การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดในโรงงานผลิตน้ำมันพืช

A Study of Clean Coal Technology in the Industry of Vegetable Oil

มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล[1] ชัยวิทย์ เสมอภาค[2]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทร 0-22186642 โทรสาร 0-22186642 Email: fmemtt@eng.chula.ac.th[1], s_chaiwit@chula.com[2]

Mingsak Tangtrakul[1] Chaiwit Samerpark[2]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Payathai Rd., Patumwan Bangkok 10330 Thailand
Tel. 0-22186642 Fax. 0-22186642 Email: fmemtt@eng.chula.ac.th[1], s_chaiwit@chula.com[2]

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตน้ำมันพืชมีการใช้น้ำมันเตา เม็ดเปลือกฝ้าย และซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นมีดังนี้ คือ ปัญหาเรื่องราคาในการผลิตความร้อน มีราคาสูง ปัญหาเรื่องมลภาวะฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เม็ดเปลือกฝ้าย และซังข้าวโพดในหม้อไอน้ำ นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ

จากการศึกษาพบว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมาใช้หม้อไอน้ำแบบ Circulating Fluidized Bed ในระบบผลิตความร้อนร่วม ซึ่งใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง จะทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดีขึ้น และยังสามารถลดมลาวะได้ต่ำกว่าที่มาตราฐานกำหนดคือ SO_2 , NO_x และฝุ่นยังน้อยลงด้วย

Abstract

A vegetable oil industry uses heavy oil, cotton seed husk and corn cop for producing steam in steam generators. There are problems in using these fuels such as low combustion efficiency and pollution problems.

The result of study of using circulating fluidized bed boiler with coal in co-generation system. Combustion efficiency is improved and reduce emission pollutants such as NO_x SO_2 and particulate

ปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำมันพืชแห่งหนึ่งมี หม้อไอน้ำทั้งหมด 5 เครื่อง ซึ่งแบ่งหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง 3 เครื่อง และอีก 2 เครื่อง ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ได้แก่ เปลือกฝ้าย ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากขบวนการผลิตน้ำมันพืชและซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง สภาพการใช้ไอน้ำปัจจุบันของโรงงาน โรงงานต้องการใช้ไอน้ำในขบวนการผลิตทั้งหมดประมาณ 23 ตัน/ชั่วโมง ที่ความดัน 12 บาร์ ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของโรงงานคือ ต้นทุนการผลิตไอน้ำมีราคาสูงเนื่องจาก ราคาน้ำมันเตามีราคาแพง และซังข้าวโพดที่มีราคาแพง โดยราคาซังข้าว-โพดประมาณ 1.65 บาท/กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าราคาถ่านหินที่ขายอยู่ในประเทศซึ่งราคา ประมาณ 1 บาท / กิโลกรัม ในขณะที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าหากมีการเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำโดยการเปลี่ยนมาใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำจะทำให้ต้นทุนการผลิตไอน้ำต่ำลง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เปลือกฝ้ายที่เหลือจากขบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงในการเผไหม้ร่วมกับถ่านหินได้ โดยการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดเพื่อลดปัญหาสิ่งแวด-ล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน โดยใช้หม้อไอน้ำที่มีห้องเผาไหม้แบบ Circulating Fluidized Bed Combustion หรือที่เรียกว่า Circulating Fluidized Bed Boiler หม้อไอน้ำแบบนี้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย โดยจะใช้ Electrostatic Precipitator ในการดักจับแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการลดมลภาวะที่จะเกิดอีกด้วย

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean Coal Technology, CCT) คือกลุเทคโนโลยีในการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1.การทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้ (Pre-Combustion Coal Cleanning)
2.เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะการเผาไหม้ถ่านหิน (In-Combustion Technology)
3.เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดภายหลังการเผาไหม้ถ่านหิน (Post-Combustion Technology)

1. การทำความสะอาดถ่านหินก่อนการเผาไหม้ (Pre-Combustion Coal Cleanning) เป็นกระบวนการเตรียมถ่านหินเพื่อลดการเกิดมลภาวะในขั้นตอนก่อนการเผาไหม้ ในการศึกษาจะทำการบดถ่านหิน (Coal Powdered) เพื่อลดความชื้นในถ่านหินคุณภาพต่ำ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้ควบคุมการเผาไหม้ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยเพิ่มให้การเผาไหม้ดีขึ้นและทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับห้องเผาไหม้ได้ดีขึ้น

2.เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะการเผาไหม้ถ่านหิน (In-Combustion Technology) เป็นการเลือกอุปกรณ์การเผาไหม้ถ่านหินที่เหมาะสม เพื่อลดมลภาวะในขณะเผาไหม้ในการศึกษาจะเลือกอุปกรณ์การเผาไหม้แบบเบดหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed) เพราะการเผาไหม้แบบเบดหมุนเวียน เป็นการเผาไหม้ที่เกิดมลพิษต่ำและสามารถเผาได้กับเชื้อเพลิงหลายชนิด

3.เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดภายหลังการเผาไหม้ถ่านหิน (Post-Combustion Technology) ในการศึกษาจะเลือกไซโคลนในการดักฝุ่นก่อนในครั้งแรกทั้งนี้เพื่อดักจับเถ้าร้อน (Fly Ash) ที่ออกมาจากห้องเผาไหม้นอกจากนี้ฉีดน้ำปูนขาวใน Wet Scrubber เพื่อดักจับซัลเฟอร์ ที่หลุดออกมาจากห้องเผาไหม้กับแก๊สไอเสียให้กลายเป็น $CaSO_4$ และยังสามารถดักฝุ่นที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแก๊สไอเสียอีกด้วย นอกจากนั้นยังใช้เครื่องดักฝุ่น Electrostatic Precipitator กรองอีกครั้งหนึ่งก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

หม้อไอน้ำที่เลือกสำหรับการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินของอุตสาหกรรมในโรงงานผลิตน้ำมันพืช

หม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิของไอน้ำไม่เกิน 450 ^{o}C ควบคุมความร้อนได้ง่าย หม้อไอน้ำจะเป็นตัวผลิตไอน้ำไปใช้ทางตรงและทางอ้อม การให้ความร้อนสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่วัสดุที่ได้รับความร้อนโดยตรงหรือการให้ความร้อนผ่านวัสดุนำความร้อน

หม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์เพื่อผลิตไอน้ำ คือทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำให้เป็นไอน้ำโดยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ในการผลิตไอน้ำจำเป็นต้องมีปัจจัย 3 อย่าง คือ น้ำ ความร้อน และภาชนะที่เหมาะสม หม้อไอน้ำประกอบด้วยระบบย่อย ดังนี้

(1) ระบบป้อนน้ำเลี้ยง (Feed Water) เข้าหม้อไอน้ำ
(2) ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิง
(3) ระบบไอน้ำเพื่อเก็บและควบคุมไอน้ำที่ผลิตได้ในหม้อไอน้ำ

การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนของหม้อไอน้ำ

น้ำเลี้ยงที่ไหลเข้าหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดมาก อากาศสำหรับการเผาไหม้ที่ไหลเข้าเตาเผาก็มีอุณหภูมิต่ำเช่นกัน แต่ก๊าซเผาไหม้ที่ออกทางปล่องไฟมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นถ้าใช้ก๊าซเผาไหม้ที่ร้อนนี้ไปอุ่นน้ำเลี้ยงและอากาศที่จะเข้าหม้อไอน้ำก็สามารถประหยัดความร้อนได้ ยังผลให้ประสิทธิภาพความร้อนของหม้อไอน้ำสูงขึ้น ซึ่งหมายถึงการลดปริมาณ เชื้อเพลิงที่ต้องใช้

สาเหตุที่เลือกหม้อไอน้ำแบบ Circulating Fluidized-Bed (CFB)

หม้อไอน้ำที่มีระบบเผาไหม้แบบ Circulating Fluidized-Bed น่าจะมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เนื่องจากเหตุผลต่างๆ ดังนี้
1.ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง
2.สมรรถนะการเผาไหม้สูง ควบคุมการเผาไหม้ได้ดี จึงปล่อยมลพิษซึ่งได้แก่ SO_2, NO_x, CO และฝุ่นต่ำ
3.สามารถใช้กับเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่างๆ กันได้ในพิสัยกว้าง ซึ่งรวมถึงเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ มีความชื้นและปริมาณเถ้าสูง
4.เตรียมเชื้อเพลิงได้ง่าย จึงไม่จำเป็นต้องบดอย่างละเอียดเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันมากนัก
5.สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ทั้งเชื้อเพลิงชนิดเดียวและหลายชนิดผสมกัน
6.สนองกำลังการผลิตไอน้ำได้ในพิสัยกว้าง
7.สนองกำลังการผลิตไอน้ำได้ต่อเนื่องตามความต้องการ
8.มีความสามารถในการทำงานสูง

ผลการศึกษา

จะเปรียบเทียบค่าที่ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2536 เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ลงวันที่ 20 กรกฎาคม 2536 กับแบบจำลองของการผลิตไอน้ำของโรงงานน้ำมันพืช โดยพิจารณาความต้องการใช้ไอน้ำ

กับความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงงานเป็นตัวแปรในการกำหนดการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ จากนั้นจะพิจารณาแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสาธารณาชน สำหรับการคำนวณจะพิจารณาการใช้ โปรแกรม Engineering Equation Solver ร่วมกับการโปรแกรม Gas Equation

ถ่านหินที่ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการศึกษาใช้ถ่านหินจากบริษัทบ้านปู ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ถ่านหินดังนี้

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านหิน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

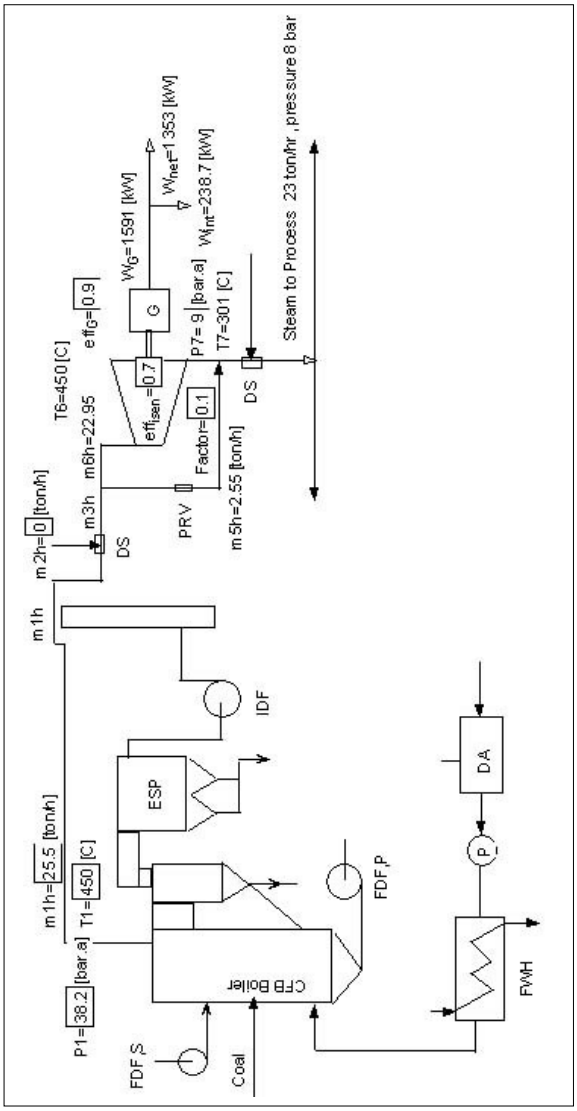
moisture (ARB)	35 %
Volatile matter (ADB)	40 %
Fixed carbon (ADB)	33 %
ash (ADB)	21 %
Heating value	4,200 kcal / kg

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate Analysis)

คาร์บอน (C)	70.83 %
ไฮโดรเจน (H)	5.18 %
ออกซิเจน (O)	22.04 %
ไนโตรเจน (N)	0.98 %
ซัลเฟอร์ (s)	0.97 %

สำหรับแบบจำลองขบวนการผลิตไอน้ำของโรงงานน้ำมันพืช จะเริ่มจากการสอบถามความต้องการ การใช้ไอน้ำในขบวนการผลิตของโรงงาน ซึ่งทางโรงงานกำหนดความต้องการใช้ไอน้ำ 23 ตันไอน้ำ / ชั่วโมง ที่สภาวะไอน้ำอิ่มตัวความดันไอที่ 7 บาร์ ถ้าหากพิจารณาปริมาณการใช้ไอน้ำของโรงงานพบว่าปริมาณไอน้ำที่ต้องการใช้มีปริมาณที่มากและต่อเนื่อง มากพอที่จะสามารถนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ เพื่อจะเป็นการประหยัดรายจ่ายในด้านพลังงานของโรงงานได้อีกด้วยและจะเป็นการใช้ไอน้ำให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกหม้อไอน้ำที่มีกำลังการผลิตไอน้ำที่ 25.5 ตันไอน้ำ / ชั่วโมง ที่ความดัน 38.2 บาร์ และไอน้ำที่ผลิตได้มีอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เพื่อให้อยู่ในสภาวะไอดง เพื่อนำไปผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตไฟฟ้า ก่อนที่จะนำเอาไอน้ำไปใช้ขบวนการผลิต

สำหรับขบวนการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ เราจะเลือกระบบการเผาไหม้แบบ เบดหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed) จะมีการเติมปูนขาวในอัตราส่วน 2 : 1 (Molar basis)เข้าไปในห้องเผาไม้เพื่อไปทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ในถ่านหินกลายเป็น $CaSO_4$ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณ SO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้ สำหรับขบวนการกำจัดมลภาวะหลังการเผาไหม้เริ่มต้น จะใช้ไซโคลนในการดักฝุ่น และ Electrostatic Precipitator ในการดักจับฝุ่นที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการลดมลภาวะที่จะเกิดอีกด้วยก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ แบบจำลองจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการความต้องการใช้ไอน้ำและความต้องการใช้ไฟฟ้า

ส่วน NO_x จากการวิเคราะห์พบว่าเกิดในปริมาณที่น้อยที่อุณหภูมิการเผาไหม้ของ Circulation fluidized bed

ตารางที่ 3 การประเมินปริมาณมลสารที่อาจเกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอุปกรณ์

ชนิด	หน่วย	ปริมาณมลสารจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ
		ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไอน้ำ 80%
ไอน้ำ	kg/hr	25,500
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง	kg/hr	5,212
$CaCO_3$	kg/hr	205.4
เถ้าหนักจากหม้อไอน้ำ		
$CaSO_4$	kg/hr	98.58
CaO	kg/hr	115
Ash from fuel	kg/hr	1,046
เถ้าที่ดักจับที่ Cyclone	kg/hr	209.3
เถ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศทาง	kg/hr	10.46
เถ้าที่ดักจับที่ ESP	kg/hr	49.71
Flue gas (O_2 @ 6%)		
SO_x	ppm	150.6
	mg/Nm^3	430.3
NO_x	ppm	178
	mg/Nm^3	238.5
	mg/Nm^3	0.29
CO_2 / steam	kg/ton	348.59
Particulate	**mg/Nm^3**	**85.64**

ค่าในตารางที่ 3 เป็นค่าที่คำนวณจากแบบจำลองที่กำหนดขึ้นจากขบวนการใช้งานจริงของโรงงานผลิตน้ำมันพืช

ตารางที่ 4 ตารางค่ามาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิด	หน่วย	ปริมาณ
SO_2	ppm	500
	mg/Nm^3	1300
NO_x	ppm	500
	mg/Nm^3	940
ฝุ่น	mg/Nm^3	400

สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าค่ามลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินในหม้ออน้ำแบบ Circulating Fluidized Bed มีค่าน้อยกว่าค่าที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ SO_2 น้อยกว่า 70 % NO_x น้อยกว่า 64.4 % ฝุ่น น้อยกว่า 78.6 % นอกจากนี้ยังได้พลังงานไฟฟ้าอีก 1.591 kW (1.6 MW)

เอกสารอ้างอิง

1.รายงาน โครงการศึกษาการใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545

2.หม้อไอน้ำ, เอกสารเผยแพร่ของกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ,2545

3.Clean coal technology of circulating fluidized bed boiler, seminar, Department of Industrial Works, 2001

4.Keiji Mukai, CFB boiler at Indorama, Takuma Co.,Ltd, 2001

5.Rajesh Dash, A study of combustion in fluidized and circulating fluidized beds, A.I.T. Thailand, 1990

6.Gary L. Borman, Kenneth W.Rangland, Combustion Engineering, McGall – Hill, International edition, 1998

7.Anthony Lawrence Kohan, Harry M. Spring, Boiler operation's guide, McGRaw – Hill , 3rd, 1991

8.P.M. Goodall. The efficient use of steam, IPC science and technology press, 1980