

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัญจนา บุญเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมีภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- นายเกียรติไกร อายุวัฒน์. รายงานสรุปและศึกษาเพื่อออกแบบและทดสอบการผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบ. ฝ่ายต้นแบบและทดสอบ กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2531.
- จกเกียรติ วิเศษจ้ง, ชนินทร์ จินตนเสฐียร และวราภรณ์ สวัสดิ์ธรมภักดี. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบในเบตนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- จเด็จ ทางเจริญ และเอกรินทร์ รอยกุลเจริญ . การผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบในฟลูอิดไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- นครินทร์ แสงโรจน์ศิริกุล และ รัชณี ชีระธรรมานุกุล. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบในเบตนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย. การวิจัย Gasification of charcoal. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2534.
- นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย. ก๊าซชีววมวล (PRODUCER GAS). วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กันยายน 2526.
- พรทิพย์ แก้ววรรณชัช. แบบจำลองของการก๊าซซิฟิเคชันจากถ่านไม้ใน ฟลูอิดไคซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- พลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. การใช้พลังงานในเขตชนบท ประเทศไทย 2528 . กรุงเทพมหานคร : สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2528. พลังงานแห่งชาติ ,สำนักงาน.

พลังงานแห่งชาติ,สำนักงาน. รายงานระบบผลิตก๊าซชีววมวลในประเทศไทย. ศูนย์ข้อมูล
พลังงานแห่งประเทศไทย กองนโยบายและการวางแผนพลังงาน
สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, ตุลาคม 2532.

มานพ พุ่มจันทร์,พรศักดิ์ ทวีมหาเกียรติ และวัชระ เลขานุญาพร.การผลิตก๊าซชีววมวลจาก
แกลบในฟลูอิดไคซ์เบด.วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

รสริน เศรษฐภักดี และ จันทิรา คงรักษ์กวิน.การสร้างเครื่องวัดปริมาณทาร์อย่างง่าย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-
มหาวิทยาลัย, 2535.

รายงานการสำรวจแกลบจากโรงสีขนาดเล็ก ฝ่ายสำรวจพลังงานทดแทน กองสำรวจพลังงาน
สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน,
ตุลาคม 2530.

ศักดิ์ แสนสุภา, รศ.ดร.พล สาเททอง และ รศ.ดร.วรพัฒน์ อรรถยุกติ. เอกสารเผยแพร่
การผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไคซ์เบด.

อรอนงค์ จัวันประเสริฐ. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท่อตรง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 445 สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2535/2536.
ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
2536.

ภาษาอังกฤษ

Agricultural residue as an energy source Economic and Social Commission for Asia
and Pacific Proceedings of the Seminar-Cum-Study Tour on Gasification of
rice-husk and other biomass, held in China and The Republic of Korea, 5-18
September 1990, United nations New York, 1991.

Anradha Ganesh, Prem Grover and P.V. Ramachandra Iyer. Combustion and
Gasification Characteristics of Rice Husk. Fuel 71(1992), pp.889-894.

ASTM Standards, D3172. Proximate Analysis of Coal and Coke. American Society for
Testing and Materials, U.S.A., 1986.

- ASTM Standards, D3173. Test Method for Moisture in the Analysis sample of Coal and Coke. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
- ASTM Standards, D3174. Test Method for Ash in the Analysis of Coal and Coke. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
- ASTM Standards, D3175. Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Coal and Coke. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
- ASTM D2015 Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
- Beagle E.C. Rice-husk conversion to energy. Food and Agriculture organization of the United nations Rome, 1978.
- Biomass Gasification in Thailand. Chulalongkorn University, Ministry of Science, Technology and Energy, 1984.
- Breag, G.R. and Chittenden A.E. Producer Gas: Its Potential and Application in Developing Country Publication of Tropical Product Institute, pp.3-15, 1979.
- Design, Fabrication, Testing and field demonstration of biomass gasifier systems for irrigation pumping (final report). TATA Energy Research Institute, December 1990.
- Kirk R.E. Producer gas, Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons Inc. Vol.8, pp. 765-769, 1956.
- Nara Pitakarnnop. Production and evaluation of rice husk briquets in Thailand. Ministry of science, Technology and Energy, Bangkok, pp.1-15.
- Paul T. Williams and Serpil Besler. The pyrolysis of rice husks in a thermogravimetric analyzer and static batch reactor. Fuel . 72(1993), pp.151-159.
- Proceeding of the biomass gasification workshop. Chulalongkorn University Phaya Thai Road, Bangkok, Thailand, May-June 1984.
- Sett, A. Mathematical Modelling of a Fluidized Bed Charcoal Gasifier. AIT Thesis, Bangkok, pp.5-13, 1986.

Sithipong, N. Fluidized Bed Gasification of agricultural Wastes for Rural
Communities in Thailand. A Research on Biomass Gasification in Thailand
Submitted to the National Energy Administration, Ministry of science,
Technology and Energy, Bangkok, pp.229-257, 1984.

US 1,862,477 (June 7,1932)

US 2,506,782 (May 9,1950)

US 3,775,072 (Nov 27,1973)

US 3,980,451 (Sep 14,1976)

US 4,074,979 (Feb 21,1978)



คุนยวิทย์ทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์สมบัติของแกลบ

1) การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) : ASTM D3172

1.1 ความชื้น (Moisture) : ASTM D3173

วิธีการทดลอง

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (Desicator) ที่ไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งแล้ว บันทึกน้ำหนัก

- ชั่งตัวอย่างแกลบประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบ น้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแกลบ

- นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างแกลบคงที่

- นำถาดอลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที จึงชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ใน บันทึกผล สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100(W_1 - W_2)/W$$

เมื่อ M : ร้อยละของความชื้น

W_1 : น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างแกลบเริ่มต้น ก่อนอบ (กรัม)

W_2 : น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างแกลบที่อบ แล้ว (กรัม)

W : น้ำหนักของตัวอย่างแกลบ (กรัม)

1.2 เถ้า (ash) : ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- เเผาครุชเชิลพอร์ซเลน (Porcelain Crucible) พร้อมฝานในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเคสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครุชเชิลพร้อมฝา

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแกลบใส่ครุชเชิล ประมาณ 1 กรัม

- นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนจนควันระเหยหมด

- ใส่ครุชเชิลพร้อมฝานในเตาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

- นำครุชเชิลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเคสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100(W_3 - W_4)/W$$

เมื่อ A : ร้อยละของเถ้า

W_3 : น้ำหนักของครุชเชิลพร้อมฝานที่มีเถ้า (กรัม)

W_4 : น้ำหนักของครุชเชิลพร้อมฝาน (กรัม)

W : น้ำหนักของตัวอย่างแกลบ (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหยในตัวอย่างแกลบ (Volatile Matter) : ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- เเผาครุชเชิลพร้อมฝานในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเคสิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักครุชเชิลพร้อมฝาน บันทึกผล

- ชั่งตัวอย่างแกลบใส่ไว้ในครุชเชิลประมาณ 1 กรัม

- ปิดฝาครุชเชิลให้เรียบร้อยนำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

- หย่อนครุชเชิลให้อยู่บริเวณปากเตา อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

- หย่อนครุชเชิลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 6 นาที

- นำครุชชีเบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปใส่ในเคชิกเตอร์ประมาณ 15 นาที
นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [100(W_5 - W_6)/W] - M$$

- เมื่อ V : ร้อยละของสารระเหย
 W_3 : น้ำหนักของครุชชีเบิลพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักแคลบก่อนเผา (กรัม)
 W_4 : น้ำหนักของครุชชีเบิลพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักแคลบหลังเผา (กรัม)
 W : น้ำหนักของตัวอย่างแคลบ (กรัม)
 M : ร้อยละของความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างถ่านไม้ (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 - ร้อยละของความชื้น - ร้อยละของเถ้า - ร้อยละของสารระเหย

2) การหาค่าความร้อนของแคลบ (Gross Heating Value) : ASTM D2015

วิธีการทดลอง

- ฟูเส้นใยแอสเบสตอส (Asbestos) ลงในถ้วยเผาใหม่ จากนั้นใส่ตัวอย่างแคลบประมาณ 1 กรัม
- วางออกซิเจนบอมบ์บนที่ตั้ง ถอดฝาปิดบอมบ์ออกแล้ววางบนขาตั้งบอมบ์จากนั้นตัดและวัดลวดยาวประมาณ 10 เซนติเมตร นำมาผูกไว้ระหว่างปลายทั้งสองของแท่งเหล็กที่อยู่ด้านล่างของฝาบอมบ์
- วางถ้วยที่บรรจุแคลบลงบนห่วงอิเล็กโตรดใต้ฝาบอมบ์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้โค้งเป็นรูปตัวยูและอยู่บนผิวหน้าของแคลบ
- เติมน้ำกลั่นในออกซิเจนบอมบ์ 1 มิลลิลิตร
- ประกอบฝาบอมบ์กับตัวบอมบ์เข้าด้วยกัน ขันเกลียวให้แน่นนำไปอัดก๊าซออกซิเจนอย่างช้าๆจนมีความดัน 20-25 บรรยากาศ

- เติมน้ำลงในถังแช่บอมบ์ 1 ลิตร โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 24-25 องศาเซลเซียส
ซึ่ง นำออกซิเจนบอมบ์ที่อัดก๊าซไว้เรียบร้อยแล้ววางบนถังบอมบ์ เสียบสายอิเล็กโตรด 2 เส้นเข้า
กับบอมบ์เติมน้ำลงในถังอีก 1 ลิตร

- ตรวจสอบว่ามีฟองก๊าซฟุ้งขึ้นมาจากส่วนต่างๆของฝาบอมบ์หรือไม่ก่อน แล้ว
ปิดฝาเครื่อง ลดระดับเทอร์โมมิเตอร์และเครื่องกวนลงมา

- เปิดสวิตซ์ให้เครื่องกวนทำงานทุกๆ 30 วินาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำที่อยู่
ในถังหุ้มของระบบบอมบ์ (Jacket) และน้ำในถังแช่บอมบ์ เมื่อได้ค่าใกล้เคียงจึงเริ่มกดปุ่มจุด
ระเบิด

- หยุดการทดลอง เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังแช่บอมบ์เพิ่มขึ้นจนคงที่จากการอ่าน
ทุกนาที ไม่ต่ำกว่า 2 ค่าต่อเนื่องกัน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$Hg = (t(W) - e_1 - e_2 - e_3 - e_4)/g$$

เมื่อ Hg : Gross Heat of Combustion, Cal/g

t : อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น, องศาเซลเซียส

W : ค่าน้ำสมมูลของเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ (Water Equivalent),
แคลลอรี่/ องศาเซลเซียส

e₁ : การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO₃

: มิลลิลิตรของ 0.0709 N Na₂CO₃

e₂ : การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H₂SO₄ : 13.7 * (%S). Cal

e₃ : การแก้ค่าความร้อนของ Fuse Wire

: 2.3 * ความยาวลวดที่ไหม้ไป, เซนติเมตร

e₄ : การแก้ค่าความร้อนของ Cotton Thread = 0

g : น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ข้อมูลการทดลอง

1. ข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติแกลบ

1.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (% Moisture)

ตารางที่ ก.1 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

ตัวอย่าง	น้ำหนักแกลบก่อนทดลอง (กรัม) : W	น้ำหนักแกลบหลังทดลอง (กรัม) : (W ₁ - W ₂)	ร้อยละความชื้น : M
1	1.0012	0.9180	8.31
2	1.0004	0.9239	7.65
3	1.0009	0.9246	7.58
4	1.0008	0.9371	6.36
5	1.0009	0.9364	6.44
6	1.0008	0.9444	5.63
7	1.0008	0.9391	6.16
8	1.0002	0.9391	6.22
9	1.0003	0.9237	7.65
10	1.0003	0.9327	6.75
		ค่าเฉลี่ย	6.88

1.2 วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (% Ash)

ตารางที่ ก.2 วิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

ตัวอย่าง	น้ำหนักแกลบก่อนทดลอง (กรัม) : W	น้ำหนักเถ้า(กรัม) : (W ₃ - W ₄)	ร้อยละเถ้า : A
1	1.0005	0.1838	18.37
2	1.0000	0.1808	18.08
3	1.0009	0.1840	18.38
4	1.0005	0.1832	18.31
5	1.0004	0.1811	18.10
		เฉลี่ย	18.25

1.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (% Volatile Matter)

ตารางที่ ก.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย

ตัวอย่าง	น้ำหนักแกลบก่อนทดลอง (กรัม) : W	น้ำหนักแกลบหลังทดลอง (กรัม) : (W ₅ - W ₆)	ร้อยละสารระเหย : V
1	1.0008	0.3528	57.19
2	1.0009	0.3409	58.39
3	1.0009	0.3581	56.67
		ค่าเฉลี่ย	57.42

1.4 หาปริมาณคาร์บอนคงตัวในแกลบ (Fixed Carbon)

$$\begin{aligned} \text{Fixed Carbon (ค่าเฉลี่ย)} &= 100 - 6.88 - 18.25 - 57.42 \\ &= 17.45 \end{aligned}$$

2. ข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติถ้ำกลบ

2.1 วิเคราะห์หาปริมาณถ้ำ (% Ash)

ตารางที่ ก.4 วิเคราะห์หาปริมาณถ้ำ

ตัวอย่าง	น้ำหนักถ้ำก่อนทดลอง(กรัม)	น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละถ้ำ
1	1.0007	0.8526	81.17
2	1.0003	0.8478	84.75
3	1.0006	0.8415	76.15
		ค่าเฉลี่ย	80.69

2.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (% Volatile Matter)

ตารางที่ ก.5 วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย

ตัวอย่าง	น้ำหนักถ้ำก่อนทดลอง(กรัม)	น้ำหนักถ้ำหลังทดลอง(กรัม)	ร้อยละสารระเหย
1	1.0053	0.7114	21.16
2	1.0021	0.7745	18.61
3	1.0011	0.7868	17.30
		ค่าเฉลี่ย	19.00

2.3 หาปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ้ำ (Fixed Carbon)

$$\begin{aligned} \text{Fixed Carbon (ค่าเฉลี่ย)} &= 100 - 80.69 - 19.00 \\ &= 0.31 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 1

อัตราการไหลของอากาศ 0.12 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	450	470	470	480	450	440	450	440	420	440	430
4	19	530	500	510	520	520	500	490	490	480	490	480	470
3	14	530	550	520	510	400	390	380	400	390	400	410	410
2	9	570	560	550	530	420	420	410	430	380	390	400	410
1	4	430	460	420	400	380	380	350	380	361	340	390	400

อัตราการไหลของอากาศ 0.16 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	490	490	500	500	480	470	470	480	470	460	470	480
4	19	590	580	580	590	560	550	540	550	530	530	520	530
3	14	680	670	620	610	610	580	580	560	580	580	580	570
2	9	600	580	520	510	510	490	500	520	580	580	580	580
1	4	420	400	400	400	400	390	390	400	410	410	430	420

อัตราการไหลของอากาศ 0.20 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	500	510	510	530	550	550	540	510	510	500	480	480
4	19	600	610	620	630	650	640	630	610	600	600	590	590
3	14	690	690	680	670	650	630	630	650	670	680	580	690
2	9	610	610	600	580	550	520	530	560	590	600	610	600
1	4	440	430	430	410	410	400	410	430	430	420	430	430

อัตราการไหลของอากาศ 0.24 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	500	520	530	580	570	570	550	510	530	500	500	490
4	19	620	630	650	680	690	690	620	610	600	600	590	590
3	14	810	800	780	740	700	680	630	630	650	680	690	700
2	9	700	690	680	650	630	600	550	540	570	600	600	610
1	4	490	490	460	450	430	420	400	420	430	450	440	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	410	430	470	500	55	570	550	530	520	500	510	500
4	19	480	510	600	620	680	580	580	570	600	610	600	600
3	14	460	550	570	600	600	590	600	650	710	790	820	800
2	9	310	480	490	550	530	520	520	640	680	710	710	710
1	4	310	390	450	450	440	440	450	480	490	490	490	480

การทดลองที่ 2

อัตราการไหลของอากาศ 0.13 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	480	490	490	480	440	440	430	420	420	440	410
4	19	530	540	550	550	550	510	500	420	390	380	490	390
3	14	530	530	510	500	480	420	430	430	440	440	420	420
2	9	590	550	540	500	420	420	430	450	450	480	480	480
1	4	410	420	420	390	380	380	350	350	350	350	390	400

อัตราการไหลของอากาศ 0.15 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	500	510	510	520	480	470	450	450	440	440	440
4	19	600	600	590	590	550	540	540	520	520	500	510	510
3	14	570	650	620	610	600	570	550	580	590	590	580	570
2	9	680	670	640	600	540	530	510	530	540	560	560	580
1	4	440	420	420	410	410	400	400	380	390	390	400	400

อัตราการไหลของอากาศ 0.21 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	480	500	520	560	570	550	540	500	480	490	500
4	19	590	620	620	650	650	620	620	600	590	590	600	600
3	14	700	710	590	670	630	630	600	640	550	670	670	670
2	9	620	610	590	570	550	500	500	540	550	580	580	590
1	4	400	400	410	420	420	390	380	400	410	430	430	430

อัตราการไหลของอากาศ 0.27 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	520	520	550	570	580	560	560	550	530	500	500	480
4	19	610	820	670	680	680	690	650	630	620	620	590	590
3	14	820	810	770	760	750	700	650	610	640	670	680	710
2	9	710	690	670	660	640	590	550	550	580	600	610	610
1	4	500	490	460	430	430	410	410	400	390	420	440	460

อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	350	430	470	500	550	570	550	530	520	500	510	500
4	19	380	510	600	620	580	580	580	570	600	610	600	600
3	14	430	480	530	550	620	630	600	630	700	780	810	800
2	9	450	510	520	580	630	640	600	610	670	700	700	710
1	4	290	300	300	460	460	470	440	480	500	520	520	480



การทดลองที่ 3

อัตราการไหลของอากาศ 0.10 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	310	300	290	280	280	260	250	230	220	230	240	280
4	19	550	550	540	520	490	460	460	410	420	410	420	450
3	14	550	580	580	580	630	520	500	460	450	440	460	500
2	9	570	620	610	680	600	600	670	480	450	450	450	440
1	4	520	540	570	570	560	500	500	460	430	430	440	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.17 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	350	300	420	350	320	300	280	250	260	240	250	260
4	19	570	680	700	650	580	560	550	550	540	540	560	570
3	14	580	600	620	610	600	590	560	560	560	550	550	580
2	9	550	500	550	590	550	540	620	640	630	650	680	670
1	4	410	450	490	610	500	480	530	540	530	530	530	520

อัตราการไหลของอากาศ 0.20 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	550	560	550	620	650	650	550	500	470	480	490	500
4	19	640	680	650	680	700	720	700	650	620	580	600	600
3	14	590	560	560	580	570	620	650	600	620	690	680	670
2	9	530	500	500	500	480	500	530	500	540	560	560	590
1	4	480	480	470	460	450	440	480	460	490	480	450	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.25 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	450	460	500	570	580	610	630	580	570	540	530	500
4	19	630	620	670	690	700	740	750	600	640	620	590	550
3	14	590	650	700	750	800	840	800	710	620	680	530	650
2	9	550	650	670	650	630	700	620	570	550	530	600	610
1	4	480	490	500	480	470	500	510	520	520	500	490	460

อัตราการไหลของอากาศ 0.33 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	270	580	450	430	550	570	550	530	520	570	600	670
4	19	580	650	630	600	650	690	580	570	600	630	650	670
3	14	570	540	570	630	580	630	600	670	740	810	860	840
2	9	580	530	550	610	550	600	640	610	670	700	750	680
1	4	550	520	530	550	540	500	440	480	500	520	520	510

การทดลองที่ 4

อัตราการไหลของอากาศ 0.12 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	360	400	420	440	430	400	400	450	450	400	420	420
4	19	500	530	540	520	500	500	500	520	470	410	450	450
3	14	480	500	500	570	520	520	530	550	500	500	520	570
2	9	450	480	470	500	600	650	670	640	580	560	590	570
1	4	420	425	400	450	500	510	520	500	500	470	500	460

อัตราการไหลของอากาศ 0.16 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	320	340	380	470	520	540	580	600	600	650	550	550
4	19	370	470	520	540	550	550	620	650	670	650	560	550
3	14	400	450	480	500	520	600	680	700	710	670	650	640
2	9	300	350	420	450	450	450	500	530	560	650	600	550
1	4	340	320	320	340	340	340	340	360	370	390	400	400

อัตราการไหลของอากาศ 0.20 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	320	370	460	510	540	560	570	590	500	500	520	500
4	19	480	500	550	600	650	630	600	600	620	640	650	600
3	14	640	550	600	670	690	680	690	630	650	680	670	650
2	9	500	500	490	550	650	550	500	540	560	580	590	650
1	4	500	530	490	470	470	450	450	400	410	430	440	430

อัตราการไหลของอากาศ 0.25 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	560	640	680	680	600	600	580	550	530	500	500	480
4	19	600	620	530	700	670	640	550	560	580	600	590	590
3	14	580	580	550	650	640	700	760	650	640	710	700	760
2	9	560	580	560	540	500	600	650	630	620	620	610	610
1	4	520	650	620	560	500	500	410	400	390	420	440	450

อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	260	580	620	590	580	450	550	600	560	600	620	620
4	19	750	600	670	700	760	680	780	830	750	800	840	700
3	14	620	600	590	610	590	630	680	760	700	740	810	660
2	9	610	560	540	570	530	680	680	650	560	550	580	550
1	4	570	540	520	530	490	540	580	600	550	540	520	520

การทดลองที่ 5

อัตราการไหลของอากาศ 0.11 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	440	400	390	320	300	280	380	360	400	420	420	400
4	19	520	490	410	380	340	320	370	320	320	310	310	450
3	14	520	500	400	400	400	400	390	340	360	400	420	400
2	9	570	530	490	480	420	420	410	380	380	390	400	400
1	4	430	410	380	370	380	380	350	300	320	340	390	400

อัตราการไหลของอากาศ 0.15 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	430	420	420	400	390	470	540	640	630	480	470	450
4	19	470	470	450	440	360	400	450	450	500	530	520	530
3	14	620	510	500	500	410	500	540	540	580	580	580	570
2	9	650	520	530	540	460	540	560	560	580	580	580	580
1	4	470	450	510	540	310	340	360	400	480	430	430	420

อัตราการไหลของอากาศ 0.21 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	450	460	480	480	490	520	510	460	460	450	450	440
4	19	510	520	540	600	590	590	570	500	490	490	490	490
3	14	700	690	680	640	630	600	600	590	620	610	620	620
2	9	680	680	680	650	640	630	600	600	630	630	630	650
1	4	510	510	500	500	490	480	460	460	480	480	480	480

อัตราการไหลของอากาศ 0.25 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	500	500	510	510	520	540	540	480	470	470	460	450
4	19	610	600	630	630	620	600	600	500	490	490	490	490
3	14	800	780	750	740	720	700	600	610	640	670	670	680
2	9	700	690	680	680	610	600	580	600	610	630	640	680
1	4	480	470	450	440	440	430	450	450	450	490	500	500

อัตราการไหลของอากาศ 0.31 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	400	500	570	560	550	520	520	510	500	500	510	500
4	19	480	590	600	600	580	580	550	550	600	610	600	600
3	14	450	560	570	600	600	600	680	710	750	790	800	810
2	9	300	430	490	670	630	660	660	660	700	780	750	750
1	4	300	410	450	450	450	470	480	480	490	490	490	480

การทดลองที่ 6

อัตราการไหลของอากาศ 0.12 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	460	490	490	500	470	450	450	400	390	380	390
4	19	500	490	520	520	610	480	490	490	470	460	460	450
3	14	600	610	560	550	500	470	480	480	490	510	520	520
2	9	550	570	550	510	420	410	430	430	450	460	480	490
1	4	400	410	380	380	360	360	350	310	320	330	330	330

อัตราการไหลของอากาศ 0.16 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	480	480	520	520	490	480	470	470	460	460	450	450
4	19	580	600	610	600	660	560	540	530	530	520	520	510
3	14	690	690	660	610	590	580	580	600	600	610	600	600
2	9	620	580	520	510	500	500	480	500	550	560	560	550
1	4	410	410	400	390	390	390	390	400	400	400	420	420

อัตราการไหลของอากาศ 0.22 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	490	520	520	540	550	530	530	500	490	490	480	480
4	19	580	620	620	650	650	630	620	610	610	600	580	580
3	14	700	710	700	680	640	630	610	680	670	670	690	700
2	9	620	600	600	590	570	520	510	540	600	600	610	620
1	4	430	400	400	400	390	380	380	450	450	480	460	450

อัตราการไหลของอากาศ 0.27 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	510	510	530	560	590	590	580	550	630	510	500	490
4	19	600	620	650	690	690	690	620	610	600	600	590	590
3	14	820	790	770	740	700	680	639	620	650	689	680	700
2	9	700	680	680	650	630	600	550	540	570	600	610	610
1	4	470	470	460	450	430	420	400	410	430	450	450	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	390	400	460	470	470	570	550	540	520	500	490	500
4	19	400	420	450	500	580	570	580	570	600	610	600	600
3	14	420	450	530	600	580	590	600	650	710	790	820	800
2	9	400	480	490	550	530	520	520	660	720	710	700	690
1	4	280	390	390	450	440	440	450	480	490	490	490	480

การทดลองที่ 7

อัตราการไหลของอากาศ 0.12 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	450	400	390	380	360	300	350	370	360	400	420	400
4	19	430	490	420	430	410	380	380	390	400	410	400	390
3	14	470	460	410	410	400	390	420	440	460	470	430	400
2	9	410	470	420	370	370	350	450	440	440	440	410	400
1	4	340	400	390	360	380	380	400	420	420	420	410	410

อัตราการไหลของอากาศ 0.15 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	400	370	420	440	400	300	320	340	370	400	420	460
4	19	410	420	450	460	480	500	500	450	480	490	520	530
3	14	385	410	400	400	500	500	540	500	520	580	570	560
2	9	370	380	370	350	300	450	500	490	500	520	560	540
1	4	300	325	320	300	410	440	430	400	380	420	430	430

อัตราการไหลของอากาศ 0.21 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	560	360	350	450	450	460	470	450	400	440	440	460
4	19	610	440	430	490	500	520	520	520	500	520	580	600
3	14	510	400	390	440	450	460	450	470	500	540	570	560
2	9	440	400	400	410	400	400	390	420	450	470	500	510
1	4	370	390	380	350	340	300	300	410	400	410	420	420

อัตราการไหลของอากาศ 0.25 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	490	410	540	480	460	440	460	480	470	510	550	560
4	19	560	505	670	590	540	500	530	560	550	600	610	630
3	14	539	500	530	550	540	600	630	660	620	580	55	560
2	9	450	460	500	530	535	545	500	530	550	500	500	490
1	4	450	460	420	410	410	410	390	380	400	400	400	390

อัตราการไหลของอากาศ 0.31 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบค (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	150	270	430	580	600	520	510	610	660	680	650	630
4	19	630	660	650	640	640	620	650	660	690	720	700	670
3	14	590	590	590	580	580	570	590	600	640	680	680	650
2	9	580	560	550	550	540	530	550	590	630	650	640	640
1	4	550	520	520	510	500	490	470	510	550	580	550	540

การทดลองที่ 8

อัตราการไหลของอากาศ 0.12 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	600	650	670	540	500	480	590	590	590	585	550	580
4	19	600	570	560	520	510	470	600	600	630	620	600	590
3	14	550	500	520	540	500	470	520	500	500	500	500	500
2	9	530	500	510	500	480	410	530	460	570	560	560	560
1	4	410	410	430	380	360	400	460	460	470	450	450	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.17 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	500	570	550	540	540	460	630	650	600	600	550	600
4	19	560	585	610	615	615	540	510	550	530	580	600	620
3	14	500	500	520	520	520	530	490	550	620	680	650	600
2	9	480	470	490	500	510	500	480	520	550	580	560	540
1	4	440	430	420	420	420	460	410	410	420	430	420	420

อัตราการไหลของอากาศ 0.22 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	490	480	470	450	440	480	460	460	490	490	490	480
4	19	560	640	650	680	520	570	600	620	630	650	600	625
3	14	550	540	550	560	430	420	480	520	600	680	690	700
2	9	480	470	490	550	400	485	460	450	500	550	600	610
1	4	440	460	440	430	390	480	470	420	450	460	460	450

อัตราการไหลของอากาศ 0.26 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	580	520	620	600	580	580	580	580	560	550	540	540
4	19	620	500	660	680	690	705	710	735	730	740	740	730
3	14	600	400	490	570	590	590	580	590	580	585	590	590
2	9	560	450	380	480	530	540	550	540	540	540	540	550
1	4	470	450	420	360	400	430	430	435	430	440	440	440

อัตราการไหลของอากาศ 0.31 ลบ.ม./นาที

Thermocouple number	ความสูงของเบด (ซม.)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)											
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	70 นาที	80 นาที	90 นาที	100 นาที	110 นาที	120 นาที
5	29	270	400	560	490	410	600	610	720	765	800	830	720
4	19	690	650	650	580	480	600	670	730	740	750	790	740
3	14	560	540	530	540	560	510	600	610	620	620	650	640
2	9	500	500	500	500	500	580	570	560	560	560	560	570
1	4	400	420	450	430	600	580	450	530	520	500	480	480

ตารางที่ 1 อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซที่ความสูงเหนือตะแกรงและระยะห่างจากผนังคอลัมน์ด้านใน

ระยะห่างจากผนัง คอลัมน์ด้านใน (เซนติเมตร)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)																			
	ความสูงจากตะแกรง (เซนติเมตร)																			
		4		เฉลี่ย		9		เฉลี่ย		14		เฉลี่ย		19		เฉลี่ย		29		เฉลี่ย
5	545	560	560	555	600	610	590	600	720	725	730	725	755	750	745	750	660	640	650	650
10	540	550	545	545	570	585	585	580	685	670	685	680	720	740	730	730	630	645	645	640
15	515	520	525	520	560	555	565	560	650	660	670	660	700	705	695	700	620	625	615	620

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography ที่อัตราการไหลต่างๆ

การทดลองที่	อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม/นาที)	ร้อยละโดยปริมาตร																							
		CO			ค่าเฉลี่ย	CO ₂			ค่าเฉลี่ย	O ₂			ค่าเฉลี่ย	CH ₄			ค่าเฉลี่ย	H ₂			ค่าเฉลี่ย	N ₂			ค่าเฉลี่ย
1	0.12	2.41	2.55	2.54	2.50	15.10	15.27	15.23	15.20	5.62	5.98	5.77	5.79	2.01	2.16	2.16	2.11	4.87	5.18	4.98	5.01	67.25	70.2	67.72	69.39
2	0.15	5.50	4.45	6.73	5.56	9.31	9.72	9.50	9.51	6.35	6.83	6.38	6.52	1.20	1.35	1.38	1.31	5.62	5.96	5.64	5.74	69.30	73.35	71.43	71.36
3	0.20	8.35	8.54	8.49	8.46	4.95	5.18	5.23	5.12	4.82	5.08	5.04	4.98	0.70	0.91	0.88	0.83	7.70	7.85	7.79	7.78	70.15	74.16	74.18	72.83
4	0.25	10.05	10.65	11.09	10.58	3.80	3.72	4.27	3.93	3.85	4.15	4.03	4.01	0.41	0.55	0.42	0.46	5.51	5.76	5.62	5.63	73.17	74.00	79.00	75.39
5	0.32	11.20	10.76	11.28	11.08	2.36	2.60	2.42	2.46	3.36	3.62	3.40	3.46	0.21	0.38	0.31	0.30	3.85	4.26	3.89	4.00	76.10	79.60	80.40	78.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเบดและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ CO, CO₂ Analyzer

อุณหภูมิภายในเบดเฉลี่ย (เซลเซียส)	ร้อยละโดยปริมาตร							
	CO			ค่าเฉลี่ย	CO ₂			ค่าเฉลี่ย
300	1.72	1.80	1.88	1.80	14.78	14.85	14.77	14.8
400	3.45	3.55	3.50	3.50	15.23	15.21	15.16	15.2
500	4.52	4.61	4.67	4.60	15.36	15.41	15.43	15.4
600	5.75	5.82	5.83	5.80	14.72	14.81	14.87	14.8
700	8.45	8.50	8.55	8.50	6.73	6.72	6.65	6.7
800	10.45	10.62	10.43	10.50	3.12	3.08	3.10	3.1
900	11.05	11.25	11.00	11.10	2.68	2.69	2.73	2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข 1 ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลสาร และสมดุลพลังงาน (ตัวอย่าง Run No.1)

สมดุลมวลสาร

- ข้อกำหนด
1. ก๊าซผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบ คือ CO, CO₂, O₂, CH₄, H₂ และ N₂
 2. N₂ ไม่ทำปฏิกิริยา
 3. อากาศระพุดิตัวเป็นก๊าซอุดมคติ

หลักอ้างอิง 100 กรัมของแกลบที่ป้อน (การปฏิบัติงาน 1 นาที)

1. น้ำหนักของเถ้า

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = 80.69 \quad \text{ร้อยละของเถ้าเคมี} = 18.25$$

$$\text{น้ำหนักของเถ้า} = 18.25/0.8069 = 22.62 \text{ กรัม} \leftarrow$$

2. น้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

สมดุลคาร์บอน

มวลสารเข้า

- 2.1 คาร์บอนในแกลบ

$$= \frac{\text{สัดส่วนของคาร์บอนในแกลบ} \times \text{น้ำหนักของแกลบที่ป้อนเข้าเตา}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอน}}$$

จากตารางที่ 4.1 องค์ประกอบร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนในแกลบ = 37.65

$$\text{น้ำหนักของแกลบที่ป้อนเข้าเตาเผา} = 100 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของแกลบ (Dry basis)} = 100 - 6.88 = 93.12 \text{ กรัม}$$

$$\text{คาร์บอนในแกลบ} = \frac{37.65 \times 93.12}{100 \times 12} = 2.9216 \text{ กรัมโมล} \leftarrow$$

มวลสารออก

- 2.2 น้ำหนักของคาร์บอนในทาร์

$$\text{น้ำหนักทาร์} = 2.836 \text{ กรัม}$$

ปริมาณคาร์บอนในทาร์ประมาณร้อยละ 90

$$\text{น้ำหนักของคาร์บอนในทาร์} = \frac{2.836 \times 0.90}{12} = 0.2127 \text{ กรัมโมล}$$

12

- 2.3 คาร์บอนในเถ้าที่ออกจากเตาผลิตก๊าซ

$$\text{จากภาคผนวก ก. ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวในเถ้า} = 0.310$$



น้ำหนักของเถ้าที่ออกจากเตาผลิตก๊าซ = 22.62 กรัม

คาร์บอนในเถ้า = $\frac{\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัวในเถ้า} \times \text{น้ำหนักเถ้า}}$

น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอน

$$= \frac{0.003 \times 22.62}{12} = 0.0056 \text{ กรัมโมล} \leftarrow$$

12

2.4 คาร์บอนในก๊าซผลิตภัณฑ์

= คาร์บอนในแกลบ - คาร์บอนในทาร์ - คาร์บอนในเถ้า

$$= 2.9216 - 0.2127 - 0.0056 = 2.7033 \text{ กรัมโมล} \leftarrow$$

หลักอ้างอิง 100 โมลของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

จำนวนโมลของ CO, CO₂ และ CH₄ = 2.5 + 15.2 + 2.11

$$= 19.81 \text{ โมล}$$

หลักอ้างอิง 100 กรัมของแกลบที่ป้อน

คาร์บอนในก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

$$= 2.7033 \text{ กรัมโมล}$$

จำนวนโมลของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

$$= \frac{100 \times 2.7033}{19.81} = 13.6461 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{CO} = 13.6461 \times 0.0250 = 0.3411 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 9.5522 \text{ กรัม}$$

$$\text{CO}_2 = 13.6461 \times 0.1520 = 2.0742 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 91.2648 \text{ กรัม}$$

$$\text{CH}_4 = 13.6461 \times 0.0211 = 0.2879 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 4.6069 \text{ กรัม}$$

$$\text{H}_2 = 13.6461 \times 0.0501 = 0.6837 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 1.3673 \text{ กรัม}$$

$$\text{O}_2 = 13.6461 \times 0.0579 = 0.7901 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 25.2834 \text{ กรัม}$$

$$\text{N}_2 = 13.6461 \times 0.6939 = 9.4690 \text{ กรัมโมล}$$

$$= 265.1321 \text{ กรัม}$$

$$\text{รวม} = 397.2067 \text{ กรัม} \leftarrow$$

3. น้ำหนักของอากาศแห้ง

สมมูลไนโตรเจน

ไนโตรเจนในอากาศแห้งที่ป้อนเข้าระบบ

$$= \text{ไนโตรเจนในก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} - \text{ไนโตรเจนในแกลบ}$$

$$= 9.4690 - 0.29 \times \frac{93.12}{100} = 9.4593 \text{ กรัมโมล}$$

100 28

จากอัตราส่วนร้อยละของอากาศโดยน้ำหนักมี $N_2 = 79$

$$\text{น้ำหนักอากาศแห้ง} = \frac{9.4593}{0.79} = 11.9739 \text{ กรัมโมล}$$

0.79

$$= 11.9739 \times 29 = 347.2422 \text{ กรัม} \leftarrow$$

4. น้ำหนักของน้ำในอากาศ

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 31 เซลเซียส

อุณหภูมิกระเปาะเปียก 25 เซลเซียส

จากรูปที่ 5.3 หน้า 128 (กัญจนา บุญเกียรติ, 2531)

$$\text{ความชื้นโมแลล (Malal Humidity) ของอากาศ} = 0.025 \text{ โมลของน้ำ}$$

$$\text{โมลของอากาศแห้ง}$$

$$\text{น้ำหนักของน้ำในอากาศ} = 0.0250 \times 11.9739$$

$$= 0.2993 \text{ กรัมโมล} = 5.3882 \text{ กรัม} \leftarrow$$

5. น้ำหนักของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์

$$\text{ความชื้นในอากาศ} = 5.3882 \text{ กรัม}$$

$$\text{ความชื้นอิสระในแกลบ} = 6.88 \text{ กรัม}$$

$$\text{ความชื้นจากไฮโดรเจนในแกลบ} = \frac{93.12 \times 1.38}{100 \times 2} = 0.6425 \text{ กรัมโมล}$$

100 x 2

$$= 11.5655 \text{ กรัม}$$

$$\text{รวม} = 23.8337 \text{ กรัม} \leftarrow$$

$$6. \text{ น้ำหนักเต้า} = 22.62 \text{ กรัม}$$

ตารางที่ ข.1 สมดุลมวลสารทั้งหมด

มวลสารเข้า (กรัม)		มวลสารออก (กรัม)	
แกลบ	100.00	ก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	397.21
อากาศแห้ง	347.24	ความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์	23.83
ความชื้นในอากาศ	5.39	เถ้า	22.62
		ทาร์	2.84
		มวลสารสูญหาย	6.13
รวม	452.63	รวม	452.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมดุลพลังงาน

1. อุณหภูมิอ้างอิงเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ 31 องศาเซลเซียส
หลักอ้างอิง 100 กรัมของแกลบที่ป้อน (การปฏิบัติงาน 1 นาที)

พลังงานเข้า

$$\begin{aligned} 1. \text{ ค่าความร้อนของแกลบ} &= 100 \text{ กรัม} \times 3.60 \text{ กิโลแคลอรี / กรัม} \\ &= 360 \text{ กิโลแคลอรี} \leftarrow \end{aligned}$$

2. เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ

จากตารางที่ ง. 1 หน้า 510 (กัญญา บุญเกียรติ, 2531)

$$\text{ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว} = 1043.23 \text{ บีทียู/ปอนด์}$$

$$\text{ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัว} = 45.03 \text{ บีทียู/ปอนด์}$$

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนของการกลายเป็นไอ} &= 1043.23 - 45.03 = 998.20 \text{ บีทียู/ปอนด์} \\ &= 9.982 \text{ กิโลแคลอรี / กรัมโมล} \end{aligned}$$

$$\text{จากสมดุลมวลสาร น้ำหนักของความชื้น} = 0.2891 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{เอนทาลปี} = 0.2993 \times 9.982 = 2.9881 \text{ กิโลแคลอรี} \leftarrow$$

พลังงานออก

1. ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์

$$= (\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ CO} \times \text{กรัมโมลของ CO})$$

$$+ (\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ CH}_4 \times \text{กรัมโมลของ CH}_4)$$

$$+ (\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ H}_2 \times \text{กรัมโมลของ H}_2)$$

$$= (67.6361 \text{ กิโลแคลอรี} \times 0.3411) + (212.798 \text{ กิโลแคลอรี} \times 0.2879)$$

กรัม โมล

กรัม โมล

$$+ (68.3174 \text{ กิโลแคลอรี} \times 0.6837)$$

กรัม โมล

$$= 131.0519 \text{ กิโลแคลอรี} \leftarrow$$

2. เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของก๊าซหาได้จากตารางที่ 8.9 หน้า 289 (กัญจนานุณยเกียรติ, 2531)

= ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยต่อโมลระหว่างอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส กับ 400 องศาเซลเซียส x กรัมโมลของก๊าซ x (อุณหภูมิของก๊าซ-อุณหภูมิอ้างอิง)

$$\text{CO} = 7.13 \times 0.3411 \times (400-31) \times 10^{-3} = 0.8963 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{CO}_2 = 10.45 \times 2.0742 \times (400-31) \times 10^{-3} = 7.9982 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{O}_2 = 7.40 \times 0.7901 \times (400-31) \times 10^{-3} = 2.1575 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{CH}_4 = 10.95 \times 0.2879 \times (400-31) \times 10^{-3} = 1.1634 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{H}_2 = 6.97 \times 0.6837 \times (400-31) \times 10^{-3} = 1.7583 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{N}_2 = 7.09 \times 9.4690 \times (400-31) \times 10^{-3} = 24.7030 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{รวม} = 38.6767 \text{ กิโลแคลอรี} \leftarrow$$

3. เอนทาลปีของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์

จากสมมูลมวลสาร น้ำหนักของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์ 1.3241 กรัมโมล

ความร้อนของการกลายเป็นไอที่ 31°C = 9.982 กิโลแคลอรี x 1.3241 กรัมโมล
กรัมโมล

$$= 13.2172 \text{ กิโลแคลอรี}$$

ความร้อนยิ่งยวด = โมลน้ำ x ความจุความร้อนของน้ำ x (อุณหภูมิของก๊าซ-อุณหภูมิอ้างอิง)

$$= 1.3241 \times 8.41 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี (400-31) องศาเซลเซียส}$$

(โมล) องศาเซลเซียส

$$= 4.1091 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{รวมทั้งหมด} = 17.3263 \text{ กิโลแคลอรี} \leftarrow$$

4. ค่าความร้อนของคาร์บอนในถ้ำ

$$\text{น้ำหนักของถ้ำ} = 22.62 \text{ กรัม}$$

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนในถ้ำ} = 0.31$$

$$\text{คาร์บอนในถ้ำ} = 22.62 \times 0.0030 = 0.0679 \text{ กรัม}$$

$$= 0.0058 \text{ กรัมโมล}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของคาร์บอนในถ้ำ} &= 0.0058 \text{ กรัม โมล} \times 94.052 \text{ กิโลแคลอรี} \\ &\quad \text{กรัม โมล} \\ &= 0.5493 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. \text{ ค่าความร้อนของทาร์ (กัญจนานุชยเกียรติ, 2531 หน้า 457)} & \\ \text{ปริมาณทาร์ (จากการทดลอง)} &= 2.836 \text{ กรัม} \\ \text{ค่าความร้อนของทาร์} &= 2.836 \text{ กรัมของทาร์} \times 8.607 \text{ กิโลแคลอรี} \\ &\quad \text{กรัม} \\ &= 24.4094 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6. \text{ เอนทาลปีของถ้ำ} & \\ \text{น้ำหนักถ้ำ} &= 22.62 \text{ กรัม (จากข้อ 4)} \\ \text{เอนทาลปีของถ้ำ} &= 0.22 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี} \times 22.62 \text{ กรัม} \times (400-31) \text{ องศาเซลเซียส} \\ &\quad \text{กรัม (องศาเซลเซียส)} \\ &= 1.83629 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7. \text{ เอนทาลปีของทาร์ (Ref.23 หน้า 457)} & \\ \text{ค่าความจุความร้อนของทาร์โดยประมาณ} &= 0.32 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี} \\ &\quad \text{กรัม (องศาเซลเซียส)} \\ \text{เอนทาลปีของทาร์} &= 0.32 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี} \times 0.0056 \text{ กรัม} \times (400-31) \text{ องศาเซลเซียส} \\ &\quad \text{กรัม (องศาเซลเซียส)} \\ &= 0.3348 \text{ กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8. \text{ ค่าความร้อนสุทธิหาย (หาจากค่าความแตกต่าง)} & \\ &= 362.9880 - 214.1847 = 148.8033 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.2 สมดุลพลังงานทั้งหมด

พลังงานเข้า (กิโลแคลอรี)		พลังงานออก (กิโลแคลอรี)	
ค่าความร้อนของแก๊ส	360.00	ค่าความร้อนก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	131.05
เอนทาลปีของความชื้นในอากาศ	2.99	ค่าความร้อนของเถ้า	0.55
		ค่าความร้อนของทาร์	24.41
		เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	38.68
		เอนทาลปีของคาร์บอนในเถ้า	1.84
		เอนทาลปีของทาร์	0.33
		เอนทาลปีของความชื้นในก๊าซ	16.98
		ค่าความร้อนสูญหาย	148.80
รวม	362.99	รวม	362.99

ศูนย์วิทยพักรักษา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 สมดุลมวลสาร

การทดลองที่	อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาที)	มวลสารเข้า (กรัม)				มวลสารออก (กรัม)					
		แกลบ	อากาศแห้ง	ความชื้นในอากาศ	รวมทั้งหมด	ก๊าซผลิตภัณฑ์	ความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์	เถ้า	ทาร์	มวลสูญหาย	รวมทั้งหมด
1	0.12	100	347.242	5.388	452.630	397.207	23.833	22.62	2.836	6.134	452.630
2	0.16	100	431.964	6.703	538.667	464.292	25.148	22.62	2.836	23.771	538.667
3	0.20	100	501.190	7.777	608.967	504.563	26.222	22.62	2.836	52.725	608.967
4	0.25	100	499.398	7.749	607.147	492.446	26.195	22.62	2.836	63.051	607.147
5	0.32	100	563.935	8.751	672.685	536.282	27.196	22.62	2.836	83.751	672.685

ตารางที่ ข.4 สมดุลพลังงาน

การทดลองที่	อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาที)	พลังงานเข้า (กิโลแคลอรี)			พลังงานออก(กิโลแคลอรี)								
		ค่าความร้อนของแกลบ	เอนทาลปีของความชื้น	รวมทั้งหมด	Heat of Combustion			Enthalpy				มวลสูญหาย	รวมทั้งหมด
					ก๊าซผลิตภัณฑ์	คาร์บอนในเถ้า	ทาร์	ก๊าซผลิตภัณฑ์	ความชื้นในอากาศ	เถ้า	ทาร์		
1	0.12	360	2.988	362.988	131.052	0.549	24.409	38.677	17.326	1.8363	0.335	148.803	362.988
2	0.16	360	3.717	363.717	172.786	0.549	24.409	45.435	18.282	1.8363	0.335	100.084	363.717
3	0.20	360	4.313	364.313	240.188	0.549	24.409	50.451	19.063	1.8363	0.335	27.481	364.313
4	0.25	360	4.297	364.297	216.354	0.549	24.409	48.200	19.042	1.8363	0.335	53.571	364.297
5	0.32	360	4.853	364.853	212.223	0.549	24.409	51.733	19.770	1.8363	0.335	53.996	364.687

ภาคผนวก ก

การวัดปริมาณทาร์และผลการทดลอง

ก.1 เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ก.1.1 เครื่องมือ

เครื่องมือในการวัดปริมาณทาร์อย่างง่าย ๆ จะมี 2 องค์ประกอบหลัก คือ ส่วนที่ให้ความร้อนแก่คอลัมน์ คือ Heater เพื่อก๊าซตัวอย่างทั้งหมดจะได้มีอุณหภูมิเท่ากัน และส่วนที่ให้ความเย็นแก่ก๊าซตัวอย่าง เพื่อจะนำไปสู่การวัดปริมาณทาร์ต่อไป รายละเอียดดังรูปที่ ก .1 และ ก.2

1. Dust Collector เป็นคอลัมน์แก้วกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ภายในบรรจุ Glass Wool เป็นตัวจับฝุ่น
2. Heater เป็นตัวให้ความร้อนแก่คอลัมน์ เพื่อให้อุณหภูมิของคอลัมน์อยู่ในช่วง 250-300 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงนี้เป็นช่วงที่สารประกอบทั้งหมดของทาร์อยู่ในสภาพเป็นไอ ดังนั้นมันจะไม่ควบแน่นใน Dust Collector โดยการควบคุมอุณหภูมิจะอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ แล้วปรับกระแสไฟฟ้าที่เข้าขดลวดของ Heater ให้พอเหมาะกับอุณหภูมิ
3. ตะแกรงลาด ใส่ไว้ตรงปลายสุดของ คอลัมน์เพื่อไม่ให้ Glass Wool หล่นลงไปในส่วนของ Tar Collector
4. ภาชนะที่ให้ความเย็นแก่ Tar Collector ในที่นี้ใช้กระดิกน้ำแข็งและอีกการทดลองหนึ่งใช้กล่องสี่เหลี่ยมมีฝาปิด ภายในบรรจุโฟม
5. Tar Collector เป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นตัวที่ใช้จับทาร์ ประกอบด้วย Flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ส่วนบนต่อเป็นหลอดแก้ว 2 ชั้นซ้อนกัน ระหว่างชั้นมีช่องว่างให้ก๊าซผ่าน มีขนาด 2-3 มิลลิลิตร ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ด้านนอกของช่องแคบนี้สัมผัสกับสารให้ความเย็นโดยตรง เพื่อก๊าซที่ผ่านเข้ามามีอุณหภูมิต่ำลงจนกระทั่งทาร์ควบแน่นเป็นของเหลวอยู่ในภาชนะนี้ ตรงปากทางออกมี Sintered Glass คอยดักทาร์ไว้อีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะออกสู่ Flow Meter และ Vacuum Pump ตามลำดับ

ก.1.2 วิธีการทดลอง

1. เริ่มด้วยการล้าง Packed Bed Column of Glass Wool ด้วยน้ำ เพื่อไล่อุณหภูมิของฝุ่นที่ติดค้างอยู่ออกไปให้หมด

2. นำคอลัมน์ในข้อ 1 ไปอบให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำหลายๆครั้งจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งได้คงที่ บันทึกน้ำหนักไว้

3. ชั่งน้ำหนักของ Tar Collector ที่แห้ง จดบันทึกไว้ แล้วนำไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักอีก ทำซ้ำหลายๆครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

4. ประกอบเครื่องมือเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ ก. 1 เปิดเครื่องให้ความร้อนและใส่สารให้ความเย็นแก่ Tar Collector จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 15-20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิจน Dust Collector และ Tar collector เข้าสู่สภาวะคงที่

5. จากนั้นผ่านก๊าซตัวอย่างที่ต้องการวัดปริมาณสารเข้าสู่เครื่องมือ ด้วย อัตราเร็วที่ต้องการ (สามารถปรับอัตราเร็วของก๊าซที่เข้าโดยใช้ Bypass Valve)

6. เมื่อผ่านก๊าซเข้าไปจนได้ปริมาณที่ต้องการแล้ว ให้เครื่องดูดอากาศเข้าไปปริมาณหนึ่ง เพื่อไล่เอาสารที่ค้างอยู่ลงสู่ Tar Collector จนหมด

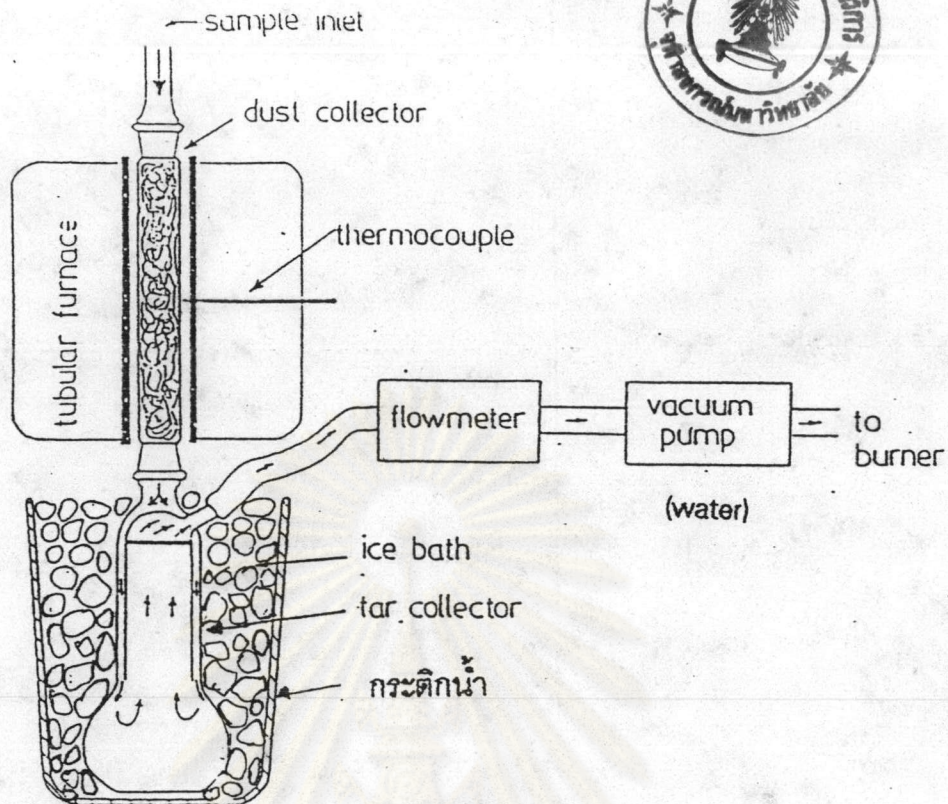
7. นำ Tar Collector และ Dust Collector ออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

8. จากนั้นนำ Tar Collector และ Dust Collector ไปใส่ไว้ในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำระเหยออกไป นำมาทำให้เย็นและชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้จะได้ปริมาณของสาร ผุ่นและความชื้นที่มีอยู่ในก๊าซ

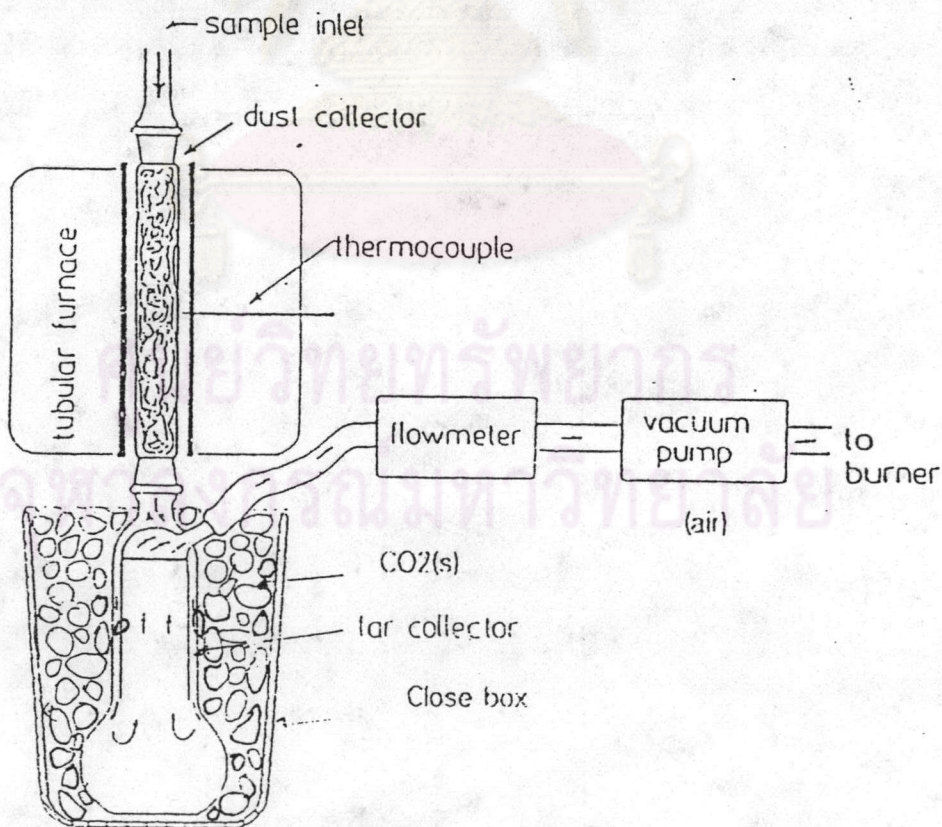
ค.1.3 การวัดปริมาณสาร

ตารางที่ ค.1 เปรียบเทียบสถานะในการทดลองหาปริมาณสาร

สารที่ให้ ความเย็น	อุณหภูมิของ Tar collector (องศาเซลเซียส)	ความเร็วของ ก๊าซ ที่เหมาะสม (ลบ.ชม/วินาที)	ชนิดของ Vacuum Pump	สถานะที่ใส่สารที่ให้ ความเย็น
น้ำแข็ง	0	17	น้ำ	กระดิกน้ำ ฝาเปิด
น้ำแข็งแห้ง	-10	262.5	อากาศ	กล่องสี่เหลี่ยม ฝาปิด



รูปที่ ค.1 แสดงรูปภาพของเครื่องมือวัดปริมาณทาร์ (เครื่องมือชุดที่ 1)



รูปที่ ค.2 แสดงรูปภาพของเครื่องมือวัดปริมาณทาร์ (เครื่องมือชุดที่ 2)

ค.2 ผลการทดลองการวัดปริมาณทาร์จากเตา Gasifier

ค.2.1 น้ำแข็งเป็นสารที่ให้ความเย็น

อุณหภูมิของ Dust collector	250-300	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของ Tar collector	0	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของอากาศ	17	ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที

ตารางที่ ค.2 ปริมาณฝุ่น

ครั้งที่	ปริมาณฝุ่น (Dust Content)(mg/m ³)		ปริมาณฝุ่นที่ถูกกำจัด (mg/m ³)
	ก่อนเข้า Scrubber	หลังออก Scrubber	
1	1,464.05	98.04	1,366.01
2	1,065.36	68.63	996.73
3	1,366.01	120.92	1,245.09
เฉลี่ย	1,298.47	95.86	1,202.61

ตารางที่ ค.3 ปริมาณทาร์

ครั้งที่	ปริมาณทาร์ (Tar Content)(mg/m ³)		ปริมาณทาร์ที่ถูกกำจัด (mg/m ³)
	ก่อนเข้า Scrubber	หลังออก Scrubber	
1	5,735.29	395.42	5,339.87
2	941.18	385.62	555.56
3	4,833.33	774.51	4,058.82
เฉลี่ย	3,836.60	518.52	3,318.08

ค.2.2 น้ำแข็งแห้ง (Solid CO₂) เป็นสารที่ให้ความเย็น

อุณหภูมิของ Dust collector 250-300 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของ Tar collector -10 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของอากาศ 262.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที

ตารางที่ ค.4 ปริมาณฝุ่น

ครั้งที่	ปริมาณฝุ่น (Dust content)(mg/m ³)		ปริมาณฝุ่นที่ถูกกำจัด (mg/m ³)
	ก่อนเข้า Scrubber	หลังออก Scrubber	
1	1,633.56	65.14	1,568.42
2	1,983.40	77.29	1,906.11
เฉลี่ย	1,808.48	71.22	1,736.97

ตารางที่ ค.5 ปริมาณทาร์

ครั้งที่	ปริมาณทาร์ (Tar content)(mg/m ³)		ปริมาณทาร์ที่ถูกกำจัด (mg/m ³)
	ก่อนเข้า Scrubber	หลังออก Scrubber	
1	5,322.80	403.27	4,919.53
2	4,833.33	392.88	4,440.45
เฉลี่ย	5,078.07	398.08	4,679.99

ภาคผนวก ง (ภาพประกอบ)

1. ระบบ Rice Husk Gasifier ภายในประเทศ

- | | |
|-------------|--|
| รูปที่ ง. 1 | ระบบของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| รูปที่ ง. 2 | ระบบของสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| รูปที่ ง. 3 | ระบบของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| รูปที่ ง. 4 | ระบบของสถาบัน AIT |
| รูปที่ ง. 5 | ระบบของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| รูปที่ ง. 6 | ระบบของบริษัทรุ่งเย็นจิเนียร์ริง |
| รูปที่ ง. 7 | ระบบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี |

2. ระบบ Rice Husk Gasifier ในต่างประเทศ

- | | |
|--------------|---------------------------|
| รูปที่ ง. 8 | ระบบของ F.A.O |
| รูปที่ ง. 9 | ระบบของประเทศอิตาลี |
| รูปที่ ง. 10 | ระบบของประเทศอินโดนีเซีย |
| รูปที่ ง. 11 | ระบบของประเทศญี่ปุ่น |
| รูปที่ ง. 12 | ระบบของประเทศเนเธอร์แลนด์ |
| รูปที่ ง. 13 | ระบบของ A.Kaupp |
| รูปที่ ง. 14 | ระบบของประเทศอินเดีย |

ศูนย์วิทยพัรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

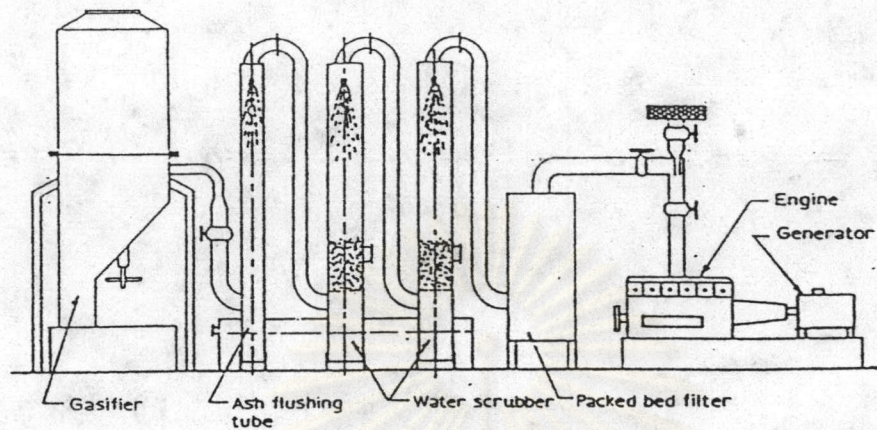
หน่วยงานที่ทำกรวิจัยและพัฒนาาระบบก๊าซชีววมวลในประเทศไทย¹⁰

1. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ
2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
5. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
6. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
7. วิทยาลัยเทคนิคปทุมวัน
8. กระทรวงอุตสาหกรรม
9. กรมวิชาการเกษตร
10. กรมป่าไม้
11. กรมโยธาธิการ
12. บริษัท จรุงเอนจิเนียริง

โครงการที่ได้ดำเนินการ โดยหน่วยงานต่างๆ¹⁰

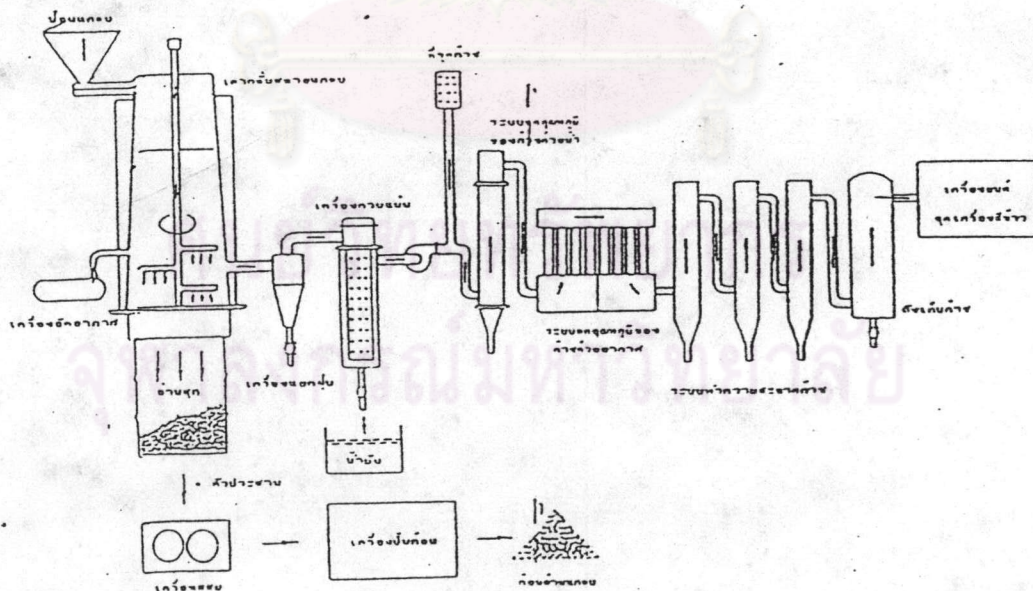
1. สำนักงานงานพลังงานแห่งชาติ ร่วมกับ S.E.S
2. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ ร่วมกับ TDRI
3. บริษัท จรุงเอนจิเนียริง จำกัด
4. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

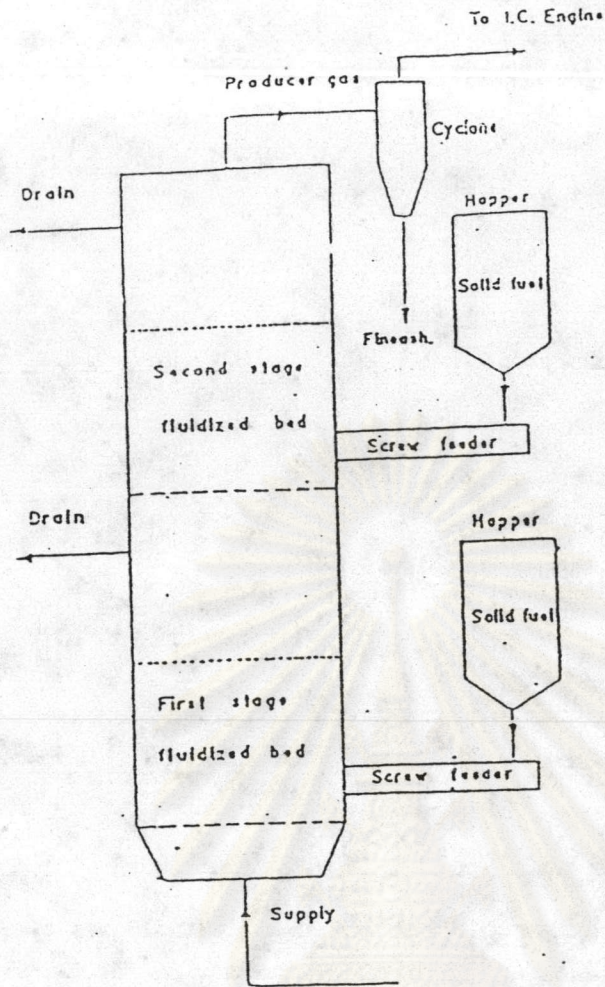


Test set-up of rice husk gasification system.

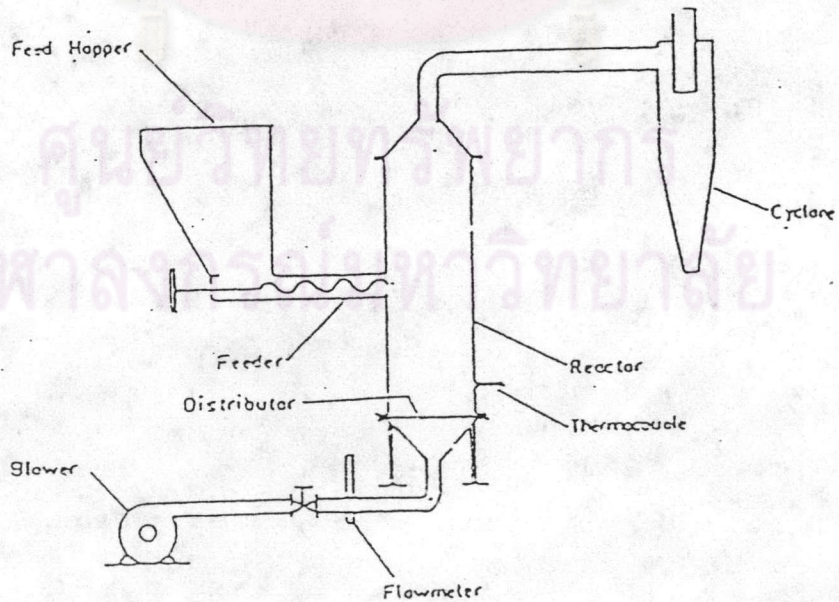
รูปที่ ง.1 แสดงระบบการผลิตก๊าซชีววมวลของนักสิทธิ์ ฤวิฒนาชัย (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)



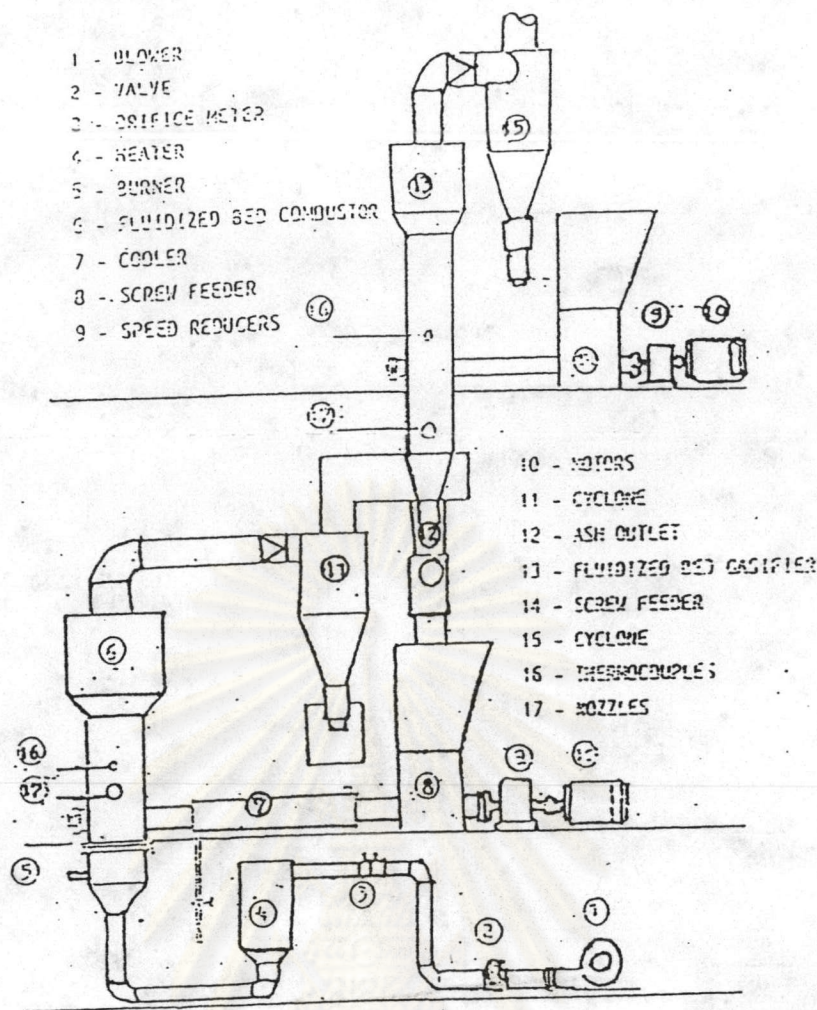
รูปที่ ง.2 แสดงระบบการกลั่นสลายแกลบของนารา พิทักษ์อรณพ (สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)



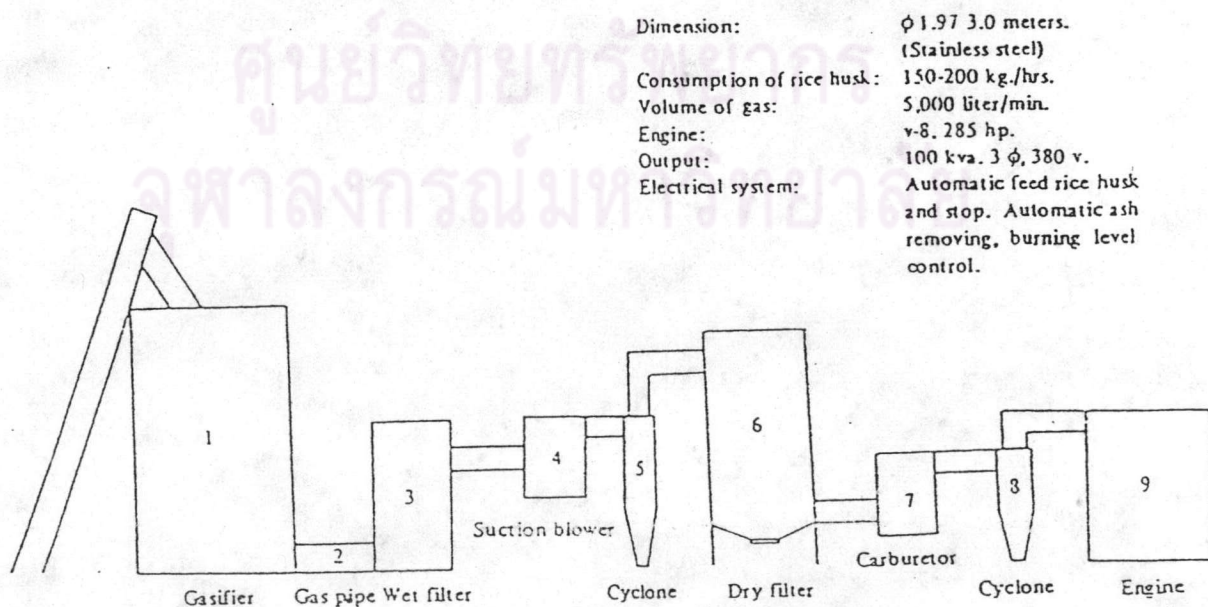
รูปที่ ๓.๓ แสดงเครื่องกำเนิดก๊าซฟลูอิไดซ์เบดแบบ Double Stage (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)



รูปที่ ๓.๔ แสดงระบบการผลิตก๊าซชีววมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด (สถาบัน AIT)

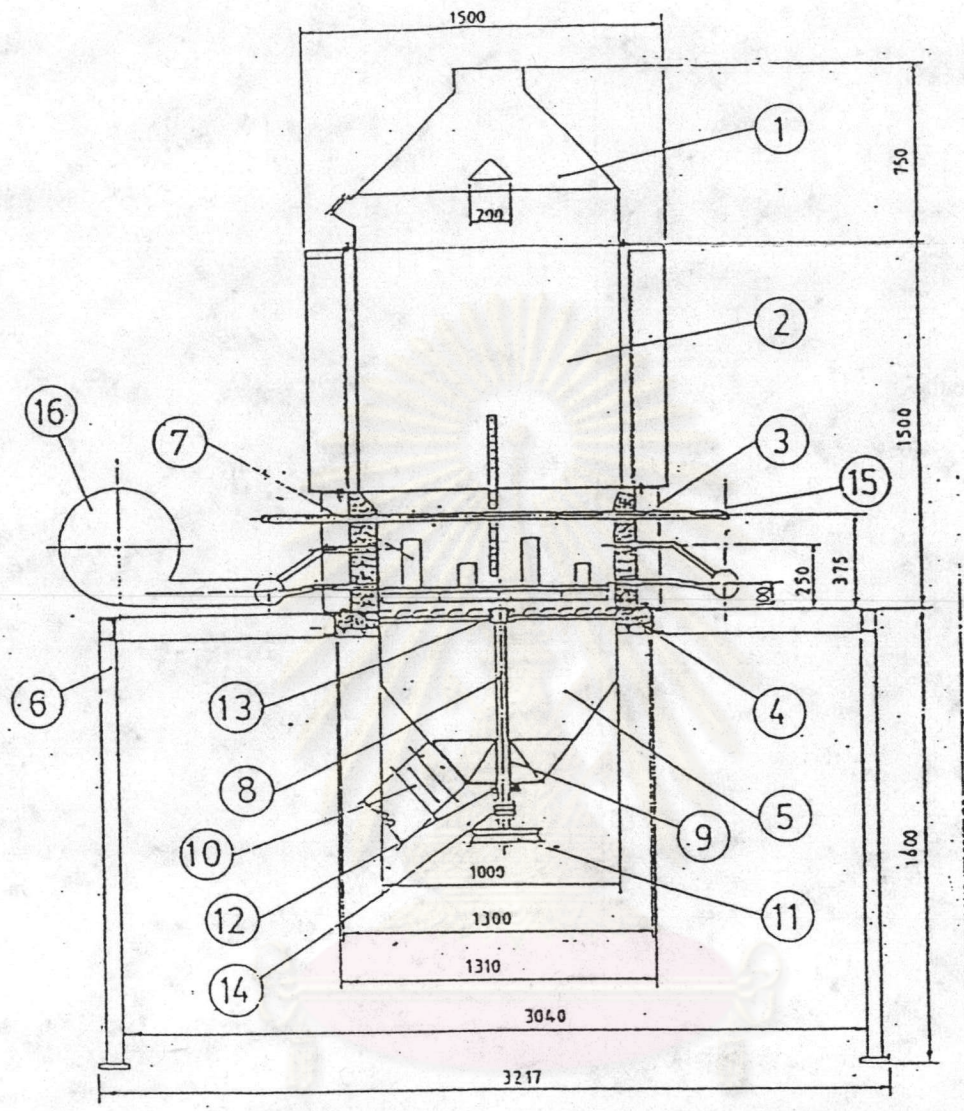


รูปที่ ๕ แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไคซ์เบด (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)



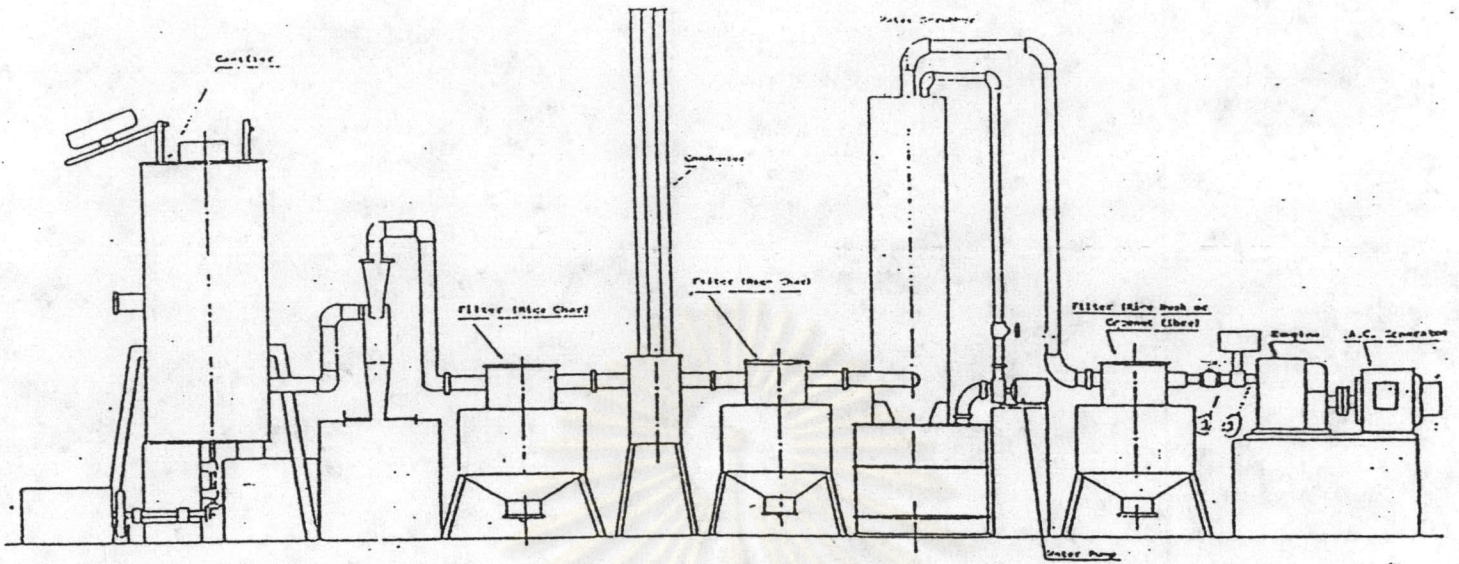
Dimension: ϕ 1.97 3.0 meters. (Stainless steel)
 Consumption of rice husk: 150-200 kg./hrs.
 Volume of gas: 5,000 liter/min.
 Engine: v-8, 285 hp.
 Output: 100 kva. 3 ϕ , 380 v.
 Electrical system: Automatic feed rice husk and stop. Automatic ash removing, burning level control.

รูปที่ ๖ แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อจุดประสงค์ทางการค้า (บริษัทรุ่งเย็นจิเนียร์)



DATE	NAME	SCALE 1:27	ALLOWED DIMENSION IN MM.
			เตาเผาแกลบ
KMIT THONBURI			

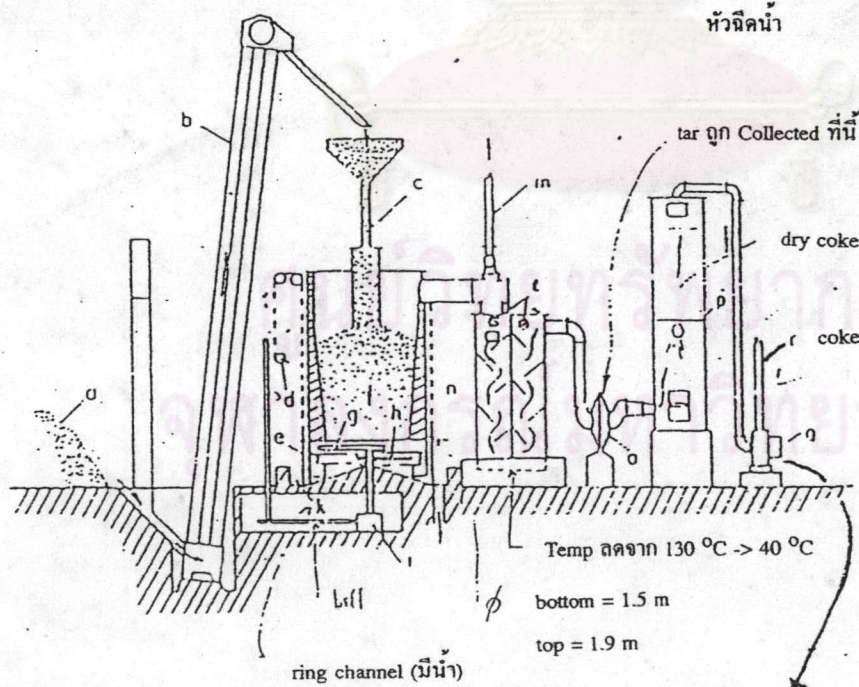
รูปที่ ง. 7 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี



รูปที่ ๘.๘ แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลของ F.A.O

PREPARED BY FAO TECHNICAL TEAM
ON RICE WASTE UTILIZATION
DATE: 11.11.87
THET 222
FAO REGIONAL OFFICE
BANGKOK

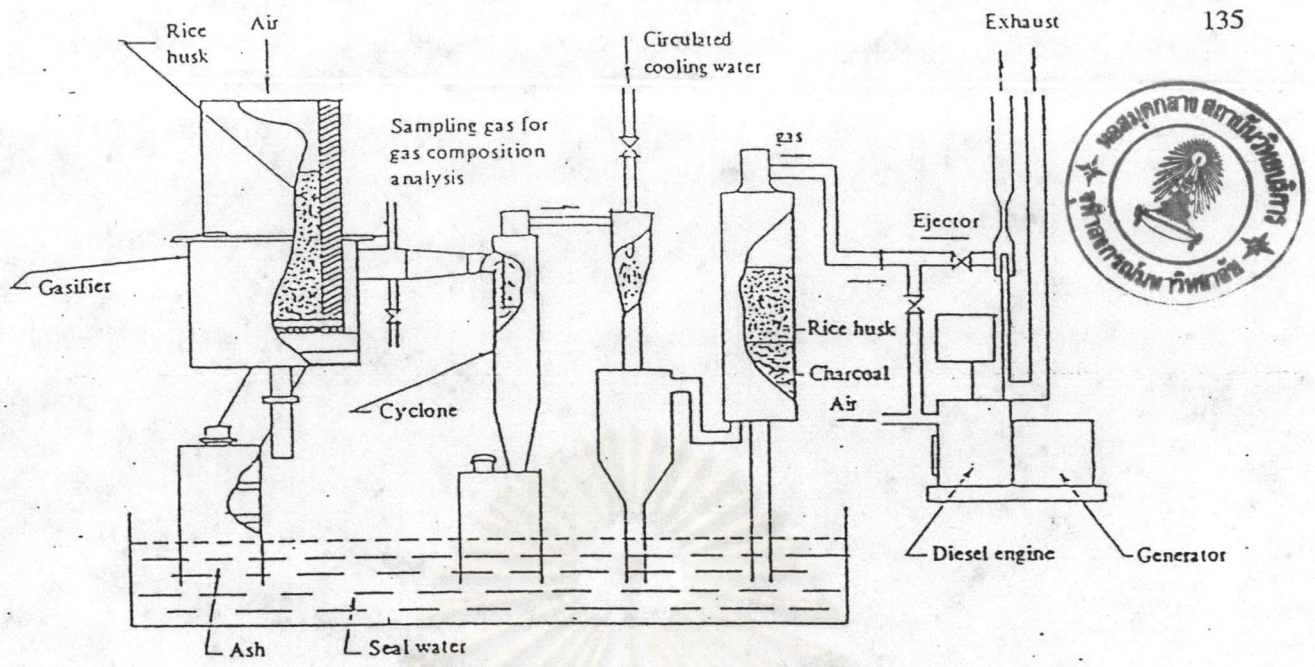
gas outlet 160 m³h⁻¹



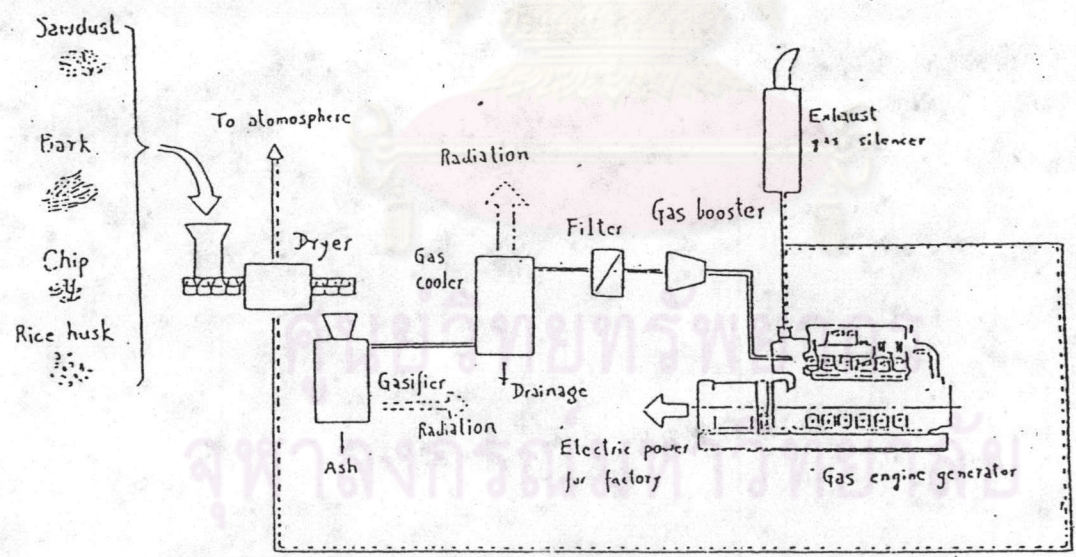
- a:
- b: elevator
- c: knife gate
- d:
- e: cylindrical steel sleeve
- f:
- g:
- h: 2 spiral-shaped wipers
- i: transmission
- j:
- k:
- l: 25-60 hp.
- m:
- n:
- o: Centrifugal for separator
- p:
- q: suction fan
- r:

เพิ่ม volumetric efficiency

รูปที่ ๘.๙ แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลแบบ Updraft Gasifier ของประเทศอิตาลี



รูปที่ ง. 10 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลของประเทศไทย โคนีเซีย



รูปที่ ง. 11 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลของประเทศไทย ญี่ปุ่น



ITEM NO.	QTY	UNIT	TOTAL	REMARKS
PROJECT: Rice husk / wood / PULP / GAS ENGINE GENERATOR				
PROCESS FLOW SHEET				
TE-300357				

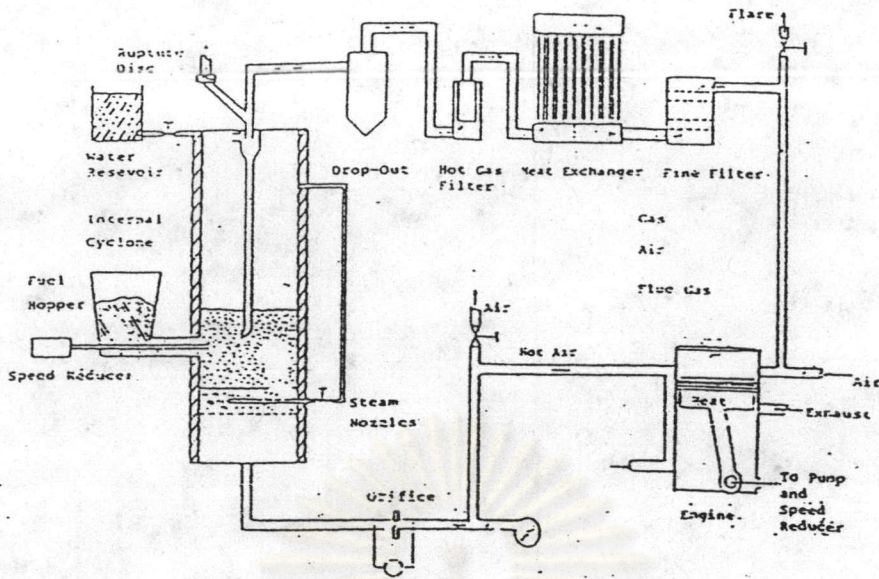


Figure Fluidized Bed Gasifier - Three Sec.

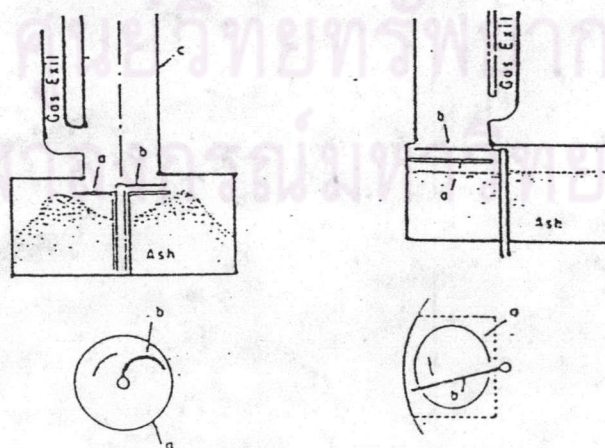
รูปที่ ง. 12 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลแบบฟลูอิไดซ์เบดของ F.G. VAN DEN และคณะ (ประเทศเนเธอร์แลนด์)



Forced Feeding System for Rice Hull Gas Producer.

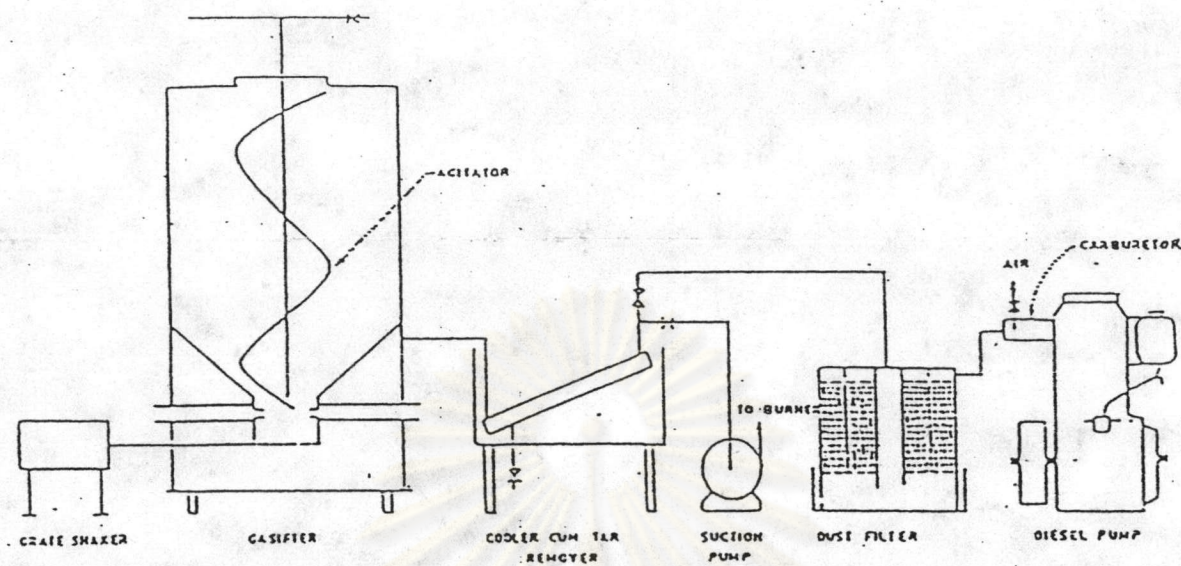
Dowdell Gas Producer with no Throat and Tuyeres.

รูปที่ ง. 13 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบของ A.Kaupp



Rotating Grate with Hopper (Concentric).
a. Flood plate
b. Rotating Hopper

Rotating Grate with Hopper (Eccentric).
a. Flood plate
b. Rotating Hopper



รูปที่ ง. 14 แสดงระบบผลิตก๊าซชีววมวลของประเทศอินเดีย

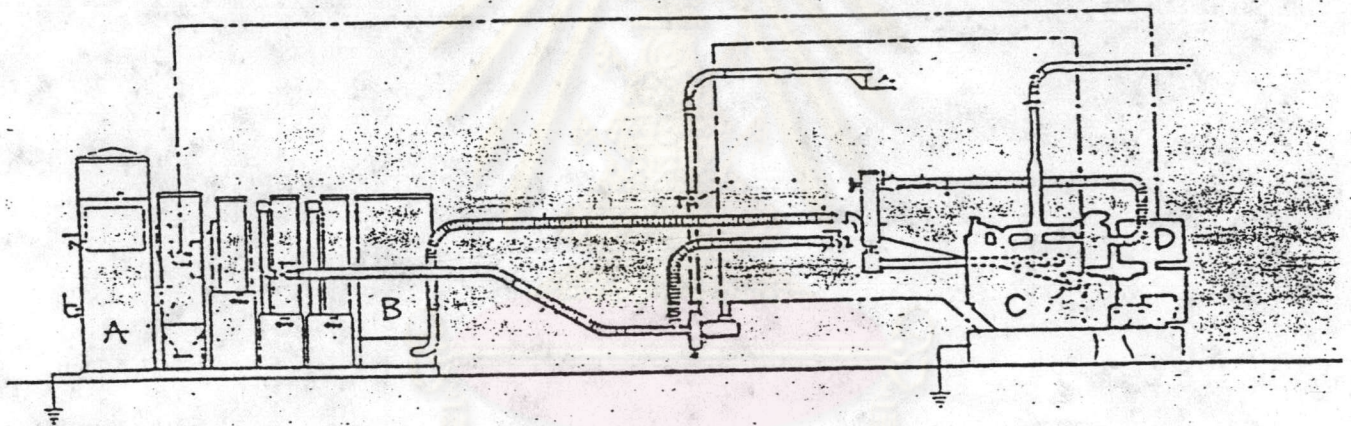
ศูนย์วิทยพัรพยาบาล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. โครงการร่วมมือระหว่างสำนักงานพลังงานแห่งชาติกับ SOFT ENERGY SYSTEM

สถานที่ตั้ง : บ้านโคกใหญ่ อำเภอชุมขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ

ลักษณะทั่วไป : ก๊าซชีววมวลที่ได้จากเครื่องผลิตก๊าซจากไม้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

สำหรับเครื่องชนิดสันดาปภายในซึ่งใช้ปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 18 กิโลวัตต์, 380 โวลต์, 50 เฮิร์ต สำหรับไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในระบบผลิตก๊าซ และใช้ในการสูบน้ำเพื่อการชลประทานได้ โดยต่อตรงกับปั๊มสูบน้ำเพื่อใช้ในการชลประทาน



รูปที่ 15 กระบวนการผลิตก๊าซจากไม้พิน

A : เตาผลิตก๊าซ

B : ระบบกรองก๊าซ

C : เครื่องยนต์ใช้ก๊าซจากไม้

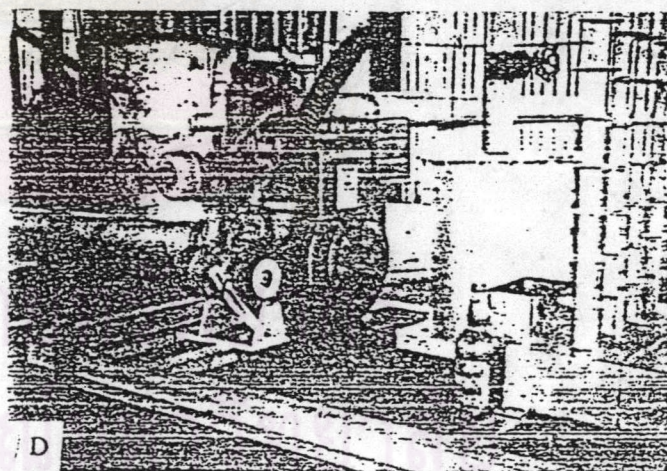
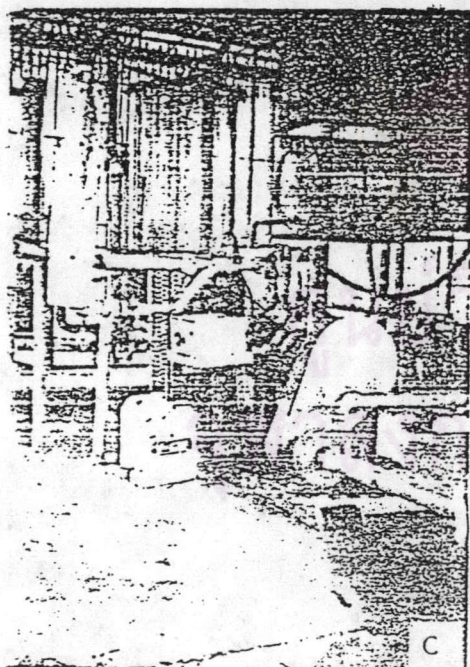
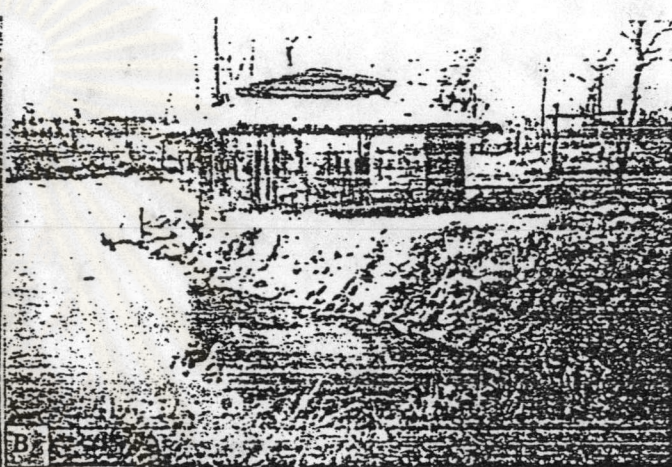
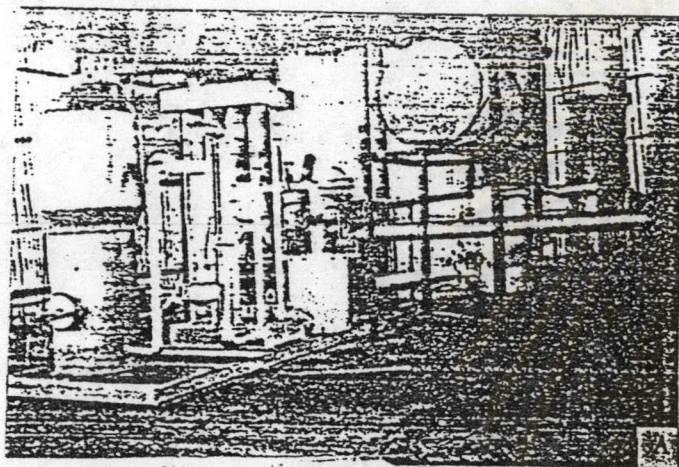
D : เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 18 กิโลวัตต์

เครื่องผลิตก๊าซจากไม้พิน 2 ชุด

- กำลังเครื่องยนต์ 30 แรงม้า ที่ 1,500 รอบต่อนาที
- ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า 18 กิโลวัตต์
- อัตราการใช้เชื้อเพลิง 120 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง (อากาศร้อยละ 50)
- ชนิดของเชื้อเพลิง : ก๊าซจากไม้พิน

2. โครงการร่วมระหว่างสำนักงานพลังงานแห่งชาติกับสถาบันวิจัยและพัฒนาในเขตร้อน (อังกฤษ)

โครงการก๊าซชีววมวลนี้ เป็นความร่วมมือระหว่างสถาบันวิจัยและพัฒนาในเขตร้อน (อังกฤษ) กับสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ตั้งอยู่ ณ หมู่บ้านเขาไซ่ อำเภอปัทมราชจังหวัดนครราชสีมา ทำการสูบน้ำจากแหล่งน้ำมาใช้เพื่อการชลประทานในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง โดยความร่วมมือของชาวบ้าน ผลการทดสอบพบว่าบ่อบีสามารถสูบน้ำมาใช้ได้ในอัตรา 65 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีความเร็วเครื่องสูบน้ำ 1,050 รอบต่อนาทีและมีหัวน้ำรวม 3 เมตร



รูปที่ 16 คำบรรยายรูป

- A : ระบบผลิตก๊าซชีววมวลจากถ่าน
- B : บ่อบีสูบน้ำขนาด 3 นิ้ว
- C : บ่อบีสูบน้ำขนาด 4 นิ้ว
- D : ท่อส่งน้ำเพื่อการเกษตร
- E : ถังเก็บน้ำ

3. บริษัท จรุงเอนจิเนียริง จำกัด

3.1 เครื่องผลิตก๊าซจากแกลบ

สามารถใช้ได้กับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงสี โรงน้ำแข็ง โรงงานผลิตแป้งมัน และไซโลอบพืชไร่

- โดยใช้ก๊าซเดินเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า
- โดยใช้ก๊าซในการนำความร้อนอบข้าว ข้าวโพด และแป้งมัน

3.2 ลักษณะพิเศษของเครื่องผลิตก๊าซ

การทำงานทั้งหมดใช้ระบบการควบคุมอัตโนมัติประกอบด้วยผู้ควบคุม เตาและเครื่องยนต์พร้อมที่ขึ้นแกลบอัตโนมัติ โดยใช้ผู้ควบคุมเพียงคนเดียว

3.3 ระบบระบายความร้อน

โดยใช้น้ำหมุนเวียนเป็นตัวระบายความร้อนและพาเอาแกลบออกจากเตา มีบ่อดักเอาแกลบ 1 บ่อ ขนาดตามความเหมาะสมของการใช้งาน

3.4 ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

โดยใช้เครื่องยนต์ขนาด 280 แรงม้า 8 สูบต่อตรง ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 90 kVA (150 แอมแปร์) ต่อ 1 เครื่องยนต์ โดยเครื่องวิ่งประมาณ 1,550 รอบ/นาที

3.5 ใช้ในการทำความร้อน

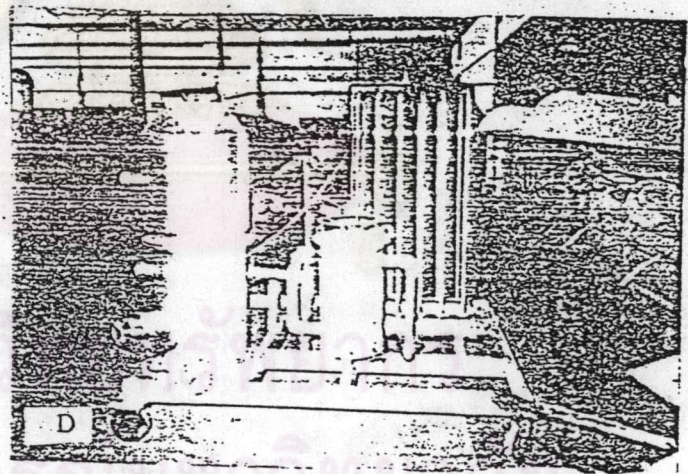
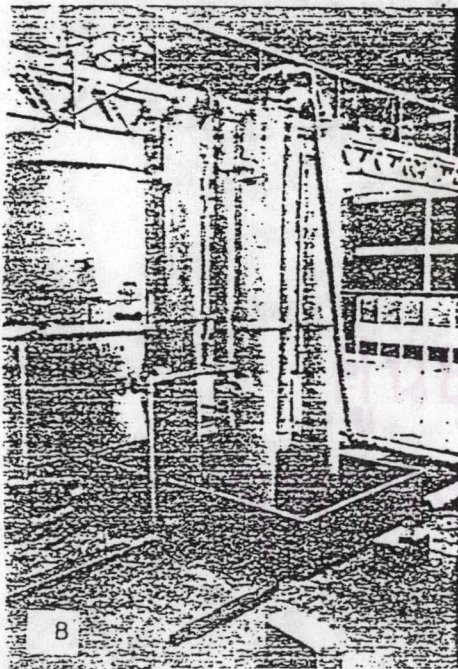
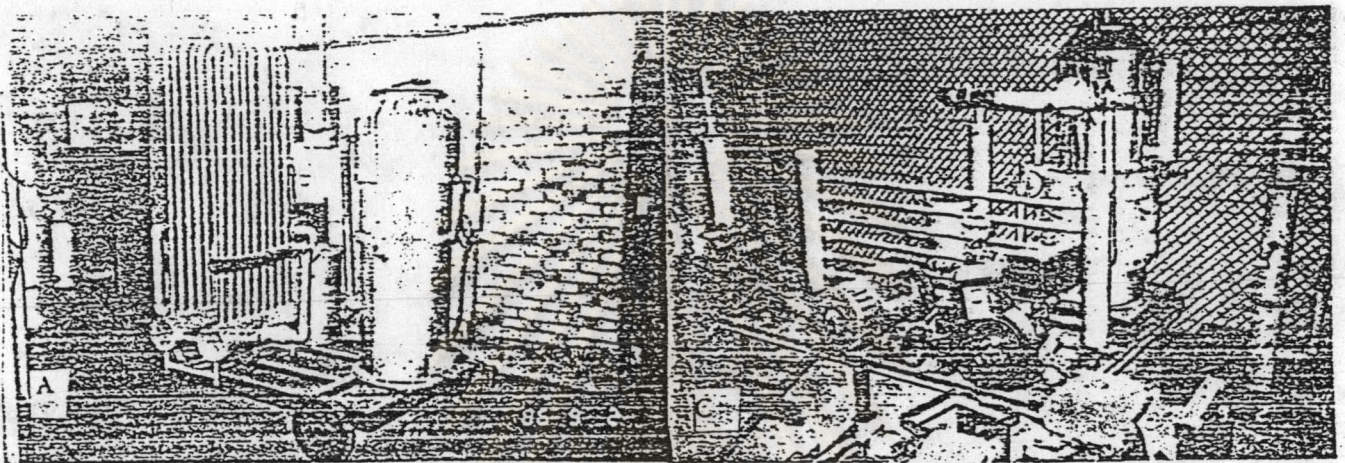
โดยนำก๊าซที่ได้มาใช้ทดแทนน้ำมันเตา ใช้กับหัวพ่นไฟมาเป็นหัวพ่นก๊าซ ทำความร้อนของอากาศและหม้อต้มที่ใช้ น้ำมันมาใช้ก๊าซแทน

4. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ทำการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซจากชีวมวลประเภทต่างๆ เช่น ถ่าน ถ่านไม้ หรือแกลบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ, สร้าง และพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซจากชีวมวลระบบต่างๆตั้งแต่ขนาด 20-50 กิโลวัตต์ เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งสำหรับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล

5. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานค้นคว้าและวิจัยของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซที่ผลิตขึ้น ต้องสามารถเดินเครื่องได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมงต่อวัน และผลิตขึ้นจากวัสดุและแรงงานที่มีในท้องถิ่นเป็นหลัก



รูปที่ 17 คำบรรยายรูป

A : ระบบผลิตก๊าซจากถ่าน

B : ระบบผลิตก๊าซจากแกลบ


C : ระบบผลิตก๊าซจากถ่านใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า

D : ระบบผลิตก๊าซจากถ่านใช้สูบน้ำ

6. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

จุดมุ่งหมายการวิจัย โครงการผลิตก๊าซจากถ่านใช้กับเครื่องยนต์ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย คือ เพื่อพัฒนาและทดสอบผลของราคากระบอก เนื่องจากการออกแบบ เทคนิคการสร้างที่เป็นไปได้เพื่อใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 10 กิโลวัตต์(กำลังเพลลา) โดยใช้กับเตาถ่านเปิดบนทำด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ เครื่องยนต์ขนาด 2 ลิตร ใช้ขั้วปั๊มสูบน้ำแบบหัวน้ำดำ 20.3 มิลลิเมตร

เตาผลิตก๊าซวางอยู่ในถังทรงกระบอกทำด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ ภายในบรรจุน้ำซึ่งเป็นการลดราคาของระบบ และชาวบ้านทั่วไปทำได้ด้วยวัสดุที่มีราคาไม่แพง และใช้เครื่องมือง่ายๆ ผลจากการทดสอบพบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีถ่านพร้อมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้



ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอาภาณี เหลืองนฤมิตชัย เกิดวันที่ 11 เดือนมิถุนายน 2513 ที่จังหวัด
พังงา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2533



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย