0.97213^*$
8	13	- 50	80	$y_{13} = 0.50287x^{-1.10256}$	$R_{13}^2 = 0.98166^{***}$
	14	- 60		$y_{14} = 0.59012x^{-1.13030}$	$R_{14}^2 = 0.98202^{****}$
	15	- 70		$y_{15} = 1.25996x^{-1.21520}$	$R_{15}^2 = 0.95663$
	16	- 80		$y_{16} = 0.61531x^{-1.14261}$	$R_{16}^2 = 0.97896^{**}$

ในการทำงานเดียวกันอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 6 กลุ่มที่ 5 – 8 ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 50 °C ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ -50, -60, -70 และ -80 mmHg ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } P = -50 \text{ Torrs} \quad : \quad \log MR = -0.68549 \log t + \log 0.15072$$

$$\text{ที่ } P = -60 \text{ Torrs} \quad : \quad \log MR = -1.03404 \log t + \log 1.16861$$

$$\text{ที่ } P = -70 \text{ Torrs} \quad : \quad \log MR = -0.56130 \log t + \log 0.09800$$

$$\text{ที่ } P = -80 \text{ Torrs} \quad : \quad \log MR = -1.08268 \log t + \log 0.84195$$

จากทั้ง 4 สมการจะได้

$$4 \log MR = -3.36351 \log t + \log 0.014532919$$

$$\text{หรือ} \quad \log MR = -0.8408775 \log t + \log 0.34726793 \quad (12)$$

ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 60°C ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ $-50, -60, -70$ และ -80 mmHg ได้

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } P = -50 \text{ mmHg} : \log MR = -0.67620 \log t + \log 0.31531$$

$$\text{ที่ } P = -60 \text{ mmHg} : \log MR = -1.17792 \log t + \log 1.40442$$

$$\text{ที่ } P = -70 \text{ mmHg} : \log MR = -1.16754 \log t + \log 1.17705$$

$$\text{ที่ } P = -80 \text{ mmHg} : \log MR = -1.05797 \log t + \log 0.59259$$

จากทั้ง 4 สมการจะได้

$$4 \log MR = -4.07963 \log t + \log 0.014532919$$

$$\text{หรือ} \quad \log MR = -1.0199075 \log t + \log 0.345983518 \quad (13)$$

ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 70°C ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ $-50, -60, -70$ และ -80 mmHg ได้

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } P = -50 \text{ mmHg} : \log MR = -1.18144 \log t + \log 1.96755$$

$$\text{ที่ } P = -60 \text{ mmHg} : \log MR = -1.00184 \log t + \log 1.14813$$

$$\text{ที่ } P = -70 \text{ mmHg} : \log MR = -1.26379 \log t + \log 2.00079$$

$$\text{ที่ } P = -80 \text{ mmHg} : \log MR = -0.97331 \log t + \log 0.36458$$

จากทั้ง 4 สมการจะได้

$$4 \log MR = -4.42038 \log t + \log 1.647825394$$

$$\text{หรือ} \quad \log MR = -1.105095 \log t + \log 1.13299449 \quad (14)$$

และ ณ อุณหภูมิคงที่ที่ 80°C ระดับความดันต่ำกว่าบรรยากาศที่ $-50, -60, -70$ และ -80 mmHg

ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MR และ t ดังนี้

$$\text{ที่ } P = -50 \text{ mmHg} : \log MR = -1.10256 \log t + \log 0.50287$$

$$\text{ที่ } P = -60 \text{ mmHg} : \log MR = -1.13030 \log t + \log 0.59012$$

$$\text{ที่ } P = -70 \text{ mmHg} : \log MR = -1.21520 \log t + \log 1.25996$$

$$\text{ที่ } P = -80 \text{ mmHg} : \log MR = -1.14261 \log t + \log 0.61531$$

จากทั้ง 4 สมการจะได้

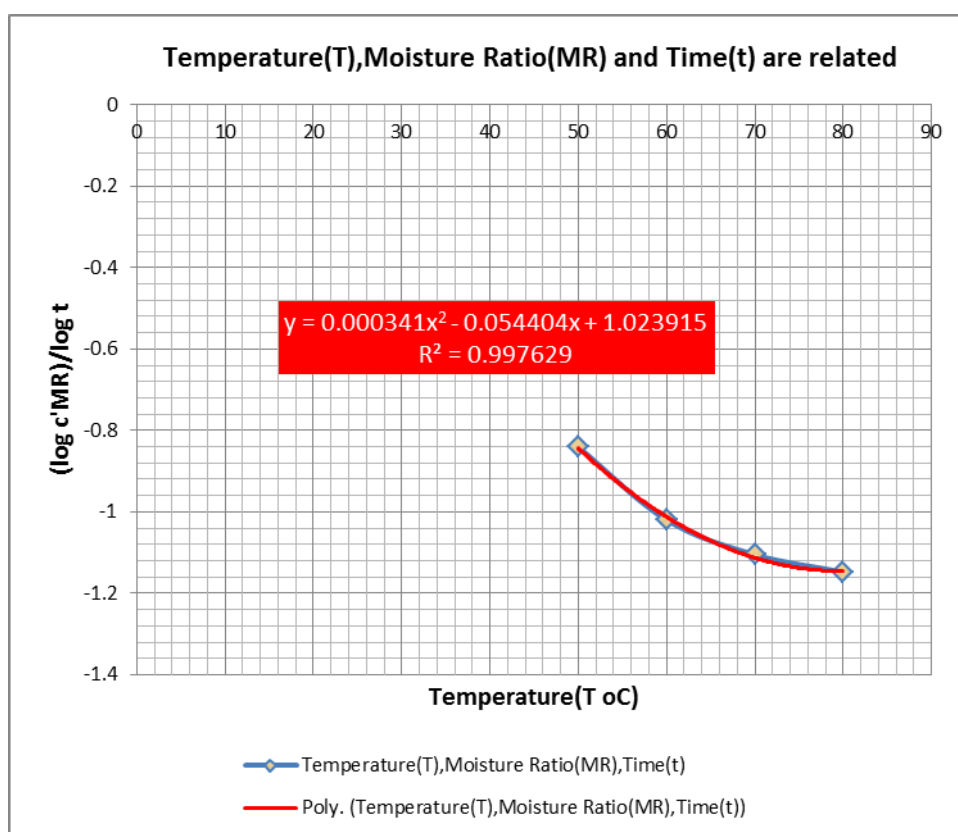
$$4 \log MR = -4.59067 \log t + \log 0.230063007$$

$$\text{หรือ} \quad \log MR = -1.1476675 \log t + \log 0.692566847 \quad (15)$$

ในการทำงานเดียวกันสมการ (12) (13) (14) และ (15) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องอบที่อยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า \log ของความชื้นและเวลาดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 ได้จากการปรับเส้นโค้งของกราฟระหว่างค่าความชื้นของสมการกับความดันดังภาพที่ 44 และเส้นกราฟที่เข้ารูปได้ดีกับข้อมูล คือ $y = 0.000341x^2 - 0.054404x + 1.023915$ โดยมีค่า $R^2 = 0.997627$ ซึ่งหมายความว่า x (ความดันหรือ P) มีอิทธิพลต่อ y [อัตราส่วนของค่า \log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลา] อยู่ร้อยละ 99.76 อีกร้อยละ 0.24 ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น

ตารางที่ 7 อุณหภูมิในห้องอบที่ความดันอยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า \log ของความชื้นและเวลา ของกลุ่มที่ 5- 8

อุณหภูมิ (°C)	$\frac{\log c'MR}{\log t}$
50	-0.8408775
60	-1.0199075
70	-1.1050950
80	-1.1476675



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องอบที่ความดันอยู่ในสภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศขณะทดลองกับอัตราส่วนค่า \log ของอัตราส่วนความชื้นและเวลา

ดังนั้น เมื่อแทนค่า y ด้วย $\frac{\log c' MR}{\log t}$ และ x ด้วย P จะได้

$$MR = \frac{t}{c'} 10^{Q'(T)} \quad (16)$$

เมื่อ $Q'(T) = 1.023915 - 0.054404T + 0.000341T^2$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับอุณหภูมิและสภาพวัตถุที่ใช้อบแห้ง และ c' เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับค่า T , MR และ t สามารถหาได้จากการทดลองและเมื่อรวมสมการ (6), (11) และ (16) รูปแบบของการทดลองการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศ จึงเป็น

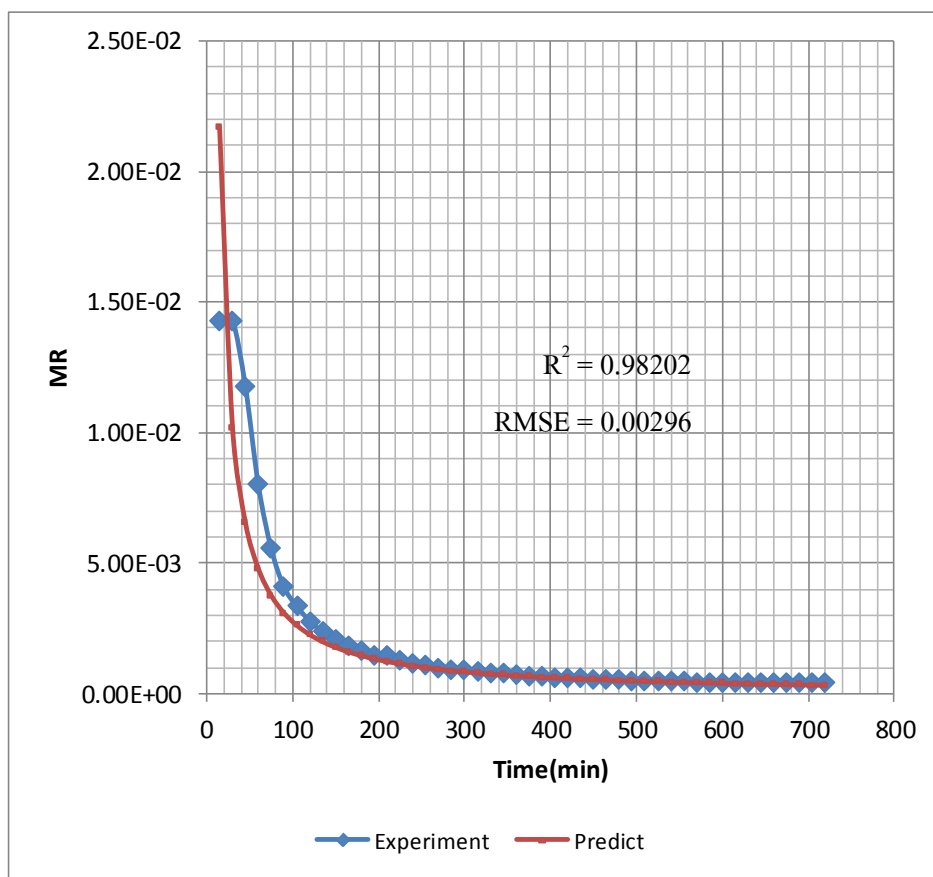
$$MR(t, T, P) = \frac{at^b}{3} + \frac{t}{3} \left(\frac{10^{Q(P)}}{c} + \frac{10^{Q'(T)}}{c'} \right) \quad (17)$$

สมการ (17) เป็นสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ที่ได้มาจากการทดลองด้วยกลวิธีและเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อตอบคำถามวิจัยของงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การทำนายตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการ (17) แสดงไว้ในตารางที่ 8 และสามารถแสดงกราฟของข้อมูลที่ได้จากการทดลองและกราฟที่ได้จากการทำนายตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวแสดงไว้ในภาพที่ 45, 46, 47 และ 48 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 14, 13, 16 และ 12 ตามลำดับ เมื่อในห้องอบมีอุณหภูมิ 80 °C ความดัน -60 mmHg, อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -50 mmHg, อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -80 mmHg และ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -60 mmHg ตามลำดับ

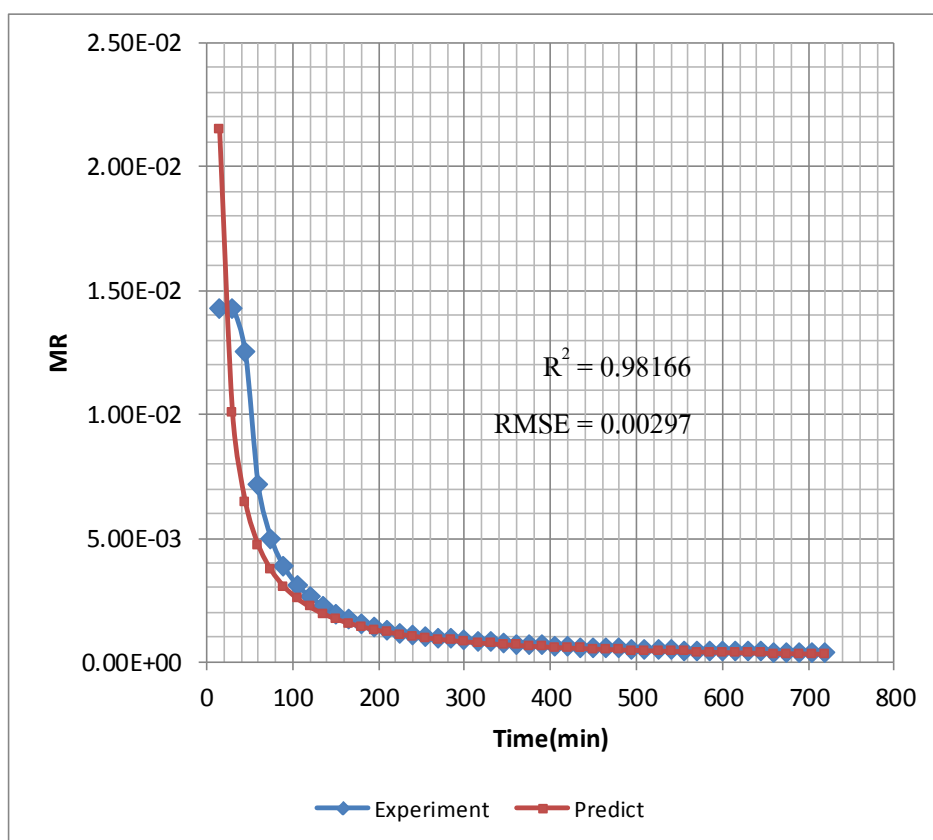
ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายอัตราการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงกลมในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ

ค่าคงที่	การทดลองที่ 14 (P = -60mmHg, T=80°C)	การทดลองที่ 13 (P = -50mmHg, T=80°C)	การทดลองที่ 16 (P = -80mmHg, T=80°C)	การทดลองที่ 12 (P = -80mmHg, T=70°C)
a	1.23668	1.23657	0.46111	0.58622
b	-1.08782	-1.09069	-0.80197	-0.84397
c	-11.09296	-11.09431	-8.32983	-5.44835
c'	-11.09296	-11.09431	-8.32983	-5.44835
Q(P)	6.25188	6.25246	5.05187	3.79746
Q'(T)	6.25188	6.25246	5.05187	3.79746
R ²	0.98202	0.98166	0.97896	0.97213



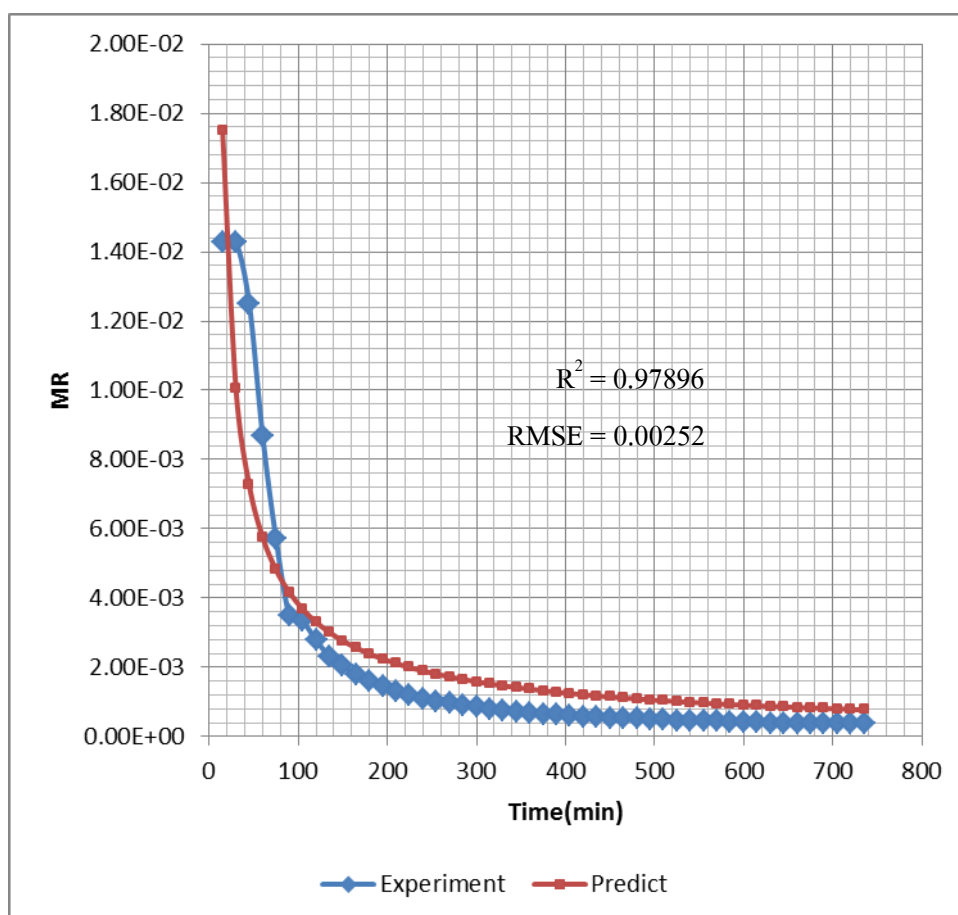
ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -60 mmHg

จะเห็นว่าผลการพล็อตกราฟของข้อมูลจากการทดลอง (Experiment) และจากการทำนาย (Prediction) ของการทดลองที่ 14 ตามสมการ (17) ในขณะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 80 °C และมีความดัน -60 mmHg ได้ค่า $R^2 = 0.98202$ และค่า $RMSE = 0.00296$ จากผลการคำนวณนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการ $y = 0.59012 x^{-1.13030}$ เป็น Power function ซึ่งเข้ารูปดี และมีค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.98202 ซึ่งเป็นค่าเดียวกัน นั่นคือสมการ (17) สามารถทำนายได้ดี และเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนศาสตร์ของการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนในสภาวะความดันต่ำกว่าความบรรยากาศปกติได้ถูกต้อง



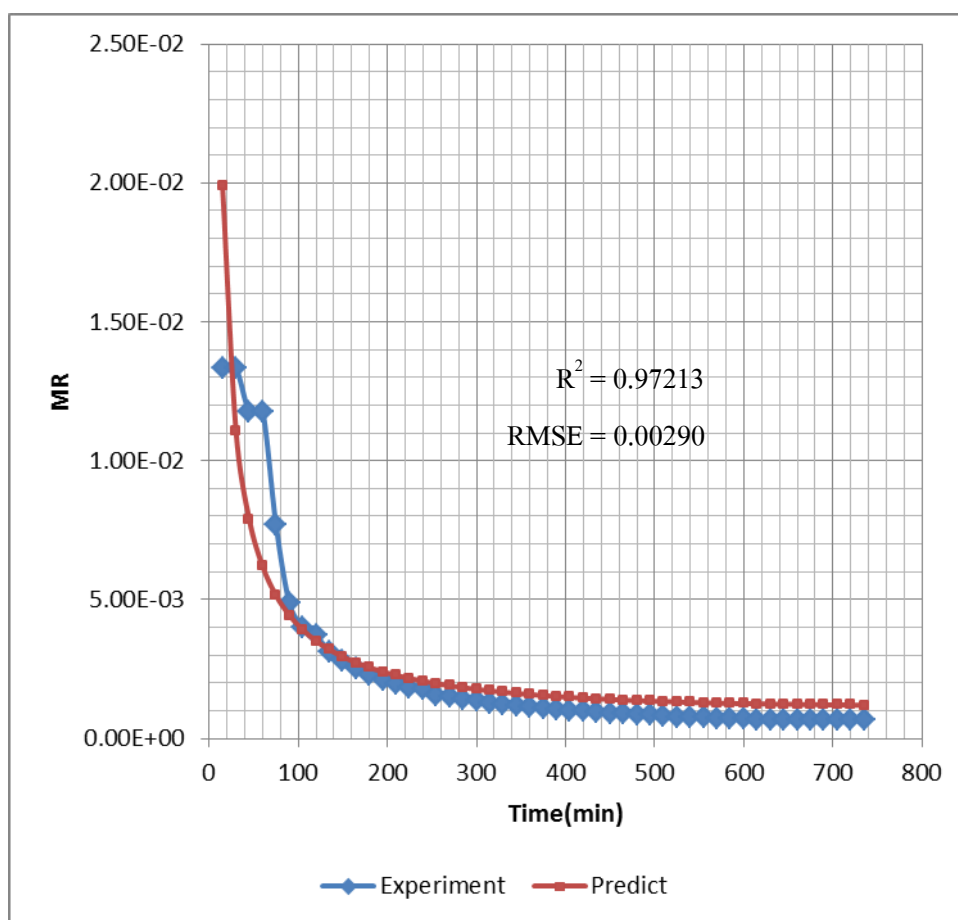
ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 13 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -50 mmHg

กราฟที่พล็อตตามข้อมูลจากผลการทดลอง (Experiment) และจากการทำนาย (Prediction) ของการทดลองที่ 13 ด้วยสมการ (17) ในขณะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 80 °C และมีความดัน -50 mmHg ได้ค่า $R^2 = 0.98166$ และค่า $RMSE = 0.00297$ จากผลการคำนวณนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการ $y = 0.502867 x^{-1.102564}$ เป็น Power function ซึ่งเข้ารูปดี และมีค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.98166 ซึ่งเป็นค่าเดียวกัน นั่นคือสมการ (17) สามารถทำนายได้ดี และเป็นสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งของมูลฝอยชุมชนในสภาวะความดันต่ำกว่าความบรรยากาศปกติได้ถูกต้อง



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 16 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 80 °C ความดัน -80 mmHg

ผลการพล็อตกราฟของข้อมูลจากการทดลอง (Experiment) และจากการทำนาย (Prediction) ของการทดลองที่ 16 ด้วยสมการ (17) ในขณะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 80 °C และมีความดัน -80 mmHg ได้ค่า $R^2 = 0.97896$ และค่า $RMSE = 0.00252$ จากผลการคำนวณนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการ $y = 0.615309 x^{-1.142600}$ เป็น Power function ซึ่งเข้ารูปดี และมีค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.97896 ซึ่งเป็นค่าเดียวกัน นั่นคือสมการ (17) สามารถทำนายได้ดี และเป็นสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนในสภาวะความดันต่ำกว่าความบรรยากาศปกติได้ถูกต้อง



ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการอบแห้งของข้อมูลจากการทดลองและจากการทำนายของการทดลองที่ 14 เมื่อในห้องอบ อุณหภูมิ 70 °C ความดัน -80 mmHg

จะเห็นว่าข้อมูลจากการทดลอง (Experiment) และจากการทำนาย (Prediction) ของการทดลองที่ 12 ด้วยสมการ (17) ผลของการพล็อตกราฟในขณะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 70 °C และมีความดัน -80 mmHg ได้ค่า $R^2 = 0.97213$ และค่า $RMSE = 0.00290$ จากผลการคำนวณนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการ $y = 0.364584 x^{-0.973311}$ เป็น Power function ซึ่งเข้ารูปดี และมีค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.97213 ซึ่งเป็นค่าเดียวกัน นั่นคือสมการ (17) สามารถทำนายได้ดี และเป็นสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนในสภาวะความดันต่ำกว่าความบรรยากาศปกติได้ถูกต้อง

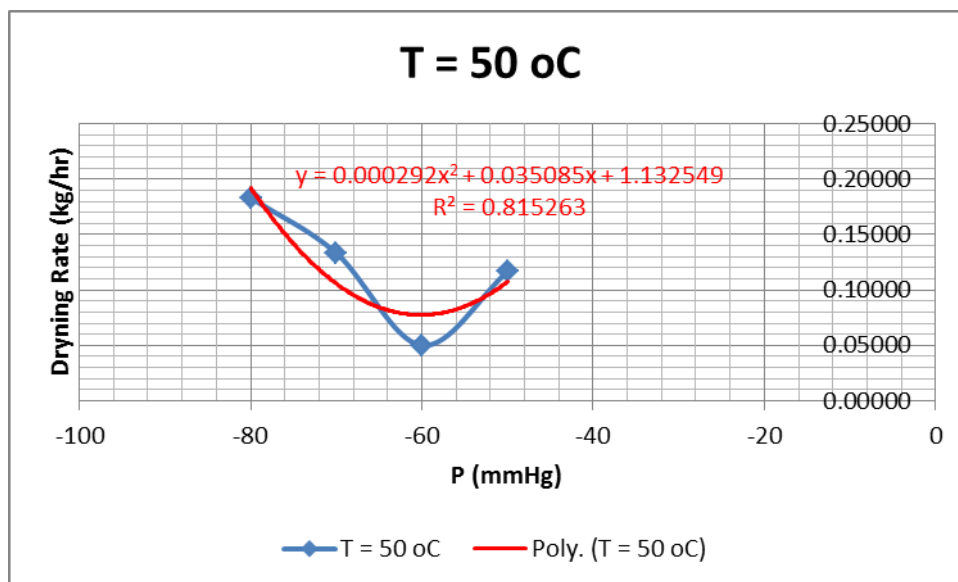
ผลการประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้ง

สมรรถนะการอบแห้งต้นแบบสามารถประเมินได้ด้วยอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ดังแสดงในตารางที่ 9 และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) แสดงไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 9 อัตราการอบแห้ง

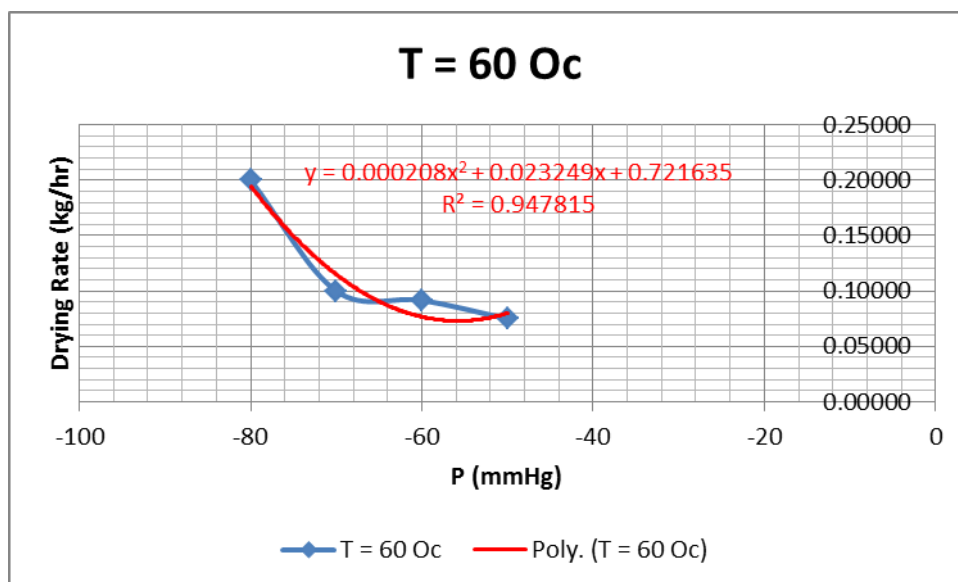
เงื่อนไขการอบแห้ง		น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ(kg)	น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ(kg)	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง(hr)	อัตราการอบแห้ง(kg/hr)
ระดับความดัน(mmHg)	อุณหภูมิ(°C)				
-50	50	12.5	11.1	12	0.11667
	60	12.5	11.6	12	0.07500
	70	12.4	12	12	0.03333
	80	12.5	12.3	12	0.01667
-60	50	12.5	11.9	12	0.05000
	60	12.5	11.4	12	0.09167
	70	12.5	11.5	12	0.08333
	80	12.3	11	12	0.10833
-70	50	12.5	10.9	12	0.13333
	60	12.5	11.3	12	0.10000
	70	12.4	11.3	12	0.09167
	80	12.3	10.6	12	0.14167*
-80	50	12.5	10.3	12	0.18000**
	60	12.4	10	12	0.20000****
	70	12.5	11.1	12	0.11667
	80	12.5	10.4	12	0.17500**

จากตารางที่ 9 และภาพที่ 49 – 52 อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดต่ำลง ในขณะที่อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและมีค่ามากที่สุด (0.20 kg/hr) เมื่อความดันที่ -80 mmHg อุณหภูมิของลมร้อน 60 °C และจากการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการเป็นแบบ Polynomial function และค่า R² มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 ซึ่งเข้ารูปดีกับผลการทดลอง และเป็นค่าที่ยอมรับได้



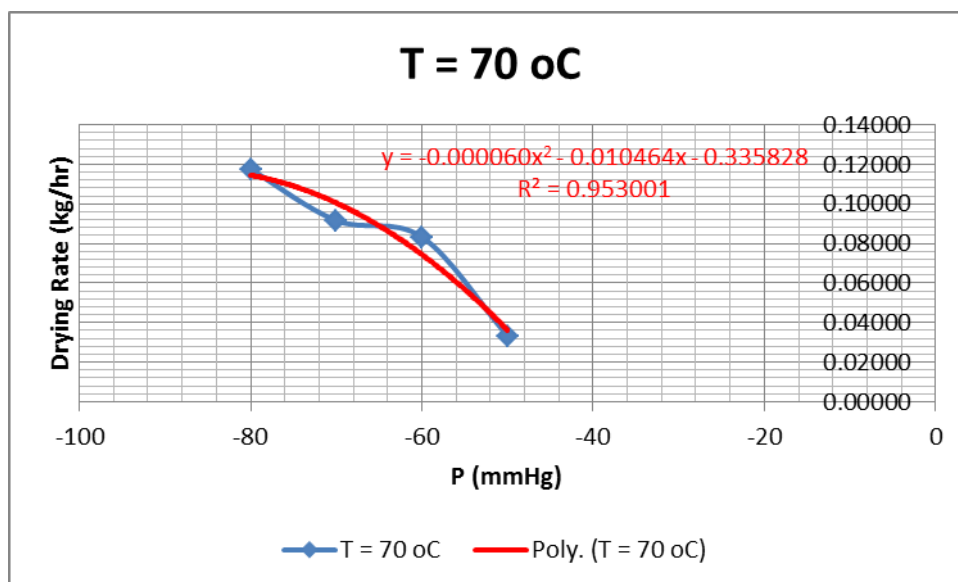
ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในขณะห้องอบอุณหภูมิ 50 °C

จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดต่ำลง และจากการเลือก Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ที่ได้สมการ $y = 1.1332549 + 0.035085x + 0.000292x^2$ เป็น Polynomial function ซึ่งเข้ารูปดีกับผลการทดลอง และค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 คือ 0.815263 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้



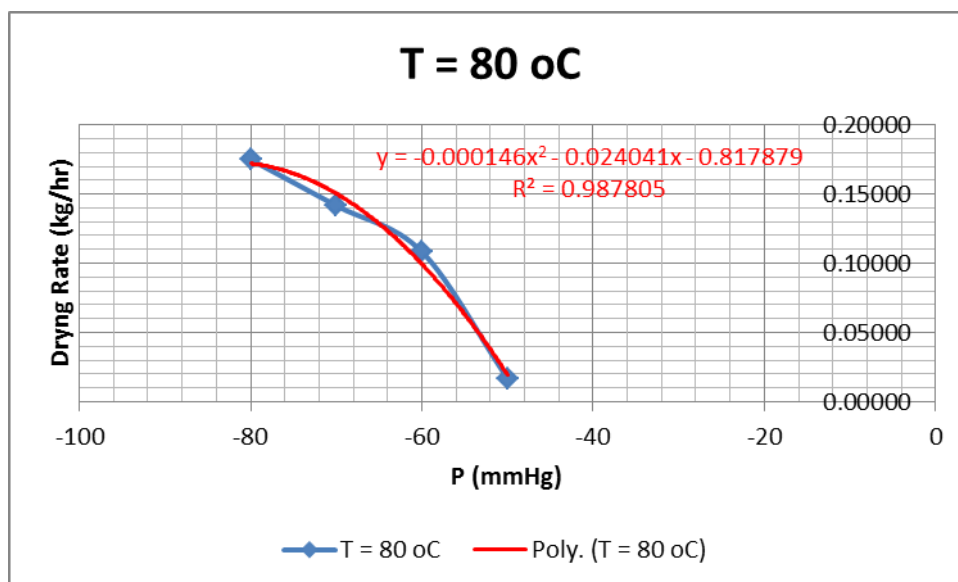
ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในขณะห้องอบอุณหภูมิ 60 °C

จากภาพที่ 50 อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันลดต่ำลง โดยการเลือก Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits สมการที่ได้คือ $y = 0.721635 + 0.023249x + 0.000208x^2$ เป็น Polynomial function ซึ่งเข้ารูปดีมากกับผลการทดลอง และค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 คือ 0.947815 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในขณะที่ห้องอบอุณหภูมิ 70 °C

ภาพที่ 51 ซึ่งให้เห็นว่าขณะที่ความดันลดต่ำลง อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากการเลือกทำ Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits สมการที่ได้คือ $y = 0.335828 + 0.010464x + 0.000060x^2$ เป็น Polynomial function ซึ่งเข้ารูปดีมากกับผลการทดลอง และค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 คือ 0.953001 เป็นค่าที่ยอมรับได้



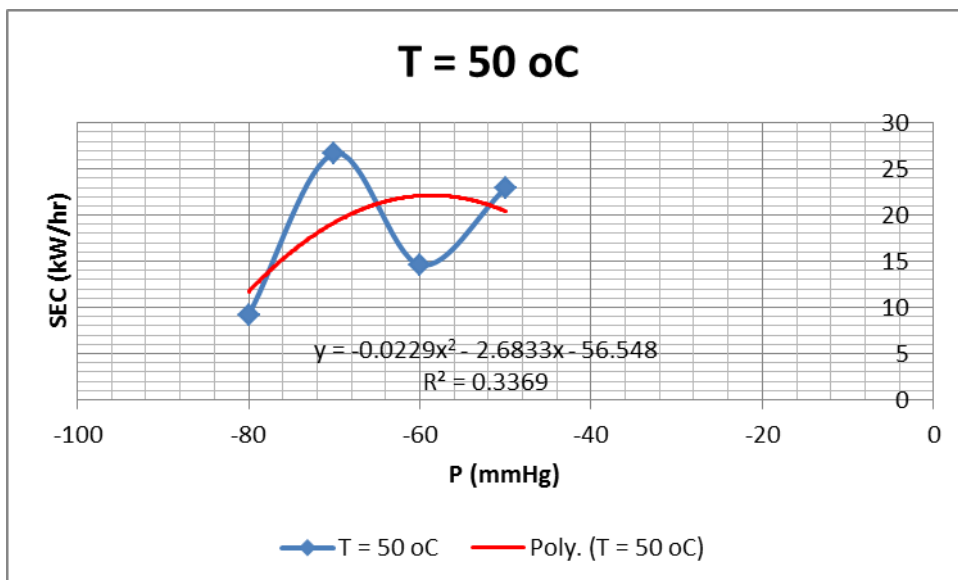
ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในขณะที่ห้องอบอุณหภูมิ 80 °C

จากภาพที่ 52 อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ความดันลดต่ำลง และจาก Model fitting แบบ Nonlinear Curve Fits ได้สมการ $y = 0.817879 + 0.024041x + 0.000146x^2$ เป็น Polynomial function ซึ่งเข้ารูปดีมากกับผลการทดลอง และค่า R^2 มีแนวโน้มเข้าใกล้ 1 คือ 0.987805 เป็นค่าที่ยอมรับได้

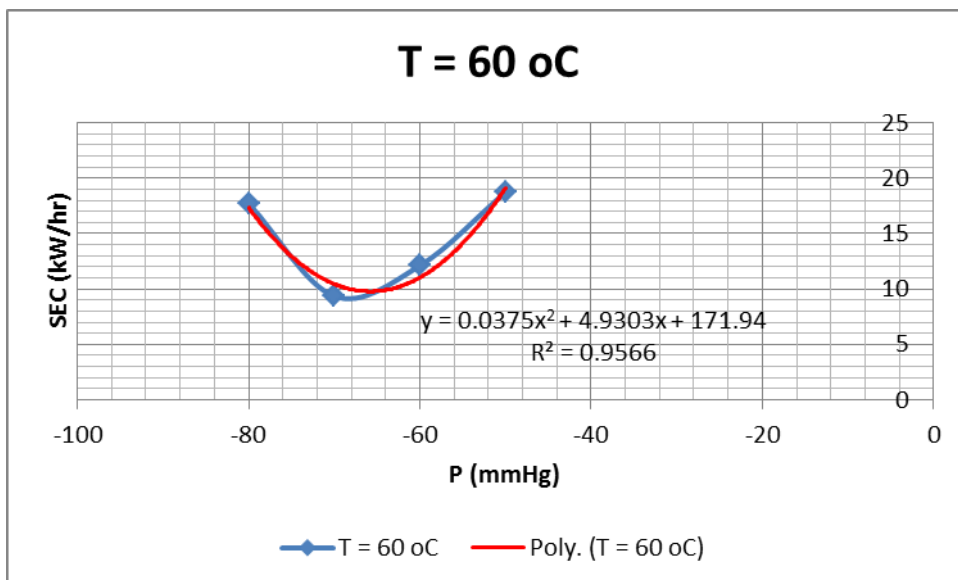
สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (SEC) มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิคงที่ 60 °C ระดับความดันลดลงในช่วง - 50 – - 70 mmHg และจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังที่แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 10 และภาพที่ 53 – 56

ตารางที่ 10 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC)

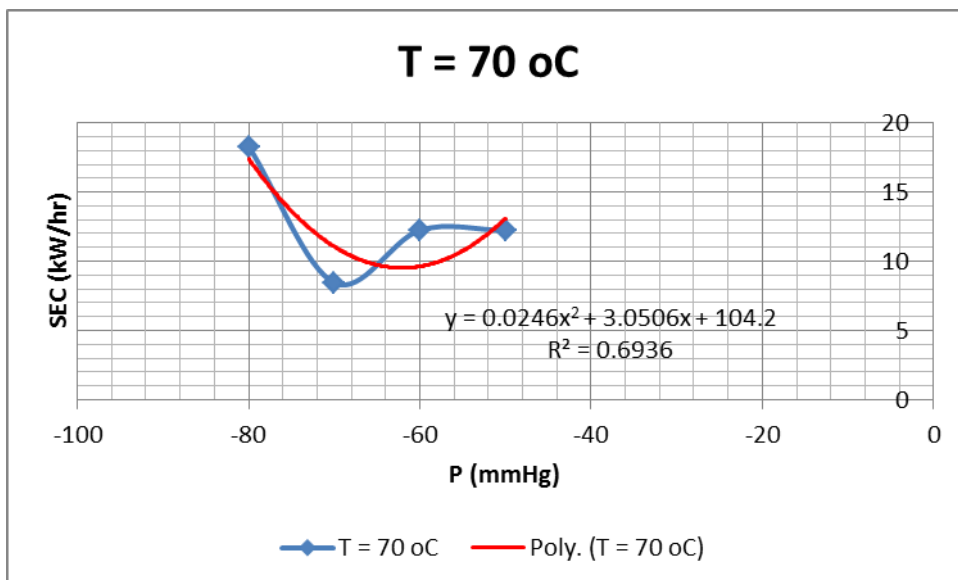
เงื่อนไขการอบแห้ง		หน่วยพลังงาน	หน่วยพลังงาน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในระบบ(kW-hr)	น้ำหนักของน้ำที่ ระเหย(kg)	ค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะ (kW-hr/kg)
ระดับความดัน(Torr)	อุณหภูมิ(°C)	ไฟฟ้าก่อนอบแห้ง (kW-hr)	ไฟฟ้าหลังอบแห้ง (kW-hr)			
-50	50	294	305	11.00	0.48	22.92
	60	330	339	9.99	0.48	18.75
	70	339	362	23.00	1.88	12.23
	80	306	329	23.00	2.45	9.39
-60	50	275	294	19.00	1.30	14.62
	60	255	275	20.00	1.65	12.12
	70	236.5	255	18.50	1.51	12.25
	80	217	326	19.00	2.54	7.48
-70	50	208.5	216.5	8.00	0.30	26.67
	60	190	207.5	17.50	1.87	9.36
	70	172	190	18.00	2.13	8.45
	80	150	171	21.00	2.23	9.42
-80	50	137	150	13.00	1.41	9.22
	60	109	137	28.00	1.58	17.72
	70	80	108	28.00	1.53	18.30
	80	363	385	22.00	2.66	8.27



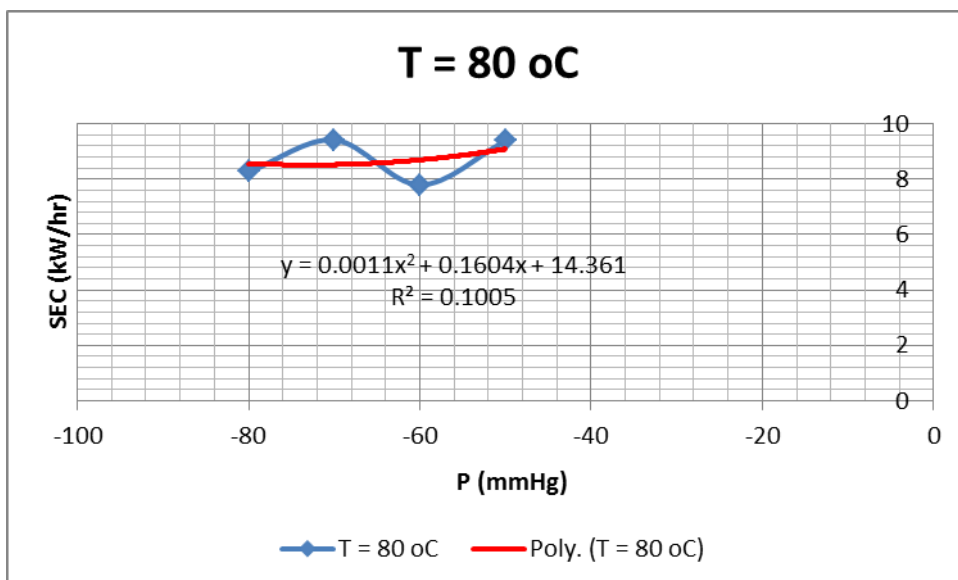
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในกรณีที่ห้องอบอุณหภูมิ 50 °C



ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในกรณีที่ห้องอบอุณหภูมิ 60 °C



ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในกรณีที่ห้องอบอุณหภูมิ 70 °C



ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความดันที่ระดับต่าง ๆ
ในกรณีที่ห้องอบอุณหภูมิ 80 °C

การค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบ

ทฤษฎีและสูตรการคำนวณ ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อการตัดสินใจในการลงทุนที่ใช้ ได้แก่ การประมาณการรายได้ การประมาณการค่าใช้จ่าย ค่าระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) และค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

1. การประมาณการรายได้ ในการคำนวณรายได้จะต้องอาศัยฐานการคิดจากปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนสด 150 ตัน/เดือน ที่ความชื้นประมาณ 23% มาตรฐานเปียก ไม่เกิน 30%wb สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF แบบ RDF-3 (ระบบกลุ่มสหรัฐอเมริกา) หรือ f-RDF (ระบบกลุ่มยุโรป) ได้ 15 ตัน/เดือน โดยราคาจำหน่าย 1,000 บาท/ตัน (ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล, 2552) และจากการคาดการณ์ว่าในปี 2558 จะมีปริมาณขยะต่อวันถึง 49,680 ตัน หรือ 17.9 ล้านตัน/ปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) จึงสามารถผลิต f-RDF ได้ประมาณ 4,900 ตันต่อวัน แต่ความสามารถของเครื่องต้นแบบที่ผลิตขึ้นใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ผลิตผลวัตถุดิบได้เพียง 0.12 ตันต่อวัน และสามารถผลิตเป็น RDF-3 ได้เพียง 0.012 ตันต่อวัน ทำให้มีรายได้ 120 บาทต่อวัน หรือ 43,200 บาทต่อปี ซึ่งใช้เป็นฐานในการพยากรณ์รายได้ในอนาคตอีก 5 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2557 เป็นต้นไป) จากข้อมูลการเพิ่มขึ้นของขยะชุมชนประมาณร้อยละ 3.3 ของทุก ๆ ปี และอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 10 ต่อปี ดังนั้นข้อมูลรายได้เพื่อการประมาณการรายได้สามารถแสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 รายได้จากพยากรณ์ในอีก 5 ปีข้างหน้า

ปีที่	ปี พ.ศ.	รายได้(บาท)
1	2557	43,200.00
2	2558	48,945.60
3	2559	55,455.36
4	2560	62,830.93
5	2561	71,187.44

(ผลการคำนวณ)

2. การประมาณค่าใช้จ่ายหรือต้นทุน (Cost) ประกอบด้วย เงินลงทุนเริ่มแรกเป็นต้นทุนในการจัดหาปัจจัยคงที่หรือค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการจัดการ (Operating and Administration Cost) เป็นต้นทุนในการซื้อปัจจัยผันแปรดังรายละเอียดต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

เงินลงทุนได้มาจากการกู้ยืมเงินจากธนาคารพาณิชย์ อัตราดอกเบี้ย 0.9% ต่อปี ระยะเวลาการผ่อนชำระคืนเป็นเงิน 50,000.00 บาท

การลงทุนเริ่มแรกเป็นค่าใช้จ่ายในการซื้อปัจจัยคงที่ที่ไม่ผันแปรไปตามขนาดการผลิต และเตรียมไว้เพื่อดำเนินการผลิต รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าเครื่องมือใช้ในการผลิตรวมค่าการจัดทำระบบการวัด	10,000
ค่าอุปกรณ์การวัดและความคุม ออกแบบ เขียนแบบ และประกอบติดตั้ง	15,000
รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุน	25,000

(ราคาที่ซื้อมาจากตลาดคลองถมและร้านขายของเก่าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการจัดการ

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต แรงงาน และ ไฟฟ้า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 รายจ่ายในกระบวนการผลิต แรงงาน และไฟฟ้า

รายการ	จำนวนเงิน (บาท/เดือน)	จำนวนเงิน (บาท/ปี)
ค่าขยะมูลฝอย	30*	360
ค่าไฟฟ้า(การทดลองที่ 14)	208	2,496
ค่าแรงงาน	3,000**	36,000
รวมค่าใช้จ่าย		38,856

* ราคาซื้อขยะเปียกความชื้นไม่เกิน 50 %wb 100 kg 5 บาท (รศ.ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์)

** รายได้เสริม(รศ.ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์)

3. การคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุน (PB)

เป็นระยะเวลาที่เพียงพอที่คาดว่าจะได้รับกระแสเงินสดสุทธิที่เกิดจากการลงทุนอย่างน้อยต้องเท่ากับหรือมากกว่าเงินลงทุนทั้งหมดที่ลงไปในตอนแรก จากข้อมูลในตารางที่ 14 แถวกระแสเงินสดและกระแสเงินสดสะสม สามารถนำมาคำนวณและเปรียบเทียบโดยอาศัยแผ่นงานของ Microsoft Excel

2010 โดยที่แถว Cash in flow เป็นรายได้ที่ได้จากการประมาณรายได้ตามข้อ (1) หน้า 80 ส่วนแถว Cash out flow เป็นรายจ่ายที่ได้จากการประมาณรายจ่ายตามข้อ (2) หน้า 80 - 81 และสำหรับแถว Net cash flow ที่ได้จากค่าของ Cash in flow ลบด้วย Cash out flow ของแต่ละปี พ.ศ. ในแถวกระแสเงินสดสะสม ได้จากค่าเงินของแถวกระแสเงินสดสะสมในปีก่อน ลบด้วย ค่าของแถว Net cash flow ในปีถัดมา เช่น กระแสเงินสดสะสมในปี พ.ศ. 2556 คือ -50,000.00 บาท และค่าของแถว Net cash flow ในปี พ.ศ. 2557 คือ 4,344.00 บาท ผลลัพธ์ในแถวกระแสเงินสดสะสมในปีถัดมาจึงเป็น -45,656.00 บาท และหาค่ากระแสเงินสดสะสมในปีถัดมาเรื่อย ๆ ทุกปี พ.ศ. จนกระทั่งค่ากระแสเงินสดสะสมในปีถัดมามีค่าเป็นบวก เช่น ในปี พ.ศ. 2560 ค่าของแถวกระแสเงินสดสะสม 2,897.05 บาท ในขณะที่แถวเดียวกันของปี พ.ศ. 2559 มีค่าเป็นลบ ซึ่งตรงกับปีที่ 3 ของการลงทุน และเป็นระยะเวลาปีที่คืนทุน แต่ก็ยังมีเศษเดือนอยู่อีกซึ่งสามารถหาได้จาก ค่าสัมบูรณ์ของ -20,019.29 หารด้วย 22,916.35 ได้เท่ากับ 0.873581 และคูณตัวเลขผลลัพธ์นี้ด้วย 12 ก็จะได้จำนวนเดือนคือ 10 เดือน แต่ก็ยังมีเศษวันอยู่อีก จึงใช้ตัวเลขจุดทศนิยมคือ 0.48298 คูณกับ 30 ก็จะได้จำนวนวัน คือ 14.4894 หรือ 14 วัน

ตารางที่ 14 การคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุน

ปี พ.ศ.	2556	2557	2558	2559	2560	2561
Cash in flow		43,200.00	48,945.60	55,455.36	62,830.93	71,187.44
ปีที่	0	1	2	3	4	5
Cash out flow	-50,000.00	38,856.00	39,205.70	39,558.56	39,914.58	40,273.81
Net cash flow	-50,000.00	4,344.00	9,739.90	15,896.81	22,916.35	30,913.63
กระแสเงินสดสะสม	-50,000.00	-45,656.00	-35,916.10	-20,019.29	2,897.05	33,810.68
				3 ปี	0.873581	0.48298
					10.48298	14.4894
					10 เดือน	14 วัน

(ผลการคำนวณ)

ฉะนั้น จะเห็นว่าระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 3 ปี 10 เดือน 14 วัน

4. ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนในหัวข้อ (3) เป็นเพียงการบอกให้ทราบว่านานเท่าไรจะทำให้รายได้จากการดำเนินการกับเงินที่ลงทุนไปเท่ากัน ซึ่งจะใช้เป็นเหตุเป็นผลสำหรับการตัดสินใจที่จะลงทุนหรือไม่นั้นยังไม่เพียงพอ ดังนั้นผู้วิจัยคิดว่าน่าจะมีปัจจัยอย่างอื่นที่ต้องใช้เป็นเหตุเป็นผลให้มั่นใจยิ่งขึ้น การทราบค่าผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จึงเป็นการเพิ่มความมั่นใจอีกระดับหนึ่ง เพราะทำให้รู้สึกถึงมูลค่าของกิจการที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุน ทำให้ทราบกระแสเงินสดที่

เกี่ยวข้องกับตลอดทั้งโครงการ และทั้งยังทราบค่าเงินในเวลาที่แตกต่างกัน ตลอดจนทราบถึงความเสี่ยงของกระแสเงินสดในอนาคตด้วย ดังแสดงในภาพที่ 15 การได้ของตัวเลขในช่องต่าง ๆ เป็นดังนี้ ตัวเลขแถว Net cash flow คอลัมน์ปี พ.ศ. 2556 คือ -50,000.00 เป็นค่าของเงินลงทุนครั้งแรก คอลัมน์ปี พ.ศ. 2557 2558 2559 2560 และ 2561 ได้จากตัวเลขในแถว Cash in flow ลบด้วย ตัวเลขในแถว Cash out flow คือ 4,344.00 9,739.90 15,896.81 22,916.35 และ 30,913.63 ตามลำดับ ส่วนตัวในแถวกระแสเงินสดสะสม คอลัมน์ปี พ.ศ. 2556 คือ -50,000.00 เป็นค่าของเงินลงทุนครั้งแรก คอลัมน์ปี พ.ศ. 2557 2558 2559 2560 และ 2561 ได้จากตัวเลขในแถวกระแสเงินสดสะสมคอลัมน์ปี พ.ศ. 2556 บวกด้วย ตัวเลขในแถว Net cash flow คอลัมน์ปี พ.ศ. 2557 คือ $(-50,000.00 + 4,344.00) -45,656.00$ $(-45,656.00 + 9,739.90) -35,916.10$ $(-35,916.10 + 15,896.81) -20,019.29$ $(-20,019.29 + 22,916.35) 2,897.05$ $(2,897.05 + 30,913.63) 33,810.68$ ในแถวอัตราดอกเบี้ย $(1+i)^n$ คอลัมน์ปี พ.ศ. 2556 คือ 1 มาจาก $(1+0.009)^0$ คอลัมน์ปี พ.ศ. 2557 2558 2559 2560 และ 2561 คือ 1.0090, 1.0181, 1.0272, 1.0365 และ 1.0458 มาจาก $(1+0.009)^1$, $(1+0.009)^2$, $(1+0.009)^3$, $(1+0.009)^4$ และ $(1+0.009)^5$ ตามลำดับ ตัวเลขในแถว $NCF/(1+i)^n$ คอลัมน์ปี พ.ศ. 2556 คือ -50,000.00 มาจาก ตัวเลขในแถว Cash out flow (-50,000.00) หารด้วยตัวเลขในแถว อัตราดอกเบี้ย $(1+i)^n$ คอลัมน์ปี พ.ศ. 2557 2558 2559 2560 และ 2561 คือ 4,305.25 9,566.92 15,475.21 22,109.59 และ 29,559.30 มาจาก 4,344.00 9,739.90 15,896.81 22,916.35 และ 30,913.63 แต่ละตัวหารด้วย 1.0090, 1.0181, 1.0272, 1.0365 และ 1.0458 ตามลำดับ สำหรับค่า NPV = 31,016.27 ได้มาจาก ผลรวมของ $-50,000.00 + 4,305.25 + 9,566.92 + 15,475.21 + 22,109.59 + 29,559.30$

ตารางที่ 15 การคำนวณผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ปี พ.ศ.	2556	2557	2558	2559	2560	2561
Cash in flow		43,200.00	48,945.60	55,455.36	62,830.93	71,187.44
ปีที่ (n)	0	1	2	3	4	5
Cash out flow	-50,000.00	38,856.00	39,205.70	39,558.56	39,914.58	40,273.81
Net cash flow(NCF)	-50,000.00	4,344.00	9,739.90	15,896.81	22,916.35	30,913.63
กระแสเงินสดสะสม	-50,000.00	-45,656.00	-35,916.10	-20,019.29	2,897.05	33,810.68
อัตราดอกเบี้ย $(1+i)^n$	1	1.0090	1.0181	1.0272	1.0365	1.0458
$NCF/(1+i)^n$	-50,000.00	4,305.25	9,566.92	15,475.21	22,109.59	29,559.30
NPV	=	31,016.27	หรือ	31,016.27		

(ผลการคำนวณ)

จากค่า NPV = 31,016.27 บาท ที่ได้มีค่าเป็นบวกและมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเป็นการลงทุนนี้คุ้มค่า เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีค่ามากกว่าต้นทุนของโครงการที่เกิดขึ้น และมีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้

5. การคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

เป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสดรับทั้งหมดเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดจ่ายทั้งหมด ถือเป็นอัตราร้อยละที่แสดงถึงความสามารถของเงินทุน ที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุนของโครงการนั้น การหาค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ก็คือการคำนวณหาค่าอัตราส่วนลด (Discount Rate: r) ว่ามีเท่าไรจึงจะทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การคำนวณผลตอบแทนการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ปี พ.ศ.	2556	2557	2558	2559	2560	2561
Cash in flow		43,200	48,945.60	55,455.36	62,830.93	71,187.44
ปีที่ (n)	0	1	2	3	4	5
Cash out flow	- 50,000.00	38,856.00	39,205.70	39,558.56	39,914.58	40,273.81
Net cash flow	- 50,000.00	4,344.00	9,739.90	15,896.81	22,916.35	30,913.63
ค่า IRR ที่	อัตราดอกเบี้ย (i) =	0.150427949	หรือ	15.0427949	%	
$(1+i)^n$		1.150	1.323	1.523	1.752	2.015
R	- 50,000.00	3,775.99	7,359.28	10,440.75	13,083.01	15,340.97
ค่า Sum(R)	=	0.00				
ค่า IRR ที่	อัตราดอกเบี้ย =	0.150427949	หรือ	15.0427949	%	

(ผลการคำนวณ)

เนื่องจาก Microsoft Excel 2010 ซึ่งเป็นโปรแกรมแผ่นงานที่มีความสามารถสูง และมีฟังก์ชันการคำนวณทางการเงินไว้อำนวยความสะดวก ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้โปรแกรมดังกล่าวหาค่า IRR ตามข้อมูลในตารางที่ 16 และจากผลการคำนวณโดยกำหนดค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุด (Minimum Attractive Rate of Return : MARR) เท่ากับ 0.9% โดยอ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ผลการคำนวณได้ค่า $IRR = 0.150427949$ หรือ 15.04 % ซึ่ง $IRR (15.04\%) > MARR (0.9\%)$ แสดงให้เห็นว่าโครงการนี้สมควรลงทุนได้

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ และข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้กล่าวในบทที่ 4 สามารถสรุป ได้ดังนี้

ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงวดโดยห้องอบอยู่ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ สำหรับการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูงให้ลดลงในระดับที่สามารถนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะได้ของงานวิจัยครั้งนี้พบว่าสมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งสำหรับอธิบายจลนศาสตร์ของการลดความชื้นคือ $MR(P,T,t) = \frac{at^b}{3} + \frac{t}{3} \left(\frac{10^{Q(P)}}{c} + \frac{10^{Q'(T)}}{c'} \right)$ สมรรถนะของระบบพบว่าอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดต่ำลง ที่ทุกค่าของอุณหภูมิ แม้จะสูงขึ้นก็ตาม และมีค่ามากที่สุด เมื่อความดันที่ -80 mmHg ที่อุณหภูมิของลมร้อน 60 °C ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิคงที่ 60 °C ที่ระดับความดันลดลงในช่วง -50 ถึง -70 mmHg และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่าย ผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบพบว่าค่าระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 10 เดือน กับ 14 วัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิได้เท่ากับ 31,016.27 บาท และค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับ 15.04 %

อภิปรายผลการวิจัย

สมการจลนศาสตร์เชิงประจักษ์ของการอบแห้งสำหรับอธิบายจลนศาสตร์ของการลดความชื้นของระบบอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนแบบวงวดโดยห้องอบอยู่ภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ ดังกล่าวสามารถใช้ทำนายอัตราการลดความชื้น โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ดี ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R²) อยู่ที่ประมาณ 0.9976 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดต่ำลง ที่ทุกค่าของอุณหภูมิแม้จะสูงขึ้น และมีค่ามากที่สุด (0.20 kg/hr) เมื่อความดันที่ -80 mmHg ที่อุณหภูมิของลมร้อน 60 °C สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(SEC) มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิคงที่ 60 °C ที่ระดับความดันลดลงในช่วง -50 ถึง -70 mmHg และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งค่าอัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบอบแห้งนี้อยู่ในเกณฑ์ดี

ทั้งนี้เพราะผลการประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าทั้งค่าระยะเวลาคืนทุน (PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ต่างก็มีค่าที่เหมาะสม กล่าวคือ ตลอดระยะเวลาของโครงการ 5 ปี สามารถคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุนได้เท่ากับ 3 ปี 10 เดือน 14 วัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาของโครงการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิได้เท่ากับ 31,016.27 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวกและมีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเป็นการลงทุนนี้คุ้มค่า และค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับ 15.04 % ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดเท่ากับ 0.9% โดยอ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ แสดงให้เห็นว่าโครงการนี้สมควรลงทุนได้ จึงสรุปได้ว่าโครงการการพัฒนาระบบอบแห้งแบบวงกลมในสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศ สำหรับการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความเปียกชื้นสูงให้ลดลงในระดับที่สามารถนำไปผลิตเชื้อเพลิงขยะได้ซึ่งเป็นนวัตกรรมระบบอบแห้งที่มีความแตกต่างนี้จึงน่าลงทุน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ

ระบบอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อการทดลองในครั้งนี้ เป็นระบบในระดับห้องปฏิบัติการได้สร้างขึ้นตามแนวคิดที่ต้องการนำความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งความร้อนต่าง ๆ อาทิเช่น ปล่องไฟจากระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือความร้อนจากระบบไอร้อนของระบบเทอร์ไบด์ โดยการดึงเอาความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักด้วยระบบการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งไม่ใช่การดึงเอาความร้อนจากปล่องไฟโดยตรงเข้าสู่ระบบอบแห้ง เพราะระบบต้องเป็นระบบปิดจึงจะทำให้ห้องอบและทั้งระบบมีสภาวะความดันลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ

การคำนวณปริมาณของความร้อนเหลือทิ้งและการที่จะกักเก็บความร้อนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทุกกรณี จะต้องทราบปริมาณความร้อนจากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = v\rho c_p \Delta T$$

- โดยที่ Q คือปริมาณความร้อน ในหน่วยกิโลแคลอรี (kcal)
- v คืออัตราการไหลของสสาร ในหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/hr)
- ρ คือความหนาแน่นของก๊าซไอเสียที่ปล่อง ในหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)
- c_p คือความร้อนจำเพาะของสสาร ในหน่วย กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส ($kcal/kg \text{ } ^\circ C$)
- ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิ ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^\circ C$)

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าระบบอบแห้งแบบใหม่สามารถทำงานได้จริง และสามารถประเมินศักยภาพการทำงานในเบื้องต้นได้ นับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่อ กระบวนการอบแห้ง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ได้ จึงน่าจะมีการทำวิจัยต่อในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- ควรกำหนดระยะเวลาการทดลองแต่ละรอบการทดลอง(งวด)อย่างสม่ำเสมอ
- การทดลองอบแห้งที่มีการหมุนวนของอากาศด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน
- การออกแบบเพื่อหาขนาด และความยาวของท่ออบแห้งที่เหมาะสม
- ใช้กับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลาย ๆ ชนิด

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2552. คพ. 06-033. กรุงเทพฯ: บริษัท รุ่งศิลป์การพิมพ์ (1977) จำกัด.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2555). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี พ.ศ. 2555-2564. กระทรวงพลังงาน. เลขที่ 17 ถนนพระรามที่ 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330. ค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2555 จาก <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- กิติพงษ์ ถือสัตย์. (2547). การศึกษาศักยภาพทางการตลาดและความเป็นไปได้ของธุรกิจถ่านอัดแท่งจากขังข้าวโพดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. นครราชสีมา: ม.ป.พ.
- จุฑามาศ ทับจันทร์. (2545). การศึกษาทางเลือกของครัวเรือนในการให้ความร่วมมือจัดการขยะมูลฝอยกรณีศึกษาเทศบาลเมืองชลบุรี. วิทยานิพนธ์. ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. พิษณุโลก. มหาวิทยาลัยนเรศวร. น. 27-28.
- นิรันดร์ จงวุฒิเวศย์. (2527). การมีส่วนร่วมของประชาชนในการพัฒนานครปฐม. ศูนย์การศึกษานโยบายสาธารณสุข. มหาวิทยาลัยมหิดล. น. 183-186.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2549). สุญญากาศ. ค้นเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2556. จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0846/vacuum%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8>.
- ประภาพร แก้วสุกใส. (2549). การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2555). ประมวลสถิติสำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2555. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. ค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2555 จาก http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/download/files/Key55_T.pdf
- วันชัย วีจิรวนิช และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกั้วาน. (2540). การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและงบประมาณ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชา ชาครพิพัฒน์. (2550). พลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอย. ค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2555 จาก <http://www.mea.or.th/internet/hdd/Vitcha.pdf>

- สุวรรณ ปทุมสวัสดิ์. (2555). **รู้ทันพลังงาน**. ภายใต้ความร่วมมือกับบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่อง คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2555 จาก <http://www.thaienv.com/content/view/350/39/>.
- ศิพร เมธาคุปต์. (2546). **ผลของวิธีและสภาวะการอบแห้งต่อจลนศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของมะขามป้อมเกล็ด**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิศวกรรมอาหาร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. สำนักหอสมุด.
- ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล. (2552). **โครงการบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร(ระดับชุมชน) : ชุมชนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. จังหวัดนครราชสีมา.
- ศูนย์วิจัยและจัดการคุณภาพอากาศ. (2554). **การทบทวนวรรณกรรม การเผาขยะชุมชนในที่โล่งแจ้งและการจัดการ**. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อดิเทพ วรรณจรยา. (2553). **การอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. สำนักหอสมุด.
- อารีย์ ถัดดาชยพร และคณะ. (2541). **โครงการรณรงค์ คัดแยกขยะในชุมชนและสำนักงานในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่**. วารสารอนามัยและสิ่งแวดล้อม. น. 3-14. ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม – กันยายน.
- Adani, F., Baido, D., calaterra, E. and Genevini, P. (2002). The influence of Biomass Temperature on Biostabilization-Biodrying of Municipal Solid Waste. **Bioresource Technology**. Vol. 83. No. 3. pp. 173-179.
- Bannwarth, H. (2005). **Liquid Ring Vacuum Pumps, Compressors and Systems**. Weley.VCH Veslag GmbH & co. KgaA, weinheim. ISBN : 3-527-31249-8.
- Carolina Armijo de Vega, Sara Ojeda-Benitez and Ma. Elizabeth Ramirez-Barreto. (2003). Mexican educational institutions and waste Management programmes a Universitcase study. **Resources of Conservation and Recycling**. Vol. 39. Issue 3. October. pp. 283-296.
- Cary, D. (2010). Calculating NPV and IRR with sub-annual and seasonal cash flow patterns. **Journal of American Academy of Business**. Vol. 16. Issue 1. December.
- Chalita Suwan. (2010). **Workshop on “Sustainability of Solid Waste Management in Thailand”**. King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok. October 11.

- Chen, Z., and Lamb, F. M. (1995). The concept of boiling front in vacuum drying. **Vacuum Drying of Wood '95**. Slovakia. p110-116.
- Chaya, W. and Gheewala, S.H. (2007). Life cycle assessment of MSW-to-energy scheme in thailand. **Journal of cleaner Production**, 15, p.1463-1468.
- Daniel Katzman, Jessica Moreno, Jason Noelanders, and Mark Winston-Galant Stewards: Jeff Byrd, Khek Ping Chia, John Cruz, Natalie Duchene and Samantha Lyu. (2007). **ValveTypesSelection**. ค้นเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2556 จาก <https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/ValveTypesSelection>
- Dongqing, Z., Pinjing, H., Liming, S., Taifeng, J., Jingyao, H. (2008). Biodrying of Municipal Solid Waste with High Water Content by Combined Hydrolytic - Aerobic Technology. **Bioresource Technology**. Vol. 20. pp. 1534-1540.
- Drozias E., Schubert H. (1996). "Microwave application in vacuum drying of fruits". **Journal of Food Engineering**, 39 203 – 209.
- EngineeringToolBox. (2001). **Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications**. ค้นเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2556 จาก http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-point-water-d_926.html
- EngineeringToolBox. (2001). **Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications**. ค้นเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2556 จาก http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-point-water-d_926.html
- European Commission-Directorate General Environment. (2003). "**Refuse Derived Fuel, Current Practise and Perspectives**". (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) WRc Ref: CO5087-4, Final report.
- Geankoplis, C. J. (1993). **Transport Processes and Unit Operations**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Jaya, S., & Das, H. (2003). A vacuum drying model for mango pulp. **Drying Technology**. 21(7), 1215-1234.
- Jena, S. and Das, H. (2007). Modeling for vacuum drying characteristics coconut presscake. **Journal of Food Engineering**. 79: 92-99.
- Kreyszig, E. (1993). **Advance Engineering Mathematics**. John Wiley. 7th ed.
- Kaosol. (2009). **Sustainable solutions for municipal solid waste management in Thailand**. World Academy of Science, Engineering and Technology 60. p.665 - 670.

- Liu, C. K., Liu, L.S., Latona, P., Neil M., Goldberg, N. and Cooke, P. H. (2009). **Composite drying with simultaneous vacuum and toggling**. JALCA 104, 131-138.
- Nasiman Sapari, Amilia Mohd Alwi, Syazana Mustapha and Asma Farah Ismail. (2011). **Energy in Solid Wastes from Universiti Teknologi PETRONAS Campus**. Civil Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, 31750 Tronoh. Perak. Malaysia.
- Rizvi, Syed. S. H. (1995). Thermodynamic properties of foods in dehydration. **Engineering Properties of foods**. Marcel Dekker : New York. pp. 223-309.
- Simkins G. and Noian A. (2004). **Environmental Management Systems in University**. Occational Paper for the Environmental Association for Universities and colleges. March Stp 1-16.
- Stanish, M. A., Schajer, G. S. and Kayihan, F. (1986). **A mathematical model of drying for hygroscopic porous media**. AIChE J. 32(8):1301-1311.
- Sugni, M., Calcaterra, E. and Adani, F. (2005). Biostabilization-Biodrying of municipal Solid Waste by Inverting Air-Flow. **Bioresource Technology**. Vol. 96. No. 12. pp. 1331-1337.
- Taniguchi, Y., and Nishio, S. (1991). **High frequency power vacuum drying of wood**. IV. Comparison of physical and mechanical properties of lumber dried by several drying methods. J. Japanese Wood Res. Soc. 37(5):405-414.
- Thorn, J. (2001). **Seasonal variations in exposure to microbial cell wall components among household waste collectors [abstract]**. Ann Occup Hyg 45:153-6.
- Wadsworth, J. I., L. Velupillai and L. R. Verma. 1990. Microwave-Vacuum drying of parboiled rice. **Transactions in Agriculture**, 33(1): 199-210.
- Zhangjing, C. and Lamb, F.M. (2007). Analysis of the vacuum drying rate for red oak in a hot warter vacuum drying system. **Drying Technology**, 25:497 – 500.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์การทดลอง

FRENIC-Mini Series

FRENIC



Mini

FUJI INVERTERS

GREAT PERFORMANCE IN A COMPACT PACKAGE
WELCOME TO THE NEW GENERATION
OF MICRO INVERTERS

FRENIC-Mini Series Concepts



Actual size

Ideal functions to meet various needs

New, compact design

Simple operation

Flexible through optionals

A broad range of model variations

Global products



Fuji Electric is the world's top market share manufacturer* of general-purpose inverters in the 4.0kW class or below.

Based on our experience and customer's needs, we have now integrated our advanced designs and industry-leading technologies to develop a new inverter series, called FRENIC-Mini.

The FRENIC-Mini features a full range of functions, compact body, simple operation, wide model variations, and global compatibility. It will meet your needs for higher performance in machines and equipment such as conveyors, fans, pumps, centrifugal separators and food processing machines, as well as the needs for system integration, energy saving, labor saving, and total cost reduction.

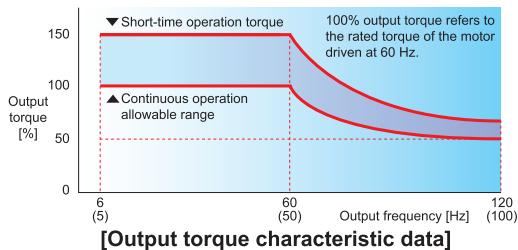
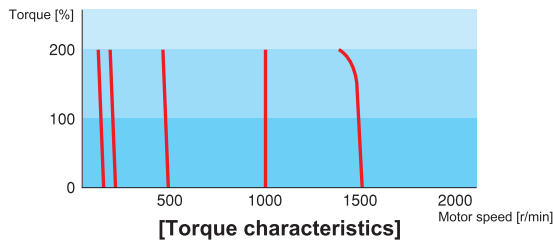
*Quoted from "Low Power AC Drive Worldwide Outlook" (2001) published by ARC(USA)



Optimum performance for traversing conveyors

High starting torque, at 150% or more

Equipped with Fuji's original simplified torque-vector control system and the automatic torque boost function, the inverter provides consistent powerful operation (when automatic torque boost is ON, slip compensation control is ON, and when running at 5Hz or more).



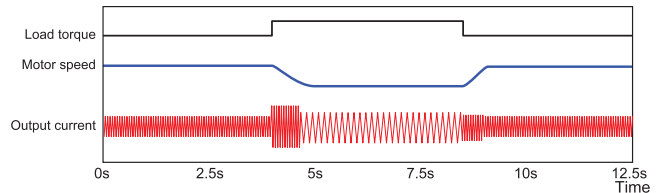
*The above graph shows an example of torque characteristics obtained when FRENIC-Mini is combined one-to-one with Fuji's standard three-phase motor (8-type series: 4 poles).

Braking resistor connectable to the inverter

Owing to a built-in braking transistor (0.4kW or larger), an optional braking resistor can be connected to increase the regenerative braking capacity for conveyance and transportation machinery that require large braking power. For inverters of 1.5kW or larger, it is possible to select the model that incorporates a braking resistor.

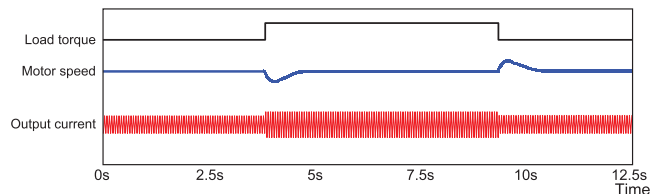
Trip-free operation

The remarkably improved current limiting function (stall prevention) allows trip-free operation even for an impact load.



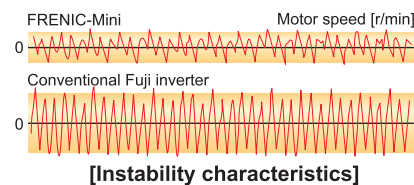
Stable operation even for a step load

The slip compensation function permits stable operation even when the motor load fluctuates (step load).



Reduced motor instability at low speed

Fuji's unique control method improves voltage control performance and reduces motor instability at low speed to about a half or less (at 1Hz) compared with that of conventional inverters.



The highly used functions for fans and pumps

Automatic energy-saving provided as a standard function

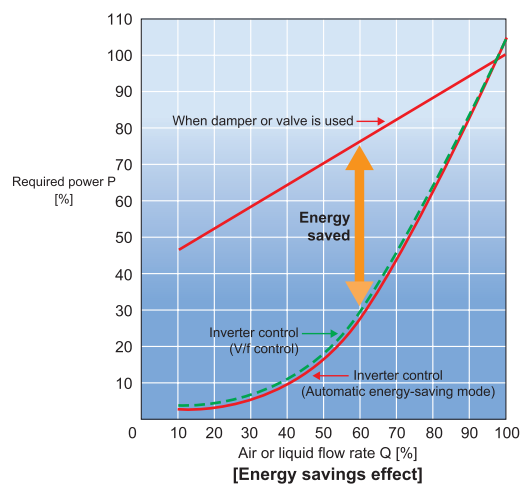
By controlling the motor loss to a minimum, FRENIC-Mini further saves electric power when applied to fans or pumps.
*Energy saving rate varies with the motor characteristics.

PID control function

Permits motor operation while controlling temperature, pressure, or flow rate without using an external device such as temperature controller.

Cooling fan ON/OFF control function

The inverter's cooling fan can be turned off while the fan or pump is stopped for noise reduction and energy savings.



*Energy savings rate varies with the motor characteristics.



Safety Precautions

1. The contents of this catalog are provided to help you select the product model that is best for you. Before actual use, be sure to read the Instruction Manual/User's Manual thoroughly to assure correct operation.
2. This product is not designed and manufactured for use in machines or systems which human life is dependent upon. If you are studying use of the products in this brochure for special purposes such as for control of nuclear power stations, in sea, air or space craft, in medical or land transportation equipment, or any related systems, please contact the business office of Fuji Electric. If these products are to be used in any equipment in which there is a risk to human life or the possibility of a major loss in the event of failure, be sure to install the appropriate safety equipment.



The ideal functions to serve a multiplicity of needs for small-capacity inverters

Compatible with a wide range of frequency settings

The optimum frequency setting method can be selected to match your machine or equipment. Setting can be done by keypad panel (●● keys, potentiometer), analog input (4 to 20mA, 0 to +10V, 0 to 5V, 1 to 5V), multistep speed settings (8 steps) etc.

A transistor output is provided.

This enables an overload early warning, lifetime forecast or other information signals to be output during operation.

The output frequency can be set to a maximum of 400Hz.

The inverter can be used for equipment that requires a high motor speed such as centrifugal separator. In this case, check the operation in combination with the motor.

Two points can be set for a non-linear V/f pattern.

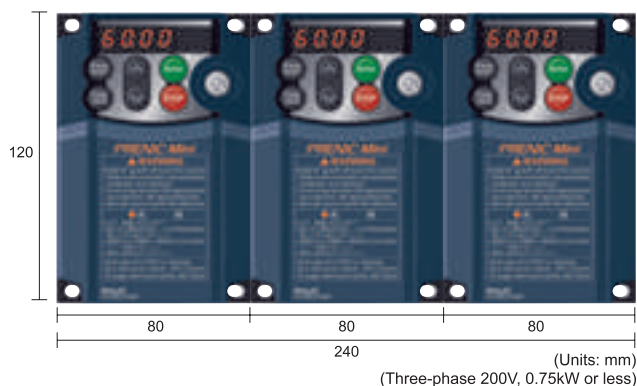
One point for the non-linear V/f pattern, which can be set as desired, has been added (making a total of 2 points), and so the V/f pattern can be adjusted to match the application.



Compact

Side-by-side mounting is possible.

Multiple inverter units can be mounted side-by-side inside a panel. This feature helps to minimize the space used for installation. (Ambient temperature: 40°C or less)



Size interchangeability with Fuji's FVR-C11S series is provided.



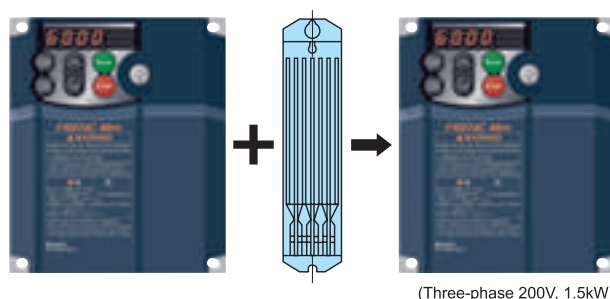
RS485 communications card (option) can be installed internally.

This card can be installed inside the inverter's body without changing the dimensions. RS-485 communications are available as option.



A model with built-in braking resistor is available on order.

For inverters of 1.5kW or larger, a built-in braking resistor type can be selected. Since installation and wiring of a separate braking resistor is not required, the total mounting space is reduced.



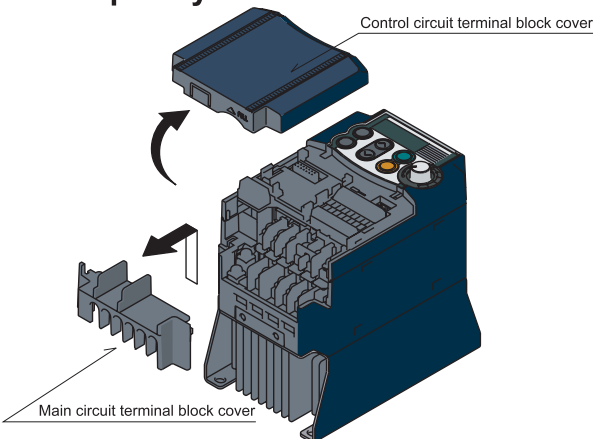


Simple operation and wiring

Frequency setting potentiometer is standard equipment.

The frequency can be adjusted easily by hand.

The control circuit terminal block cover and main circuit terminal block cover can be quickly removed.



All types of data can be displayed on the keypad.

The output frequency, set frequency, load shaft speed, output current, output voltage, alarm history, input power etc. can be displayed.



A menu mode is included in the keypad.

The menu items include the "function menu" for checking or changing function codes, "operation monitor", "I/O check", "maintenance info." and "alarm info." See the FRENIC-Mini User's Manual for details.



Maintenance

The lifetime of the DC bus capacitor can be estimated.

The capacitor's condition compared with its initial state can be confirmed.

A long-life cooling fan is included.

Use of a long-life cooling fan (design life: 7 years with an ambient temperature: 40°C) reduces maintenance work.

Cumulative running time is recorded and displayed.

The inverter records and displays the cumulative running time (lifetime) of the inverter itself, PCB, and cooling fan.

The alarm history for the 4 latest alarms is recorded.

Detailed information from back as far as the 4 latest alarms can also be checked.

It is possible to output lifetime forecast signal to the transistor output.

This signal is output when the capacitors in the DC bus circuit, the electrolytic capacitors on the PCB or the cooling fans are nearing the end of their service life.



Interface for peripheral devices and comprehensive protective functions

All models are equipped with an inrush current suppression circuit.

An inrush current suppression circuit is provided as standard in all models, so the cost of peripheral devices such as input magnetic contactors can be reduced.

A DC reactor (DCR) connection terminal is provided as standard.

A terminal for connection of a DCR, necessary for suppressing harmonics, is provided in all models.

Input/output phase loss protective function

It is possible to detect output phase loss at all times during starting and operation.

Sink/Source can be switched.

The input/output mode (Sink/Source) of the digital input terminals can be switched by means of an internal jumper switch.

The motor can be protected by a PTC thermistor.

In addition to the protection by an electronic thermal relay, the motor is protected by a PTC thermistor input.



Flexible through optionals

Function code copy function

The optional remote keypad panel includes a built-in copy function, so function codes can be set easily in duplicate units.

Inverter support loader software is available.

The inverter support loader program (Windows based), which simplifies setting of function codes, is provided.

The optional RS-485 communications card, remote keypad and remote operation extension cable are necessary.

Mounting on DIN rail

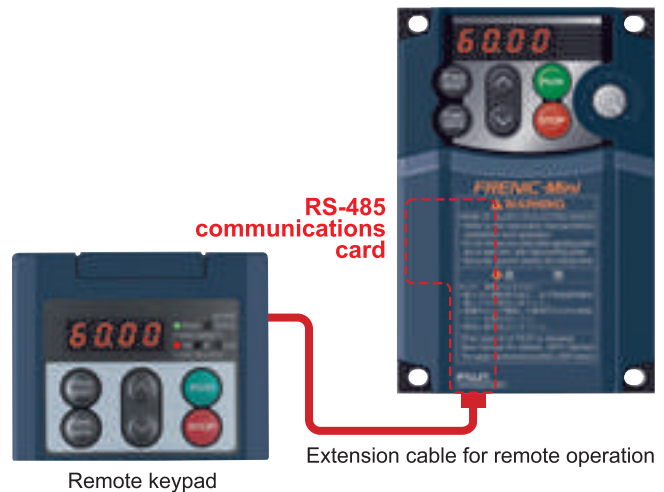
Using the rail mounting base (option), the inverter can be easily mounted on a DIN rail (35mm wide).

Replacement of older models with new ones is simple.

The latest models can be mounted without drilling additional holes by use of the mounting adapter (option).

Remote operation is possible.

Remote operation can be done easily using the optional RS-485 communications card, remote keypad and remote operation extension cable.



Wide variations

- A 400V series, in addition to the 200V series (Three-phase, single-phase), is available.
- Models with EMC filter built-in, with braking resistor built-in and with RS-485 communications-compliant are also available on order.
*The RS-485 communications is applicable on the standard model with using the RS-485 communications card (optional accessory).
- Type1 (NEMA1) conformed model is available by attaching optional parts.



Global products

All standard models comply with the EC Directive (CE marking), UL standards and Canadian standards (cUL certification).

All standard FRENIC-Mini inverters comply with European and North American/Canadian standards, enabling standardization of the specifications for machines and equipment used at home and abroad.

If the model with built-in EMC filter is used, the model conforms to the European EMC Directive.

Europe
EC Directives (CE making), TÜV



North America/Canada
UL standard (cUL certification)



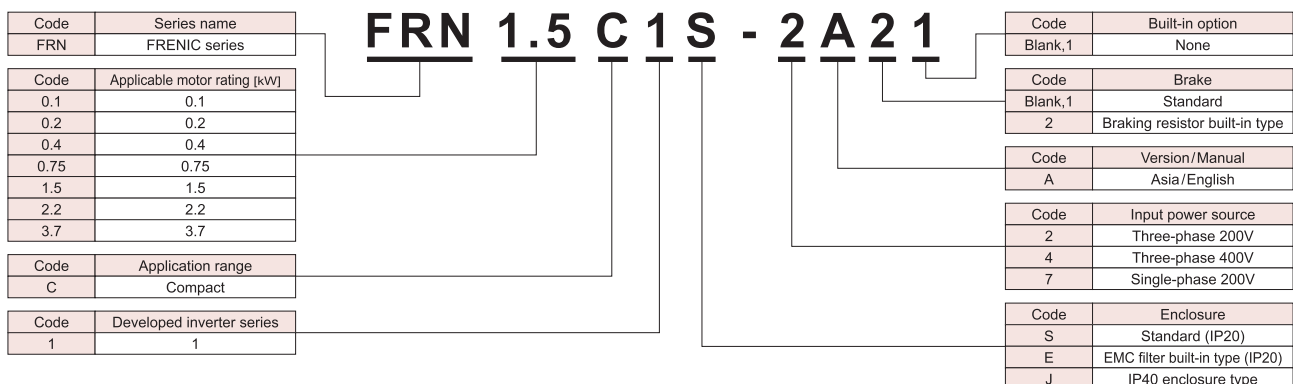
In addition to the three-phase 200V and single-phase 200V, three-phase 400V series has been newly introduced, broadening the model selection range. Model variations include EMC filter built-in type and braking resistor built-in type on order.

Applicable motor rating	Three-phase 200V series	Three-phase 400V series	Single-phase 200V series
Standard specifications			
0.1	FRN0.1C1S-2A		FRN0.1C1S-7A
0.2	FRN0.2C1S-2A		FRN0.2C1S-7A
0.4	FRN0.4C1S-2A	FRN0.4C1S-4A	FRN0.4C1S-7A
0.75	FRN0.75C1S-2A	FRN0.75C1S-4A	FRN0.75C1S-7A
1.5	FRN1.5C1S-2A	FRN1.5C1S-4A	FRN1.5C1S-7A
2.2	FRN2.2C1S-2A	FRN2.2C1S-4A	FRN2.2C1S-7A
3.7	FRN3.7C1S-2A	FRN3.7C1S-4A	
Semi-standard specifications			
EMC filter built-in type (On order)			
0.1	FRN0.1C1E-2A		FRN0.1C1E-7A
0.2	FRN0.2C1E-2A		FRN0.2C1E-7A
0.4	FRN0.4C1E-2A	FRN0.4C1E-4A	FRN0.4C1E-7A
0.75	FRN0.75C1E-2A	FRN0.75C1E-4A	FRN0.75C1E-7A
1.5	FRN1.5C1E-2A	FRN1.5C1E-4A	FRN1.5C1E-7A
2.2	FRN2.2C1E-2A	FRN2.2C1E-4A	FRN2.2C1E-7A
3.7	FRN3.7C1E-2A	FRN3.7C1E-4A	
Braking resistor built-in type (On order)			
1.5	FRN1.5C1S-2A21	FRN1.5C1S-4A21	
2.2	FRN2.2C1S-2A21	FRN2.2C1S-4A21	
3.7	FRN3.7C1S-2A21	FRN3.7C1S-4A21	
IP40 enclosure type			
0.1	FRN0.1C1J-2A		
0.2	FRN0.2C1J-2A		
0.4	FRN0.4C1J-2A	FRN0.4C1J-4A	
0.75	FRN0.75C1J-2A	FRN0.75C1J-4A	
1.5	FRN1.5C1J-2A	FRN1.5C1J-4A	
2.2	FRN2.2C1J-2A	FRN2.2C1J-4A	
3.7	FRN3.7C1J-2A	FRN3.7C1J-4A	

Type1(NEMA1)conformed model is available by attaching optional parts.

How to read the model number

The Compact Inverter **FRENIC-Mini**



Note) If "Built-in option" is "None" and "Brake" is "Standard", the model numbers are indicated in the same format as those of the above standard specifications.

Standard Specifications

Standard specifications

The Compact Inverter **FRENIC-Mini**

Three-phase series

Item		Specifications																
Input power source		Three-phase 200V							Three-phase 400V									
Type (FRN□□□C1S-□A)		FRN0.1 C1S-2A	FRN0.2 C1S-2A	FRN0.4 C1S-2A	FRN0.75 C1S-2A	FRN1.5 C1S-2A	FRN2.2 C1S-2A	FRN3.7 C1S-2A	FRN0.4 C1S-4A	FRN0.75 C1S-4A	FRN1.5 C1S-4A	FRN2.2 C1S-4A	FRN3.7 C1S-4A					
Applicable motor rating *1)		kW		0.1	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7			
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA		0.3	0.57	1.1	1.9	3.0	4.2	6.5	1.1	1.9	2.8	4.1	6.8			
	Rated voltage *3)	V		Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz							Three-phase, 380, 400, 415V/50Hz, 380, 400, 440, 460V/60Hz							
	Rated current *4)	A		0.8 (0.7)	1.5 (1.4)	3.0 (2.5)	5.0 (4.2)	8.0 (7.0)	11.0 (10.0)	17.0 (16.5)	1.5	2.5	3.7	5.5	9.0			
	Overload capability	150% of rated current for 1min, 200% of rated current for 0.5s																
	Rated frequency	50, 60Hz																
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Three-phase, 200 to 240V, 50/60Hz							Three-phase, 380 to 480V, 50/60Hz								
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -15% (Voltage unbalance *10) : 2% or less							Frequency: +5 to -5%								
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.							When the input voltage is 300V or more, the inverter continues operation. If it drops below 300V, the inverter operates for 15ms.								
	Rated current *6)	A	(with DCR)	0.57	0.93	1.6	3.0	5.7	8.3	14.0	0.85	1.6	3.0	4.4	7.3			
		(without DCR)	1.1	1.8	3.1	5.3	9.5	13.2	22.2	1.7	3.1	5.9	8.2	13.0				
Required power supply capacity *7)		kVA		0.2	0.3	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9			
Braking	Torque *8)		%		150		100		50		30		100		50		30	
	Torque *9)		%		—		150		150									
	DC injection braking		Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz Braking time: 0.0 to 30.0s Braking level: 0 to 100% of rated current															
Enclosure (IEC 60529)		IP20, UL open type *11)																
Cooling method		Natural cooling							Fan cooling			Natural cooling		Fan cooling				
Weight / Mass		kg		0.6	0.6	0.6	0.7	1.7	1.7	2.3	1.1	1.2	1.7	1.7	2.3			

Single-phase series

Item		Specifications										
Input power source		Single-phase 200V										
Type (FRN□□□C1S-7A)		FRN0.1 C1S-7A	FRN0.2 C1S-7A	FRN0.4 C1S-7A	FRN0.75 C1S-7A	FRN1.5 C1S-7A	FRN2.2 C1S-7A					
Applicable motor rating *1)		kW		0.1	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2			
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA		0.3	0.57	1.1	1.9	3.0	4.1			
	Rated voltage *3)	V		Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz								
	Rated current *4)	A		0.8 (0.7)	1.5 (1.4)	3.0 (2.5)	5.0 (4.2)	8.0 (7.0)	11.0 (10.0)			
	Overload capability	150% of rated current for 1 min, 200% of rated current for 0.5s										
	Rated frequency	50, 60Hz										
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Single-phase, 200 to 240V, 50/60Hz									
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -10% Frequency: +5 to -5%									
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.									
	Rated current *6)	A	(with DCR)	1.1	2.0	3.5	6.4	11.6	17.5			
		(without DCR)	1.8	3.3	5.4	9.7	16.4	24.8				
Required power supply capacity *7)		kVA		0.3	0.4	0.7	1.3	2.4	3.5			
Braking	Torque *8)		%		150		100		50		30	
	Torque *9)		%		—		150					
	DC injection braking		Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz Braking time: 0.0 to 30.0s Braking level: 0 to 100% of rated current									
Enclosure (IEC 60529)		IP20, UL open type *11)										
Cooling method		Natural cooling						Fan cooling				
Weight / Mass		kg		0.6	0.6	0.6	0.8	1.7	2.3			

*1) Fuji's 4-pole standard motor

*2) Rated capacity is calculated by regarding the output rated voltage as 220V for three-phase 200V and single-phase 200V series, and as 440V for three-phase 400V series.

*3) Output voltage cannot exceed the power supply voltage.

*4) Use the inverter at the current given in () or below when the carrier frequency setting is higher than 4kHz (F26:4 to 5) or the ambient temperature is 40°C or higher.

*5) Tested under the standard load condition (85% load for nominal applied motor).

*6) Calculated under Fuji-specified conditions.

*7) Obtained when a DC REACTOR (option) is used.

*8) Average braking torque obtained with AVR control OFF (Varies with the efficiency of the motor.)

*9) Average braking torque obtained by use of external braking resistor (standard type available as option)

*10) Voltage unbalance [%] = $\frac{\text{Max voltage [V]} - \text{Min voltage [V]}}{\text{Three-phase average voltage [V]}} \times 67$ (IEC 61800-3 (5.2.3))

If this value is 2 to 3%, use AC REACTOR (ACR).

*11) NEMA1 kit (option) is required for the enclosure conforming to the UL standard TYPE1 (NEMA1). Use the inverter in the ambient temperature range from -10 to +40°C.

EMC filter built-in type

The Compact Inverter FRENIC-Mini

Three-phase series

Item		Specifications																
Input power source		Three-phase 200V						Three-phase 400V										
Type (FRN□□□C1E-□A)		FRN0.1 C1E-2A	FRN0.2 C1E-2A	FRN0.4 C1E-2A	FRN0.75 C1E-2A	FRN1.5 C1E-2A	FRN2.2 C1E-2A	FRN3.7 C1E-2A	FRN0.4 C1E-4A	FRN0.75 C1E-4A	FRN1.5 C1E-4A	FRN2.2 C1E-4A	FRN3.7 C1E-4A					
Applicable motor rating *1)		kW		0.1	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7			
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA		0.3	0.57	1.1	1.9	3.0	4.2	6.5	1.1	1.9	2.8	4.1	6.8			
	Rated voltage *3)	V		Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz						Three-phase, 380, 400, 415V/50Hz, 380, 400, 440, 460V/60Hz								
	Rated current *4)	A		0.8 (0.7)	1.5 (1.4)	3.0 (2.5)	5.0 (4.2)	8.0 (7.0)	11.0 (10.0)	17.0 (16.5)	1.5	2.5	3.7	5.5	9.0			
	Overload capability	150% of rated current for 1min, 200% of rated current for 0.5s																
	Rated frequency	50, 60Hz																
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Three-phase, 200 to 240V, 50/60Hz						Three-phase, 380 to 480V, 50/60Hz									
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -15% (Voltage unbalance *10) : 2% or less						Frequency: +5 to -5%									
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.						When the input voltage is 300V or more, the inverter continues operation. If it drops below 300V, the inverter operates for 15ms.									
	Rated current *6)	A	(with DCR)	0.57	0.93	1.6	3.0	5.7	8.3	14.0	0.85	1.6	3.0	4.4	7.3			
			(without DCR)	1.1	1.8	3.1	5.3	9.5	13.2	22.2	1.7	3.1	5.9	8.2	13.0			
Required power supply capacity *7)		kVA		0.2	0.3	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9			
Braking	Torque *8)		%		150		100		50		30		100		50		30	
	Torque *9)		%		—		150		150									
	DC injection braking		Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz Braking time: 0.0 to 30.0s Braking level: 0 to 100% of rated current															
Enclosure (IEC 60529)		IP20, UL open type *11)																
Cooling method		Natural cooling						Fan cooling			Natural cooling			Fan cooling				
Weight / Mass		kg		0.7	0.7	0.7	0.8	2.4	2.4	2.9	1.5	1.6	2.5	2.5	3.0			

Single-phase series

Item		Specifications													
Input power source		Single-phase 200V													
Type (FRN□□□C1E-7A)		FRN0.1 C1E-7A		FRN0.2 C1E-7A		FRN0.4 C1E-7A		FRN0.75 C1E-7A		FRN1.5 C1E-7A		FRN2.2 C1E-7A			
Applicable motor rating *1)		kW		0.1		0.2		0.4		0.75		1.5		2.2	
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA		0.3		0.57		1.1		1.9		3.0		4.1	
	Rated voltage *3)	Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz													
	Rated current *4)	A		0.8 (0.7)		1.5 (1.4)		3.0 (2.5)		5.0 (4.2)		8.0 (7.0)		11.0 (10.0)	
	Overload capability	150% of rated current for 1min, 200% of rated current for 0.5s													
	Rated frequency	50, 60Hz													
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Single-phase, 200 to 240V, 50/60Hz												
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -10%, Frequency: +5 to -5%												
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.												
	Rated current *6)	A	(with DCR)	1.1		2.0		3.5		6.4		11.6		17.5	
			(without DCR)	1.8		3.3		5.4		9.7		16.4		24.8	
Required power supply capacity *7)		kVA		0.3		0.4		0.7		1.3		2.4		3.5	
Braking	Torque *8)		%		150		100		50		30				
	Torque *9)		%		—		150								
	DC injection braking		Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz Braking time: 0.0 to 30.0s Braking level: 0 to 100% of rated current												
Enclosure (IEC 60529)		IP20, UL open type *11)													
Cooling method		Natural cooling						Fan cooling							
Weight / Mass		kg		0.7		0.7		0.7		1.2		2.4		2.9	

*1) Fuji's 4-pole standard motor

*2) Rated capacity is calculated by regarding the output rated voltage as 220V for three-phase 200V and single-phase 200V series, and as 440V for three-phase 400V series.

*3) Output voltage cannot exceed the power supply voltage.

*4) Use the inverter at the current given in () or below when the carrier frequency setting is higher than 4kHz (F25:4 to 5) or the ambient temperature is 40°C or higher.

*5) Tested under the standard load condition (85% load for nominal applied motor).

*6) Calculated under Fuji-specified conditions.

*7) Obtained when a DC REACTOR (option) is used.

*8) Average braking torque obtained with AVR control OFF (Varies with the efficiency of the motor.)

*9) Average braking torque obtained by use of external braking resistor (standard type available as option)

*10) Voltage unbalance [%] = $\frac{\text{Max voltage [V]} - \text{Min voltage [V]}}{\text{Three-phase average voltage [V]}} \times 67$ (IEC 61800-3 (5.2.3))

If this value is 2 to 3%, use AC REACTOR (ACR).

*11) NEMA1 kit (option) is required for the enclosure conforming to the UL standard TYPE1 (NEMA1).

Use the inverter in the ambient temperature range from -10 to +40°C.

Semi-standard Specifications

Braking resistor built-in type

The Compact Inverter **FRENIC-Mini**

Item		Specifications							
Input power source		Three-phase 200V			Three-phase 400V				
Type (FRN□□□C1S-□A21)		FRN1.5 C1S-2J21	FRN2.2 C1S-2J21	FRN3.7 C1S-2J21	FRN1.5 C1S-4J21	FRN2.2 C1S-4J21	FRN3.7 C1S-4J21		
Applicable motor rating *1)		kW	1.5	2.2	3.7	1.5	2.2	3.7	
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA	3.0	4.2	6.5	2.8	4.1	6.8	
	Rated voltage *3)	V	Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz			Three-phase, 380, 400, 415V/50Hz, 380, 400, 440, 460V/60Hz			
	Rated current *4)	A	8.0 (7.0)	11.0 (10.0)	17.0 (16.5)	3.7	5.5	9.0	
	Overload capability		150% of rated current for 1min, 200% of rated current for 0.5s						
Rated frequency			50, 60Hz						
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Three-phase, 200 to 240V, 50/60Hz			Three-phase, 380 to 480V, 50/60Hz			
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -15% (Voltage unbalance *10) : 2% or less)			Frequency: +5 to -5%			
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.			When the input voltage is 300V or more, the inverter continues operation. If it drops below 300V, the inverter operates for 15ms.			
	Rated current *6)	(with DCR)	A	5.7	8.3	14.0	3.0	4.4	7.3
(without DCR)		A	9.5	13.2	22.2	5.9	8.2	13.0	
Required power supply capacity *7)		kVA	2.0	2.9	4.9	2.0	2.9	4.9	
Braking	Torque *8)		%	150	100	100	150	100	100
	Braking time		s	18	12	8	18	12	8
	Duty cycle		%	3	2	1.5	3	2	1.5
	DC injection braking			Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz		Braking time: 0.0 to 30.0s		Braking level: 0 to 100% of rated current	
Enclosure (IEC 60529)			IP20, UL open type *11)						
Cooling method			Fan cooling						
Weight / Mass		kg	1.8	1.8	2.5	1.8	1.8	2.5	

IP40 enclosure type

The Compact Inverter **FRENIC-Mini**

Item		Specifications															
Input power source		Three-phase 200V						Three-phase 400V									
Type (FRN□□□C1J-□A)		FRN0.1 C1J-2A	FRN0.2 C1J-2A	FRN0.4 C1J-2A	FRN0.75 C1J-2A	FRN1.5 C1J-2A	FRN2.2 C1J-2A	FRN3.7 C1J-2A	FRN0.4 C1J-2A	FRN0.75 C1J-2A	FRN1.5 C1J-2A	FRN2.2 C1J-2A	FRN3.7 C1J-2A				
Applicable motor rating *1)		kW	0.1	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7			
Output ratings	Rated capacity *2)	kVA	0.30	0.57	1.1	1.9	3.0	4.2	6.5	1.1	1.9	2.8	4.1	6.8			
	Rated voltage *3)	V	Three-phase, 200V/50Hz, 200, 220, 230V/60Hz						Three-phase, 380, 400, 415V/50Hz, 380, 400, 440, 460V/60Hz								
	Rated current	A	High carrier (4-15kHz)	0.7	1.4	2.5	4.2	7.0	10.0	16.5	1.5	2.5	3.7	5.5	9.0		
			Low carrier (-3kHz)	0.8	1.5	3.0	5.0	8.0	11.0	17.0							
Overload capability			150% of rated current for 1min, 200% of rated current for 0.5s														
Rated frequency			50, 60Hz														
Input ratings	Phases, voltage, frequency		Three-phase, 200 to 240V, 50/60Hz						Three-phase, 380 to 480V, 50/60Hz								
	Voltage/frequency variations		Voltage: +10 to -15% (Voltage unbalance : 2% or less *10)						Frequency: +5 to -5%								
	Momentary voltage dip capability *5)		When the input voltage is 165V or more, the inverter continues operation. If it drops below 165V, the inverter operates for 15ms.						When the input voltage is 300V or more, the inverter continues operation. If it drops below 300V, the inverter operates for 15ms.								
	Rated input current *6)	(with DCR)	A	0.57	0.93	1.6	3.0	5.7	8.3	14.0	0.85	1.6	3.0	4.4	7.3		
(without DCR)		A	1.1	1.8	3.1	5.3	9.5	13.2	22.2	1.7	3.1	5.9	8.2	13.0			
Required power supply capacity *7)		kVA	0.2	0.3	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9	0.6	1.1	2.0	2.9	4.9			
Braking	Torque *8)		%	150		100		50		30		100		50		30	
	Torque *9)		%	—		150		150									
	DC injection braking		%	Starting frequency: 0.0 to 60.0Hz		Braking time: 0.0 to 30.0s		Braking level: 0 to 100% of rated current									
Applicable safety standards			UL508C, C22.No.14, EN50178:1997 or equivalent														
Enclosure (IEC 60529)			IP 40														
Cooling method			Natural cooling				Fan cooling			Natural cooling		Fan cooling					
Weight / Mass		kg	0.7	0.7	0.7	0.8	1.8	1.8	2.4	1.2	1.3	1.8	1.8	2.4			

*1) When adapting the Fuji's 4-pole standard motor

*2) Rated capacity is calculated by regarding the output rated voltage as 220V for three-phase 200V series, and as 440V for three-phase 400V series.

*3) Output voltage cannot exceed the power supply voltage.

*4) Use the inverter at the current given in () or below when the carrier frequency setting is higher than 4kHz (F26: 10:5) or the ambient temperature is 40°C or higher.

*5) Calculated under the standard overload conditions by JEMA committee (about 85% of overload by the standard applicable motor.)

*6) Calculated under Fuji-specified conditions.

*7) Obtained when a DC reactor (DCR) is used.

*8) Average braking torque obtained with AVR control OFF (Varies with the efficiency of the motor.)

*9) Average braking torque obtained by use of external braking resistor (optional)

*10) Voltage unbalance [%] = $\frac{\text{Max voltage [V]} - \text{Min voltage [V]}}{\text{Three-phase average voltage [V]}} \times 67$ (Refer to IEC 61800-3.)

If this value is 2 to 3%, use AC reactor (option).

*11) NEMA1 kit (option) is required for the enclosure conforming to the UL standard TYPE1 (NEMA1). Use the inverter in the ambient temperature range from -10 to +40°C.

ATV312H037M2

variable speed drive ATV312 - 0.37kW - 1kVA - 41 W - 200..240 V - 1-phase supply



Main

Range of product	Altivar 312
Product or component type	Variable speed drive
Product destination	Asynchronous motors
Product specific application	Simple machine
Assembly style	With heat sink
Component name	ATV312
Motor power kW	0.37 kW
Motor power hp	0.5 hp
[Us] rated supply voltage	200...240 V (- 5...5 %)
Supply frequency	50...60 Hz (- 5...5 %)
Network number of phases	Single phase
Line current	4.4 A for 240 V 5.3 A for 200 V, 1 kA
EMC filter	Integrated
Apparent power	1 kVA
Maximum transient current	5 A for 60 s
Power dissipation in W	41 W at nominal load
Speed range	1...50
Asynchronous motor control profile	Factory set : constant torque Sensorless flux vector control with PWM type motor control signal
Electrical connection	AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6 terminal 2.5 mm ² AWG 14 L1, L2, L3, U, V, W, PA, PB, PA/+, PC/- terminal 2.5 mm ² AWG 14
Supply	Internal supply for logic inputs at 19...30 V <= 100 A for overload and short-circuit protection Internal supply for reference potentiometer (2.2 to 10 kOhm) at 10...10.8 V <= 10 A for overload and short-circuit protection
Communication port protocol	CANopen Modbus
IP degree of protection	IP20 on upper part without cover plate IP21 on connection terminals IP31 on upper part IP41 on upper part
Option card	CANopen daisy chain communication card DeviceNet communication card Fipio communication card Modbus TCP communication card Profibus DP communication card

Complementary

Supply voltage limits	170...264 V
Network frequency limits	47.5...63 Hz
Prospective line I _{sc}	1 kA
Continuous output current	3.3 A at 4 kHz
Speed drive output frequency	0.5...500 Hz
Nominal switching frequency	4 kHz

Switching frequency	2...16 kHz adjustable
Transient overtorque	150...170 % of nominal motor torque
Braking torque	<= 150 % with braking resistor for 60 s 100 % with braking resistor continuously 150 % without braking resistor
Regulation loop	Frequency PI regulator
Motor slip compensation	Adjustable Automatic whatever the load Suppressable
Output voltage	<= power supply voltage
Tightening torque	0.6 N.m AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6 0.8 N.m L1, L2, L3, U, V, W, PA, PB, PA/+, PC/-
Insulation	Electrical between power and control
Analogue input number	3
Analogue input type	AI1 configurable voltage 0...10 V, input voltage 30 V max, impedance 30000 Ohm AI2 configurable voltage +/- 10 V, input voltage 30 V max, impedance 30000 Ohm AI3 configurable current 0...20 mA, impedance 250 Ohm
Sampling duration	AI1, AI2, AI3 8 ms for analog LI1...LI6 4 ms for discrete
Response time	AOV, AOC 8 ms for analog R1A, R1B, R1C, R2A, R2B 8 ms for discrete
Linearity error	+/- 0.2 % for output
Analogue output number	2
Analogue output type	AOC configurable current 0...20 mA, impedance 800 Ohm, resolution 8 bits AOV configurable voltage 0...10 V, impedance 470 Ohm, resolution 8 bits
Discrete input logic	LI1...LI4 logic input not wired, < 13 V (state 1) LI1...LI6 negative logic (source), > 19 V (state 0) LI1...LI6 positive logic (source), < 5 V (state 0), > 11 V (state 1)
Discrete output number	2
Discrete output type	R1A, R1B, R1C configurable relay logic 1 NO + 1 NC, electrical durability 100000 cycles R2A, R2B configurable relay logic NC, electrical durability 100000 cycles
Minimum switching current	R1-R2 10 mA at 5 V DC
Maximum switching current	R1-R2 on inductive load, 2 A at 250 V AC, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms R1-R2 on inductive load, 2 A at 30 V DC, cos phi = 0.4, L/R = 7 ms R1-R2 on resistive load, 5 A at 250 V AC, cos phi = 1, L/R = 0 ms R1-R2 on resistive load, 5 A at 30 V DC, cos phi = 1, L/R = 0 ms
Discrete input number	6
Discrete input type	LI1...LI6 programmable 24 V 0...100 mA with PLC, impedance 3500 Ohm
Acceleration and deceleration ramps	Linear adjustable separately from 0.1 to 999.9 s S, U or customized
Braking to standstill	By DC injection
Protection type	Input phase breaks drive Line supply overvoltage and undervoltage safety circuits drive Line supply phase loss safety function, for three phases supply drive Motor phase breaks drive Overcurrent between output phases and earth (on power up only) drive Overheating protection drive Short-circuit between motor phases drive Thermal protection motor
Insulation resistance	>= 500 MOhm at 500 V DC for 1 minute
Local signalling	1 LED red for drive voltage Four 7-segment display units for CANopen bus status
Time constant	5 ms for reference change
Frequency resolution	Analog input 0.1...100 Hz Display unit 0.1 Hz
Type of connector	1 RJ45 Modbus/CANopen
Physical interface	RS485 multidrop serial link
Transmission frame	RTU
Transmission rate	10, 20, 50, 125, 250, 500 kbps or 1 Mbps CANopen 4800, 9600 or 19200 bps Modbus
Number of addresses	1...127 CANopen 1...247 Modbus

Number of drive	127 CANopen 31 Modbus
Marking	CE
Operating position	Vertical +/- 10 degree
Product weight	1.5 kg

Environment

Dielectric strength	2040 V DC between earth and power terminals 2880 V AC between control and power terminals
Electromagnetic compatibility	1.2/50 μ s - 8/20 μ s surge immunity test conforming to IEC 61000-4-5 level 3 Electrical fast transient/burst immunity test conforming to IEC 61000-4-4 level 4 Electrostatic discharge immunity test conforming to IEC 61000-4-2 level 3 Radiated radio-frequency electromagnetic field immunity test conforming to IEC 61000-4-3 level 3
Standards	IEC 61800-5-1
Product certifications	CSA C-Tick GOST NOM UL
Pollution degree	2
Protective treatment	TC
Vibration resistance	1 gn (f = 13...150 Hz) conforming to EN/IEC 60068-2-6 1.5 mm (f = 3...13 Hz) conforming to EN/IEC 60068-2-6
Shock resistance	15 gn for 11 ms conforming to EN/IEC 60068-2-27
Relative humidity	5...95 % without condensation conforming to IEC 60068-2-3 5...95 % without dripping water conforming to IEC 60068-2-3
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C
Ambient air temperature for operation	-10...50 °C without derating with protective cover on top of the drive -10...60 °C with derating factor without protective cover on top of the drive
Operating altitude	\leq 1000 m without derating \geq 1000 m with current derating 1 % per 100 m
RoHS EUR status	Compliant
RoHS EUR conformity date	0913



HO HSING



Ring Compressor

高壓環型鼓風機

迴油式真空泵浦

Rotary Vane Vacuum Pump



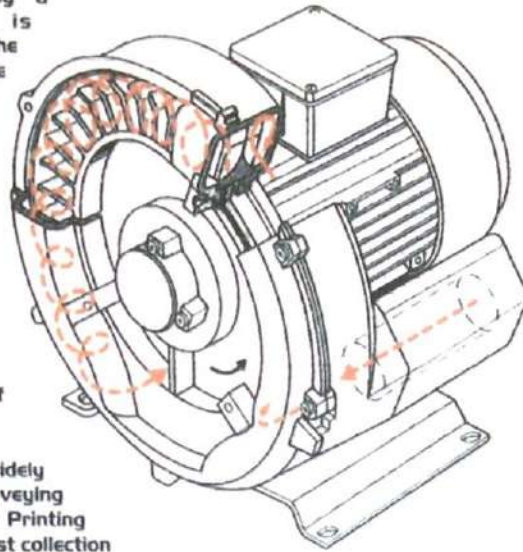
The aspirated gas flows through the compression chamber along a helical trajectory and is repeatedly accelerated by the centrifugal thrust of the impeller.

Consequently, higher pressure will be obtained at the discharge slot.

The impeller mounted directly on the motor shaft is rotating smoothly without friction and thus no lubrication is necessary.

The pressure difference of course remains steady.

The Ring Compressors are widely used on : Pneumatic conveying systems / Textile machines / Printing machines / PCB process / Dust collection / Fish ponds / SPA / Dental suction devices / Paper sorting and delivery / Lifting and holding / Packaging machines.



- Casing and impellers are made of aluminum alloy and have excellent features on mechanic strength 'durability' light weight and smooth exterior.
- RB series Ring Compressors are designed to comply with the safety requirements of IEC / UL / CSA and have attained their Type Approval.
- Meet CE Norm :
 89/336.73/23. EN60204-1.
 EN50081-2. EN50082-2.
- Degree of protection : IP54
- Insulation class : F (155 °C)
- Voltage range :
 1 Phase. 100-120 / 200-240 VOLT
 3 Phase. 200-240 / 380-440 VOLT
 3 Phase. 230-460 VOLT
- Frequency : 50 / 60 Hz
- Installation : Any aspect.

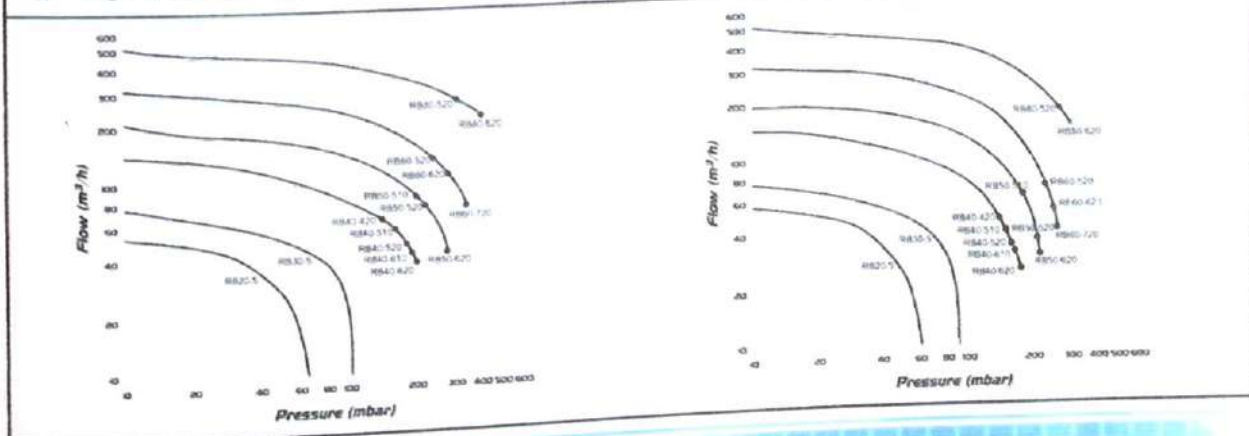
SPECIFICATION AND OPERATION DIAGRAM

Ring Compressors with 50HZ

Phase	Voltage	Model	Hz	Rated Output KW	Rated Current Amps	Max. Pressure mbar	Max. Airflow m ³ /h	Noise Level dB	
Single	100-120 / 200-240	RB20-510	50	0.22	2.4 / 1.2	65	52	64	
		RB30-510	50	0.38	3.6 / 1.8	100	75	69	
		RB40-510	50	0.80	12.8 / 6.4	160	144	69	
		RB40-610	50	1.10	14.9 / 7.4	190	144	69	
		RB50-510	50	1.50	21.3 / 10.7	200	210	72	
Three	200-240 / 380-440	RB20-520	50	0.22	1.1 / 0.6	65	52	64	
		RB30-520	50	0.38	1.9 / 1.1	100	75	69	
		RB40-420	50	0.76	3.8 / 2.2	140	144	69	
		RB40-520	50	0.90	4.3 / 2.5	180	144	69	
		RB40-620	50	1.10	5.2 / 3.0	200	144	69	
		RB50-520	50	1.50	7.4 / 4.3	220	210	72	
		RB50-620	50	2.20	8.0 / 4.6	270	210	72	
		RB60-520	50	2.20	9.8 / 5.7	220	306	76	
		RB60-620	50	3.00	12.0 / 6.9	280	306	76	
		RB60-720	50	4.00	16.0 / 9.2	340	306	76	
		200-240 / 345-415	RB80-520	50	5.5	12	310	500	73
			RB80-620	50	7.5	28.6 / 16.5	400	510	73

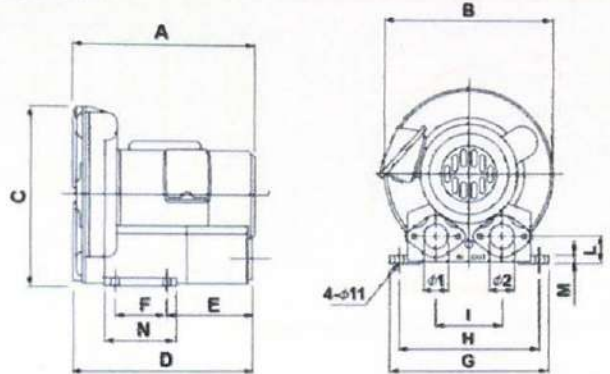
Ring Compressors with 50HZ

Vacuum with 50HZ

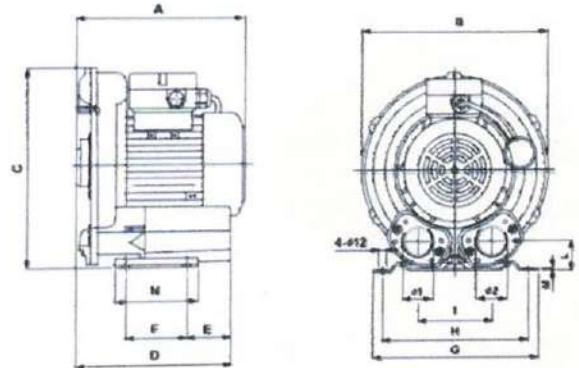


Model	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	Φ1	Φ2	Weight Kgs
RB20-5..	255	228	238	218	87	76	212	190	90	34	12	100	1"	1"	10.0
RB30-5..	256	250	257	262	117	83	230	205	100	38	12	110	1" 1/4	1" 1/4	13.0
RB40-4..	261	286	303	238	68	95	255	225	115	46	3	130	1" 1/2	1" 1/2	15.5
RB40-5..	262	286	303	238	68	95	255	225	115	46	3	130	1" 1/2	1" 1/2	16.0
RB40-6..	281	286	303	238	68	95	255	225	115	46	3	130	1" 1/2	1" 1/2	18.2
RB50-5..	317	333	345	342	143	115	296	260	120	48	4	155	2"	2"	23.5
RB50-6..	317	333	345	341	143	115	296	260	120	48	4	155	2"	2"	26.0
RB60-5..	364	382	383	379	129	140	325	290	125	53	4.5	180	2"	2"	36.0
RB60-6..	364	382	383	379	129	140	325	290	125	53	4.5	180	2"	2"	37.3
RB60-7..	394	382	383	379	129	140	325	290	125	53	4.5	180	2"	2"	41.5
RB80-5..	479	466	498	477	179	277	420	365	145	81	24	318	G 2 1/2"	G 2 1/2"	120
RB80-6..	479	466	498	477	179	277	420	365	145	81	24	318	G 2 1/2"	G 2 1/2"	123

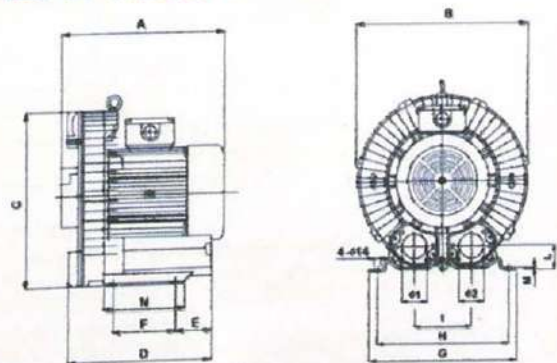
RB20-... / RB30-...



RB40-...



RB50-... / RB60-... / RB80-...



FEATURES AND APPLICATIONS

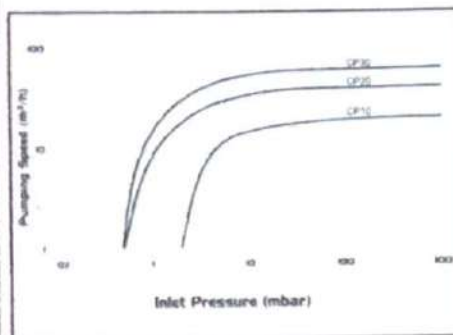
They compose a precision made pump and direct driving induction Motor with high starting torque.

Lowest cost and excellent performance contributes to the best choice for lots of applications that need middle vacuum.

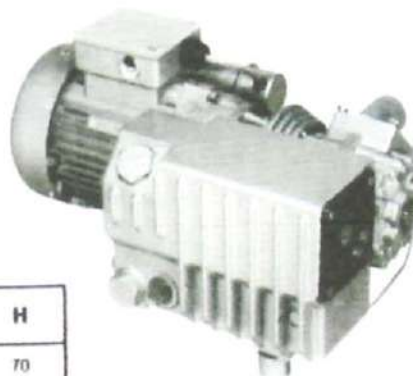
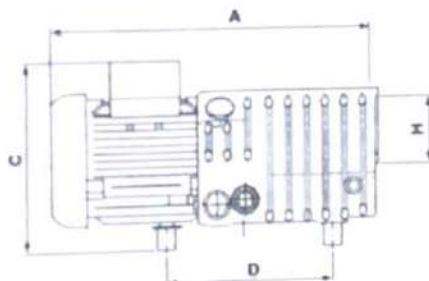
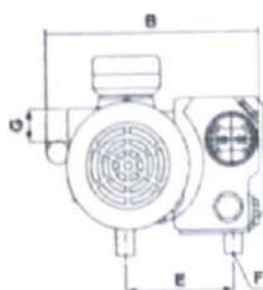
- Structure is designed for easy installation and maintenance.
- Multi stage filtration system ensures minimum leakage (less 0.1%) of lubrication oil.
- The pumps are driven by high efficiency induction motor with nature air cooling system only and required no liquid.
- All components are processed under strict quality control. This enables a quiet rotation and fast pumping speed.
- The pumps are widely used in food processing, packaging, hospital, thermoforming, printing, PCB testing, vacuum handling.

SPECIFICATION AND PERFORMANCE

Phase	Voltage	Model	Hz	Rated Output KW	Rated Current Amps	Max. Pressure mbar	Max. Airflow m ³ /h	Noise Level dB
Single	100-120	CP10-410	50	0.76	13.07/10.38	20	20	72
	200/240	CP10-510	50	0.76	13.07/10.38	2.0	20	72
	200/240	CP10-450	50	0.76	6.5	20	20	72
		CP10-550	50	0.76	6.5	2.0	20	72
Three	200/240 / 380-440	CP10-420	50	0.76	3.3/2.2	20	20	72
		CP10-520	50	0.76	3.3/2.2	2.0	20	72
		CP20-420	50	1.10	7.3/4.92	20	40	70
		CP20-620	50	1.10	7.3/4.92	0.5	40	70
		CP30-620	50	1.50	6.41/3.68	0.5	63	74



DIMENSIONS



Model	A	B	C	D	E	F	G	H
CP10 1	425	265	230	121	71	3-M8	PF1	70
CP10 3	425	240	230	121	71	3-M8	PF1	70
CP20	635	290	290	240	180	3-M8	PF 1-1/4	PF 1-1/4
CP30	630	406	325	294	186	4-M8	PF 1-1/4	PF 1-1/4



PT INTERJAYA SURYA MEGAH

HEAD OFFICE :

Jl. Rungkut Industri III / 55, Surabaya 60293 - Indonesia
 Telp. (031) 849 7070 (Hunting) Fax. (031) 842 0212, 842 0390
 E-mail : interjaya@sby.centrin.net.id

Branch Office :

Kawasan Pergudangan Mutiara Kosambi II
 Jl. Raya Perancis 288 Blok A8 No. 25, Dadap - Tangerang 15125 - INDONESIA
 Telp. (021) 5591 0055 - 9 Fax. (021) 5591 0155, 5591 0255

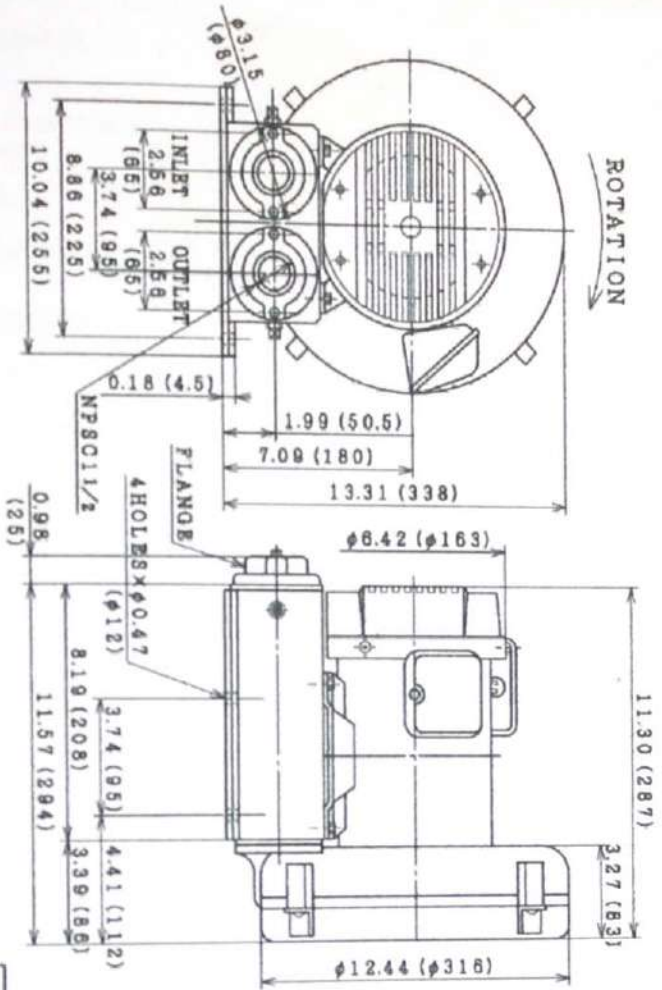
Komplek Lippo Cikarang
 Ruko Roxy Blok C - 28, Cikarang - Bekasi 17550
 Telp. (021) 8990 6221, 8990 1486 Fax. (021) 8990 1486

DIMENSIONS

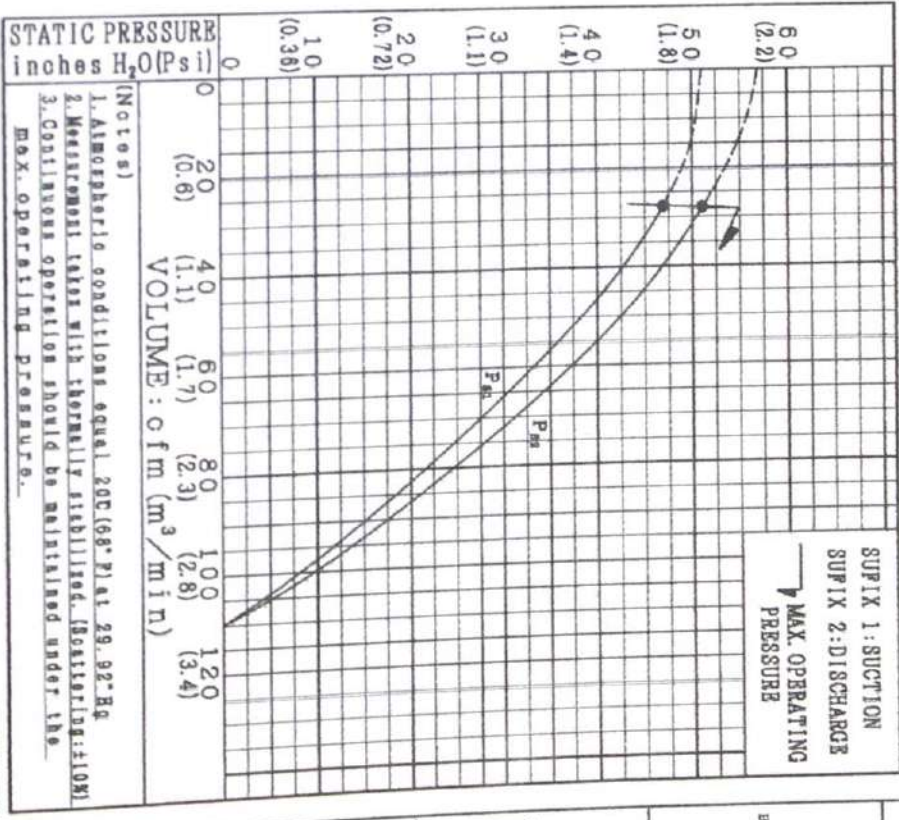
MODEL NO.: VB-007E-U

CHARACTERISTIC CURVES

FREQUENCY (Hz)	60	PHASE	3
MAXIMUM VOLUME (cfm)	110.0	POLES	2
(m ³ /min)	(3.1)	STANDARD VOLTAGE (V)	200-230/460
MAX. OPERATING DISCHARGE (*H ₂ O)	51.0	INSULATION CLASS	B
(Psi)	(1.8)	WEIGHT (LBS)	48.5
MAX. OPERATING VACUUM (*H ₂ O)	47.0	(kg)	(22.0)
(Psi)	(1.7)	OUTPUT (VACUUM) (HP/kW)	0.98/0.72



Unit: inches (millimeters)



USE _____
 NOTICE _____
 CUSTOMER _____
 DIMENSIONS _____
 ACCESSORY _____
 Indoor installation _____
 ORDER No. _____
 WORK No. _____
 REV. _____
 2

HIRACHI Industrial Equipment Systems Co., Ltd.
 3243 F802668
 KAWARIBO SHIGE DRL No.

RKC Temperature Controllers

CB series

- 1/16 DIN (CB100), 1/8 DIN (CB400/500), ¼ DIN (CB900)
- PID with active tuning
- Temperature (T/C & RTD) input, current/voltage input
- Output 3A relay or current/voltage
- Alarm output (1 or 2)
- Heating/cooling model available
- IP65 face
- Supply 85 to 264 Vac or optional 24 Vdc/ac
- CE, UL, CSA



Popular models	Description	Price
CB100-FJA3-M*AN-N1/A/Y	Controller 1/16 DIN, temperature input, relay output, 1 alarm, IP 66	\$ 299
CB100-F801-M*AN-N1/A/Y	Controller 1/16 DIN, 4-20mA input, relay output, 1 alarm, IP 66	\$ 299
CB100-FJA3-8*AN-N1/A/Y	Controller 1/16 DIN, temperature input, 4-20mA output, 1 alarm, IP 66	\$ 318
CB400-FJA3-MN*AN-N1/A/Y	Controller 1/8 DIN vertical, temperature input, relay output, 1 alarm, IP 65	\$ 399
CB400-WJA3-MM*AN-N1/A/Y	Controller 1/8 DIN vertical, temperature input, relay output heating/cooling, 1 alarm, IP 65	\$ 420
CB500-FJA3-MN*AN-N1/A/Y	Controller 1/8 DIN horizontal, temperature input, relay output, 1 alarm, IP 65	\$ 393
CB900-FJA3-MN*AN-N1/A/Y	Controller ¼ DIN, temperature input, relay output, 1 alarm, IP 65	\$ 469
CB900-WJA3-MM*AN-N1/A/Y	Controller ¼ DIN, temperature input, relay output, heating/cooling, 1 alarm, IP 65	\$ 489

Other models, configurations and options available.

RKC Temperature Controllers

SA200 series

- 1/32 DIN
- PID with active tuning
- Temperature (T/C & RTD) input, current/voltage input
- Output 3A relay or current/voltage
- Alarm output (1 or 2)
- Heating/cooling model available
- IP66 face
- Supply 85 to 264 Vac or optional 24 Vdc/ac
- Optional RS 485 communication
- CE, UL, CSA



Popular models	Description	Price
SA200-FJA3-MN-4*AN-N1/A/Y	Controller temperature input, relay output, 1 alarm, IP 66	\$ 277.50

Other models, configurations and options available.

RKC Digital Indicator

AE500 model

- Big digits of 20 mm (0.8") high
- Input (programmable) : thermocouple, RTD or current/voltage
- Digital communication (option)
- Up to 4 alarm 1A outputs (option)
- Analogical signal retransmission (option)
- Supply 85..264 Vac (standard) or 24 Vdc (option)
- Horizontal case 1/8 DIN 96 x 48 x 100 mm



Code	Description	Price
AE500-JA3-4*NNNN-N1/A/Y	Indicator with thermocouple or RTD input 100/240 Vac, waterproof IP65 face	\$ 365
AE500-JA3-4*HJNN-N1/A/Y	Indicator with thermocouple or RTD input 100/240Vac, 2 alarm outputs 1A, waterproof IP65 face	\$ 410
AE500-601-4*NNNN-N1/A/Y	Indicator with current/voltage input, 100/240 Vca, waterproof IP65 face	\$ 365

COMPACTRON Digital Display

AF5 model

- Programmable voltage/current inputs 4-20 mA, 1-5 Vdc, ±0-5 Vdc, ±0-10 Vdc
- Supply 120 Vac standard, 24 V or 24 Vdc excitation optional
- External supply 24 Vdc for transmitter
- User configurable with front panel keypad
- Big LED 5 digits display, 0.56" high, red, green or yellow
- 1/8 DIN, flush mount (3.6" x 1.7" opening)



Code	Description	Price
AF5/0.56/420/xxxxx/120/R	Display with 4-20mA input, xxxxxx=engineering units, 120 Vac, red digits	\$ 286
AF5/0.56/420/xxxxx/120/E24	Display with 4-20mA input, xxxxxx=engineering units, 120 Vca, red digits, 24 Vdc excitation	\$ 395

AF5 /0.56/ input / range / supply / color / options

RKC Multizone Temperature Controllers

Models MA900 and MA901

- Save time and money with one controller that can handle easily 1 to 8 zones
- Input thermocouple, RTD or DC voltage
- Output : 3A relays, independant alarms, pulsed voltage, current
- Available with heating/cooling outputs
- Multi-memory area : up to 8 sets of values (set points, PID settings, alarms, etc.) can be saved for each channel
- 90 to 264 Vac, 24 Vac/dc
- Approved CE, UL, CSA, C-Tick
- Communication RS-232, RS-422A or RS-485 available
- ¼ DIN (96 x 96 x 100 mm)
- IP65 face



Popular models

Code	Description	Price
MA900-4-FJA3-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller, thermocouple input, 4 relay outputs heating/cooling with one alarm output	\$ 840
MA900-4-FDA1-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller RTD input, 4 relay outputs with one alarm output	\$ 840
MA900-4-WJA3-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller, thermocouple input, 4 relay outputs heating/cooling with one alarm output	\$ 948
MA901-8-FJA3-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller, thermocouple input, 8 relai output with one alarm output	\$ 1374
MA901-8-FDA1-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller, RTD input, 8 relay outputs with one alarm output	\$ 1374
MA901-8-F601-MN-4*ANN-NN/1/Y	4 zones controller, voltage input dc (0-5, 1-5 or 0-10), 8 relay outputs with one alarm output	\$ 1374

RKC Slim Solid State Relay

SSN model

- DIN rail mount, only 21.5 mm wide (for Instance: 8 SSN models are only 172 mm wide compared to regular models that would be 352 mm!) - integrated heat sink
- Max load: 15A ac or 25 Aac, min load: 100 mAac
- Signal: pulsed voltage (dc), low (stop): 0 V; high (start): 4.5 to 30 V
- Supply 50 to 264 Vac
- Size: 78 x 21.5 x 100 mm
- DEL to indicate relay status

Code	Description	Price
SSN-15F	Slim solid state relay 15A	\$ 53.70
SSN-25F	Slim solid state relay 25A	\$ 76.50



Thank you for purchasing the RKC instrument. In order to achieve maximum performance and ensure proper operation of your new instrument, carefully read all the instructions in this manual. Please place this manual in a convenient location for easy reference.

IMCB25-E3

**WARNING**

- An external protection device must be installed if failure of this instrument could result in damage to the instrument, equipment or injury to personnel.
- All wiring must be completed before power is turned on to prevent electric shock, fire or damage to instrument and equipment.
- This instrument must be used in accordance with the specifications to prevent fire or damage to instrument and equipment.
- This instrument is not intended for use in locations subject to flammable or explosive gases.
- Do not touch high-voltage connections such as power supply terminals, etc. to avoid electric shock.
- RKC is not responsible if this instrument is repaired, modified or disassembled by other than factory-approved personnel. Malfunction can occur and warranty is void under these conditions.

CAUTION

- This is a Class A instrument. In a domestic environment, this instrument may cause radio interference, in which case the user may be required to take adequate measures.
- This instrument is protected from electric shock by reinforced insulation. Provide reinforced insulation between the wire for the input signal and the wires for instrument power supply, source of power and loads.
- Be sure to provide an appropriate surge control circuit respectively for the following:
 - If input/output or signal lines within the building are longer than 30 meters.
 - If input/output or signal lines leave the building, regardless the length.
- This instrument is designed for installation in an enclosed instrumentation panel. All high-voltage connections such as power supply terminals must be enclosed in the instrumentation panel to avoid electric shock by operating personnel.
- All precautions described in this manual should be taken to avoid damage to the instrument or equipment.
- All wiring must be in accordance with local codes and regulations.
- All wiring must be completed before power is turned on to prevent electric shock, instrument failure, or incorrect action. The power must be turned off before repairing work for input break and output failure including replacement of sensor, contactor or SSR, and all wiring must be completed before power is turned on again.
- To prevent instrument damage of failure, protect the power line and the input/output lines from high currents with a protection device such as fuse, circuit breaker, etc.
- Prevent metal fragments or lead wire scraps from falling inside instrument case to avoid electric shock, fire or malfunction.
- Tighten each terminal screw to the specified torque found in the manual to avoid electric shock, fire or malfunction.
- For proper operation of this instrument, provide adequate ventilation for heat dissipation.
- Do not connect wires to unused terminals as this will interfere with proper operation of the instrument.
- Turn off the power supply before cleaning the instrument.
- Do not use a volatile solvent such as paint thinner to clean the instrument. Deformation or discoloration will occur. Use a soft, dry cloth to remove stains from the instrument.
- To avoid damage to instrument display, do not rub with an abrasive material or push front panel with a hard object.
- Do not connect modular connectors to telephone line.

NOTICE

- This manual assumes that the reader has a fundamental knowledge of the principles of electricity, process control, computer technology and communications.
- The figures, diagrams and numeric values used in this manual are only for purpose of illustration.
- RKC is not responsible for any damage or injury that is caused as a result of using this instrument, instrument failure or indirect damage.
- Periodic maintenance is required for safe and proper operation of this instrument. Some components have a limited service life, or characteristics that change over time.
- Every effort has been made to ensure accuracy of all information contained herein. RKC makes no warranty expressed or implied, with respect to the accuracy of the information. The information in this manual is subject to change without prior notice.
- No portion of this document may be reprinted, modified, copied, transmitted, digitized, stored, processed or retrieved through any mechanical, electronic, optical or other means without prior written approval from RKC.

1. PRODUCT CHECK

CB100
CB400
CB500 □□□□-□□ * □□ - □□/□/□
CB700 (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)
CB900

(1) Control action

- F: PID action with autotuning (Reverse action)
- D: PID action with autotuning (Direct action)
- W: Heat/cool PID action with autotuning (Water cooling)¹
- A: Heat/cool PID action with autotuning (Air cooling)¹

(2) Input type, (3) Range code:

See "9. INPUT RANGE TABLE."

(4) First control output [OUT1] (Heat-side)

- M: Relay contact T: Triac V: Voltage pulse
- B: Current (4 to 20 mA DC) G: Trigger (for triac driving)

(5) Second control output [OUT2] (Cool-side)

- No symbol: When control action is F or D. M: Relay contact
- T: Triac V: Voltage pulse B: Current (4 to 20 mA DC)

(6) Alarm 1 [ALM1], (7) Alarm 2 [ALM2]

- N: No alarm H: Process high alarm
- A: Deviation high alarm J: Process low alarm
- B: Deviation low alarm K: Process high alarm with hold action
- C: Deviation high/low alarm L: Process low alarm with hold action
- D: Band alarm P: Heater break alarm (CTL-6)²
- E: Deviation high alarm with hold action S: Heater break alarm (CTL-12)²
- F: Deviation low alarm with hold action R: Control loop break alarm³
- G: Deviation high/low alarm with hold action V: SV high alarm
- W: SV low alarm

(8) Communication function

- N: No communication function 5: RS-485 (2-wire system)

(9) Waterproof/dustproof

- N: No waterproof/dustproof 1: Waterproof/dustproof

(10) Case color

- N: White A: Black

¹ No self-tuning function is provided in the W or A control action type.² Heater break alarm cannot be specified in case of ALM1. Also, it isn't possible to specify when control output is current output.³ As a control loop break alarm, only either the ALM1 or ALM2 is selected.

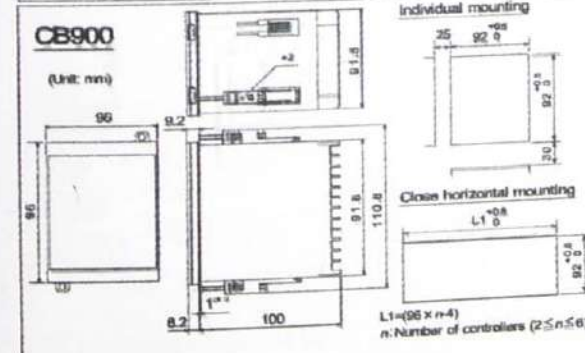
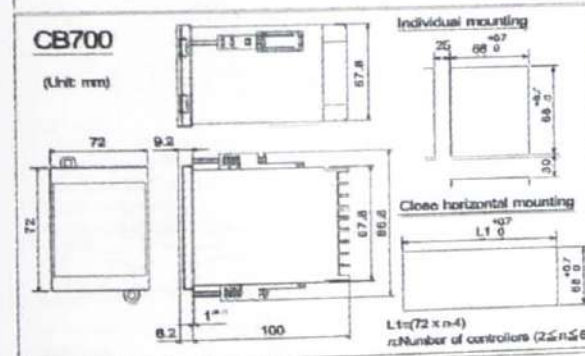
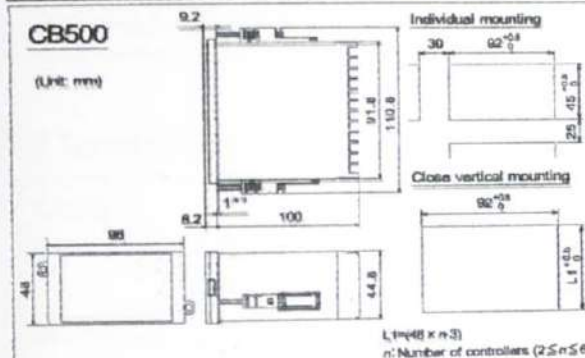
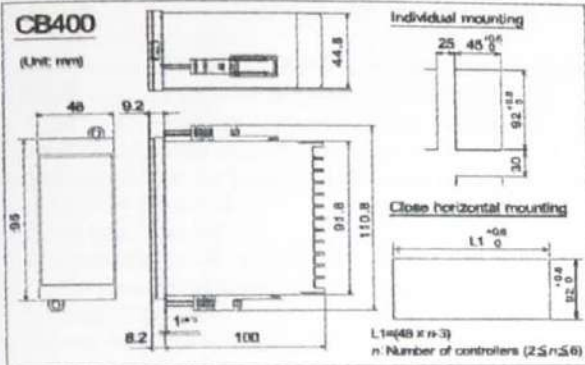
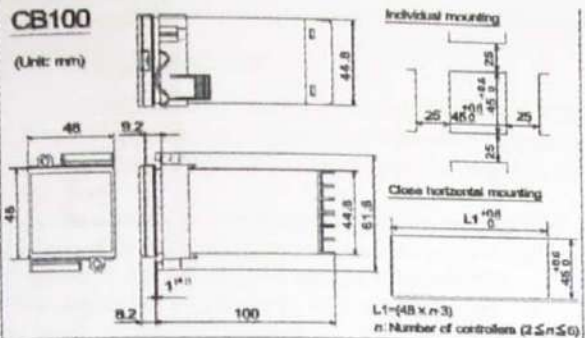
Check that power supply voltage is also the same as that specified when ordering.

- <Accessories>
- Mounting frame (CB100): 1
 - Mounting brackets (CB400/CB500/CB700/CB900): 2 *
 - Instruction manual (IMCB25-E3): 1
- *CB900 waterproof/dustproof option: 4 pieces

2. MOUNTING**2.1 Mounting Cautions**

- (1) This instrument is intended to be used under the following environmental conditions. (IEC61010-1)
[OVERVOLTAGE CATEGORY II, POLLUTION DEGREE 2]
- (2) Use this instrument within the following ambient temperature and ambient humidity.
 - Allowable ambient temperature: 0 to 50 °C
 - Allowable ambient humidity: 5 to 95 % RH
(Absolute humidity: MAX. W. C 29 g/m³ dry air at 101.3 kPa)
- (3) Avoid the following when selecting the mounting location.
 - Rapid changes in ambient temperature which may cause condensation.
 - Corrosive or inflammable gases.
 - Direct vibration or shock to the mainframe.
 - Water, oil, chemicals, vapor or steam splashes.
 - Excessive dust, salt or iron particles.
 - Excessive induction noise, static electricity, magnetic fields or noise.
 - Direct air flow from an air conditioner.
 - Exposure to direct sunlight.
 - Excessive heat accumulation.

2.2 Dimensions



*1 Rubber (option)

*2 Up to four mounting brackets can be used.

• For mounting of the instrument, panel thickness must be between 1 to 10 mm. (When mounting multiple instruments close together, the panel strength should be checked to ensure proper support.)

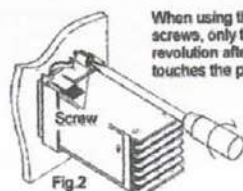
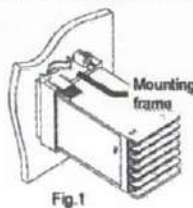
• Waterproof and dustproof are not effective when instruments are closely spaced.

2.3 Mounting Procedures

114

■ CB100

1. Prepare the panel cutout as specified in 2.2 Dimensions.
2. Insert the instrument through the panel cutout.
3. Insert the mounting frame into the mounting from the rear of the instrument.
4. Push the mounting frame forward until the frame is firmly secured to the panel. (Fig.1)
5. Fix the instrument to the panel by using the two screws. (Fig.2)



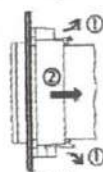
When using the mounting screws, only turn one full revolution after the screw touches the panel.



The waterproof/dustproof option on the front of the instrument conforms to IP66 when mounted on the panel. For effective waterproof/dustproof, the gasket must be securely placed between instrument and panel without any gap. If the gasket is damaged, please contact RKC sales office or the agent.

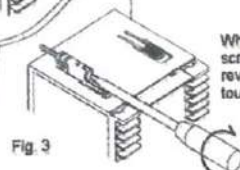
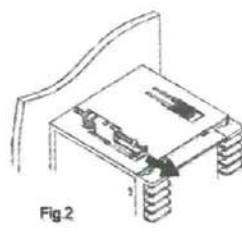
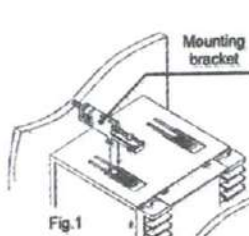


If the hook in the mounting frame is disengaged from the case, the mounting frame can be removed (Fig.3). If the instrument is fixed to the panel by tightening the screws, first loosen the screw.



■ CB400/CB500/CB700/CB900

1. Prepare the panel cutout as specified in 2.2 Dimensions.
2. Insert the instrument through the panel cutout.
3. Insert the mounting bracket into the mounting groove of the instrument. (Fig.1)
4. Pull till click sounds to the direction shown by the arrow. (Fig.2)
5. Tighten up the screw. (Fig.3)
6. The other mounting bracket should be installed the same way described in 3. to 5.



When using the mounting screws, only turn one full revolution after the screw touches the panel.



When the instrument is mounted, always secure with two mounting brackets so that upper and lower mounting brackets are positioned diagonally.



The waterproof/dustproof option (CB900: mounting bracket 4 pieces) on the front of the instrument conforms to IP65 when mounted on the panel. For effective waterproof/dustproof, the gasket must be securely placed between instrument and panel without any gap. If gasket is damaged, please contact RKC sales office or the agent.

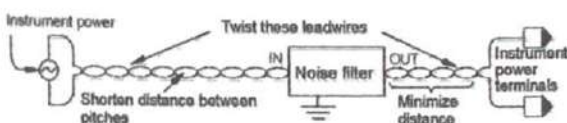


If the hook in the mounting bracket is disengaged from the case, the mounting bracket can be removed (Fig.4). If the mounting bracket is fixed with screw, loosen these screws.

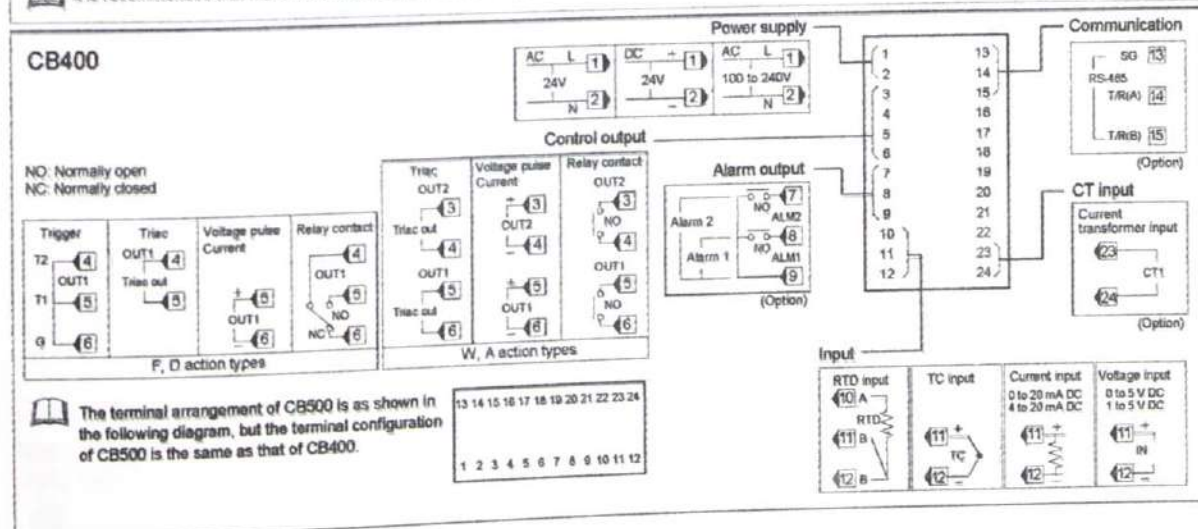
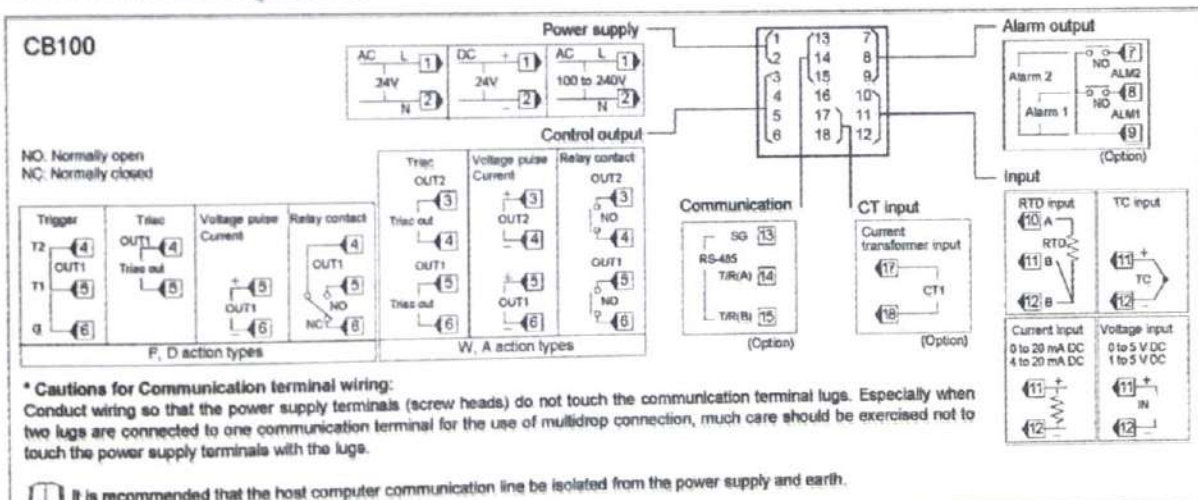


3.1 Wiring Cautions

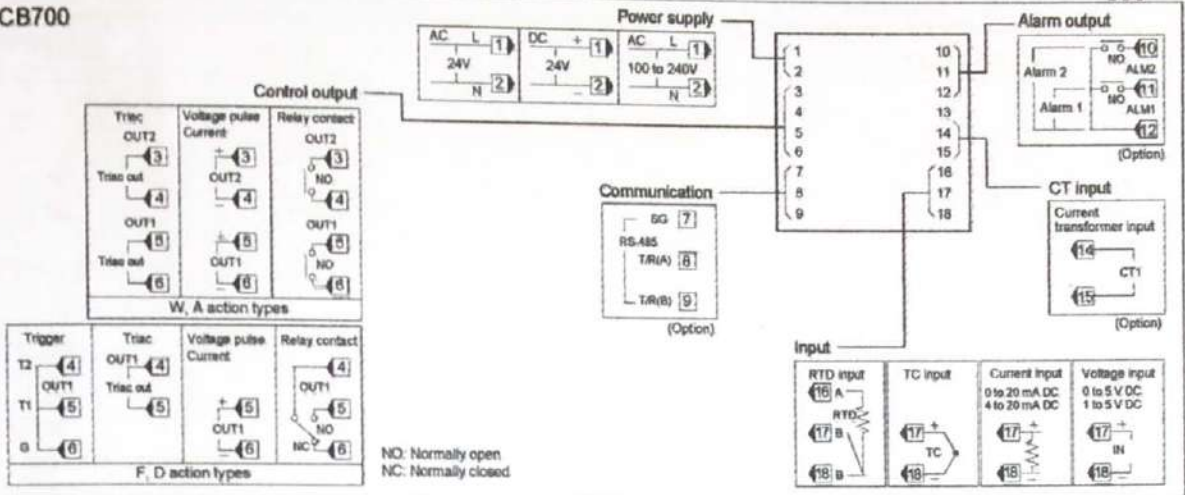
- For thermocouple input, use the appropriate compensation wire.
- For RTD input, use low resistance lead wire with no difference in resistance between the three lead wires.
- To avoid noise induction, keep input signal wire away from instrument power line, load lines and power lines of other electric equipment.
- If there is electrical noise in the vicinity of the instrument that could affect operation, use a noise filter.
 - Shorten the distance between the twisted power supply wire pitches to achieve the most effective noise reduction.
 - Always install the noise filter on a grounded panel. Minimize the wiring distance between the noise filter output and the instrument power supply terminals to achieve the most effective noise reduction.
 - Do not connect fuses or switches to the noise filter output wiring as this will reduce the effectiveness of the noise filter.
- Power supply wiring must be twisted and have a low voltage drop.
- About four seconds are required as preparation time for contact output every time the instrument is turned on. Use a delay relay when the output line, is used for an external interlock circuit.
- This instrument is not furnished with a power supply switch or fuses. Therefore, if a fuse or power supply switch is required, install close to the instrument.
 - Fuse type: Time-lag fuse
 - Recommended fuse rating: Rated voltage 250 V Rated current: 1 A
- For the current input specification, a resistor of 250 Ω (±0.02 % ±10 ppm, 0.25 W or more) must be connected between the input terminals. This resistor must be provided by the customer.
- Use the solderless terminal appropriate to the screw size.
 - Screw size: M3 x 6
 - Recommended tightening torque: 0.4 N·m [4 kgf·cm]
- For an instrument with 24 V power supply, supply power from a SELV circuit.



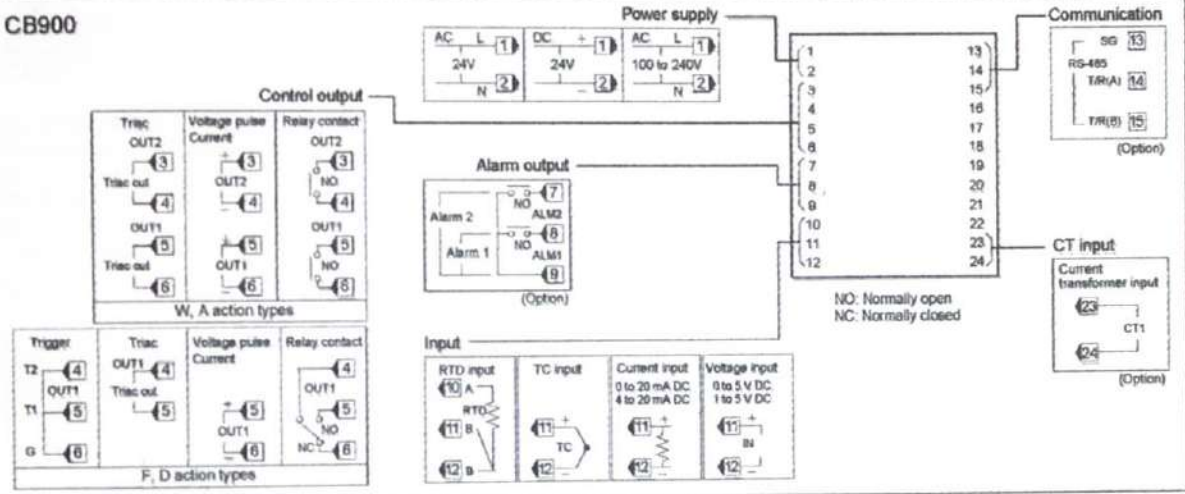
3.2 Terminal Configuration



CB700



CB900



Specifications

Input:

Input type:

Thermocouple: K, J, R, S, B, E, T, N, PLII, W5Re/W26Re, U, L
 Input impedance: Approx. 1 M Ω
 RTD: Pt100, JPt100
 Voltage: 0 to 5 V DC, 1 to 5 V DC, 0 to 10 V DC (Z-1010)
 Current: 0 to 20 mA DC, 4 to 20 mA DC

Sampling cycle: 0.5 seconds

Input range: See Input range table

Control method: PID control

ON/OFF, P, PI, or PD actions is available

Control output:

Relay contact output:

250 V AC, 3A (Resistive load)
 Electrical life: 300,000 times or more (Rated load)

Voltage pulse output:

0/12 V DC (Load resistance 600 Ω or more)

Current output: 4 to 20 mA DC (Load resistance 600 Ω or less)

Trigger output (for triac driving):

Zero cross method for medium capacity triac driving (100 A or less)
 Load voltage used: 100 V AC line, 200 V AC line
 Load used: Resistive load

Triac output: 0.5 A (Ambient temperature: 40 °C or less)

Alarm output:

Relay contact output:

250 V AC, 1A (Resistive load)
 Electrical life: 50,000 times or more (Rated load)

Performance:

Display accuracy (at the ambient temperature 23 °C \pm 2 °C):

Thermocouple:

\pm (0.3 % of display value + 1 digit) or \pm 2 °C [4 °F]

Whichever is greater

R, S and B input: 0 to 399 °C [0 to 799 °F]

Accuracy is not guaranteed.

T and U input: -199.9 to -100.0 °C [-199.9 to -158.0 °F]

Accuracy is not guaranteed.

RTD: \pm (0.3 % of display value + 1 digit) or \pm 0.8 °C [1.6 °F]

Whichever is greater

Voltage/Current:

\pm (0.3 % of span + 1 digit)

Memory backup:

Backed up by Nonvolatile Memory

Number of write times: Approx. 1,000,000 times

Data storage period: Approx. 10 years

Power:

Power supply voltage:

85 to 264 V AC (Power supply voltage range), 50/60 Hz

Rating: 100 to 240 V AC

21.6 to 26.4 V AC (Power supply voltage range), 50/60 Hz

Rating: 24 V AC

21.6 to 26.4 V DC (Power supply voltage range)

Rating: 24 V DC

Power consumption:

7 VA max. (at 100 V AC)

10 VA max. (at 240 V AC)

5 VA max. (at 24 V AC)

160 mA max. (at 24 V DC)

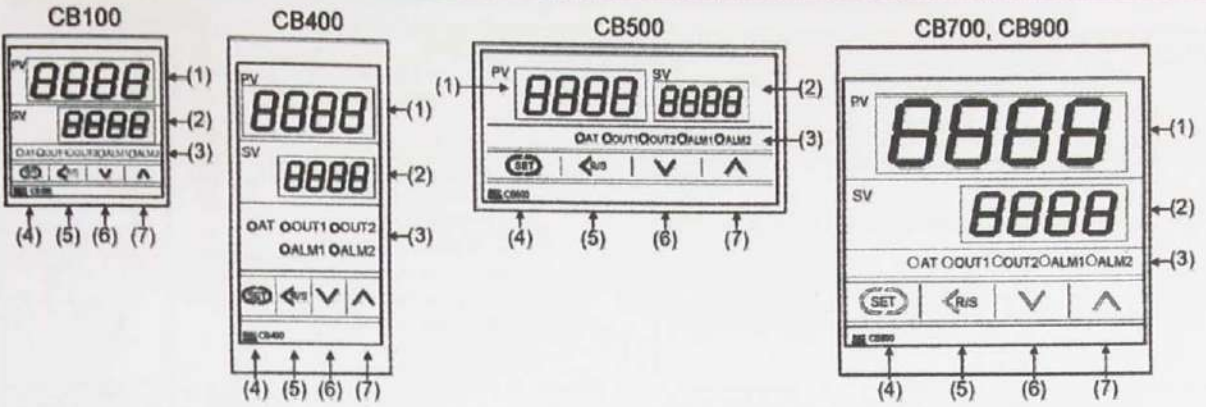
Weight:

CB100: Approx. 170 g

CB700: Approx. 290 g

CB400/CB500: Approx. 250 g

CB900: Approx. 340 g



(1) Measured value (PV) display [Green]
Displays PV or various parameter symbols.

(2) Set value (SV) display [Orange]
Displays SV or various parameter set values (or CT input value).

(3) Indication lamps
Alarm output lamps (ALM1,ALM2) [Red]
ALM1: Lights when alarm 1 output is turned on.
ALM2: Lights when alarm 2 output is turned on.

Autotuning (AT) lamp [Green]
Flashes when autotuning is activated. (After autotuning is completed: AT lamp will become OFF)

Control output lamps (OUT1, OUT2) [Green]
OUT1: Lights when control output is turned on.*
OUT2: Lights when cool-side control output is turned on.*

* Lamp indication becomes as follows for current output.
For an output of less than 0 %: Extinguished
For an output of more than 100 %: Lit
For an output of more than 0 % but less than 100 %: Dimly lit.

(4) SET (Set key)
Used for parameter calling up and set value registration.

(5) <R/S (Shift & R/S key)
Shift digits when settings are changed. Select the RUN/STOP function.

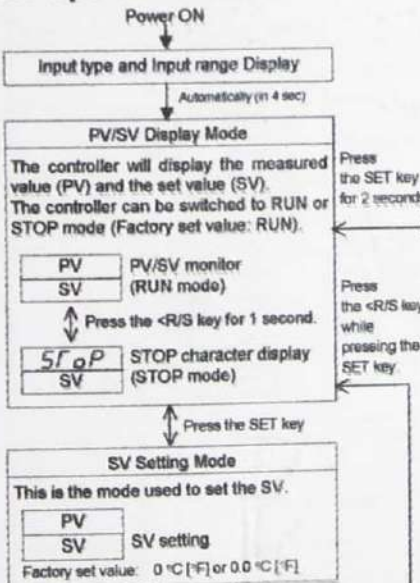
(6) V (DOWN key)
Decrease numerals.

(7) ^ (UP key)
Increase numerals.

To avoid damage to the instrument, never use a sharp object to press keys.

5. SETTING

5.1 Operation Menu



This instrument returns to the PV/SV display mode if no key operation is performed for more than one minute.

Parameter Setting Mode

This mode is used to set the parameters such as alarms, PID constants, etc. (See page 6.)
The following parameter symbols are displayed as the SET key is pressed.

CT1 (CT1) Current transformer (CT) input value 1 monitor	ATU (ATU) Autotuning (AT)	r (r) Heat-side proportioning cycle
AL1 (AL1) Alarm 1 set value (ALM1)	STU (STU) Self-tuning (ST)	Pc (Pc) Cool-side proportioning band
AL2 (AL2) Alarm 2 set value (ALM2)	P (P) Proportional band	db (db) Deadband
HbA1 (HbA1) Heater break alarm (HBA) 1 set value	I (I) Integral time	t (t) Cool-side proportioning cycle
LbA (LbA) Control loop break alarm (LBA) time	d (d) Derivative time	Pb (Pb) PV bias
Lbd (Lbd) LBA deadband	Ar (Ar) Anti-reset windup	LLC (LLC) Set data lock

Return to the first parameter

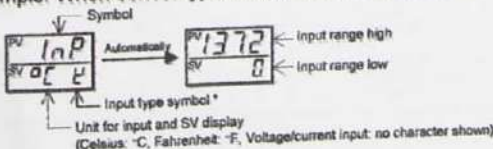
Parameters which are not related to existing functions on the controller are not displayed.

Communication Setting Mode

This mode is used to set the communication parameters when specified. For details on protocol identifiers and communication setting mode, see the Communication Instruction Manual (IMCB03-EQ).

■ Input type and input range display

This instrument immediately confirms the input type symbol and input range following power ON.
Example: When sensor type of input is K thermocouple.





* Input Type Symbol Table

Symbol	P	U	r	S	b	E	F	n	P	U	L	J	P	R	H			
Input type	Thermocouple (TC)										RTD		Voltage (Current)					
	K	J	R	S	B	E	T	N	PL	II	W2R	W2R ₀	U	L	J1 100	PT 100		

(*) This input type is not displayed in the Z-1021 specification.

5.2 Parameter List

 Parameter symbols which are not related to existing functions on the controller are not displayed.

Symbol	Name	Setting range	Description	Factory set value
CT1	Current transformer (CT) input value 1 monitor	0.0 to 100.0 A [Display only]	Display input value from the current transformer. [Displayed only when the instrument has the heater break alarm.]	
AL1	Alarm 1 set value (ALM1)	Temperature input: Deviation alarm, Process alarm, SV alarm: -1999 to +9999 °C [°F] or -199.9 to +999.9 °C [°F]	Set the alarm 1 set value and alarm 2 set value.  For the alarm action type, see page 10 and 11.	Temperature input: 50 (50.0)
AL2	Alarm 2 set value (ALM2)	Voltage/current inputs: Deviation alarm: -span to +span (Within 9999) Process alarm, SV alarm: Same as input range	Alarm differential gap: Temperature input: 2 or 2.0 °C [°F] Voltage/current inputs: 0.2% of span	Voltage/ current inputs: 5.0
HBA1	Heater break alarm (HBA) 1 set value ¹	0.0 to 100.0 A	Alarm value is set by referring to input value from the current transformer (CT). Used only for single-phase.	0.0
LBA	Control loop break alarm (LBA) time ²	0.1 to 200.0 minutes	Set control loop break alarm set value.	8.0
Lbd	LBA deadband ³	Temperature input: 0 to 9999 °C [°F] Voltage/current inputs: 0 to 100 % of span	Set the area of not outputting LBA. No LBA deadband functions with 0 set. Differential gap : Temperature input: 0.8 °C [°F] Voltage/current inputs: 0.8 % of span	0
ATU	Autotuning (AT)	0: AT end or cancel 1: AT start or execution	Turns the autotuning ON/OFF.	0
STU	Self-tuning (ST)	0: Self-tuning OFF 1: Self-tuning ON	Turns the self-tuning ON/OFF.	0
P	Proportional band	Temperature input: 1 (0.1) to span or 9999 (999.9) °C [°F] Voltage/current inputs: 0.1 to 100.0 % of span	Set when PI, PD or PID control is performed. Heat/cool PID action: Proportional band setting on the heat-side. ON/OFF action control when set to 0 (0.0). ON/OFF action differential gap: Temperature input: 2 (0.2) °C [°F] Voltage/current inputs: 0.2 % of span	Temperature input: 30 (30.0) Voltage/current inputs: 3.0
I	Integral time	1 to 3600 seconds (0 second: PD action)	Set the time of integral action to eliminate the offset occurring in proportional control.	240
D	Derivative time	1 to 3600 seconds (0 second: PI action)	Set the time of derivative action to improve control stability by preparing for output changes.	60
ARW	Anti-reset windup (ARW)	1 to 100 % of heat-side proportional band (0 %: Integral action OFF)	Overshooting and undershooting are restricted by the integral effect.	100
Γ	Heat-side proportioning cycle	1 to 100 seconds (Not displayed if the control output is current output.)	Set control output cycle. Heat/cool PID action: Heat-side proportioning cycle	Relay contact output: 20 Voltage pulse output/ Trigger output for triac driving/Triac output: 2
Pc	Cool-side proportional band	1 to 1000 % of heat-side proportional band.	Set cool-side proportional band when heat/cool PID action.	100
db	Deadband	Temperature input: -10 to +10 °C [°F] or -10.0 to +10.0 °C [°F] Voltage/current inputs: -10.0 to +10.0 % of span	Set control action deadband between heat-side and cool-side proportional bands. Minus (-) setting results in overlap.	0 or 0.0
τ	Cool-side proportioning cycle	1 to 100 seconds (Not displayed if the control output is current output.)	Set control cool-side output cycle for heat/cool PID action.	Relay contact output: 20 Voltage pulse output/ Triac output: 2
Pb	PV bias	Temperature input: -1999 to +9999 °C [°F] or -199.9 to +999.9 °C [°F] Voltage/current inputs: -span to +span	Sensor correction is made by adding bias value to measured value (PV).	0 or 0.0
LCK	Set data lock (LCK)	0000 Parameters other than SV and Alarms ├── 0: Unlock 1: Lock ├── Alarms │ ├── 0: Unlock 1: Lock │ └── SV │ ├── 0: Unlock 1: Lock │ └── Initialization mode └── 0: Lock 1: Unlock	Performs set data change enable/disable.	0000

1 Heater Break Alarm (HBA) function

The HBA function monitors the current flowing through the load by a dedicated current transformer (CT), compares the measured value with the HBA set value, and detects a fault in the heating circuit.

Low or No current flow (Heater break, malfunction of the control device, etc.):

When the control output is ON and the current transformer input value is equal to or less than the heater break determination point for the preset number of consecutive sampling cycle, an alarm is activated.

Over current or short-circuit:

When the control output is OFF and the current transformer input value is equal to or greater than the heater break determination point for the preset number of consecutive sampling cycle, an alarm is activated.

Precaution for HBA setting:

- Displayed only for when HBA is selected as Alarm 2.
- HBA is not available on a current output.
- Set the set value to approximately 85 % of the maximum reading of the CT input.
- Set the set value to a slightly smaller value to prevent a false alarm if the power supply may become unstable.
- When more than one heater is connected in parallel, it may be necessary to increase the HBA set value to detect a single heater failure.
- When the current transformer is not connected, the HBA is turned on.

2 Control Loop Break Alarm (LBA) function

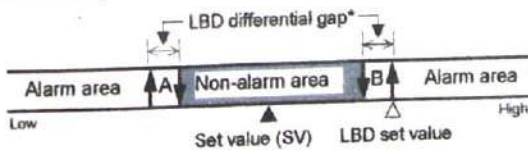
The LBA function is used to detect a load (heater) break or a failure in the external actuator (power controller, magnet relay, etc.), or a failure in the control loop caused by an input (sensor) break. The LBA function is activated when control output reaches 0 % (low limit with output limit function) or 100 % (high limit with output limit function). LBA monitors variation of the measured value (PV) for the length of LBA time. When the LBA time has elapsed and the PV is still within the alarm determination range, the LBA will be ON.

Precaution for LBA setting:

- Displayed only for when LBA is selected as Alarm 1 or Alarm 2.
- No control loop break alarm can be used at heat/cool PID control action.
- The LBA function can not be activated when AT function is turned on.
- The LBA function is activated when control output reaches 0 % or 100 %. The time required for the LBA output to turn on includes both the time from the initial occurrence of loop failure and the LBA setting time. Recommended setting for LBA is for the set value of the LBA to be twice the value of the integral time (I).
- If LBA setting time does not match the controlled object requirements, the LBA setting time should be lengthened. If setting time is not correct, the LBA will malfunction by turning on or off at inappropriate times or not turning on at all.

3 LBA Deadband function

The LBA may malfunction due to external disturbances. To prevent malfunctioning due to external disturbance, LBA deadband (LBD) sets a neutral zone in which LBA is not activated. When the measured value (PV) is within the LBD area, LBA will not be activated. If the LBD setting is not correct, the LBA will not work correctly.



- A: During temperature rise: Alarm area
During temperature fall: Non-alarm area
- B: During temperature rise: Non-alarm area
During temperature fall: Alarm area
- TC and RTD inputs: 0.8 °C [°F] (fixed) Voltage/Current inputs: 0.8 % of span (fixed)

5.3 Changing Parameter Settings

Procedures to change parameter settings are shown below.

To store a new value for the parameter, always press the SET key. The display changes to the next parameter and the new value will be stored.

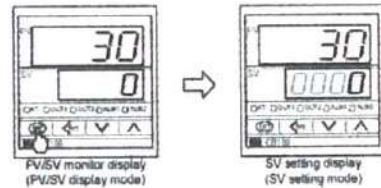
- A new value will not be stored without pressing SET key after the new value is displayed on the display.
- After a new value has been displayed by using the UP and DOWN keys, the SET key must be pressed within one minute, or the new value is not stored and the display will return to the PV/SV monitor screen.

Change the set value (SV)

Change the set value (SV) from 0 °C to 200 °C

1. Select the SV setting mode

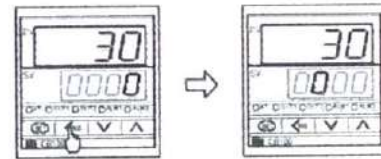
Press the SET key at PV/SV monitor screen until SV setting screen is displayed.



2. Shift the high-lighted digit

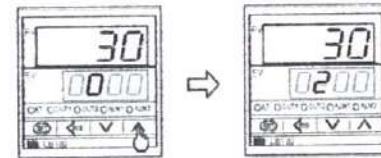
Press the <R/S key to high-light the hundreds digit.

The high-lighted digit indicates which digit can be set.



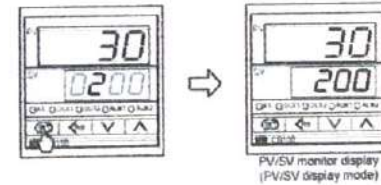
3. Change the set value

Press the UP key to change the number to 2.



4. Store the set value

Press the SET key to store the new set value. The display returns to the PV/SV monitor screen.



Change parameters other than the set value (SV)


The changing procedures are the same as those of example 2 to 4 in the above "Change the set value (SV)". Pressing the SET key after the setting end shifts to the next parameter. When no parameter setting is required, return the instrument to the PV/SV display mode.

CAUTIONS

- All mounting and wiring must be completed before the power is turned on. If the input signal wiring is disconnected or short-circuited (RTD input only), the instrument determines that burnout has occurred.
- Displays:
 - Upscale: Thermocouple input, RTD input (when input break)
 - Downscale: Thermocouple input (specify when ordering), RTD input (when short-circuited), Voltage input (1 to 5 V DC), Current input (4 to 20 mA DC)
 - For the voltage (0 to 5 V DC, 0 to 10 V DC*) or current (0 to 20 mA DC) input, the display becomes indefinite (display of about zero value).
 - * Z-1010 specification
- Outputs:
 - Control output: OFF (Heat/Cool control: the control output on both heat-side and cool-side is turned off)
 - Alarm output: Both of the Alarm 1 and Alarm 2 outputs of this instrument are turned on when burnout occurs regardless of any of the following actions taken (High alarm, low alarm, etc.). In addition, when used for any purposes other than these alarms (event, etc.), specify the Z-124 specification (not to be forcibly turned on).
- A power failure of 20 ms or less will not affect the control action. When a power failure of more than 20 ms occurs, the instrument assumes that the power has been turned off. When power returns, the controller will retain the conditions that existed prior to shut down.
- The alarm hold action is activated when not only the power is turned on, but also the SV is changed.

6.1 Operation Procedures

1. Prior to starting operation, check that the mounting and wiring have been finished, and that the SV and various parameters have been set.
2. A power supply switch is not furnished with this instrument. It is ready to operate as soon as the power is turned on. (Factory set value: RUN).

 This instrument holds the conditions that exist just before the power is turned on. For example, if the power is turned off in STOP mode, the instrument starts in STOP mode when the power is turned on again.

■ RUN/STOP

Each time the <R/S> key is pressed for 1 second, RUN/STOP mode changes from RUN to STOP or STOP to RUN. If the instrument is switched to STOP mode, its display, output, etc. become as follows.

- Display: The PV display shows $5f_{OP}$ (STOP).
- Output: Control output OFF, Alarm output OFF
- Autotuning: AT canceled (The PID constants are not updated.)

■ RUN/STOP display (Z-1018 specification)



When operation is changed to the STOP mode by RUN/STOP selection, a parameter symbol to indicate the STOP mode is displayed on the SV display. Pressing the SET key with the STOP mode displayed can also check and change the set value (SV).

6.2 Set Data Lock (LCK) Function

The set data lock restricts parameter setting changes by key operation. This function prevents the operator from making errors during operation. There are 8 set data lock levels. (see below)

Set value	Parameters which can be changed
0000	All parameters [Factory set value]
0001	SV, Alarms (ALM1, ALM2)
0010	All parameters except for Alarms (ALM1, ALM2)
0011	SV
0100	All parameters except for SV
0101	Alarms (ALM1, ALM2)
0110	All parameters except for SV and Alarms (ALM1, ALM2)
0111	No parameters (All Locked)

HBA, LBA and LBD can be locked when any of 0001, 0011, 0101 and 0111 is set.

-  Set Data Lock can be changed in both RUN and STOP mode.
-  Parameters protected by Set Data Lock function are still displayed for monitoring.

6.3 Autotuning (AT) Function

Autotuning (AT) automatically measures, calculates and sets the optimum PID and LBA constants. The following conditions are necessary to carry out autotuning and the conditions which will cause the autotuning to stop.



Caution for using the Autotuning (AT)

When a temperature change (UP and/or Down) is 1°C or less per minute during Autotuning, Autotuning may be cancelled before calculating PID values. In that case, adjust the PID values manually. It is possible to happen when the set value is around the ambient temperature or is close to the maximum temperature achieved by the load.

■ Requirements for AT start

Start the autotuning when all following conditions are satisfied:

- Prior to starting the AT function, end all the parameter settings other than PID and LBA.
- Confirm the LCK function has not been engaged.



When the autotuning is finished, the controller will automatically returns to PID control.

■ Requirements for AT cancellation

The autotuning is canceled if any of the following conditions exist.

- When the set value (SV) is changed.
- When the PV bias value is changed.
- When the RUN/STOP mode is changed to the STOP mode.
- When the PV becomes abnormal due to burnout.
- When the power is turned off.
- When power failure longer than 20 ms occurs.
- When the AT does not end in 9 hours after autotuning started.



If the AT is canceled, the controller immediately changes to PID control. The PID values will be the same as before AT was activated.



When AT is completed, the controller immediately changes to PID control. If the control system does not allow the AT cycling process, set each PID constant manually to meet the needs of the application.

6.4 Self-tuning (ST) Function

The ST function is used to automatically calculate and set adaptive PID constants anytime the power is turned on, the SV is changed or the controller detects unstable control conditions.



The ST function should be turned off when the controlled system is affected by rippling that occurs due to periodic external disturbances.



The power to the controlled system must be turned on before the power to the instrument is turned on or SV is changed. This is required when ST function is on.



To activate the ST function, the following parameters must not be set to zero: $P \neq 0$, $I \neq 0$, $D \neq 0$, $ARW \neq 0$.



When heat/cool PID action is selected, the ST function can not be activated.



When the AT function is activated, the ST function can not be turned on.



When the ST function is activated, the PID and ARW settings can be monitored, but not changed.

WARNING

Parameters in the Initialization mode should be set according to the application before setting any parameter related to operation. Once the Parameters in the Initialization mode are set correctly, those parameters are not necessary to be changed for the same application under normal conditions. If they are changed unnecessarily, it may result in malfunction or failure of the instrument. RKC will not bear any responsibility for malfunction or failure as a result of improper changes in the Initialization mode.

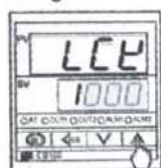
7.1 Go to Initialization Mode

1. Turn on the power to this controller. The instrument goes to the PV/SV display after confirming input type symbol and input range.
2. Press the SET key for two seconds to go to the Parameter Setting Mode from the PV/SV display.
3. Press the SET key until "LCK" (Set Data Lock display) will be displayed.
4. The high-lighted digit indicates which digit can be set. Press <R/S key to high-light the thousands digit. (The section in each image of the controller shows the digits which are not high-lighted.)



Set data lock function display

5. Press the UP key to change 0 to 1.



Set value
0: Initialization mode locked
1: Initialization mode unlocked

6. Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter, and the Initialization mode is unlocked.



CT1 input value display

The parameter displayed varies on the instrument specification.

7. Press the <R/S key for two seconds while pressing the SET key to go to the Initialization Mode. When the controller goes to the Initialization Mode, "Cod" will be displayed.



CT1 input value display



Initialize code selection display of initialization mode

Cod 0000	SL1 (Input type selection)	See P. 10
	SL2 (Temperature unit and cooling type selection)	See P. 10
	SL4 (Alarm 1 type selection)	See P. 10
	SL5 (Alarm 2 type selection)	See P. 10
	SL11 (SV alarm type selection)	See P. 11
Cod 0001	SLH (Setting limiter (high))	See P. 11
	SLL (Setting limiter (low))	See P. 11
	PGdP (Decimal point position)	See P. 11

7.2 Exit Initialization Mode

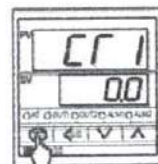
When any parameter setting is changed in the Initialization Mode, check all parameter set values in SV Setting Mode and Parameter Setting Mode.

1. Press the <R/S key for two seconds while pressing the SET key from any display in the Initialization Mode. The controller goes back to the operation mode and the PV/SV display will be displayed.
2. Press the SET key for two seconds in the PV/SV display.
3. Press the SET key until "LCK" (Set Data Lock display) will be displayed.
4. The high-lighted digit indicates which digit can be set. Press <R/S key to high-light the thousands digit. (The section in each image of the controller shows the digits which are not high-lighted.)
5. Press the DOWN key to change 1 to 0.



Set data lock function display

6. Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter, and the Initialization mode is locked.



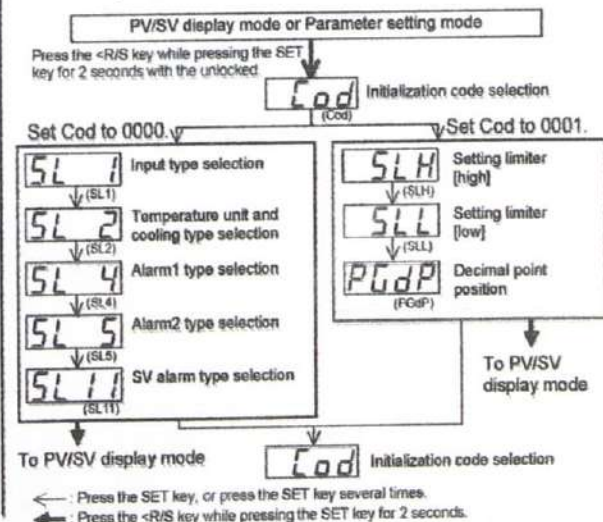
CT1 input value display

The parameter displayed varies on the instrument specification.

7.3 Initial Setting Menu

The "Cod" display will be displayed when the controller goes to the Initialization Mode.

Do not change to any parameter in the Initialization Mode which is not described in the initial setting menu above. It may result in malfunction or failure of the instrument.



7.4 Input Type Selection (SL1)

When any parameter setting is changed in the Initialization Mode, check all parameter set values in SV Setting Mode and Parameter Setting Mode.

Factory set value varies depending on the input type.

Set value	Input type	
0000	K	Thermocouple ¹ (TC)
0001	J	
0010	L	
0011	E	
0100	N	
0111	R	
1000	S	
1001	B ⁴	
1010	W5Re/W26Re ⁴	
1011	PL II	
0101	T	RTD ¹
0110	U	
1100	Pt100 Ω (JIS/IEC)	Voltage ¹
1101	JPt100 Ω (JIS)	
1110	0 to 5 V DC	
1111	0 to 10 V DC ²	Current ^{1,3}
1110	1 to 5 V DC	
1110	0 to 20 mA DC	
1111	4 to 20 mA DC	

¹ Any input change in TC&RTD Group is possible. Any input change in voltage¤t Group except for 0 to 10 V DC input is possible. No input change between TC&RTD Group and voltage¤t Group is possible.

² The input type of Z-1010 specification is fixed to 0 to 10 V DC due to the hardware difference.

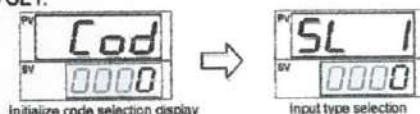
³ For the current input specification, a resistor of 250 Ω must be connected between the input terminals.

⁴ W5Re/W26Re and B are not available with Z-1021 specification (Modbus communication).

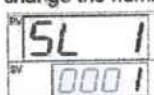
Change Settings

Example: Change the input type from "K" to "J"

- Set "Cod" to 0000, and press the SET key. The display will go to SL1.



- Press the UP key to change the number to 1.



- Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter.

7.5 Temperature Unit and Cooling Type Selection (SL2)

Inappropriate settings may result in malfunction. Control type between Heat Only and Heat/Cool cannot be changed by this parameter.

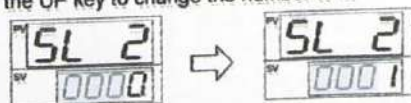
Factory set value varies depending on the instrument specification.

Set value	Description	
	Temperature unit	Cooling type selection
0000	°C	Air cooling (A type) or Heat only type (F, D type)
0001	°F	Air cooling (A type) or Heat only type (F, D type)
0010	°C	Water cooling (W type)
0011	°F	Water cooling (W type)

Change Settings

Example: Change the temperature unit of the Heat only type from "°C (0000)" to "°F (0001)"

- Press the SET key until SL2 is displayed.
- Press the UP key to change the number to 1.



- Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter.

7.6 Alarm 1 [ALM1] Type Selection (SL4) Alarm 2 [ALM2] Type Selection (SL5)

If the alarm function is not provided with the instrument when shipped from the factory, no alarm output is available by changing SL4 and/or SL5.

SL4 is set to 0000 in the following cases.

- When the instrument does not have ALM1 output
- When Control Loop Break Alarm (LBA) is provided and assigned to ALM1
- When the SV alarm is provided and assigned to ALM1

SL5 is set to 0000 in the following cases.

- When the instrument does not have ALM2 output
- When Control Loop Break Alarm (LBA) is provided and assigned to ALM2
- When the SV alarm is provided and assigned to ALM2
- When the Heater Break Alarm (HBA) is provided
- When the instrument has Z-168 specification

Factory set value varies depending on the instrument specification.

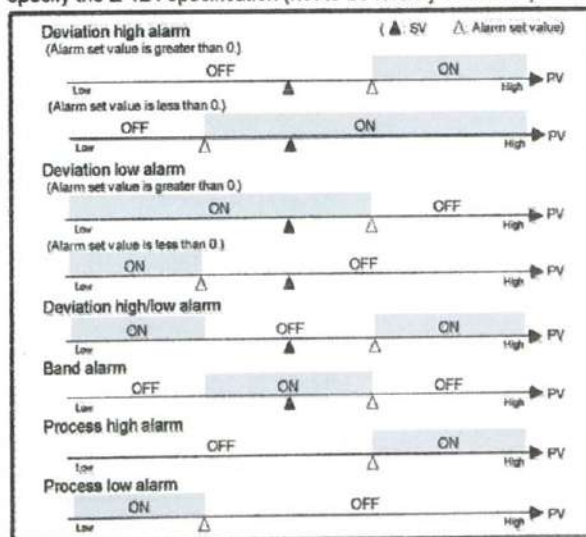
Set value	Details of setting
0000	No alarm
0001	Deviation high alarm
0101	Deviation low alarm
0010	Deviation high/low alarm
0110	Band alarm
0011	Process high alarm
0111	Process low alarm
1001	Deviation high alarm with hold action *
1101	Deviation low alarm with hold action *
1010	Deviation high/low alarm with hold action *
1011	Process high alarm with hold action *
1111	Process low alarm with hold action *

* Hold action:

When Hold action is ON, the alarm action is suppressed at start-up or the control set value change until the measured value enters the non-alarm range.

Alarm action type

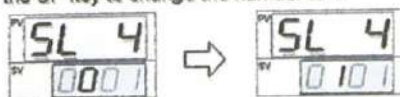
Both of the Alarm 1 and Alarm 2 outputs of this instrument are turned on when burnout occurs regardless of any of the following actions taken (High alarm, low alarm, etc.). In addition, when used for any purposes other than these alarms (event, etc.), specify the Z-124 specification (not to be forcibly turned on).



Change Settings

Example: Change the ALM1 type from "Deviation high alarm (0001)" to "Deviation low alarm (0101)"

- Press the SET key three times at SL1 until SL4 is displayed.
- Press the <R/S key to high-light the hundreds digit.
- Press the UP key to change the number to 1.



- Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter.

7.7 SV Alarm Type Selection (SL11)

For ALM1 setting, the first digit from the right is set to "0" in the following cases.

- When the instrument does not have ALM1 output.
- When the ALM1 output is used for process/deviation/ band alarm or Loop Break Alarm (LBA).

For ALM2 setting, the third digit from the right is set to "0" in the following cases.

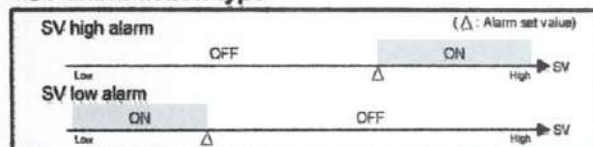
- When the instrument does not have ALM2 output.
- When the ALM1 output is used for process/deviation/ band alarm, Heater Break Alarm (HBA) or Loop Break Alarm (LBA).
- When Z-168 is specified.

To make SV alarm setting effective, set SL4 to "0000" when using ALM1 for SV alarm, or set SL5 to "0000" when using ALM2 for SV alarm. SL4 and SL5 have priority to SL11 setting.

Factory set value varies depending on the instrument specification.

Alarm	Details of setting	
Alarm 1 [ALM1]	0	SV alarm not provided
	1	SV alarm provided
	0	SV high alarm
	1	SV low alarm
Alarm 2 [ALM2]	0	SV alarm not provided
	1	SV alarm provided
	0	SV high alarm
	1	SV low alarm

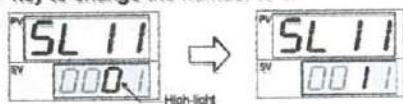
SV alarm action type



Change Settings

Example: Change the SV alarm type of the ALM1 from "SV high alarm (0001)" to "SV low alarm (0011)"

1. Press the SET key ten times at SL1 until SL11 is displayed.
2. Press the <R/S key to high-light the tens digit. Next, press the UP key to change the number to 1.



3. Press the SET key to store the new set value. The display goes to the initialize code parameter.

7.8 Setting Limiter [High] (SLH) Setting Limiter [Low] (SLL)

For voltage or current input, set scaling within the input range.

See Input range table (P. 12)

Factory set value varies depending on the instrument specification.

Input type	Setting range		
	Setting limiter [high]	Setting limiter [low]	
TC	K	SLL to 1372 °C SLL to 2502 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	J	SLL to 1200 °C SLL to 2192 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	R	SLL to 1769 °C SLL to 3216 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	S	SLL to 1820 °C SLL to 3308 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	B	SLL to 1000 °C SLL to 1832 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	N	SLL to 1300 °C SLL to 2372 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	T	SLL to 400.0 °C SLL to 752.0 °F	-199.9 to SLH °C -199.9 to SLH °F
	W5Re/W26Re	SLL to 2320 °C SLL to 4208 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
	PLII	SLL to 1390 °C SLL to 2534 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F

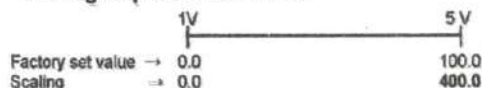
Factory set value varies depending on the instrument specification.

Input type	Setting range		
	Setting limiter [high]	Setting limiter [low]	
TC	U	SLL to 600.0 °C SLL to 999.9 °F	-199.9 to SLH °C -199.9 to SLH °F
	L	SLL to 900 °C SLL to 1652 °F	0 to SLH °C 0 to SLH °F
RTD	Pt100	SLL to 649.0 °C SLL to 999.9 °F	-199.9 to SLH °C -199.9 to SLH °F
	JPt100		
Voltage	0 to 5 V DC	SLL to 9999 (Programmable scale)	-1999 to SLH (Programmable scale)
	0 to 10 V DC *		
	1 to 5 V DC		
Current	0 to 20 mA DC		
	4 to 20 mA DC		

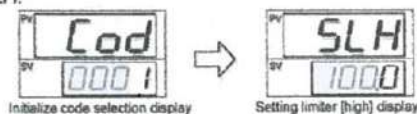
* Z-1010 specification

Change Settings

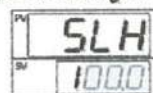
Example: When the display range is scaled to 0.0 to 400.0 for a voltage input of 1 to 5 V DC.



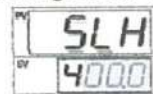
1. Set Cod to 0001, and press the SET key. The display will go to SLH.



2. The high-lighted digit indicates which digit can be set. Press <R/S key to high-light the first digit from the left.



3. Press the UP key to change the number to 4.



4. Press the SET key to store the new set value. The display goes to SLL.
5. Set SLL to 0.0.
6. Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter.

7.9 Decimal Point Position (PGdP)

Use to select a decimal point position of the input range (voltage input and current input). PGdP is displayed only for voltage or current input.

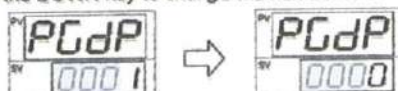
Inappropriate settings may result in malfunction.

Set value	Description
0000	No decimal place (□□□□)
0001	One decimal place (□□□.□) [Factory set value]
0002	Two decimal places (□□.□□)
0003	Three decimal places (□.□□□)

Change Settings

Example: Change the decimal point position from "One decimal place (0001)" to "No decimal place (0000)"

1. Press the SET key two times at SLH until PGdP is displayed.
2. Press the DOWN key to change the number to 0.



3. Press the SET key to store the new set value. The display goes to the next parameter.

■ Error display

Err	RAM failure (Incorrect set data write, etc.)	Turn off the power once. If an error occurs after the power is turned on again, please contact RKC sales office or the agent.
------------	--	---

■ Overscale and Underscale

Measured value (PV) [Flashing]	PV is outside of input range.	WARNING To prevent electric shock, always turn off the power before replacing the sensor. Check input type, input range, sensor and sensor connection.
0000 [Flashing]	Overscale: PV is above the high input display range limit.	
UUUU [Flashing]	Underscale: PV is below the low input display range limit.	

9. INPUT RANGE TABLE

Input type	Model code	Input type	Model code	Input type	Model code	Input type	Model code	Input type	Model code
0 to 200 °C	K' 01	0 to 800 °F	J' A1	0 to 1200 °C	N' 01	*2 -199.9 to +100.0 °C	U' 02	-100.0 to +100.0 °F	D' A4
0 to 400 °C	K' 02	0 to 1600 °F	J' A2	0 to 1300 °C	N' 02	0.0 to 400.0 °C	U' 03	-100.0 to +300.0 °F	D' A5
0 to 600 °C	K' 03	0 to 2102 °F	J' A3	0 to 2300 °F	N' A1	0 to 400 °C	L' 01	0.0 to 100.0 °F	D' A6
0 to 800 °C	K' 04	0 to 400 °F	J' A6	0 to 2372 °F	N' A2	-100.0 to +200.0 °F	U' A2	0.0 to 200.0 °F	D' A7
0 to 1000 °C	K' 05	0 to 300 °F	J' A7	-199.9 to +400.0 °C	T' 01	0.0 to 800.0 °F	U' A3	0.0 to 400.0 °F	D' A8
0 to 1200 °C	K' 06	0 to 1600 °C	R' 01	-199.9 to +100.0 °C	T' 02	0 to 400 °C	L' 01	0.0 to 500.0 °F	D' A9
0 to 1372 °C	K' 07	0 to 1769 °C	R' 02	-100.0 to +200.0 °C	T' 03	0 to 800 °C	L' 02	-100.0 to +600.0 °C	P' 01
0 to 100 °C	K' 13	0 to 1350 °C	R' 04	0.0 to 350.0 °C	T' 04	0 to 800 °F	L' A1	-199.9 to +200.0 °C	P' 02
0 to 300 °C	K' 14	0 to 3200 °F	H' A1	-199.9 to +252.0 °F	T' A1	0 to 1600 °F	L' A2	-100.0 to +50.0 °C	P' 03
0 to 450 °C	K' 17	0 to 3216 °F	R' A2	-100.0 to +200.0 °F	T' A2	-199.9 to +640.0 °C	D' 01	-100.0 to +100.0 °C	P' 04
0 to 500 °C	K' 20	0 to 1600 °C	S' 01	-100.0 to +400.0 °F	T' A3	-100.0 to +200.0 °C	D' 02	-100.0 to +200.0 °C	P' 05
0 to 800 °F	K' A1	0 to 1769 °F	S' 102	0.0 to 490.0 °F	T' A4	-100.0 to +50.0 °C	D' 03	0.0 to 50.0 °C	P' 06
0 to 1600 °F	K' A2	0 to 3200 °F	S' A1	0.0 to 752.0 °F	T' A5	-100.0 to +100.0 °C	D' 04	0.0 to 100.0 °C	P' 07
0 to 2502 °F	K' A3	0 to 3216 °F	S' A2	0.0 to 2000 °C	W' 01	-100.0 to +200.0 °C	D' 05	0.0 to 200.0 °C	P' 08
20 to 70 °F	K' A9	400 to 1800 °C	B' 01	-100.0 to 2300 °C	W' 02	0.0 to 50.0 °C	D' 06	0.0 to 300.0 °C	P' 09
0 to 200 °C	J' 01	0 to 1620 °F	B' 02	0 to 4000 °F	W' A1	0.0 to 100.0 °C	D' 07	0.0 to 500.0 °C	P' 10
0 to 400 °C	J' 02	800 to 3200 °F	B' A1	0 to 1300 °F	W' A1	0.0 to 200.0 °C	D' 08	0 to 5 V DC	4' 01
0 to 600 °C	J' 03	0 to 3308 °F	B' A2	0 to 1300 °C	A' 01	0.0 to 300.0 °C	D' 09	0 to 10 V DC	6' 01
0 to 800 °C	J' 04	0 to 800 °C	E' 01	0 to 1200 °C	A' 03	0.0 to 500.0 °C	D' 10	1 to 5 V DC	8' 01
0 to 1000 °C	J' 05	0 to 1000 °C	E' 02	0 to 2400 °F	A' A1	-199.9 to +999.9 °F	D' A1	0 to 20 mA DC	100.0
0 to 1200 °C	J' 06	0 to 1600 °F	E' A1	0 to 2534 °F	A' A2	-199.9 to +400.0 °F	D' A2	4 to 20 mA DC	H' 01
0 to 450 °C	J' 10	0 to 1832 °F	E' A2	U *2 -199.9 to +800.0 °C	U' 01	-199.9 to +200.0 °F	D' A3		

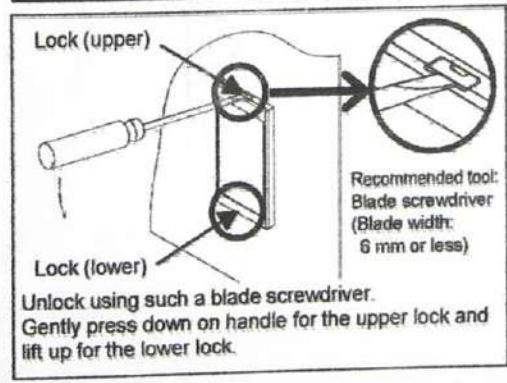
*1 0 to 399 °C/0 to 759 °F. Accuracy is not guaranteed.
 *2 -199.9 to -100.0 °C / -199.9 to -168.0 °F. Accuracy is not guaranteed.
 *3 This input type can not be selected in the Z-1021 specification.
 *4 2-1010 specification

10. REMOVING THE INTERNAL ASSEMBLY

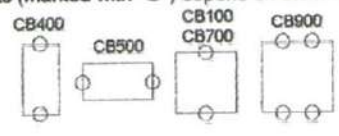
Usually, this instrument is not necessary to remove the internal assembly from the case. When removing the internal assembly without disconnecting the external wiring, take the following steps.

WARNING

- To prevent electric shock or instrument failure, only qualified personnel should be allowed to pull out the internal assembly.
- To prevent electric shock or instrument failure, always turn off the power before pulling out the internal assembly.
- To prevent injury or instrument failure, do not touch the internal printed wiring board.



- Apply pressure very carefully when removing internal assembly to avoid damage to the frame.
- To conform to IEC61010-1 requirements for protection from electric shock, the internal assembly of this instrument can only be removed with an appropriate tool.
- Unlocking points (marked with "O") depend on the model as follows:



The first edition: DEC. 2002 [JM00]
 The third edition: AUG. 2004 [JM00]

ภาคผนวก ข

เกียรติบัตรผลงานวิจัยและผลงานวิจัยที่ร่วมเสนอในงานประชุมวิชาการ

ภาคผนวก ข

เกียรติบัตรผลงานวิจัยและผลงานวิจัยที่ร่วมเสนอในงานประชุมวิชาการ



วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
SOUTHEAST BANGKOK COLLEGE

วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก พร้อมผู้การเปลี่ยนประเภทเป็น "มหาวิทยาลัย"

ที่ ซ.อ.บ. ๐๓๘ /๒๕๕๖

๒๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง แจ้งผลการนำเสนอบทความ ในการประชุมวิชาการระดับชาติ เบนจามิตรวิชาการ ครั้งที่ ๓

เรียน คุณบัณฑิตชาติ สุขบท

วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก ขอแสดงความยินดีที่บทความของท่าน เรื่อง "ระบบอบแห้งขยะมูลฝอยแบบวงดในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ" ได้ผ่านการประเมินคุณภาพบทความวิจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) และให้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ เบนจามิตรวิชาการ ครั้งที่ ๓ ในวันพุธที่ ๒๙ พฤษภาคม ๒๕๕๖ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ๗ รอบพระชนมพรรษา วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

วิทยาลัยฯ ขอให้ท่านได้จัดเตรียมเนื้อหาที่จะนำเสนอในรูปแบบ Power Point โดยใช้เวลาในการนำเสนอประมาณ ๒๐ นาที สำหรับกำหนดการ และลำดับในการนำเสนอ ท่านสามารถตรวจสอบได้จากเว็บไซต์ www.southeast.ac.th/benjamitr, www.itsoutheast.net ในวันที่ ๒๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ เป็นต้นไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.สมศักดิ์ รุ่งเรือง)

อธิการบดี

สำนักวิชาการ (ผู้ประสานงาน อ.เรณู จันทะวงศา)

โทร ๐-๒๗๔๔-๗๓๕๖ ต่อ ๒๐๖ - ๒๐๘

โทรสาร ๐-๒๓๙๘-๑๓๕๖

SBC

298 ถนนสรรพาวุธ แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260 โทร. 0-27447356-65 โทรสาร : 0-2398-1356
298 Sunpawoot Road, Bangna, Bangkok 10260 Tel. 0-27447356-65 Fax : 0-23981356
<http://www.southeast.ac.th> E-mail : info@southeast.ac.th

ภาคผนวก ค

ประกาศนียบัตรและวุฒิบัตรการอบรมสัมมนา
การจัดการเทคโนโลยีในต่างประเทศ



Ho Chi Minh City University of Education

CERTIFICATE

This is to certify that

Mr. Bodinchat Sukbot

Has successfully completed the course on

"Education Management Due to Technology Management"

Ho Chi Minh City, 17-18 October 2008

President
Ho Chi Minh City University of Education



Dr. Bach Van Hop



CERTIFICATE

**This is to certify that
Mr. Bodinchat Sukbot**

Bansomdejchaopraya Rajabhat University Thailand

Has successfully completed a workshop in

- Renewable Energy Technology at Innovation Academy e.V Freiburg
- Innovation and Technology for the National Development at Kemptem University
- Innovation and Technology for the National Development at Rosenheim University

Germany November 10 - 15 , 2009

**Loss Pedro-Horacio
ELWE Technik GmbH**

ELWE Technik GmbH
Ehemalsstraße 6
39162 Cremlingen
Tel : +49 53 003 93 00
Fax : +49 53 003 93 10 10

Faculty of Education

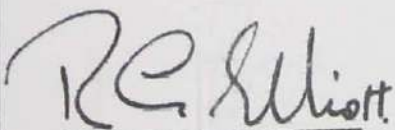
Certificate of Participation

awarded to

Mr. Bodinchat Sukbot

**ACADEMIC ENGLISH FOR
RESEARCH SEMINAR**

Brisbane, 14-18 April 2008



Associate Professor Bob Elliott

Assistant Dean (International & Engagement)

Faculty of Education

18 April 2008

Queensland University of Technology

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายบัณฑิตชาติ สุขบท
 วัน เดือน ปีเกิด : 25 สิงหาคม 2499
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 43/7 หมู่ 6 ต. คลองสอง อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี
 ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี

ประวัติการศึกษา :

พ.ศ. 2517 ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา (ปกศ.) วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 กรุงเทพมหานคร
 พ.ศ. 2522 ปริญญาตรี การศึกษามัธยมศึกษา (กศ.บ) สาขาฟิสิกส์
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม
 พ.ศ. 2530 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขา การสอนฟิสิกส์
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่