

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการ	1
1.2 สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	8
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	8
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	8
1.6 วิธีการดำเนินการ	9
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	10
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม	10
2.2 กระบวนการผลิตพลังงานโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง	12
2.2.1 เทคโนโลยีผลิตพลังงานโดยใช้ห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์	13
2.2.2 เทคโนโลยีผลิตพลังงานโดยใช้ห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคส์เบด	19
2.3 กระบวนการลดความชื้นของกากอ้อยก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ	22
2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	27
2.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	27
2.4.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน	28
2.4.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ	28

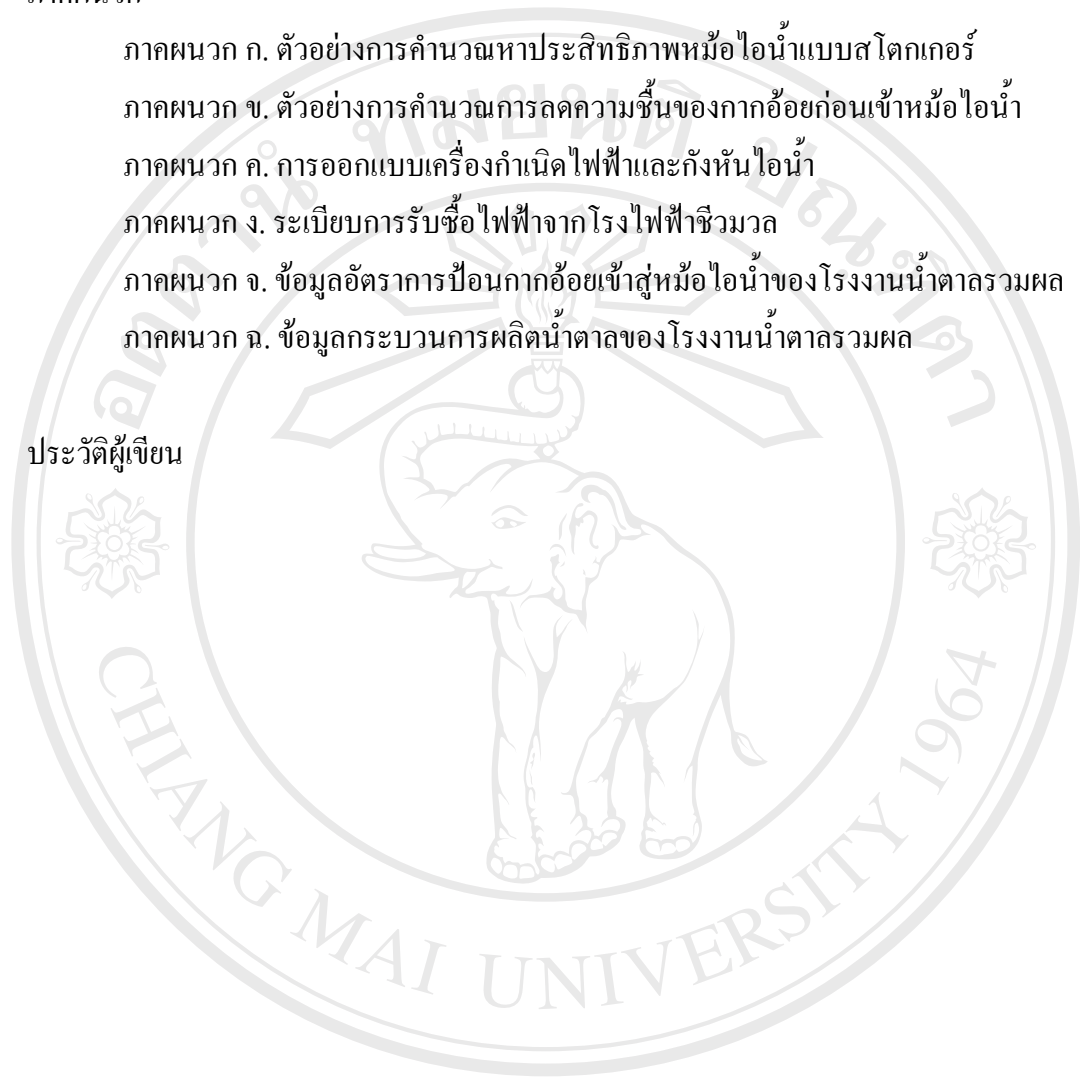
2.4.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง	28
บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	29
3.1 กระบวนการปฏิบัติการ	29
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูล	30
3.3 กระบวนการผลิตน้ำตาลในอุตสาหกรรมน้ำตาล	30
3.4 กระบวนการผลิตพลังงานความร้อนร่วมในโรงงานน้ำตาลรวมผล	33
3.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	40
3.5.1 วิธีการวิเคราะห์เชิงเทคนิค	41
3.5.2 วิธีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	58
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิค	58
4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	69
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้น กับประเภทสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต	70
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้น กับอัตราส่วนการลงทุน	75
4.3 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์	82
4.3.1 กรณีปรับปรุงระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมโรงงานน้ำตาลรวมผล	82
4.3.2 กรณีระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	84
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการศึกษา	89
5.2 ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	92

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำแบบสโตคเกอร์	95
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณการลดความชื้นของกากอ้อยก่อนเข้าหม้อไอน้ำ	105
ภาคผนวก ค. การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกังหันไอน้ำ	110
ภาคผนวก ง. ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวล	115
ภาคผนวก จ. ข้อมูลอัตราการผลิตกากอ้อยเข้าสู่หม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาลรวมผล	120
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลรวมผล	123

ประวัติผู้เขียน

132



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2540/41	3
2.1 ข้อพิจารณาหาระหว่างระบบ Topping Cycle กับระบบ Bottoming Cycle	11
2.2 คุณสมบัติของกากอ้อยที่ Kilicaslan. I. และคณะใช้ทำการทดสอบ	23
3.1 รายการอุปกรณ์เครื่องมือวัด	30
3.2 คุณสมบัติของกากอ้อยแบบ Ultimate analysis (As-received basis)	42
3.3 ค่าตัวแปรต่างๆที่แทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	44
3.4 ค่าตัวแปรต่างๆที่แทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และมีการลดความชื้นกากอ้อย	47
3.5 ค่าตัวแปรต่างๆที่แทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดและไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	49
3.6 ค่าตัวแปรต่างๆที่แทนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดและมีการลดความชื้นกากอ้อย	52
3.7 ตัวแปรที่ใช้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	57
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 1 กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	59
4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 2 กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และมีการลดความชื้นกากอ้อย	60
4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 3 กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดและไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	62
4.4 ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 4 กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดและมีการลดความชื้นกากอ้อย	63
4.5 ประสิทธิภาพของระบบพลังงานความร้อนร่วมในกรณีหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์	67
4.6 ประสิทธิภาพของระบบพลังงานความร้อนร่วมในกรณีหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด	68

4.7	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับประเภทสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 1	71
4.8	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับประเภทสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 2	72
4.9	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับประเภทสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 3	73
4.10	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับประเภทสัญญาการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 4	74
4.11	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนการลงทุนของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 1	77
4.12	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนการลงทุนของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 2	78
4.13	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนการลงทุนของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 3	79
4.14	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และความอ่อนไหวที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนการลงทุนของผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิคกรณีที่ 4	80
4.15	การเปรียบเทียบระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมที่เหมาะสมกับโรงงานน้ำตาลรวมผล	83
4.16	ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าและอัตราการป้อนกากอ้อย	86
4.17	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์กรณีเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็น 10 MW	88
ก.1	แสดงคุณสมบัติของกากอ้อยที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง	97
ก.2	แสดงปริมาณคาร์บอนที่ไม่สามารถเผาไหม้(C _{uff})ที่อัตราอากาศส่วนเกิน 0%-50%	98
ก.3	แสดงค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับเถ้าที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	99
ก.4	แสดงค่า(CO/CO+CO ₂)ที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	100
ก.5	แสดงค่า R _{CO/f} ที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	101
ก.6	แสดงค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	101
ก.7	แสดงค่า α_b ที่อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน 0%-50%	103
ก.8	แสดงอุณหภูมิไอเสียที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	103
ก.9	แสดงค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับแก๊สร้อนที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	104
ข.1	แสดงปริมาณ CO ₂ , O ₂ และ N ₂ ที่อากาศส่วนเกิน 0%-50%	107
ข.2	แสดงค่าสมการความร้อนสำหรับส่วนแห้งและสมการความร้อนสำหรับเปียก	108

ข.3	ปริมาณปริมาตรน้ำที่ระเหยออกจากกากอ้อยและความชื้นของกากอ้อยหลังผ่านห้องอบ	109
ค.1	Efficiencies of engine Type Synchronous Generators	111
ค.2	Standard Deduction	112
ค.3	Engine Efficiencies of Condensing Turbine	112
ค.4	Correction to Engine Efficiencies	113
ค.5	Efficiencies Correction of Condensing Turbines	113
ง.1	ค่าพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน	118
จ.1	ข้อมูลอัตราการป้อนกากอ้อยเข้าสู่หม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาลรวมผล	122



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆที่ถูกผลิตทั่วโลกในปี 2002	2
2.1 ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมแบบ Steam Topping Cycle	10
2.2 ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมแบบ Steam Bottoming Cycle	10
2.3 กระบวนการทำงานของระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วม	12
2.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง	13
2.5 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตเกอร์แบบต่างๆ	14
2.6 การทำงานของระบบเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด	19
2.7 การทำงานของห้องอบกากอ้อย	22
3.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล	31
3.2 กระบวนการสกัดน้ำอ้อย	31
3.3 การทำความสะอาดหรือทำใส่น้ำอ้อย	32
3.4 กระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาลทรายรวมผล	34
3.5 กระบวนการผลิตพลังงานความร้อนร่วมของโรงงานน้ำตาลรวมผล	35
3.6 ปริมาณรถบรรทุกคันอ้อยที่มาจากคันอ้อยหน้าโรงงาน	36
3.7 ส่วนผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลรวมผล	36
3.8 หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตเกอร์ขนาด 40 ตันไอน้ำ	37
3.9 ส่วนคัดเก้าของโรงงานน้ำตาลรวมผล	37
3.10 ส่วนลำเลียงเก้าสู่ภายนอกโรงงานน้ำตาลรวมผล	38
3.11 ส่วนคัดแยกกากอ้อยที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลรวมผล	38
3.12 กากอ้อยที่ได้หลังจากกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลรวมผล	39
3.13 กากอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลรอการขนส่งเพื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษ	39
3.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์	40
3.15 ระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมของโรงงานน้ำตาลรวมผล	41
3.16 ลักษณะท่อน้ำแบบ D-type	42
3.17 หลักการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตเกอร์และไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	43

3.18	หลักการดำเนินงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์และมีการลดความชื้นกากอ้อย	46
3.19	หลักการดำเนินงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดและไม่มีการลดความชื้นกากอ้อย	48
3.20	หลักการดำเนินงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดและมีการลดความชื้นกากอ้อย	51
3.21	ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	53
4.1	เปรียบเทียบความร้อนที่สูญเสียแบบต่างๆของหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบสโตกเกอร์	61
4.2	เปรียบเทียบความร้อนที่สูญเสียแบบต่างๆของหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด	64
4.3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้กรณีต่างๆ	65
4.4	เปรียบเทียบอัตราป้อนกากอ้อยเข้าหม้อไอน้ำที่ใช้ห้องเผาไหม้กรณีต่างๆ	65

รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ

A	=	ปริมาณแก๊สในกากอ้อย(%)
BCR	=	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน
B_t	=	ผลประโยชน์ของโครงการปีที่ t
C	=	ปริมาณคาร์บอนในกากอ้อย (%)
CO	=	ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในกากอ้อย (%)
CO ₂	=	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในกากอ้อย (%)
C_t	=	ต้นทุนของโครงการปีที่ t
C_{uf}	=	ปริมาณ C ที่ไม่สามารถเผาไหม้
D_{sh}	=	steam power (ton/hr)
D_{sh}^{nom}	=	steam power ที่ 45 ตัน ใช้น้ำ
H_C	=	ค่าความร้อนของการเผาไหม้คาร์บอน (kJ/kg)
H_{CO}	=	ค่าความร้อนของการเผาไหม้คาร์บอนมอนอกไซด์ (kJ/kg)
h_1	=	เอนทาลปีของอากาศก่อนเข้าหม้อไอน้ำ(kJ/kg)
h_2	=	เอนทาลปีของก๊าซร้อนที่ปล่อยออกสู่ปล่อง(kJ/kg)
IRR	=	อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ
n	=	จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ
NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
PVB	=	มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม
PVC	=	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม
q_{bf1}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับคาร์บอนในขี้เถ้า (kW)
q_{bf2}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซ CO (kW)
q_{bf3}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปไอเสีย (kW)
q_{bf4}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปที่ผิวผนังของหม้อไอน้ำ (kW)
q_{bs1}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน(%)
q_{bs2}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์(%)
q_{bs3}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับเถ้า(%)
q_{bs4}	=	ความร้อนที่สูญเสียไปกับการนำพาความร้อนแบบต่างๆ(%)
$Q_{กากอ้อย}$	=	ค่าความร้อนของกากอ้อย(kJ/kg)

r	=	อัตราคิดลดที่เหมาะสม
$R_{CO/f}$	=	อัตราการเกิด CO ต่อการเผาไหม้กากอ้อย 1 กิโลกรัม
S	=	ปริมาณ S ในกากอ้อย (%)
t	=	ระยะเวลาของโครงการ (1,2,...,n)
T_{bs}	=	อุณหภูมิแก๊สไอเสียของหม้อไอน้ำแบบสโตเกอร์ (°C)
X_i	=	ค่าของข้อมูลแต่ละตัว
\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
α_f	=	Stoichiometric ratio ของเตาเผาไหม้
$\Delta\alpha$	=	Stoichiometric ratio ของอากาศเข้าที่รั่วในระบบ
η_{bf}	=	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไคซ์เบด
η_{bs}	=	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบสโตเกอร์
$\mu_{CO/C}$	=	อัตราส่วนโมเลกุลระหว่าง CO กับ C