



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม A

สถานที่ จังหวัดราชบุรี

สภาพฟาร์ม

- เป็นฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ พื้นที่โดยรวมประมาณ 1,300 ไร่ อยู่ห่างจากชุมชน
- มีโรงเรือนสุกร 56 โรงเรือน เลี้ยงสุกรจำนวนทั้งหมด 75,000 ตัว
- ใช้แหล่งน้ำผิวดิน ขนาดรวม 75 ไร่ ความจุรวมประมาณ 1,200,000 ลบ.ม. สำหรับการอุปโภคภายในฟาร์ม
- มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ขนาด 350 กิโลวัตต์
- ต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะ บำบัดน้ำเสีย ผลิตพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์

การใช้พลังงานก่อนติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพ

- ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงกลางวัน ขนาดประมาณ 400 กิโลวัตต์
- ค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าประมาณ 500,000 บาท/เดือน

ประมาณการของเสีย

- สุกรพ่อพันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 250 กิโลกรัม จำนวน 400 ตัว
- สุกรแม่พันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 170 กิโลกรัม จำนวน 6,600 ตัว
- สุกรขุน น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม จำนวน 45,000 ตัว
- ลูกสุกรอนุบาล น้ำหนักเฉลี่ย 12 กิโลกรัม จำนวน 23,000 ตัว
- รวมสุกรจำนวนทั้งสิ้น 75,000 ตัว
- น้ำหนักสัตว์ขี้คอกโดยรวม 4,512,000 กิโลกรัม
- คิดเป็นหน่วยปศุสัตว์ 9,024 นปส.
- (1 นปส. = น้ำหนักสุกรขึ้นคอกรวมกัน 500 กิโลกรัม)
- มูลสด (M_c 65%) 95,000 กิโลกรัม/วัน
- ปัสสาวะ 197,000 ลิตร/วัน
- น้ำทำความสะอาดคอก 2,380,000 ลิตร/วัน
- รวมน้ำเสียที่เกิดขึ้น 2,577,000 ลิตร/วัน
- ประมาณน้ำเสีย 2,660,000 ลิตร/วัน
- TS ประมาณ 33,370 กิโลกรัม/วัน
- หรือ ประมาณ 15,200 มิลลิกรัม/ลิตร

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม A (ต่อ)

VS	ประมาณ	21,600	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	9,800	มิลลิกรัม/ลิตร
COD _t	ประมาณ	30,400	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	13,800	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD ₅	ประมาณ	15,200	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	6,900	มิลลิกรัม/ลิตร

งานเทคโนโลยีและออกแบบวิศวกรรม**ระบบรางและท่อส่งน้ำเสีย**

- รับน้ำเสีย 50 โรงเรือน จากบ่อรวบรวมน้ำเสียเดิมของฟาร์ม เป็นปริมาตร 2,200 ลูกบาศก์เมตร/วัน

ระบบก๊าซชีวภาพ**- บ่อรวมน้ำเสีย**

- ขนาดความจุ 140 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด
- ขนาดความจุ 65 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด

- บ่อ Buffer tank

- ขนาด 14 x 49 x 5.8 เมตร ความจุ 2,600 ลบ.ม.จำนวน 1 ชุด
- ความจุในการเก็บก๊าซ ประมาณ 3,500 ลูกบาศก์เมตร

- บ่อหมักแบบ H-UASB จำนวน

- ขนาด 10 x 40 x 6.6 เมตร ความจุรวม 12,000 ลูกบาศก์เมตร

- ฉาบกongของแข็ง

- ขนาดพื้นที่ 12,000 ตร.ม. จำนวน 1 ชุด

ระบบบำบัดขั้นหลัง

- **สระเปิด** จำนวน 30 ชุด พื้นที่รวม 310,000 ตร.ม.

ลึก 0.3 ม. ความจุ 93,000 ลูกบาศก์เมตร

ระยะเวลาบำบัด 42 วัน

- **สระพักและเก็บน้ำ** จำนวน

1 ชุด

- **พื้นที่เปิด** 13,900 ตร.ม. ลึก 10.0 เมตร ความจุ 120,000 ลูกบาศก์เมตร

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม A (ต่อ)

ระบบท่อส่งก๊าซและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- ระบบท่อส่งก๊าซ ความยาวทั้งสิ้น 100 เมตร
- ชุดเครื่องยนต์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส
ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 150 กิโลวัตต์ จำนวน 6 ชุด
ผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 300-400 กิโลวัตต์ ประมาณ 24 ชั่วโมง/วัน

ระบบสายส่งไฟฟ้าหลัก

- ระบบสายส่งไฟฟ้าระหว่างระบบไฟฟ้าหลักภายในฟาร์มกับไฟฟ้าจากระบบก๊าซชีวภาพแบบ 3 เฟส ที่รับภาระการรับ/ส่ง กำลังไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 500 กิโลวัตต์ ระยะทางประมาณ 200 ม.

ความคาดหวังจากการออกแบบระบบ

ด้านการผลิตพลังงาน

- ระบบก๊าซชีวภาพ (H-UASB 2,000 ลบ.ม. จำนวน 6 ชุด)

ผลิตก๊าซชีวภาพ ประมาณ	9,600	ลูกบาศก์เมตร/วัน
ส่วนประกอบ CH ₄	60-65	%

เทียบเท่า : ทดแทน

ก๊าซหุงต้ม	4,415	กิโลกรัม/วัน
น้ำมันดีเซล	5,760	ลิตร/วัน
น้ำมันเบนซิน	6,430	ลิตร/วัน
ฟืนไม้	14,400	กิโลกรัม/วัน
ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด	9,600	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน

- การผลิตพลังงานใช้ภายในฟาร์ม

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 400 กิโลวัตต์

ระยะเวลาที่ใช้ 24 ชั่วโมง/วัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ต้องการ 9,600 ลบ.ม./วัน

- พลังงานทดแทน

ทดแทนพลังงานไฟฟ้า	9,600	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน
คิดเป็นมูลค่า 28,800 บาท/วัน หรือ	10,512,000	บาท/ปี

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม A (ต่อ)

ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดมลภาวะ กลิ่น แมลงวัน

- ลดการแพร่กระจายของ CH_4 > 90 %

- บำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียจากคอกสัตว์	ปริมาณ	2,200	ลบ.ม./วัน
	COD _t	13,800	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅	6,900	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบก๊าซชีวภาพ	COD _t Removal	93	%
	BOD ₅ Removal	94	%
หรือ	COD _t ออกจากระบบ	1,000	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ออกจากระบบ	400	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบบำบัดขั้นหลัง	COD _t Removal	70	%
	BOD ₅ Removal	85	%
หรือ	COD _t ณ สระพักน้ำ	< 300	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ณ สระพักน้ำ	< 60	มิลลิกรัม/ลิตร
บำบัดน้ำเสียประมาณ		803,000	ลูกบาศก์เมตร/ปี

ผลิตภัณฑ์อินทรีย์

- ระบบก๊าซชีวภาพ จากลานกรองของแข็ง ความชื้น 15% ประมาณ 12,000 กิโลกรัม/วัน หรือ 4,380 ตัน/ปี

คิดเป็นมูลค่าตลาด ประมาณ 2,190,000 บาท/ปี

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม B

สถานที่ จังหวัดเชียงใหม่

ข้อมูลทั่วไป

- ขนาดระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (H-UASB, T-Phase)	4,200	ลูกบาศก์เมตร
- รongรับสุกรได้ (เทียบเท่าสุกรขุนน้ำหนักเฉลี่ย 60 กก./ตัว)	35,500	ตัว
- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	3,360	ลูกบาศก์เมตร/วัน

ข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซชีวภาพ

- ขนาดและจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า	530/1 และ 400/1	kVA/ลูก
- ชนิด ขนาดและจำนวนของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซ Induction Generator	128/4	กิโลวัตต์/ชุด
- ชื่อของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซ/ตัวแทนจำหน่าย		เจียมพัฒนาพลังงาน
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ณ สภาวะปกติ	91.5	ลบ.ม./ชม.
- อัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้า	1.4 : 1	kWh : ลบ.ม.
- กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย/ชุด	100.0	กิโลวัตต์
- การเชื่อมโยงชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในฟาร์ม		ขนานเข้าหม้อแปลง 400 kVA
- การใช้ไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ	จะใช้ใน โรงเรือนแบบเปิดและระบบก๊าซชีวภาพ	
- บ่อรวมน้ำเสีย 1 (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	5.9/2	
- บ่อรวมน้ำเสีย 2 (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	5.9/2	
- บ่อสูบน้ำเสีย (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	5.9/2	
- บ่อ H-UASB (สูบตะกอน) (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	1.5/2	
- ลานตาก (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	2/1	
- บึงประดิษฐ์ (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	1.5/2	
- สระสุดท้าย (ขนาด,kW/จำนวน, ตัว)	0.75/1	

ข้อมูลการทำงานของระบบ

- ปริมาณสุกรเลี้ยงยืนคอกเทียบเท่าสุกรขุนในปัจจุบัน	31,170	ตัว
- ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบในปัจจุบัน	800	ลูกบาศก์เมตร/วัน
- ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	3,300	ลูกบาศก์เมตร/วัน

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม C

สถานที่ จังหวัดเชียงใหม่

สภาพฟาร์ม

- พื้นที่ฟาร์มโดยรวมประมาณ 20 ไร่
- มีโรงเรือนสุกร 7 โรงเรือน เลี้ยงสุกรจำนวนทั้งหมด 3,300 ตัว
- มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ขนาด 30 กิโลวัตต์
- ต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะ บำบัดน้ำเสีย ผลิตพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์

การใช้พลังงานก่อนติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพ

- ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงกลางวัน ขนาดประมาณ 30-50 กิโลวัตต์
- ค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าประมาณ 28,800 บาท/เดือน

ประมาณการของเสีย

- สุกรพ่อพันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 250 กิโลกรัม จำนวน 16 ตัว
- สุกรแม่พันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 170 กิโลกรัม จำนวน 600 ตัว
- สุกรขุน น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม จำนวน 200 ตัว
- ลูกสุกรอนุบาล น้ำหนักเฉลี่ย 12 กิโลกรัม จำนวน 1,850 ตัว
- ลูกสุกรอนุบาล น้ำหนักเฉลี่ย 5 กิโลกรัม จำนวน 630 ตัว
- รวมสุกรจำนวนทั้งสิ้น 3,296 ตัว
- น้ำหนักสัตว์ขี้นคอกโดยรวม 143,350 กิโลกรัม
- คิดเป็นหน่วยปศุสัตว์ 287 นปส.
- (1 นปส. = น้ำหนักสุกรขี้นคอกรวมกัน 500 กิโลกรัม)

- มูลสด (M_c 65%) 3,080 กิโลกรัม/วัน
- ปัสสาวะ 7,500 ลิตร/วัน
- น้ำทำความสะอาดคอก 95,000 ลิตร/วัน
- รวมน้ำเสียที่เกิดขึ้น 102,500 ลิตร/วัน
- ประมาณน้ำเสีย 120,000 ลิตร/วัน

TS	ประมาณ	1,100	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	11,000	มิลลิกรัม/ลิตร
VS	ประมาณ	860	กิโลกรัม/วัน

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม B (ต่อ)

	หรือ ประมาณ	8,600	มิลลิกรัม/ลิตร
COD ₁	ประมาณ	1,200	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	12,000	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD ₅	ประมาณ	600	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	6,000	มิลลิกรัม/ลิตร

งานเทคโนโลยีและออกแบบวิศวกรรม**ระบบรางและท่อส่งน้ำเสีย**

- รับน้ำเสีย 7 โรงเรือน จากบ่อรวบรวมน้ำเสียเดิม
ของฟาร์ม เป็นปริมาณ 100-120 ลูกบาศก์เมตร/วัน

ระบบกักขังภาพ**- บ่อรวมน้ำเสีย**

- ขนาด 3.5 เมตร ลึก 4 เมตร ความจุ 36 ลูกบาศก์เมตร 1 ชุด
- ขนาดความจุ 65 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด

- บ่อ Buffer tank

- ขนาด 7 x 42 x 4 เมตร ความจุ 1,000 ลบ.ม.จำนวน 1 ชุด
- ความจุในการเก็บกัก ประมาณ 450 ลูกบาศก์เมตร

- บ่อหมักแบบ H-UASB จำนวน

- ขนาดกว้าง 7 เมตร ลึก 6.8 เมตร ความจุรวม 200 ลูกบาศก์เมตร

- ถานกรองของแข็ง

- ขนาดพื้นที่ 750 ตร.ม. จำนวน 1 ชุด

ระบบบำบัดขั้นหลัง

- **สระเปิด** จำนวน 6 ชุด พื้นที่รวม 1,250 ตร.ม. ความจุ 1,470 ลูกบาศก์เมตร
- **สระพักและเก็บน้ำ** จำนวน 1 ชุด
- **พื้นที่เปิด** 550 ตร.ม. ลึก 2.5 เมตร ความจุ 1,375 ลูกบาศก์เมตร

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม B (ต่อ)

การใช้ก๊าซชีวภาพ

- ชุดเครื่องยนต์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส
ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 15 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด
ผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 20-25 กิโลวัตต์

ความคาดหวังจากการออกแบบระบบ

ด้านการผลิตพลังงาน

- ระบบก๊าซชีวภาพ (H-UASB 2,000 ลบ.ม. จำนวน 6 ชุด)

ผลิตก๊าซชีวภาพ ประมาณ	380	ลูกบาศก์เมตร/วัน
ส่วนประกอบ CH ₄	60-65	%
- เทียบเท่า : ทดแทน
- | | | |
|--------------------|-----|-----------------------|
| ก๊าซหุงต้ม | 140 | กิโลกรัม/วัน |
| น้ำมันดีเซล | 180 | ลิตร/วัน |
| น้ำมันเบนซิน | 200 | ลิตร/วัน |
| ฟืนไม้ | 450 | กิโลกรัม/วัน |
| ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด | 300 | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน |

- การผลิตพลังงานใช้ภายในฟาร์ม

- | | |
|--|----------------|
| ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 30 กิโลวัตต์ | |
| ระยะเวลาที่ใช้ | 24 ชั่วโมง/วัน |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ต้องการ | 450 ลบ.ม./วัน |

- พลังงานทดแทน

- | | | |
|-----------------------------------|---------|-----------------------|
| ทดแทนพลังงานไฟฟ้า | 300 | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน |
| คิดเป็นมูลค่า 28,800 บาท/วัน หรือ | 328,500 | บาท/ปี |

ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดมลภาวะ กลิ่น แมลงวัน
- ลดการแพร่กระจายของ CH₄ > 95 %

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม B (ต่อ)

- บำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียจากคอกสัตว์	ปริมาณ	100-120	ลบ.ม./วัน
	COD _t	12,000	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅	6,000	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบก๊าซชีวภาพ	COD _t Removal	95	%
	BOD ₅ Removal	94	%
หรือ	COD _t ออกจากระบบ	600	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ออกจากระบบ	200	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบบำบัดขั้นหลัง	COD _t Removal	60	%
	BOD ₅ Removal	80	%
หรือ	COD _t ณ สระพักน้ำ	< 300	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ณ สระพักน้ำ	< 60	มิลลิกรัม/ลิตร
บำบัดน้ำเสียประมาณ		40,000	ลูกบาศก์เมตร/ปี

ผลิตภัณฑ์อินทรีย์

- ระบบก๊าซชีวภาพ จากลานกรองของแข็ง ความชื้น 15% ประมาณ 700 กิโลกรัม/วัน หรือ 250 ตัน/ปี

คิดเป็นมูลค่าคาดหวัง ประมาณ 127,750 บาท/ปี

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม D

สถานที่ จังหวัดชลบุรี

สภาพฟาร์ม

- พื้นที่ฟาร์มโดยรวมประมาณ 700 ไร่
- มีโรงเรือนสุกร 7 โรงเรือน เลี้ยงสุกรจำนวนทั้งหมด 3,300 ตัว
- มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ขนาด 350 กิโลวัตต์
- ต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะ บำบัดน้ำเสีย ผลิตพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์

การใช้พลังงานก่อนติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพ

- ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงกลางวัน ขนาดประมาณ 350 กิโลวัตต์
- ค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าประมาณ 70,000 บาท/เดือน

ประมาณการของเสีย

- สุกรขุน น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม จำนวน 6,000 ตัว
- น้ำหนักสัตว์ขี้้นคอกโดยรวม 360,000 กิโลกรัม
- คิดเป็นหน่วยปศุสัตว์ 720 นปส.
- (1 นปส. = น้ำหนักสุกรขี้้นคอกรวมกัน 500 กิโลกรัม)
- มูลสด (M_c 65%) 8,000 กิโลกรัม/วัน
- ปัสสาวะ 19,000 ลิตร/วัน
- น้ำทำความสะอาดคอก 135,000 ลิตร/วัน
- รวมน้ำเสียที่เกิดขึ้น 162,000 ลิตร/วัน
- ประมาณน้ำเสีย 160,000 ลิตร/วัน

TS ประมาณ 2,700 กิโลกรัม/วัน
หรือ ประมาณ 16,700 มิลลิกรัม/ลิตร

VS ประมาณ 2,100 กิโลกรัม/วัน
หรือ ประมาณ 13,000 มิลลิกรัม/ลิตร

COD_c ประมาณ 2,900 กิโลกรัม/วัน
หรือ ประมาณ 18,300 มิลลิกรัม/ลิตร

BOD_5 ประมาณ 1,500 กิโลกรัม/วัน
หรือ ประมาณ 9,200 มิลลิกรัม/ลิตร

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม D (ต่อ)

งานเทคโนโลยีและออกแบบวิศวกรรม

ระบบรางและท่อส่งน้ำเสีย

- รับน้ำเสีย 13 โรงเรือน จากบ่อรวบรวมน้ำเสียเดิม
ของฟาร์ม เป็นปริมาณ 160 ลูกบาศก์เมตร/วัน

ระบบก๊าซชีวภาพ

- บ่อรวมน้ำเสีย
ขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร ชุด
- บ่อ Buffer tank
ขนาด 1,000 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด
ความจุในการเก็บก๊าซ ประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตร
- บ่อหมักแบบ UASB จำนวน 2 ชุด
ขนาดกว้าง 7 เมตร ลึก 6.8 เมตร ความจุรวม 200 ลูกบาศก์เมตร
- ถานกรองของแข็ง
ขนาดพื้นที่ 1,000 ตร.ม. จำนวน 1 ชุด

ระบบบำบัดขั้นหลัง

- สระปรับสภาพ จำนวน 1 ชุด
- สระพักและเก็บน้ำ จำนวน 1 ชุด
- พื้นที่เปิด 3,940 ตร.ม. ความจุ 23,600 ลูกบาศก์เมตร

การใช้ก๊าซชีวภาพ

- ชุดเครื่องยนต์ผลิตพลังงาน ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส
เครื่องยนต์ขนาด 50 กิโลวัตต์ จำนวน 4 ชุด
กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด 50 กิโลวัตต์

ความคาดหวังจากการออกแบบระบบ

ด้านการผลิตพลังงาน

- ระบบก๊าซชีวภาพ (UASB)
ผลิตก๊าซชีวภาพ ประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตร/วัน
ส่วนประกอบ CH₄ 60-65 %

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม D (ต่อ)

เทียบเท่า : ทดแทน

ก๊าซหุงต้ม	230	กิโลกรัม/วัน
น้ำมันดีเซล	300	ลิตร/วัน
น้ำมันเบนซิน	340	ลิตร/วัน
ฟืนไม้	750	กิโลกรัม/วัน
ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด	350	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน

- การผลิตพลังงานใช้ภายในฟาร์ม

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด	350	กิโลวัตต์
ระยะเวลาที่ใช้	12	ชั่วโมง/วัน

- พลังงานทดแทน

ทดแทนพลังงานไฟฟ้า	500	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน
-------------------	-----	-----------------------

ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดมลภาวะ กลิ่น แมลงวัน
- ลดการแพร่กระจายของ CH₄ > 90 %

- บำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียจากคอกสัตว์	ปริมาณ	100	ลบ.ม./วัน
	COD ₁	18,300	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅	9,200	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบก๊าซชีวภาพ	COD ₁ ออกจากระบบ	1,300	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ออกจากระบบ	400	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบบำบัดขั้นหลัง	COD ₁ ณ สระพักน้ำ	1,300	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ณ สระพักน้ำ	400	มิลลิกรัม/ลิตร
บำบัดน้ำเสียประมาณ		58,400	ลบ.ม./ปี

ผลิตปุ๋ยอินทรีย์

- ระบบก๊าซชีวภาพ จากลานกรองของแข็ง ความชื้น 15% ประมาณ 1,000 กิโลกรัม/วัน หรือ 365 ตัน/ปี

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม ข

สถานที่ จังหวัดกำแพงเพชร

สภาพฟาร์ม

- พื้นที่ฟาร์มโดยรวมประมาณ 65 ไร่
- มีโรงเรือนสุกร 9 โรงเรือน เลี้ยงสุกรจำนวนทั้งหมด 4,200 ตัว
- มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ขนาด 40 กิโลวัตต์
- ต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะ บำบัดน้ำเสีย ผลิตพลังงานและปุ๋ยอินทรีย์

การใช้พลังงานก่อนติดตั้งระบบก๊าซชีวภาพ

- ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงกลางวัน ขนาดประมาณ 30-50 กิโลวัตต์
- ค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าประมาณ 31,000 บาท/เดือน

ประมาณการของเสีย

- สุกรพ่อพันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 250 กิโลกรัม จำนวน 20 ตัว
- สุกรแม่พันธุ์ น้ำหนักเฉลี่ย 170 กิโลกรัม จำนวน 750 ตัว
- สุกรขุน น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม จำนวน 260 ตัว
- ลูกสุกรอนุบาล น้ำหนักเฉลี่ย 12 กิโลกรัม จำนวน 2,350 ตัว
- ลูกสุกรอนุบาล น้ำหนักเฉลี่ย 5 กิโลกรัม จำนวน 810 ตัว
- รวมสุกรจำนวนทั้งสิ้น 4,390 ตัว
- น้ำหนักสัตว์ขี้้นคอกโดยรวม 182,050 กิโลกรัม
- คิดเป็นหน่วยปศุสัตว์ 364 นปส.
- (1 นปส. = น้ำหนักสุกรขี้้นคอกรวมกัน 500 กิโลกรัม)

- มูลสด (M_C 65%) 4,020 กิโลกรัม/วัน
- ปัสสาวะ 9,500 ลิตร/วัน
- น้ำทำความสะอาดคอก 95,000 ลิตร/วัน
- รวมน้ำเสียที่เกิดขึ้น 121,000 ลิตร/วัน
- ประมาณน้ำเสีย 120,000 ลิตร/วัน

TS	ประมาณ	1,000	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	10,000	มิลลิกรัม/ลิตร
VS	ประมาณ	900	กิโลกรัม/วัน

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม E (ต่อ)

	หรือ ประมาณ	9,000	มิลลิกรัม/ลิตร
COD _t	ประมาณ	1,200	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	12,000	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD ₅	ประมาณ	600	กิโลกรัม/วัน
	หรือ ประมาณ	6,000	มิลลิกรัม/ลิตร

งานเทคโนโลยีและออกแบบวิศวกรรม**ระบบรางและท่อส่งน้ำเสีย**

- รับน้ำเสีย 9 โรงเรือน จากบ่อรวบรวมน้ำเสียเดิม
ของฟาร์ม เป็นปริมาณ 120-150 ลูกบาศก์เมตร/วัน

ระบบก๊าซชีวภาพ**- บ่อรวมน้ำเสีย**

- ขนาด 3.5 เมตร ลึก 4 เมตร ความจุ 36 ลูกบาศก์เมตร 1 ชุด
- ขนาดความจุ 65 ลบ.ม. จำนวน 1 ชุด

- บ่อ Buffer tank

- ขนาด 7 x 42 x 4 เมตร ความจุ 1,000 ลบ.ม.จำนวน 1 ชุด
- ความจุในการเก็บก๊าซ ประมาณ 450 ลูกบาศก์เมตร

- บ่อหมักแบบ H-UASB จำนวน

- ขนาดกว้าง 7 เมตร ลึก 6.8 เมตร ความจุรวม 200 ลูกบาศก์เมตร

- ถานกรองของแข็ง

- ขนาดพื้นที่ 750 ตร.ม. จำนวน 1 ชุด

ระบบบำบัดขั้นหลัง

- สระเปิด จำนวน 8 ชุด พื้นที่รวม 1,670 ตร.ม. ความจุ 1,900 ลูกบาศก์เมตร
- สระพักและเก็บน้ำ จำนวน 1 ชุด
- พื้นที่เปิด 550 ตร.ม. ลึก 2.5 เมตร ความจุ 1,375 ลูกบาศก์เมตร

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม B (ต่อ)

การใช้ก๊าซชีวภาพ

- ชุดเครื่องยนต์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส
ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 15 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด
ผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 20-25 กิโลวัตต์

ความคาดหวังจากการออกแบบระบบ

ด้านการผลิตพลังงาน

- ระบบก๊าซชีวภาพ (H-UASB 2,000 ลบ.ม. จำนวน 6 ชุด)

ผลิตก๊าซชีวภาพ ประมาณ	480	ลูกบาศก์เมตร/วัน
ส่วนประกอบ CH_4	60-65	%

เทียบเท่า : ทดแทน

- | | | |
|--------------------|-----|-----------------------|
| ก๊าซหุงต้ม | 170 | กิโลกรัม/วัน |
| น้ำมันดีเซล | 230 | ลิตร/วัน |
| น้ำมันเบนซิน | 250 | ลิตร/วัน |
| ฟืนไม้ | 570 | กิโลกรัม/วัน |
| ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด | 310 | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน |

- การผลิตพลังงานใช้ภายในฟาร์ม

- | | | |
|--|-----|-------------|
| ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 30 กิโลวัตต์ | | |
| ระยะเวลาที่ใช้ | 24 | ชั่วโมง/วัน |
| ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ต้องการ | 470 | ลบ.ม./วัน |

- พลังงานทดแทน

- | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|
| ทดแทนพลังงานไฟฟ้า | 380 | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน |
| คิดเป็นมูลค่า 36,600 บาท/วัน หรือ | 41,720 | บาท/ปี |

ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดมลภาวะ กลิ่น แมลงวัน
- ลดการแพร่กระจายของ CH_4 > 95 %

ข้อมูลการสำรวจจากฟาร์ม E (ต่อ)

- บำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียจากคอกสัตว์	ปริมาณ	100-120	ลบ.ม./วัน
	COD _T	13,000	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅	6,500	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบก๊าซชีวภาพ	COD _T Removal	95	%
	BOD ₅ Removal	94	%
หรือ	COD _T ออกจากระบบ	600	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ออกจากระบบ	200	มิลลิกรัม/ลิตร
ระบบบำบัดขั้นหลัง	COD _T Removal	60	%
	BOD ₅ Removal	80	%
หรือ	COD ₅ ณ สระพักน้ำ	< 350	มิลลิกรัม/ลิตร
	BOD ₅ ณ สระพักน้ำ	< 65	มิลลิกรัม/ลิตร
บำบัดน้ำเสียประมาณ		51,000	ลูกบาศก์เมตร/ปี

ผลคูปูอินทรีย์

- ระบบก๊าซชีวภาพ จากลานกรองของแข็ง ความชื้น 15% ประมาณ 760 กิโลกรัม/วัน หรือ 270 ตัน/ปี

คิดเป็นมูลค่าคาดหวัง ประมาณ 138,700 บาท/ปี

ตาราง ก.1 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม A
(จากชุดเครื่องยนต์ 1 ใน 6 ชุด ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 150 kW)

ช่วงที่ 1 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,120 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	30.4	408	10.7	30.2	94.6	59	492
2	30.4	412	11.2	28.7	97.3	58	474
3	30.8	419	11.4	28.6	96.9	59	462
4	31.0	414	10.6	28.4	95.7	56	480
5	30.8	422	10.3	29.2	95.8	59	486
6	31.1	418	10.0	28.1	94.3	58	480
7	31.1	408	10.9	29.7	98.6	58	474
8	30.7	411	11.5	28.6	97.2	57	468
9	31.0	419	10.7	31.1	98.8	57	486
10	31.3	415	11.5	28.6	93.5	58	480
เฉลี่ย	30.9	414.6	10.9	29.1	96.3	58	478.2

ช่วงที่ 2 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 931 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.5	412	10.6	31.2	95.0	51	498
2	31.7	421	10.7	30.0	95.8	49	498
3	32.4	415	11.4	30.6	93.2	48	462
4	31.6	427	10.9	28.7	94.0	48	486
5	31.0	411	11.2	30.1	88.6	49	480
6	30.8	420	10.5	29.5	88.7	47	504
7	31.6	420	10.4	30.7	90.4	47	480
8	32.0	415	10.2	30.6	89.5	46	486
9	31.7	416	10.9	31.1	90.2	49	474
10	31.7	416	10.6	30.4	88.8	48	492
เฉลี่ย	31.6	417.3	10.7	30.3	91.4	48	486.0

ตาราง ก.1 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม A (ต่อ)

ช่วงที่ 3 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,078 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.6	418	10.4	29.9	98.7	48	486
2	32.4	415	10.2	30.4	95.3	47	468
3	32.7	412	10.7	29.8	96.8	51	468
4	32.7	417	11.3	29.9	99.7	47	468
5	33.1	409	11.0	30.7	98.4	50	492
6	32.6	411	10.6	29.2	94.2	49	486
7	32.5	419	10.1	28.7	96.7	47	474
8	33.1	417	10.0	30.5	97.0	48	492
9	33.9	418	10.2	29.6	98.4	48	486
10	33.5	418	10.4	29.2	97.9	51	486
เฉลี่ย	32.8	415.4	10.5	29.8	97.3	49	480.6

หมายเหตุ : ข้อมูลในช่อง Power เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมทุกชุดเครื่องยนต์
ส่วนในช่องอื่นๆ เป็นข้อมูลของหนึ่งชุดเครื่องยนต์

ตาราง ก.2 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม B

(เครื่องชนิดจำนวน 4 ชุด มีขนาดกำลังผลิตสูงสุด 128 kW/ชุด ; เดิน 2 ชุด สํารองไว้ 2 ชุด)

ช่วงที่ 1 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,066 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.1	346	8.6	30.7	85.3	54	122
2	31.1	352	8.2	31.1	89.0	49	122
3	31.0	351	8.4	30.8	89.4	53	120
4	31.0	354	7.8	30.7	87.0	56	122
5	31.5	349	8.3	31.2	84.7	54	119
6	31.7	347	8.1	31.6	88.0	52	120
7	31.5	348	8.1	29.4	89.1	56	122
8	30.7	350	7.9	31.4	87.4	55	122
9	31.7	346	7.9	29.7	85.3	55	121
10	31.3	345	8.3	39.7	84.1	54	122
เฉลี่ย	31.3	348.8	8.2	31.6	86.9	54	121.2

ช่วงที่ 2 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 925 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	32.2	347	8.1	28.6	82.6	54	120
2	31.7	344	8.1	28.7	87.1	53	119
3	32.4	346	7.6	30.2	85.2	50	119
4	32.4	340	8.0	28.9	85.3	49	117
5	32.7	348	7.9	29.4	86.0	52	118
6	32.4	349	7.8	29.5	81.2	53	117
7	33.0	344	8.0	29.6	79.4	51	120
8	33.2	342	7.4	30.4	83.4	53	119
9	33.2	346	7.7	30.0	82.0	53	117
10	33.4	346	7.4	29.1	81.7	53	117
เฉลี่ย	32.7	345.2	7.8	29.4	83.4	52	118.3

ตาราง ก.2 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม B (ต่อ)

ช่วงที่ 3 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,015 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.9	347	7.9	32.3	82.1	55	118
2	32.4	351	7.8	31.0	84.3	54	117
3	32.4	350	8.1	30.9	78.5	55	117
4	31.6	346	8.6	29.7	80.6	55	119
5	31.7	352	8.1	31.1	80.4	51	120
6	32.5	349	7.8	30.8	79.8	54	117
7	32.7	348	7.8	31.5	81.6	53	116
8	32.7	352	8.2	32.7	82.6	55	116
9	32.5	353	7.4	32.1	84.0	52	118
10	32.2	350	7.6	32.5	80.8	52	117
เฉลี่ย	32.3	349.8	7.9	31.5	81.5	54	117.5

หมายเหตุ : ข้อมูลในช่อง Power เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมทุกชุดเครื่องยนต์
ส่วนในช่องอื่นๆ เป็นข้อมูลของหนึ่งชุดเครื่องยนต์

ตาราง ก.3 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม C
(เครื่องยนต์จำนวน 2 ชุด มีขนาดกำลังผลิตสูงสุด 15 kW/ชุด)

ช่วงที่ 1 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,066 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.1	224	3.2	28.7	72.3	61	22
2	31.1	216	3.2	32.9	76.1	62	22
3	31.0	230	3.2	29.1	72.6	63	22
4	31.0	241	3.1	29.9	72.4	58	21
5	31.5	238	3.2	30.5	69.8	58	22
6	31.7	225	3.1	31.0	72.0	62	22
7	31.5	236	3.1	30.5	76.2	60	23
8	30.7	228	3.1	28.7	75.7	60	22
9	31.7	230	3.1	28.8	71.0	62	23
10	31.3	219	3.1	30.4	73.3	62	22
เฉลี่ย	31.3	228.7	3.1	30.1	73.1	61	22.1

ช่วงที่ 2 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 925 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	32.2	226	3.0	30.4	75.5	63	22
2	31.7	234	3.0	30.0	73.6	63	22
3	32.4	235	2.9	29.6	74.6	62	21
4	32.4	233	2.9	28.7	75.9	60	21
5	32.7	226	3.0	29.6	71.6	60	21
6	32.4	231	3.0	29.5	74.3	62	22
7	33.0	229	2.9	31.2	75.0	60	22
8	33.2	229	2.8	32.8	78.1	59	22
9	33.2	228	2.8	30.7	74.6	62	22
10	33.4	226	2.8	31.4	74.8	58	22
เฉลี่ย	32.7	229.7	2.9	30.4	74.8	61	21.7

ตาราง ก.3 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของฟาร์ม C (ต่อ)

ช่วงที่ 3 (ความดันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,015 mbar)

ครั้งที่	T _{ambient} (°C)	T _{fluegas} (°C)	V _{biogas} (m/s)	CO ₂ (%)	RH (%)	Air _E (%)	Power (kW)
1	31.9	231	3.3	28.9	71.0	53	23
2	32.4	231	3.4	31.2	75.6	53	22
3	32.4	230	3.3	30.4	71.2	52	22
4	31.6	228	3.3	31.4	72.2	48	23
5	31.7	233	3.2	32.0	74.0	52	22
6	32.5	227	3.1	29.7	71.6	49	22
7	32.7	238	3.2	31.0	73.8	51	23
8	32.7	234	3.1	30.7	73.9	53	21
9	32.5	236	3.1	29.6	74.4	53	23
10	32.2	225	3.1	30.7	77.6	52	22
เฉลี่ย	32.3	231.3	3.2	30.6	73.5	52	22.3

หมายเหตุ : ข้อมูลในช่อง Power เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมทุกชุดเครื่องยนต์
ส่วนในช่องอื่นๆ เป็นข้อมูลของหนึ่งชุดเครื่องยนต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.4 Absorption Chiller Specifications

Custom Type 100-240RT, Standard Energy-Saving Type and Standard Specifications

Capa.	Maximum Cooling		USRT(*1)	100	120	150	180	200	240
	Maximum Heating		kcal/h	277000	332000	416000	499000	554000	665000
Chilled/Hot Water	Chilled Water Temp.		°C	Inlet 12 °C Outlet 7 °C					
	Hot Water Temp.		°C	Inlet 90 °C Outlet 85 °C					
	Flow Rate		m ³ /h	60	73	91	109	121	145
	Pressure Loss		mAq	4.9	4.9	5.4	6.0	4.2	4.3
	Holding Water Quantity in Operation		m ³	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23
Cooling Water	Temperature		°C	Inlet 32 °C Outlet 37.4 °C					
	Flow Rate		m ³ /h	100	120	150	180	200	240
	Pressure Loss		mAq	5.3	8	6.1	9.3	6.6	10.0
	Holding Water Quantity in Operation		m ³	0.27	0	0.36	0.42	0.45	0.53
Fuel Relations	Fuel	Maximum Cooling	kcal/h	301700 (271600)	362000 (325900)	452600 (407300)	543000 (488800)	603500 (543100)	720000 (651700)
		Consumption (*2)	Maximum Heating	kcal/h	324000 (291600)	388,800 (350000)	486000 (437400)	583200 (524900)	648000 (583200)
	6C Gas (H _H =4500 kcal/Nm ³)	Cooling	Nm ³ /h	67.1	80.5	100.6	120.7	134.2	161.0
		Heating	Nm ³ /h	72.0	86.4	108.0	129.6	144.0	172.8
	6B Gas (H _H =5000 kcal/Nm ³)	Cooling	Nm ³ /h	60.4	72.4	90.6	108.6	120.7	144.9
		Heating	Nm ³ /h	64.8	77.8	97.2	116.7	129.6	144.9
	13A Gas (H _H =11000 kcal/Nm ³)	Cooling	Nm ³ /h	27.5	33.0	41.2	49.4	54.9	65.9
		Heating	Nm ³ /h	29.5	35.4	44.2	53.1	59.0	70.7
	Combustion Air (*3)		m ³ /h	425	510.0	638	765	850	1020
	Exhaust Gas (*4)		m ³ /h	700	840.0	1050	1260	1400	1680
Electric Requirements	Electric Source			3 Phase 200 Volt 50/60 Hz					
	Capa. of Elec. Source 50/60 Hz		KVA	7.8/7.5	8/7.5	8/7.8	9.9/9.7	10.9/10.5	10.9/10.5
	Ampere 50/60 Hz		A	23.6/22.8	24.5/23.8	24.5/23.9	29.9/29.2	32.6/31.7	32.6/31.8
	Size of Elec. Wiring		mm ²	5.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	Electric Capa. For Control		KVA	0.6					
Piping Size	Inlet/Outlet of Chilled/Hot Water		A	100	100	125	125	150	150
	Inlet/Outlet of Cooling Water		A	125	125	150	150	200	200
	Inlet of Fuel (*5)		A	50	50	50	50	50	50
	Connection for Exhaust Gas		mm	329x329	362x362	388x388	417x417	441x441	501x501
Dimensions	Length (L)		mm	3012	3,212	3644	4152	4514	5324
	Width (W)		mm	1485	1485	1485	1610	1610	1610
	Height (H)		mm	2184	2184	2184	2250	2250	2250
Weight	Weight in Operation		ton	4.8	5.3	6.1	7.1	7.6	8.6
	Weight at Installation		ton	4.4	4.9	5.6	6.5	7.0	7.9
High Temp. Generator Heating Surface		m ²	2.2	2.3	2.6	3.6	3.7	4.1	

*1 IUSRT means 3024 kcal/h.

*2 Higher calorific value is shown without bracket and lower calorific value is shown in brack.

*3 The minimum required air flow rate at the atmospheric temperature of 25 °C is shown.

*4 The exhaust gas flow rate at the temperature of 180 °C is shown.

*5 This table shows the case of 13A gas low pressure supply.

ตาราง ก.5 Absorption Chiller Detail (Capacity 120 TR)

POWERED BY	HOT W	DIRECT FIRED	STEAM
CHILLED W TEMP C	7	7	7
F	44.6	44.6	44.6
Chilled W in Temp. C	12	12	12
F	140	140	140
HOT W C	90	90	90
F	194	194	194
Hot W Out Temp. C	85	85	85
F	185	185	185
HOT W PUMP KW	3.09		
KW CHILLER TOTAL	6.58	6.58	6.58
AUX EQUIP	WASTE HX	STACK	WASTE HSG
CHILLER PRICE	\$191,800	\$82,200	\$95,900
TOTAL INITIAL INSTALLED	\$252,600	\$145,936.71	\$166,485.71
MAINTENANCE	\$5,288.2 / YEAR	\$10,412 / YEAR	\$5,288.2 / YEAR
LI-BR REPLACE	\$1200 / 5 YEAR	\$1200 / 5 YEAR	\$1200 / 5 YEAR
LIFE TIME YEARS	25	25	25

1. Max. Demand reduction is not considered.

2. Absorption Chiller Heat Ex. Replacement Free is not included.

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved

Performance Data

Figure PD-1 – ABTF Capacity vs. Chilled Water Supply Temperature at Various Cooling Water Supply Temperatures

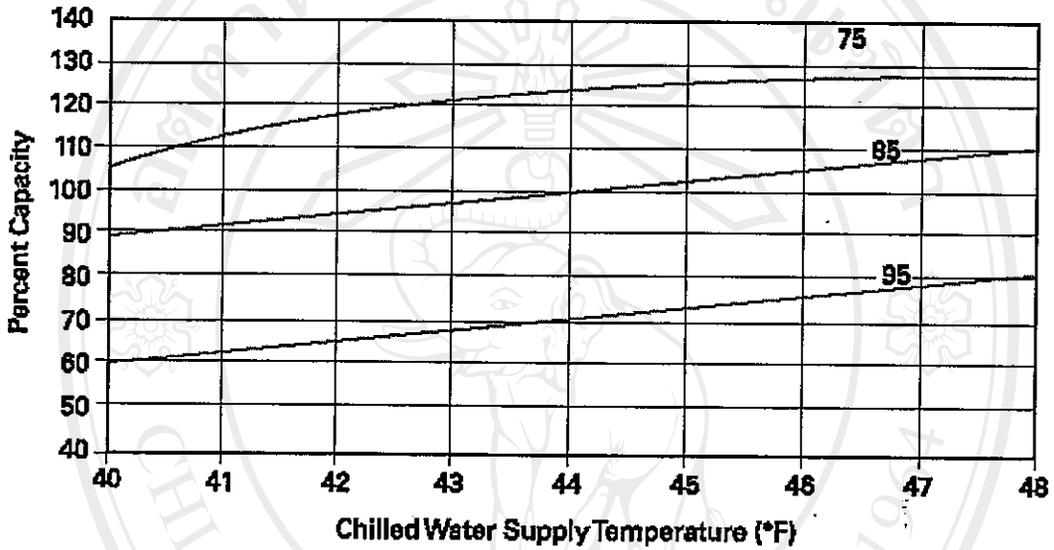
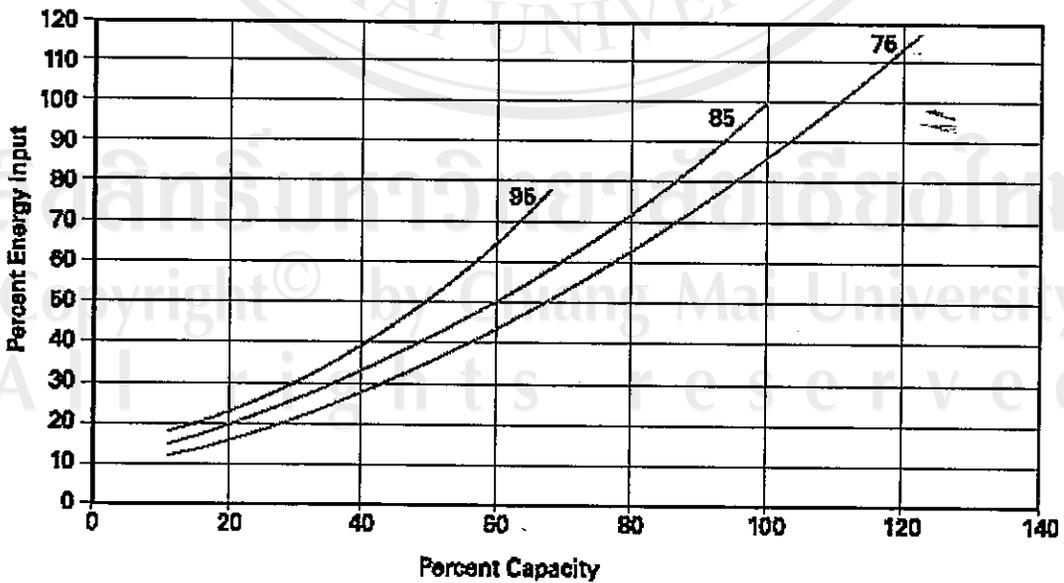


Figure PD-2 – ABTF Part Load Performance – Energy Input vs. Capacity at Various Cooling



Performance Data

Table PD — Performance Data at Trane Rated Conditions

English Units*						
Model	Capacity (Tons)	Coefficient of Performance	Hot Water		Cond/Abs Water	
			Flow Rate (gpm)	Press. Drop (ft Wtr)	Flow Rate (gpm)	Pr. Drop (ft Wtr)
ABTF-100	98	1.13	261	8.2	540	11.7
ABTF-120	119	1.13	308	8.2	611	11.7
ABTF-150	136	1.13	396	6.3	833	18.5
ABTF-200	180	1.15	529	5.7	1060	16.0
ABTF-240	232	1.15	536	6.9	1079	18.2
ABTF-300	289	1.15	513	6.9	1211	18.8
ABTF-380	334	1.18	665	8.2	1368	21.7
ABTF-440	395	1.18	787	8.7	1584	25.0
ABTF-500	457	1.19	909	9.3	1800	28.5
ABTF-575	517	1.19	1029	15.7	2070	16.0
ABTF-660	611	1.19	1216	16.9	2376	17.2
ABTF-750	710	1.19	1413	18.3	2700	18.8
ABTF-850	843	1.21	1679	7.9	3060	11.0
ABTF-950	951	1.21	1893	11.0	3420	14.5
SI Units**						
Model	Capacity (kW)	Coefficient of Performance	Chilled Water		Cond/Abs Water	
			Flow Rate (m ³ /hr)	Press. Drop (m wg)	Flow Rate (m ³ /hr)	Pr. Drop (m wg)
ABTF-100	98	1.13	60	2.7	123	3.8
ABTF-120	119	1.13	70	2.7	139	3.8
ABTF-150	136	1.13	90	1.9	189	6.0
ABTF-200	180	1.15	120	2.1	241	5.2
ABTF-240	232	1.15	145	2.3	245	5.9
ABTF-300	289	1.15	161	2.3	275	6.2
ABTF-380	334	1.18	151	2.7	311	7.1
ABTF-440	395	1.18	179	2.9	360	8.2
ABTF-500	457	1.19	206	3.1	409	9.4
ABTF-575	517	1.19	234	5.2	470	5.2
ABTF-660	611	1.19	276	5.5	540	5.6
ABTF-750	710	1.19	321	6.0	613	6.2
ABTF-850	843	1.21	381	2.6	695	3.6
ABTF-950	951	1.21	430	3.6	777	4.8

*English:

3.6 gpm/nominal ton, P_{stm} = 120 psig, T_{ctwS} = 85 F, T_{cwS} = 44 F, T_{owR} = 54 F, 0.0001 Evaporator fouling and 0.00025 Absorber/ Condenser fouling.

**Metric:

.26 m³/kWh, P_{stm} = 120 psig, T_{ctwS} = 29.44 C, T_{cwS} = 6.67 C, T_{owR} = 12.2 C, 0.0001 Evaporator fouling and 0.00025 Absorber/ Condenser fouling.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข1. รายละเอียดของ โครงสร้างผนังกลุ่มต่างๆ

Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U-Value Btu/(hr-ft ² -F)	Heat Capacity Btu/(ft ² -F)
4-in. Face Brick+(Brick)				
C	Air Space+4-in. Face Brick	83	0.358	18.1
D	4-in. Common Brick	90	0.415	18.4
C	1-in. Insulation or Air space+4-in. Common Brick	90	0.174-0.301	18.4
B	2-in. Insulation+4-in. Common Brick	88	0.111	18.5
B	8-in. Common Brick	130	0.302	26.4
A	Insulation or Air space+8-in. Common Brick	130	0.154-0.243	26.4
4-in. Face Brick+(H. W. Concrete)				
C	Air Space+2-in. Concrete	94	0.350	19.7
B	2-in. Insulation+4-in. concrete	97	0.116	19.8
A	Air Space or Insulation+8-in. or more Concrete	143-190	0.110-0.112	29.1-38.4
4-in. Face Brick+(L. W. or H. W. Concrete Block)				
E	4-in. Block	62	0.319	12.9
D	Air Space or Insulation+4-in. Block	62	0.153-0.246	12.9
D	8-in. Block	70	0.274	15.1
C	Air Space or 1-in. Insulation+6-in. or 8-in. Block	73-89	0.221-0.275	15.5-18.5
B	2-in. Insulation+8-in. Block	89	0.096-0.107	15.5-18.6
4-in Face Brick+(Clay Tile)				
D	4-in. Tile	71	0.381	15.1
D	Air Space+4-in. Tile	71	0.281	15.1
C	Insulation+4-in. Tile	71	0.169	15.1
C	8-in. Tile	96	0.275	19.7
B	Air Space or 1-in. Insulation+8-in. Tile	96	0.142-0.221	19.7
A	2-in. Insulation+8-in. Tile	97	0.097	19.8
H.W. Concrete Wall+(Finish)				
E	4-in. Concrete	63	0.585	12.5
D	4-in. Concrete+1-in. or 2-in. Insulation	63	0.119-0.200	12.5
C	2-in. Insulation+4-in. Concrete	63	0.119	12.7
C	8-in. Concrete	109	0.490	21.9
B	8-in. Concrete+1-in. or 2-in. Insulation	110	0.115-0.187	22.0
A	2-in. Insulation+8-in. Concrete	110	0.115	21.9
B	12-in. Concrete	156	0.421	31.2
A	12-in. Concrete+Insulation	156	0.113	31.3
L.W. and H.W. Concrete Block+(Finish)				
F	4-in. Block+Air Space/Insulation	29-36	0.161-0.263	5.7-7.2
E	2-in. Insulation+4-in. Block	29-37	0.105-0.114	5.8-7.3
E	8-in. Block	41-57	0.294-0.402	6.3-11.3
D	8-in. Block+Air Space/Insulation	41-57	0.149-0.173	8.3-11.3
Clay Tile+(Finish)				
F	4-in. Tile	39	0.419	7.8
F	4-in. Tile+Air space	39	0.303	7.8
E	4-in. Tile+1-in. Insulation	39	0.175	7.9
D	2-in. Insulation+4-in. Tile	40	0.110	7.9
D	8-in. Tile	63	0.296	12.5
C	8-in. Tile+Air Space/1-in. Insulation	63	0.151-0.231	12.6
B	2-in. Insulation+8-in. Tile	63	0.099	12.6
Metal Curtain Wall				
G	With/without Air Space+1-in./2-in./3-in. Insulation	5-6	0.091-0.230	0.7
Frame Wall				
G	1-in. to 3-in. Insulation	16	0.081-0.178	3.2

Reprinted with permission from the 1977 *Fundamentals*, ASHRAE Handbook & Product Directory.

All rights reserved

ตาราง ข2. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ค่า U วัตต์/(ตารางเมตร-องศา เซลเซียส)
21	ดินอัดหลวม (ร่วนซุย) ความชื้น 14%	0.375
22	หิน	
	หินทราย	1.298
	แกรนิต	2.927
	หินอ่อน	1.298
23	กระเบื้องหลังคา	0.836
24	ไม้	
	ไม้เนื้ออ่อน	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	0.138
	ไม้อัด	0.138
25	เวอร์มิกิวไลต์แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	0.065
26	ไม้อัดชิปบอร์ด	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	0.086
28	หินล้าง, กรวดล้าง	0.115

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ตาราง ข3. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหน้าต่าง โปร่งแสงและ/หรือผนัง โปร่งแสง,
Btu/(h-ft²-°F)

WINDOWS & DOORS-glass (See Note 6)	Summer	Winter	DOORS-wood or metal	Summer	Winter
	single	1.04		1.10	1 1/2 in. wood
single + storm	.50	.50	same + wood storm	--	.27
double, 1/4 in. air space	.61	.58	same + metal storm	--	.33
			1 3/4 in. metal-urethane core	.18	.19

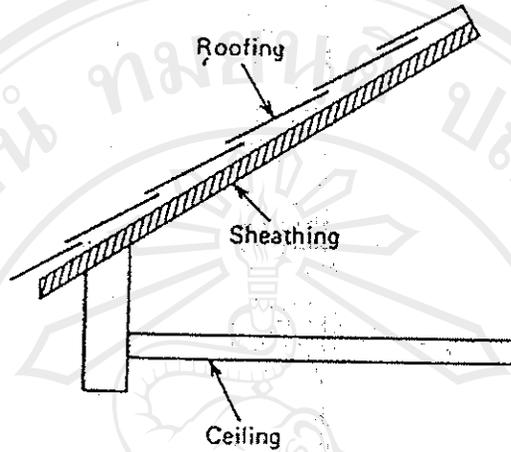
WALLS & FLOORS—below grade (See Note 2)	Wall	Floor
		.20

CONCRETE FLOORS—at grade. Heat Loss Per Foot Edge (See Note 3)					
Outdoor design temperature, F	-20 to -30	-10 to -20	0 to -10	10 to 0	15 to 10
Heat loss, BTU/hr per ft edge	50	45	40	35	30

ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. (2546). การทำความเย็นและการปรับอากาศ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแบบมีช่องว่างอากาศและ/หรือเพดาน,
Btu/(h-ft²-°F)



PITCHED ROOF-CEILING (Attic with Natural Ventilation)		Heat Flow Up or Down Ceiling Type A, B, C, or E		
		Insul. Resist.		
Roof	Sheathing	R-8	R-12	R-19
shingle or slate or tile	wood or plywood	.09	.06	0.04

ชูชัย ค.ศิริวัฒนา. (2546). การทำความเย็นและการปรับอากาศ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข5. ความแตกต่างอุณหภูมิผิผนังระหว่างภายนอกและภายในอาคาร, °F

North Latitude Wall Facing	Solar Time, hr																								Hr of Max- imum CLTD	Min- imum CLTD	Max- imum CLTD	Differ- ence CLTD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	14	14	14	13	11	11	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	2	15	20	5	
E	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	2	18	23	7	
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	24	2	18	24	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	2	14	20	6	
SW	23	23	23	24	24	23	22	21	20	19	19	19	19	17	17	17	17	18	19	20	21	21	21	21	2	14	20	6	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	18	19	20	22	23	23	23	1	18	23	8	
NW	21	21	21	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7	
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	9	9	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	23	24	20	20	15	27	12
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	22	23	24	25	26	26	25	24	21	21	21	14	26	12
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	21	21	11	22	11
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	24	24	13	28	15
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	24	16	30	16
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	23	23	24	24	11	23	12	
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	16	22	7	17	10	
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	21	22	24	25	26	27	27	26	23	22	21	20	20	10	23	13
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	29	28	27	26	24	18	18	18	12	30	18
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	19	12	29	17
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	26	25	24	21	20	20	9	26	17
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	35	35	34	31	30	32	11	33	22
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	32	31	32	12	35	23
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17	
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	10	12	13	15	17	18	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	25	27	29	29	30	30	29	28	26	24	22	19	19	7	25	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	19	16	8	33	25
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	17	8	32	24
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	15	20	24	27	29	29	29	28	26	24	22	17	17	6	29	23
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	21	8	38	30
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	21	9	41	32
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	22	10	27	17
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	32	19	
NE	14	11	9	7	6	4	3	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	32	31	30	28	26	24	22	5	38	33	
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	32	31	30	28	26	24	22	5	37	32	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	32	31	31	29	26	23	20	17	15	5	34	31	
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40	
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	6	38	33	
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	24	23	20	16	13	11	19	1	24	23
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	11	1	30	29	
E	10	7	6	4	3	2	4	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	12	2	43	41	
S	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	10	10	1	39	38	
SW	15	11	9	6	5	3	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	21	18	15	12	2	53	51	
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57	
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	38	32	28	24	20	3	46	44	
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	-9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27	
NE	3	2	1	0	-1	9	27	35	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	-1	39	40	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	-1	55	56	
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	33	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	-1	51	53	
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	-1	46	47	
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63	
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	13	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	12	1	72	71	
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	41	53	55	41	25	17	13	10	7	18	0	57	55		

Reprinted with permission from the 1977 *Fundamentals*, ASHRAE Handbook & Product Directory.

ตาราง ข6. ความหนาแน่นของวัสดุต่างๆที่ใช้ทำผนัง/ประตู

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร
๑๗	วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิว (ก) ยิบซัม (ข) ปูนฉาบน้ำหนักเบา น้ำหนักขนาดกลาง (ค) เพอร์ไลต์ (ง) ปูนผสมทราย (จ) เวอร์มิคิวไลต์	๘๘๐ ๓๗๗ ๑,๑๐๔ ๖๑๖ ๑,๕๖๘ ให้ใช้ค่าจริง จากผู้ผลิต
๑๘	โพลีสไตรีนเบ่งขยายตัว	๑๖
๑๙	โพลียูรีเทน โฟม	๒๔
๒๐	วัสดุทำพื้น PVC	๑,๓๖๐
๒๑	ดินอัดหลวม (ร่วนซุย) ความชื้น ๑๔%	๑,๒๐๐
๒๒	หิน	
	หินทราย	๒,๐๐๐
	แกรนิต	๒,๖๔๐
	หินอ่อน	๒,๖๔๐
๒๓	กระเบื้องหลังคา	๑,๘๕๐
๒๔	ไม้	
	ไม้เนื้ออ่อน	๖๐๘
	ไม้เนื้อแข็ง	๗๐๒
	ไม้อัด	๕๒๘
๒๕	เวอร์มิคิวไลต์แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	ให้ใช้ค่าจริง จากผู้ผลิต
๒๖	ไม้อัดชิปบอร์ด	๘๐๐
๒๗	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	๔๐๐
๒๘	หินล้าง, กรวดล้าง	๒,๒๔๕

ตาราง ข7. สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุต่างๆที่ใช้ทำผนัง/ประตู

วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก	ระดับค่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืน รังสีอาทิตย์ (แอลฟา)	หมายเหตุ
ผิววัสดุที่ฉาบด้วยคิบุก แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอะลูมิเนียม แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอะลูมิเนียมขัดมัน	สีสะท้อนแสง	น้อยกว่า ๐.๒	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง
อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	เล็กเกอร์สีขาว สีเงิน สีขาวเป็นเงา	มากกว่า ๐.๒ น้อยกว่าหรือเท่ากับ ๐.๔	วัสดุที่มีผิวอ่อน
วัสดุที่ทำสีอะลูมิเนียม หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว อิฐดีเหลืองอ่อน หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว	สีเขียวอ่อน สีน้ำเงินปานกลาง สีเหลืองปานกลาง สีส้มปานกลาง สีเขียวปานกลาง	มากกว่า ๐.๔ น้อยกว่าหรือเท่ากับ ๐.๖	วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง
คอนกรีตไม่ทาสี ไม้ผิวเรียบ แผ่นซีเมนต์แอสเบสทอส หินล้างสีเทา	สีแดง สีน้ำเงิน สีเทาอ่อน สีสนิมแก่ปานกลาง	มากกว่า ๐.๖ น้อยกว่าหรือเท่ากับ ๐.๘	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข8. ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ของผนัง/ประตูที่ทำจากวัสดุต่างๆ

มวลของวัสดุที่ทำผนัง (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (องศาเซลเซียส) ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟา) ต่าง ๆ				
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟา)				
	๐.๑ ๐ ถึง ๐.๒	๐.๓ มากกว่า ๐.๒ น้อยกว่าหรือ เท่ากับ ๐.๔	๐.๕ มากกว่า ๐.๔ น้อยกว่าหรือ เท่ากับ ๐.๖	๐.๗ มากกว่า ๐.๖ น้อยกว่าหรือ เท่ากับ ๐.๘	๐.๘ มากกว่า ๐.๘ น้อยกว่าหรือ เท่ากับ ๑.๐
๐ - ๑๕๕	๑๔	๑๕	๑๖	๑๗	๑๘
๑๖๖ - ๑๘๕	๑๑	๑๒	๑๓	๑๔	๑๕
เกินกว่า ๑๘๕	๘	๑๐	๑๑	๑๒	๑๓

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข9. ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารของหลังคาและเพดาน

อุณหภูมิออกแบบ, °F	85		90			95			100		105	110
	L	M	L	M	H	L	M	H	M	H	H	H
ผนังและประตู												
1. Frame and veneer-on-frame	17.6	13.6	22.6	18.6	13.6	27.6	23.6	18.6	28.6	23.6	28.6	33.6
2. Masonry walls, 8-in. block or brick	10.3	6.3	15.3	11.3	6.3	20.3	16.3	11.3	21.3	16.3	21.3	26.3
3. Partitions, frame masonry	9.0	5.0	14.0	10.0	5.0	19.0	15.0	10.0	20.0	15.0	20.0	25.0
4. Wood doors	17.6	13.6	22.6	18.6	13.6	27.6	23.6	18.6	28.6	23.6	28.6	33.6
เพดานและหลังคา												
1. Ceilings under naturally vented attic or vented flat roof—dark	38.0	34.0	43.0	39.0	34.0	48.0	44.0	39.0	49.0	44.0	49.0	54.0
—light	30.0	26.0	35.0	31.0	26.0	40.0	36.0	31.0	41.0	36.0	41.0	46.0
2. Built-up roof, no ceiling—dark	38.0	34.0	43.0	39.0	34.0	48.0	44.0	39.0	49.0	44.0	49.0	54.0
—light	30.0	26.0	35.0	31.0	26.0	40.0	36.0	31.0	41.0	36.0	41.0	46.0
3. Ceilings under unconditioned rooms	9.0	5.0	14.0	10.0	5.0	19.0	15.0	10.0	20.0	15.0	20.0	25.0
พื้น												
1. Over unconditioned rooms	9.0	5.0	14.0	10.0	5.0	19.0	15.0	10.0	20.0	15.0	20.0	25.0
2. Over basement, enclosed crawl space or concrete slab on ground	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Over open crawl space	9.0	5.0	14.0	10.0	5.0	19.0	15.0	10.0	20.0	15.0	20.0	25.0

*Daily Temperature Range

L (Low) Calculation Value: 12 deg F

M (Medium) Calculation Value: 20 deg F

H (High) Calculation Value: 30 deg F

Applicable Range: Less than 15 deg F

Applicable Range: 15 to 25 deg F

Applicable Range: More than 25 deg F

†Ceiling and Roofs: For roofs in shade, 18-hr average = 11 deg temperature differential. At 90 deg F design and medium daily range, equivalent temperature differential for light-colored roof equals $11 + (0.71)(39 - 11) = 31$ deg F

Reprinted with permission from the 1977 *Fundamentals* ASHRAE Handbook & Product Directory.

หมายเหตุ : ค่าในตารางถือว่าอุณหภูมิภายในเท่ากับ 75°F (24°C) ถ้าอุณหภูมิภายในไม่เท่ากับ 75°F ให้รับค่า 1°F ต่อความแตกต่าง 1°F

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข10. ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์(solar factor) สูงสุดที่ผ่านหน้าต่างไปรังแสงและ/หรือผนัง
ไปรังแสง (ละติจูดเหนือ), Btu/h-ft²

0 Deg											16 Deg										
N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR	N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR		
Jan.	34	34	88	177	234	254	235	182	118	296	Jan.	30	30	55	147	210	244	251	223	199	248
Feb.	36	39	132	205	245	247	210	141	67	306	Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	38	87	170	223	242	223	170	87	38	303	Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Apr.	71	134	193	224	221	184	118	38	37	284	Apr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	113	164	203	218	201	154	80	37	37	265	May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
June	129	173	206	212	191	140	66	37	37	255	June	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
July	115	164	201	213	193	149	77	38	38	260	July	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Aug.	75	134	187	216	212	175	112	39	38	276	Aug.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sep.	40	84	163	213	211	163	163	84	40	293	Sep.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	37	40	129	199	236	238	202	135	66	299	Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	35	35	88	175	230	250	230	179	117	293	Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dec.	34	34	71	164	226	253	240	196	138	288	Dec.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

8 Deg											24 Deg										
N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR	N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR		
Jan.	32	32	71	163	224	250	242	203	162	275	Jan.	27	27	41	128	190	240	253	241	227	214
Feb.	34	34	114	193	239	248	219	165	110	294	Feb.	30	30	80	165	220	244	243	213	192	249
Mar.	37	67	156	215	241	230	184	110	55	300	Mar.	34	45	124	195	234	237	214	168	137	275
Apr.	44	117	184	221	225	195	134	53	39	289	Apr.	37	88	159	209	228	212	169	107	75	283
May	74	146	198	220	209	167	97	39	38	277	May	45	117	178	214	218	190	132	67	46	282
June	90	155	200	217	200	141	82	39	39	269	June	55	127	184	214	212	179	117	55	43	279
July	77	145	195	215	204	162	93	40	39	272	July	45	116	176	210	213	185	129	65	46	278
Aug.	47	117	179	214	216	186	128	51	41	282	Aug.	38	87	156	203	220	204	162	103	72	277
Sep.	38	66	149	205	230	239	176	107	56	290	Sep.	35	42	119	185	222	225	206	163	134	266
Oct.	35	35	112	187	231	239	211	160	108	288	Oct.	31	31	79	159	211	237	235	207	187	244
Nov.	33	33	71	161	220	245	233	200	160	273	Nov.	27	27	42	126	187	236	249	237	224	213
Dec.	31	31	55	149	215	246	247	215	179	265	Dec.	26	26	29	112	180	234	247	247	237	199

32 Deg											48 Deg										
N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR	N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR		
Jan.	24	24	29	105	175	229	249	250	246	176	Jan.	15	15	15	53	118	175	216	239	245	85
Feb.	27	27	65	149	205	242	248	232	221	217	Feb.	20	20	36	103	168	216	242	249	250	138
Mar.	32	37	107	183	227	237	227	195	176	252	Mar.	26	26	80	154	204	234	239	232	228	188
Apr.	36	80	146	200	227	219	187	141	115	271	Apr.	31	61	132	180	219	225	215	194	186	226
May	38	111	170	208	220	199	155	99	74	277	May	35	97	158	200	218	214	192	163	150	247
June	44	122	176	208	214	189	139	83	60	276	June	46	110	165	204	215	206	180	148	134	252
July	40	111	167	204	215	194	150	96	72	273	July	37	96	156	196	214	209	187	158	146	244
Aug.	37	79	141	195	219	210	181	136	111	265	Aug.	33	61	128	174	211	216	208	188	180	223
Sep.	33	35	103	173	215	227	218	189	171	244	Sep.	27	27	72	144	191	223	228	223	220	182
Oct.	28	28	63	143	195	234	239	225	215	213	Oct.	21	21	35	96	161	207	233	241	242	136
Nov.	24	24	29	103	173	225	245	246	243	175	Nov.	15	15	15	52	115	172	212	234	240	85
Dec.	22	22	22	84	162	218	246	252	252	158	Dec.	13	13	13	36	91	156	195	225	233	65

40 Deg											56 Deg										
N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR	N	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR		
Jan.	20	20	20	74	154	205	241	252	254	133	Jan.	10	10	10	21	74	126	169	194	205	40
Feb.	24	24	50	129	186	234	246	244	241	180	Feb.	16	16	21	71	139	184	223	239	244	91
Mar.	29	29	93	169	218	238	236	216	206	223	Mar.	22	22	65	136	185	224	237	241	241	149
Apr.	34	71	140	190	224	223	203	170	154	252	Apr.	28	58	123	173	211	223	223	213	210	195
May	37	102	165	202	220	208	175	133	113	265	May	36	99	149	195	215	218	206	187	181	222
June	48	113	172	205	216	199	161	116	95	267	June	53	111	160	199	213	213	196	174	168	231
July	38	102	163	198	216	203	170	129	109	262	July	37	98	147	192	211	214	201	183	177	221
Aug.	35	71	135	185	216	214	196	165	149	247	Aug.	30	56	119	165	203	216	215	206	203	193
Sep.	30	30	87	160	203	227	226	209	200	215	Sep.	23	23	58	126	171	211	227	230	231	144
Oct.	25	25	49	123	180	225	238	236	234	177	Oct.	16	16	20	68	132	176	213	229	234	91
Nov.	20	20	20	73	151	201	237	248	250	132	Nov.	10	10	10	21	72	122	165	190	200	40
Dec.	18	18	18	60	135	188	232	249	253	113	Dec.	7	7	7	7	47	92	135	159	171	23

Reprinted with permission from the 1977 *Fundamentals*, ASHRAE Handbook & Product Directory.

ตาราง ข11. สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก(หน้าต่าง โปร่งแสงและ/หรือผนัง โปร่งแสง)

	ชนิดกระจก	ความหนา ท่อน้	การส่งผ่าน ความร้อน จากดวง- อาทิตย์	ไม่มีเครื่องบังแสง		ชนิดของ เครื่องบังแสงค้ำใน				
				ค้ำใน		เกล็ดบังแสง		เครื่องบังแสงอัตโนมัติ		
				$h_o = 4.0$		ปานกลาง	สว่าง	มืด	สว่าง	สว่าง
กระจกแผ่นเดี่ยว	แผ่นเดี่ยว									
	ใส	3/32 to 1/4	0.87-0.80	1.00						
	ใส	1/4 to 1/2	0.80-0.71	0.94						
	ใส	3/8	0.72	0.90	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39	
	ใส	1/2	0.67	0.87						
	ใสพิมพ์ลาย	1/8 to 9/32	0.87-0.79	0.83						
	อุทความร้อนพิมพ์ลาย	1/8		0.83						
	อุทความร้อน	3/16 to 1/4	0.46	0.69						
	อุทความร้อนพิมพ์ลาย	3/16 to 1/4		0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36	
	ฉล	1/8 to 7/32	0.59-0.45	0.69						
	อุทความร้อนหรือพิมพ์ลาย		0.44-0.30	0.60	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32	
	อุทความร้อน	3/8	0.34	0.60						
	อุทความร้อน หรือพิมพ์ลาย	1/2	0.24	0.53	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31	
กระจก เคลือบสะท้อนแสง			0.30	0.25	0.23					
			0.40	0.33	0.29					
			0.50	0.42	0.38					
			0.60	0.50	0.44					
กระจกบาน	สองชั้น									
	ชั้นนอกใส	3/32, 1/8	0.71 ^a	0.88	0.57	0.51	0.60	0.25	0.37	
	ชั้นในใส									
	ชั้นนอกใส	1/4	0.61 ^a	0.81						
	ชั้นในใส									
	ชั้นนอกอุทความร้อน	1/4	0.36 ^a	0.55						
	ชั้นในใส				0.39	0.36	0.40	0.22	0.30	
กระจกเคลือบสะท้อนแสง			0.20	0.19	0.18					
			0.30	0.27	0.26					
			0.40	0.34	0.33					
สามชั้น	ใส	1/4		0.71						
	ใส	1/8		0.80						

Reprinted with permission from the 1977 Fundamentals, ASHRAE Handbook & Product Directory.

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข12. อัตราความร้อนที่ออกจากตัวสุกร

Swine Growing-finishing Pigs kg	Building temperature °C	Sensible Heat Load W/kg	Latent Heat Load W/kg	Total Heat Load W/kg
20	20	2.3	2.5	4.8
	25	1.6	3.2	4.8
	30	0.6	4.2	4.8
40	20	1.6	1.5	3.1
	25	1.2	1.8	3.0
	30	0.6	2.4	3.0
60	20	1.3	1.1	2.4
	25	1.0	1.3	2.3
	30	0.5	1.8	2.3
80	20	1.2	0.9	2.1
	25	0.85	1.15	2.0
	30	1.49	1.41	1.9
100	20	1.1	0.8	1.9
	25	0.8	1.0	1.8
	30	0.49	1.21	1.7

Ventilation of Agricultural Structures, 1983

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University

ตาราง ข13. ภาระความร้อนเนื่องจากอากาศรั่วเข้าห้องและอากาศระบาย

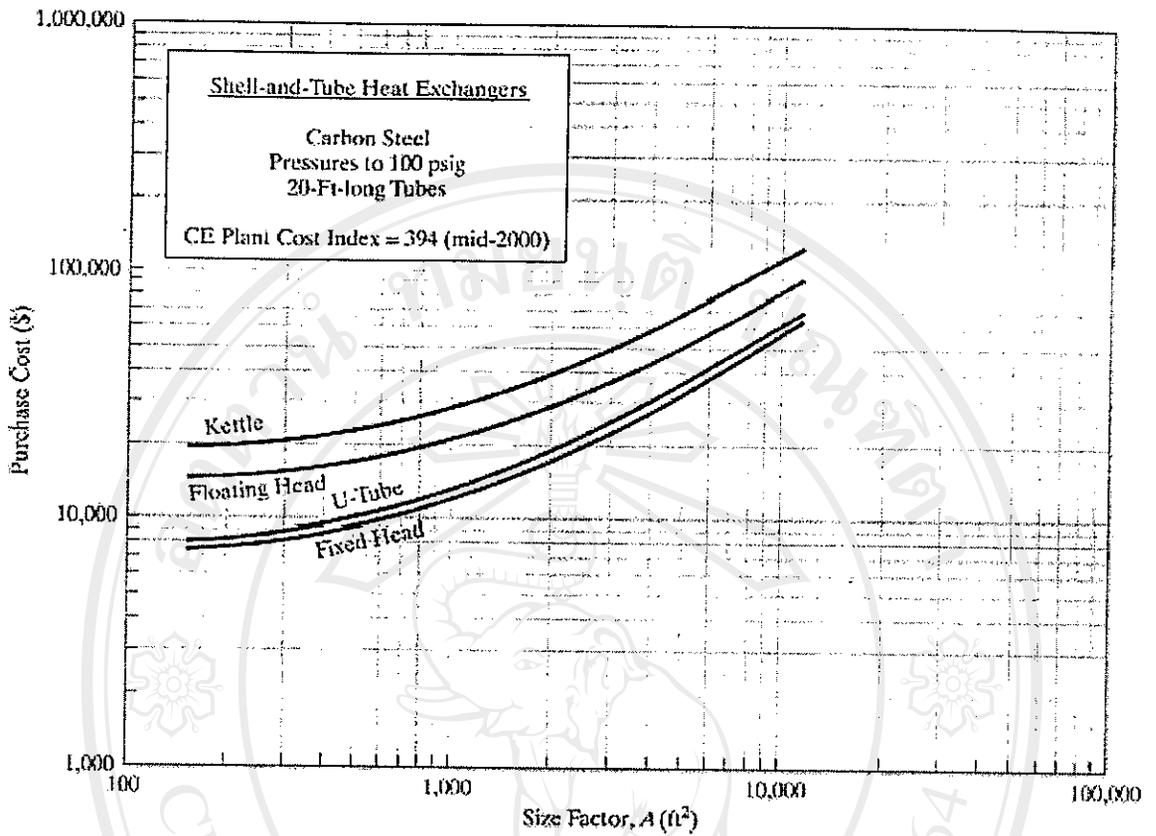
อุณหภูมิออกแบบ, °F	85	90	95	100	105	110
อากาศรั่ว, Btu/hr-ft ² ของพื้นที่ผนัง	0.7	1.1	1.5	1.9	2.2	2.6
อากาศระบาย, Btu/hr-cfm	11.0	16.0	22.0	27.0	32.0	38.0

Reprinted with permission from the 1977 *Fundamentals*, ASHRAE Handbook & Product Directory.

ตาราง ข14. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทเปลือกและท่อ

Q/ΔT (W/K)	Cold Side Fluid	Parameter	Hot Side Fluid							
			Low-Pressure Gas (1 bar)	High-Pressure Gas (20 bar)	Process Water	Low-Viscosity Organic Fluid	High-Viscosity Liquid	Condensing Steam	Condensing Hydrocarbon with Inert Gas	
1,000	Low-pressure gas (1 bar) ^a	U [W/(m ² ·K)]	55	93	102	99	63	107	100	86
		C [£/(W ² ·K)]	4.36	3.76	3.43	3.54	4.29	3.27	3.50	3.14
	High-pressure gas (20 bar)	U [W/(m ² ·K)]	93	300	429	375	120	530	388	240
		C [£/(W ² ·K)]	3.76	1.70	2.45	2.80	2.91	1.99	2.70	2.12
	Treated cooling water	U [W/(m ² ·K)]	105	484	938	714	142	1607	764	345
		C [£/(W ² ·K)]	3.33	2.17	1.12	1.47	2.46	0.65	1.37	3.04
	Low-viscosity organic liquid ^a	U [W/(m ² ·K)]	99	375	600	500	130	818	524	286
		C [£/(W ² ·K)]	3.54	2.8	1.75	2.1	2.69	1.28	2.00	1.78
	High-viscosity liquid ^b	U [W/(m ² ·K)]	68	138	161	153	82	173	155	214
		C [£/(W ² ·K)]	3.97	2.54	3.16	3.33	3.29	2.94	3.28	2.82
	Boiling water	U [W/(m ² ·K)]	105	467	875	677	140	1432	722	336
		C [£/(W ² ·K)]	3.33	2.25	1.20	1.55	2.50	0.73	1.45	3.13
	Boiling organic liquid ^c	U [W/(m ² ·K)]	99	375	600	500	130	818	524	286
		C [£/(W ² ·K)]	3.53	2.8	1.75	2.1	2.69	1.28	2.00	1.78
	5,000	Low-pressure gas (1 bar)	U [W/(m ² ·K)]	55	93	102	99	63	107	100
		C [£/(W ² ·K)]	1.42	1.25	1.14	1.17	1.49	1.08	1.16	1.21
High-pressure gas (20 bar)		U [W/(m ² ·K)]	93	300	429	375	120	530	388	240
		C [£/(W ² ·K)]	1.25	0.8	0.63	0.72	1.12	0.66	0.70	0.77
Treated cooling water		U [W/(m ² ·K)]	105	484	938	720	142	1607	764	345
		C [£/(W ² ·K)]	1.10	0.72	0.54	0.71	1.94	0.32	0.67	0.78
Low-viscosity organic liquid ^a		U [W/(m ² ·K)]	99	375	600	500	130	818	524	286
		C [£/(W ² ·K)]	1.17	0.72	0.58	0.70	1.03	0.62	0.67	0.84
High-viscosity liquid ^b		U [W/(m ² ·K)]	68	138	161	153	82	173	155	124
		C [£/(W ² ·K)]	1.38	0.97	0.83	0.88	1.27	0.77	0.864	1.08
Boiling water		U [W/(m ² ·K)]	105	467	875	677	140	1432	722	336
		C [£/(W ² ·K)]	1.10	0.75	0.58	0.52	0.96	0.36	0.70	0.803
Boiling organic liquid ^c		U [W/(m ² ·K)]	99	375	600	500	130	818	524	286
		C [£/(W ² ·K)]	1.17	0.72	0.58	0.70	1.03	0.62	0.67	0.84

U and C Value for Double-Pipe Heat Exchangers Without Longitudinal (Bare Tube), Hewitt, Guy and Marsland : 1982



รูป ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับราคาของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

<http://www.matche.com/EquipCost/> (Equipment Cost Estimation : 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ข15. คุณสมบัติของก๊าซต่างๆ ที่อุณหภูมิใดๆ

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg °C	μ kg/m.s	ν m ² /s	k W/m °C	α m ² /s	Pr
------	-----------------------------	-------------------	-----------------	----------------------------	---------------	-------------------------------	----

ฮีเลียม

144	0.3379	5.2	125.5×10^{-7}	37.11×10^{-6}	0.0928	0.5275×10^{-4}	0.70
200	0.2435	5.2	156.6	64.38	0.1177	0.9288	0.694
255	0.1906	5.2	181.7	95.50	0.1357	1.3675	0.70
366	0.1328	5.2	230.5	173.6	0.1691	2.449	0.71
477	0.10204	5.2	275.0	269.3	0.197	3.716	0.72
589	0.08282	5.2	311.3	375.8	0.225	5.215	0.72
700	0.07032	5.2	347.5	494.2	0.251	6.661	0.72
800	0.06023	5.2	381.7	634.1	0.275	8.774	0.72

ออกซิเจน

150	2.6190	0.9178	11.490×10^{-6}	4.387×10^{-6}	0.01367	0.05688×10^{-4}	0.773
200	1.9559	0.9131	14.850	7.593	0.01824	0.10214	0.745
250	1.5618	0.9157	17.87	11.45	0.02259	0.15794	0.725
300	1.3007	0.9203	20.63	15.86	0.02676	0.22353	0.709
350	1.1133	0.9291	23.16	20.80	0.03070	0.2968	0.702
400	0.9755	0.9420	25.54	26.18	0.03461	0.3768	0.695
450	0.8682	0.9567	27.77	31.99	0.03828	0.4609	0.694
500	0.7801	0.9722	29.91	38.34	0.04173	0.5502	0.697
550	0.7096	0.9881	31.97	45.05	0.04517	0.641	0.700

ไฮโดรเจน

150	0.16371	12.602	5.595×10^{-6}	34.18×10^{-6}	0.0981	0.475×10^{-4}	0.718
200	0.12270	13.540	6.813	55.53	0.1282	0.772	0.719
250	0.09819	14.059	7.919	80.64	0.1561	1.130	0.713
300	0.08185	14.314	8.963	109.5	0.182	1.554	0.706
350	0.07016	14.436	9.954	141.9	0.206	2.031	0.697
400	0.06135	14.491	10.864	177.1	0.228	2.568	0.690
450	0.05462	14.499	11.779	215.6	0.251	3.164	0.682
500	0.04918	14.507	12.636	257.0	0.272	3.817	0.675
550	0.04469	14.532	13.475	301.6	0.292	4.516	0.668
600	0.04085	14.537	14.285	349.7	0.315	5.306	0.664

ตาราง ข15. คุณสมบัติของก๊าซต่างๆ ที่อุณหภูมิใดๆ (ต่อ)

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg °C	μ kg/m.s	ν m ² /s	k W/m °C	α m ² /s	Pr
700	0.03492	14.574	15.89	455.1	0.351	6.903	0.659
800	0.03060	14.675	17.40	569	0.384	8.563	0.664
900	0.02723	14.821	18.78	690	0.412	10.217	0.676

แอมโมเนีย NH₃

273	0.7929	2.177	9.353×10^{-6}	1.18×10^{-5}	0.0220	0.1308×10^{-4}	0.90
323	0.6487	2.177	11.035	1.70	0.0270	0.1920	0.88
373	0.5590	2.236	12.886	2.30	0.0327	0.2619	0.87
423	0.4934	2.315	14.672	2.97	0.0391	0.3432	0.87
473	0.4405	2.395	16.49	3.74	0.0467	0.4421	0.84

ไนโตรเจน

200	1.7108	1.0429	12.947×10^{-6}	7.568×10^{-6}	0.01824	0.1022×10^{-4}	0.747
300	1.1421	1.0408	17.84	15.63	0.02620	0.22044	0.713
400	0.8538	1.0459	21.98	25.74	0.03335	0.3734	0.691
500	0.6824	1.0555	25.70	37.66	0.03984	0.5530	0.684
600	0.5687	1.0756	29.11	51.19	0.04580	0.7486	0.686
700	0.4934	1.0969	32.13	65.13	0.05123	0.9466	0.691
800	0.4277	1.1225	34.84	81.46	0.05609	1.1685	0.700
900	0.3796	1.1464	37.49	91.06	0.06070	1.3946	0.711
1000	0.3412	1.1677	40.00	117.2	0.06475	1.6250	0.724
1100	0.3108	1.1857	42.28	136.0	0.06850	1.8591	0.736
1200	0.2851	1.2037	44.50	156.1	0.07184	2.0932	0.748

คาร์บอนไดออกไซด์

220	2.4733	0.783	11.10×10^{-6}	4.490×10^{-6}	0.010805	0.05920×10^{-4}	0.818
250	2.1657	0.804	12.59	5.813	0.012884	0.07401	0.793
300	1.7973	0.871	14.95	8.321	0.016572	0.10588	0.770
350	1.5362	0.900	17.20	11.19	0.02047	0.14808	0.755
400	1.3424	0.942	19.32	14.39	0.02461	0.19463	0.738
450	1.1918	0.980	21.34	17.90	0.02897	0.24813	0.721
500	1.0732	1.013	23.26	21.67	0.03352	0.30840	0.702
550	0.9739	1.047	25.08	25.74	0.03821	0.3750	0.685
600	0.8938	1.076	26.83	30.02	0.04311	0.4483	0.668

ตาราง ข16. คุณสมบัติของไอน้ำที่อุณหภูมิใดๆ

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg °C	μ kg/m.s	ν m ² /s	k W/m °C	α m ² /s	Pr
ไอน้ำ							
380	0.5863	2.060	12.71×10^{-6}	2.16×10^{-5}	0.0246	0.203×10^{-4}	1.060
400	0.5542	2.014	13.44	2.42	0.0261	0.233	1.040
450	0.4902	1.980	15.25	3.11	0.0299	0.307	1.010
500	0.4405	1.985	17.04	3.86	0.0339	0.387	0.996
550	0.4005	1.997	18.84	4.70	0.0379	0.475	0.991
600	0.3652	2.026	20.67	5.66	0.0422	0.573	0.986
650	0.3380	2.056	22.47	6.64	0.0464	0.666	0.995
700	0.3140	2.085	24.26	7.72	0.0505	0.772	1.000
750	0.2931	2.119	26.04	8.88	0.0549	0.883	1.005
800	0.2739	2.152	27.86	10.20	0.0592	1.001	1.010
850	0.2579	2.186	29.69	11.52	0.0637	1.130	1.019

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลจากฟาร์ม A (เดินเครื่อง 24 ชั่วโมง/วัน)

1. การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สูงสุดต่อวัน (Werner *et. al*, 1989)

ฟาร์ม A มีน้ำหนักสุกรขึ้นคอก (Estimated total pig weigh) 3,735,000 กิโลกรัม ดังนั้น ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สูงสุดในหนึ่งวัน (G) สามารถหาได้จากสมการ

$$G = (VS \times \text{อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ}) / 1000 \quad [\text{m}^3/\text{day}]$$

โดย $VS = \text{น้ำหนักสุกรขึ้นคอก} \times (VS_A) \quad [\text{kg-VS}/\text{day}]$

และ $\text{อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ} = \text{อัตราการเกิดก๊าซ} \times f_{T,RT} \quad [\text{litre}/\text{kg-VS}]$

จากข้อมูลในตาราง 2.1 ค่า VS_A ของมูลสุกรมีค่าเท่ากับ 0.57% และจากตาราง 2.2 อัตราการเกิดก๊าซ มีค่าเท่ากับ 450 litre/kg VS และเมื่อระยะเวลาในการหมักก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 38 วัน และค่าอุณหภูมิของบ่อหมักประมาณ 32 °C จากรูป 2.3 จะได้ค่าแฟกเตอร์แก้ไข $f_{T,RT}$ ประมาณ 0.9 ดังนั้น

$$\begin{aligned} VS &= \text{น้ำหนักสุกรขึ้นคอก} \times (VS_A) \\ &= 4,512,000 \times 0.57\% \\ &= 25,720 \text{ kg/day} \\ \text{อัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ} &= \text{อัตราการเกิดก๊าซ} \times f_{T,RT} \\ &= 450 \times 0.9 \\ &= 405 \text{ litre/kg} \\ \text{ดังนั้น} \quad G &= (25,720 \times 405) / 1,000 \\ &= 10,420 \text{ m}^3/\text{day} \end{aligned}$$

2. การคำนวณค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (Mitzlaff, 1988)

ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (Hu_{biogas}) จะขึ้นกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ความดันรวม และอุณหภูมิในถังหมัก โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพสามารถหาได้จากสมการ

$$Hu_{\text{biogas}} = \%CH_4 \text{ in biogas} \times Q_{\text{biogas}} \rho_{CH_4} \times Hu_{CH_4}$$

ค่าเฉลี่ยของก๊าซ CO_2 ในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 29.7% โดยปริมาตร ดังนั้นสัดส่วนก๊าซ CH_4 เท่ากับ

$$\% \text{CH}_4 \text{ in biogas} = 100\% - \% \text{CO}_2 \text{ in biogas}$$

$$\begin{aligned} \% \text{CH}_4 \text{ in biogas} &= 100\% - 29.7\% \\ &= 70.3\% \end{aligned}$$

ค่าความดันของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักก๊าซเท่ากับ 1,043 mbar และค่าแก้ความดันที่หาได้จากรูปที่ 4 มีค่าเท่ากับ 60 mbar ดังนั้นความดันที่แท้จริงของก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{\text{act}} &= P_i - P' \\ &= 1,043 - 60 \\ &= 983 \text{ mbar} \end{aligned}$$

เมื่อความเร็วการไหลของก๊าซชีวภาพมีค่าเฉลี่ย 10.7 m/s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่งก๊าซคือ 2 นิ้ว (รัศมี 0.0254 เมตร) และสำหรับฟาร์ม A มีชุดเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า 6 ชุด ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{biogas}} &= 3600VA (6) \\ &= 3600(10.7)(\pi \times 0.0254^2)(6) \\ &= 470 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

จากความหนาแน่นของก๊าซมีเทนในภาวะมาตรฐาน (273.15 K, 1.01325 bar) คือ 0.7174 kg/m^3 และวัคคูลุทของก๊าซชีวภาพที่แท้จริงได้ 33°C (306.15 K) ดังนั้นความหนาแน่นที่แท้จริงของก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \rho_{\text{CH}_4} &= \frac{\rho_{\text{CH}_4, \text{std}} \times P_{\text{act}} \times T_{\text{std}}}{P_{\text{std}} \times T_{\text{act}}} \\ &= (0.7174 \times 983 \times 273.15) / (1013.25 \times 306.15) \\ &= 0.621 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน (H_{u, CH_4}) คือ 50,000 kJ/kg ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพ ($H_{u, \text{biogas}}$) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} H_{u, \text{biogas}} &= (0.703 \times 470 \times 0.621 \times 50,000) / 3600 \\ &= 2,850 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. การหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่ทำให้เราทราบถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพให้ออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับฟาร์ม A มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากชุดเครื่องยนต์คัดแปลงได้เฉลี่ยชุดละ 80.3 kW รวมทั้ง 6 ชุด ทั้งฟาร์มจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 482 kW ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าศชีวภาพมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\eta_{bg} &= \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\text{ความร้อนที่ได้รับจากก๊าศชีวภาพ}} \\ &= (482/2,850) \times 100 \\ &= 16.9 \%\end{aligned}$$

4. การคำนวณภาระสูงสุดในการทำความเย็น

จากข้อมูลที่ได้จากผลการพิจารณาลักษณะของ โรงเรือนที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของ สุนัขในหัวข้อที่ 4.2.1 สามารถคำนวณหาภาระสูงสุดในการทำความเย็นได้ดังนี้

4.1) การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก

เมื่อทำการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคาร โดยใช้โปรแกรม OTTVEE ของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ได้ผลดังนี้

จากข้อมูลข้างต้น

$$\begin{aligned}U_{w\text{ผนัง}} &= 0.212 \text{ Btu/(h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)} \\ &= 1.20 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}\end{aligned}$$

$$U_{w\text{ประตู}} = 0.138 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}$$

$$A_{w\text{ผนัง}} = 150 \text{ m}^2 \text{ (N), } 63 \text{ m}^2 \text{ (E), } 150 \text{ m}^2 \text{ (S) และ } 63 \text{ m}^2 \text{ (W)}$$

$$A_{w\text{ประตู}} = 6 \text{ m}^2 \text{ (E/W)}$$

$$\begin{aligned}TD_{w\text{ผนัง}} &= 24 \text{ }^\circ\text{F (N), } 27 \text{ }^\circ\text{F (E), } 31 \text{ }^\circ\text{F (S), } 60 \text{ }^\circ\text{F (W) ; OTTV มากสุดที่เวลา 19:00 น.} \\ &= 13.33 \text{ }^\circ\text{K (N), } 15 \text{ }^\circ\text{K (E), } 17.22 \text{ }^\circ\text{K (S), } 33.33 \text{ }^\circ\text{K (W)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}TD_{w\text{ประตู}} &= 17 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 17 \text{ }^\circ\text{K}\end{aligned}$$

จากสมการที่ 16 ผนังโรงเรือนไม่มีส่วนโปร่งแสง จึงไม่มีสองพจน์หลัง ดังนั้นจะได้

$$OTTV = (U_w)(A_w)(TD_w)_{\text{ผนัง}} + (U_w)(A_w)(TD_w)_{\text{ประตู}}$$

$$\begin{aligned}
 &= (1.20 \times 10^{-3})[(150 \times 13.33) + (63 \times 15) + (150 \times 17.22) + (63 \times 33.33)] \\
 &\quad + (0.138 \times 10^{-3})(6)(17) \\
 &= 9.16 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.2) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

เมื่อทำการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคาร โดยใช้โปรแกรม RTTVEE ของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ได้ผลดังนี้

จากข้อมูลข้างต้น

$$\begin{aligned}
 U_r &= 0.06 \text{ Btu/(h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)} \\
 &= 0.34 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}
 \end{aligned}$$

$$A_r = 1,050 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 TD_r &= 35.4 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= 19.67 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 17 หลังคาโรงเรือนไม่มีช่องรับแสง จึงไม่มีสองพจน์หลัง ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned}
 RTTV &= (U_r)(A_r)(TD_r) \\
 &= (0.34 \times 10^{-3})(1,050)(19.67) \\
 &= 7.02 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.3) ภาระจากอากาศร้อนเข้ามาในห้อง (Air change load)

4.3.1) ภาระจากอากาศรั่ว (leak air)

จากข้อมูลข้างต้น

ภาระมากที่สุดคิดจากค่าในตารางตามอุณหภูมิภายนอกสูงสุด (102.2 °F) คือ 2.05 Btu/hr-ft² (6.47 W/m²)

$$\text{พื้นที่ผนังทั้งหมด} = 426 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{leak}} &= (426)(6.47 \times 10^{-3}) \\
 &= 2.76 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.3.2) ภาระจากอากาศระบาย (ventilation air)

จากข้อมูลข้างต้น

ภาระการทำความเย็นมากที่สุดจากการระบายอากาศใน 1 นาที ระบายอากาศเป็นปริมาณ 15 เท่าของปริมาตรโรงเรือน (อ้างอิงจากมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2540) โดยใช้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคิดที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด 102.2 °F คือ 29.5 Btu/hr-cfm

ปริมาตรโรงเรือน 3150 m^3

จำนวนสุกรทั้งหมดในโรงเรือน 1,000 ตัว

$$Q_{\text{vent}} = 15[(29.5 \text{ Btu/hr-cfm}) \times (3150 \text{ m}^3) \times (35.2 \text{ ft}^3/\text{m}^3) / (60 \text{ s/min})] / (3412.14 \text{ Btu/hr-kW})$$

$$= 240 \text{ kW}$$

4.4) ความร้อนจากสุกรทั้งหมดในโรงเรือน (Resident load)

จากข้อมูลข้างต้นและน้ำหนักสุกรในโรงเรือนมากที่สุดก่อนการนำขาย 80 kg/ตัว

Heat Load = 1.9 W/kg (อ้างอิงจาก Ventilation of Agricultural Structures, 1983)

$$Q_{\text{pigs}} = (1.9 \text{ W/kg})(80 \text{ kg/ตัว})(1,000 \text{ ตัว})$$

$$= 152 \text{ kW}$$

4.5) ภาระจากหลอดไฟทั้งหมดในโรงเรือน (Miscellaneous load)

จากข้อมูลข้างต้น

$$\text{ภาระจากหลอดไฟแสงสว่าง} = 1.25 \times 36 \times 20$$

$$= 0.9 \text{ kW}$$

ดังนั้นภาระสูงสุดในการทำความเย็นรวมทั้งหมดในหนึ่งโรงเรือน คือ

$$9.16 + 7.02 + 2.76 + 240 + 152 + 0.9 = 411.84 \text{ kW}$$

5. การคำนวณภาระปกติในการทำความเย็น

เนื่องจากภาระในการทำความเย็นที่จะนำมาพิจารณาค่าใช้จ่ายรายปีของการเลี้ยงสุกรในโรงเรือนแบบคูดซึมนั้นไม่ได้มีถ่ายเทความร้อนสูงสุดตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงมีการพิจารณาความร้อนที่ถ่ายเทตามช่วงเวลาปกติ โดยจะใช้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของตลอดทั้งปี (วารสารเทคโนโลยี สจข., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) หรือค่าเฉลี่ยจากตารางที่ใช้คำนวณภาระการทำความเย็นในภาคผนวก สามารถคำนวณหาภาระปกติในการทำความเย็นได้ดังนี้

5.1) การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก (OTTV)

จากข้อมูลข้างต้น

$$U_{\text{ผนัง}} = 0.212 \text{ Btu/(h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F)}$$

$$= 1.20 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}$$

$$U_{\text{ประตู}} = 0.138 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}$$

$$A_{\text{ผนัง}} = 150 \text{ m}^2 \text{ (N)}, 63 \text{ m}^2 \text{ (E)}, 150 \text{ m}^2 \text{ (S)} \text{ และ } 63 \text{ m}^2 \text{ (W)}$$

$$A_{\text{ประตู}} = 6 \text{ m}^2 \text{ (E/W)}$$

$$TD_{\text{ผนัง}} = 11.96 \text{ }^\circ\text{F (N)}, 22.50 \text{ }^\circ\text{F (E)}, 17.21 \text{ }^\circ\text{F (S)}, 22.36 \text{ }^\circ\text{F (W)}, \text{ ใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา}$$

24 ชั่วโมง

$$\begin{aligned}
 &= 6.64 \text{ }^{\circ}\text{K (N), } 12.50 \text{ }^{\circ}\text{K (E), } 9.57 \text{ }^{\circ}\text{K (S), } 12.42 \text{ }^{\circ}\text{K (W)} \\
 \text{TD}_{\text{w ประตู่}} &= 17 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 &= 17 \text{ }^{\circ}\text{K}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 16 ผนังโรงเรือนไม่มีส่วนโปร่งแสง จึงไม่มีสองพจน์หลัง ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{OTTV} &= (U_w)(A_w)(\text{TD}_w)_{\text{ผนัง}} + (U_w)(A_w)(\text{TD}_w)_{\text{ประตู่}} \\
 &= (1.20 \times 10^{-3})[(150 \times 6.64) + (63 \times 12.50) + (150 \times 9.57) + (63 \times 12.42)] \\
 &\quad + (0.138 \times 10^{-3})(6)(17) \\
 &= 4.81 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

5.2) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

จากข้อมูลข้างต้น

$$\begin{aligned}
 U_r &= 0.06 \text{ Btu/(h-ft}^2\text{-}^{\circ}\text{F)} \\
 &= 0.34 \times 10^{-3} \text{ kW/(m}^2\text{-K)}
 \end{aligned}$$

$$A_r = 1,050 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{TD}_r &= 31 \text{ }^{\circ}\text{F, ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสภาวะอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยทั้งปี} \\
 &\quad \text{(อ้างอิงจากวารสารเทคโนโลยี สจร., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)} \\
 &= 17.22 \text{ }^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 17 หลังคาโรงเรือนไม่มีช่องรับแสง จึงไม่มีสองพจน์หลัง ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{RTTV} &= (U_r)(A_r)(\text{TD}_r) \\
 &= (0.34 \times 10^{-3})(1,050)(17.22) \\
 &= 6.14 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

5.3) ภาระจากอากาศร้อนเข้ามาในห้อง (Air change load)

5.3.1) ภาระจากอากาศรั่ว (leak air)

จากข้อมูลข้างต้น

ภาระมากที่สุดคิดจากค่าในตารางตามอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย $89.24 \text{ }^{\circ}\text{F}$ (อ้างอิงจากวารสารเทคโนโลยี สจร., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) คือ $1.1 \text{ Btu/hr-ft}^2 (3.47 \text{ W/m}^2)$

$$\text{พื้นที่ผนังทั้งหมด} = 426 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{leak}} &= (426)(3.47 \times 10^{-3}) \\
 &= 1.47 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

5.3.2) ภาระจากอากาศระบาย (ventilation air)

จากข้อมูลข้างต้น

ภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศใน 1 นาที ระบายอากาศเป็นปริมาณ 15 เท่าของปริมาตรโรงเรือน โดยใช้อัตราการถ่ายเทความร้อนคิดที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 89.24 °F คือ 15 Btu/hr-cfm

ปริมาตรโรงเรือน 3150 m³

จำนวนสุกรทั้งหมดในโรงเรือน 1,000 ตัว

$$\begin{aligned} Q_{\text{vent}} &= 15[(15 \text{ Btu/hr-cfm}) \times (3150 \text{ m}^3) \times (35.2 \text{ ft}^3/\text{m}^3) / (60 \text{ s/min})] / (3412.14 \text{ Btu/hr-kW}) \\ &= 116.72 \text{ kW} \end{aligned}$$

5.4) ความร้อนจากสุกรทั้งหมดในโรงเรือน (Resident load)

จากข้อมูลข้างต้นและน้ำหนักสุกรในโรงเรือนเฉลี่ยตลอดทั้งปี 60 kg/ตัว

$$\text{Heat Load} = 1.9 \text{ W/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{pigs}} &= (1.9 \text{ W/kg})(60 \text{ kg/ตัว})(1,000 \text{ ตัว}) \\ &= 114 \text{ kW} \end{aligned}$$

สำหรับภาระจากหลอดไฟทั้งหมดในโรงเรือน (Miscellaneous load) มีค่าคงเดิม 0.9 กิโลวัตต์

ดังนั้นภาระสูงสุดในการทำความเย็นรวมทั้งหมดในหนึ่งโรงเรือน คือ

$$4.81 + 6.14 + 1.47 + 116.72 + 114 + 0.9 = 244.04 \text{ kW}$$

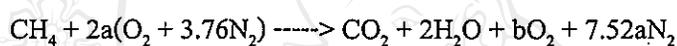
6. การคำนวณค่าความจุความร้อนของไอเสีย (C_p)

ค่าความจุความร้อนของ ไอเสีย (C_p) ไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถใช้วัดค่าโดยตรงได้ ดังนั้นจึงมีวิธีในการคำนวณดังนี้

ตาราง ก.1 สัดส่วนทางเคมีของก๊าซชีวภาพ

ส่วนประกอบ bio gas	% โดยโมล	มวลโมเลกุล	น้ำหนัก (g)	% โดยน้ำหนัก
CH ₄	69.77	16	11.16	45.63
CO ₂	30.23	44	13.30	54.37
รวม	100		24.46	100

ในการเผาไหม้มีเพียง CH₄ เท่านั้นที่ทำปฏิกิริยา คือ



เมื่อปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air : a) โดยเฉลี่ยของฟาร์ม A มีค่าเท่ากับ 1.52 (52%) และปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen : b) มีค่าเท่ากับ 1.04 ดังปฏิกิริยา



ดังนั้นจะหาสัดส่วนของก๊าซต่างๆ ในไอเสียได้ดังตาราง

ตาราง ก.2 สัดส่วนของก๊าซต่างๆ ในไอเสีย

จากปฏิกิริยา	เศษส่วน โมล	มวล โมเลกุล	น้ำหนัก (g)	% โดย น้ำหนัก (%)	kg/kg _{dry}	kg/kg _w	
CH ₄	1	16	16.0	45.63	0.4563	0.036	
CO ₂ , ที่ไม่ทำปฏิกิริยา				54.37	0.5437	0.043	
ไอเสีย	CO ₂	1	44	44.0	125.48	1.2548	0.098
	H ₂ O	2	18	32.0	91.26	0.9126	0.071
	O ₂	1.04	32	33.3	94.91	0.9491	0.074
	N ₂	11.43	28	320.0	912.71	9.1271	0.714
รวม (เฉพาะไอเสีย)				1278.74	12.7874	1	

จากข้อมูลการวัดค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของสถานะแวดล้อมและไอเสีย สำหรับฟาร์ม A มีค่าเท่ากับ 32°C และ 416°C ตามลำดับ ดังนั้นค่าความจุความร้อนและความหนาแน่นของก๊าซแต่ละชนิดที่เปิดจากตาราง ข15-ข16. แสดงคุณสมบัติในภาคผนวก สามารถหาค่าความจุความร้อนของไอเสีย (C_p) ได้ดังตาราง

ตาราง ก.3 การหาค่าความจุความร้อนของไอเสีย (C_p)

ก๊าซที่อุณหภูมิ	สัดส่วน(R) (kg/kg _g)	C_p (kJ/kg-K)	ผลคูณ $R \times C_p$	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ปริมาตร (m ³ /kg _g)
CO _{2,32}	0.043	0.87	0.037	1.7973	0.0237
CO _{2,415}	0.098	1.18	0.116	0.8101	0.1211
H ₂ O _{,415}	0.071	2.07	0.148	0.3140	0.2273
O _{2,415}	0.074	1.02	0.076	0.6026	0.1232
N _{2,415}	0.714	1.10	0.790	0.4934	1.4466
รวม	1	$C_{p,รวม} = 1.17 \text{ kJ/kg-K}$			1.9182

จากอัตราการไหลก๊าซชีวภาพต่อการป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ คือ 1 : 8 ดังนั้นก๊าซชีวภาพ 1 ส่วนจะทำให้เกิดไอเสีย 9 ส่วน สำหรับฟาร์ม A ใช้ก๊าซชีวภาพด้วยอัตรา 470 m³/h ดังนั้นจะเกิด ไอเสียในอัตรา 4,230 m³/h และอัตราการไหลโดยมวลมีค่าเท่ากับ $(4,230/1.9182)/3600 = 0.6126 \text{ kg/s}$

7. การหาลักษณะที่เหมาะสมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีหน้าที่จะต้องทำให้น้ำร้อนขึ้น 5°C (จาก 85°C เป็น 90°C) ตามความต้องการของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม โดยมีของไหลที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนคือไอเสียจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่จะนำมาพิจารณากับงานวิจัยนี้คือแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube) สำหรับการหาราคาของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะอาศัยกราฟการประมาณราคาในภาคผนวก ข.

สำหรับฟาร์ม A ซึ่งมีอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ย 416°C และนำพลังงานไปใช้ได้ประมาณ 50% จะมีอุณหภูมิออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 100°C มีอัตราการไหลโดยมวล 0.6126 kg/s และมีค่าความจุความร้อน (C_p) 1.17 kJ/kg-K ดังนั้นค่าอุณหภูมิแตกต่างแบบล็อกมีน (Logarithmic Mean Temperature Difference, LMTD) จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \\ &= [(416-90)-(100-85)] / \ln[(416-90)/(100-85)] \\ &= 101.01 \text{ K} \end{aligned}$$

และ $\dot{Q} / \text{LMTD} = 397,000 / 101.01$
 $= 3,930 \text{ W/K}$

และ $\dot{Q} = UA(\text{LMTD})$
 $A = 3930 / (105 \times 101.01)$
 $= 37.05 \text{ m}^2$

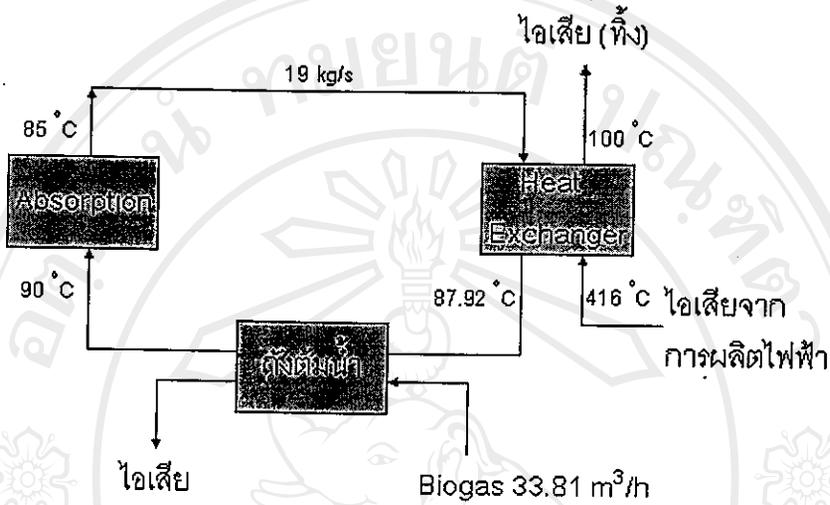
จากค่า \dot{Q} / LMTD นำไปเปิดเทียบค่าในตารางของ Hewitt, Guy and Marsland : 1982 ได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) เท่ากับ $105 \text{ W/m}^2\text{-K}$ สำหรับราคาของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อพิจารณาจากรูป ข.1 ในภาคผนวก ข. มีราคาเครื่องละ \$9,000 หรือประมาณ 350,000 บาท

8. การให้ความร้อนเสริมจากก๊าซชีวภาพ

เมื่อการเก็บคืนความร้อนทิ้งจากไอเสียจากระบบการผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ ไม่เพียงพอต่อการให้พลังงานแก่ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม จึงต้องมีการเผาก๊าซชีวภาพเพื่อให้ความร้อนเสริม โดยหลังจากใช้ไอเสียแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเพื่อผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิค่าหนึ่ง แล้วผ่านกระบวนการเพิ่มความร้อนแก่น้ำโดยนำเข้าสู่หม้อต้มน้ำที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง สามารถแสดงวิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากฟาร์ม A ดังนี้

- เมื่อ
- อัตราการไหลของไอเสีย 0.613 kg/s
 - ค่าความจุความร้อนของไอเสีย 1.17 kJ/kg-K
 - อุณหภูมิทางเข้า-ทางออกของไอเสีย 416°C และ 100°C
 - อุณหภูมิทางเข้า-ทางออกของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม 90°C และ 85°C
 - อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ต้องการ 19 kg/s
 - ค่าความจุความร้อนของน้ำ 4.18 kJ/kg-K
 - สัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) ในก๊าซชีวภาพ 70.3%
 - ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน 0.621 kg/m^3
 - ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน $50,000 \text{ kJ/kg}$
 - พลังงานที่ต้องป้อนสูงสุด(ที่ภาระสูงสุดในการทำความเย็น) 437 kW

จาก $\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$
 ดังนั้น พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากไอเสีย = $(0.613)(1.17)(416-100)$
 = 232 kW



รูป ค.1 การหาปริมาณการเผาก๊าซชีวภาพ

นั่นคือพลังงานจากไอเสียสามารถป้อนแก่ระบบทำความเย็นได้สูงสุด 232 kW ซึ่งสามารถหาอุณหภูมิทางออกของน้ำร้อนที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังนี้

จาก $\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$
 $232 = (19)(4.18)(\text{อุณหภูมิทางออก} - 85)$
 ดังนั้น อุณหภูมิทางออก = 87.92 °C

จากพลังงานที่ต้องการ 437 kW แต่สามารถให้พลังงานได้ 232 kW ดังนั้นจะต้องเสริมพลังงานอีก 205 kW นำมาหาปริมาณการเผาก๊าซชีวภาพ(ตามสมการที่ 4) ได้ดังนี้

จาก $Hu_{\text{biogas}} = \%CH_4 \text{ in biogas} \times Q_{\text{biogas}} \rho_{CH_4} \times Hu_{CH_4}$
 $205 = (0.703)(Q_{\text{biogas}})(0.621)(50,000)/(3,600)$
 ดังนั้น $Q_{\text{biogas}} = 33.81 \text{ m}^3/\text{h}$

8. การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

8.1 การพิจารณาการใช้พลังงานตามภาระทำความเย็น

เมื่อต้องการความเย็น 338 kW หรือ 82% ของความต้องการความเย็นสูงสุด(412 kW) จาก Performance Data ในภาคผนวก ก.จะต้องป้อนพลังงานแก่ระบบทำความเย็น 320 kW หรือ 81% ของพลังงานป้อนที่ภาระทำความเย็นสูงสุด(397 kW) แต่จากพลังงานที่สามารถเก็บคืนได้จาก ไอเสียนี้อีกเพียง 232 kW ดังนั้นจึงต้องมีการเผาก๊าซชีวภาพให้พลังงานเสริม 88 kW ซึ่งปริมาณการเผาก๊าซชีวภาพสามารถหาได้จากสมการที่ 4 ดังนี้

$$\begin{aligned}Hu_{\text{biogas}} &= \% \text{CH}_4 \text{ in biogas} \times Q_{\text{biogas}} \rho_{\text{CH}_4} \times Hu_{\text{CH}_4} \\ 88 &= (0.703 \times Q_{\text{biogas}} \times 0.621 \times 50,000)/3600 \\ Q_{\text{biogas}} &= 14.51 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

สำหรับการแบ่งก๊าซชีวภาพไปเผาช่วยให้ความร้อนเสริมในปริมาณนี้จะเสียโอกาสในการผลิตไฟฟ้า 14.88 kW และคิดเป็นค่าใช้จ่ายจากการซื้อไฟฟ้ามาใช้เพิ่ม 41.67 บาท/ชั่วโมง (ค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากองค์การไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 2.76 บาท/หน่วย)

8.2 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนสุกรในฟาร์ม

จากความเย็นที่ต้องการสำหรับเลี้ยงสุกรในโรงเรือนที่มีการทำความเย็นระบบดูดซึม 255 กิโลวัตต์ โดยป้อนพลังงานแก่ระบบ 232 กิโลวัตต์ จะต้องเป็นฟาร์มที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณ 8,622 m³/วัน (ตามกัรคำนวณในหัวข้อที่ 1) ของเสียจากสุกรที่เพียงพอมาจาก น้ำหนักสุกรทั้งหมดในฟาร์ม 3,735,000 กิโลกรัม หรือ 62,248 ตัว

เมื่อเทียบจากกรณีสุกร 1,000 ตัว ต้องการทำความเย็น 244 กิโลวัตต์ หากระบบทำความเย็นได้ 255 กิโลวัตต์ จะสามารถเลี้ยงสุกรได้เพิ่มเป็น 1,047 ตัว/โรงเรือน และเมื่อคิดภายในระยะเวลา 1 ปี (เลี้ยงสุกรได้ 2.49 ครั้ง/โรงเรือน, อัตราการตาย 1.8%) จะสามารถเลี้ยงสุกรได้

$$1,047 \times 2.49 \times (1-0.018) = 2,560 \text{ ตัว/ปี}$$

เมื่อเลี้ยงสุกรในโรงเรือนที่มีการปรับอากาศเทียบกับโรงเรือนแบบเปิดธรรมดา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 170 บาท/ตัว ตามตาราง 4.6 คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$2,560 \times 170 = 435,170 \text{ บาท/ปี}$$

8.3 การหาอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR)

จากข้อมูลเบื้องต้นและผลการวิเคราะห์ของฟาร์ม A

- มูลค่าการลงทุน มีค่าเท่ากับ 12,034,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายประจำทุกๆ 5 ปี มีค่าเท่ากับ 48,000 บาท
- รายได้สุทธิรายปี มีค่าเท่ากับ 3,458,017 บาท
- ระบบทำความเย็นมีอายุการใช้งาน 25 ปี

$$0 = a \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} - \sum_{n=j}^N \frac{f_n}{(1+i)^n} - p$$

$$0 = (3,458,017) \left[\frac{(1+i)^{25} - 1}{i(1+i)^{25}} \right] - (48,000) \left[\frac{1}{(1+i)^5} + \frac{1}{(1+i)^{10}} + \frac{1}{(1+i)^{15}} + \frac{1}{(1+i)^{20}} + \frac{1}{(1+i)^{25}} \right] - p$$

$$i = 0.2934$$

$$\text{IRR} = 29.34\%$$

8.2 การหาระยะเวลาคืนทุน

คือการหาค่า N จากสมการ

$$N = \frac{p}{a - \left(\sum_{n=j}^N \frac{f_n}{(1+i)^n} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)}$$

$$= 12,034,000 / \left(3,458,017 - (48,000) \left[\frac{1}{(1+i)^5} + \frac{1}{(1+i)^{10}} + \frac{1}{(1+i)^{15}} + \frac{1}{(1+i)^{20}} + \frac{1}{(1+i)^{25}} \right] \cdot \left[\frac{0.0625(1.0625)^{25}}{(1.0625)^{25} - 1} \right] \right)$$

$$N = 3.47$$

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ 3.47 ปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ
วัน เดือน ปี เกิด	4 ตุลาคม 2521
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540-2543 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประสบการณ์	พ.ศ. 2543-2546 ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved