

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิด์เบด



นาย จิระศักดิ์ แสงฟูย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา เคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-392-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012553

I 10296608

Gasification of Wood Charcoal in Fluidized Bed

Mr. Chirasak Sangpoum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-392-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิดไคซ์เบด

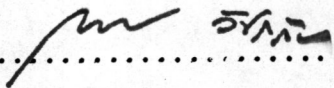
โดย                              นาย จิระศักดิ์ แสงพุ่ม

ภาควิชา                        เคมีเทคนิค


อาจารย์ที่ปรึกษา            ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

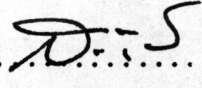


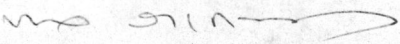
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

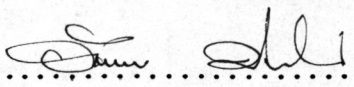
.....  ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราชย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสวรรณ)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกตอง)

.....  ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิดไคซ์เบด
ชื่อนิสิต	นาย จิระศักดิ์ แสงพุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2529



#### บทคัดย่อ

เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำด้วยเหล็กและก่อด้วยซีเมนต์ทนความร้อน ภายใน มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 มม. สูง 2000 มม. ในการทดลองใช้ถ่านไม้ขนาด 2-4 มม. และ 4-6 มม. เกิดการฟลูอิดเซชันขณะเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาภายในเตาเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 900-1200<sup>o</sup>ซ. ใช้อัตราการป้อนอากาศอยู่ระหว่าง 0.29-0.51 ลบ.ม.ต่อนาที และ อัตราการป้อนถ่านไม้ 88-280 กรัมต่อนาที ความสูงเบดอยู่ระหว่าง 500-700 มม.

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้คือ

ความสูงเบด	600 มม.
อัตราการป้อนถ่านไม้	99 กรัมต่อนาที
อัตราการไหลของอากาศ	0.29 ลบ.ม.ต่อนาที
ขนาดถ่านไม้	4-6 มม.
และอุณหภูมิของเบด	1100 <sup>o</sup> ซ

ถ่านที่ลอยออกมาจากเบดถูกแยกออกด้วยเครื่องแยกฝุ่น ก๊าซเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ แล้วป้อนไปยังเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาด 1600 ลบ.ซม. เครื่องยนต์เดินได้เรียบที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที ใช้ก๊าซเชื้อเพลิง 0.30 ลบ.ม.ต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องความดันบรรยากาศและได้กำลังของเครื่องยนต์ 46.4 แรงม้า ซึ่งสามารถใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ ได้เป็นอย่างดี



Thesis Title      Gasification of Wood Charcoal in Fluidized Bed  
Name                Mr. Chirasak Sangpoum  
Thesis Advisor    Professor Somsak Damronglerd, Ph.D.  
Department        Chemical Technology  
Academic Year     1986

#### ABSTRACT

The gasifier was a cylindrical cast iron lining with refractory cement and having inside diameter 150 mm. with 2000 mm. in height. In this experiment, we used wood charcoal particle sizes 2-4 and 4-6 mm. They were fluidized by air. The reaction in the bed was undertaken at the temperature between 900°C and 1200°C. Feed rate of air and wood charcoal were 0.29 to 0.51 m<sup>3</sup>/min. and 88 to 280 gm/min. respectively. Bed height was varied from 500 mm. to 700 mm.

The most appropriate conditions for this gasifier were as following:

bed height	600 mm.
feed rate of wood charcoal	99 gm/min.
flow rate of air	0.29 m <sup>3</sup> /min.
particle size	4-6 mm.
and bed temperature	1100 °C

The ash was mounted from the bed and was separated by dust-separator. The gaseous fuel was cooled down to the same temperature as the ambient, then it was fed into the internal combustion engine

of 1600 cm.<sup>3</sup> The motor ran smoothly at 2500 rpm. The consumption of gaseous fuel was about 0.30 m<sup>3</sup>/min at room temperature and atmospheric pressure. It could develop power up to 46.4 hp. and could drive the 5 kilowatt dynamo very well.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ต่อท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนให้ความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ไอลสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.พล สาเกทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วน ได้รับมาจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ คุณอวยพร สืพลากร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการซ่อมและสร้างเครื่องมือให้ตลอดการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คุณสังข์ ชมชื่น, คุณสงวน ลำสันเทียะ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องยนต์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาฯทุกท่าน ที่ได้ให้ความสะดวกต่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ คุณจรินทร์ แสงพุ่ม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์มาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณวิโรจน์ แสงพุ่ม ที่ได้มาช่วยให้งานด้านเครื่องมือในงานวิจัยดำเนินไปได้เร็วขึ้นอย่างมาก ขอขอบคุณ คุณวิชาญ เจริญกิจสุพัฒน์ ที่ช่วยเหลือด้านคอมพิวเตอร์ ทำให้การคำนวณในงานวิจัยนี้รวดเร็วยิ่งขึ้น

สุดท้ายที่จะกล่าวถึง คือผู้ที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดต่อบิดา มารดา และพี่ ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านทุนทรัพย์และกำลังใจตลอดมา





## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญรูป .....	ญ
สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ .....	ด
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. วารสารปริทัศน์ .....	4
3. เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย .....	33
4. ผลการทดลอง .....	54
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	89
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	107
เอกสารอ้างอิง .....	110
ภาคผนวก .....	115
ประวัติผู้เขียน .....	149

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนผสมของโปรตีนเซอร์ก้าช .....	8
2.2 ปฏิกริยาการเผาไหม้พื้นฐาน .....	9
4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้แบบแยกธาตุ(Ultimate Analysis)และการ วิเคราะห์แบบประมาณ(Proximate Analysis).....	54
4.2 ผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชันของถ่านไม้ ขนาด 2-4 มม.....	55
4.3 ผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชันของถ่านไม้ ขนาด 4-6 มม. เป็นถ่านไม้ที่ไม่ได้ผ่าน Screw Feeder .....	57
4.4 ผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชันของถ่านไม้ ขนาด 4-6 มม. เป็นถ่านไม้ที่ผ่าน Screw Feeder แล้ว.....	60
4.5 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 130 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม.	64
4.6 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 162 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม.	65
4.7 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 280 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม.	66
4.8 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 88 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.	67
4.9 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 99 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.	68
4.10 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 195 กรัม/นาทึ, ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.	69
4.11 ผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 132 กรัม/นาทึ และที่อัตราการบ้อนถ่าน ถ่านไม้ 157 กรัม/นาทึ ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม. ....	70
5.1 แสดงผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 88, 99, 132, 157 กรัม/นาทึ เปรียบเทียบก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่อัตราการไหลของอากาศและความสูงเบดเดียวกัน	91
5.2 แสดงผลการทดลองที่อัตราการบ้อนถ่านไม้ 280 กรัม/นาทึ ความสูงเบด 60 ซม. ความเร็วลม 2.3 ซม.น้ำ (0.430 ลบ.ม./นาทึ) .....	92



## ตารางที่

## หน้า

5.3	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	98
5.4	แสดงอิทธิพลของความสูง เบดต่ออัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	100
5.5	แสดงผลการทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ขนาด 2-4 มม. อัตราการป้อนถ่าน 130 กรัมต่อนาที เปรียบเทียบกับขนาดถ่านไม้ 4-6 มม. อัตราการป้อนถ่าน 132 กรัมต่อนาที ที่ความสูง เบด 60 ซม. และ $M_R$ เดียวกัน .....	103
5.5 (ต่อ)	แสดงผลการทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ขนาด 2-4 มม. อัตราการป้อนถ่าน 162 กรัมต่อนาที เปรียบเทียบกับขนาดถ่านไม้ 4-6 มม. อัตราการป้อนถ่าน 157 กรัมต่อนาที ที่ความสูง เบด 60 ซม. และ $M_R$ เดียวกัน .....	104
ก.1	แสดงผลการคำนวณสมดุลมวลสาร.....	122
ก.2	แสดงผลการคำนวณสมดุลพลังงาน.....	129
ค.1	ผลการทดลองเดินเครื่องยนต์ เบื้องต้น.....	138
ค.2	ตารางแสดงรายละเอียดของ เครื่องยนต์ที่ใช้.....	139
ง.1	รายการการทดลองและมาตรฐานวิธีวิเคราะห์.....	141
ง.2	แสดงผลการทดลองหา Calibration Curve ของอัตราการไหลของ อากาศกับความต่างระดับของน้ำ ในมานอมิเตอร์.....	144
ง.3	แสดงผลการทดลองหา Calibration Curve ของอัตราการไหลของ ก๊าซเชื้อเพลิงกับความต่างระดับของน้ำ ในมานอมิเตอร์.....	146



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงกราฟของ Boudouard Equilibrium และอุณหภูมิในเตาผลิต ก๊าซเชื้อเพลิง .....	11
2.2 กราฟระหว่างลอการิทึมของค่าคงที่ของสมดุลสำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ ของสมดุลของปฏิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐานกับอุณหภูมิ .....	12
2.3 ปฏิกิริยาในเบดเชื้อเพลิงของเตาผลิตก๊าซ .....	14
2.4 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ Wellman-Galusha .....	20
2.5 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง Winkler generator , .....	22
2.6 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง K-T gasifier .....	22
2.7 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง U-GAS gasifier .....	23
2.8 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง Lurgi pressure gasifier .....	23
2.9 Up-draught unit .....	25
2.10 Down-draught unit .....	25
2.11 Cross-draught unit .....	25
3.1 แสดงเครื่องมือในการทำก๊าซซิฟิเคชันจากถ่านไม้ .....	36
3.2 แสดงเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง .....	41
3.3 แสดงเครื่องเป่าอากาศ (Blower) .....	42
3.4 แสดงเครื่องป้อนถ่านแบบเกลียวผลักดัน (Screw Feeder) และ Hopper	43
3.5 แผงควบคุม (Control Panel) .....	44
3.6 แสดงท่อต่อสำหรับถ่านล้น .....	45
3.7 ลักษณะของแผ่นกระจายอากาศ .....	45
3.8 ท่อถ่านล้นที่ต่อเสร็จ เรียบร้อย .....	46
3.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ....	47
3.10 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน .....	48
3.11 เครื่องแยกฝุ่น 1 .....	49
3.12 เครื่องแยกฝุ่น 2 และเครื่องกรองก๊าซเชื้อเพลิง .....	50

3.13	เครื่องระบายความร้อน (cooler) .....	51
3.14	เครื่องยนต์ NISSAN OHC 1600 ลบ.ซม. ....	52
3.15	เยนเนอเรเตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์ .....	52
3.16	รูปรวมทั้งหมดของระบบ .....	53
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (Pressure Drop) กับ ความเร็วของอากาศ (Air Velocity) ในการทดลองหา $V_{mf}$ ของถ่านไม้ขนาด 2-4 มม. ....	56
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (Pressure Drop) กับ ความเร็วของอากาศ (Air Velocity) ในการทดลองหา $V_{mf}$ ของถ่านไม้ขนาด 4-6 มม. ที่ไม่ได้ผ่าน Screw Feeder .....	59
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (Pressure Drop) กับ ความเร็วของอากาศ (Air Velocity) ในการทดลองหา $V_{mf}$ ของ ถ่านไม้ขนาด 4-6 มม. ที่ผ่าน Screw Feeder แล้ว .....	62
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 130 กรัม/นาที่ ความสูง เบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	71
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 162 กรัม/นาที่ ความสูง เบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	72
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ กับอุณหภูมิที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 280 กรัม/นาที่ ความสูง เบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	73
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 130 กรัม/นาที่ ความ สูง เบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	74
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์ กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 162 กรัม/นาที่ ความ สูง เบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 2-4 มม. ....	75







รูปที่

หน้า

4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 195 กรัม/นาที่ ความสูงเบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.....	85
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 88 กรัม/นาที่ ความสูงเบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.....	86
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 99 กรัม/นาที่ ความสูงเบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.....	87
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการไหลของอากาศที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 195 กรัม/นาที่ ความสูงเบด 50, 60, 70 ซม., ขนาดถ่านไม้ 4-6 มม.....	88
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนมอนอกไซด์กับอัตราการป้อนถ่านไม้ที่อัตราการไหลของอากาศ ความสูงเบดและขนาดถ่านไม้เดียวกัน .....	93
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของก๊าซ เชื้อเพลิงกับอุณหภูมิที่อัตราการไหลของอากาศ 0.430 ลบ.ม./นาที่ .....	94
ข.1	แผนผังการทำงานของ เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ.....	137
ง.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความดันลด..	145
ง.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิงกับความดันลด	147

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

$g_c$	=	อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง	( เมตร/วินาที <sup>2</sup> )
$d_p$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางสมมติ	( เมตร )
$L$	=	ระยะทางหรือความสูงของ เบด	( เมตร )
$\Delta P$	=	ความดันตกหรือความดันต่างของ เบด	( กก./ เมตร <sup>2</sup> )
$Re$	=	ค่าของ Reynolds	
$U_o$	=	ความเร็วของของไหล	( เมตร/ชม. )
$U_s$	=	ความเร็วผิวพื้นเฉลี่ย	( เมตร/ชม. )
$\phi_s$	=	แฟกเตอร์รูปร่าง	
$\rho$	=	ความหนาแน่นของของไหล	( กก./ เมตร <sup>3</sup> )
$\mu$	=	ความหนืดของของไหล	( กก./ เมตร-ชั่วโมง )
$\epsilon_m$	=	ช่องว่างในเบด (Voidage)	
$\rho_g$	=	ความหนาแน่นของก๊าซ	( กก./ เมตร <sup>3</sup> )
$\rho_s$	=	ความหนาแน่นของของแข็ง	( กก./ เมตร <sup>3</sup> )
$V_{mf}$	=	ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดเซชัน	( เมตร/ชม. )
$T_{bed}$	=	อุณหภูมิที่เบด เชื้อเพลิง	( °ซ. )
$T_d$	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	( °ซ. )
$T_w$	=	อุณหภูมิกระเปาะเปียก	( °ซ. )
$T_F$	=	อุณหภูมิของฟลูก๊าซ	( °ซ. )
$M_R$	=	อัตราส่วนมวล ของอากาศที่ใช้ต่อมวลของอากาศที่ใช้ที่ $V_{mf}$	