รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการดำเนินงานทิบดและเอ็นดผาจีนเดาเผา

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดชสรวง เมฆสุด

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จส
วท 15
005682
ล.1

เงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2527

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการนำถ่านหินบดละเอียดมาใช้ในเตาเผา

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2527

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง **การศึกษาการนำถ่านหินบดละเอียดมาใช้ในเตาเผา** นี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2527 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ใคร่ขอขอบคุณ นายสังข์ ชมชื่น และ นายสนิท ปรีนคร ครูปฏิบัติการ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้สร้างและประกอบเครื่องมือ ตลอดจน อุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุด
นายเทียนชัย เพียรเศวตพิทยา
นายวิศิษฐ์ ลือวิริยะพันธุ์

สารบัญ

	หน้า
ภาคที่ 1 ทฤษฎี	
บทนำ	1
คุณสมบัติทั่วไปของถ่านหิน	1
การใช้ถ่านหินบดละเอียดเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา	3
การเตรียมถ่านหิน	5
การบด	5
ระบบขนถ่าย	18
เบิร์นเนอร์	24
การเผาไหม้	29
ภาคที่ 2 เครื่องมือที่ใช้และวิธีการทดลอง	
เครื่องมือที่ใช้	32
การทดลองในโครงการ	37
ภาคที่ 3 ข้อมูลผลการทดลอง และ สรุป	39
ข้อเสนอแนะ	68
ภาคผนวก	
ตัวอย่างการคำนวณ Ultimated analysis	69
ตัวอย่างการคำนวณ Material and energy balance	70
เอกสารอ้างอิง	74

เลขหมู่ จฬ
ภาค
เลขทะเบียน 005682
วัน,เดือน,ปี 9 มี.ค. 33

ภาคที่ 1

- ทฤษฎี

บทนำ

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงได้มีมานานแล้ว โดยเฉพาะในแถบยุโรปซึ่งมีถ่านหินมากและมีเทคโนโลยีสูง ในสหรัฐอเมริกาเองก็มีการใช้ถ่านหินสูงมากถึงประมาณ 500 ล้านตันต่อปี ซึ่ง3/4ของจำนวนนี้ถูกใช้ในการผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรม

การเผาถ่านหินมีด้วยกันหลายแบบ เช่น เผาถ่านหินดิบเลย,ถ่านหินอัดก้อน, ถ่านหินบดละเอียด เป็นต้น การใช้ถ่านหินบดละเอียดเป็นระบบสำหรับการประหยัดถ่านหินโดยเฉพาะโดยนำเอาถ่านหินมาบดให้ละเอียดแล้วพ่นเข้าไปในเตาเผา แต่วิธีนี้ในเมืองไทยยังมีใช้น้อย เนื่องจากติดตั้งเครื่องมือยาก อุปกรณ์ราคาสูงและต้องมีเทคโนโลยีสูง

คุณสมบัติทั่วไปของถ่านหิน[3]

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแข็ง(Solid Fuel)ทางเคมีได้กล่าวว่าประกอบด้วยC, H,O ,N และสารอนินทรีย์รวมเรียกว่า"เถ้า"(Ash) การวิเคราะห์ถ่านหินทางเคมีแบ่งออกเป็น2แบบคือUltimate Analysisซึ่งจะบอกเป็นปริมาณของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในถ่านหิน และอีกแบบคือ Proximate Analysisซึ่งจะรายงานออกมาในรูปของความชื้น,ปริมาณสารระเหยง่าย(Volatile Matter),คาร์บอนคงตัว(Fixed carbon), เถ้า(Ash)

ความชื้น

เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบสำคัญในการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ถ้าถ่านหินมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนออกไปได้มาก ดังนั้นการทำถ่านหินให้แห้งก่อนนำไปใช้งานจึงมีความจำเป็นมาก

สารระเหยง่าย(Volatile Matter)

ราคาของถ่านหินจะสูงถ้ามีสารระเหยง่ายมาก การCarbonization ของถ่านหินภายใต้อากาศจำกัดจะทำให้น้ำหนักของถ่านหินที่หายไปเท่ากับปริมาณ สารระเหยง่ายทั้งหมด

(3) - Reference 3.

ถ่านหินที่เกิดขึ้นใหม่จะมี O ,H ,N มากกว่าพวกที่เกิดนานแล้ว และในระหว่างการเผาไหม้ธาตุและสารประกอบภายในจะให้พวกสารระเหยง่ายออกมามากกว่าพวกถ่านหินที่เกิดนานแล้ว

เมื่อเผาถ่านหินในเตาเผา ความยาวของเปลวจะขึ้นกับปริมาณของสารระเหยง่ายในถ่านหิน ถ้ามีมากจะให้เปลวยาวเรียกว่าLong-Flaming Coals ในขณะที่ถ่านหินที่มี ปริมาณสารระเหยง่าย ต่ำจะให้เปลวสั้นเรียกว่า Short-Flaming Coals

<u>คาร์บอนคงตัว(Fixed carbon)</u>

เป็นปริมาณของของแข็งที่เหลืออยู่ในถ่านหินไม่รวมปริมาณของเถ้า เมื่อสารระเหยง่ายระเหยออกไปแล้ว โดยที่คาร์บอนคงตัวและปริมาณสารระเหยง่ายรวมกันเรียกว่าเป็นสาร Combustible

สารCombustible ประกอบด้วยC ,H และ S เมื่อสารพวกนี้รวมตัวกับออกซิเจนจากอากาศ จะให้ความร้อนออกมา พวกที่มีอัตราส่วนของสารCombustible มากกว่าจะมีค่าความร้อนสูงกว่าเมื่อต้องการประมาณค่าเชื้อเพลิง จะใช้เฉพาะ C และH เท่านั้น ส่วนพวกS ถึงแม้ว่าเป็นพวกCombustibleแต่ไม่ต้องการเพราะเมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิด SO_2 ซึ่งรวมตัวกับน้ำได้H_2SO_3(Sulfurous Acid) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความกัดกร่อนขึ้นกับชิ้นส่วนที่เป็นโลหะภายในเตาเผา นอกจากนี้ยังเป็นตัวที่ทำให้เกิดมลภาวะของสภาพแวดล้อมอีกด้วย ถ้าปะถันที่มีมากเกินไป จะเป็นผลให้เกิดกลิ่นของSO_2แล่ออกมาจากเตาเผา และพวกความชื้นที่ไม่ต้องการในเชื้อเพลิงจะถือว่าเป็นพวก inert

<u>เถ้า(Ash)</u>

ถ่านหินบางชนิดจะมีส่วนผสมของสารพวกเกลือกลอไรด์ ซึ่งจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.01 -0.1% แต่ถ้าเป็นถ่านหินที่มีเถ้ามาก ส่วนประกอบของคลอไรด์จะมากถึง0.4% และพวกฟลูออไรด์สูงถึง0.02%

Brown coal ash ประกอบด้วย

25-40% CaO

5-10% Al_2O_3

0.5-5% MgO

และอาจมากถึง 40% SO_3

นอกจาก Coal ash ประกอบด้วยแร่ธาตุเหล่านี้แล้ว Coal ash ยังประกอบด้วยเกลือ(พวกคลอไรด์และซัลเฟต) และพวก สารระเหยง่าย เช่น พวกน้ำที่อยู่ในผลึกของแร่ธาตุ แล้วยังประกอบด้วย CO_2 ในสารประกอบของคาร์บอเนตและกรดซัลเฟอรัสในรูปเกลือซัลเฟต

ค่าความร้อน (Heating Value) (3)

สิ่งสำคัญที่สุดของเชื้อเพลิงก็คือค่าHeating Value เช่น ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงาปอนด์ในเตาเผา เราสามารถคำนวณหาค่า Heating Value ได้จากการทำการประมาณการวิเคราะห์เบื้องต้นของการทำ Ultimate Analysis ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Subbituminous	1) Subbituminous A Coal	10,500-11,500	BTU/lb
	2) Subbituminous B Coal	9,500-10,500	BTU/lb
	3)Subbituminous C Coal	8,300- 9,500	BTU/lb
Lignite	1) Lignite A	6,300- 8,300	BTU/lb
	2) Lignite B น้อยกว่า	6,300	BTU/lb

การใช้ถ่านหินบดละเอียดเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา (Pulverized Coal Firting) (3)

ในปัจจุบันมีการใช้ถ่านหินบดละเอียดเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา สามารถจำแนกขบวนการที่ใช้ในปัจจุบันได้เป็น2ลักษณะคือ

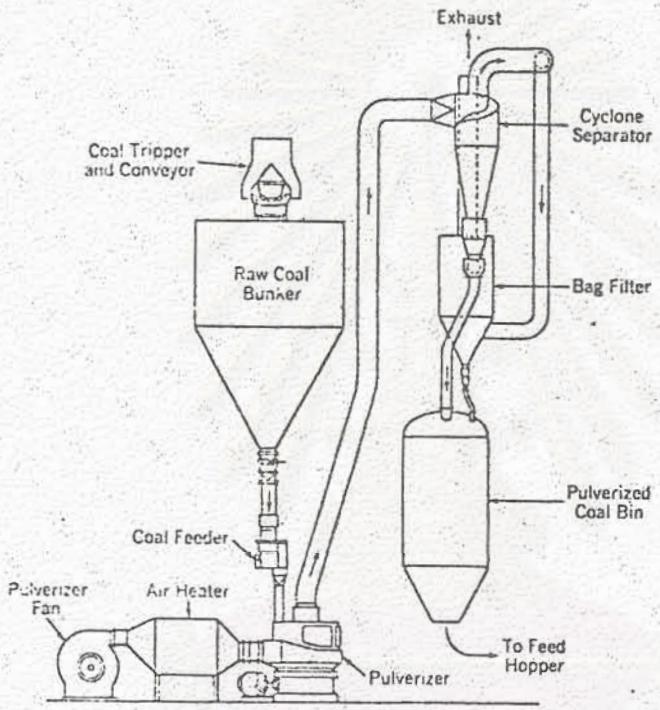
1) Direct Coal Firing System

2) Indirect Coal Firing System (Bin System)

Direct Coal Firing System (รูปที่1)

ในระบบนี้เมื่อถ่านหินที่เก็บไว้ถูกส่งมายังเครื่องบดในปริมาณที่ต้องการ และถูกจำกัดด้วยความสามารถของเครื่องบด ขนาดของถ่านหินที่บดได้ละเอียดตามที่ต้องการแล้วจะ

ถูกลมพาไปยังเตาเผาเป็นเชื้อเพลิงเลยทีเดียว ดังนั้นในระบบแบบนี้การลดหรือเพิ่มความต้องการเชื้อเพลิงของเตาจะทำได้ก็ต้องอาศัยเครื่องบดเป็นหลัก



รูปที่1 Direct Coal Firing System (3)

Indirect Coal Firing

ในระบบนี้จะมีการแยกระบบการบดและระบบการเผาไหม้ออกจากกัน ระบบจะไม่ต่อเนื่องกันโดยตรง ถ่านหินที่ถูกส่งเข้าไปบดในเครื่องบดเมื่อบดได้ที่ขนาดที่ต้องการแล้วจะถูกลมพาไปแยกเอาถ่านหินออกเก็บไว้ในไซโล(silo)ต่างหากเพื่อจะปล่อยเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ตามปริมาณที่ต้องการ ดังนั้นในระบบนี้จะสบว่าระบบบดถ่านและระบบเผาไหม้จะไม่ขึ้นแก่กัน การควบคุมเมื่อมีความต้องการเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มจะทำได้รวดเร็วและทันกับความต้องการ พร้อมทั้งง่ายต่อการควบคุม แต่ปัญหาที่สำคัญมากที่จะเกิดขึ้นคือการเก็บ

ผงถ่านที่บดจนละเอียดมากไว้ในไซโล จะต้องเก็บโดยไม่ให้มีอากาศ(ออกซิเจน) เข้าไปมาก เพราะจะทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้น เนื่องจากถ่านที่บดละเอียดมากจะมีพื้นที่ผิวมาก ตามปกติแล้วมักเก็บโดยการอัดพวกก๊าซเฉื่อยลงไปหรือเก็บไว้ในไซโลที่ปิดทึบไม่มีอากาศไหลผ่าน

การเตรียมถ่านหิน(Coal preparation)(3)

การทำให้แห้ง(Drying)(3)

ในทางปฏิบัติแล้วถ่านหินที่ได้มาใช้นั้นมักจะถูกนำมาเก็บไว้กลางแจ้งและจะมีความชื้นของน้ำอยู่มาก ซึ่งทำให้การนำไปใช้หรือการบดทำได้ยากหรืออาจจะทำไม่ได้เลย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้ถ่านหินแห้ง ซึ่งการทำให้แห้งนี้จะมีหน่วยที่ทำให้แห้งโดยเฉพาะหรือจะทำในเครื่องบดเลยก็ได้ โดยทั่วไปจะทำในเครื่องบดเลย โดยให้อากาศร้อนจากเตาเผาในส่วนที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือจากหัวเตา(Firing Head)ซึ่งมีอุณหภูมิเหมาะสมที่จะเข้าไปในเครื่องบดแล้วถูกดึงผ่านออกไปดังนั้นการใช้หน่วยทำถ่านให้แห้งก็ไม่จำเป็นต้องมีแยกต่างหากก็ได้

การที่จะทำถ่านให้แห้งเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆเช่น ความเหมาะสมของความชื้นของถ่านหินที่จะไปบด และอายุของถ่านหินด้วย โดยพบว่าความชื้นประมาณ2-4%ในถ่านหินนั้นเหมาะสมกับการบดโดยใช้บอล มิล(Ball Mill) ตามปกติถ่านหินที่จัดเป็นพวกชั้นต่ำกว่า จะสามารถบดโดยที่มีความชื้นรวมสูงกว่า ซึ่งจะอยู่ในโครงสร้างภายในซึ่งไม่มีผลต่อการใช้หรือลักษณะของการบด ความชื้นที่มีได้มากที่สุดที่ยอมให้ในระบวนการใช้ถ่านหินบดละเอียดนี้พิจารณาจากความเหมาะสมของเปลว ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมจะยอมให้มีความชื้นได้ไม่เกิน2-15%(Total Moisture)

การบด(Grinding)(3)

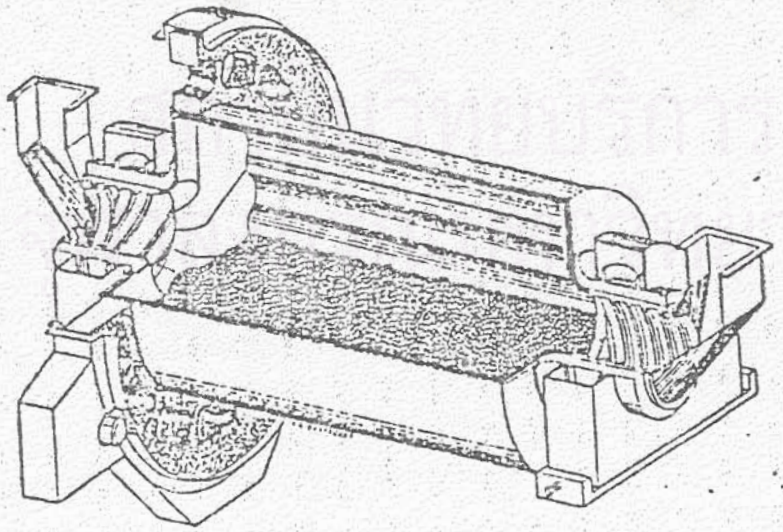
เครื่องมือที่ใช้ในการบดถ่านหินให้เป็นผงละเอียดนั้นมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับความต้องการหรือระบบที่ใช้ว่าจะเลือกใช้เครื่องบดแบบไหน

1) The Air-Swept tumbling Ball Mill (รูปที่2,3)

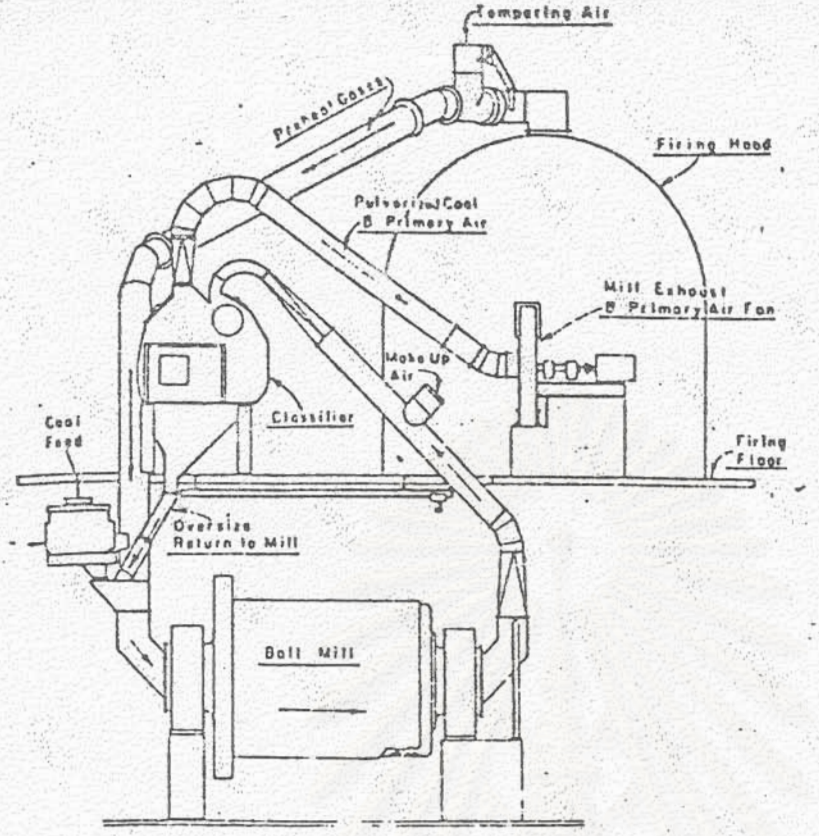
ประกอบด้วย Horizontal rotating cylinder ซึ่งภายในนั้นจะมี

ลูกบอลเหล็กบรรจุอยู่หลายลูก ถ่านหินจะเข้าไปอยู่ในระหว่างช่องรองลูกบอล ความเร็วในการหมุนจะเป็นตัวกำหนดการตกลงมากระแทกของลูกบอล การตกลงมากระแทกของลูกบอลนี้เองที่เป็นตัวทำให้ถ่านหินแตกออกเป็นผงเล็กๆ ภายในเครื่องบดแบบนี้จะมีการ Lining ด้วยเหล็กโดยทำเป็นลูกคลื่น ตามหลักการแล้วแรงที่ทำให้เกิดการแตกมากที่สุดได้มาจากลูกบอลซึ่งขึ้นไปเกือบถึงจุดสูงสุดแล้วตกลงมาด้านล่างลงมากระแทกกับลูกบอลด้านล่างซึ่งมีหวกถ่านหินอยู่ด้วย ดังนั้นจึงมีลักษณะเหมือนกับการชว้างลูกบอลเข้าหากันโดยที่ลูกบอลนั้นมีผงของถ่านหินเคลือบอยู่ แรงที่กระทำนั้นถึงแม้คิดโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าน้อยมากแต่ในหนึ่งวินาทีจะมีเกิดขึ้นหลายครั้ง ลักษณะการทำงานดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่4

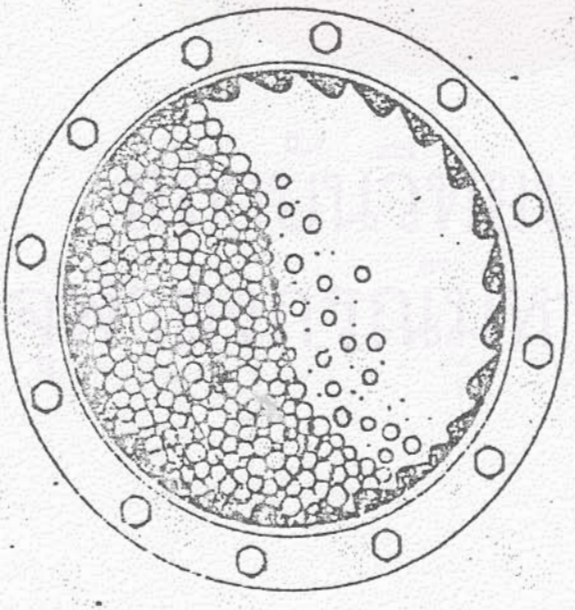
Air-Swept Ball Mill System จะมีการป้อนถ่านหินที่หยาบเข้าทางด้านหนึ่ง ซึ่งผงถ่านหินเหล่านี้จะถูกพาออกโดยอากาศอีกทางหนึ่ง แล้วถูกพาไปยัง Classifier เพื่อแยกเอาผงถ่านที่มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการออกและส่งกลับมายังเครื่องบดเพื่อบดให้มีขนาดละเอียดมากขึ้น ส่วนที่เป็นผงละเอียดที่ออกมากับอากาศนั้นจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปตามการออกแบบการใช้งานต่างๆกัน



รูปที่2 Air-Swept tumbing ball mill



รูปที่ 3 Air-Swept ball mill system



รูปที่ 4 Cross section of ball mill

โดยทั่วไปแล้วตรงบริเวณ Trunnionจะทำเป็นร่องเกลียวเพื่อให้ลูกบอลตรงบริเวณนั้นไหลกลับเข้าไปยังเครื่องบดเสมอ นอกจากนี้บางครั้งมีการใช้อากาศร้อนเป็นตัวพาถ่านหิน ซึ่งจะทำให้ถ่านหินที่บดแล้วมีความแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อดีของระบบนี้คือ สามารถใช้กับถ่านหินที่มีความชื้นได้ดี และสามารถใช้ในลักษณะที่เป็น rotary dryer ได้ ก๊าซที่ใช้อาจเป็นก๊าซอื่นหรืออากาศก็ได้

พลังงานที่ใช้กับเครื่องบดแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานศักย์(Potential energy) ในการยกลูกบอลขึ้นรวมกับแรงจากแรงเสียดทานของbearing และ drive losses พลังงานศักย์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ขณะที่มันตกลงมาแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจากการกระทบ(impact)กับฝุ่นของถ่านหินและลูกบอลอื่น ดังนั้นพบว่าไม่ว่าจะใช้ในลักษณะที่เป็นLow or high capacity พลังงานที่ใช้จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรืออาจเท่ากันเลยก็ได้เพราะลูกบอลจะถูกยกขึ้นไปเท่าเดิมและตกลงมาสู่ด้านล่างเหมือนเดิม การลดการป้อนถ่านหินต้องให้เหมาะสมกับการลดปริมาณของลมหรือก๊าซที่เป็นตัวพาฝุ่นถ่านด้วยเสมอ เพื่อรักษาให้ระดับของถ่านหินในเครื่องบดมีขนาดคงที่เสมออยู่ในระดับที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความละเอียดมากที่สุด

การรักษาให้เครื่องบดนั้นมี Pressure dropต่ำอยู่เสมอเพื่อจะได้ควบคุมความเร็วของลมภายในเครื่องบดได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปกติแล้วที่บริเวณ Trunnion opening จะถูกออกแบบไว้ให้มีความเร็วของลมอย่างมากที่สุดได้ประมาณ 4000ฟุตต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางของ trunnions จะมีค่าประมาณระหว่าง25-30% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องบด ดังนั้นจึงหมายความว่าอัตราส่วนของลูกบอลที่ใส่ไว้จะต้องต่ำกว่า25% เพื่อไม่ให้ไปปิดทางบริเวณ trunnions

การใช้ก๊าซเป็นตัวพาถ่านหินมีข้อดี3ประการคือ

1) สามารถใช้เครื่องบดในลักษณะ dryer ได้ดี

2) พาถ่านหินที่บดละเอียดแล้วออกไปได้รวดเร็วทำให้ไม่มีถ่านหินที่ละเอียดกองอยู่ที่พื้นเครื่องบด

3) ป้องกันการสะสมของฝุ่นถ่านหินบน tumbling bed ซึ่งเป็นตัวทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องบดลดลง การตกของของลูกบอลบนฝุ่นของถ่านหินนี้มีลักษณะคล้ายๆฟองน้ำในการที่จะดูดซับพลังงานและความร้อนในการชนทำให้ปริมาณของถ่านหินที่จะถูกบดลดลง

2) Roller-Race Mills [3] (รูปที่5,6,7)

การใช้เครื่องบดแบบRoller-Race Mills นี้มีหลักการคือ ถ่านหินจะตกลงไปตรงกลางของRotating Table แล้วอาศัยแรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงให้กระจายออกผ่านไปใต้ลูกกลิ้งและจะถูกบดเข้ากับส่วนที่เป็นgrinding surface ของrotating table หลังจากที่บดละเอียดแล้วถ่านหินจะถูกลมซึ่งอาจเป็นอากาศหรือก๊าซอื่นพัดพาขึ้นไปจากช่อง annulus รอบๆrotating table แล้วขึ้นไปยังClassifier ทำให้ความเร็วของอากาศหรือก๊าซลดลง ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ก็จะตกลงมายังrotating table ส่วนของถ่านหินที่บดละเอียดได้ที่ดีแล้วจะถูกพาออกไปด้านบนของClassifier ส่วนพวกที่มีน้ำหนักสูงเช่น Pyrite จะถูกดึงออกทางด้านล่างของ annulus

แรงที่ใช้บดระหว่างลูกกลิ้งกับวัสดุที่จะบดนั้นไม่ได้เกิดจากแรงของน้ำหนักลูกกลิ้งอย่างเดียวแต่เกิดจากแรงพวกhydraulic และ Mechanical action ด้วย

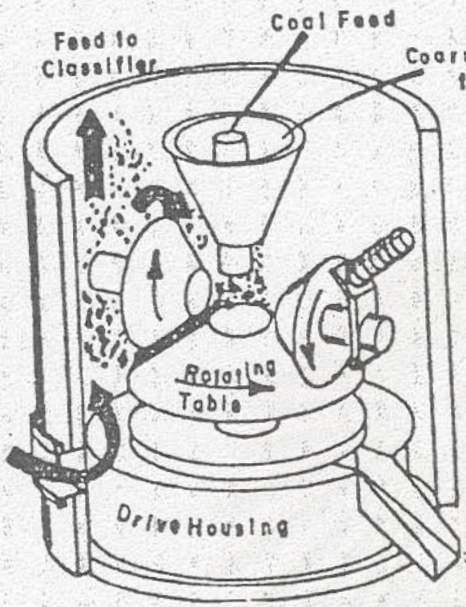
การใช้ก๊าซพัดผ่านช่อง annulus นั้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบดและป้องกันมิให้มีการสะสมของถ่านหินที่ละเอียด การบดโดยใช้เครื่องบดชนิดนี้จะดีขึ้นเมื่อถ่านหินมีความชื้นต่ำ การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านเข้าไปในเครื่องบดแบบนี้จะทำให้ถ่านหินง่ายต่อการบดและมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

3) Hammer mill [3] (รูปที่8)

หลักการบดคือ

1) การแตกของถ่านหินเกิดจาก shearing force ระหว่างตัว hammers กับช่องว่างระหว่างขี่เหล็ก(Case)ของเครื่องบด

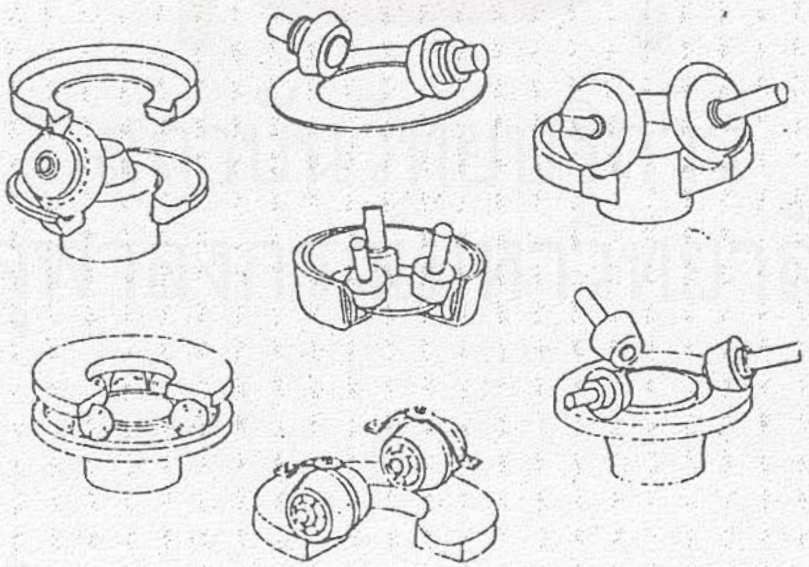
2) การแตกของถ่านหินเนื่องจาก impact force ระหว่างถ่านหินที่กระเด็นไปชนกับส่วนต่างๆของเครื่องบด



รูปที่ 5 (3)

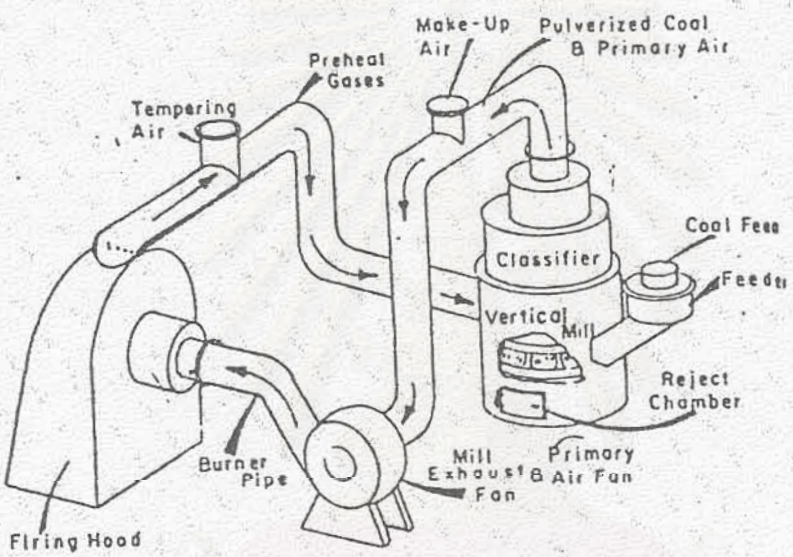
A Generic Roller-Race Mill.

รูปที่ 6 *Assorted Roller-Race Designs.* (3)



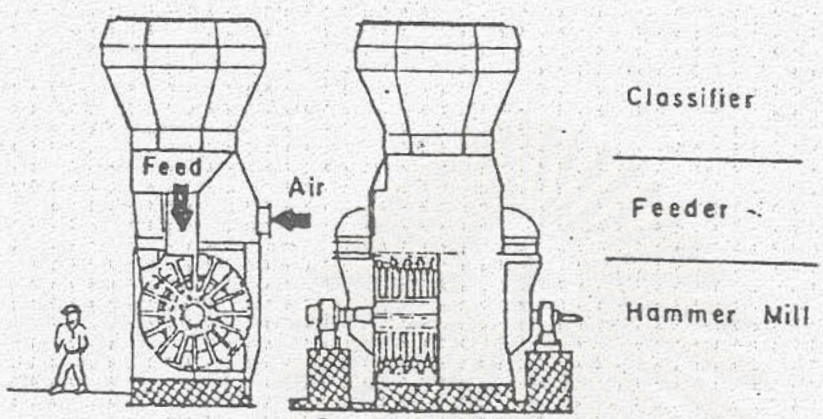
(3)

รูปที่ 7 *An Air-Swept Roller-Race Mill Grinding System.*



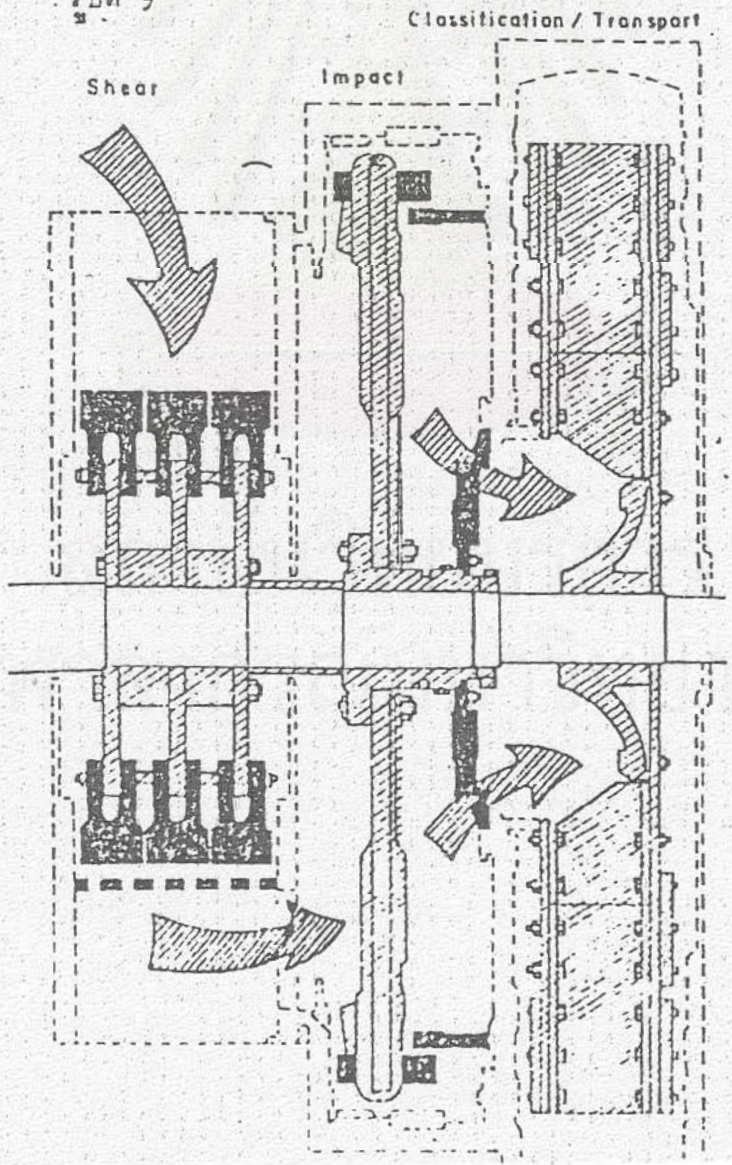
(3)

รูปที่ 8 *An example of an Air-Swept Coal Grinding Hammer Mill.*



(3)

รูปที่ 9 *An Air-Swept Hammer Mill Grinding System.*



3)การแตกของถ่านหินเนื่องจากการชนกันเองของถ่านหิน

เมื่อถ่านหินตกลงไปภายในเครื่องบดจะถูกทำให้แตกออกด้วยแรงจาก Hammer Coal-case และจะถูกบดให้ละเอียดโดยตัว hammer จะไปกระแทกบนถ่านหินนั้นทำให้ถ่านหินกระเด็นไปชนกับส่วนต่างๆภายในเครื่องบดนั้น นอกจากนี้ฝุ่นของถ่านหินจะถูกทำให้ละเอียดขึ้นโดยการชนกันเองของฝุ่นถ่านหินหลังจาก hammer วิ่งผ่าน รูปที่9 แสดงลักษณะการชนดังกล่าว

ในขณะที่ไม่มีถ่านหินอยู่ การใช้เครื่องบดแบบนี้จะใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับพวกtumbling ball mills แรงต้านทานการหมุนเกิดจากความต้านทานของฝุ่นเท่านั้น ส่วนโลหะเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์จำนวนมาก ดังจะเห็นได้ชัดว่าในขณะที่เราหยุดป้อนถ่านหินและหยุดให้พลังงานไฟฟ้านั้น ส่วนของhammer ยังคงหมุนต่อไปอีกหลายนาที ถ้ามีการเดินเครื่องบดในอัตราการป้อนถ่านที่ต่ำๆจะทำให้พลังงานลดลงเพียงเล็กน้อยซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการบดดีที่สุด

เครื่องบดประเภทนี้จะมีRetention time น้อยมากในการที่ถ่านหินอยู่ในเครื่องบดปกติแล้วมักมี Classifiers ติดอยู่ด้วยโดยจะคัดขนาดของถ่านหินที่ถูกบดจนขนาดได้ที่แล้วจะถูกพาออกไปโดยอากาศ ส่วนที่เป็นผงหยาบจะถูกนำกลับมาบดต่ออีกครั้ง การใช้ hammer mill แบบ high speed hammer mills จะเหมาะสมที่สุดเพราะถ่านหินนั้นอ่อนเปราะและถูกกร่อนน้อย

Close Circuit Grinding

หน้าที่ของเครื่องบดที่เห็นได้ชัดคือการทำให้วัตถุที่หยาบมีขนาดที่ละเอียดลงเป็นผงเช่น วัตถุดิบขนาด1" จะถูกบดให้มีขนาดเล็กลงโดยมี95% สามารถผ่าน sieve ขนาด106 μm ได้ การบดที่คงที่นั้นอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องบดจะเท่ากับอัตราการออกของวัตถุดิบที่ถูกบดละเอียด เรียกว่า Open grinding system

การดำเนินการบดวัตถุดิบโดยบดในอัตราต่ำคือ การป้อนวัตถุดิบช้าจะให้ผลิตภัณฑ์

ที่มีความละเอียดมากกว่าการป้อนวัตถุดิบจำนวนมากในอัตราการป้อนที่สูงๆ

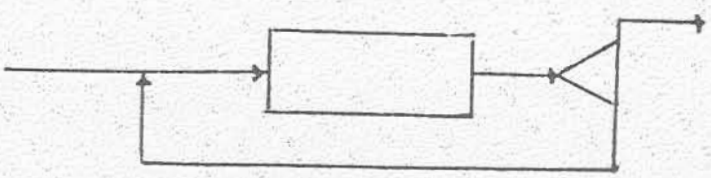
โดยทั่วๆไป ถ้าเราต้องการparticle size ขนาดจำกัด เช่นให้ได้ประมาณ 95%ผ่านตะแกรงขนาด106 μm นั้นสามารถบดโดยใช้ระบบ Open circuit ได้โดยให้ Retention time ที่เหมาะสม แต่ในกรณีที่เราต้องการเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนวัตถุดิบจะไม่สามารถจะกระทำได้ ดังนั้นจึงต้องมี Classifier ใส่เข้าไปในระบบโดยที่เมื่อวัตถุดิบถูกบดแล้วจะถูกแยกโดย Classifier เป็น2ทาง คือทางหนึ่งเป็นส่วนที่ละเอียดตามต้องการ และอีกด้านหนึ่งคือพวกที่หยาบต้องนำกลับมาบดใหม่ ดังนั้นจึงเรียกระบบนี้ว่า "Close grinding system"

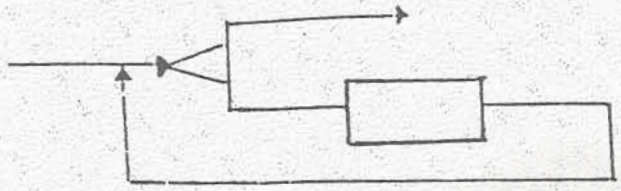
การบดในระบบที่มี Classifier นั้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดมากกว่า และมีกำลังการผลิตขนาดที่ต้องการสูงกว่าพวก Open circuit ปกติการตั้งสัดส่วนของ Recycle กับผลิตภัณฑ์ให้สูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บดแล้วมีความละเอียดมากเพราะการเพิ่ม Recycle นั้นก็เท่ากับการเพิ่ม Retention time ในการบด ดังนั้นการใช้ Classifier ที่มีประสิทธิภาพคือ Classifier จะต้องเป็นตัวคัดขนาดของวัตถุนั้นให้ออกจากกันโดยให้ Recycle เฉพาะพวกที่หยาบเท่านั้น ไม่ยอมให้พวกที่ละเอียดแล้วกลับไปยังเครื่องบดอีก เพราะจะทำให้เกิด Overgringing

ในสมัยก่อนการติดตั้ง Classifier จะติดไว้แยกต่างหากจากเครื่องบด แต่ในปัจจุบัน Classifier ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องบดจนทำให้บางครั้งระบบที่ปรากฏมีลักษณะคล้ายกับพวก Open circuit แต่จริงๆแล้วเป็นพวก Close circuit grinding system เพราะClassifier ถูกออกแบบให้หมุนเวียนอยู่ภายใน

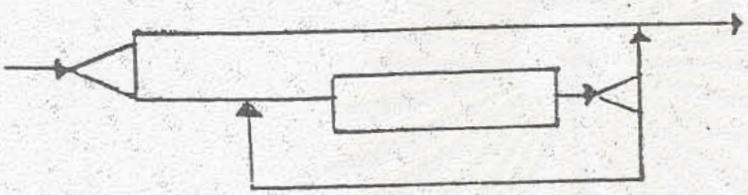
การจัดวิธีดำเนินการแบบ Close circuit นี้ทำได้หลายแบบเช่น แบบที่แสดงในรูปที่10 เป็นต้น

รูปที่ 10 Closed circuit grinding system (3)





Reverse



Combine

การจัดแบบ Reverse Closed Circuit นั้นมีข้อดีคือพวกวัตถุที่เป็นยางละเอียดสามารถถูกดูดออกไปก่อนเพื่อป้องกันการเกิดOvergrinding

ส่วนข้อดีของการต่อแบบ Combined Circuit ใน Pre-classifier ออกแบบให้มีประสิทธิภาพสำหรับวัตถุดิบและpast-classifier ออกแบบให้มีประสิทธิภาพสำหรับผลิตภัณฑ์

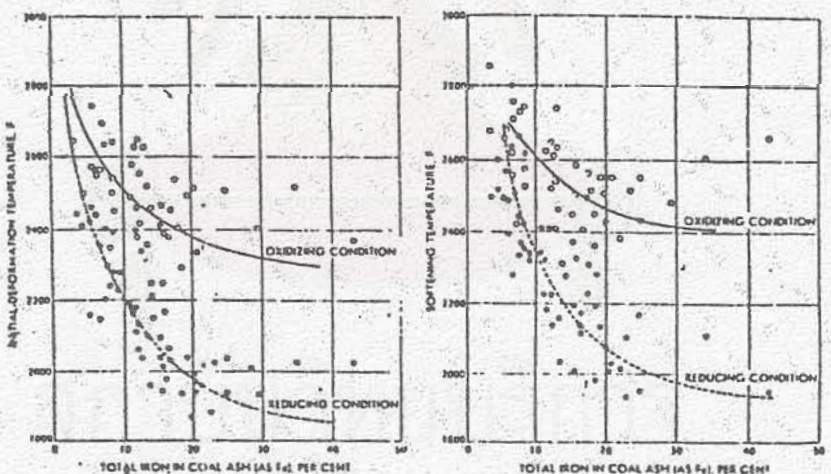
ในการบดถ่านหินนั้นจะบดหนึ่งขั้นตอนหรือสองขั้นตอนนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของยงถ่านหินที่ต้องการและขนาดของถ่านหินที่นำมาใช้ โดยถ้าถ่านหินที่นำมาใช้มีขนาดเล็กประมาณ3/4" ก็มักบดขั้นเดียวในบอลมิล หรือโรลเลอร์ เรชมิล แต่ถ้าขนาดใหญ่กว่านี้มักบดสองขั้นตอนโดยผ่านแฮมเมอร์ มิลก่อนแล้วบดซ้ำด้วยบอลมิลหรือ โรลเลอร์เรชมิลต่อไป

พวกถ่านหินที่มีปริมาณสารระเหยง่ายต่ำๆและมีเถ้ามากนั้นจำเป็นต้องบดให้เล็กมาก ในตารางที่1 แสดงให้เห็นถึงความละเอียดและชนิดของถ่านหิน ตัวอย่างเช่น พวกเตาเผาที่ใช้ถ่านหินบิทูมินัสที่มีสารระเหยง่าย 30% และมีเถ้าน้อยกว่า7% ต้องบดอย่างน้อยขนาด85% เล็กกว่า200 mesh

ในตารางที่2 แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์เถ้าจากถ่านหิน4ชนิด สำหรับเพื่อเป็นตัวอย่างที่จะลดจำนวนการใช้ในเตาเผาซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของเถ้า,กำมะถัน ,องค์ประกอบของเถ้า,เหล็กและอุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลวของเถ้า

ความแตกต่างกันทางด้านปริมาณเถ้าและกำมะถันเป็นเหตุผลสำคัญในการเลือกใช้ถ่านหินชนิดต่างๆ การเพิ่มขึ้นของเฟอรัสออกไซด์มีความสำคัญมากเพราะออกไซด์นี้จะเป็นตัวทำให้อุณหภูมิในการอ่อนตัวและการหลอมเหลวของเถ้าลดลง ซึ่งจะเป็นจริงแน่นอนเมื่ออยู่ใน Reducing Atmosphere

รูปที่11เป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของเหล็กในเถ้านั้นเป็นการลดจุดอ่อนตัวของเถ้า



รูปที่ 11 Influence of iron on coal ash-fusion temperatures

Required Pulverized-Fuel Fineness at Maximum Rating

Per Cent Through 200 U.S.S. Sieve*

	ASTM Classification of Coals by Rank					
	Fixed Carbon, %			Fixed Carbon Below 69%		
Type of Furnace	97.8-86 Petroleum Coke	86.9-78	77.9-69	Btu above 13,000	Btu 13,000-11,000	Btu Below 11,000
Marine boiler furnace	—	85	80	80	75	—
Water-cooled furnace	80	75	70	70	55†	60†
Cement kiln	90	85	80	80	80	—
Metallurgical	(As determined by process, generally from 80 to 90%.)					

*The 200-mesh screen (sieve) has 200 openings per linear inch or 40,000 openings per square inch. From U.S. and ASTM sieve series, the nominal aperture for 200 mesh is 0.0029 in. or 0.074 mm. The ASTM designation for 200 mesh is 74 microns.

†Extremely high-ash-content coals will require higher fineness than indicated.

ตารางที่1 แสดงขนาดความละเอียดของถ่านที่ต้องใช้ในเตาเผาต่างๆ

COAL-ASH ANALYSES AND ASH-FUSION TEMPERATURES

Coal: Rank Seam Mine	Semibituminous Pocahontas #3 Kilpoe, Va.	Bituminous Freeport Longana Ferry, Pa.	Bituminous Pittsburgh #8, Richland, O.	Bituminous #5 Springfield, Ill.
Ash in coal, %	5.3	12.15	11.3	11.7
Sulfur in coal, %	0.6	1.15	3.5	4.1
Analysis of ash, % by wt				
SiO_2	53.1	50.8	44.3	39.8
Al_2O_3	33.8	30.5	21.4	15.1
Fe_2O_3	9.1	11.0	25.3	32.9
CaO	1.0	5.0	3.3	8.4
MgO	0.8	0.6	0.7	0.8
$Na_2O + K_2O$	2.2	2.0	1.5	3.0
Ash-fusion temperatures,*				
ASTM standard cone				
Initial-deformation temp, F	2725	2400	1880	1880
Softening temp, F	2795	2490	2080	1935
Fluid temp, F	2850	2680	2325	2190

*Reducing atmosphere.

ตารางที่2 การวิเคราะห์เถ้าและอุณหภูมิหลอมตัวของเถ้าของถ่านชนิดต่างๆ

อุณหภูมิที่ใช้ในเตาเผาโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง2300-2600°ฟ ซึ่งอุณหภูมิสัมพัทธ์ที่อ่านได้นี้บันทึกจากการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงของเปลวไฟในCalcining Zone ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเช่น Coating ,ฝุ่นภายในเตา ,อิทธิพลของเปลว ฯลฯ ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้นี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุและอุณหภูมิที่ได้โดยตรงหรือรวมกันทั้งสองกรณี

ระบบขนถ่าย(Transportation)[4]

ระบบขนถ่ายเป็นระบบหนึ่งที่สำคัญในการที่จะนำผงถ่านหินที่เราบดละเอียดป้อนเข้าสู่ในเตาเผา โดยส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมก็มีหลายระบบด้วยกัน แล้งแต่งานที่จะใช้

ระบบนิวมาติคเป็นระบบหนึ่งที่นิยมกันมาก โดยจำแนกได้เป็น ระบบลมดูด,ระบบลมอัด,และระบบผสม ,ทั้งสองอย่าง ตัวพาหะนำขนถ่ายส่วนมากคืออากาศธรรมดานี้เอง(มีลมบาง,ลมหนาหรือลมแน่นหรือลมที่แล่นเป็นเส้นๆด้วยค่าv ถึง40เมตร/วินาที)ที่จะขนถ่ายวัสดุเป็นกลุ่ม ภายในท่อด้วยความเร็วแล่นช้าลงนั้นมีปฏิบัติเหมือนกัน แต่ขนถ่ายวัสดุได้น้อย. วิธีขนถ่ายด้วยระบบนิวมาติคนี้เป็นระบบพิเศษที่ทำให้มวลวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็กๆผสมไหลไปพร้อมกับลมขณะขนถ่ายทำให้มวลวัสดุต่างๆเหล่านั้นมีความสามารถในการไหลได้ดีขึ้นมาก

ระบบนี้ใช้ได้ดีกับวัสดุขนถ่ายที่แห้งและไหลไปพร้อมกับลมที่พาได้ง่าย ซึ่งอาจเป็นผงหรือเบล็ดเล็กๆเช่น ปูนซิเมนต์,ผงถ่านหิน,ทราย,ทรายโรงหล่อหรือเมล็ดพืชเป็นต้น ระบบนี้ใช้เป็นจำนวนมากตามโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งในเขตหัวงานก่อสร้างและจุดที่ต้องลำเลียงของออกด้วยปริมาณมวลมากๆ

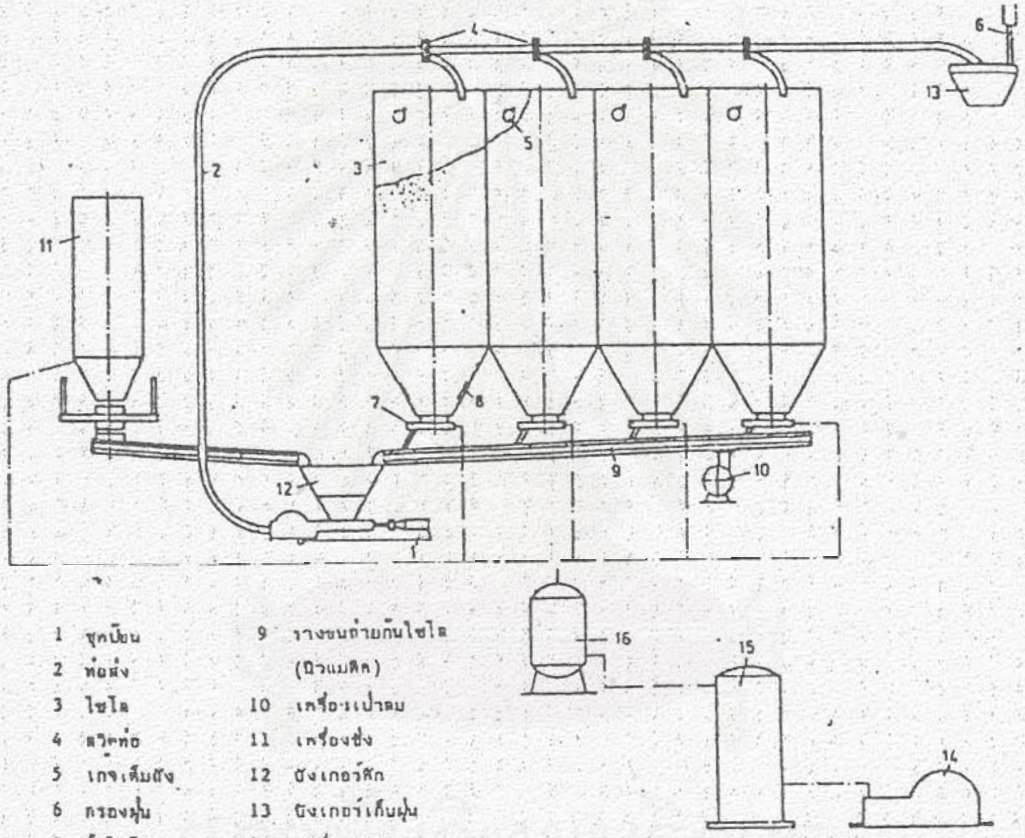
ตัวอย่างการติดตั้งระบบขนถ่ายด้วยลมอัดดังแสดงไว้ในรูป 12

ข้อดีของระบบนิวมาติค

อัตราที่สามารถขนถ่ายได้นั้นนับว่ามีปริมาณสูงมากคืออาจสูงถึงชม.ละ5เมกะนิวตัน ระยะทางขนถ่ายได้ไกลถึง2กม. และช่วงความสูงที่ขนส่งได้ต่อสายท่อหนึ่งๆอาจสูงถึง 100เมตร และไม่มีการสูญเสียวัสดุขนถ่ายใดๆเลย ใช้เนื้อที่ติดตั้งน้อย และสามารถควบคุมให้เป็นระบบอัตโนมัติได้ทั้งระบบ

(4)-Refence4

ข้อเสียเปรียบคือ ต้องใช้กำลังสูง และตัวมวลวัสดุขนถ่ายต้องเสียดสีกันมาก จึงทำให้สึกหรอและเน็อนตกได้ง่าย



รูปที่ 12 ระบบขนถ่ายด้วยท่อลมอัด (4)

ระบบขนถ่ายนิวมาติคลมดูด[4]

ระบบขนถ่ายแบบลมดูดนี้เหมาะกับระยะขนถ่ายสั้นๆและใช้กับวัสดุที่ขนถ่ายได้ง่าย เช่น ทรายหรือถ่านหิน ซึ่งขนถ่ายได้ดีทั้งระบบลมดูดและระบบลมดูดผสมกับลมอัด

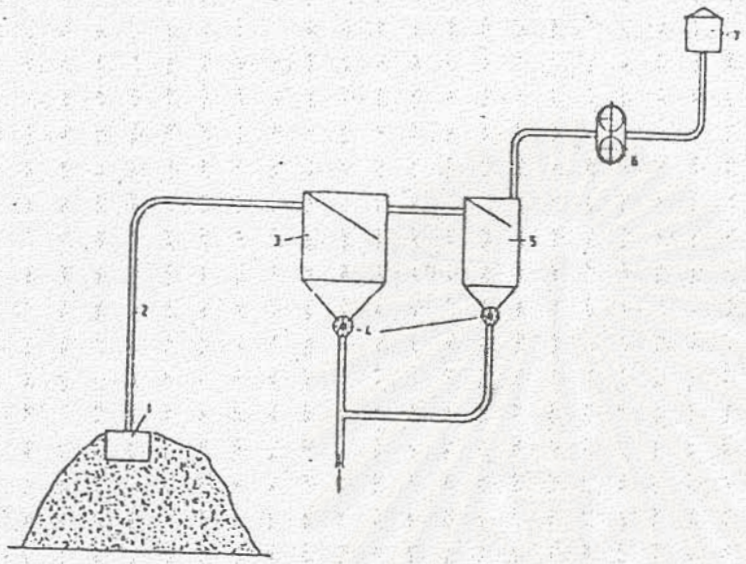
ระบบลมดูดนี้อาจใช้หัวดูดหรือท่อดูดชุดหนึ่งหรือหลายชุดก็ได้ แต่ท่อส่งนั้นใช้ชุดเดียว รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างระบบติดตั้งลมดูดเป็นแผนภาพที่ชัดเจนอยู่แล้ว กล่าวคือมวลวัสดุขนถ่ายจะถูกดูดขึ้นจากกองผ่านเข้าทางหัวดูด (1) และแล่นไปตามท่อดูด(2) ผ่านเข้าถังไซโคลน (Cyclone) แยกมวลวัสดุจากลม(3) ตัวท่อดูดนั้นส่วนมากเป็นท่ออ่อนหรือมีข้ออ่อนโยกย้ายตำแหน่งดูดได้และชุดแยกมวลวัสดุขนถ่ายออกจากลมทำงานได้โดยใช้หลักการที่ว่ามวลขนถ่ายทั้งลมและวัสดุขนถ่ายเปลี่ยนขนาดพื้นที่ภาคตัดจากท่อสู่ถังที่โตกว่าความเร็วจะลดลง ของที่หนักกว่าจะตกลงล่างเร็วกว่าและยังช่วยหักเหทิศทางการเคลื่อนที่ให้เปลี่ยนทิศทางเร็วขึ้นด้วย แต่เนื่องจากการแล่นเลี้ยวของของหนักเป็นไปได้ยากจึงทำให้ตกลงสู่ด้านล่างของไซโคลนได้ง่าย ด้านล่างของถังแยกจะมีวาล์วที่เป็นเซลหมุนติดไว้(4) ทำให้หมุนออกไปได้เฉพาะมวลวัสดุขนถ่ายเท่านั้นโดยลมไม่รั่ว ลมพาหะจากถัง(5)จะแล่นต่อไปยังถังไซโคลนแยกฝุ่นออกจากลม ทำให้ลมสะอาดอีกขั้นหนึ่งแล้วจึงจะเข้าทางท่อดูดของเครื่องอัดอากาศ (6) อัดเข้าผ่านหม้อรับเสียง(7)แล้วจึงออกสู่ปรรยากาศภายนอก

ปั๊มลมหรือเครื่องอัดลมนี้สร้างได้ในลักษณะต่างๆคือเป็นชุดลูกสูบสูญญากาศหรือเครื่องอัดลมแบบหมุน เหวี่ยง แบบใช้แหวน น้ำหรือแบบรูตก็ได้ทั้งสิ้น

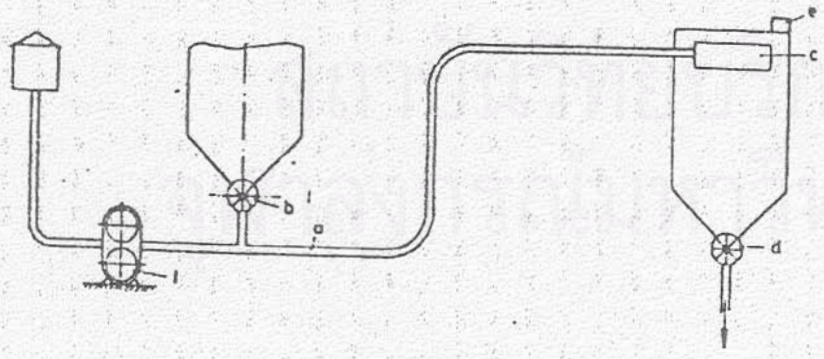
ความสะดวกในการขนถ่ายมวลนั้นสิ่งสำคัญอยู่ที่ความสามารถแขวนลอยของวัสดุในลม(อากาศ) ที่เป็นสาหะ ลมต้องมีความเร็วพอประมาณจึงสามารถยกและพัดพาชิ้นมวลต่างต่างให้แล่นไปได้ ความเร็วของลมพาในการขนถ่ายด้วยลมดูดนี้มีช่วงระหว่าง20-40เมตร/วินาที สามารถขนถ่ายได้สูงประมาณ50เมตร ด้วยอัตราขนถ่ายไม่เกิน3เมกะนิวตันต่อชม.

ระบบขนถ่ายนิวมาติคด้วยลมอัด[4]

ระบบขนถ่ายด้วยลมอัดนี้สามารถใช้ประโยชน์จากการลดค่าความกดดันตามท่อส่งได้เป็นอย่างมาก ทำให้สามารถขนถ่ายได้เป็นระยะทางยาวๆและขนถ่ายวัสดุหนักๆที่ยาวกว่า



รูปที่ 13 ระบบขนถ่ายนิวมาติคลมดูด (4)



รูปที่ 14 ระบบขนถ่ายนิวมาติคลมอัด (4)

ปกติได้ ในวิธีติดตั้งใช้งานในหน่วยหนึ่งๆมักมีท่อดูดเข้าในระบบเพียงท่อเดียว แต่สามารถใช้ท่อส่งได้หลายท่อ รูปที่ 14 เป็นตัวอย่างแผนภาพระบบขนถ่ายลมอัด ท่อส่งคือท่อ (a)ได้รับป้อนมวลวัสดุขนถ่ายจากถังไซโลที่มีปั๊มเซลหมุนติดอยู่ที่ด้านล่างของถังหมุนป้อนมวลวัสดุขนถ่ายเข้าสู่ระบบ(b)ตรงพื้น

วิธีเลือกใช้ลักษณะห้องป้อนของมีหลายวิธี ได้แก่วิธีป้อนด้วยเพลาเกลียวหนอนหรือห้องผสมลมกับมวลวัสดุเป็นห้องป้อน หรือจะใช้วิธีฉีดมวลวัสดุขนถ่ายเข้าสู่กระแสลมอัดก็ได้ ทั้งลมพาและมวลวัสดุขนถ่ายจะเคลื่อนที่เข้าสู่ถังไซโคลนแยก(c)โดยที่ด้านล่างถังไซโคลนจะมีลิ้นเซลหมุน(d)ติดไว้ด้วย ลมพาจะออกจากถังแยกไซโคลนเข้าสู่เครื่องกรอง(e) ในแหล่งติดตั้งบางชุด ลมที่ออกจากเครื่องกรองนี้อาจนำกลับไปป้อนเข้าเครื่องอัดลม(f)ใหม่ก็ได้ ทำให้เป็นวงจรปิด

ค่าความกดดันของลมอัดที่นิยมใช้กันปกติมีค่า6บาร์เกจ

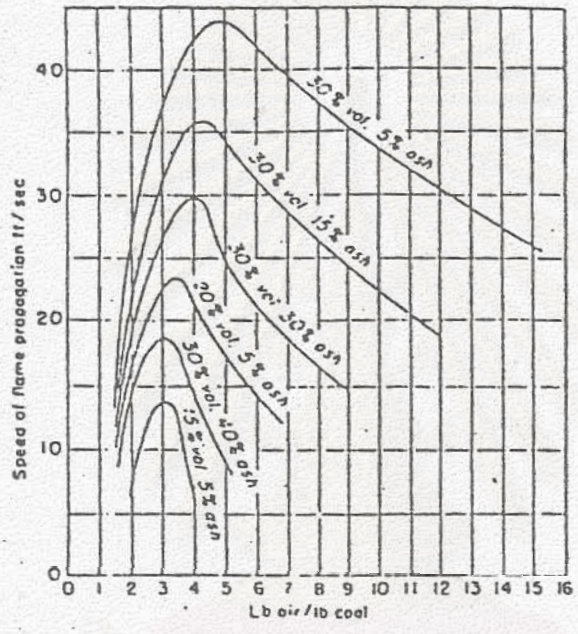
ในกรณีที่เป็น Direct coal fired system ถ่านหินที่ถูกบดละเอียดแล้วจะถูกพาโดยกระแสลมจากหม้อบดไปยังหัวฉีด(Burner) ในเตาเผา ถ้าเป็น Indirect coal firing system ก็นำถ่านหินที่เก็บไว้ในไซโลมาใช้ การเลือกใช้ความเร็วของเปลวไฟเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลุกไหม้ย้อนกลับเข้าไปในระบบเครื่องบด การลุกติดไฟและความเร็วของลมพาแสดงไว้ในรูปที่ 15

ซึ่งแสดงถึงถ่านหินในอัตราส่วนต่างๆกันและที่มี volatile matter ไม่เท่ากัน การนำมาใช้กับพวกเตาเผานั้นจะใช้กันอยู่คือ 30% volatile matter และมี ash อยู่ในช่วง5-15% ซึ่งความเร็วลมในการขนส่งถ่านหินอยู่ในช่วง2100-2600ฟุต/นาที ความเร็วที่ใช้กันตามปกติประมาณ 2600 ฟุต/นาที แต่จะไม่เกินกว่า6000ฟุต/นาที ตารางที่ 3 เป็นตารางที่ให้ความเร็วของลมในการขนส่งส่วนผสมถ่านหินและอากาศซึ่งเป็น primary air

นอกจากนี้การออกแบบท่อสำหรับขนส่งนั้นจะต้องให้มีความเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมของผงถ่านหินในส่วนที่เป็นส่วนโค้งของท่อหรือใน Dampers เพราะจะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากการลุกไหม้หรือระเบิดของถ่านหินส่วนที่ค้างอยู่ได้

รูปที่ 15

METHODS OF FIRING SOLID FUELS



Inflammability curves for mixtures of pulverized coal and air. The air transporting the pulverized coal to the burners is also the burner primary air. This primary air is generally only 10 to 30 per cent of the total air required for combustion. Consequently the air-fuel values of the curves are very low. (de Lorenzi, Otto, "Combustion Engineering." 1st ed., Combustion Engineering - Superheater, Inc., New York, 1947, p. 8.33

Average Velocity of Primary-Air-and-Coal Mixture Through Conveying Pipes			
Air-Coal-Ratio, 2 Lb Air/Lb Coal			
Pulverized-coal fineness % through 200-mesh sieve	70	80	85
Normal velocity, fpm	5000	4500	4000
Minimum velocity, fpm	3000	3000	3000

ตารางที่ 3 ความเร็วลมในการขนส่งส่วนผสมถ่านหินและอากาศ

Burner (1)

Pulverized- coal burning equipment

ในการคิดไฟพวกpulverized-coal Burner เป็นเครื่องมือพื้นฐานอันหนึ่งขององค์ประกอบในการคิดไฟ โดยมีน้ำมันและแก๊สเป็นเชื้อเพลิง ส่วนการใช้ของแข็งเป็นเชื้อเพลิงแล้วจะมีปัญหาในการออกแบบ boilers และfurnaces (เตาเผา)

ปกติแล้วการเผาไหม้ เราจะทำให้น้ำมันเกิดการแตกกระจายเป็นฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเผาไหม้กับอากาศ ดังนั้นเมื่อเราจะนำถ่านหินมาเป็นเชื้อเพลิงแทนก็ต้องมีวิธีการทำให้ถ่านหินละเอียดเพียงพอเช่นพื้นที่ผิวต่อหน่วยของมวลจะต้องมากพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้พอดี

ในการเผาไหม้จะต้องทำให้ความชื้นในถ่านหินมีน้อยเช่นในระบบของdirect firing system ถ่านหินที่จะนำไปยังBurner จะต้องแขวนลอยอยู่ใน primary air และส่วนผสมนี้จะต้องเพียงพอที่จะผสมกับsecondary air ใน Burner ด้วย

การเลือกท่อและnozzle ของburner ว่าจะใช้ขนาดใดขึ้นกับว่าต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่สูงเพียงไร โดยจะต้องให้สูงพอที่จะทำให้ผงถ่านหินแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ตลอด ช่วงของท่อในแนวราบของburner นั้นจะมีขนาดของความเร็วไม่น้อยกว่า 3000ฟุต/นาที เมื่อเราคิดที่กำลังการผลิตของเครื่องบดถ่านหิน ต่ำสุด และขนาดของnozzle ก็ใช้ขนาดที่มีความเร็วได้เหล่ากับความเร็วของท่อ ส่วนทางแนวดิ่งนั้นnozzle มีขนาดที่ความเร็วอย่างต่ำ2200ฟุต/นาที โดยค่าที่แท้จริงจะขึ้นกับรูปร่างของ Burner

ในการที่เราจะสามารถแน่ใจว่าการIgnition (การจุดติด) มันคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแน่นอน เราจะต้องดูว่าในการเผาถ่านหินแล้วอุณหภูมิของprimary air และถ่านหินที่ออกจาก pulverizer นั้นมีอุณหภูมิเป็นอย่างไร ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าปริมาณสารระเหยง่ายด้วย

โดยอุณหภูมิอย่างน้อยต้อง130°ฟ(45°ซ) เมื่อถ่านหินมี ปริมาณสารระเหยง่ายอยู่30%

(1) - Reference 1

ถ้าปริมาณสารระเหยง่ายต่ำ 25% อุณหภูมิประมาณ 150°ฟ (66°ซ)

" " 22% " 180°ฟ (82°ซ)

จะสังเกตได้ว่าถ้าปริมาณสารระเหยง่ายน้อยลง อุณหภูมิจะต้องสูงขึ้นซึ่งแสดงว่าติดไฟได้ยากกว่า

การที่ Burner จะทำงานต้องมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) อัตราของการป้อนของถ่านหินและอากาศ จะต้องเป็นไปตามความต้องการของ load ในการดำเนินงาน สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ส่วนมาก เช่น การติดไฟของ pulverized coal จะต้องแน่นอน ไม่มีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงสำรอง, ถ้าเกินช่วงของ load ประมาณ3 :1 ส่วนมาก boiler มักจะติดตั้ง burner หลายอันเพื่อให้ช่วงของกำลังการผลิตกว้างโดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวน burners และ pulverizer ที่ใช้

2) Combustible ที่ไม่ได้เผาไหม้สูญเสียอย่างน้อย น้อยกว่า2% โดยการสร้างผนังให้ดีและการติดตั้งต้องดีด้วย และเป็นไปได้ถ้าเราจะให้มี Combustible สูญเสียเพียง1% โดยใช้ excess air ประมาณ15-22%

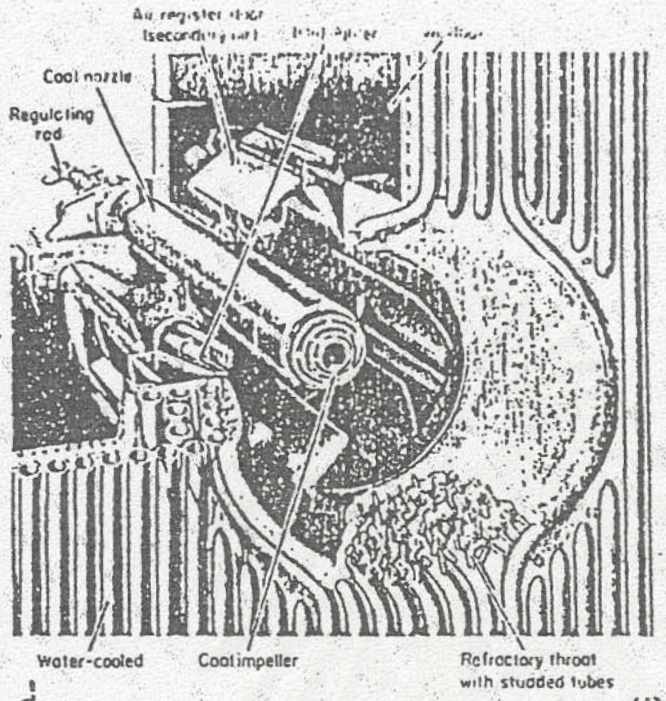
3) Burner นั้นไม่ต้องการการปรับให้มีลักษณะของเปลวไฟ(Flame)คงที่ และการออกแบบจะช่วยหลีกเลี่ยงการเกิด deposits ซึ่งจะไปทำให้ burner ไม่มีประสิทธิภาพ

4) บางครั้งก็มีความจำเป็นจะต้องซ่อมแซมและปรับปรุงบางส่วนขององค์ประกอบหลักของ Burner ในแต่ละปี Burner เป็นส่วนที่จะถูกการขัดสีต้องการช่วงที่ค่อนข้างถี่ในการทดแทน ส่วนมากมักใช้ Alloy Steel สำหรับทำส่วนของ Burner

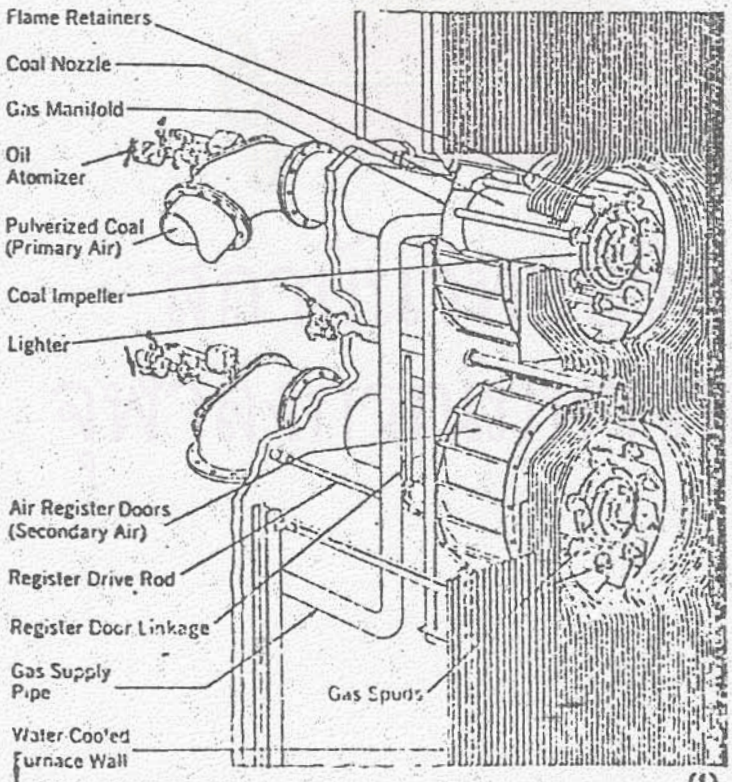
5) ความปลอดภัยจะต้องมีตลอดเวลาที่กำลังปฏิบัติงานอยู่

<u>ชนิดของBurner (Burner type)</u>

การแบ่งชนิดของBurner นั้นทำได้กว้างๆไม่สามารถชี้เฉพาะเจาะจงลงไปได้ เนื่องจากสภาพการใช้งานแต่ละแบบจะใช้Burner ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้นเท่านั้น ชนิดของBurner แบ่งอย่างกว้างได้5แบบคือ



รูปที่ 10 Circular register burner for pulverized-coal firing. (B & W.) (1)



รูปที่ 11 Cell burner for pulverized-coal, oil, and natural-gas firing. (B & W.) (1)

1) The Horizontal Intertube burner

2) The Circular pulverized Fuel burner

3) The Cross tube burner

4) The Multistep burner

5) The Vertical intertube burner

ชนิดที่นิยมใช้กันอยู่ในขบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่แบบ circular และแบบ cell burner ดังแสดงในรูป10 ซึ่งเป็นแบบที่ใช้เฉพาะกับการคิดไฟแบบ Pulverized coal เท่านั้น โดยสามารถใช้โดดหรือใช้หลายๆอันก็ได้ รูปที่ 11 แสดงถึง Burner เป็นแบบ cell Burner ซึ่งการติดตั้งระบบนี้จะนำไปใช้กับเชื้อเพลิงได้ทั้ง Pulverized coal ก๊าซและน้ำมันได้

นอกจากนี้ยังมีBurner ที่ออกแบบให้ถ่านหินที่บดละเอียดวิ่งผ่านช่องแคบๆและผสมกับอากาศในลักษณะที่เป็นทั้ง parallel flow และ turbulent flow

ทางเข้าของ nozzle ในแต่ละหัวของ Burner จะให้ค่าสูงสุดถึง 1.65×10^8 บีทียู/ชม. โดยที่ secondary air มีความเร็ว4000ฟุต/นาที สำหรับการใช้งานเต็มที่กับBoiler ขนาดเล็ก ในขณะที่ Secondary air ที่ไม่ได้รับความร้อนก่อน เราจะให้มีความเร็ว6000ฟุต/นาที สำหรับdry-ash ที่ออกจากเตาเผาอาจจะมีอุณหภูมิถึง600°ฟ ความเร็วที่ตามปกติใช้กันก็คือ7500ฟุต/นาที

การจุดติดไฟและการควบคุมเครื่องมือสำหรับระบบ pulverized-coal firing จะคล้ายกับระบบของน้ำมันและแก๊ส แม้ว่าการใช้จะแตกต่างกัน ในกรณีของ Pulverized coal จำเป็นจะต้องดำเนินการปฏิบัติการนานเป็นชั่วโมง จนอุณหภูมิในช่วงบริเวณการเผาไหม้(Combustion Zone)ของตัวจุดติดไฟ(Igniter)สูงพอที่จะแน่ใจได้ว่าผงถ่านที่บดละเอียดแล้วจะสามารถจุดติดไฟเองได้

ลักษณะของการติดไฟได้เองของ pulverized coal จะเปลี่ยนแปลงไปสำหรับการใช้เชื้อเพลิงเริ่มต้นต่างกัน แต่ถ่านหินส่วนใหญ่จะสามารถรักษาการติดไฟไว้โดยไม่ไปลดเชื้อเพลิงที่ใช้ใน boiler ลง1ใน3 แต่บางขณะเมื่อเกิดการติดไฟเองอย่างสมบูรณ์ load อาจจะลดลงเพียง1ใน4 ถ้าเราจะเผา pulverized coal ที่มี volatile matter น้อยกว่า 25% แล้วจำเป็นจะต้องใช้พลังงานในการกระตุ้นสูงมาก หรืออาจจะเกิดจาก coalมีความชื้นมากเกินไปหรือการป้อนถ่านแบบนานๆครั้งหรือกระจัดกระจายใน pulverizer

ถ้า Ignitor ไม่ค่อยมีกำลังในขณะที่ถ่านหินไม่เข้าถึง pulverizerหรือว่าเข้าไปปริมาณน้อย การติดไฟของ burnerจะทำให้เกิดการสูญเสียไปชั่วขณะหนึ่ง ดังนั้นในการติดตั้งการไหลของถ่านหินจะต้องให้ burner สามารถจุดติดไฟด้วยแรงระเบิดจากด้านข้างของ burner

Excess Air

สำหรับ pulverized-coal แล้วต้องการอากาศมากเกินพอมากๆในการเผาไหม้ ซึ่งต้องการมากกว่าน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ สาเหตุหนึ่งก็เกิดจากลักษณะของถ่านหินที่กระจายไม่เหมาะสมหรือไม่เท่ากันในการเข้าสู่ท่อรอง burner แต่ละท่อ และตอนออกจาก nozzle

อย่างน้อยต้องมีปริมาณ15% ของอากาศที่มากเกินพอโดยวัดจากด้านออกของเตาเผาที่พลังงานสูง โดยมี primary air และ secondary air กระจายตามปกติ โดยที่ค่าอากาศเกินพอ(excess air)นั้นถ้ามีค่าสูงขึ้นจะทำให้ไม่มีพวก slagging หรือ fouling ที่จะดูดความร้อนไปทำให้ความร้อนไม่สูญเสีย

ในการออกแบบ burnerและเตาเผาแบบ pulverized coal มักจะพิจารณาถึงการจัด burner และรูปร่างของเตาเผาให้เหมาะสมในการที่จะเกิด slagging หรือ fouling จาก coal ash ให้น้อยที่สุด การที่ให้ excess air มากจะทำให้การออกแบบต่างๆเป็นไปอย่างดี แต่จะไม่เหมาะในด้านเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบเบื้องต้นที่ดี

การเผาไหม้(Combustion)[2]

เปลวไฟที่เกิดจากผงถ่านหินในบริเวณที่มีปฏิกิริยาระหว่างผงถ่านหินและอากาศแล้วให้ความร้อนออกมา ขั้นตอนในการเผาไหม้มีอยู่2ขั้นตอนคือ

ขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาการระเหยกับอากาศและ volatile matter

ขั้นที่สอง coke และอากาศจะเกิดจุดไหม้ขึ้น

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมี Kinetics ของปฏิกิริยาขึ้นกับ gas-solid chemical reactor จุดที่เกิดการเผาไหม้ของถ่านหินที่อุณหภูมิใดๆเราเรียกว่า"จุดติดไฟ" หรือ"Ignition Temperature" อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดติดไฟที่ปฏิกิริยาของขบวนการติดไฟจะเกิดต่อเนื่องเอง พื้นที่สัมผัสของปฏิกิริยายิ่งมากยิ่งดี ดังนั้นถ่านหินที่ละเอียดมากจะติดไฟได้ดีมาก และอัตราของปฏิกิริยาจะมากขึ้นกับความสัมพันธ์ของ solid และ gas ในการเข้ามาทำปฏิกิริยากัน ดังนั้นเพื่อรักษาให้ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนเกิดต่อไปได้ตลอดจำเป็นต้องนำก๊าซเฉื่อยที่เป็นผลมาจากการเผาไหม้คือคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ผิวของคาร์บอนสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อไปได้ ในการใช้ถ่านหินที่บดละเอียดนั้นขนาดของถ่านหินเล็กมากและมีพื้นที่ผิวมาก ความสัมพันธ์ของถ่านหินที่พ่นเข้าไปในเตากับอากาศต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมเพื่อให้สำเร็จตามเป้าหมายนี้ การที่ถ่านหินมากับอากาศจะมีความเร็วแตกต่างกันเล็กน้อย เว้นเสียแต่ว่าหัวฉีดมีส่วนที่ทำให้เกิดการหมุนวน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ Turbulent และมีการดึงพวกก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ออกได้ ในการวิเคราะห์ปฏิกิริยาของถ่าน ควรให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ในถ่าน โดยการใช้อากาศในการทำปฏิริยามากเกินพอ เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ให้ถึงขีดอันตรายได้

การกระจายของผงถ่านหินในอากาศนั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้และรักษาการจุดติดไฟอยู่สม่ำเสมอ การที่ผงถ่านหินเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำและมีจำนวนมากนั้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีกว่า การที่จะทำให้ผงถ่านหินมีความเข้มข้นสูงโดยความเร็วลมในหัวฉีดมีความเร็วต่ำจึงต้องมีการออกแบบหัวฉีดให้เหมาะสม

(2) - Refence 2

ในการรักษาเสถียรภาพของเปลวถ่านหินในเตาเผาพบว่าพวกถ่านหินที่จะนำมาทำการเผาไหม้นั้นควรมี Volatile matter ประมาณ18-20% โดยความพยายามทดลองผสมถ่านหินแอนทราไซค์กับบิทูมินัส พบว่าเป็นการยากมากที่จะทำให้เกิดการเสถียรภาพของเปลวไฟถ้าถ่านหินนั้นมี Volatile matter ต่ำกว่า18%

ความมีเสถียรของเปลวไฟที่ได้จากพวกผงถ่านที่บดละเอียดนั้นมักจะได้รับอิทธิพลมาจากขนาดของผงถ่านหิน จากการทดลองโดยใช้ถ่านหินแอนทราไซค์70-80% Minus 40 Micron (325 Mesh) ซึ่งเทียบเท่ากับ90-95% Minus 200 Mesh จะไม่ทำให้เกิดการมีเสถียรของเปลว เสถียรภาพของเปลวจะมีก็ต่อเมื่อบดถ่านหินจนมีขนาด 5-10 ไมครอน

การควบคุมในระบบ pulverized-coal firing นั้นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ Turn-down ratio[1] ,ปริมาณอากาศ,รูปร่างของเปลวไฟและความยาวของเปลว Turn-down ratio ของพวกถ่านหินจะไม่มากเท่ากับพวกน้ำมันหรือก๊าซ ความจำเป็นในการรักษาความเร็วต่ำสุดของผงถ่านหิน,ปริมาณที่แน่นอนและการเปลี่ยนอัตราส่วนของถ่านหินและอากาศโดยการแยกอากาศรอบๆตัวบด(by-pass some of the primary air around the pulverizer)

การควบคุมปริมาณของถ่านหินไปหัวฉีดมี2ระบบที่ใช้คือในพวก Air-swept ball Mill ปริมาณอากาศไปยังเครื่องบดจะเปลี่ยนแปลง ซึ่งในระบบแบบใหม่ ปริมาณฝุ่นถ่านหินที่ต้องการเป็นเชื้อเพลิงภายในเตาจะได้อย่างรวดเร็วใน ring-roller and ball race pulverizer มีถังเก็บฝุ่นถ่านหินขนาดเล็กหรือไม่มี การเปลี่ยนแปลงของความต้องการถ่านหินจะประสบความสำเร็จโดยการเปลี่ยนการป้อนถ่านหินเข้าไปในเครื่องบดซึ่งจะต้องรอเวลาในการสนองตอบความต้องการนี้ เพราะการเติมถ่านหินลงไปบดนั้นต้องบดด้วยเวลาหนึ่งจึงจะสามารถส่งไปยังหัวฉีดปกติระบบ pulverized coal firing นั้น Turn-down ratio ประมาณ2 : 1ถึง 3 : 1

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอากาศสามารถทำได้ในช่วงความเร็วที่กำหนดให้ทั้งภายในท่อและหัวฉีด ความเร็วสูงสุดที่ถูกกำหนดไว้นั้นเนื่องจากปริมาณของพลังงานที่ใช้สูงมาก

1 Turn - down ratio หมายถึง อัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงมากที่สุดต่อการใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด แสดงถึงความสอดคล้องในการปรับระดับของไฟเผาไหม้

ดังนั้นความดันจะตกลง ส่วนความเร็วต่ำสุดของลมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของผงถ่านหิน ถ้าถ่านหินมีขนาดเล็กก็จะใช้ลมน้อยด้วย

เราสามารถควบคุมความยาวของเปลวและรูปร่างของเปลวได้ โดยความยาวเปลวนั้นขึ้นอยู่กับความเร็ว, รูปร่างของเปลว การควบคุมทำได้โดยการปรับความดันที่หัวเตา (kiln hood draft) ปริมาณของอากาศและอุณหภูมิของอากาศ นอกจากนี้การควบคุมลักษณะของเปลวให้แน่นอนโดยการทำให้มีการปั่นป่วนอากาศในหัวฉีดเอง นอกจากนี้ควรมีการปรับช่องอากาศช่วยอีกด้วย

ภาคที่2

-อุปกรณ์และชุดทดลอง

-วิธีการทดลองในโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) Hammer Mill บดถ่านหินก้อนใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง

2) Ball Mill มีหน้าที่สำหรับบดถ่านหินให้ละเอียด เป็นเครื่องมือของภาควิชาเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

- ขนาดบรรจุถ่านหิน 1.5 กก. โดยบดนาน 1 ชม.
- ขนาดลูกเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 20 ลูก
  1.0 " " 12 "
  0.5 " " 10 "

3) ชุดตะแกรงร่อน มีหน้าที่สำหรับแยกขนาดของถ่านหินที่ต้องการ และวิเคราะห์ขนาดของถ่านหิน

4) ตู้อบ ใช้สำหรับหาความชื้นของถ่านหิน

5) Tray Dryer ใช้อบถ่านหินให้ความชื้นลดลง

6) ชุดทดลองเผาถ่านหิน ประกอบด้วย (แสดงในรูปที่ 12)

6.1 Blower มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม.
H.P. 0.5 kW
VOLT 220 / 380
RPM 2800

6.2 Orifice tube และ Manometer ใช้สำหรับวัดความเร็วลมที่ปลายท่อโดยหาเป็นความดันลด

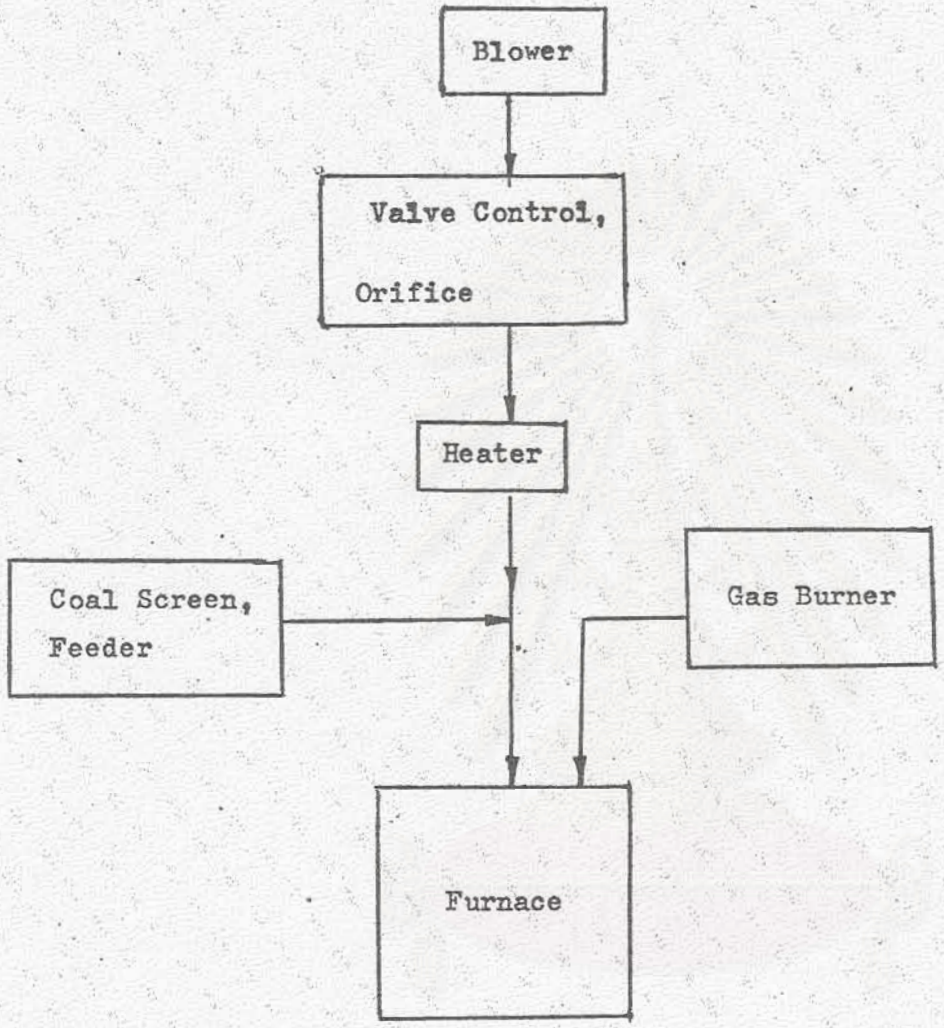
6.3 Heater มีหน้าที่ช่วยให้ลมที่พ่นถ่านหินร้อนและทำให้ถ่านหินแห้งขึ้น

6.4 Screw Feeder มีหน้าที่ป้อนถ่านหินเข้าไปในเตาเผา

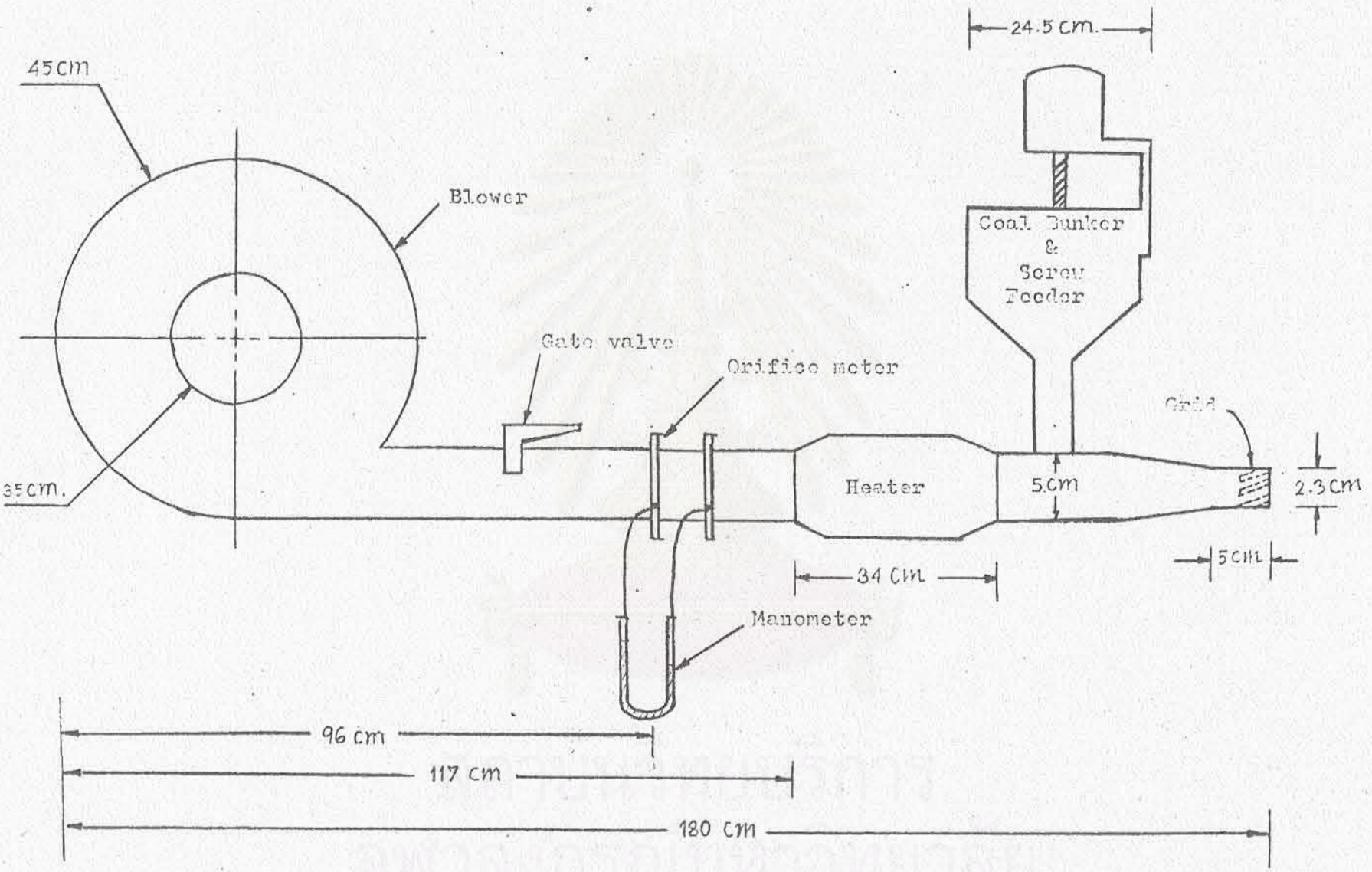
7) Gas burner แบบ high pressure ใช้สำหรับอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิสูงกว่า 800 °ซ

8) Thermocouple ใช้วัดอุณหภูมิในเตาเผา มีช่วง 0–1200 ซ

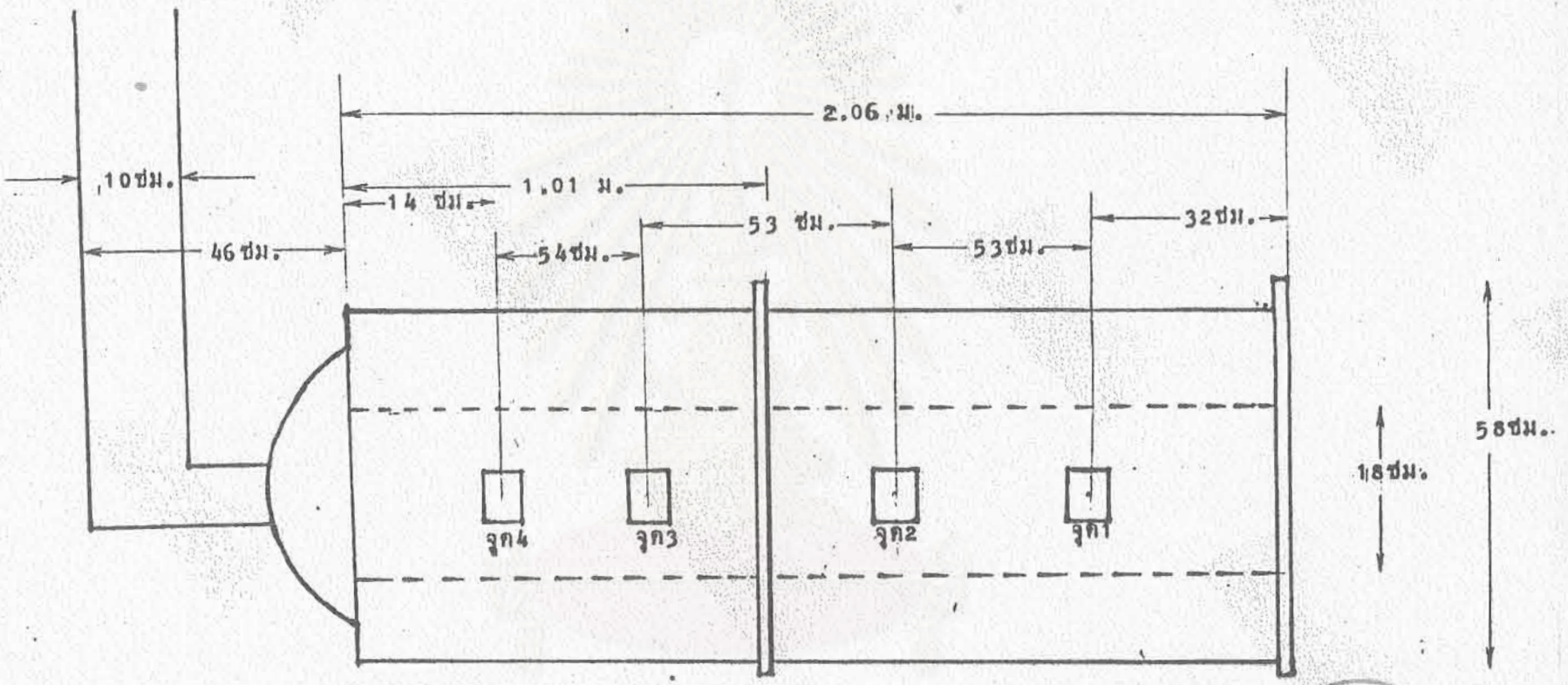
9) เตาเผา มีปล่องต่อยาวออกไป ตัวเตาเป็นอิฐก่อขึ้นมาแล้วหุ้มด้วยเหล็กอีกชั้นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14



แผนภาพเครื่องมือในการทดลองเผา



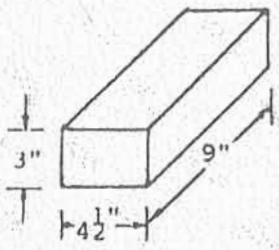
รูปที่ 12 ชุดทดลองเผาถ่านหิน



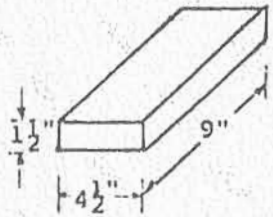
รูปที่ 13 เตาเผาที่ทดลอง

053470

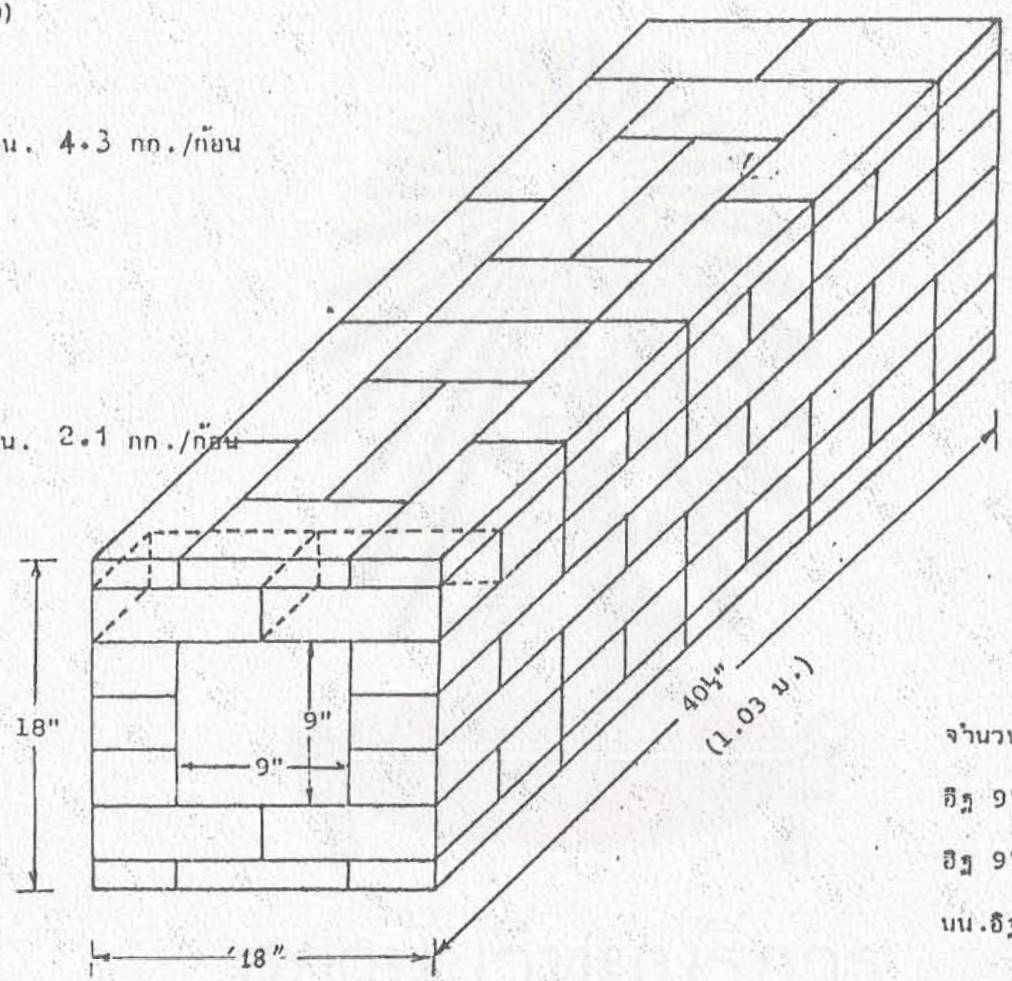
ขนาดอิฐทนไฟ (K-30)



นน. 4.3 กก./ก้อน



นน. 2.1 กก./ก้อน



จำนวนอิฐที่ต้องใช้

อิฐ 9"x4½" x 1½" =18+18 = 36 ก้อน

อิฐ 9"x4½" x 3" =18+18+27 = 63 ก้อน

นน.อิฐทั้งหมด =36x2.1+63x1.3 กก.

=75.6+270.9 กก.

=346.5 กก.

ผนังเตาหนา 4½"

รูปที่ 14 ส่วนประกอบของเตาเผา

วิธีการทดลอง

1) การหาคุณสมบัติของถ่านหิน เพื่อให้ทราบถึงลักษณะและองค์ประกอบของถ่นหินที่ใช้ในการทดลอง การหาคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่

1.1)Proximate analysis เป็นการหาองค์ประกอบของถ่านหิน คือ ปริมาณสารระเหยง่าย,ปริมาณคาร์บอนคงตัว,ปริมาณกำมะถัน,ปริมาณเถ้าและความชื้น ซึ่งหาเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.2)Sieve analysis เป็นการหาขนาดของถ่านหินที่ใช้ว่ามีขนาดเท่าใดบ้าง ทำโดยใช้ชุดตะแกรงร่อนขนาด 2.3 มม.,1มม.,600,425,150,106,75,ไมครอนและ pan ตามลำดับ ใส่ถ่านหินลงบนชั้นของตะแกรงร่อนประมาณ 500 กรัม. ปิดฝาแล้วเปิดเครื่องเขย่า จะทำให้ถ่านหินถูกร่อนกระจายในชั้นต่าง ๆตามขนาดของมัน ทิ้งไว้ 8 ชม. แล้วปิดเครื่อง นำตะแกรงร่อนแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนัก แล้วหักด้วยน้ำหนักของตะแกรงร่อนเอง ก็จะได้น้ำหนักของถ่านหิน

2)การบดถ่านหิน เพื่อให้ถ่านหินเล็กลงมีขนาดตามต้องการ ทำโดยนำถ่านหินขนาดใหญ่มาบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนด้วย hammer mill จากนั้นนำถ่านที่ผ่านการบดนี้มาทำ sieve analysis เพื่อดูการกระจายขนาดของถ่านหิน แล้วนำไปบดซ้ำอีกครั้งให้ละเอียดขึ้นด้วย ball mill โดยจะทำการบดที่เวลาต่าง ๆกันนำเศษถ่านหินที่บดละเอียดจาก ball mill มาทำ sieve analysis อีกครั้ง เพื่อหาขนาดและเวลาที่เหมาะสมในการบดละเอียด

3)การร่อนถ่านหิน ทำให้ได้ขนาดถ่านที่ต้องการ ในการทดลองนี้ต้องการขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงร่อน 150 ไมครอน ทำโดยนำถ่านหินที่บดละเอียดแล้วมาใส่ในตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอนพร้อม pan แล้วเปิดเครื่องร่อนไปเรื่อย ๆจนได้ปริมาณตามต้องการ

4)การคาลิเบรทความสูงของมาโนมิเตอร์ที่ใช้กับออริฟิสมิเตอร์ เทียบกับ ความเร็วลมที่ปลายท่อพ่นถ่านหิน โดยการเปิด blower แล้วปรับวาวล์ อ่านค่าความสูงของของเหลวในมาโนมิเตอร์ แล้วอ่านค่าความเร็วลมที่ปลายท่อพ่นถ่านหินโดยเครื่อง anaemometer จากนั้นอ่านค่าความเร็วลมซ้ำอีกครั้ง ปรับวาวล์และอ่านค่าทั้งสองใหม่ เมื่อได้ข้อมูล 4-5 ชุดแล้ว นำมาเขียนกราฟ (ความสูงของของเหลว)$^{1/2}$ กับความเร็วลม เมื่อมีการทดลองเขาก็สามารถนำค่าจากกราฟนี้ไปใช้ได้

5)การอบถ่านหิน นำถ่านหินที่ผ่านการร่อนแล้ว มาทำการอบเพื่อไล่ความชื้นในถ่านหินให้เหลือลงใน tray dryer ที่อุณหภูมิ 90°ซ เป็นเวลา 2 ชม. แล้วคำนวณหาความชื้นที่เหลืออยู่

6) การหาอัตราการป้อนถ่านหิน นำถ่านหินจากข้อ 5)ที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้วไปทำการทดลองเผาในเตา จับเวลาจนใช้ถ่านหินหมด ก็จะคำนวณอัตราการป้อนถ่านหินได้

7) การทดลองเผา เริ่มอุ่นเตาโดย gas burner แบบ high pressure วัดอุณหภูมิที่จุดห่างจากหัว gas burner 80 ซม. โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 800°ซ.ก็เริ่มพ่นถ่านหินที่บดละเอียด โดยเริ่มเปิด blower และ heater ถ่านหินก็จะถูกนำเข้าสู่เตาเผาอย่างต่อเนื่อง อ่านค่าความสูงของมาโนมิเตอร์ขณะนั้น และอ่านค่าอุณหภูมิที่จุดห่างจากหัว coal burner ไปเป็นระยะทาง 80 ซม. จนกระทั่งถ่านหินหมด

8) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5)-ข้อ 7) โดยแปรค่าความชื้น ซึ่งทำการอบที่เวลา 4 ชม.และ 6 ชม.ตามลำดับ

9) แปรค่าอัตราการป้อนถ่านหินและความเร็วลม ขนาดของถ่านหิน

ภาคที่ 3

-ข้อมูลผลการทดลอง

-สรุปและวิจารณ์ผล

:

Lignite Proximate Analysis

Source : เหมืองบ้านบุ จ. ลำพูน

		Sample No.1	Sample No.2	Average
Moisture	,in Dry lignite %	17.80	17.85	17.83
Ash	,in Dry lignite %	6.68	6.56	6.62
Volatile matter	,in Dry lignite %	47.77	47.52	47.65
Fixed carbon	,in Dry lignite %	27.75	28.07	27.91
Calorific value	,in Dry lignite %			
	Cal/gm.	5661.0	5726.0	5693.5
	Btu/lb.	10190.0	10307.0	10248.5
Net. Calorific value	, in Dry lignite %			
	Cal/gm.	5489.0	5553.0	5521.0
	Btu/lb.	9880.0	9996.0	9938.0

ULTIMATE ANALYSIS

RUN no.	H	C	N	COR.ASH*	Sulfur	MOIS.**	O
1	4.64	65.13	1.13	6.53	2.22	8.59	11.76
2	4.81	67.47	1.17	6.80	2.22	5.30	12.23
3	4.83	67.80	1.18	6.84	2.22	4.84	12.30
5	4.70	65.96	1.14	6.63	2.22	7.42	11.93
6	4.78	67.05	1.16	6.75	2.22	5.89	12.15
7	4.65	65.16	1.13	6.54	2.22	8.54	11.76

* CORRECTED ASH

** MOISTURE

TABLE 1 THE DATA OF SIEVE ANALYSIS

COAL CRUSH BY HAMMER MILL

coal size (μm)	sieve weight (g)	sieve weight +coal weight (g)	coal weight (g)	% wt.
<63	331.52	333.94	2.42	0.484
63-75	399.19	399.75	0.56	0.112
75-106	305.18	308.60	3.42	0.684
106-150	358.07	367.44	9.37	1.875
150-425	370.93	417.39	46.46	9.295
425-600	399.72	439.34	39.62	7.927
600-1000	436.70	521.20	84.50	16.906
1000-2300	438.48	638.84	200.36	40.086
>2300	491.18	604.29	113.11	22.630
		total wt.	499.82	

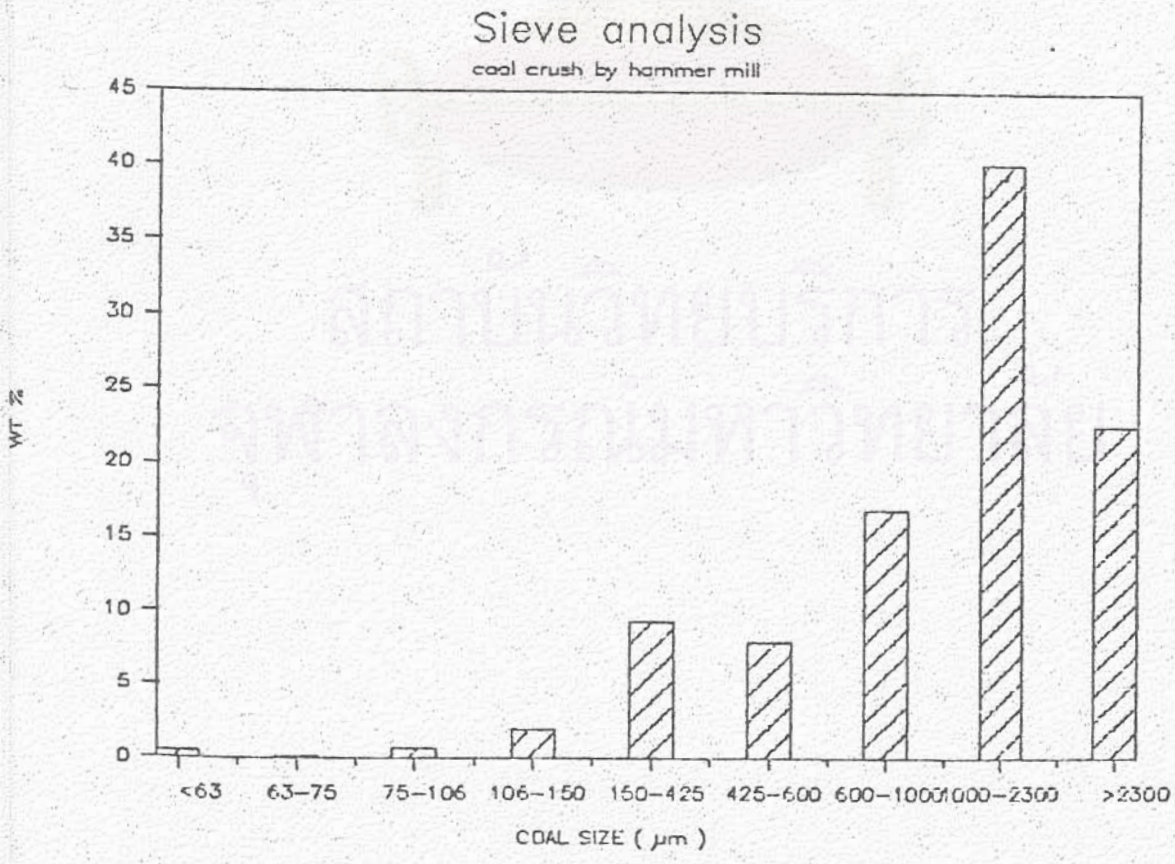


TABLE 2 THE DATA OF SIEVE ANALYSIS

COAL CRUSH BY BALL MILL (1/2 hr.)

coal size (μm)	sieve weight (g)	sieve weight +coal weight (g)	coal weight (g)	% wt.
< 63	331.52	334	2.48	0.4969
63-75	399.19	399.26	0.07	0.0140
75-106	305.18	399.46	94.28	18.891
106-150	358.07	632.15	274.08	54.919
150-425	370.93	494.09	123.16	24.678
425-600	399.72	403.21	3.49	0.6993
600-1000	436.7	438.2	1.5	0.3005
> 1000	438.48	438.48	0	0
		Total Wt.	499.06	

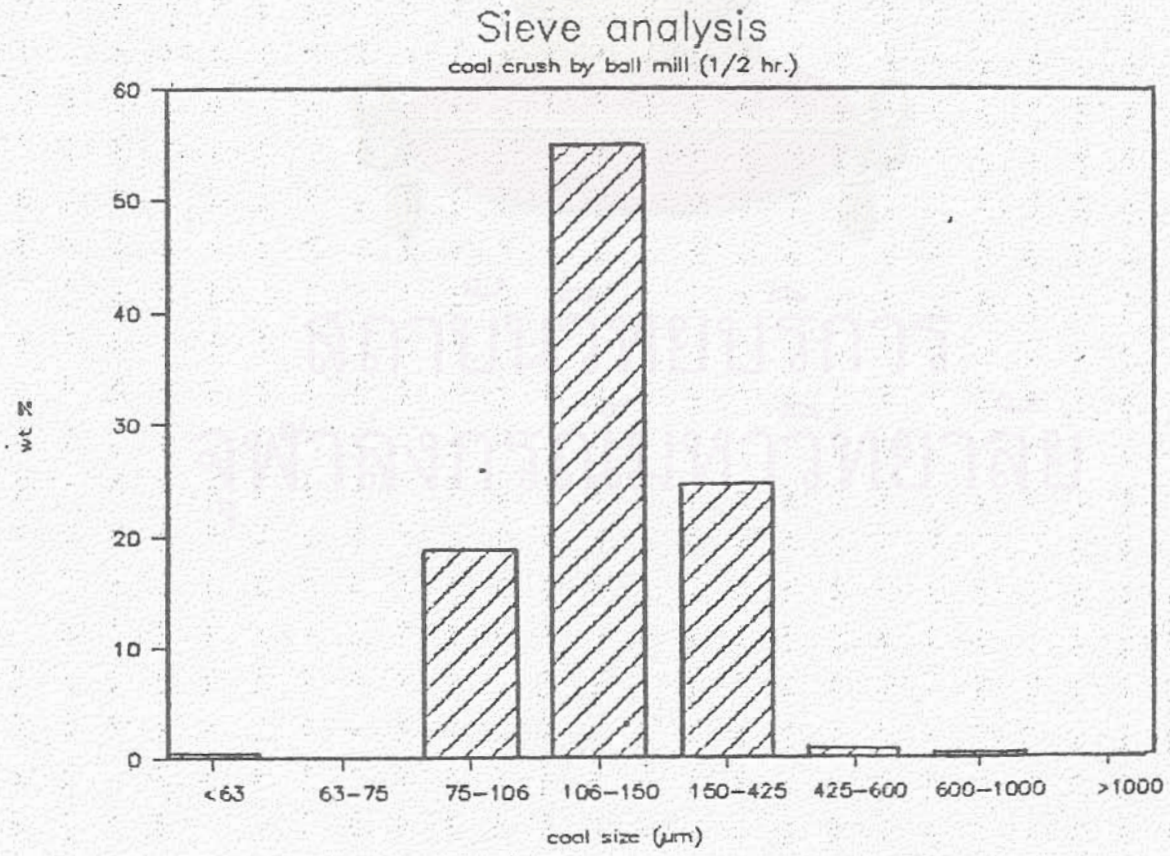


TABLE 3 THE DATA OF SIEVE ANALYSIS

COAL CRUSH BY BALL MILL (1 HR.)

coal size (μm)	sieve weight (g)	sieve weight +coal weight (g)	coal weight (g)	% wt.
< 75	331.52	332.92	1.4	0.2797
75 - 106	305.18	369.99	64.81	12.951
106 - 150	358.07	781	422.93	84.518
150 - 425	370.93	379.45	8.52	1.7026
425 - 600	399.72	401.96	2.24	0.4476
> 600	436.7	437.2	0.5	0.0999
		Total Wt.	500.4	

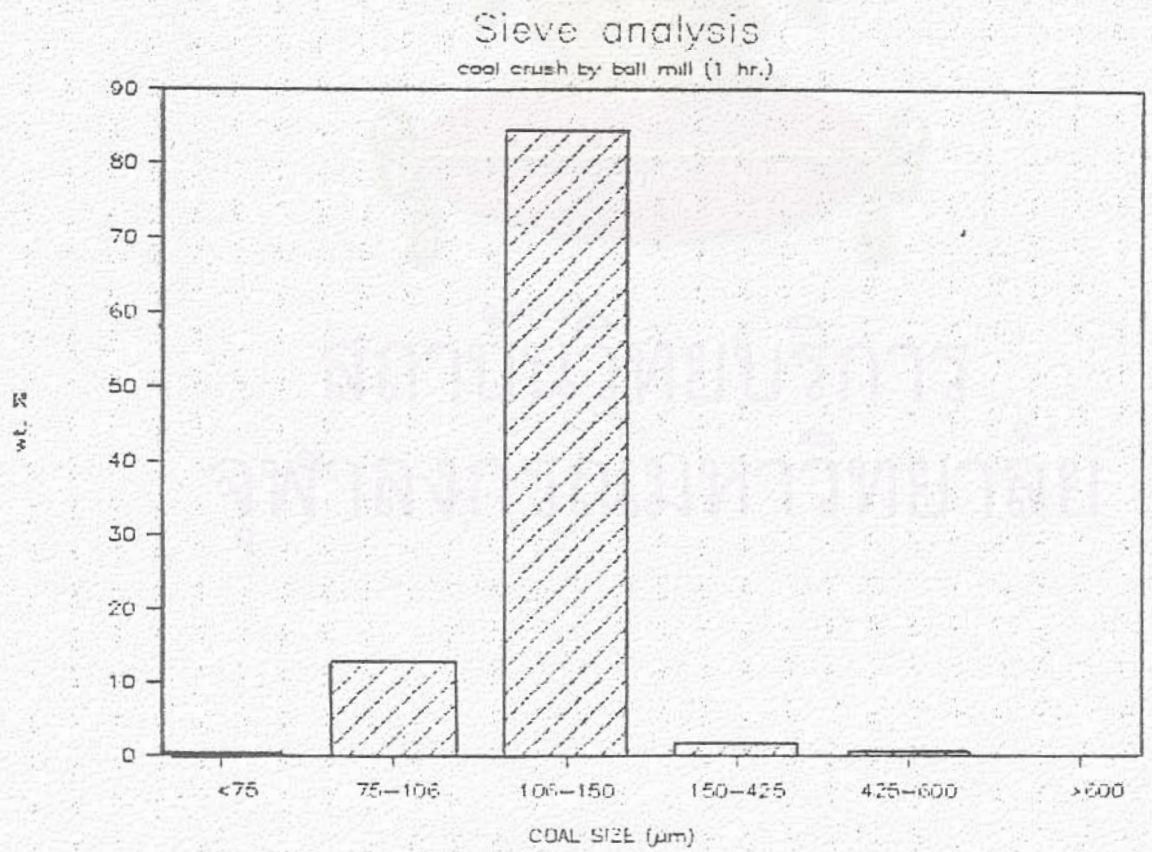
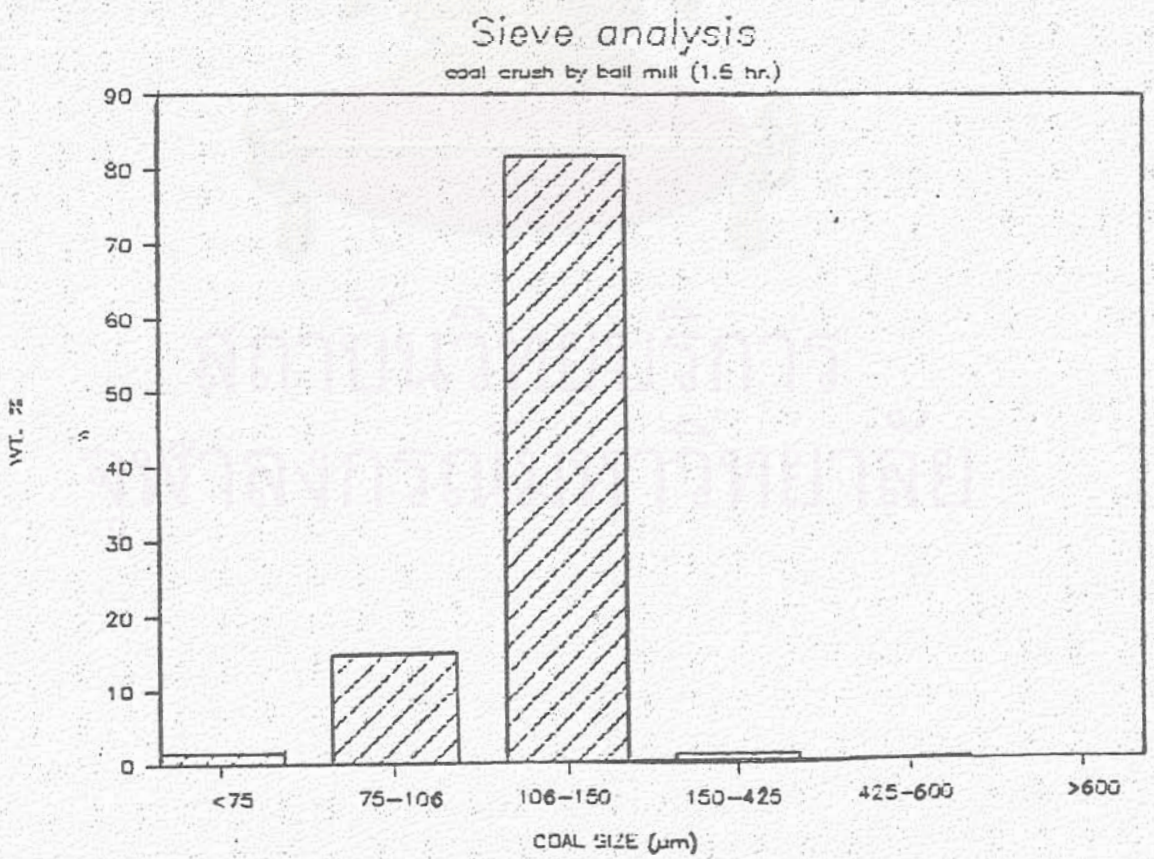


TABLE 4. THE DATA OF SIEVE ANALYSIS
COAL CRUSH BY BALL MILL (1.5 HR.)

coal size (µm.)	sieve weight (g)	sieve weight + coal weight (g)	coal weight (g)	% wt.
<75	331.52	339.07	7.55	1.5164
75-106	305.18	379.45	74.27	14.917
106-150	358.07	764.85	406.78	81.704
150-425	370.93	378.33	7.4	1.4863
425-600	399.72	401.59	1.87	0.3756
>600	436.7	436.7	0	0
		Total Wt.	497.87	



สรุปผลของการทำ sieve analysis

เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่อง จึงได้อ้างอิงข้อมูลจากปีที่แล้วที่ว่าขนาดของถ่านหินที่เหมาะสมในการเผาไหม้ต้อง < 150 um.

ตารางที่ 1 ผงถ่านหินที่บดด้วย hammer mill นั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ขนาดพบว่าปริมาณของถ่านหินที่มีขนาด > 150 um. มีถึง 87 % ขนาดของถ่านหินที่ต้องคือ 150 um. มีน้อยมาก

ตารางที่ 2 นำถ่านหินที่ผ่านการบดด้วย hammer mill แล้วมาบดซ้ำด้วย ball mill เป็นเวลา 1/2 ชม. เมื่อวิเคราะห์ขนาดพบว่ามีปริมาณขนาดของถ่านหินที่ต้อง (<150 um.)ประมาณ 74 % ซึ่งมีปริมาณปานกลาง

ตารางที่ 3 นำถ่านหินที่ผ่านการบดด้วย hammer mill แล้วมาบดซ้ำด้วย ball mill เป็นเวลา 1 ชม. มาวิเคราะห์ขนาดพบว่า มีขนาดของถ่านหินที่ต้องการใช้ประมาณ 97 % ซึ่งมีปริมาณมากพอ

ตารางที่ 4 ทำเช่นเดียวกันกับตารางที่ 3 แต่ใช้เวลาในการบดเป็น 1.5 ชม. แล้วนำมาวิเคราะห์ขนาดพบว่า มีปริมาณขนาดของถ่านหินที่ต้องการใช้ประมาณ 98 %

จะเห็นว่า ถ่านหินที่บดด้วย hammer mill แล้ว บดซ้ำด้วย ball mill เวลาที่เหมาะสมในการบดควรจะเป็น 1 ชม.

Calibration curve

Between air velocity and height of manomiter

Air velocity (m/s)	Height of manomiter	
	(cm.)	$(cm.)^{1/2}$
0	0	0
2.1	0.3	0.55
3.7	1.2	1.1
6	3.6	1.9
7.9	6.6	2.57

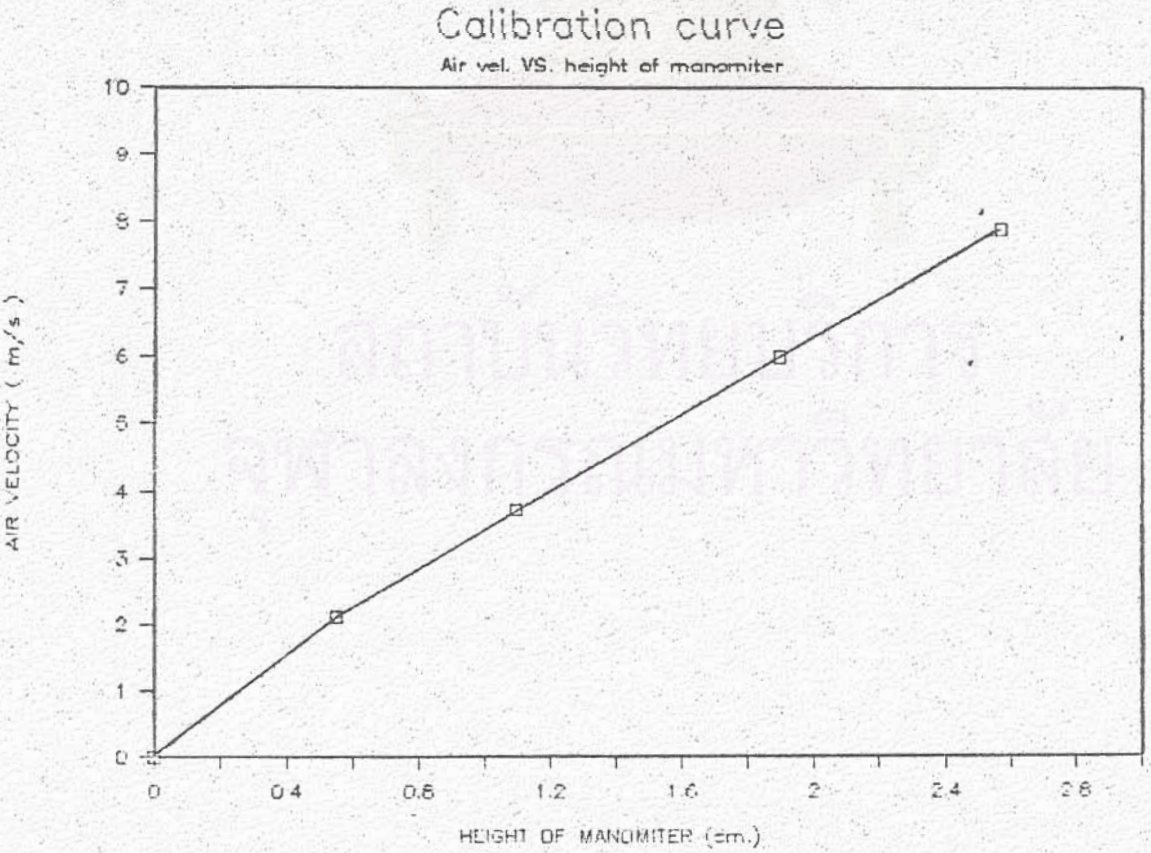


TABLE 5 ข้อมูลการหาความชื้นของถ่านขนาด < 150 μm ประมาณ 85 % อบที่เวลาต่าง ๆกัน

เวลาที่ใช้อบ (ชม.)	นน.ถาด (กรัม)	นน.ถ่านหินก่อนอบ (กรัม)	นน.ถาด+ถ่านหินหลังอบ (กรัม)	% ความชื้น	เฉลี่ย
2	0.3012	1.0049	1.2252	8.75	
	0.3360	1.0073	1.2650	8.43	8.59
4	0.2928	1.0002	1.2424	5.33	
	0.3412	1.0026	1.2936	5.27	5.30
6	0.3301	1.0021	1.0046	4.86	
	0.3651	1.0117	1.3308	4.82	4.84

Run no. 1

Size of coal < 150 μm	85 %
Drying time of coal	2 hr
% Moisture of coal	8.59 %
Flow rate of coal	12 kg/hr
Air velocity	7.3 m/s

Time (min.)	Temperature (°C)	
-30	860	Preheat furnace
0	860	
2	880	
4	900	
6	910	
8	900	
10	920	
12	920	
14	940	
16	970	
18	980	
20	980	

Temperature of flue gas = 320 °C

CO_2 = 13.6 % O_2 = 8 %

CO = 0 % N_2 & Other gas = 78.4 %

Run no. 2	Size of coal < 150 μm	85 %
	Drying time of coal	4 hr.
	% Moisture of coal	5.3 %
	Flow rate of coal	11.4 kg/hr
	Air velocity	7.27 m/s

Time (min.)	Temperature (°C)	
-30	860	Preheat furnace
0	860	
2	820	
4	840	
6	900	
8	910	
10	950	
12	970	
14	980	
16	970	
18	995	
20	980	
22	1020	
24	1025	
25	1025	

Temperature of flue gas = 450 °C

CO_2 = 14.4 % O_2 = 9.7 %

CO = 0 % N_2 & Other gas = 75.9 %

Run no. 3	Size of coal < 150 μm	85 %
	Drying time of coal	6 hr
	% Moisture of coal	4.84 %
	Flow rate of coal	12.15 kg/hr
	Air velocity	7.3 m/s

Time (min.)	Temperature (°C)	
-26	860	Preheat furnace
0	900	
2	945	
4	960	
6	980	
8	980	
10	995	
12	960	
14	970	
16	980	
18	1000	
20	1020	

Temperature of flue gas = 320 °C

CO_2 = 12 % O_2 = 11.8 %

CO = 0 % N_2 & Other gas = 78.4 %

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความชื้นของถ่านหิน

FIG.1 TIME VS. TEMPERATURE

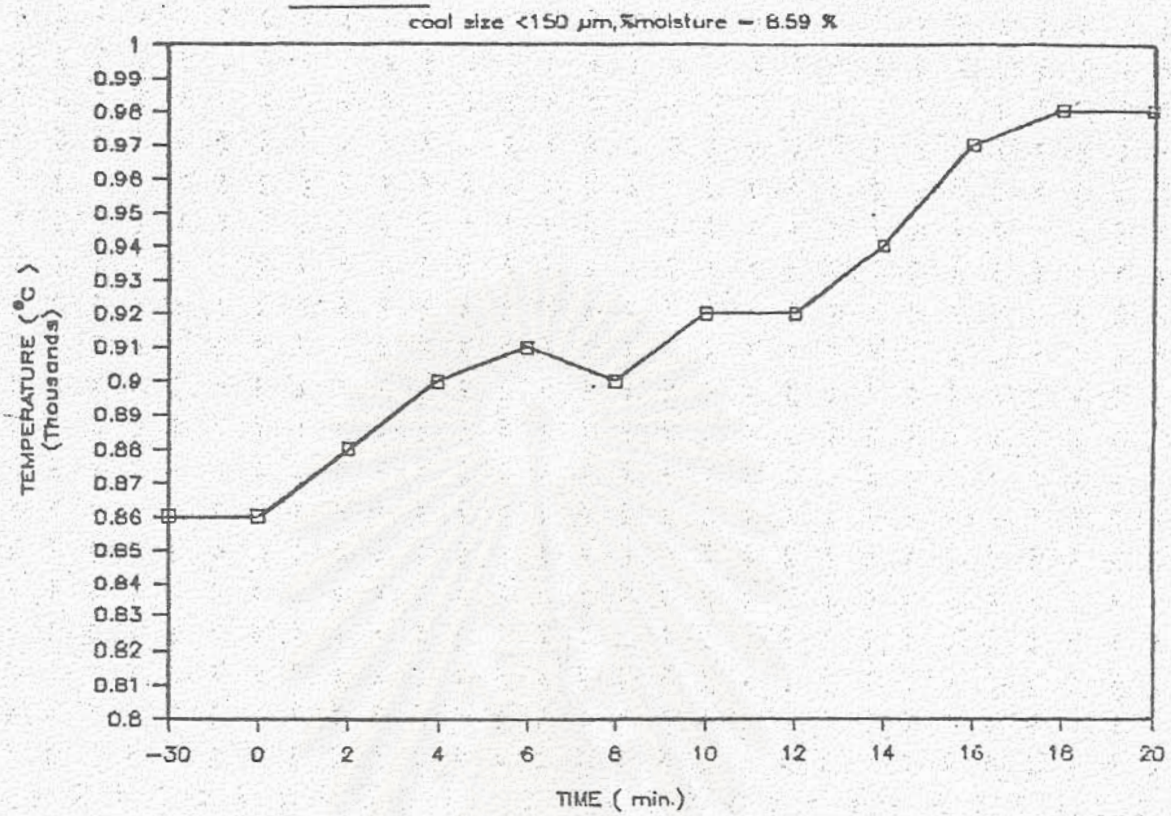


FIG.2 TIME VS. TEMPERATURE

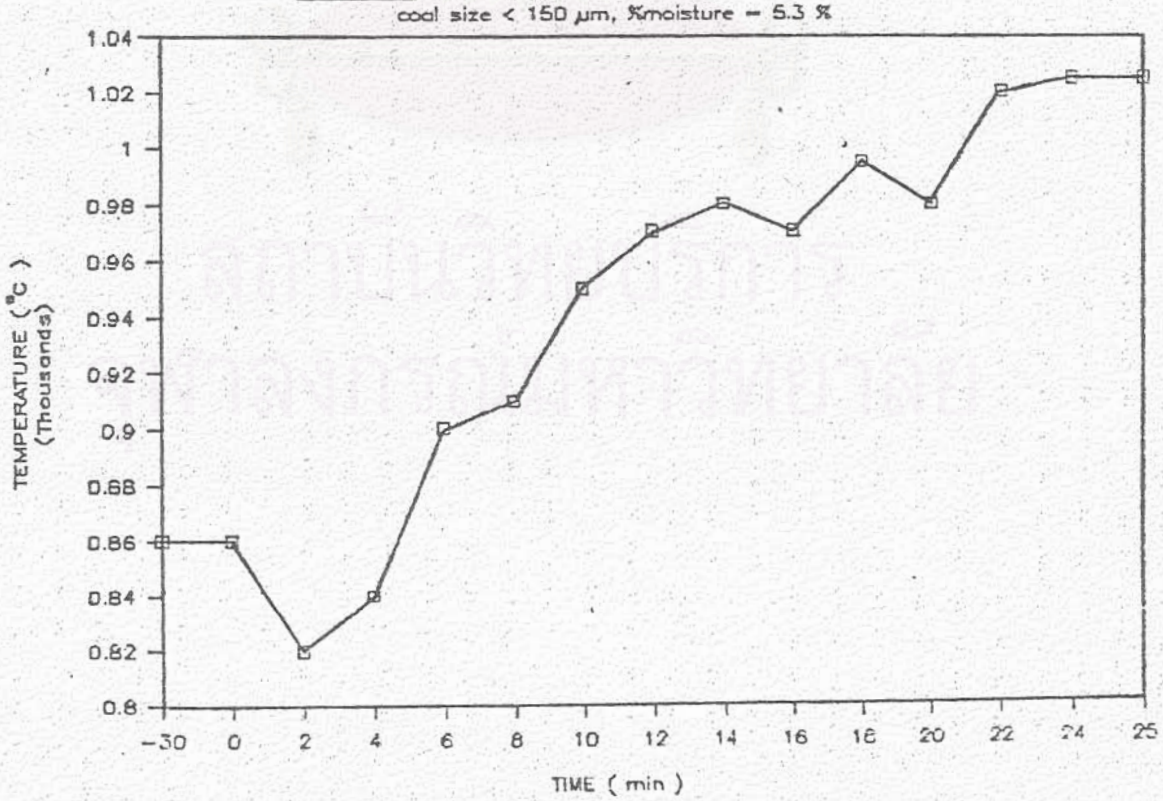
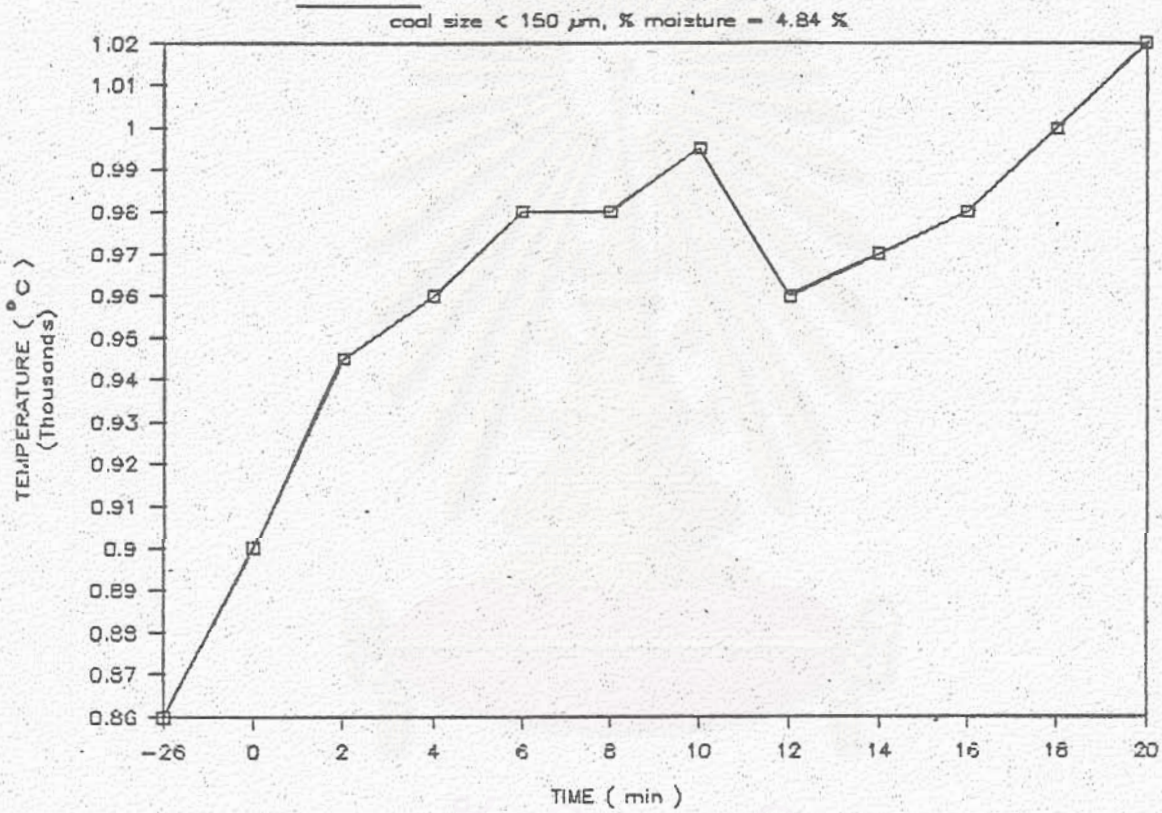


FIG.3 TIME VS. TEMPERATURE



RUN NO. 1

SUMMARY OF MATERIAL BALANCE

IN PUT	
COAL	100.00 Kg.
INCOMING DRY AIR	1115.52 Kg.
MOISTURE INCOMING AIR	24.01 Kg.
TOTAL	1239.53 Kg.

OUT PUT		
CINDER (ASH)	6.53 Kg.	
DRY FLUE GAS	1223.39 Kg.	
WATER VAPOR IN DRY FLUE GAS	74.36 Kg.	
TOTAL	1304.28 Kg.	% ERROR = 5.2

SUMMARY OF ENERGY BALANCE

IN PUT	M Cal.	PERCENT
1) GROSS HEATING VALUE OF COAL	569.40	100.00
TOTAL	569.40	

OUT PUT	M Cal.	PERCENT
1) SENSIBLE HEAT OF DRY FLUE GAS	83.65	14.69
2) ENTHALPY OF WATER VAPOR IN FLUE GAS	6.07	1.07
3) RADIATION	479.68	84.24
TOTAL	569.40	100.00

% EXCESS AIR = 129.47 %

RUN NO. 2

SUMMARY OF MATERIAL BALANCE

IN PUT	
COAL	100.00 Kg.
INCOMING DRY AIR	1056.48 Kg.
MOISTURE INCOMING AIR	24.01 Kg.
TOTAL	1180.49 Kg.

OUT PUT		
CINDER (ASH)	6.80 Kg.	
DRY FLUE GAS	1204.38 Kg.	
WATER VAPOR IN DRY FLUE GAS	72.60 Kg.	
TOTAL	1283.78 Kg.	% ERROR = 8.7

SUMMARY OF ENERGY BALANCE

IN PUT	M Cal.	PERCENT
1) GROSS HEATING VALUE OF COAL	569.40	100.00
TOTAL	569.40	

OUT PUT	M Cal.	PERCENT
1) SENSIBLE HEAT OF DRY FLUE GAS	122.64	21.54
2) ENTHALPY OF WATER VAPOR IN FLUE GAS	4.07	0.71
3) RADIATION	442.69	77.75
TOTAL	569.40	100.00

% EXCESS AIR = 82.85 %

RUN NO. 3

SUMMARY OF MATERIAL BALANCE

IN PUT	
COAL	100.00 Kg.
INCOMING DRY AIR	1278.57 Kg.
MOISTURE INCOMING AIR	24.01 Kg.
TOTAL	1402.58 Kg.

OUT PUT	
CINDER (ASH)	6.84 Kg.
DRY FLUE GAS	1438.05 Kg.
WATER VAPOR IN DRY FLUE GAS	72.14 Kg.
TOTAL	1517.03 Kg.

% ERROR = 8.1

SUMMARY OF ENERGY BALANCE

IN PUT	M Cal.	PERCENT
1) GROSS HEATING VALUE OF COAL	569.40	100.00
TOTAL	569.40	

OUT PUT	M Cal.	PERCENT
1) SENSIBLE HEAT OF DRY FLUE GAS	138.12	24.26
2) ENTHALPY OF WATER VAPOR IN FLUE GAS	3.67	0.64
3) RADIATION	427.61	75.10
TOTAL	569.40	100.00

% EXCESS AIR = 50.90 %

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1-3

ในการทดลองชุดนี้ใช้ถ่านหินขนาด < 150 μm. ประมาณ 85 % ขึ้นไป โดยตัวที่ศึกษาคือ ความชื้น

การทดลองครั้งแรกนั้น ใช้เวลาในการอุ่นเตาประมาณ 30 นาทีด้วยgas burner จนอุณหภูมิถึง 860°C ก็เริ่มพ่นผงถ่านหินที่อบ 2 ชม. ซึ่งมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 8.6 % เข้าสู่ furnace โดยขณะนั้นยังไม่ได้ดับ gas burner เพราะยังไม่แน่ใจว่า เมื่อดับ gas burner แล้ว ผงถ่านหินจะสามารถลุกไหม้ต่อไปได้หรือไม่ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 6นาที จึงเริ่มดับ gas burner ปรากฏว่าถ่านหินสามารถลุกไหม้ต่อไปได้ เปลวไฟไม่ดับ อุณหภูมิในเตาจุดที่ทำการวัดตกลงเล็กน้อย จากนั้นก็เริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆจนกระทั่งถ่านหินหมด เปลวไฟที่เกิดขึ้นยังไม่ต่อเนื่อง มีการย้อนกลับเป็นระยะ ๆ ทั้งนี้เพราะระบบการป้อนถ่านหินและการระบาย flue gas ไม่ดีพอ

ในการทดลองครั้งที่ 2 ทำการอบถ่านหินเป็นเวลานาน 4 ชม. ซึ่งจะมีความชื้นหลังการอบเหลืออยู่ 5.3 % การเผาไหม้ครั้งนี้เมื่ออุ่นเตาจนถึงอุณหภูมิสูงกว่า 800°C ก็ดับ gas burner แล้วพ่นถ่านหินด้วย coal burner ทันที ผลปรากฏว่าถ่านหินสามารถลุกติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อทดลองไปถึงนาทีที่ 20 ระบบป้อนถ่านหินติดขัด(เพราะผงถ่านติดผนัง bunker) จึงต้องเคาะ coal bunker ช่วยเป็นระยะ ๆเพื่อให้การป้อนถ่านหินเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เปลวไฟที่เกิดขึ้นดีกว่าการทดลองครั้งแรก การย้อนกลับของเปลวไฟน้อยลง ทั้งเป็นผลมาจากการทำความสะอาดภายในปล่อง ทำให้การระบาย flue gas ดีขึ้น

ส่วนการทดลองครั้งที่ 3 ทำการอบผงถ่านหินเป็นเวลา 6 ชม. เมื่อนำมาเผาไหม้พบว่าการลุกไหม้ของเปลวไฟดีมากและไปอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 แต่มีการย้อนกลับของเปลวไฟเล็กน้อยและระบบป้อนผงถ่านหินยังมีปัญหาเช่นเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 2

จากทั้งสามการทดลองทำให้เรามั่นใจว่า สามารถดับ gas burner ได้ เมื่ออุ่นเตาจนอุณหภูมิสูงกว่า 800°C และเมื่อพ่นผงถ่านหินจะทำให้ถ่านหินลุกติดไฟได้ทันที ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลอันเนื่องมาจาก

1). การดัดแปลงหัว coal burner ให้สามารถพ่นผงถ่านหินในลักษณะที่เป็น turbulent flow ซึ่งจะเป็นผลทำให้ผงถ่านหินกระจายตัวและเกิดการเผาไหม้ได้ดี

2). การอบถ่านหินเพื่อให้ความชื้นลดลง พบว่าผงถ่านหินที่อบเป็นเวลา 6 ชม. จะเผาไหม้ได้ดีกว่าถ่านหินที่อบเป็นเวลา 2 และ 4 ชม. ซึ่งสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของ

อุณหภูมิที่เร็วกว่า แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของเศรษฐศาสตร์และเวลาแล้ว ควรจะเลือกใช้เวลาในการอบผงถ่านหิน 2 ชม.ซึ่งมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 8 % ก็เพียงพอที่จะทำให้ถ่านหินลุกติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงเลือกใช้เวลาในการอบผงถ่านหินแค่ 2 ชม.

จากการวิเคราะห์ flue gas ที่เกิดจากการเผาไหม้ของผงถ่านหิน โดยวิธี Orsat Analysis ไม่พบกาซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น จึงพอสรุปได้ว่า การเผาไหม้ของถ่านหินบดละเอียดเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (complete combustion) หรืออาจเป็นเพราะกาซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมากจนวัดได้

Run No. 4		
Size of coal	250 - 500	µm.
Drying time of coal	2	hr.
% Moisture of coal	8.61	%

การทดลองครั้งนี้พบว่า แรงลมที่ใช้มีกำลังไม่พอที่จะผลักถ่านหินเข้าไปใน zoneที่ติดไฟของเตา ถ่านหินส่วนมากตกอยู่บริเวณส่วนหน้าของเตาห่างจากหัว burner ประมาณ 6 cm. จึงไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้

Run no. 5

Size of coal	150-250 μm
Drying time of coal	2 hr
% Moisture of coal	7.42 %
Flow rate of coal	12.69 kg/hr
Air velocity	7.3 m/s

Time (min.)	Temperature (°C)	
-20	900	Preheat furnace
0	890	
2	880	
4	920	
6	930	
8	940	
10	950	
12	960	Flue gas temp. = 374 °C
14	965	
16	975	
18	990	
20	1020	
22	1025	
24	1040	Temp. flue gas = 422 °C
26	1040	

CO_2 = 13.5 % O_2 = 8.4 %

CO = 0 % N_2 & Other gas = 78.1 %

Run no. 6		
	Size of coal	75-150 μm
	Drying time of coal	2 hr
	% Moisture of coal	5.89 %
	Flow rate of coal	12.86 kg/hr
	Air velocity	7.3 m/s

Time (min.)	Temperature (^{o}C)	
-30	910	Preheat furnace
0	900	
2	840	
4	860	
6	880	
8	890	
10	910	
12	920	
14	940	

Temperature of flue gas = 315 ^{o}C

CO_2 = 13.5 % O_2 = 12.4 %

CO = 0 % N_2 & Other gas = 74.1 %

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ขนาดของถ่านหิน

FIG.5 TIME VS. TEMPERATURE

coal size 150–250 μm. %moisture=7.42%

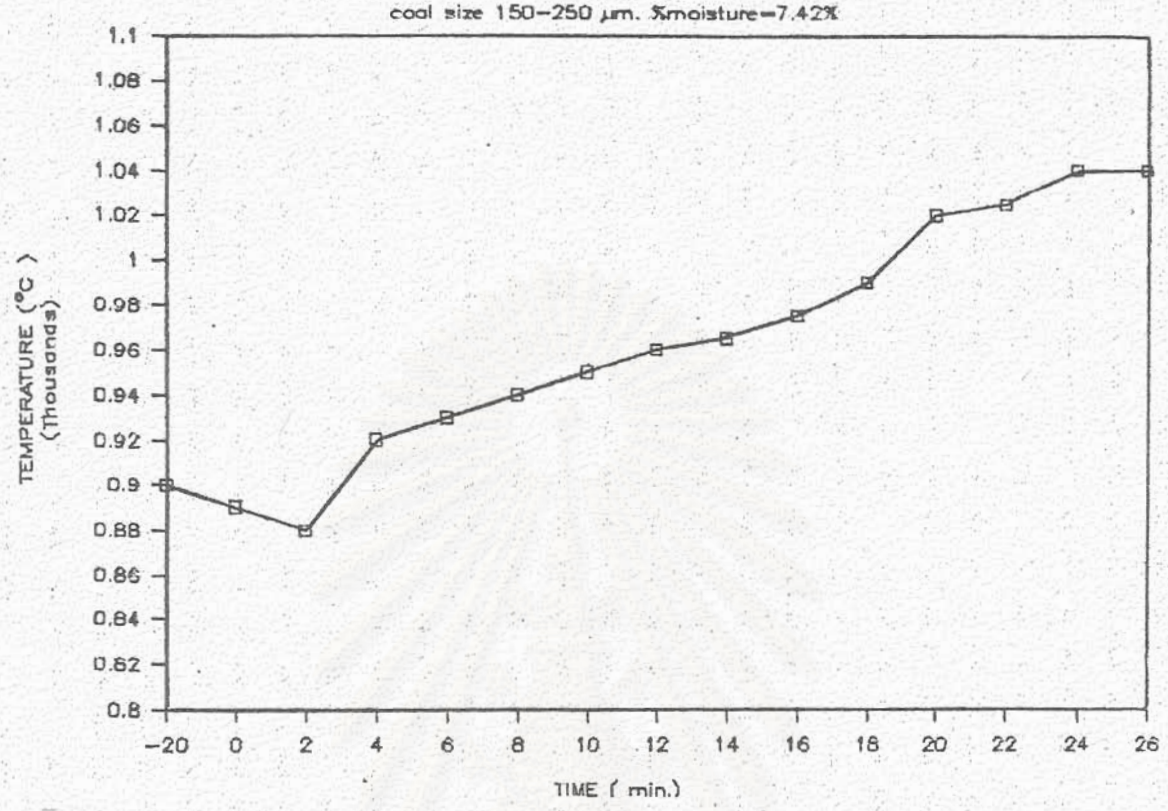
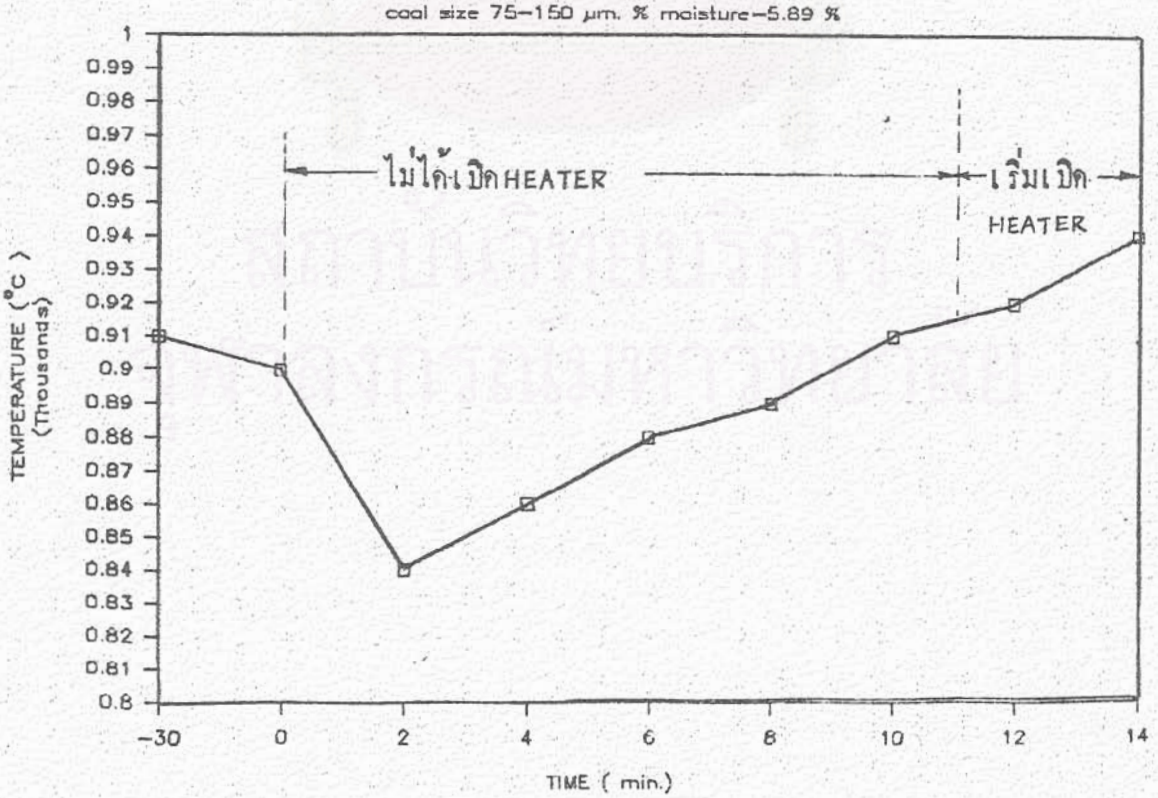


FIG.6 TIME VS. TEMPERATURE

coal size 75–150 μm. % moisture=5.89 %



RUN NO. 5

SUMMARY OF MATERIAL BALANCE

IN PUT	
COAL	100.00 Kg.
INCOMING DRY AIR	1133.70 Kg.
MOISTURE INCOMING AIR	24.01 Kg.
TOTAL	1257.71 Kg.

OUT PUT	
CINDER (ASH)	6.75 Kg.
DRY FLUE GAS	1248.20 Kg.
WATER VAPOR IN DRY FLUE GAS	73.73 Kg.
TOTAL	1328.68 Kg.

% ERROR = 5.64

SUMMARY OF ENERGY BALANCE

IN PUT	M Cal.	PERCENT
1) GROSS HEATING VALUE OF COAL	569.40	100.00
TOTAL	569.40	

OUT PUT	M Cal.	PERCENT
1) SENSIBLE HEAT OF DRY FLUE GAS	117.43	20.62
2) ENTHALPY OF WATER VAPOR IN FLUE GAS	5.59	0.98
3) RADIATION	446.38	78.39
TOTAL	569.40	100.00

% EXCESS AIR = 117.54 %

RUN NO. 6

SUMMARY OF MATERIAL BALANCE

IN PUT

COAL	100.00 Kg.
INCOMING DRY AIR	1093.33 Kg.
MOISTURE INCOMING AIR	24.01 Kg.
TOTAL	1217.34 Kg.

OUT PUT

CINDER (ASH)	6.75 Kg.
DRY FLUE GAS	1275.01 Kg.
WATER VAPOR IN DRY FLUE GAS	72.92 Kg.
TOTAL	1354.68 Kg. % ERROR = 11.28

SUMMARY OF ENERGY BALANCE

IN PUT	M Cal.	PERCENT
1) GROSS HEATING VALUE OF COAL	569.40	100.00
TOTAL	569.40	

OUT PUT	M Cal.	PERCENT
1) SENSIBLE HEAT OF DRY FLUE GAS	88.15	15.48
2) ENTHALPY OF WATER VAPOR IN FLUE GAS	4.15	0.73
3) RADIATION	477.10	83.79
TOTAL	569.40	100.00

% EXCESS AIR = 39.86 %

<u>สรุปผลการทดลองครั้งที่ 4-6</u>

การทดลองชุดนี้เป็นการศึกษาถึงขนาดของผงถ่านหินว่ามีผลต่อการเผาไหม้อย่างไร โดยแยกขนาดของถ่านหินเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดระหว่าง 250-500 μm, 150-250 μm และ75-150 μm แล้วนำไปอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การทดลองครั้งที่4 ใช้ขนาดของถ่านหิน ,250-500 μm. เมื่ออุ่นเตาจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 860°C แล้วจึงพ่นผงถ่านหินเข้าไปในเตา ปรากฏว่าแรงลมมีกำลังไม่พอที่จะพัดผงถ่านหินเข้าไปในบริเวณที่มีการลุกติดไฟของเตาได้ ผงถ่านหินส่วนใหญ่จะตกอยู่บริเวณห่างจากหัว Burner ประมาณ 6 cm. เนื่องจากถ่านหินมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงเรื่อยๆจึงไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้

การทดลองครั้งที่5 ใช้ขนาดของถ่านหิน 150-250 μm. ผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ผงถ่านหินถูกพ่นเข้าสู่เตาได้อย่างต่อเนื่อง(เห็นเป็นลำถ่านสีดำ) ผงถ่านลุกติดไฟได้ดี ให้เปลวไฟอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิในเตาสูงขึ้นเรื่อยๆจนคงที่ที่ 1040°C ไม่มีการย้อนกลับของเปลวไฟ

การทดลองครั้งที่6 ใช้ขนาดของถ่าน 75-150 μm พบว่าในช่วง 10 นาทีแรกของการเดินเครื่องป้อนถ่านหินไม่ได้เปิด heater ของเครื่องป้อนถ่านหิน ผงถ่านหินถูกพ่นเข้าเตาเห็นเป็นลำสีดำและลุกติดไฟ ให้เปลวไฟอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการย้อนกลับของเปลวไฟ อุณหภูมิในเตาสูงเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก ต่อมาจึงได้เปิด heater ทำให้อุณหภูมิในเตาสูงขึ้นเร็วขึ้น แต่ปริมาณถ่านหินที่ใช้มีน้อย เมื่อผงถ่านหินใน bunker หมดจึงไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้

ในการทดลองชุดนี้พอจะสรุปได้ว่า

1. ถ่านหินยิ่งมีขนาดเล็กเท่าใดการเผาไหม้ก็ยิ่งดีขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีควรมีขนาดต่ำกว่า 75 μm. แต่ในสภาวะการทดลองนี้การบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กดังกล่าวใช้เวลานานมากและการคัดขนาดให้ปริมาณมากพอที่จะใช้เผาไหม้ก็สิ้นเปลืองเวลามากเช่นกัน ทั้งนี้เพราะถูกจำกัดในด้านเครื่องมือ ดังนั้นขนาดของถ่านหินที่เหมาะสมควรมีขนาดต่ำกว่า 250 μm.ลงไป

2. ผงถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า เมื่อผ่านการอบแล้วจะมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่าผงถ่านหินขนาดใหญ่ โดยใช้เวลาในการอบเท่ากัน

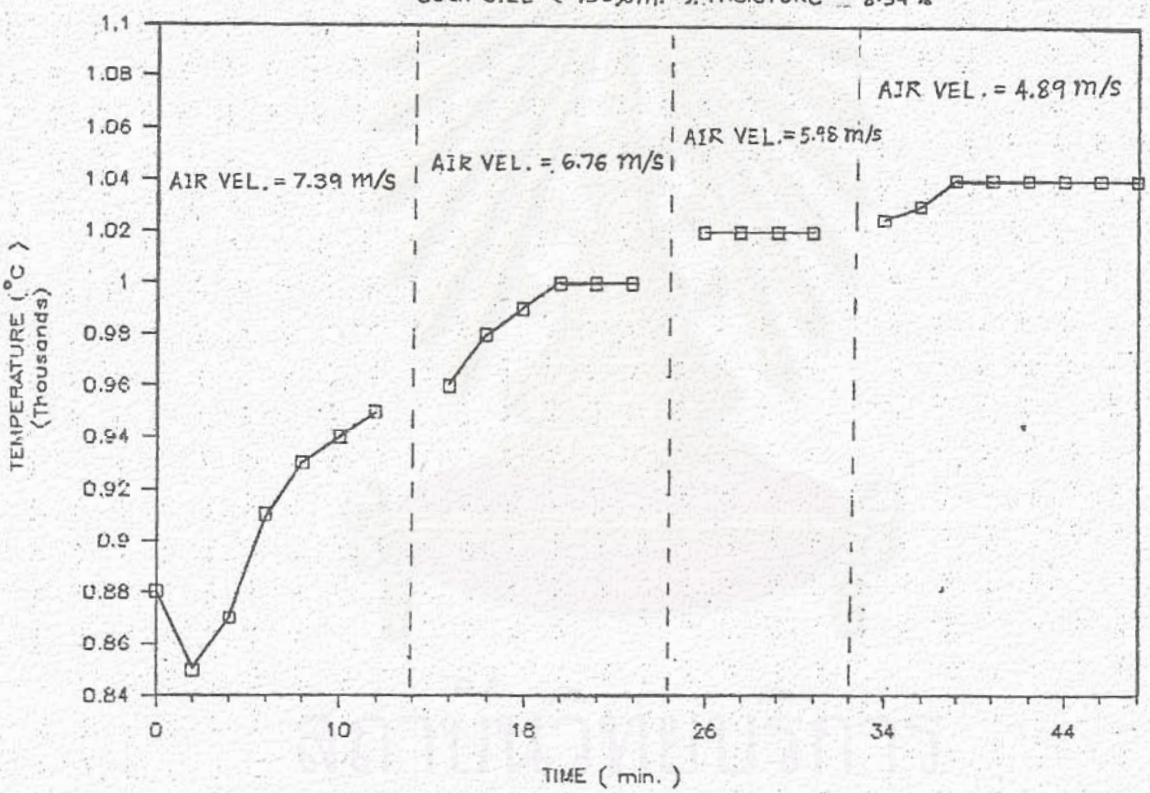
3. จากการปรับปรุงเครื่องป้อนผงถ่านหิน ทำให้ผงถ่านหินพ่นเข้าสู่เตาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเคาะผนัง coal bunker ช่วย

Run no. 7	Size of coal < 150 μm	85 %
	Drying time of coal	2 hr
	% Moisture of coal	8.54 %
	Flow rate of coal	12.86 kg/hr

Time (min.)	Temperature (°C)	
0	880	Air vel. = 7.39 m/s
2	850	CO_2= 13 % CO = 0 %
4	870	O_2= 4 %
6	910	
8	930	
10	940	Flue gas temp. = 362 °C
12	950	Flue gas temp. = 375 °C
14	960	Air vel. = 6.76 m/s
16	980	Flue gas temp. = 386 °C
18	990	CO_2= 5 % , CO = 0 %
20	1000	O_2= 12.35 %
22	1000	
24	1000	Flue gas temp. = 400°C
26	1020	Air vel. = 5.98 m/s
28	1020	Flue gas temp. = 410 °C
30	1020	CO_2= 11.5 % , CO = 0 %
32	1020	O_2= 3.5 %
34	1025	Air vel. = 4.89 m/s
36	1030	
38	1040	Flue gas temp. = 430 °C
40	1040	CO_2= 13 % , CO = 0 %
42	1040	O_2= 10.2 %
44	1040	
46	1040	Flue gas temp. = 478 °C
48	1040	

FIG.7 TIME VS. TEMPERATURE

coal size < 150 μm. % moisture = 8.54 %



สรุปผลการทดลองครั้งที่ 7

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาอัตราเร็วของที่ใช้พ่นผงถ่านหินซึ่งมีอัตราการป้อนถ่านหินประมาณ 13 kg. โดยเริ่มต้นจากอัตราเร็วของลมสูงสุดของ blower คือ 7.4 m/s แล้วค่อย ๆแปรค่าอัตราเร็วของลมให้น้อยลงจนกระทั่งถึงค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ทำให้ผงถ่านหินถูกพ่นเข้าสู่เตาแล้วลุกไหม้อย่างต่อเนื่องได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 4.9 m/s การเผาไหม้ครั้งนี้ให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 1040°C

จากผลการทดลองพอจะบอกได้ว่า อัตราเร็วของลมที่ใช้พ่นผงถ่านหินจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการป้อนถ่านหิน และถ่านหินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดต่ำกว่า 150 μm. มากกว่า 85 % ขึ้นไป ซึ่งเป็นขนาดเล็กพอที่จะลุกติดไฟได้ โดยใช้เวลาในการบดด้วย ball mill ประมาณ 1 ช.ม.

ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากปล่องมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้การระบายของ flue gas ไม่ดี ควรมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ปล่อง เพื่อช่วยในการระบาย flue gas ออกได้ทัน
2) ควรมีเครื่องบดแบบ ball mill ขนาดใหญ่ไว้ประจำโครงการ เพื่อประหยัดเวลาในการบด
3) Screw feeder ควรมีขนาดใหญ่กว่าที่เป็นอยู่ และควรจะสามารถปรับอัตราการป้อนถ่านหินได้มากกว่าเดิม
4) ควรจะติดตั้งวาล์วระหว่างท่อทางลงของผงถ่านหินกับท่อพ่นถ่านหิน เพื่อป้องกันการอุดตันของท่อพ่นถ่านหินในช่วงเริ่มพ่น
5) Blower ควรจะเปลี่ยนให้มีกำลังมากกว่าเดิม เพื่อจะได้สัมพันธ์กับอัตราการป้อนถ่านหินที่เพิ่มขึ้น
6) ควรมีการศึกษาดูการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง 2-3 ชม. เพื่อดูความเป็นไปได้ในการที่จะนำไปใช้งานจริง ๆ
7) ควรมีเครื่องมือตับเพลิงไว้ประจำโครงการ

ภาคผนวก

- ตัวอย่างการคำนวณ Ultimated analysis[5]
  Material and energy balance
- เอกสารอ้างอิง

(5) REFERENCE 5

Proximate analysis		Corrected proximate analysis	
moisture	17.83 %		= 5.30 %
ash	6.62 %	= 6.62/82.17(100-5.3)	= 7.63 %
volatile matter	47.65 %	= 47.65/82.17(100-5.3)	= 54.92 %
fixed carbon	27.90 %	= 27.90/82.17(100-5.3)	= 32.15 %
total	100.00 %	total	= 100.00 %
sulfur	2.22 %		

combustible matter = VM + FC = 54.92 + 32.15 = 87.07

Vc = VM / (VM + FC) = 54.92/ 87.07 = 0.6308 = 63.1 %

Fc = FC / (VM + FC) = 32.15/ 87.07 = 0.3692 = 36.9 %

Hc = Vc(7.35/(Vc+10)-0.013) = 63.1(7.35/(63.1+10)-0.013) = 5.52 %

Cc = Fc+0.9(Vc-18) = 36.9+0.9(63.1-18) = 77.49 %

Nc = 2.10-0.012Vc = 2.10 - 0.012 (63.1) = 1.34 %

H = (5.52)(0.8707) = 4.81 %

C = (77.49)(0.8707) = 67.47 %

N = (1.34)(0.8707) = 1.17 %

% Corrected ash = 7.63 - (3/8)(%S) = 7.63-(3/8)(2.22) = 6.80 %

O (By difference) = 100 - (5.3+6.8+2.22+4.81+67.67+1.17) = 12.23 %

Ultimate Analysis

Moisture	5.30 %
Ash (correct)	6.80 %
Carbon	67.47 %
Total Hydrogen	4.81 %
Sulfur	2.22 %
Nitrogen	1.17 %
Oxygen	12.22 %
Total	100.00 %

RUN NO. 2		
Lignite Feed	=	11.4 Kg/hr.
Gross heating value	=	5693.5 cal/gm
Moisture	=	5.30 %
Ash	=	6.80 %
C	=	67.47 %
H	=	4.81 %
O	=	12.23 %
N	=	1.17 %
S	=	2.22 %
Total		100 %

Flue gas

Analysis, Volume %

Dry Basis

CO_2 = 14.4 %

O_2 = 9.7 %

CO = 0.0 %

N_2 = 75.9 %

Temperature = 450 °C

= 842 °F

Incoming Air (assume)

Temp.= 32°C = 89.6°F

Wet bulb temp.= 27°C

Pressure = 760 mm.Hg

Basis 100 Kg. coal as fired

Material Balance

1) **Weight of cinder**

Assume - NO fly ash

- Cinder no combustible carbon

Weight of cinder = Weight of ash = $\frac{6.80 \text{ Kg ash}}{100 \text{ Kg ash}} \left| \frac{}{100 \text{ Kg cinder}}\right.$

= 6.80 Kg of cinder

2) **Weight of dry flue gas**

Assume - Loss of carbon in smoke and cinder is neligible

Carbon Balance

C in flue gas = c in coal - c in cinder

= 67.47 Kg.

= 67.47/12 = 5.62 Kg.mole

$$\frac{5.62 \text{ Kg.mole C}}{1 \text{ Kg.mole C}} \left| \frac{1 \text{ Kg.mole } CO_2}{14.4 \text{ Kg.mole } CO_2} \right| \frac{100 \text{ Kg.mole of dry flue gas}}{}$$

= 39.05 Kg.mole dry flue gas

Total dry gases

CO_2 = (39.05)(0.144) = 5.62 Kg.mole = 247.28 Kg.

O_2 = (39.05)(0.097) = 3.79 Kg.mole = 121.28 Kg.

N_2 = (39.05)(0.759) = 29.64 Kg.mole = 835.82 Kg.

CO = 0 Kg.

Total = 1204.38 Kg.

SO_2 in the stack gas is neligible

3) Weight of air supplied

Assume - Nitrogen content of the cinder is neligible

Nitrogen balance

N_2 in coming air = N_2 in flue gas - N_2 incoal

= 835.83 Kg. -1.2 Kg.

= 834.62 Kg. | 1 Kg. mole / 28.2 Kg.

= 29.6 Kg.mole

O_2 in coming air = 834.62 Kg. N_2 | 21.0 Kg.O_2 / 79.0 Kg.N_2

= 221.86 Kg. | 1 Kg.mole / 32 Kg. = 6.93 Kg.mole

Total dry air = 834.62 + 221.86 = 1056.48 Kg.

From humidity chart Fig.5.3 Stoich 1 ,H = 0.0220 lb H_2O/ lb dry air

H_2O in incoming air = (0.0220 lb H_2O/ lb dry air)(1091.33 Kg.dry air)

= 24.01 Kg.

4) Weight of water vapor in flue gas

H_2O incoming air		=	24.01 Kg.
Moisture in coal		=	5.30 Kg.
Combustion water = 4.81 Kg.H_2	18.0 Kg.H_2O / 2.0 Kg.H_2	=	43.29 Kg.
	Total	=	72.60 Kg.
		=	4.03 Kgmole

Summary of material balance

Input		Output	
Coal	100 Kg.	Cinder(ash)	6.8 Kg.
Incoming dry air	1056.48 Kg.	Dry flue gas	1204.38 Kg.
Moisture in coming air	24 Kg.	Water vapor in flue gas	72.60 Kg.
Total	1180.48 Kg.	Total	1283.78 Kg.

5) Percent excess air

Total oxygen supplied = 6.93 Kgmole

O_2 in excess = 3.79 - 1/2(mole of CO) = 3.79 Kgmole

O_2 actually consumed = 6.93 - 3.79 = 3.14 Kgmole

% Excess air = 3.14/3.79*100 = 82.85 %

Energy balance

Heat input = 100 Kg.* 5693.5 Cal/gm.*1000 = $569.4 * 10^6$ Cal.

= 569.4 Mcal.

Heat output

1) Sensible heat of dry flue gas

$$5.26 \text{ Kgmole } CO_2 \left| \frac{9.9 \text{ Cal.}}{\text{gmole}^\circ\text{C}} \right| (450 - 32\ ^\circ\text{C}) \left| \frac{1000 \text{ gmole}}{1 \text{ Kgmole}} \right. = 23.26 \text{ Mcal.}$$

$$3.79 \text{ Kgmole } O_2 \left| \frac{7.2 \text{ Cal.}}{\text{gmole}^\circ\text{C}} \right| (450 - 32\ ^\circ\text{C}) \left| \frac{1000 \text{ gmole}}{1 \text{ Kgmole}} \right. = 11.14 \text{ Mcal.}$$

$$29.64 \text{ Kgmole } N_2 \left| \frac{7.1 \text{ Cal.}}{\text{gmole}^\circ\text{C}} \right| (450 - 32\ ^\circ\text{C}) \left| \frac{1000 \text{ gmole}}{1 \text{ Kgmole}} \right. = 87.97 \text{ Mcal.}$$

2) Enthalpy of water vapor in stack gas

Heat of vaporization of water at 89.6 = 1042 Btu/lb

Cp avg. from 98.6 °F - 842 °F = 8.2 Btu/lbmole °F

$$530 \text{ Kg.} \left[1042 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} + 1 \text{ lbmole} \left| \frac{8.2 \text{ Btu}}{(\text{lbmole})(^\circ\text{F})} \right| (842 - 89.6)^\circ\text{F} \right] \left| \frac{2.2 \text{ lb.}}{1 \text{ Kg.}} \right.$$

$$= \frac{}{18.0 \text{ lb.}}$$

= 161464.3 Btu

= $4.07 * 10^6$ Cal

3) Heat loss by radiation and unaccounted

= $569.4 * 10^6$ - (23.26 + 11.41 + 87.97 + 4.07) * 10^6 Cal.

= $442.69 * 10^6$ Cal.

= 442.69 Mcal.

Input	Mcal.	Percent
1) Gross heating value of coal	569.4	100.00
Total	569.4	

Output	Mcal.	Percent
1) Sensible heat dry flue gas	122.64	21.54
2) Enthalpy of water vapor in flue gas	4.07	0.71
3) Radiation	442.69	77.75
Total	569.40	100.00

เอกสารอ้างอิง

1) E.W. School, Dortmund - Derne, " Burning and Explosion Behavior of Pulverized Coal " , Translation ZKG No.5/81., pp.243-246.

2) K. Kuhlmann, Wetzlar, "Operating Experience with a Pulverized Feul Feed System based on the Pipe Line Differential Pressure Method ",Translation ZKG No.5/81., pp.251-254.

3) Peter T.Luckie and G.Austin, "Coal Grinding Technology",Kennedy Van saun corporation Danville, PA. 17821 USA. 1782, pp.1-91.

4) บุญยศักดิ์ ใจจงกิจ " เครื่องกลขนถ่ายระบบขนถ่ายต่อเนื่อง " , สำนักพิมพ์โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขต พระนครเหนือ พิมพ์ครั้งที่ 1 หน้า 5-23

5) ทัญจนา บุณยเกียรติ " การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี เล่ม 2 " โรงพิมพ์จุฬา ฯ พ.ศ.2523 พิมพ์ครั้งที่ 2 หน้า 9.84-9.92,9.113-9.118