

10/10/25 10/10

10

# รายงานวิจัย



เรื่อง

## การเตรียมถ่านหินสะอาด (Clean Coal Preparation)

๙๐ โดย

๑๐๐ ๐๗

ผศ.ดร.เล็ก สีคง

๑๕๐ ๙๗

ค.ศ. ๒๕๓๖ ๙๗ ๑๐๐

๑๑๐

๓๗๐

๑๖

เลขที่: TN2๙๘๕ คพ๒ ๒๕๓๖ ค. ๑
เลขที่: ๑๑๐
๑๙ ก.ย. ๒๕๓๖

Order Key.....
BIB Key.....

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการวิจัย คือ การลดปริมาณแฉะ และซัลเฟอร์ในถ่านหินในประเทศไทยด้วยวิธีแต่งถ่านหินขนาดหยาบ และขนาดละเอียด การศึกษาประกอบด้วยการศึกษาสมบัติของถ่านหินแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย ศึกษาการบดถ่านหิน การศึกษาสมบัติการล้างถ่านหิน (Coal Washability Characteristics) ทดลองแต่งถ่านหินขนาดหยาบด้วยจิกและโตะสั้น และการทดลองแต่งถ่านหินขนาดละเอียดด้วยวิธีลอยแร่และวิธีก่อกลุ่มตกตะกอน (Flocculation)

ผลการศึกษาและการทดลองที่รายงานในเอกสารฉบับนี้ แสดงให้เห็นว่าถ่านหินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีคุณภาพชั้นลิกไนต์เป็นส่วนใหญ่ และมีซัลเฟอร์มีนํ้าบางเล็กน้อย จากแหล่งเหล่านี้อาจมีดินเหนียวหรือหินดินดานปนเปื้อนในขั้นตอนการผลิต จึงควรมีการล้างถ่านลิกไนต์ในขณะที่มีขนาดเป็นก้อนใหญ่ หรือให้มีการล้างถ่านลิกไนต์ให้มากที่สุดก่อนที่จะมีการย่อยขนาดให้เล็กลง หรืออาจมีการย่อยหยาบแล้วล้าง จะเป็นวิธีประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการบดให้ละเอียดแล้วค่อยล้างทีหลัง เพราะนอกจากล้างยากแล้วจะทำให้ลิกไนต์สูญเสียไปได้มาก การล้างถ่านหินที่มีขนาดหยาบอาจใช้จิกหรือวิธีอาศัยขมิ้นหมัก สำหรับถ่านหินละเอียดที่เกิดจากกระบวนการอาจแต่งด้วยวิธีก่อกลุ่มตกตะกอน ที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจในการลดแฉะลงได้มาก อย่างไรก็ตามจากการวิจัยครั้งนี้ไม่อาจสรุปได้ว่าปริมาณซัลเฟอร์ที่ปนอยู่ในเนื้อถ่านถูกลดลงไปมากน้อยเพียงใด ด้วยวิธีการนี้เมื่อถ่านหินถูกเตรียมไว้นาน ผิวจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และทำให้การแต่งถ่านหินด้วยวิธีลอยแร่ยากขึ้น จะเห็นว่าผลที่ได้จากการศึกษาไม่สามารถลดซัลเฟอร์ได้อย่างเป็นนัยสำคัญด้วยวิธีลอยแร่ อย่างไรก็ตามวิธีการลอยแร่เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายในการแยกไฟโรต์ออกจากถ่านหิน แต่ควรเป็นถ่านหินที่เตรียมใหม่ๆ วิธีการหนึ่งเพื่อกำจัดซัลเฟอร์ในถ่านหิน คือ กรรมวิธีทางเคมีด้วยการใช้แคลเซียมออกไซด์ มีวิธีการหนึ่งที่น่าจะเป็นแนวทางเลือกสุดท้ายในการแยกไฟโรต์ขนาดละเอียด โดยทำให้ละลายด้วยแบคทีเรียเมื่อใช้กระบวนการอื่นไม่ได้ผล

## Abstract

The purpose of this research is to remove ash and inorganic sulfur (pyrite) from Thai coals by means of coarse coal preparation and fine coal preparation. The investigation consists of the study of coal properties, comminution of coal, coal washability characteristics, coarse coal beneficiation by using jigs and shaking tables and fine coal beneficiation by flotation and flocculation methods.

From the investigation reported herewith showed the most of coals in Thailand rank as lignite and the few deposits are subbituminous coals. Clays and shale are the major impurities and sulfur content varies from 0.3-6.0 % . These lignites should be washed at size as large as possible in stead of crushing to small size and then washing because of less production cost and it is difficult to wash fine coal. In coarse coal process, jigs or shaking tables or heavy media separation methods is introduced to remove impurities while flotation or flocculation methods may be applied for treating fine coals.

It is found from the result that this study could not concluded that amount of sulfur is reduced by flotation or flocculation methods. The coals which were crushed to small size and leave for along time before floating, it causes oxidation on the coal particles surfaces and leads to the decrease of floatability of coals.

It is also apparent that flocculation method can be introduced for removing ash and/or sulfur from fine coal. There are other methods to reduce sulfur from coal such as chemical process which calcium oxide is introduced to react with sulfuric minerals in coal and the dissovation of metal sulfides in coal by bacteria. The later method is introduced in the case of metallic sulfides are very fine grain and this method is needed the further detail study.

# สารบัญ

	<b>หน้า</b>
บทคัดย่อ	(12)
Abstract	(13)
บทที่ 1 : บทนำ	
1.1 ความสำคัญของถ่านลิกไนต์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ระยะเวลาที่ทำวิจัย	4
1.6 งบประมาณ	4
1.7 แผนดำเนินงาน	5
1.8 สถานที่ทำการวิจัย	5
บทที่ 2 : ความรู้เกี่ยวกับถ่านหิน	
2.1 การกำเนิดถ่านหิน	6
2.2 การจำแนกถ่านหิน	9
2.3 สมบัติทางเคมีของถ่านหิน	14
2.4 แหล่งสำรองถ่านหิน	18
2.5 การทำเหมืองถ่านหิน	21
2.6 การแต่งถ่านหิน	23
2.7 การใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรม	53
2.8 การค้าถ่านหินโลก	63
บทที่ 3 : การวิจัย	
3.1 การวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของถ่านลิกไนต์	67
3.2 การศึกษาการลดขนาดและการบดลิกไนต์	72
3.3 การศึกษา Washability Characteristics of Coal ในประเทศไทย	73
3.4 การวิจัยการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ	75
3.5 การวิจัยการแต่งถ่านหินด้วยวิธีการลอยถ่านหิน	79
3.6 การวิจัยการแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation	86

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 : ผลการวิจัยและการวิจารณ์	
4.1 ผลการวิจัยสมบัติต่างๆ ของถ่านหิน	90
4.2 ผลการวิจัยการบดถ่านหิน	98
4.3 การศึกษา Coal Washability	109
4.4 ผลการวิจัยการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ	138
4.5 ผลการวิจัยแต่งถ่านหินขนาดละเอียด	161
บทที่ 5 : บทสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	196
เอกสารอ้างอิง	198
กิตติกรรมประกาศ	201
ภาคผนวก	202

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ภาพจำลองการเกิดถ่านหิน	8
รูปที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบการตั้งชื่อถ่านหินที่ใช้ในประเทศต่างๆ	10
รูปที่ 2.3	การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารองค์ประกอบในกระบวนการ coalification (เปอร์เซ็นต์รายงานบนฐาน moisture, ash and sulfur - free basis)	12
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างวงจรล้างถ่านหินบางส่วน เนื่องจากมีปริมาณเถ้าของแหล่งใกล้เคียงกับข้อกำหนด	24
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ของเครื่องมือล้างถ่านหินกับขนาดถ่านหินป้อน	25
รูปที่ 2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะที่แยกแล้วได้ผลด้วยเครื่องมือต่างๆ	25
รูปที่ 2.7	แสดงกระบวนการแต่งถ่านหินขนาดหยาบด้วยวิธีใช้สารมัชฌิมหนัก	27
รูปที่ 2.8	WEMCO drum separator	28
รูปที่ 2.9	LARCODEMS separator flow pattern	29
รูปที่ 2.10	แสดงภาพตัดขวาง Dense-medium cyclone และรูปแบบการไหล	29
รูปที่ 2.11	ภาพจำลอง Dynawhirlpool vessel	30
รูปที่ 2.12	แสดงลักษณะของโต๊ะสั่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของลิกไนต์และมลทิน	32
รูปที่ 2.13	แสดงการกระจายตัวของถ่านลิกไนต์และมลทิน	33
รูปที่ 2.14	แสดงไขเกลือของจิกอย่างง่าย	36
รูปที่ 2.15	แสดงส่วนประกอบของ JIG	37
รูปที่ 2.16	แสดงการกระจายตัวของ Particle ภายใน JIG	39
รูปที่ 2.17	แสดงภาพตัดขวาง Jeffrey fine coal jig	40
รูปที่ 2.18	แสดงภาพจำลอง และ air valve ของ Batac jig	41
รูปที่ 2.19	แสดงกระบวนการแต่งถ่านหินด้วย Batac jig ที่ Greenwich Collieries	42
รูปที่ 2.20	ก. ค่าความไม่เปียกน้ำ (contact angle) ของถ่านชนิดต่างๆ ข. ค่าความไม่เปียกน้ำ (contact angle) ของถ่านหินเทียบกับค่า Vitrinite reflectance	44
รูปที่ 2.21	ค่า zeta potential และ PZC ของถ่านหินหลายชั้นคุณภาพ	46
รูปที่ 2.22	แสดง Floataire column flotation cell	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.23	แสดงวงจรการลอยถ่านหินโดยทั่วๆ ไป	48
รูปที่ 2.24	แสดงขั้นตอนการเลือกจับของสารก่อตะกอน	53
รูปที่ 2.25	กราฟแสดง Oil and Coal Prices Period 1978-1985	63
รูปที่ 2.26	กราฟแสดง FOB Prices of Export Australian Coal to Japanese Utilities and Steel Mills, Period 1979-1994	65
รูปที่ 3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI (Measure) กับ HGI (actual)	71
รูปที่ 3.2	แสดงขั้นตอนต่างๆ ในการทดลอง	85
รูปที่ 3.3	แผนผังการเตรียมตัวอย่าง	87
รูปที่ 4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับค่าปริมาณสารระเหยและไฮโดรเจนของลิกไนต์ไทย	93
รูปที่ 4.2	แสดงผลของสารอินทรีย์ในถ่านหินต่อค่า HGI	95
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง (VHN) กับค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านหินไทย	96
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับค่าความร้อนของถ่านหินไทย	96
รูปที่ 4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านหินกับปริมาณเถ้า	97
รูปที่ 4.6	แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินหลังการบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์เมือ gape 16 มม.	99
รูปที่ 4.7	แสดงผลของ gape ต่อความละเอียดในการบดถ่านหิน	101
รูปที่ 4.8	แสดงผลการบดถ่านหิน Daiyon ขนาด 48x100 เมช ด้วยสภาวะที่ดีที่สุดในการบดที่ 4.5 และ 4.6	106
รูปที่ 4.9	แสดงผลของการบดถ่านหิน Yarabee ขนาด 48x100 เมช ด้วยสภาวะที่ดีที่สุดในการบดที่ 4.5 และ 4.6	107
รูปที่ 4.10	แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน Yarabee เมื่อถูกบดด้วยเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์ ที่สภาวะที่ดีที่สุด ตามตารางที่ 4.6 เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อใช้สาร DN 1%	108
รูปที่ 4.11	แสดงแผนผังกระบวนการแต่งถ่านลิกไนต์สะอาด	160
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคลือบผิวกับ % yield ที่ pH 7-11	168

## สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคลือบผิวกับค่าความร้อนของส่วนที่ลอย ที่ pH 7-11	169
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคลือบผิวกับ % เถ้าของส่วนที่ลอย ที่ pH 7-11	170
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Frother กับ % yield และ % เถ้าที่ pH 9	171
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วใบพัด กับ % yield และ % เถ้าที่ pH 9	172
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % solids กับ % yield และ % เถ้าที่ pH 9	173
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับปริมาณสารก่อตัว	178
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับปริมาณความหนาแน่นของของผสม	180
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับค่า pH	182
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับปริมาณ NHP	184
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับปริมาณน้ำแข็ง	186
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % เถ้า, % yield กับปริมาณ Demol N	188



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงปริมาณสำรองถ่านหินของโลกเมื่อสิ้นปี 2536	2
ตารางที่ 1.2	แสดงปริมาณการใช้ถ่านลิกไนต์ในอุตสาหกรรม	3
ตารางที่ 2.1	การจำแนก rank ของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM-388	11
ตารางที่ 2.2	แสดงกลุ่ม Maceral จำแนกโดย Stapes-Heerlen	13
ตารางที่ 2.3	ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่อยู่ในเถ้าของถ่านหิน ซีกตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา	16
ตารางที่ 2.4	แสดงแหล่งสำรองถ่านหินของโลกแบ่งเป็นรูปภาค	19
ตารางที่ 2.5	แสดงปริมาณสำรองของเหมืองถ่านหินในประเทศไทย	20
ตารางที่ 2.6	แสดงปริมาณสำรองของแหล่งถ่านหินที่ยังไม่ได้พัฒนา	20
ตารางที่ 2.7	สรุปสมบัติแหล่งถ่านหินที่สำคัญในประเทศไทย	21
ตารางที่ 2.8	ส่วนประกอบโดยประมาณของ Oxygen functional groups ในถ่านหิน	45
ตารางที่ 2.9	แสดงค่าพารามิเตอร์ตามสมการ (2.1)	45
ตารางที่ 2.10	การใช้ถ่านลิกไนต์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (ก) และปริมาณกำลัง ผลิตซีเมนต์และการใช้ถ่านลิกไนต์ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย ปี 2537	56
ตารางที่ 2.11	แสดงคุณลักษณะเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	58
ตารางที่ 2.12	แสดงปริมาณการใช้ถ่านลิกไนต์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	62
ตารางที่ 2.13	การใช้ถ่านหินนำเข้าในโรงงานอุตสาหกรรม	62
ตารางที่ 2.14	Summary of Japan/Australian Coal Control Price	65
ตารางที่ 3.1	แสดงผลวิเคราะห์คุณภาพถ่านเบื้องต้นจากแหล่งบ้านปู	76
ตารางที่ 3.2	ผลการทำ Size Analysis ตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ก่อนนำไปทำการลอยแร่	76
ตารางที่ 3.3	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการก่อตัว	88
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Ultimate analysis Proximate analysis ค่า HGI ค่าความแข็งและค่าความร้อน	91-92
ตารางที่ 4.2	แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน หลังจากผ่านการบดด้วย เครื่องบดแบบจอร์ที่ปรับ gape 100 มม. จากถ่านหินก้อนขนาด 25 มม.	98
ตารางที่ 4.3	แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน หลังจากผ่านการบดด้วย เครื่องบดแบบไจราทอรี เมื่อปรับ gape ที่ขนาดต่างๆ	100
ตารางที่ 4.4	แสดงสมบัติของถ่านหินที่ใช้ทดสอบ	102
ตารางที่ 4.5	แสดงสภาวะการบดที่ดีที่สุดในการบดถ่านหินของเครื่องบดแบบสั้น	103

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.6	แสดงสถานะการบดที่ดีที่สุดในการบดด้านหินของเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์	104
ตารางที่ 4.7	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางหมาก ขนาด -4 +10 เมช (BMB)	109
ตารางที่ 4.8	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางหมาก ขนาด -10 +35 เมช (BMS)	110
ตารางที่ 4.9	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางปู่คำ (N-8-9) ขนาด -4 +10 เมช (BPDMB)	111
ตารางที่ 4.10	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางปู่คำ (N-8-9) ขนาด -10 +35 เมช (BPDMS)	112
ตารางที่ 4.11	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางปู่คำ เกรดปานกลาง ขนาด -4 +10 เมช (BPDPB)	113
ตารางที่ 4.12	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบางปู่คำ เกรดปานกลาง ขนาด -10 +35 เมช (BPDPS)	114
ตารางที่ 4.13	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ก่อนเข้าโรงล้าง ขนาด -4 +10 เมช (BPFB)	115
ตารางที่ 4.14	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ก่อนเข้าโรงล้าง ขนาด -10 +35 เมช (BPFS)	116
ตารางที่ 4.15	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ (ดี) ขนาด -4 +10 เมช (BPMB)	117
ตารางที่ 4.16	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ (ดี) ขนาด -10 +35 เมช (BPMS)	118
ตารางที่ 4.17	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ (high-S) ขนาด -4 +10 เมช (BPSB)	119
ตารางที่ 4.18	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งบ้านปู่ (high-S) ขนาด -10 +35 เมช (BPSS)	120
ตารางที่ 4.19	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งห้วยเล็ก ขนาด -4 +10 เมช (BYLB)	121

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.20	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งหว่ายเล็ก ขนาด -10 +35 เมช (BYLS)	122
ตารางที่ 4.21	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (A-seam) ขนาด -4 +10 เมช (EGATAB)	123
ตารางที่ 4.22	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (A-seam)* ขนาด -10 +35 เมช (EGATAS)	124
ตารางที่ 4.23	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (B-seam) ขนาด -4 +10 เมช (EGATBB)	125
ตารางที่ 4.24	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (B-seam) ขนาด -10 +35 เมช (EGATBS)	126
ตารางที่ 4.25	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (C-seam) ขนาด -4 +10 เมช (EGATCB)	127
ตารางที่ 4.26	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (C-seam) ขนาด -10 +35 เมช (EGATCS)	128
ตารางที่ 4.27	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งกั้นดั่ง (หลังเลือก) ขนาด -4 +10 เมช (KTASB)	129
ตารางที่ 4.28	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งกั้นดั่ง (หลังเลือก) ขนาด -10 +35 เมช (KTASS)	130
ตารางที่ 4.29	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งกั้นดั่ง (หน้าเหมือง) ขนาด -4 +10 เมช (KTMFB)	131
ตารางที่ 4.30	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งกั้นดั่ง (หน้าเหมือง) ขนาด -10 +35 เมช (KTMFS)	132
ตารางที่ 4.31	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (J2) ขนาด -4 +10 เมช (MMJ2B)	133
ตารางที่ 4.32	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งแม่เมาะ (J2) ขนาด -10 +35 เมช (MMJ2S)	134
ตารางที่ 4.33	แสดง Washability Data ของด้านหินจากแหล่งนาทราย ขนาด -4 +10 เมช (NSB)	135

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.34	แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งนาทราย ขนาด -10 +35 เมช (NSS)	136
ตารางที่ 4.35	แสดงความถ่วงจำเพาะของมัชฉิมที่ควรใช้ในการแยกจาก แหล่งต่างๆ เมื่อกำหนดปริมาณได้ไว้ 10 %	137
ตารางที่ 4.36	แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาด -4 +8 เมช ด้วยจิ๊ก	139
ตารางที่ 4.37	แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาด -4 +8 เมช ด้วยจิ๊ก ที่ความยาวช่วงชัก 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว	140
ตารางที่ 4.38	แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาด -8 +18 เมช ด้วยจิ๊ก	141
ตารางที่ 4.39	แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาด -8 +18 เมช ที่ความยาวช่วงชัก 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว	142
ตารางที่ 4.40	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านบ้านปู เกรดพอใช้ ขนาด -4 +8 เมช ด้วยจิ๊ก ที่ความยาวช่วง 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว	143
ตารางที่ 4.41	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ เกรดพอใช้ ถ่านขนาด -8 +18 เมช ด้วยจิ๊ก ที่ความยาวช่วง 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว	144
ตารางที่ 4.42	แสดงการแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยโต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ เมื่อขนาด ถ่านหิน -18 +35 mesh น้ำล้าง 250 ml/s ช่วงชัก 1.2 cm. ความเร็ว 220 rpm.	151
ตารางที่ 4.43	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยโต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ เมื่อขนาดถ่านหิน -35 +60 mesh น้ำล้าง 250 ml/s ช่วงชัก 1.2 cm. ความเร็ว 220 rpm.	152
ตารางที่ 4.44	แสดงผลการทดลองหาสภาวะการแต่งที่ดีที่สุด โดยใช้ โต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ พิจารณาหัวแร่	153
ตารางที่ 4.45	ผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ โดยใช้โต๊ะสั่นขนาดโรงประลอง เมื่อใช้ถ่านหิน ขนาด -18 +35 เมช	153
ตารางที่ 4.46	ผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ โดยใช้โต๊ะสั่นขนาดโรงประลอง เมื่อใช้ถ่านหิน ขนาด -35 +60 เมช	154
ตารางที่ 4.47	แสดงผลการทดลองโดยถ่านลิกไนต์ทั้งสองขนาดรวมกัน และเก็บผลการทดลองที่ได้เพียงหัวแร่และหางแร่	155

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.48	แสดงค่าความร้อนและเปอร์เซ็นต์เถ้าของถ่านลิกไนต์จากหน้าเหมืองและถ่านลิกไนต์ที่ผ่าน ขนาด -18 +35 เมช	156
ตารางที่ 4.49	แสดงค่าความร้อนและเปอร์เซ็นต์เถ้าของถ่านหินจากหน้าเหมืองและถ่านลิกไนต์ที่ผ่านการแต่งจากระบวนการต่างๆ ในการแต่งโดยใช้โต๊ะสั่น ขนาด -35 +60 เมช	157
ตารางที่ 4.50	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 7	161
ตารางที่ 4.51	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 8	162
ตารางที่ 4.52	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 9	162
ตารางที่ 4.53	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 10	163
ตารางที่ 4.54	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 11	163
ตารางที่ 4.55	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบฟอง	164
ตารางที่ 4.56	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนความเร็วใบพัด เมื่อปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัมต่อตัน	164
ตารางที่ 4.57	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนความเร็วใบพัด 800 และ 900 rpm. เมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบผิว 2 กิโลกรัมต่อตัน	165
ตารางที่ 4.58	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรค่า % solid	165
ตารางที่ 4.59	แสดงผลการลอยถ่านหินเมื่อแปรเปลี่ยนค่าของ conditioning time	166
ตารางที่ 4.60	แสดงผลการแต่งถ่านหินด้วยการลอยแร่ที่สภาวะเหมาะสม	167
ตารางที่ 4.61	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่า Flocculant (F-1029J)	177
ตารางที่ 4.62	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่า % solids	179
ตารางที่ 4.63	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่า pH	181
ตารางที่ 4.64	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่าปริมาณ NHP	183
ตารางที่ 4.65	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่าปริมาณน้ำแป้ง	185
ตารางที่ 4.66	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อแปรค่าปริมาณ Demol N	187

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.67	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อเปลี่ยนชนิดของถ่านหิน	189
ตารางที่ 4.68	แสดงผลการทดลองแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารก่อกัว	190
ตารางที่ 4.69	แสดงค่าความร้อนของถ่านหินที่แต่งโดยวิธี Flocculation	191
ตารางที่ 4.70	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ถ้ำและค่าความร้อนของถ่านก่อนและหลังใช้วิธี Flocculation	193
ตารางที่ 4.71	แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ถ้ำและค่าความร้อนของตาราง 4.70	194

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของถ่านหินโค้ก

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจากใต้พิภพที่ได้รับการพัฒนา และนำมาใช้กับเครื่องจักร นับตั้งแต่เครื่องจักรไอน้ำเครื่องแรกได้ถูกคิดค้นขึ้น กระทั่งถึงยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุโรป พลังงานจากถ่านหินก็เป็นที่ยอมรับ และมีการนำเข้ามาใช้กันเรื่อยมา ต่อมาเมื่อมีการค้นพบน้ำมันเชื้อเพลิงและประโยชน์จากน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนานใหญ่ในวงการอุตสาหกรรม ถือได้ว่าพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นพลังงานหลัก และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด พลังงานจากถ่านหินจึงค่อยๆ ลดความนิยมลงไป ความสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผลให้ประเทศในกลุ่มผู้ผลิตใช้โอกาสนี้เป็นเครื่องมือต่อรองเกี่ยวกับปัญหาข้อพิพาทระหว่างประเทศ ทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงถีบตัวขึ้นอย่างมากกระทบกับการที่ปริมาณสำรองของน้ำมันเชื้อเพลิงลดน้อยลงทุกที ดังนั้นประเทศต่างๆ จึงต้องหันมาให้ความสนใจกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ถ่านหินซึ่งแต่เดิมนั้นได้มีการใช้กันอย่างกว้างจึงได้รับการศึกษา และวิจัยกันอย่างแพร่หลายเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้แหล่งถ่านหินกระจายอยู่ทั่วไปทุกภูมิภาคของโลก (ตารางที่ 1.1) ประเทศผู้ผลิตรายสำคัญในปัจจุบันและอนาคตได้แก่ ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ จีน สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย โคลัมเบีย และเวเนซุเอลา

จะเห็นว่าความต้องการถ่านหินสูงขึ้นมาก โดยในปี 2536 การใช้พลังงานของโลกมีสัดส่วนดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณสำรองถ่านหินของโลกเมื่อสิ้นปี 2536

ภูมิภาค	Hard1 Coal	อื่นๆ 2	รวม	สัดส่วนต่อปริมาณ รวม (%)
อเมริกาเหนือ	117,177	132,006	249,183	24.0
ละตินอเมริกา	6,900	4,530	11,430	1.0
ยุโรปตะวันตก	29,333	67,591	96,924	9.3
ยุโรปตะวันออก และ อดีตสหภาพโซเวียต	136,167	179,282	315,449	30.4
แอฟริกา และ ตะวันออกกลาง	61,004	1,267	62,271	6.0
ออสเตรเลีย	45,367	45,690	91,057	8.8
เอเชีย	125,465	87,403	212,868	20.5
ปริมาณรวมของโลก	521,413	517,769	1,039,182	100

น้ำมัน	40 %
ถ่านหิน	27 %
ก๊าซธรรมชาติ	23 %
นิวเคลียร์	7 %
พลังน้ำ	3 %

แนวโน้มการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมต่างๆ มีมากขึ้น ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมในประเทศไทย



ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรม<sup>1)</sup>

หน่วย : พันตัน)

ประเภทอุตสาหกรรม	ปี 2533	ปี 2534	ปี 2535	ปี 2536
ปูนซีเมนต์	1,951	1,955	2,245	2,943
โรงบ่มใบยาสูบ	132	133	157	-
อาหาร	85.5	80.4	62.8	-
อาหารสัตว์	34.7	40.1	-	-
สิ่งทอ	7.2	66.9	94.3	-
กระดาษ	218.9	329.4	312.4	-
ไฟเบอร์	54.5	44.4	46.9	-
ปูนขาว	90.9	147.2	167.7	-
หล่อเหล็ก	6.6	5.4	3.2	-
อื่นๆ	-	2.0	2.3	-

ตามหลักการเลือกใช้พลังงานจำเป็นต้องใช้ปัจจัยประกอบการพิจารณา 3 ประการ คือ ค่าลงทุน ปริมาณสำรองมีเพียงพอต่อความต้องการ และนำมาใช้โดยความปลอดภัย ดังนั้นทุกภูมิภาคมีการพัฒนาการผลิตและวิธีการใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม หลายประเทศในซีกโลกตะวันตกได้คิดกรรมวิธีผลิตก๊าซและน้ำมันจากถ่านหิน ซึ่งในอนาคตวิธีการเหล่านี้คงได้รับการพัฒนาดีขึ้น ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าน้ำมัน อีกทั้งยังเป็นทรัพยากรภายในประเทศด้วย แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้ให้การสนับสนุนการใช้ถ่านหินในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดการใช้น้ำมัน ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญที่ทำให้ประเทศเสียดุลการค้าอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงย่อมเป็นต้นเหตุของการเกิดมลสารทางอากาศขึ้นได้ตลอดขั้นตอนของกระบวนการ กล่าวคือ นับตั้งแต่การลำเลียงถ่านหิน การเก็บกองถ่านหิน การเผาไหม้ถ่านหิน ตลอดจนการลำเลียงขี้เถ้า

สำหรับมลสารทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินมีหลายชนิด ได้แก่ อนุภาคและก๊าซ มลสารประเภทอนุภาค ได้แก่ อนุภาคของขี้เถ้า (Fly ash) และ soot ประเภทก๊าซหรือไอ ได้แก่ ออกไซด์ของกำมะถัน ( $SO_x$ ) ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $NO_x$ ) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไอของไฮโดรคาร์บอน และอัลดีไฮด์ ปริมาณการเกิดมลสารทางอากาศจากการเผาไหม้ ถ่านหินขึ้นกับคุณภาพ ถ่านหิน สภาวะการเผาไหม้ การควบคุมมลสารทางอากาศวิธีหนึ่ง ได้แก่ การเลือกใช้ถ่านหินที่มี

คุณภาพเหมาะสม มีมวลสารปนอยู่น้อย ถ่านหินที่มีกำมะถันปนอยู่น้อยยอมให้ก๊าซ SO<sub>x</sub> จากการเผาไหม้เล็กน้อย สำหรับในประเทศไทย ได้ใช้ถ่านลิกไนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในอุตสาหกรรมมากขึ้น (ตารางที่ 1.2) การกำจัดซัลเฟอร์และกำมะถันในถ่านลิกไนต์ให้น้อยที่สุด จะช่วยลดปัญหาในการเผาไหม้ และสามารถลดมลสารทางอากาศด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมถ่านหินสะอาด โดยการลดปริมาณซัลเฟอร์ และกำมะถันก่อนที่จะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างประหยัด

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมถ่านลิกไนต์สะอาดอย่างประหยัด ซึ่งจะเป็นการลดปัญหาในการเผาไหม้ถ่านหิน และสามารถลดมลสารทางอากาศด้วย
2. สามารถเก็บถ่านหินฝุ่นมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะเป็นการอนุรักษ์การใช้ทรัพยากรด้วย
3. ทำให้ทราบถึงวิธีการที่จะลดปริมาณฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิต
4. สามารถทำให้ถ่านลิกไนต์คุณภาพต่ำเปลี่ยนเป็นถ่านลิกไนต์คุณภาพสูง

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของถ่านลิกไนต์ภายในประเทศ
2. ศึกษาเทคนิคการลดขนาดถ่านหิน เพื่อแต่งให้สะอาดโดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ศึกษาตัวแปร และแฟกเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
3. ศึกษาการแต่งถ่านหิน โดยวิธีทำความสะอาด
4. ศึกษาประสิทธิภาพและขีดจำกัดของการแต่งถ่านหินอย่างประหยัด

1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2535 - กันยายน 2537

1.6 งบประมาณ 194,000.-บาท

## 1.7 แผนการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	2535			2536					2537						
	10	11	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
1. เก็บตัวอย่างถ่านลิกไนต์จาก แหล่งภายในประเทศ															
2. ศึกษาสมบัติของลิกไนต์แต่ละแห่ง															
3. ศึกษาเทคนิคในการลด ขนาดถ่านลิกไนต์															
4. ศึกษาการแต่งถ่านลิกไนต์ โดยวิธีทำความสะอาด															
4.1 การแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาดหยาบ															
4.2 การแต่งถ่านหินขนาด ละเอียด															
5. สรุปผล และทำรายงาน															

1.8 สถานที่ทำการวิจัย : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

# บทที่ 2

## ความรู้เกี่ยวกับถ่านหิน

### 2.1 การกำเนิดถ่านหิน

ถ่านหิน คือ หินตะกอนชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถติดไฟได้ และมีส่วนประกอบที่เป็นสารประกอบของคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ถ่านหินมีกำเนิดมาจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพืชชนิดต่างๆ ที่สลายตัวและสะสมอยู่ในหนอง บึงเป็นล้านๆ ปี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก เช่น แผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิดหรือมีการทับถมของตะกอนมากขึ้น ทำให้แหล่งสะสมตัวนั้นได้รับความกดดันและความร้อนที่มีอยู่ภายในโลกเพิ่มขึ้น ซากพืชเหล่านั้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นถ่านหินตามลำดับชั้นต่างๆ คือ พีท (Peat), ลิกไนต์ (Lignite) ซับบิทูมินัส (Subbituminous) บิทูมินัส (Bituminous) และแอนทราไซต์ (Anthracite) ถ่านหินมักพบอยู่กับหินชั้นอื่นๆ เช่น หินดินดาน หินทราย หินกรวดมน และหินทราย หินชุดเหล่านี้เรียกกันว่า “ชุดถ่านหิน”

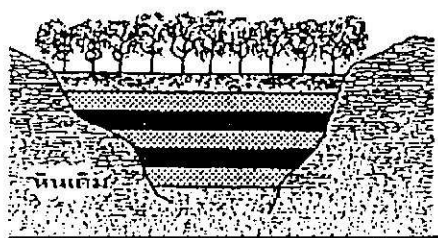
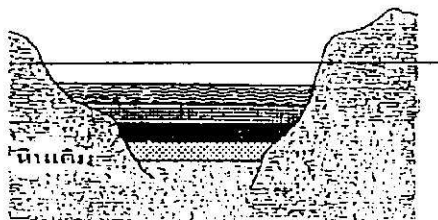
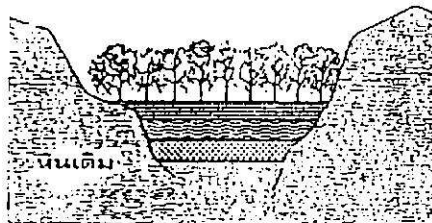
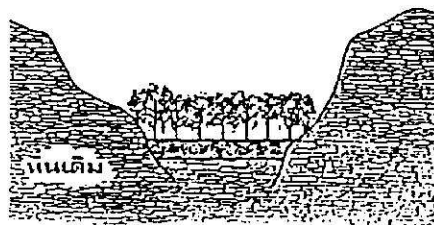
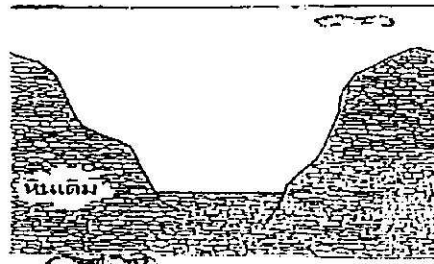
แหล่งถ่านหินมีกำเนิดและขนาดแตกต่างกันไปตามแต่ละท้องที่ แต่มีปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการสะสมตัวคล้ายๆ กันคือ

- ต้องมีสภาพอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ
- บริเวณสะสมตัวต้องไม่มีน้ำไหลเข้าออกหรือน้ำนิ่ง และมีสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนจำกัด (Reducing environment) เพื่อไม่ให้เกิดการเน่าสลายของซากพืชพันธุ์ไม้ที่จะกลายเป็นถ่านหิน
- ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (Biochemical) อย่างต่อเนื่อง
- มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม ทำให้เกิดความกดดันและความร้อน ซึ่งจะทำให้ซากพืชไม้แปรสภาพเป็นถ่านหินลำดับชั้นต่างๆ

ดังนั้นพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการสะสมตัวของแหล่งถ่านหิน มี 6 บริเวณ คือ

- ก. กลุ่มที่ลุ่มชายฝั่ง (Coastal marsh)
- ข. บริเวณดินดอนสามเหลี่ยม (Delta)
- ค. บริเวณทะเลสาบและปากอ่าว (Lagoon & Bay)
- ง. บริเวณที่ราบเชิงเขา (Piedmont plain)
- จ. บริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา (Alluvial plain)
- ฉ. บริเวณแอ่งในหุบเขา (Intramontane basin)

ตามลำดับการเกิดถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 2.1 เริ่มจากถ่านหินจะเกิดบริเวณที่เป็นหนองบึง แอ่งน้ำ หรือที่ชื้นแฉะ ริมแม่น้ำ ริมทะเล มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งเกิดขึ้นโดยการยุบตัวลง หรือบริเวณรอบๆ ยกตัวสูงขึ้นเนื่องจากผิวโลกส่วนต่างๆ ปรับตัวเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ลำดับต่อมาบริเวณนี้มีวงจรชีวิตหลายครั้งมีทั้งเกิดขึ้นล้มตายลง เกิดขึ้นอีกแล้วตายติดต่อกันหรือเป็นช่วงๆ ซากต่างๆ จะสะสมทับถมกันเป็นจำนวนมาก ต่อมาบริเวณนี้มีการผุพังเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผิวโลกทำให้มีตะกอนดินมาทับถมซากพืชและซากสิ่งมีชีวิตอื่น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม การผุพังทำลาย การเคลื่อนไหวของผิวโลก และการแตกแยกของแผ่นดิน ฯลฯ จะทำให้ซากต่างๆ ที่สะสมอยู่ได้รับแรงกดดันและได้รับความร้อนจากภายในโลก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ในบริเวณดังกล่าวซากเหล่านี้จึงแปรสภาพไปเป็นถ่านฟิต เมื่อถ่านฟิตถูกอัดตัวจะกลายเป็นถ่านหิน ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกันในแต่ละแหล่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของพืชพันธุ์ไม้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อไม้ รวมทั้งการทับถมในระยะแรกเริ่ม ไปจนถึงการแปรเปลี่ยน จากอิทธิพลในอดีตจนกระทั่งเป็นเนื้อถ่านหินในระยะต่อมา และระยะต่อมามีเปลือกดิน-หินมาทับถมคลุมชั้นถ่านหินเอาไว้จนอยู่ในสภาพปัจจุบัน นอกจากนี้ในบางชั้นถ่านแข็งตัวทะลุขึ้นมาใกล้ผิวดิน หรือเกิดจากการยุบตัวน้อยกว่าก็จะโผล่ให้เห็น เนื่องจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติในภายหลัง กระบวนการทั้งหมดดังกล่าวหากเกิดขึ้นหลายครั้งจะทำให้มีถ่านหินหลายชั้นบริเวณเดียวกัน



ลำดับแรก ด่านหินจะเกิดบริเวณที่เป็นหนอง บึง แอ่ง น้ำ หรือที่ชื้นแฉะ ริมแม่น้ำ ริมทะเล มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งเกิดขึ้นโดยการยุบตัวลง หรือบริเวณรอบ ๆ ยกตัวสูงขึ้น เนื่องจากผิวโลก ส่วนต่าง ๆ ปรับตัวเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลย์

ลำดับสอง บริเวณนี้มีสภาพแวดล้อมที่อำนวยให้พืชเกิดขึ้น และอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีวงจรชีวิตหลายครั้ง มีทั้งเกิดขึ้นล้มตายลง เกิดขึ้นอีกแล้วด้วยติดต่อกันหรือเป็นช่วง ๆ ซากต่าง ๆ จะสะสมทับถมกันเป็นจำนวนมาก

ลำดับสาม ต่อมาบริเวณนี้มีการพุดังเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก ทำให้มี ตะกอนดินมาทับถมซากพืชและซากสัตว์มีชีวิตอื่น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม การพุดังทำลาย การเคลื่อนไหวของผิวโลก การแตกแยกของแผ่นดิน ฯลฯ จะทำให้ซากต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ได้รับแรงกดดันและได้รับความร้อนจากภายในโลก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ในบริเวณดังกล่าว ซากเหล่านี้จึงแปรสภาพไปเป็นถ่านพีต (Peat)

ลำดับสี่ อิทธิพลจากทั้งแรงกดดันและความร้อนภายในโลก เป็นเวลานาน ทำให้ ถ่านพีตถูกอัดตัวกลายเป็นถ่านหิน ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกันในแต่ละแห่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของพืชพันธุ์ไม้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อไม้ รวมทั้งการทับถมในระยะแรกเริ่ม ไปจนถึงการแปรเปลี่ยนจากอิทธิพลในอดีต จนกระทั่งมาเป็นเนื้อถ่านหินในระยะต่อมา

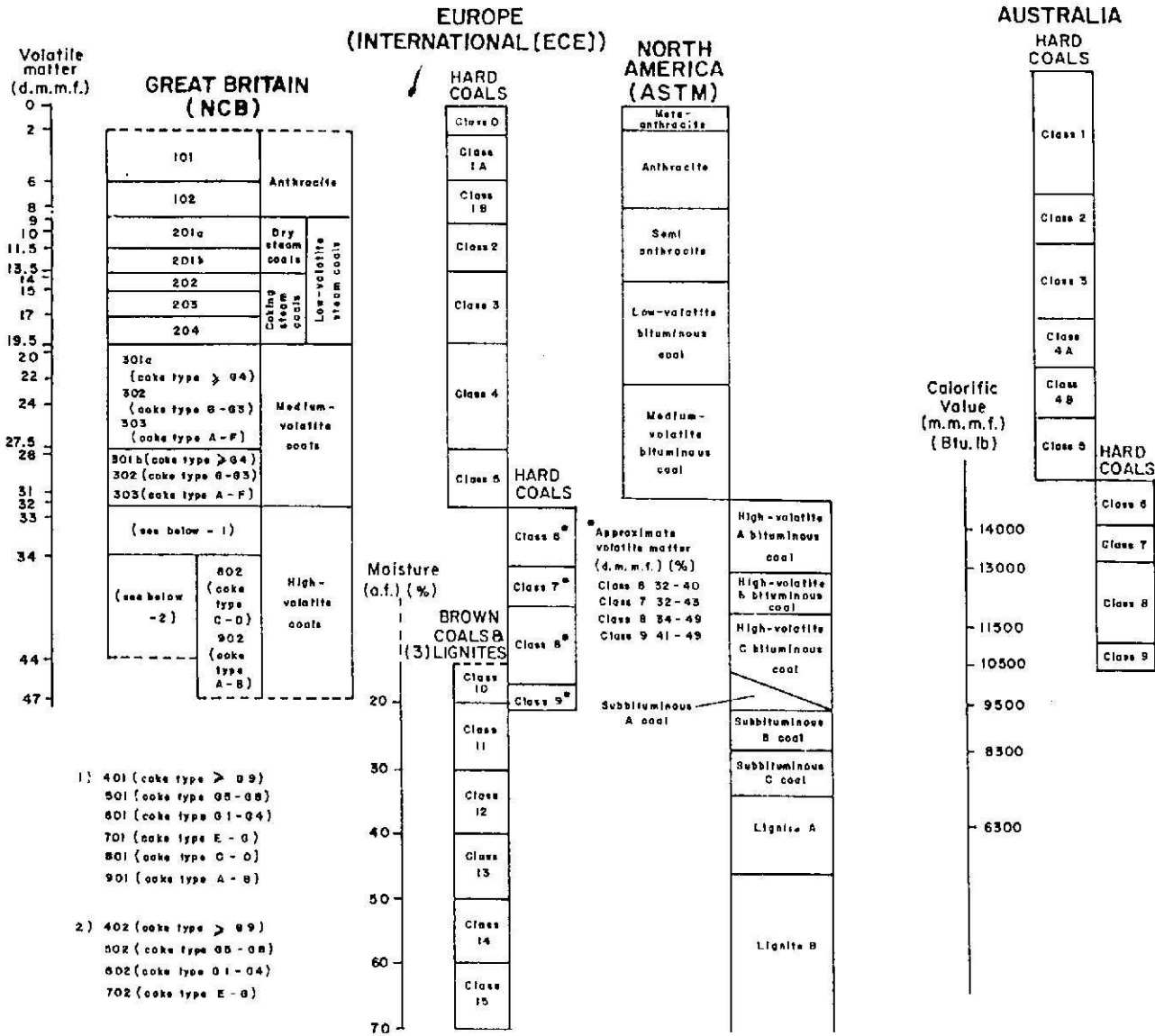
ลำดับห้า ต่อมาเมื่อเปลือกโลกหินมาทับถมคลุมชั้นถ่านหินเอาไว้จนอยู่ในสภาพปัจจุบัน นอกจากในบางชั้นถ่านแข็งตัวทะลุขึ้นมาใกล้ผิวดิน หรือเกิดจากการยุบตัวน้อยกว่าก็จะไม่ให้เห็น เนื่องจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติ ในภายหลัง กระบวนการทั้งหมดดังกล่าว หากเกิดขึ้นหลายครั้งจะทำให้มี ถ่านหินหลายชั้นบริเวณ เดียวกัน

รูปที่ 2.1 ภาพจำลองการเกิดถ่านหิน<sup>1)</sup>

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มักเป็นการเปลี่ยนชั้นคุณภาพด้วย โดยปกติชั้นถ่านหินที่ลึกๆ จะมีคุณภาพดีกว่าถ่านหินในที่ตื้น ทั้งนี้เพราะในระดับลึกความร้อนและความกดดันที่สูงกว่า ทำให้การเปลี่ยนแปลงของถ่านหินได้มากกว่า ความเปลี่ยนแปลงมากๆ ถ่านหินจะไปเป็นกราไฟต์ได้เช่นกัน ส่วนมากแล้วคุณภาพของถ่านหินมักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความลึกและอายุ แต่อย่างไรก็ตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ภายหลังการทับถม เช่น การโค้งงอ การเลื่อนตัวของเปลือกโลก ก็ทำให้คุณภาพถ่านหินดีขึ้นด้วย เช่นกัน

## 2.2 การจำแนกถ่านหิน<sup>1-5)</sup>

ถ่านหินมีความแตกต่างกันในด้านกายภาพและเคมี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารต้นกำเนิด อัตราการเปลี่ยนแปลง และปริมาณของเถ้า การแบ่งแยกถ่านหิน สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ ตามสมบัติทางกายภาพ ศึกษาในรายละเอียดโดยกล้องจุลทรรศน์และในด้านองค์ประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์ แต่ละประเทศมีระบบการจำแนกถ่านหินแตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ของการใช้งาน บางแห่งอาจใช้ชนิดของถ่านหิน (Type) เป็นเกณฑ์ ในขณะที่แห่งอื่นๆ ใช้คุณภาพของถ่านหิน (Grade) เป็นข้อมูลพื้นฐานตัวอย่างระบบการจำแนกถ่านหินที่ใช้กันอยู่ ได้แก่ ระบบอังกฤษ ระบบยุโรป (Europe International [ECE]) ระบบอเมริกาเหนือ (North America) และระบบออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้มีข้อคล้ายคลึงกัน คือ ใช้ค่าความร้อน (Calorific value) และผลการวิเคราะห์ทางเคมีอื่นๆ เช่น Fixed carbon, Moisture content และ Volatile matter เป็นเกณฑ์แบ่ง (รูปที่ 2.2) ระบบที่ใช้กันมาก ได้แก่ การจำแนกถ่านหินตาม rank ค่า rank เป็นการวัดความสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่กลายเป็นถ่านหิน American Society for testing Materials (ASTM) ได้จำแนกถ่านหินเป็นแอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ (ตารางที่ 2.1)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบการตั้งชื่อถ่านหินที่ใช้ในประเทศต่างๆ<sup>1)</sup>



ตารางที่ 2.1 การจำแนก rank ของถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM-388<sup>1)</sup>

Class	Group	Abbreviation	Fixed carbon (% dmmf)		Volatile matter (% dmmf)		Calorific value <sup>b</sup> (MJ/kg mmmf)		Agglomerating character
			≥	<	≥	<	≥	<	
I. Anthracite	1. Metaanthracite	ma	98			2			Nonagglomerating
	2. Anthracite	an	92	98	2	8			
	3. Semianthracite <sup>c</sup>	sa	86	92	8	14			
II. Bituminous	1. Low volatile bituminous	lvb	78	86	14	22			Commonly agglomerating
	2. Medium volatile bituminous	mvb	69	78	22	31			
	3. High volatile A bituminous	hVAb		69	31		32.56 <sup>d</sup> [14,000]		
	4. High volatile B bituminous	hVBb					30.24 [13,000]	32.56 14,000]	
	5. High volatile C bituminous	hVCb					26.75 [11,500]	30.24 13,000]	
III. Subbituminous	1. Subbituminous A	subA					24.42 [10,500]	26.75 11,500]	Agglomerating
	2. Subbituminous B	subB					22.10 [9,500]	24.42 10,500]	
	3. Subbituminous C	subC					19.31 [8,300]	22.10 9,500]	
IV. Lignitic	1. Lignite A	ligA					14.65 [6,300]	19.31 8,300]	Nonagglomerating
	2. Lignite B	ligB					14.65 [6,300]	14.65 6,300]	

<sup>a</sup> From ASTM [13].

<sup>b</sup> Bracketed data show calorific values in Btu/lb. (mmmf = mineral matter and moisture-free.)

<sup>c</sup> If agglomerating, classify as lvb coal.

<sup>d</sup> Coals with more than 69% fixed shall be classified according to fixed carbon, regardless of calorific value.

**แอนทราไซต์** เป็นถ่านหินที่มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป มีความชื้นต่ำมากและมีค่าความร้อนสูง แต่จุดไฟติดยาก

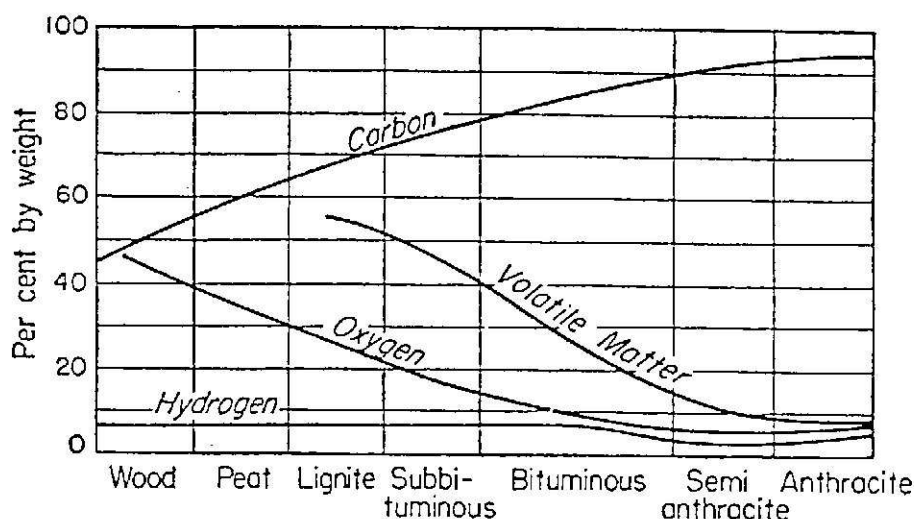
**บิทูมินัส** เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง และมักจะประกอบขึ้นด้วยชั้นถ่านหินสี่ดำสนิทที่มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอน 69-86 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 1.5-7 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นถ่านหินเพื่อการถลุงโลหะได้

**ซับบิทูมินัส** มีลักษณะสีดำคล้ายขี้ผึ้ง มีปริมาณความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ถ่านหินประเภทนี้มีคุณค่ามากสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

**ลิกไนต์** มีซากพืชเหลือปรากฏอยู่เล็กน้อย มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง และมีปริมาณความชื้นสูงถึง 30-70 เปอร์เซ็นต์ เป็นถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

**พีต** ประกอบด้วยซากพืชซึ่งบางส่วนได้สลายตัวไปแล้ว มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นสูง

รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณของสารในกระบวนการกลายเป็นถ่านหิน จะเห็นได้ว่าเมื่อกระบวนการนี้ดำเนินไป เปอร์เซ็นต์คาร์บอนจะเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ของสารอื่นจะลดลง



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารองค์ประกอบในกระบวนการ coalification<sup>5)</sup> (เปอร์เซ็นต์รายงานบนฐาน moisture, ash and sulfur-free basis)

การจำแนกถ่านหินทางกายภาพ จำแนกตามก้อนตัวอย่างแบบ Macroscopic และจำแนกด้วยองค์ประกอบระดับ Microscopic ใช้เทคนิคการทะลุผ่านของแสง (Transmitted light) หรือเทคนิคการสะท้อนแสง (Reflected light) ซึ่งเป็นการพิจารณาถึงองค์ประกอบของ Maceral ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- วิทรีไนต์ (Vitrinite)
- เอ็กซีไนต์ (Exinite)
- อินเนอร์ทีไนต์ (Inertinite)

เทคนิคการสะท้อนแสงเป็นที่นิยมกัน มีการวิเคราะห์อยู่ 2 แบบ คือ Maceral analysis ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบและปริมาณ maceral ในถ่านหินตัวอย่าง ซึ่งทำให้ทราบถึงภาวะแวดล้อมในการสะสมตัวของถ่านหินอีกแบบหนึ่ง คือ Vitrinite reflectance ผลจากการทดลองนี้ทำให้ทราบถึงสัทธิของถ่านหิน (Rank thermal maturation) และใช้พิจารณาถึงการนำถ่านหินไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เลือกชนิดของถ่านหินที่จะนำไปผลิตถ่านโค้ก ทำนายความแข็งแรงของถ่านโค้ก (Coke strength) และใช้พิจารณาถึงการเกิดออกซิเดชันของถ่านหิน (Oxidation)

กลุ่ม Maceral ที่จำแนกโดย Stopes-Heerlen<sup>6)</sup> แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงกลุ่ม Maceral จำแนกโดย Stopes-Heerlen<sup>6)</sup>

กลุ่ม	กำเนิด	ลักษณะที่เห็นโดยกล้องจุลทรรศน์
วิทรีไนต์	เนื้อไม้ หรือเซลลูโลส	สีแดง-ส้มด้วยแสงส่องผ่าน สีเทาด้วยแสงสะท้อน เรืองแสงจางๆ
เอ็กซีไนต์	ไข หรือ ขางไม้ คิวคิน สปอร์และ ละอองเกสรบางส่วนของสาหร่าย แพลงตอน	สีเหลือง-เหลืองอ่อนด้วยแสงส่องผ่าน สีเทาเข้มด้วยแสงสะท้อน เรืองแสงจ้า
อินเนอร์ทีไนต์	เนื้อไม้ที่เปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการทางชีวเคมี ถ่านไม้ที่เปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มออกซิเจน	สีน้ำตาล-ดำด้วยแสงส่องผ่าน สีเทาอ่อน ขาว หรือ ขาวแกมเหลืองด้วยแสงสะท้อน ไม่เรืองแสง

**หมายเหตุ** แสงส่องผ่าน หมายถึง การดูกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสงส่องผ่านวัตถุมาสู่ตา แสงสะท้อน หมายถึง แสงสะท้อนวัตถุ แล้วจึงมาสู่สายตา แบบแรกวัตถุ จะต้องมีแผ่นบางมาก จนกระทั่งแสงสามารถทะลุผ่านขึ้นมาได้ ส่วนแบบหลัง ผิววัตถุจะต้องฉีกให้มันพอสมควร

## 2.3 สมบัติทางเคมีของถ่านหิน

การศึกษาด้านองค์ประกอบทางเคมี แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การวิเคราะห์เพื่อจัดแบ่งชั้นคุณภาพถ่านหิน (Proximate analysis) และการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในถ่านหิน ความหมายและวิธีการที่จะกล่าวต่อไป ตามมาตรฐานของ ASTM

### 2.3.1 การวิเคราะห์เพื่อจัดแบ่งชั้นคุณภาพถ่านหิน

เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) และธาตุคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) นอกจากนี้จะเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า Proximate analysis แต่ยังมีคำอื่นที่ความหมายเฉพาะสำหรับรายการที่ต้องการวิเคราะห์ ได้แก่ Short Prox. ซึ่งจะหมายถึงการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความชื้น เถ้า ค่าความร้อน (Calorific value) และปริมาณกำมะถันในถ่านหิน บางครั้งการวิเคราะห์อาจรวมถึงการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เถ้าหลอมตัว (Ash fusion temperature) และ Free swelling index ของถ่านหินด้วย

#### 1) ความชื้น (Moisture) ในถ่านหิน เกิดได้ 3 ลักษณะ คือ

- ความชื้นอิสระ (Free or Adherent moisture) คือ น้ำที่อยู่ผิว (Surface water)
- น้ำที่ถูกยึดเหนี่ยวทางกายภาพ หรือความชื้นภายใน (Physical bound inherent moisture) ซึ่งเป็นน้ำที่ถูกขังอยู่ในช่องว่างในถ่านหินด้วยความดันไอและกระบวนการทางฟิสิกส์อื่นๆ
- น้ำที่ถูกยึดเหนี่ยวทางเคมี (Chemical bound water) เป็นความชื้นซึ่งเกิดจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุ (Water of hydration) หรือเป็นน้ำที่เกิดรวมอยู่ในโครงสร้างของถ่านหิน

การบอกชนิดของความชื้นในถ่านหินในทางปฏิบัติ จะเป็นไปตามลักษณะที่ใช้ในการทดสอบ เช่น

ASTM D 1412 \*\* Equilibrium moisture of coal at 96-97 percent relative humidity and 30°C

ASTM D 3173 \*\* Moisture in analysis sample of coal and coke

ASTM D 3302 \*\* Total moisture in coal

Total moisture คือ ความชื้นที่เกิดจากน้ำหนักที่หายไปในบรรยากาศภายใต้ภาวะกำหนด เช่น อุณหภูมิ เวลา และการไหลของอากาศ เป็นการหาปริมาณน้ำทั้งหมด ยกเว้นน้ำที่เกิดจากการรวมตัวทางเคมี สามารถวิเคราะห์โดยกรรมวิธี 2 ขั้นตอน คือ การผึ่งแห้งในอากาศ (Air drying) เพื่อขจัดความชื้นที่ผิวออกจาก Gross sample ต่อจากนั้นจึงนำตัวอย่างมาบดเพื่อลดขนาดและลดปริมาณลง แล้ววิเคราะห์หา Residual moisture จากตัวอย่างที่เตรียมใหม่นี้

As-recieved moisture คือ Total moisture ในขณะที่ทำการวิเคราะห์ นอกจากนี้การหาค่า Total moisture ยังได้จากการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Total moisture} = \text{Air-dried loss moisture} + \text{Residual moisture}$$

$$\text{หรือ Total moisture} = \text{Free moisture} + \text{Inherent moisture (ASTM D 3173)}$$

แต่ว่า Inherent moisture จะไม่เท่ากับ Residual moisture และ Free moisture ก็ไม่เท่ากับ Air-dried less moisture

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ใช้เป็นตัวกำหนดราคาในการซื้อขายถ่านหินและใช้ในการคำนวณผลการวิเคราะห์อื่นๆ ให้อยู่ในรูปที่ต้องการ เช่น Total moisture ใช้คำนวณผลการวิเคราะห์อื่นๆ ให้เป็น As-recieved basis

2) เถ้า (Ash) หมายถึงส่วนที่เหลืออยู่หลังจากที่ถ่านหินถูกเผาไหม้ในบรรยากาศที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด (ASTM D 3174) เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้วิธีนี้มีองค์ประกอบแตกต่างจากองค์ประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในถ่านหินก่อนที่จะนำมาเผา การเผาไหม้นี้จะถูกละอองออกจากดิน (Clay) และแคลเซียมซัลเฟต (Calcium sulfate) และ Iron pyrite จะถูกเปลี่ยนเป็น Iron oxide ซึ่งในแต่ละปฏิกิริยานี้เกี่ยวกับน้ำหนักที่หายไปจากถ่านหิน

ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณถ่านนำไปใช้ในการประเมินวิธีการในการชักตัวอย่าง และเป็นค่ากำหนดไว้ในสัญญาการซื้อขาย และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหม้อน้ำร้อน และกำหนดช่วงของปริมาณถ่านเพื่อช่วยให้หม้อน้ำร้อน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อกำหนดหาปริมาณสารระเหย และธาตุคาร์บอนคงที่ให้อยู่ในรูปของ Dry mineral matter free basis เพื่อจัดลำดับคุณภาพถ่านหิน (Rank classification)

แร่ที่อยู่ในถ่านหิน จะประกอบด้วย

- พวกแร่ดิน (Clay minerals) ได้แก่ พวก Aluminosilicates เช่น อิลไลต์ มอนต์ มอร์โลไนต์ ดินขาว หรือปนกันหลายตัว
- ซิลิกา อยู่ในรูปของควอร์ตซ์ โดยทั่วไปมีประมาณ 15-20 % ของแร่ที่อยู่ในถ่านหิน
- คาร์บอนเนต ได้แก่ แคลไซต์ ซิเคอร์ไรต์ โกลโมต์ แองคาไรต์ หรือมีแมกเนไซต์ โรโดโครไซต์ อยู่บ้างเล็กน้อย
- ซัลไฟต์ ได้แก่ ไพไรต์ และมาร์คาไซต์ หรืออาจจะอยู่ในรูปพิไรต์ หรือกาสินา บ้างเล็กน้อย

พวกโลหะหนักอาจมีปนอยู่ในถ่านหินบ้าง ได้แก่

- B, Be และ Ge หรือกลุ่มใกล้เคียงกันอยู่ในโครงสร้างอินทรีย์ในถ่านหิน
- As, Cd, Hg, Mn, Mo, Pb, Zn และ Zr มักจะเกิดในสารอนินทรีย์ที่ปนอยู่ในถ่านหิน

## ตัวอย่างปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในถ่านหิน แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่อยู่ในถ่านหินชีกตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา<sup>4)</sup>

Location	1.0-0.1	0.1-0.01	0.01-0.001	0.001-0.0001
1 <sup>b</sup>	As, B, Ba, Be Co, Ni, Pb, Sr Ti, U, Zn, Zr	Cu, Cr, Ga Ge, La, Li Sc, V, Y	Sn	Ag, Yb
2 <sup>c</sup>	B, Ba, Mo, P Sr, Ti, U, Zr	Co, Cr, Cu Ga, Ge, La Mn, Ni, Pb V, Zr	Sc, Sn, Y	Ag, Be, Yb
3 <sup>d</sup>	B, Ba, Mn, Mo Sr, Ti, Y	Co, Cr, Cu Ni, Pb, V, Zr	Be, Ga, Ge, La Sc, Sn, Yb, U	
4 <sup>e</sup>	B, Ba, Mn, Ni Sn, Sr, Ti	Co, Cr, Cu, Pb V, Y, Zn, Zr	Be, Ga, Ge, Mo Sc, Yb	

Note. Concentrations are in percentages of ash.

<sup>a</sup> After Deul and Annell [106].

<sup>b</sup> Harding Co., South Dakota; 15 coals.

<sup>c</sup> Perkins Co., South Dakota; 59 coals.

<sup>d</sup> Jefferson Co., Colorado; 35 coals.

<sup>e</sup> Milam Co., Texas; 48 coals.

"Rare" elements in coal ash<sup>a</sup>

Arsenic (8000; 500)	Germanium (11,000; 500)	Platinum (0.7; —)
Beryllium (1000; 300)	Gold (0.1; —)	Silver (10; 2)
Bismuth (200; 20)	Indium (2; —)	Thallium (5; —)
Boron (3000; 600)	Lead (1000; 100)	Tin (500; 200)
Cadmium (50; 5)	Lithium (500; —)	Yttrium (800; 100)
Cobalt (1500; 300)	Molybdenum (500; 200)	Zinc (10,000; 200)
Gallium (400; 100)	Nickel (8000; 700)	Zirconium (5000; —)

<sup>a</sup> Adapted from Goldschmidt [105]. Terms in parentheses show maximum concentrations and average concentrations in "rich" ashes (g/ton).

3) **สารระเหย** (Volatile matter) คือ ผลิตภัณฑ์ก๊าซที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่กำหนดตามมาตรฐาน (ASTM D 3175) แต่ทั้งนี้ไม่รวมปริมาณของความชื้น ผลิตภัณฑ์ก๊าซที่เกิดขึ้นและเป็นพวกที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ คาร์บอนออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน อื่นๆ ส่วนก๊าซที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคลอไรด์ บางตัว

ปริมาณสารระเหยจากการวิเคราะห์นี้ใช้พิจารณาจัดแบ่งชั้นคุณภาพถ่านหินเป็นตัวชี้ถึง ถ่านโค้กที่ได้หลังจากที่ได้คาร์บอนแล้ว และยังใช้ในการพิจารณาสมบัติในการเผาไหม้

4) **ธาตุคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)** หมายถึง ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid residue) ที่ เหลืออยู่หลังจากที่ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยแล้ว ปริมาณธาตุคาร์บอนคงที่นี้ได้จากการ คำนวณ (ASTM D 3172) ดังนี้

$$\text{Fixed carbon (\%)} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile matter} + \% \text{ Ash})$$

ปริมาณธาตุคาร์บอนคงที่เมื่ออยู่ในรูปของ Dry mineral matter free basis ใช้ในการจัด ลำดับคุณภาพถ่านหิน และใช้ในการพิจารณาถึงปริมาณถ่านโค้กที่ผลิตได้จากกระบวนการทำถ่านโค้ก

### 2.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในถ่านหิน

การวิเคราะห์แบบนี้ เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุแต่ละตัวที่รวมกันอยู่ในโครง สร้างโมเลกุลของถ่านหิน ธาตุเหล่านี้ได้แก่ คาร์บอน (Total carbon) ไฮโดรเจน (Total hydrogen) กำมะถัน (Total sulfur) ไนโตรเจน (Total nitrogen) และออกซิเจน รวมทั้งการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ที่มีอยู่ในถ่านหินด้วย

1) **คาร์บอน** วิเคราะห์ได้จากการเผาตัวอย่างถ่านหิน โดยมีแรงปฏิกิริยาอยู่ด้วยใน บรรยากาศของออกซิเจน จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถวัดปริมาณได้ (ASTM D 3178) ธาตุ คาร์บอนนี้เป็นธาตุที่ได้จากสารอินทรีย์ และสารประกอบคาร์บอนเนตต่างๆ จะสังเกตได้ว่าปริมาณธาตุ คาร์บอนในแต่ละตัวอย่างจะมีปริมาณมากกว่าปริมาณธาตุคาร์บอนคงที่

2) **ไฮโดรเจน** วิเคราะห์จากการเผาตัวอย่างถ่านหินโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วยใน บรรยากาศของออกซิเจน จะมีน้ำเกิดขึ้น ซึ่งน้ำนี้จะถูกดูดซับไว้ในสารดูดซับแลหาปริมาณได้โดย การชั่งน้ำหนัก ไฮโดรเจนที่อยู่ในตัวอย่างทั้งในรูปของความสัมพันธ์และน้ำที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุ (ASTM D 3178)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจน ใช้ในการคาดคะเนการเผา ไหม้ของถ่านหิน ใช้คำนวณ heat balance สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อน้ำร้อน ใช้ใน การคำนวณหาค่าความร้อนโดยประมาณได้และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาถึงกระบวนการ แปรรูปถ่านหิน

3) **ไนโตรเจน** วิเคราะห์โดยใช้วิธี Kjeldahl Gunning method ซึ่งเป็นการย่อยสลายทาง เคมี (ASTM D 3179) ไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย โดยที่แอมโมเนียนี้จะกลั่นตัว และเก็บไว้ในกรด และหาปริมาณได้โดยการทำไตเตรชัน (กรด-ด่าง)

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนนี้ จะใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพถ่านหิน สามารถ ประมาณปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้ถ่านหินนั้นๆ และยังใช้คาดคะเน ปริมาณของไฮโดรเจนที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ สกัดเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน (Liquefaction) และการทำก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal gasification)

4) **กำมะถัน** โดยทั่วไปจะพบกำมะถัน 3 รูปแบบ ได้แก่ กำมะถันที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ในรูปของไพไรต์ หรือมาร์คาไซต์ และในรูปของอนินทรีย์ซัลเฟต ผลรวมของกำมะถันทั้ง 3 รูป คือ ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total sulfur) วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันมีอยู่ 3 วิธี คือ

- Eschka method ถ่านหินถูกเผาไหม้ในส่วนผสมของแมกเนซียมออกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต กำมะถันถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ แล้วตกตะกอนเป็นแบเรียมซัลเฟต กรองเผาตะกอนและชั่งน้ำหนัก

- Bomb Washing method เป็นการตกตะกอนกำมะถันจากน้ำที่ได้จากออกซิเจน bomb calorimeter ให้เป็นแบเรียมซัลเฟต

- High temperature combustion method ตัวอย่างถ่านหินจะถูกเผาไหม้ในเตาเผา (Tube furnace) ซึ่งซัลเฟอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บไว้และหาปริมาณได้โดยใช้การไตเตรชัน (กรด-ด่าง)

ปริมาณกำมะถันมีความสำคัญมากในการนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ เช่น ในการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จะมีซัลเฟอร์ออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เครื่องมือ เครื่องใช้เกิดการผุกร่อน และเป็นมลพิษต่ออากาศ และสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพื่อควบคุมการปล่อยซัลเฟอร์ออกไซด์เมื่อนำถ่านหินมาเผาไหม้ และยังเป็นข้อมูลการเลือกกรรมวิธีในการขจัดกำมะถันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของถ่านหิน

5) **ออกซิเจน** ในถ่านหินพบออกซิเจนในรูปของสารอินทรีย์ อาทิเช่น Hydroxyl, Carbonyl, Methyl และ Carbonyl group ส่วนที่พบในสารอนินทรีย์ ได้แก่ ที่พบในรูปของความชื้น ซิลิเกต คาร์บอเนต ออกไซด์ และซัลเฟต ปริมาณของออกซิเจนได้จากการคำนวณ ดังนี้

$$O (\%) = 100 - (\% C + \% H + \% N + \% S + \% \text{Ash})$$

การวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของถ่านหินก็คือ การวิเคราะห์หาค่าความร้อน (Calorific Value) หาได้จากการเผาไหม้ ตัวอย่างถ่านหินใน Oxygen bomb และวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (ASTM D 2015) ค่าความร้อน หมายถึง ความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ของคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และไพไรต์ พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เป็นสิ่งสำคัญสิ่งแรกสำหรับผู้ผลิตและผู้ใช้ถ่านหิน ผลของการวิเคราะห์ค่าความร้อน เมื่ออยู่ในรูปของ Moisture mineral matter free basis

## 2.4 แหล่งสำรองถ่านหิน<sup>4)</sup>

แหล่งสำรองถ่านหินในโลก แสดงดังตารางที่ 2.4



## ตารางที่ 2.4 แสดงแหล่งสำรองถ่านหินของโลกแบ่งเป็นภูมิภาค <sup>4)</sup>

Region	Coal rank	Proved in place (Mtonne)	Proved recoverable (Mtonne)	Additional in place (Mtonne)
North and Central America	Bituminous	233,097	118,055	495,970
	Subbituminous	177,459	83,527	292,716
	Lignite	43,078	22,511	401,703
S. America	Bituminous	17,245	11,074	2,242
	Subbituminous	7,971	2,525	15,592
Europe	Bituminous	438,235	163,984	2,585,562
	Subbituminous	54,942	39,719	1,903,345
	Lignite	264,848	196,681	1,229,953
Asia	Bituminous	803,922	674,091	133,013
	Subbituminous	1,080	916	2,815
	Lignite	145,382	130,346	310,002
Africa	Bituminous	132,211	61,633	115,320
	Subbituminous	1,303	169	1,000
	Lignite	44	—	—
Oceania	Bituminous	66,269	45,367	500,267
	Subbituminous	4,377	3,781	953
	Lignite	48,046	41,909	209,500

แหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่สำรวจพบส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ และพบในภาคใต้บ้าง ถ่านหินที่พบเกือบทั้งหมดเป็นชนิดลิกไนต์ถึงบิทูมินัส และมักพบในหินยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) มักพบถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ด้วย แต่พบเพียงไม่กี่แห่งเท่านั้น แหล่งถ่านหินที่ใหญ่ที่สุดและมีการผลิตมากที่สุดคือ เหมืองแม่เมาะ จ.ลำปาง มีปริมาณสำรองคงเหลือ 1,326.90 ล้านตัน (ปี 2536) ผลิตถ่านหินไปแล้ว 81.1 ล้านตัน ถ่านหินทั้งหมดนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ในปี 2536<sup>1)</sup> แหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่ทำการสำรวจพบแล้วมีจำนวน 23 แห่ง มีปริมาณสำรองรวมทั้งหมด 2,172 ล้านตัน สามารถแบ่งแหล่งถ่านหินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แหล่งถ่านหินที่ถูกเปิดเป็นเหมืองถ่านหินแล้ว และแหล่งถ่านหินที่ยังไม่ถูกพัฒนา

- แหล่งที่เปิดเป็นเหมือง ปริมาณสำรอง 1,498 ล้านตัน
- แหล่งที่ยังไม่ถูกพัฒนา ปริมาณสำรอง 674 ล้านตัน

แหล่งถ่านหินที่ถูกเปิดเป็นเหมืองถ่านหิน มีจำนวน 12 แห่ง มีปริมาณสำรอง รวม 1,498 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภาคเหนือของประเทศไทย (ตารางที่ 2.6)

แหล่งถ่านหินที่ยังไม่ถูกพัฒนาเป็นเหมือง มีจำนวน 11 แห่ง มีปริมาณสำรองทางธรณีวิทยา (Measured reserved) 674 ล้านตัน แหล่งถ่านหินที่ใหญ่ที่สุดที่ยังไม่ได้ทำการพัฒนา คือ แหล่งถ่านหินสะบ้าย้อย จ.สงขลา มีปริมาณสำรอง 323.80 ล้านตัน (ตารางที่ 2.5)

คุณภาพของถ่านหินแหล่งต่างๆ ที่สำรวจพบแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณสำรองของเหมืองถ่านหินในประเทศไทย<sup>1)</sup>

แหล่งถ่านหิน	จังหวัด	ปริมาณการผลิต	ปริมาณสำรอง		ชนิดของถ่านหิน
			ทั้งหมด	คงเหลือ	
แม่แจ่ม	เชียงใหม่	1.1	1.20	0.10	Subbituminous/Bituminous
แม่ตึบ	ลำปาง	0.6	11.00	10.40	Lignite/Bituminous
แม่เมาะ	ลำปาง	81.1	1,408.00	1,326.90	Lignite/Bituminous
แม่ทาน	ลำปาง	1.3	35.00	33.70	Lignite/Bituminous
ลี่	ลำพูน	16.7	28.00	11.30	Lignite/Bituminous
แม่คีน	ตาก	0.3	1.23	0.90	Lignite/Bituminous
แม่ละเมา	ตาก	0.5	1.63	1.10	Lignite/Bituminous
หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี	0.5	1.40	0.90	Lignite/Bituminous
กระบี่	กระบี่	7.5	120.00	112.50	Lignite/Subbituminous
กันตัง	ตรัง	0.01	N.A.	N.A.	Lignite
นาควง	เลย	0.13	N.A.	N.A.	Anthracite
นากลาง	อุดรธานี	0.006	N.A.	N.A.	Anthracite
	<b>รวม</b>	<b>109.75</b>	<b>1,607.46</b>	<b>1,497.80</b>	

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณสำรองของแหล่งถ่านหินที่ยังไม่ได้พัฒนา<sup>1)</sup>

ชื่อแ่ง	จังหวัด	ปริมาณสำรอง	ชนิดถ่านหิน
เวียงแหง	เชียงใหม่	80.20	Lignite/Subbituminous
แจ้ห่ม/เมืองปาน	ลำปาง	16.29	Lignite/Subbituminous
วังเหนือ	ลำปาง	9.01	Lignite/Subbituminous
งาว	ลำปาง	48.40	Lignite/Subbituminous
เสริมงาม	ลำปาง	6.19	Lignite/Subbituminous
เชียงม่วน	พะเยา	62.47	Lignite/Subbituminous
แม่ทะ	ลำปาง	24.38	Lignite/Subbituminous
แม่ระมาด	ตาก	39.58	Lignite/Subbituminous
สินปุน	กระบี่	48.40	Lignite/Subbituminous
เคียนซา	สุราษฎร์ธานี	15.41	Lignite/Subbituminous
ตะบ้าย้อย	สงขลา	323.80	Lignite
	<b>รวม</b>	<b>674.19</b>	

## ตารางที่ 2.7 สรุปสมบัติแหล่งถ่านหินที่สำคัญในประเทศไทย<sup>1)</sup>

แหล่งถ่านหิน & สถานที่ตั้ง	คุณภาพถ่านหิน* ทางธรณีวิทยาของแหล่ง (as received)			
	M (%)	A (%)	CV(Kcal/kg)	S (%)
1. เหมืองแม่เมาะ อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง	29.19	27.48	2,201	2.90
2. เหมืองกระบี่ กิ่ง อ. เหนือคลอง จ. กระบี่	26.14	36.45	1,976	1.95
3. สะบ้าย้อย อ.สะบ้าย้อย จ. สงขลา	25.68	37.37	2,069	1.22
4. สีนปุ่น อ.สินปุ่น จ. กระบี่	32.67	21.08	2,715	5.47
5. เวียงแหง อ.เวียงแหง จ. เชียงใหม่	28.00-32.00	13.00-15.00	3,700	0.40-1.00%
6. เขียนซา อ.เขียนซา จ.สุราษฎร์ธานี	17.20	43.92	1,959	1.58
7. งาว อ. งาว จ. ลำปาง	26.00-39.00	23.43	1,425-2,811	-
8. เข็ยม่วน อ.เข็ยม่วน จ. พะเยา	-	-	1,198-3,355	-
9. ลี้ อ. ลี้ จ. ลำพูน	11.61-36.42	17.79-44.72	1,295-2,662	0.05-2.32

### 2.5 การทำเหมืองถ่านหิน<sup>1)</sup>

การทำเหมืองถ่านหินโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ การทำเหมืองแบบเหมืองเปิด (Surface mining) และการทำเหมืองแบบเหมืองใต้ดิน (Underground mining) การพิจารณาเลือกการทำเหมืองจะยึดถือลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งแร่ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลักในการพิจารณา การทำเหมืองในแต่ละแบบมีรายละเอียดในการดำเนินการ ดังนี้

การทำเหมืองประเภทเหมืองเปิด เหมาะสำหรับเหมืองถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งผลผลิตของถ่านหินส่วนใหญ่จะได้จากเหมืองประเภทนี้ ในการทำเหมืองเริ่มจากการเตรียมพื้นที่พร้อมทั้งสร้างโรงแต่งแร่ (กรณีจำเป็น) และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่สำคัญมากในการทำเหมืองถ่านหินแบบนี้คือ พื้นที่ทิ้งดิน (Waste dump) ที่กองหน้าดินและ Stockpile ทั้งนี้เพราะพื้นที่เหล่านี้จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นการกำหนดพื้นที่จึงต้องกำหนดให้อยู่ใกล้กับขอบเขตสุดท้ายของการทำเหมือง (Proposed final pit) ให้มากที่สุด จากนั้นจึงเลือกเครื่องจักรกลตามความจำเป็นและความ

เหมาะสม เนื่องจากการทำเหมืองแบบนี้ต้องทำการขุดดินออกจนถึงชั้นถ่านหิน ดังนั้นในการทำเหมืองจึงจำเป็นต้องทำการเปิดหน้าดินเป็นการล่วงหน้าเพื่อให้สามารถขุดถ่านหินออกมาใช้ได้ตามกำหนด ลักษณะของงานส่วนใหญ่ที่จะทำจะประกอบด้วยงาน 4 ประเภท คือ เจาะ → ระเบิด → ขุด → ขน การเจาะและระเบิดนั้นจำเป็นหรือไม่ขึ้นอยู่กับสมบัติและความแข็งของวัสดุที่จะทำการขุด ส่วนการขุดและขนนั้นจะต้องเลือกใช้เครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับงานแต่ละงาน เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากงานหลักดังกล่าวแล้ว ยังมีงานสนับสนุนที่จำเป็นเช่นเดียวกัน ได้แก่

- งานด้านสุขภาพ และความปลอดภัยในการทำงาน
- งานควบคุมทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งด้านเสียง ฝุ่น น้ำ ฯลฯ
- งานควบคุมทางด้านวิศวกรรมธรณี เพื่อป้องกันการพังทลายของผนังบ่อเหมืองและที่ทิ้งดิน
- งานด้านระบบระบายน้ำ
- งานด้านบำรุงรักษาเครื่องจักรกล
- งานระบบสื่อสาร
- งานด้านวิศวกรรมโยธา เช่น งานก่อสร้างต่างๆ งานบำรุงรักษาถนนทางวิ่งสำหรับการขนส่ง เป็นต้น
- งานฟื้นฟูสภาพเหมือง (Reclamation)

ในบางครั้งอาจมีข้อจำกัดที่ทำให้ต้องตัดสินใจเลือกการทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองใต้ดิน ข้อจำกัดที่เห็นได้ชัดคือ

- ชั้นถ่านหินอยู่ลึกจากผิวดินมาก ไม่สามารถทำเหมืองเปิดได้ เพราะต้องขุดเปิดดินและหินออกจำนวนมากก่อนที่จะถึงชั้นหิน ทำให้อัตราส่วนระหว่างดินต่อถ่านหิน (Stripping ratio) ที่ต้องขุดออกสูงมาก ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการขุดดินและถ่านหินแพงกว่าราคาถ่านหินที่จะขายได้ จำเป็นต้องเลือกวิธีการทำเหมืองใต้ดิน

- แหล่งถ่านหินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน หรืออยู่ใกล้บริเวณที่มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างเข้มงวด ทำให้การทำเหมืองเปิดไม่สามารถควบคุมมลภาวะที่เกิดจากการทำเหมืองให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ค่อนข้างสูงได้ หรืออาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการควบคุมมลภาวะ การเลือกวิธีการทำเหมืองใต้ดินอาจเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่า

วิธีการทำเหมืองถ่านหินใต้ดิน ได้แก่

- Longwall mining เป็นวิธีการที่จะสามารถขุดถ่านหินได้ค่อนข้างสะอาด สามารถเก็บถ่านหินได้มากกว่า 90 % สภาพหน้างานมีความปลอดภัยค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำเหมืองวิธีอื่น สามารถให้ผลการผลิตสูงใช้จำนวนคนงานในบริเวณหน้างานน้อย แต่มีค่าลงทุนเบื้องต้นสูงมาก

- Room and pillar เหมาะกับชั้นถ่านหินที่วางตัวในแนวราบ หรือค่อนข้างราบ (ชั้นน้อยกว่า 15 องศา)
- Hydraulic mining การทำเหมืองโดยวิธีนี้จะทำในแหล่งถ่านหินที่ชั้นถ่านหินวางตัวเอียงชันมาก
- Diagonal saw-teeth mining การทำเหมืองโดยวิธีนี้จะใช้กับชั้นถ่านหินที่วางตัวเอียงชันมากเช่นกัน

กิจกรรมหลักสำหรับการทำเหมืองแบบใต้ดิน คือ การขนส่งถ่านหิน การระบายอากาศ การระบายน้ำ (Drainage) ในเหมืองใต้ดิน

## 2.6 การแต่งถ่านหิน

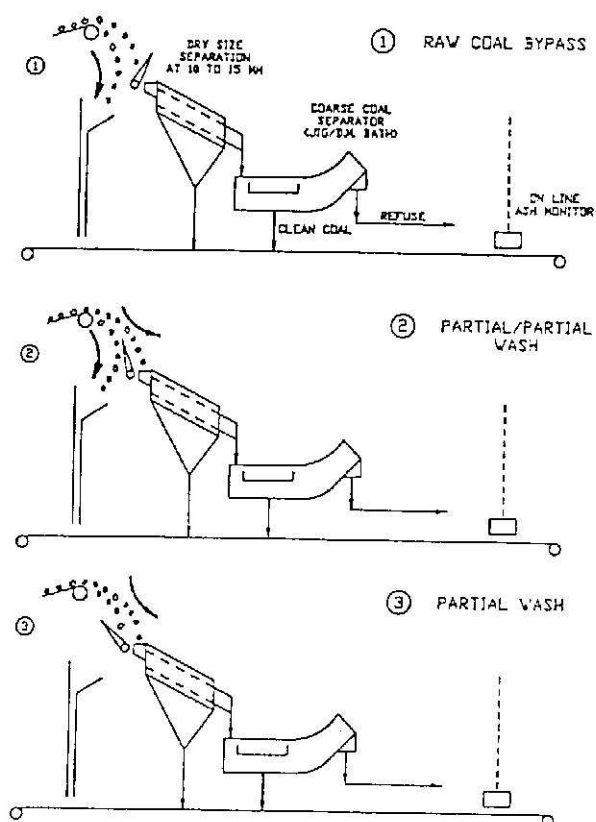
ความจำเป็นในการแต่งถ่านหินเพื่อให้สะอาดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการล้างทำความสะอาดแหล่งนั้นๆ ในเทอมของ Washability data
2. ควรเลือกระดับการล้างทำความสะอาดที่ต้องการ เพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดที่ต้องการในการขาย
3. เลือกรวบรวมการแต่งถ่านหินเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่กำหนดไว้ เช่น การแต่งโดยใช้สารมัชฉิมหนัก (dense medium bath) กับการใช้จิ๊ก (Baum jig) การเลือกรวบรวมการแต่งว่าจะใช้แบบใดขึ้นอยู่กับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ
4. การพัฒนาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด

การเลือกชนิดของวงจรรวมในการแต่งถ่านหิน จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนประกอบของถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่โรงล้างแร่ และปริมาณเชื้อเพลิงที่กำหนดให้ป้อนอยู่ในผลผลิต ถ่านหินมีปริมาณถ่านหินน้อยกว่าระดับที่กำหนดก็ไม่จำเป็นต้องมีการล้าง แต่ถ้ามีปริมาณสูงกว่าก็จำเป็นต้องมีการล้างถ่านหินบางส่วนหรือทั้งหมดของถ่านหินป้อนทั้งหมดก็ได้ จัดแบ่งระดับของการแต่งออกเป็น 4 ระดับ กล่าวคือ (1) ไม่ต้องล้าง (2) ล้างเพียงบางส่วน (3) ล้างกึ่งหนึ่ง (4) ล้างทั้งหมด

ในกรณีที่ไม่ต้องล้าง เนื่องจากปริมาณถ่านหินป้อนต่ำกว่า 10 % และต่ำกว่าข้อกำหนดของการซื้อขาย

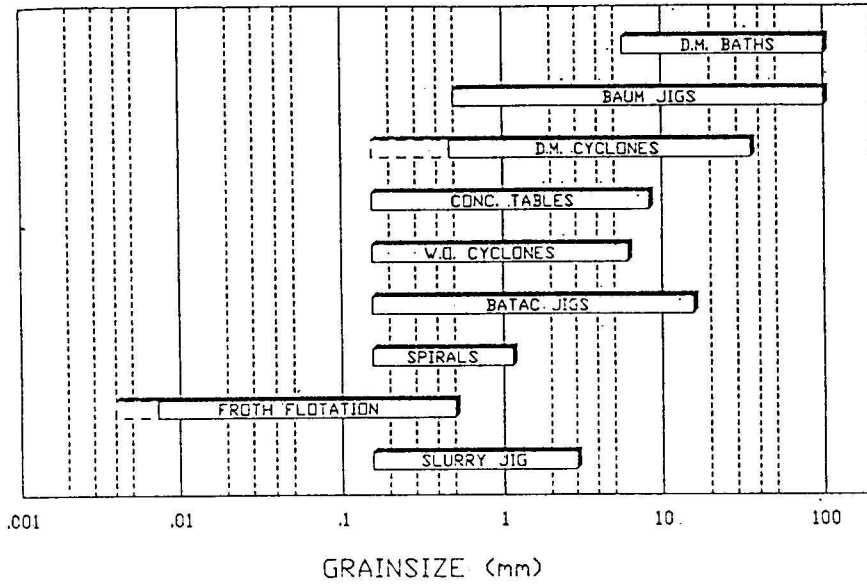
สำหรับการล้างเพียงบางส่วน ปริมาณถ่านหินของแหล่งยังเกินข้อกำหนดอยู่บ้างเพราะ เนื่องจากมีมลทินพวกหินขนาดใหญ่ เช่น หินทราย หรือหินดินดานที่ติดมา เมื่อบดอยู่ที่ขนาด 6-18 มม. ขนาดของมลทินเหล่านี้จะโตกว่า จึงทำการคัดขนาดแหล่งของถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มม. ออกไปก่อนส่วนขนาดที่โตกว่า ซึ่งมีมลทินอยู่นำเข้าสู่กระบวนการเปียก เช่น แต่งด้วยจิ๊ก (รูปที่ 2.4)



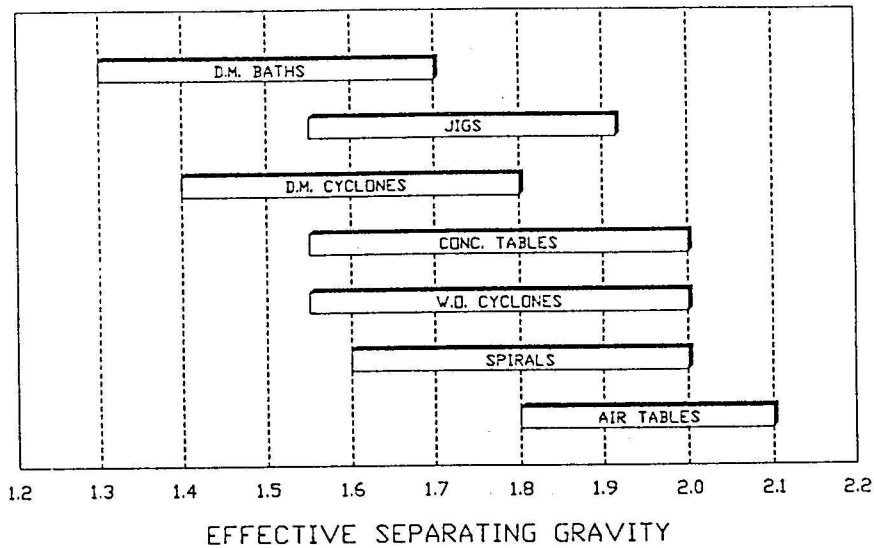
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรล้างถ่านหินบางส่วนเนื่องจากมีปริมาณเถ้าของแหล่ง  
ใกล้เคียงกับข้อกำหนด<sup>7)</sup>

สำหรับกรณีที่ถ่านหินส่วนใหญ่ จะทำถ่านหินให้เปียกโดยให้มีขนาดละเอียด 0.6 มม. (28 เมช) หรือ 0.15 มม. (100 เมช) ในบางกรณีถ่านหินละเอียดอาจจะถูกกำจัดทิ้งไป เนื่องจากมีมลทินขนาดเล็กปนเปื้อนมาก ในบางกรณีขนาดใหญ่จะถูกกำจัดออกไปเพื่อแต่งเอามลทินออก และบางครั้งจำเป็นต้องแต่งถ่านหินทั้งหมด เพราะมีปริมาณเถ้าสูงกว่าข้อกำหนดอยู่พอควร กระบวนการที่เหมาะสมจะถูกเลือกเพื่อแต่งถ่านหินส่วนใหญ่จะมีขนาด 0.6 x 0 มม. (28 เมช x 0) หรือ 0.15 มม. x 0 โดยอาจเลือกใช้วิธีการลอยแร่ เป็นต้น

จะเห็นว่ามือเครื่องแต่งถ่านหินหลายชนิดที่สามารถเลือกใช้ได้ แต่ค่าใช้จ่ายก็แพงเช่นกัน อย่างไรก็ตามถ่านหินบางชนิดสามารถล้างได้ง่าย ทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลงได้ และเป็นการผลิตถ่านหินสะอาดมีประสิทธิภาพ การเลือกเครื่องมืออาจมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของถ่านหินป้อน ความถ่วงจำเพาะที่แยกแล้วได้ผล และประสิทธิภาพของเครื่องมือแต่ละวิธีการ ข้อเสนอแนะการเลือกเครื่องมือโดยอาศัยขนาดของถ่านหินป้อนเป็นหลักแสดงดังรูปที่ 2.5 และอาศัยความถ่วงจำเพาะที่แยกแล้วได้ผลแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของเครื่องมือล้างถ่านหินกับขนาดของถ่านหินป้อน<sup>7)</sup>



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะที่แยกแล้วได้ผลด้วยเครื่องมือต่างๆ<sup>7)</sup>

### 2.6.1 การแต่งถ่านหินด้วยวิธีใช้สารมัชฌิมหนัก (Heavy media or dense media)

ปัจจุบันประเทศในตะวันตกใช้วิธีการแต่งถ่านหินด้วยวิธีใช้สารมัชฌิมหนักสูงถึง 38 % สถาบันพลังงานไฟฟ้าของสหรัฐอเมริกา<sup>7)</sup> ได้ประมาณว่าถ่านหินปริมาณ 150 ล้านตันถูกแต่งด้วยวิธีใช้สารมัชฌิมหนัก (2529) และเพิ่มขึ้นถึง 265 ล้านตันในปี 2533

วิธีการนี้จะล้างถ่านหินด้วยการนำถ่านหินใส่ลงไปของไหลที่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่างถ่านหินสะอาดและมลทิน ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณถ่านหินที่อยู่ในถ่านหินจะมีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะของถ่านหิน ดังนั้นการแยกมลทินจะทำได้โดยการควบคุมความหนาแน่นของมัชฌิมให้อยู่ระหว่างถ่านหินสะอาดและมลทิน ข้อดีของการแต่งถ่านหินแบบนี้ คือ สามารถแยกได้ค่อนข้างเด็ดขาดที่ทุกๆ ความถ่วงจำเพาะถึงแม้ความถ่วงจำเพาะของถ่านหินและมลทินจะใกล้เคียงกัน สามารถควบคุมความถ่วงจำเพาะได้ถึง  $\pm 0.05$  (ของค่า ถ.พ.) สามารถใช้แต่งถ่านได้ช่วงขนาดที่กว้างสามารถที่จะเปลี่ยนหรือปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้ได้ตามตลาดต้องการ และสามารถใช้ได้ถึงแม้เกรดของถ่านหินก่อนจะไม่คงที่ แต่ข้อเสียสำหรับวิธีนี้ คือ ค่าลงทุนสูงในการซื้อเครื่องมือเก็บและหมุนเวียนมัชฌิม ค่าดำเนินการแพงเนื่องจากจะต้องมีการใช้มัชฌิมหมุนเวียนและการสูญเสียมัชฌิม ค่าซ่อมบำรุงสูงถ้าสารมัชฌิมที่ใช้ มีความขจัดสีสูง มีความยุ่งยากในระบบนั้น และข้อต่อต่างๆ เนื่องจากการตกตัวของสารมัชฌิม

สารมัชฌิมที่ใช้ได้แก่

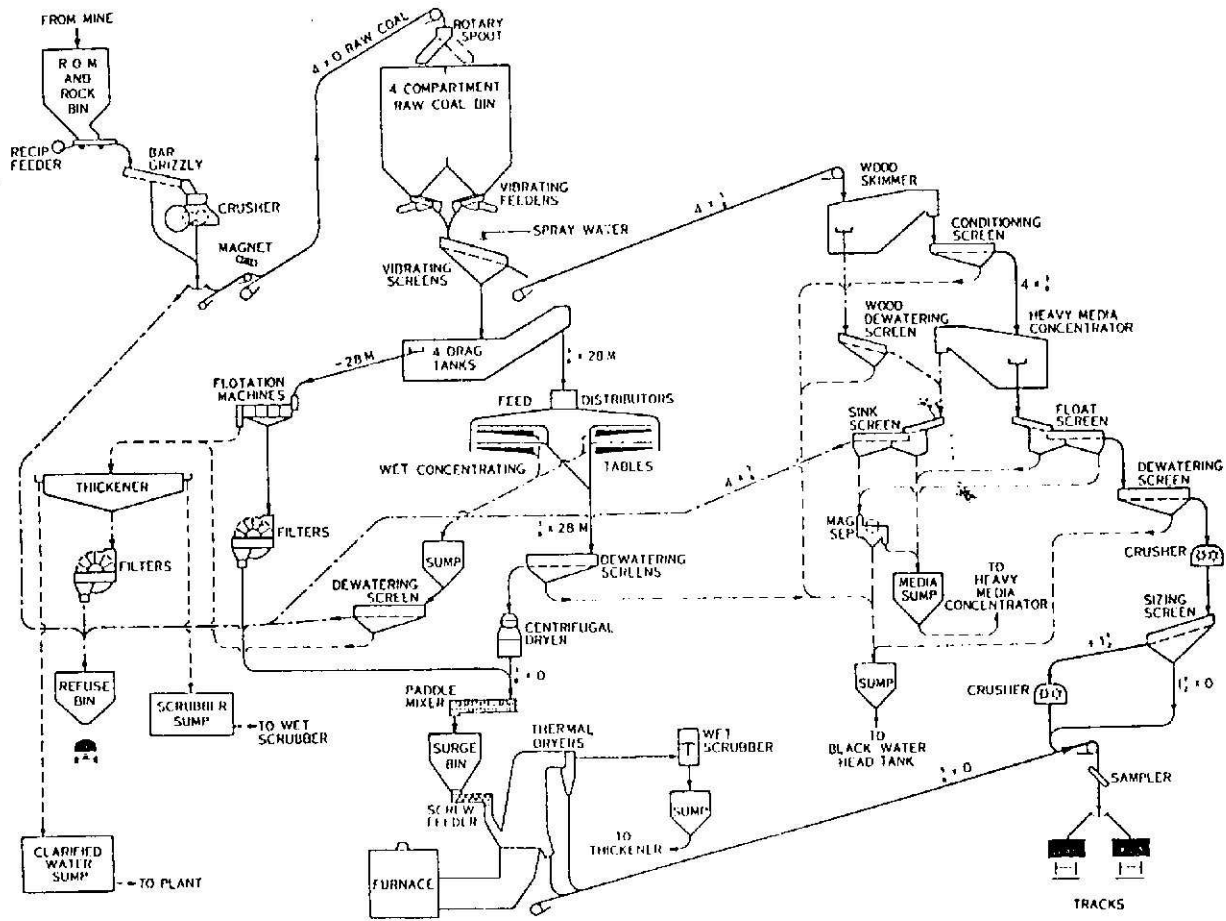
- ของเหลวอินทรีย์ (Organic liquids) ได้แก่ gasoline, benzene, perchlorethylene, carbon tetrachloride, bromoform, acetylene tetrabromide, และ pentachlorethane แต่สารเหล่านี้จะใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่ โดยใช้ทำการทดสอบ ลอย-จม (Float-sink testing)

- สารละลายน้ำเกลือ (Dissolved salts in water)  
เกลือที่ใช้ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ และซิงค์คลอไรด์ ละลายในน้ำ แต่วิธีนี้การปรับความถ่วงจำเพาะหลังจากใช้แล้วให้ได้ตามที่ควบคุมต้องใช้ปริมาณเกลือมาก จึงไม่ค่อยนิยม

- สารแขวนลอย (Suspensions)  
ปัจจุบันในอุตสาหกรรมใช้มัชฌิมเป็นสารแขวนลอยส่วนใหญ่ เพราะมีความหนืดน้อย มัชฌิมที่ใช้ได้แก่ แมกเนไตต์ (ถ.พ.=5) และแบไรต์ (ถ.พ.= 4.2) และเฟอโรซิลิกอน (ถ.พ.=6.8)

กระบวนการแต่งถ่านหินด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน กล่าวคือ การเตรียมถ่าน การล้างถ่านหิน การเก็บผลผลิต และการเก็บมัชฌิมมาใช้ใหม่ (รูปที่ 2.7)





รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ  
ด้วยวิธีใช้สารแม่พิมพ์หนัก

สูตรการหาความหนาแน่นของสารแขวนลอย คือ

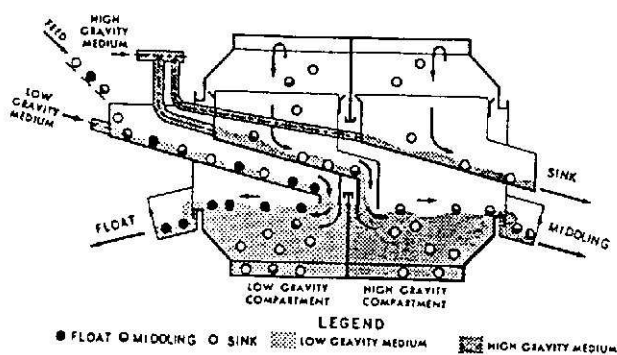
$$D = \frac{100}{(100-C) + \frac{C}{d}}$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของสารแขวนลอย (กรัม/ลบ.ซม.)

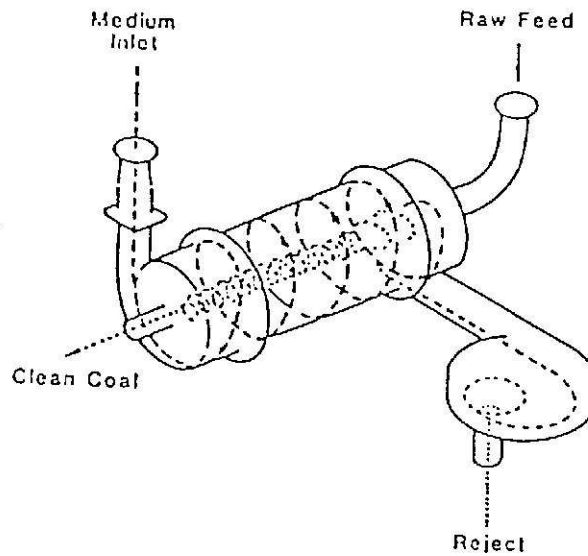
d คือ ความหนาแน่นของของแข็ง (กรัม/ลบ.ซม.)

C คือ ความเข้มข้นโดยน้ำหนักของของแข็งในสารแขวนลอย (% solids)

เครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการนี้ได้แก่<sup>7)</sup> Cone-type vessels, Trough type vessels, McNally Lo-Flo dense media vessels, DMS dense medium precision coal washer, Wilmot HM vessels, WEMCO drum separator (รูปที่ 2.8) และ Centrifugal dense medium separator (รูปที่ 2.9)

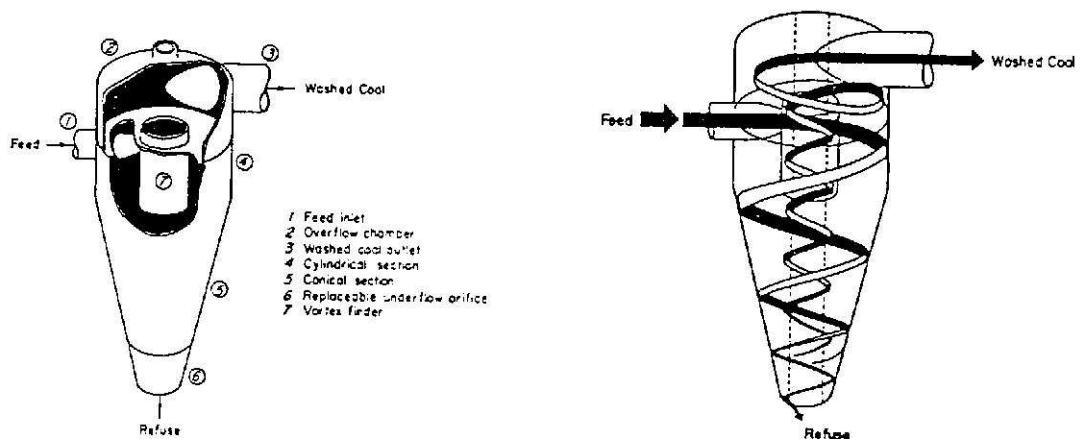


รูปที่ 2.8 WEMCO drum separator<sup>7)</sup>

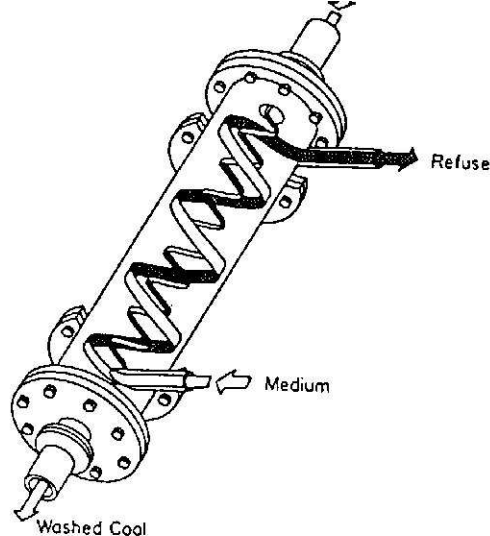


รูปที่ 2.9 LARCODEMS separator flow pattern<sup>7)</sup>

ในกรณีที่ถ่านหินมีขนาดละเอียดมากขึ้นอาจจะใช้เครื่องมือชนิด Dense-medium cyclone (รูปที่ 2.10) และ Dynawhirlpool vessel (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.10 แสดงภาพตัดขวาง Dense-medium cyclone และรูปแบบการไหล<sup>7)</sup>



รูปที่ 2.11 ภาพจำลอง Dynawhirlpool vessel<sup>7)</sup>

### 2.6.2 การแต่งแร่โดยใช้โต๊ะสั้น<sup>8)</sup>

ผู้ริเริ่มทดลองแต่งถ่านหินโดยใช้โต๊ะสั้น คือ Chapman and Mott โดยใช้ Bumping Tables ในการแต่งถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้โต๊ะแบบ Diester และพัฒนามาใช้โต๊ะแบบ Wilfley โดย Arthur Wilfley

ทฤษฎีของ Bird and Divis เกี่ยวกับการแต่งถ่านหินโดยใช้โต๊ะสั้น

Bird and Divis เป็นผู้ที่ให้ความสนใจอย่างจริงจังในการค้นคว้าและทำการทดลองแต่งถ่านหินโดยใช้โต๊ะสั้น ได้เฝ้ามองปรากฏการณ์แยกตัวระหว่างเม็ดถ่านหินกับเม็ดหินดินดานบนโต๊ะ และสรุปออกมาเป็นทฤษฎี 2 ข้อ คือ

#### 1. Hindered Settling กล่าวไว้ว่า

- แร่ชนิดเดียวกันที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากัน แร่เม็ดขนาดเล็กกว่าจะถูกหน่วงมากกว่าแร่เม็ดใหญ่กว่า แร่เม็ดใหญ่จึงถูกน้ำพัดพาไปได้ง่ายและไกลกว่า

- แร่สองชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน แร่หนักจะถูกหน่วงมากกว่าแร่เบา ดังนั้นแร่เบาจึงถูกน้ำพัดพาไปได้ไกลกว่า

- ความถ่วงจำเพาะที่ต่างกัน จะมีผลต่อการถูกหน่วงได้มากกว่า เมื่อเทียบกับความแตกต่างระหว่างขนาดของเม็ดแร่

#### 2. Stratification กล่าวไว้ว่า

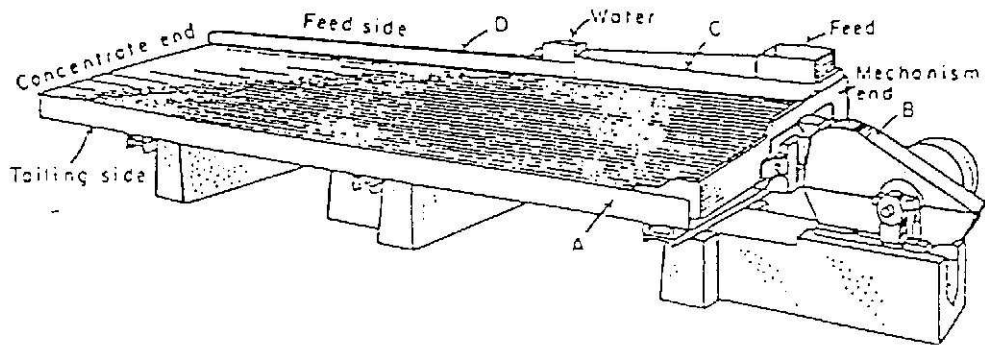
แรงที่กระทำต่ออนุภาคบนโต๊ะมี 2 แรง คือ

1. แรงกระทำเนื่องจากน้ำ (Cross flowing water)

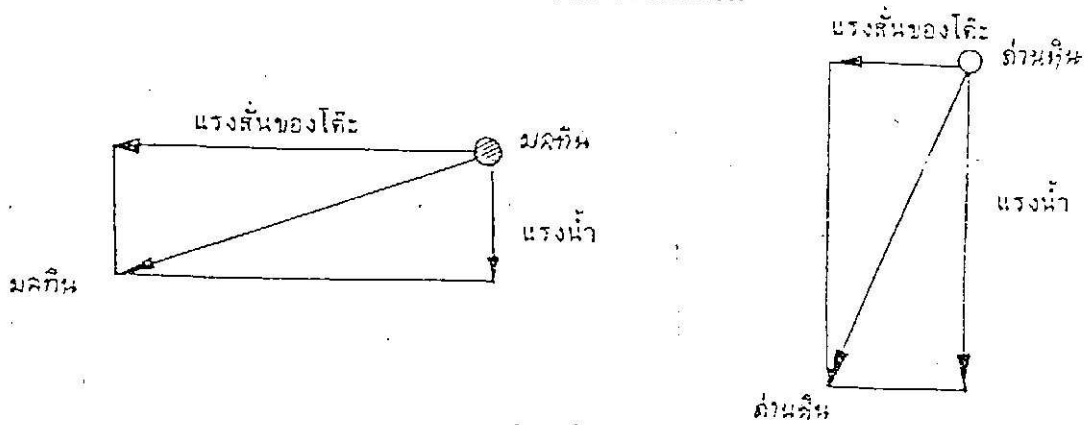
2. แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Force due to gravity) ทำให้อนุภาคไหลลง

ตามแนวความเอียงของโต๊ะที่ลดลง ภายใต้การสั่นของโต๊ะที่ทำให้ deck เคลื่อนไปข้างหน้าช้าและเคลื่อนกลับเร็ว

Bird and Divis ได้ทำการศึกษาผลของแรงน้ำที่กระทำต่อชั้นถ่านที่ป้อนขึ้นแต่งบนโต๊ะ พบว่ากระแสน้ำจะไหลอยู่เหนือชั้นถ่านและจะไหลอยู่ระหว่างลูกคั้น เป็นรูปตัว V โดยกระแสจะไหลแรงในตอนบนของชั้นถ่าน และจะไหลช้าลงสำหรับตอนล่างของชั้นถ่านและพบว่าถ่านเม็ดหยาบ จะอยู่ตอนบนและถ่านเม็ดละเอียดจะอยู่ตอนล่าง ถ่านเม็ดหยาบจึงถูกกระแสที่แรงกว่าพัดพาไปด้วย ระยะทางที่ไกลกว่า และแยกตัวออกจากโต๊ะคอกสู่ส่วนของถาดที่รองรับหัวแร่ ส่วนหินแป้งและถ่านเม็ดละเอียด จากผลของ Hindered settling ทำให้ถูกหน่วง และถูกกักให้อยู่ระหว่างลูกคั้น เคลื่อนที่ไหลลงตามแนวความเอียง โดยมีลูกคั้นเป็นแนวทาง จนกระทั่งถึงบริเวณตอนล่างของโต๊ะ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีชั้นแร่บางมาก เนื่องจากถ่านเม็ดหยาบ และถ่านเม็ดปานกลาง แยกตัวออกหมดแล้ว เหลือแต่ถ่านเม็ดละเอียดและหินแป้ง ดังนั้นถ่านเม็ดละเอียด และหินแป้ง เม็ดหยาบ ซึ่งจะถูกหน่วง น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับหินแป้งเม็ดละเอียดและหินแป้งเม็ดหยาบจึงลอยตัวอยู่ตอนบนสุดของชั้นแร่ ถูกกระแสที่ตอนบนซึ่งไหลแรง พัดพาให้แยกตัวออกจากโต๊ะไปตกในบริเวณส่วนของแร่ละเอียด ส่วนหินแป้งเม็ดละเอียดซึ่งเป็นอนุภาคที่ถูกหน่วงมากที่สุด จะถูกกักให้อยู่บริเวณระหว่างลูกคั้นตลอดเวลา จึงตกลงไปตามแนวความเอียง ด้วยอิทธิพลของการสั่นของโต๊ะ โดยมีลูกคั้นเป็นแนวทางและแยกตัว จากโต๊ะ ไปตกในบริเวณส่วนของหางแร่ (รูปที่ 2.12 และ 2.13)

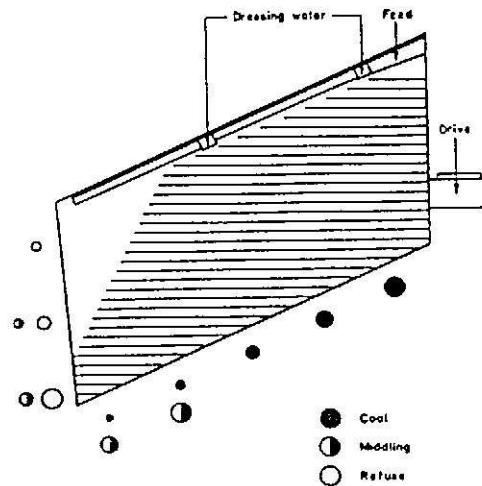


ก. แสดงลักษณะของโต๊ะสั่น



ข. แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของถ่านลิกไนต์และมลทิน

รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของโต๊ะสั่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของถ่านลิกไนต์และมลทิน<sup>9,12)</sup>



รูปที่ 2.13 แสดงการกระจายตัวของถ่านลิกไนต์ และมลทิน<sup>10)</sup>

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแต่งถ่านหินด้วยโต๊ะสั้น<sup>8,11)</sup>

1. รูปร่างและขนาดของอนุภาค

รูปร่างของเม็ดแร่ที่ป้อนขึ้นแต่งบนโต๊ะสั้นนั้น ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแต่งแร่เท่าไร แต่โดยส่วนใหญ่แล้วเม็ดถ่านมักจะเหลี่ยมมากกว่าแบนน้อยกว่าและแตกตัวเป็นแผ่นง่ายกว่าสารมลทิน

ส่วนขนาดของอนุภาค มีผลต่อประสิทธิภาพการแต่งถ่านหินมาก ถ้าขนาดของอนุภาคที่ป้อนไปแต่งบนโต๊ะมีขนาดใกล้เคียงกันมากๆ ประสิทธิภาพการแต่งจะดีมาก ในขณะเดียวกันถ้าขนาดของอนุภาคที่ป้อนขึ้นแต่งบนโต๊ะมีขนาดแตกต่างกันในช่วงกว้างมากจะส่งผลให้ขนาดของอนุภาคในบางช่วงไม่เกิดการแยกตัวระหว่างถ่านกับสารมลทินประสิทธิภาพในการแต่งถ่านหินจะลดลง

ขนาดของอนุภาคที่จะทำให้ประสิทธิภาพการแต่งถ่านหินดีที่สุด คือ 1/4 นิ้วถึง 50 เมช ถ้าเราสามารถเตรียมถ่านหินขนาดดังกล่าวป้อนขึ้นแต่งบนโต๊ะสั้น จะพบว่าสามารถเก็บหัวแร่ของถ่านหินได้ถึง 99.5 % และสามารถคัดหินแป้ง ออกจากถ่านหินไม่น้อยกว่า 95 % ของปริมาณหินแป้งที่มีในถ่านหินก่อนแต่ง

ในทางปฏิบัติแล้ว สำหรับอุตสาหกรรมแต่งถ่านหินโดยใช้โต๊ะสั้น พบว่าขนาดของอนุภาคที่ป้อนขึ้นโต๊ะแยก คือ 3/8 นิ้ว x 0 ซึ่งจะมีประสิทธิภาพการแต่งถ่านหินต่ำกว่าขนาดแร่ป้อน 1/4 นิ้ว x 50 เมช เป็นเรื่องยุ่งยากและเสียเวลา แต่ก็พยายามให้มีอนุภาคขนาด 1/4" x 3/8" และ 50 เมช x 0 มีปริมาณน้อยที่สุด เพราะประสิทธิภาพการแต่งถ่านหินในช่วงขนาดนี้ไม่ค่อยดี

## 2. รูปร่างของ deck

โต๊ะที่ใช้สำหรับการแต่งด้านหิน deck จะมีรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน เพื่อเพิ่มจำนวนลูกกั้น และเพิ่มความยาวของลูกกั้น ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมาก ในการแต่งด้านหินเนื่องจากมลทินที่ปนมากับด้านหินมีความถ่วงจำเพาะต่างจากด้านหินไม่มาก จำนวนลูกกั้น และความยาวลูกกั้น จึงมีความจำเป็นต้องมาก เพื่อช่วยในการกักสารมลทินไม่ให้ถูกน้ำพัดพาไปพร้อมกับด้านหิน

## 3. อัตราการป้อนแร่ (Feed Rate)

อัตราการป้อนด้านควรจะเหมาะสมที่จะทำให้ด้านหินกับมลทินเกิดการแยกตัวที่ดี ได้หัวแร่และหางแร่ค่อนข้างสะอาด ซึ่งอัตราการป้อนแร่นั้นขึ้นอยู่กับ ขนาดของโต๊ะที่ใช้แต่งด้านหิน และความเร็วรอบในการสั้นของโต๊ะ ถ้าอัตราการป้อนแร่ช้าเกินไป จะส่งผลให้หัวแร่ที่ได้มีสารมลทินปนมามาก แต่ถ้าอัตราการป้อนแร่เร็วเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียด้านปนไปกับหางแร่ปริมาณมาก

## 4. อัตราการไหลของน้ำล้างด้าน

อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการแต่งด้านหิน โดยใช้โต๊ะสั้น ที่เหมาะสมคือ น้ำ : ของแข็ง = 2 : 1

นอกจากนี้ความเร็วของน้ำล้างด้านหินควรจะเหมาะสม เพราะถ้าให้น้ำแรงไปจะทำให้ไม่เกิดการเอียงชั้น น้ำจะชะเอาทั้งด้านหินและมลทินลงไปสู่หัวแร่หมด หัวแร่จึงไม่สะอาด มีมลทินปนปริมาณมาก แต่ถ้าให้น้ำค่อยไปก็จะได้หัวแร่ที่ประกอบด้วยด้านหินที่สะอาดมากๆ แต่เปอร์เซ็นต์ที่เก็บได้จะต่ำ เพราะจะสูญเสียด้านหินไปกับส่วนของหางแร่มาก

## 5. ความยาวช่วงชักและความเร็ว (Stroke Length and Speed)

ความยาวช่วงชักที่ใช้ในการแต่งด้านหินของอุตสาหกรรมแต่งด้านแต่ละแห่งไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโต๊ะ ขนาดของโต๊ะ และสมบัติของด้านหินที่ต่างกัน แต่โดยเฉลี่ยแล้วค่าความยาวช่วงชักที่ใช้กันมาก คือ 3/4 นิ้ว (19.05 mm) ดังนั้นในการแต่งด้านหินชนิดหนึ่ง สำหรับโต๊ะแยกของแต่ละแห่ง จึงควรจะมีการตั้งค่าความยาวช่วงชักที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการแต่งด้านหินอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลของค่าความยาวช่วงชัก ที่มีต่อประสิทธิภาพการแต่งด้านหิน คือ ถ้าความยาวช่วงชัก มีค่ามากก็จะทำให้การแยกสารมลทินออกจากด้านเร็วขึ้น ทั้งนี้หมายความว่าน้ำล้างด้านต้องมีปริมาณมากด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวช่วงชักกับความเร็วรอบ จะแปรผกผันกัน กล่าวคือในการแต่งด้านหิน ถ้าใช้ความยาวช่วงชักที่ยาวความเร็วรอบที่ใช้ควรจะต่ำ ในทางกลับกันถ้าต้องการความเร็วรอบที่สูงในการแต่งด้านหิน ความยาวช่วงชักควรจะต่ำ

สิ่งที่ใช้ในการพิจารณาเลือกค่าความยาวช่วงชัก และความเร็วรอบในการแต่งด้านหิน ความถ่วงจำเพาะและขนาดของสารมลทิน



- ถ้าความถ่วงจำเพาะของสารมลทินมีค่ามากกว่า ถ่านหินมาก ๆ และขนาดของเม็ดสารมลทินใหญ่ ควรจะใช้เวลาช่วงชักที่ยาวและความเร็วรอบที่ต่ำในการแยกเอาสารมลทินออกมา
- ถ้าความถ่วงจำเพาะของสารมลทินมีค่าใกล้เคียงกับความถ่วงจำเพาะของถ่านหิน ควรจะใช้เวลาเร็วรอบที่สูง และความยาวช่วงชักที่สั้น ในการแยกเอาสารมลทินออกจากถ่านหิน

## 6. ลูกคั่น

ความสำคัญของลูกคั่น บนโต๊ะแยกแร่ มี 3 ประการ คือ

1. กักสารมลทินให้อยู่ระหว่างลูกคั่น ไม่ถูกน้ำพัดพาไปพร้อมกับถ่าน
2. เป็นตัวส่งผ่านแรงจากมอเตอร์ไปสู่วัสดุที่อยู่บนโต๊ะ
3. แรงสะท้อนของกระแส น้ำที่กระทบกับลูกคั่น มีผลทำให้ถ่านหินเม็ดละเอียดที่ถูกกักอยู่กับลูกคั่น พร้อมกับมลทิน ถูกพัดพาลอยตัวข้ามลูกคั่น ไปได้เป็นผลให้สามารถเก็บถ่านเม็ดละเอียดขึ้นมาได้ ในส่วนของถ่านหินสะอาด ทำให้ไม่ต้องสูญเสียถ่านหินเม็ดละเอียดไปพร้อมกับมลทิน

ลูกคั่นที่สูงและยาว จะทำให้ได้ถ่านหินที่สะอาด แต่ถ้าลูกคั่นสูงเกินไปก็จะส่งผลทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ที่เก็บได้ของถ่านหินลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียถ่านหินเม็ดละเอียดไปพร้อมกับมลทิน นอกจากนี้จำนวนลูกคั่นมาก จะส่งผลให้แต่งถ่านหินได้สะอาด

## 7. ความลาดชันของโต๊ะ (Slope)

ความเอียงของโต๊ะต้นที่ใช้ในการแต่งถ่านหินมี 2 แนว คือ

1. ความลาดชันตามยาว (Longitudinal Slope) ในการแต่งถ่านหิน ถ้าพบว่าสารมลทินที่ปนมากับถ่านหินมีความถ่วงจำเพาะสูง ความลาดชันตามยาวจะถูกตั้งให้มีค่ามาก โดยที่ความยาวช่วงชักยาวด้วยในทางตรงข้าม ถ้าถ่านหินและสารมลทินมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน ความลาดชันตามยาวจะถูกตั้งให้มีค่าน้อยและใช้ความเร็วรอบสูงในการแต่ง

2. ความลาดชันตามขวาง (cross slope) ในการแต่งถ่านหินโดยทั่วไปจะตั้งให้โต๊ะมีความลาดชันตามขวางให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากในบางกรณีเช่น ชั้นแร่บนโต๊ะมีความหนามากไป หรือปริมาณน้ำล้างถ่านหินมีไม่เพียงพอ ก็อนุโลมให้ปรับความลาดชันด้านนี้เพิ่มขึ้นได้บ้าง แต่ก็จะมีผลทำให้ถ่านหินที่ผ่านการแต่งไม่สะอาดเท่าที่ควร

### 2.6.3 การแต่งถ่านหินลึกในตโดยใช้จิ๊ก

การแต่งแร่โดยใช้จิ๊กนี้ อาศัยหลักการที่ว่า ถ่านแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน และมีขนาดใกล้เคียงกันมาหย่อนลงในน้ำพร้อมๆ กัน ก่อนที่มีความถ่วงจำเพาะมากที่สุดจะตกตัวก่อน ก่อนที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า และถ่านน้ำนั้นมีการกระเพื่อมขึ้นลงด้วยก็จะช่วยให้ช่วงของการตกตัวของวัตถุแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ ในขณะที่น้ำกระเพื่อมขึ้น กระแสน้ำจะต้านทานการตกตัวของวัตถุ และพัดวัตถุที่เบาทำให้ลอยสูงขึ้นได้มากกว่าวัตถุที่หนัก และในจังหวะที่น้ำกระเพื่อมลงแรงกดจะเร่งให้วัตถุหนักตกตัวได้เร็วกว่าวัตถุเบา และวัตถุที่เบาแตกต่างกันมากขึ้น ถ้าหาแผ่นโลหะ

หรือตะแกรงมาทับระหว่างกลาง ก็จะสามารถแยกวัตถุทั้งสองประเภทออกจากกันได้ (รูปที่ 2.14)

ในการแต่งถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งถ่านหินมีความถ่วงจำเพาะ 1.0-1.40 และมลทินที่ปนอยู่กับถ่านหินลิกไนต์ ได้แก่ หินแข็ง ททราย และดิน เป็นต้น มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 2 ขึ้นไป ดังนั้นเมื่อย่อนถ่านหินลิกไนต์ที่มีมลทินปะปนอยู่ลงไปในจึก มลทินซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าก็จะจม ส่วนถ่านหินลิกไนต์ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าก็จะลอยตัวขึ้นมา

จึกมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน<sup>5)</sup> คือ (รูปที่ 2.15)

- 1) ส่วนที่ทำให้ น้ำกระเพื่อมขึ้นลงเป็นจังหวะ ส่วนนี้เป็นส่วนที่เคลื่อนไหวประกอบด้วย ลูกเบี้ยว (Eccentric) เป็นตัวเปลี่ยนทิศทางการหมุนมาเป็นการเคลื่อนที่ไปมาในแนว

ตรง

ก้านลูกสูบ (Piston Rod) เป็นแท่งเหล็ก ซึ่งเชื่อมระหว่างลูกเบี้ยวกับไดอะแฟรม ทำหน้าที่ดึงไดอะแฟรมขึ้นลงตามจังหวะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

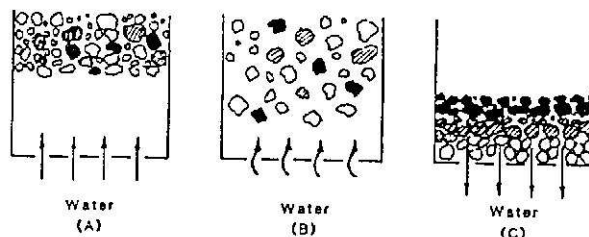
ไดอะแฟรม (Diaphragm) เป็นแผ่นบางรูปวงแหวนทำหน้าที่ดันหรือกระเพื่อม (pulsion) และดูด (Suction) เพื่อให้ น้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงในห้องแยกแร่ จึกบางชนิดใช้ลูกสูบ (Plunger) แทนไดอะแฟรม ซึ่งมีการทำงานแบบเดียวกัน

- 2) ส่วนแยกแร่ ส่วนนี้ประกอบด้วย

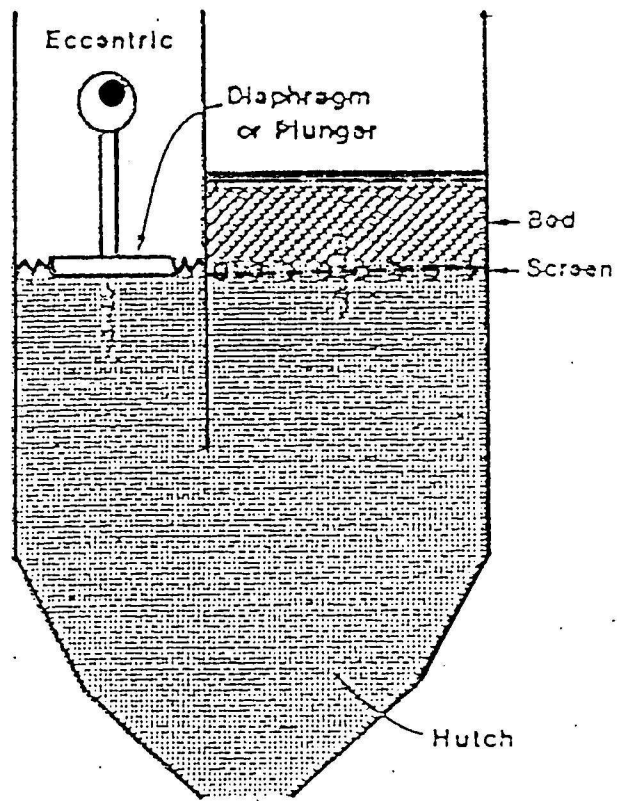
ตะแกรง (Sieve) เป็นตะแกรงแบบรูกกลม หรือสี่เหลี่ยมก็ได้ ควรมีรูขนาดโตกว่าเม็ดแร่ที่ต้องการแยก เพื่อให้เม็ดแร่อุดผ่านตะแกรงได้

เม็ดลูกจึก (Ragging) เป็นเม็ดแร่ หรือโลหะ วางเป็นชั้น (Bed) อยู่บนตะแกรง แร่หรือวัตถุที่จะนำมาเป็น Ragging นั้นต้องมีลักษณะเหมาะสมทั้งขนาดและรูปร่าง (ควรมีรูปร่างกลม และมีขนาดโตกว่าตะแกรงที่ใช้) มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่างแร่และมลทินที่ต้องการแยก สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากบางปูดำ กระบี่ ที่เจียรระนัยจนกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm. มาใช้เป็นเม็ดลูกจึก

ห้องล่างของจึก (Huich) เป็นส่วนที่รองรับผิวแร่หลังจากผ่านชั้นของเม็ดลูกจึก และตะแกรงมาแล้ว



รูปที่ 2.14 แสดงไซเคิลของจึกอย่างง่าย<sup>7)</sup>



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบของ JIG<sup>10)</sup>

## หลักการทํางานของจิ๊ก

จิ๊กที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นจิ๊กแบบ Denver Mineral ซึ่งมีไคอะแฟรมและรางน้ำ (Rotary Value) ทำหน้าที่ปิด เปิด เพื่อลดแรงดูด คือ เมื่อก้านสูบลดลงให้เกิดการกระเพื่อมววน้ำจะปิด เมื่อก้านสูบดึงขึ้นให้เกิดจังหวะดูด ววน้ำจะเปิด ให้น้ำเข้าห้อง จิ๊กจะลดแรงดูดลง

จิ๊กมีวิธีการทํางานดังนี้ เมื่อมอเตอร์หมุนแกนลูกเบี้ยวตัวลูกเบี้ยวจะเปลี่ยนทิศทางการหมุนเป็นการเคลื่อนที่ไปมาในแนวเส้นตรงทำให้ก้านลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลง ดึงให้ไคอะแฟรมเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วย เนื่องจากห้องรับแร่ของ Jig (Hutch) ติดต่อกับห้องแยกแร่ และห้องไคอะแฟรม ดังนั้นเมื่อไคอะแฟรมลดลง จะทำให้ระดับน้ำในห้องแยกแร่ขึ้นสูงดันให้ทั้งถ่านหินลิกไนต์มลทิน และเม็ดลูกจิ๊กลอยตัวขึ้นทั้งหมด แต่ก่อนจังหวะยกขึ้นของไคอะแฟรมการอัดตัวของน้ำสิ้นสุดลง น้ำเริ่มไหลกลับ ส่วนล่างของชั้น Jig เริ่มขยายตัว (Dilate) ไคอะแฟรมยกตัวขึ้น จะทำให้ระดับน้ำในห้องแยกแร่ต่ำลง จะดูดให้ถ่านลิกไนต์ มลทิน และเม็ดลูกจิ๊กตกลงมา จังหวะนี้เรียกว่า Suction เนื่องจากมลทินมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าถ่านหินลิกไนต์ และเม็ดลูกจิ๊ก ดังนั้นมลทินจะแทรกตัวผ่านชั้นเม็ดลูกจิ๊ก ตกผ่านตะแกรงลงสู่ห้องรับแร่ ส่วนถ่านหินลิกไนต์ จึงสะสมตัวบนเม็ดลูกจิ๊ก และจะลอยออกมาทางด้านท้ายของ Jig เมื่อเกิด pulsion และ suction อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการเกิดการกระเพื่อมและการดูดสลับกันไปเช่นนี้ จะสามารถแยกถ่านหินออกจากมลทินได้

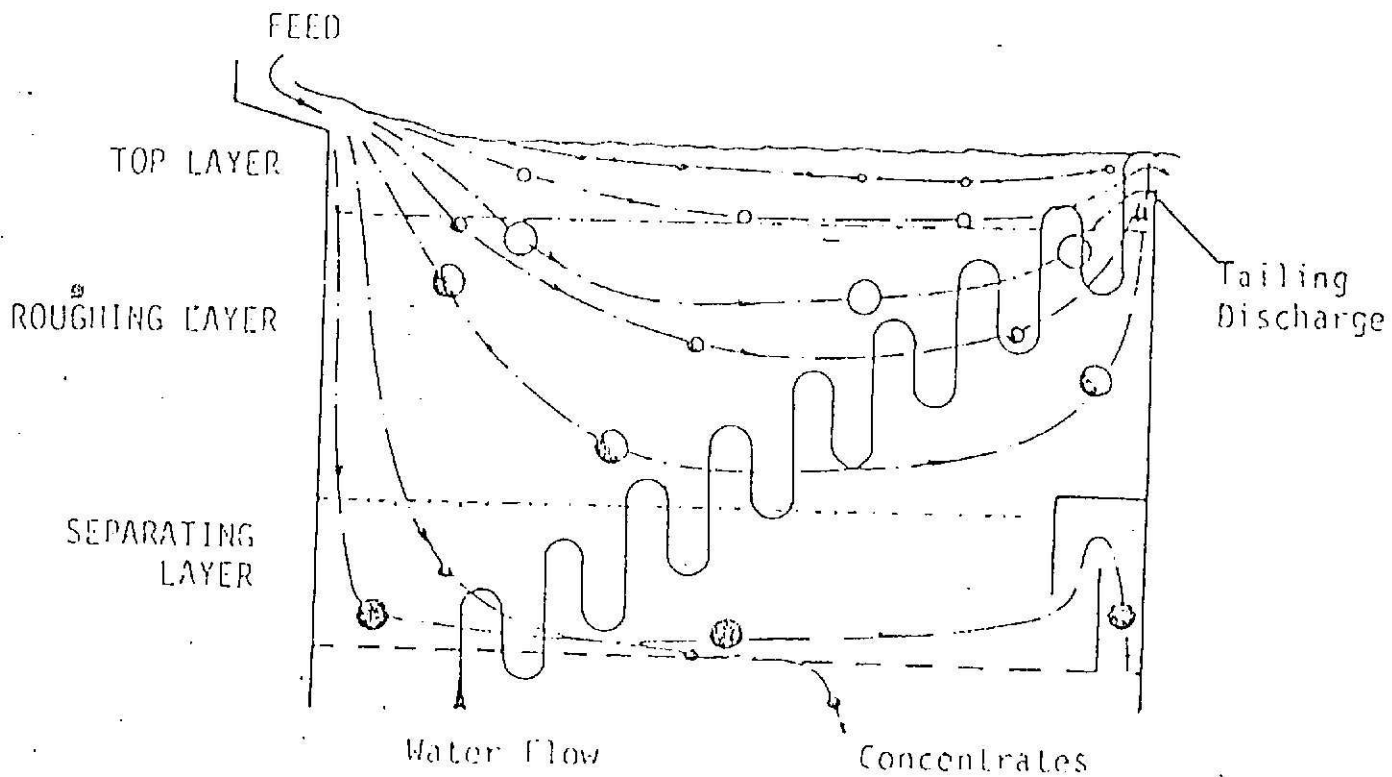
## ลักษณะการเรียงตัวเป็นชั้นของอนุภาคภายในจิ๊ก

จากขั้นตอนการทํางานของจิ๊ก สามารถแบ่งการเคลื่อนที่ของอนุภาค ออกเป็นชั้นๆ ได้ 3 ชั้น คือ ชั้นบน (Top หรือ transporting layer), Roughing Layer และ Separating layer (รูปที่ 2.16)

Top หรือ Transporting layer เป็นชั้นที่ทำหน้าที่กระจายแร่ที่ป้อนเข้าไปในจิ๊ก ให้แผ่ครอบคลุมทั้งชั้น Roughing layer และกำจัดพวกฝุ่น และวัตถุต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกไปด้านท้ายของจิ๊ก ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ โดยทั่วไปชั้น Top Layer นี้ ค่อนข้างที่จะบางและมีการไหลของตัวกลาง

ในชั้นของ Roughing Layer แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะน้อย จะถูกดันให้กลับขึ้นไปยัง Top Layer อีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะมาก ก็จะผ่านลงไปยังชั้น Separating Layer อย่างรวดเร็ว ซึ่งในชั้น Separating Layer นี้ จะยอมให้แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะมากเท่านั้นที่ผ่านลงไปได้ ส่วนแร่คละ (Middling) จะถูกดันให้กลับขึ้นไป

จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงการทำงานของจิ๊ก ในการแยกแร่ 2 ชนิด ซึ่งมีแร่คละปะปนอยู่ด้วย แร่จำพวกฝุ่น ทั้งที่มีความถ่วงจำเพาะมากและน้อย จะลอยอยู่บนชั้น top layer และจะไหลออกไปทางด้านท้ายของจิ๊กอย่างรวดเร็ว ส่วนภายในชั้น Roughing Layer แร่ที่มีขนาดเล็ก รูปร่างแบน และมีความถ่วงจำเพาะน้อย จะสะสมตัวอยู่ชั้นบน สำหรับแร่ที่มีขนาดใหญ่ นั้น จะสะสมตัวอยู่ชั้นล่าง ซึ่งทั้ง 2 ชั้นนี้จะเคลื่อนตัวไปตามความยาวของจิ๊กจนถึงด้านท้าย และจะถูกยกตัวขึ้นข้ามออกไป

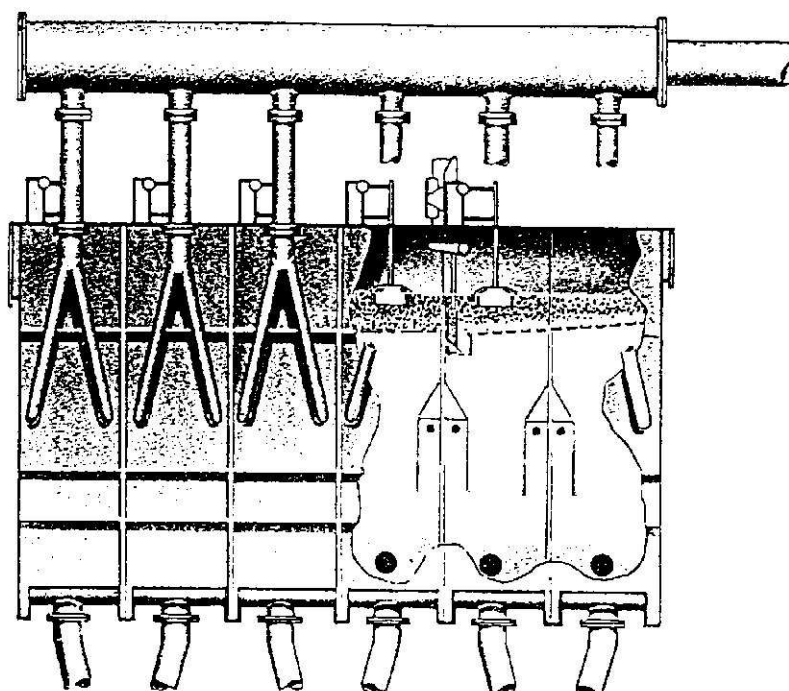


รูปที่ 2.16 แสดงการกระจายตัวของ PARTICLE ภายใน JIG<sup>11)</sup>

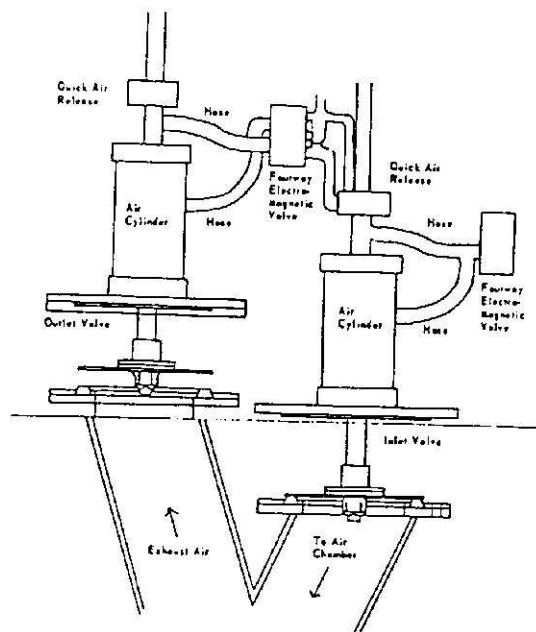
สำหรับแร่ที่มีขนาดใหญ่ และมีความถ่วงจำเพาะมาก จะตกตัวผ่านชั้น Roughing Layer ไปยังชั้น Separating Layer อย่างรวดเร็ว และตกค้างอยู่บนตะแกรงต่อนั้นก็จะเคลื่อนที่ไปอย่างช้า ไปยังส่วนหัวแร่ ที่ด้านท้ายของจิก ส่วนแร่ที่มีขนาดเล็กแต่มีความถ่วงจำเพาะสูง จะผ่านชั้นล่างของชั้น จิกและตะแกรงลงไป

ในกรณีของแร่คละนั้น จะอยู่ในชั้นไหนก็ขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของมันเอง ถ้าแร่คละมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แร่คละที่มีความถ่วงจำเพาะมากจะอยู่ข้างใต้แร่คละที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามส่วนมากพบว่า แร่คละที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำแต่ขนาดใหญ่ มักจะอยู่ข้างใต้ แร่คละที่มีความถ่วงจำเพาะสูง แต่มีขนาดเล็กกว่า นั้นแสดงว่าการเรียงลำดับชั้นของแร่คละ จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความหนาแน่นของตัวแร่คละเอง แร่คละที่มีความหนาแน่นน้อยจะอยู่ชั้นบน ส่วนที่เป็นแร่คละ แร่คละที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง

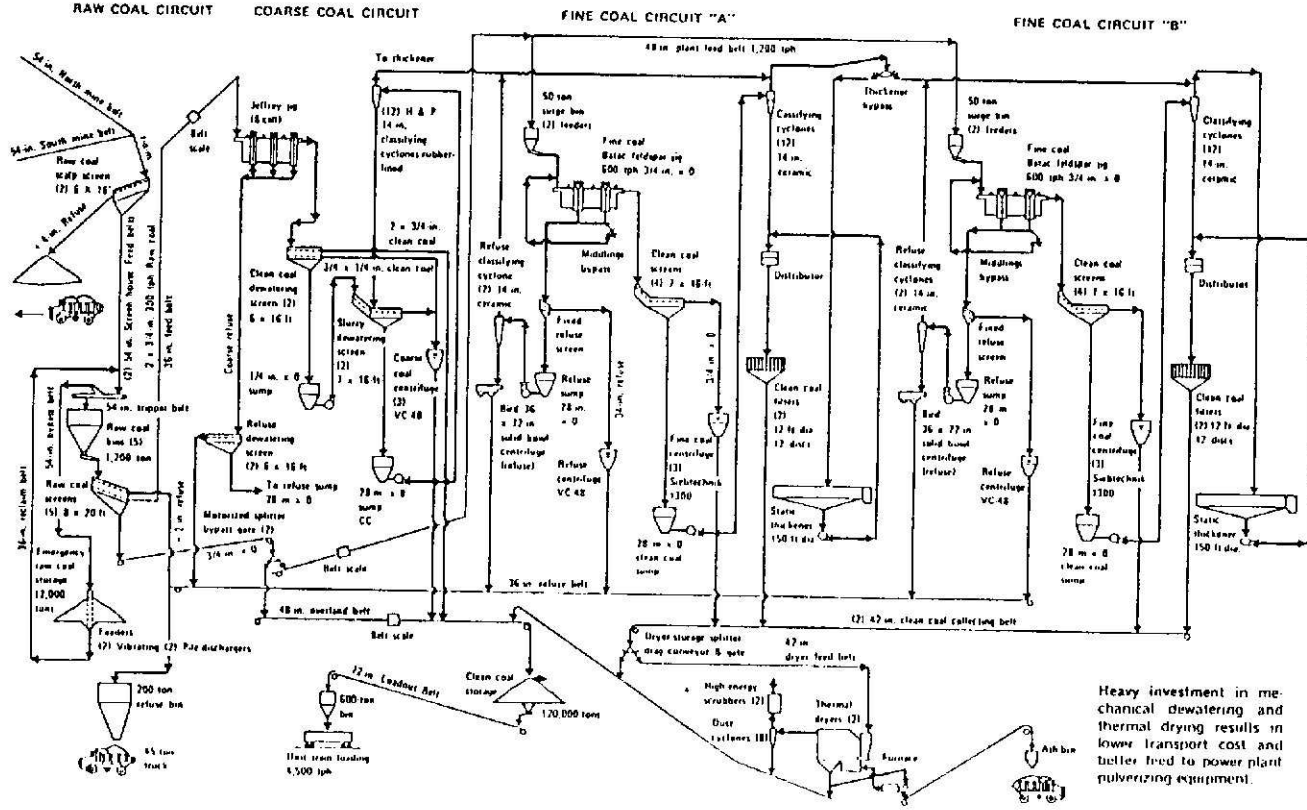
ตัวอย่างของจิกที่ใช้สำหรับการแต่งถ่านหินได้แก่ Jeffrey fine coal jig (รูปที่ 2.17) และ Batac jig (รูปที่ 2.18) และกระบวนการแต่งถ่านหินโดย Batac jig แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.17 แสดงภาพตัดของ Jeffrey fine coal jig<sup>7)</sup>



รูปที่ 2.18 แสดงภาพจำลองและ air valve ของ Batac jig<sup>7)</sup>



Heavy investment in mechanical dewatering and thermal drying results in lower transport cost and better feed to power plant pulverizing equipment.

รูปที่ 2.19 แสดงกระบวนการแต่งถ่านหินด้วย Batac jig ที่

Greenwich Collieries<sup>7)</sup>



### 2.6.4 การแต่งถ่านหินด้วยวิธีการลอยแร่<sup>7)</sup>

การแต่งถ่านหินด้วยวิธีการลอยแร่ จะแต่งถ่านหินขนาดละเอียด ปกติมีขนาดเล็กกว่า 28 เมช หรือเล็กกว่า 100 เมช และกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการเก็บถ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อถ่านหินขนาดเล็กกว่า 200 เมช Aplan ได้สรุปความล้มเหลวในการลอยถ่านหินไว้ว่า

1. ผลในการกำจัดปริมาณซัลเฟอร์และเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน
2. ความยากในการลอยถ่านหินเกรดต่ำ และถ่านหินที่ถูกออกซิไดซ์ (oxidized coals)
3. ไม่สามารถแต่งถ่านขนาดละเอียดด้วยวิธีการแต่ง โดยอาศัยความโน้มถ่วง
4. ไม่สามารถที่จะทำความสะอาด slurry เมื่อมีดิน (Clay) ปนอยู่มาก
5. ปัญหาน้ำปนเปื้อนด้วยสารเคมี
6. ใช้กรรมวิธีกราวิทซ์ของการแต่งถ่านหินหยาบ ได้ผลดีกว่า
7. ถ่านหินที่นำมาแต่งมีเกรดต่ำมาก
8. ปัญหาการกำจัดน้ำ
9. ปัญหาการขนส่ง และการเก็บถ่านหินขนาดละเอียด
10. มีปัญหาเรื่องตลาดของถ่านหินขนาดละเอียด
11. ขาดความเอาใจใส่ดูแลกระบวนการต่างๆ ในโรงแต่ง
12. การใช้เงินลงทุน และดำเนินการไม่มีประสิทธิภาพ
13. ขาดการวิจัยและพัฒนาที่ดี

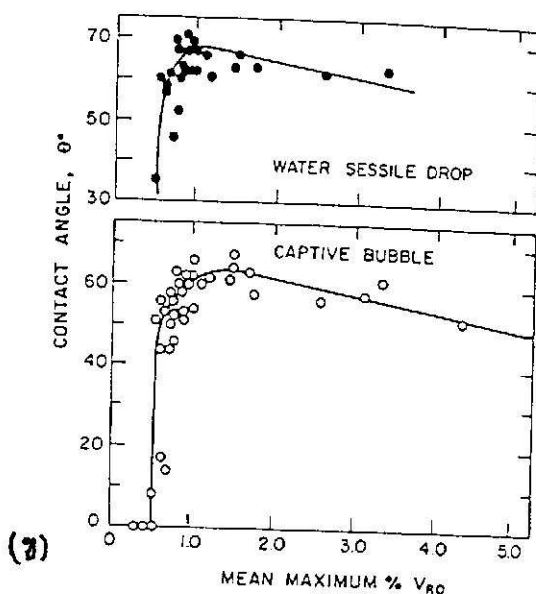
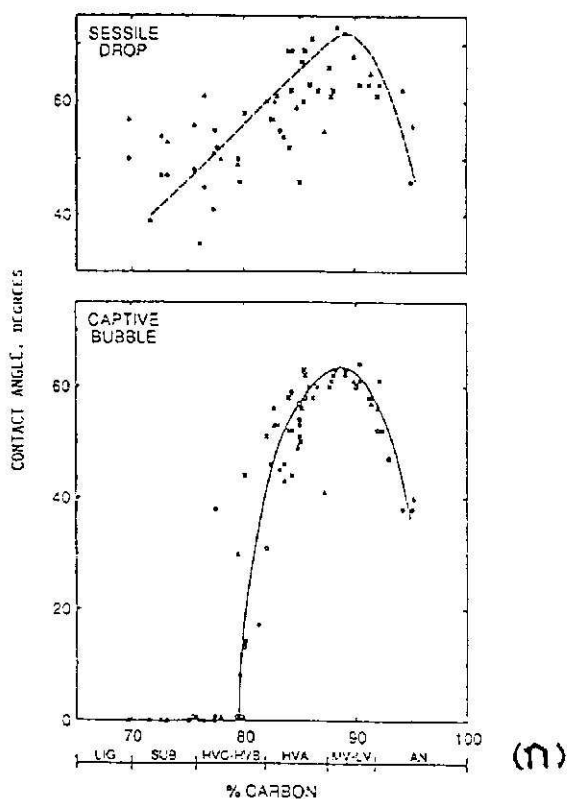
ปัญหาเหล่านี้อาจถูกแก้ไขด้วยการวิจัยและพัฒนา การทดสอบในโรงงาน และมีโปรแกรมการควบคุมในโรงงาน ความต้องการอย่างสูงในการแต่งถ่านหินด้วยวิธีการลอยแร่ คือ ต้องการให้ซัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปแร่ไพไรต์ และเถ้า แดกตัวเป็นอิสระด้วยการบด

#### 2.6.4.1 เคมี่และสภาพทางเคมีที่ผิวของการลอยถ่านหิน

##### ก. ธรรมชาติการไม่เปียกน้ำของถ่านหิน<sup>7)</sup>

การวัดความไม่เปียกน้ำของถ่านหินต่างๆ ได้มีการเสนอโดย Brady และ Gauger ที่ใช้ในเทคนิคของมุมสัมผัส (Contact angle) หลายปีผ่านมาเทคนิคนี้ก็ได้อาศัยแพร่หลายขึ้น และเทคนิค Captive bubble และ Sessile drop ต่างให้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากวิธี Captive bubble วัดในส่วนที่ไม่เปียกน้ำอย่างแรงในขณะที่วิธี Sessile drop จะวัดความไม่เปียกน้ำทุกส่วนในถ่านหิน จากรูปที่ 2.20 (ก) ค่าความไม่เปียกน้ำสูงสุดที่ถ่านหินมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน  $88 \pm 4 \% C$  และถ่านแอนทราไซต์ที่มี  $\% C$  มากกว่าจะมีความไม่เปียกน้ำน้อยกว่า และมุมสัมผัสจากวิธี Captive bubble เป็นศูนย์ที่  $\% C$  น้อยกว่า  $80 \%$  ซึ่งชี้ให้เห็นการสูญเสียที่ไม่เปียกน้ำอย่างแรงในโครงสร้างถ่านหิน ( $< \sim 58 \% FC, < \sim 80 \% C, > \sim 10 \% O$  and  $> \sim 5 \% OH$ ) ค่อมาพบว่าค่า Reflectance ของวิถีรีโนด์จะเป็นพารามิเตอร์ของชั้นคุณภาพถ่านหินดีที่สุด และวิธีนี้จะลดการกระจายของข้อมูล (รูปที่ 2.20)

Arnold และ Aplan เป็นผู้ที่วัดค่าความไม่เปียกน้ำของ Macerals ของถ่านหินหลายชนิด และพบว่า ฟุซไนต์ (Fusinite) จะมีความไม่เปียกน้ำน้อยกว่าวิทริไนต์ จากถ่านหินแหล่งเดียวกัน ซูโดวิทริไนต์ จะมีความเปียกน้ำสูงกว่าวิทริไนต์เล็กน้อย



รูปที่ 2.20 ก. ค่าความไม่เปียกน้ำ (Contact angle) ของถ่านชนิดต่างๆ <sup>7)</sup>  
 ข. ค่าความไม่เปียกน้ำ (Contact angle) ของถ่านหินเทียบกับ  
 ค่า Vitrinite reflectance <sup>7)</sup>

บิทูเมนธรรมชาติ (Natural bitumen) ซุกเคอไรต์ (Zukerite) และสโพรินต์ จะมีความไม่เปียกน้ำสูงกว่าวทรีไนต์ ส่วนเรซินไนต์ (Resinite) มีความไม่เปียกสูงสุด

เหตุผลของความไม่เปียกน้ำของถ่านหิน เป็นฟังก์ชันของชั้นคุณภาพของถ่านหิน ซึ่งก็หมายถึงส่วนประกอบในถ่านหิน และ Oxygen functional groups ที่ทำให้เกิดความแตกต่างในถ่านหิน ตารางที่ 2.8 แสดงออกซิเจนที่อยู่ในรูปต่างๆ กับชั้นคุณภาพถ่านหิน พบว่าในลิกไนต์และซับบิทูมินัส

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบโดยประมาณของ Oxygen functional groups ในถ่านหิน<sup>7)</sup>

% C	Total O	Oxygen functional groups				
		C—O—C & other	OH	C=O	COOH	—OCH <sub>3</sub>
95	1	1	—	—	—	—
85	6	2	3	1	—	—
75	16	7	7	1	1	—
65	28	10	7	2	8	1

มีปริมาณกลุ่มคาร์บอกซิลิก (COOH) อยู่มาก ซึ่งอาจทำให้มีความไม่เปียกน้ำและความสามารถในการลอยตัว Sun ได้กำหนดสมการในการหาค่าความสามารถในการลอยดังนี้

$$Fc = x\left(\frac{H}{2.0796}\right) + y\left(\frac{C}{12} - \frac{H}{2.0796}\right) + 0.4\left(\frac{S}{32.06}\right) - z\left(\frac{M}{18}\right) - 3.4\left(\frac{O}{16}\right) - p\left(\frac{H}{2.0796}\right) - \frac{N}{14} \quad \text{-----}(2.1)$$

เมื่อ Fc คือ ค่าความสามารถในการลอยถ่านหิน

H,C,S,O,N เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของธาตุ

M คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำ (% Moisture)

x,y,z และ p เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงดังตารางที่ 2.9

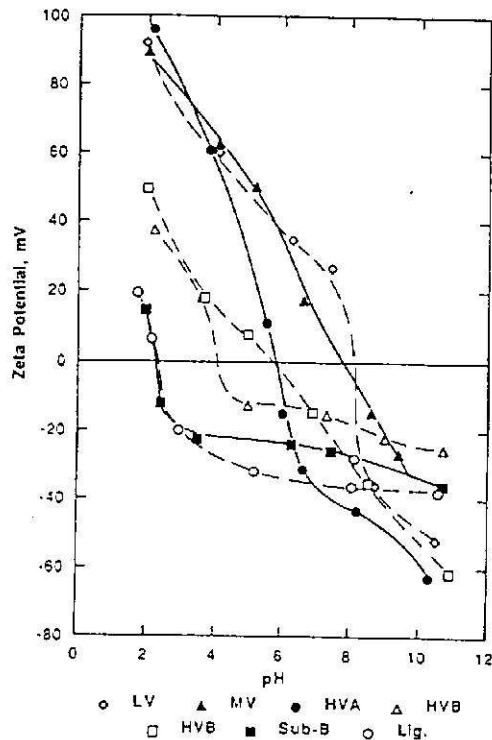
ตารางที่ 2.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ตามสมการ (2.1)<sup>7)</sup>

% Ash, as rec'd.	Ash		Remnant carbon		Moisture	
	x	p	% H, DAF	y	% Moist, as rec'd.	z
0 to 8.9	3.5	0	0.08 to 0.28	1.2	0 to 14.1	4
9 to 13.0	3.0	0.5	0.29 to 1	0.8	> 14.1	3
> 13.0	2.5	1.0	1	0.6		
			porous charcoal	0.2		

จะเห็นว่าหน่วย % C และไฮโดรคาร์บอนในด้านหินแสดงถึงความสามารถการลอยสูง ซัลเฟอร์ รองลงมา ไนโตรเจนแสดงถึงความสามารถในการเปียกน้ำเล็กน้อย ส่วนออกซิเจนและความชื้นจะ แสดงถึงความสามารถเปียกน้ำของด้านหินมากที่สุด

#### ข. ค่า Zeta potential ของด้านหิน<sup>7)</sup>

ค่า PZC (Point of zero charge) ที่ผิวด้านหินชนิดแอนทราไซด์และบิทูมินัส อยู่ที่ pH ประมาณ 5 และค่า PZC ต่ำกว่าค่านี้ จะแสดงถึงด้านหินที่มีคุณภาพต่ำลง และผิวด้านหินถูก ออกซิไดซ์มากขึ้น ผลของคุณภาพด้านหินต่อค่า PZC ของด้านหินแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ค่า Zeta potential และ PZC ของด้านหินหลายชั้นคุณภาพ<sup>7)</sup>

#### 2.6.4.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับการลอยด้านหิน<sup>7)</sup>

จุดประสงค์ของการใช้สารเคมีในการลอยด้านหิน เพื่อให้ฟองอากาศมีเหนียว และมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้ผิวด้านหินมีความไม่เปียกน้ำมากขึ้น และทำให้ไฟไรต์เปียกน้ำมากขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้น ทำให้เกิดการก่อก้อน หรือควบคุม pH สารบางตัวอาจมี หน้าที่มีมากกว่า 1 อย่าง และอาจขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ด้วย

##### - สารเคลือบฟองอากาศ (Frothers)

มีหน้าที่ในการเคลือบฟองอากาศ และควบคุมขนาดของฟองอากาศ มีสมบัติที่ดีในการกระจาย ตัวในน้ำ สารที่ใช้ได้แก่ Cresol น้ำมันสน (Pine oil) แอลกอฮอล์ (เช่น MIBC) และ Polypropylene glycol ethers (ได้แก่ Dowfroth 250) ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วง 0.12-0.25 กิโลกรัม/ตันของด้านหิน

- สารเคลือบผิวถ่านหิน (Collectors)

มีหน้าที่เคลือบผิวถ่านหิน และทำให้ไม่เปียกน้ำมากขึ้น ถ่านหินชั้นคุณภาพสูงๆ อาจไม่จำเป็นต้องใช้สารเคลือบผิวถ่านหิน สารที่นิยมใช้ได้แก่ Fuel oil (diesel oil) kerosene ปริมาณที่ใช้จะน้อยกว่า 0.5 กิโลกรัม และอาจสูงถึง 8 กิโลกรัมต่อตัน

การใช้ Fuel oil ทำให้ค่า PZC ของถ่านหินที่ถูกออกซิไดซ์ มี pH ที่เพิ่มขึ้น

- สารกดถ่านหิน (Depressants for coal)

สารที่ใช้กดถ่านหิน (ทำให้ผิวถ่านหินมีความเปียกน้ำมากขึ้น) ได้แก่ น้ำแข็ง หรือ โพลีเมอร์ ได้แก่ Polysaccharides

- สารที่ใช้กดไฟไรต์

สารที่ใช้ได้แก่ โซดาไฟ และการควบคุม pH หรือ  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  และ  $\text{KMnO}_4$

- สารปรับสภาพ pH ได้แก่ กรดและด่างทั่วไป

- สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agents)

ใช้สำหรับการช่วยให้สารเคมีชนิดอื่นทำหน้าที่ดียิ่งขึ้น ที่ใช้ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต

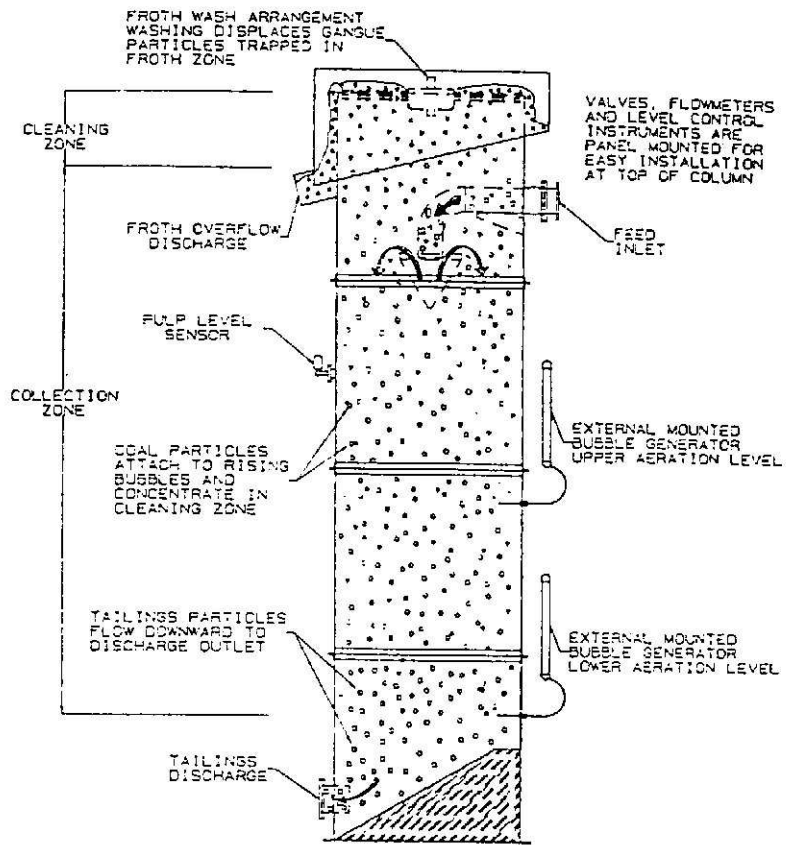
#### 2.6.4.3 ตัวแปรในการลอยถ่านหิน

ตัวแปรในการลอยถ่านหิน ได้แก่ ขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของของผสม การปรับสภาพ ระบบลมและปริมาณฟองอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณสารเคมีและ pH

#### 2.6.4.4 เครื่องลอยแร่และวงจรรอยแร่

เครื่องลอยแร่ที่ใช้เป็น ชนิดดั้งเดิมที่มีใบพัดกวน และทำให้เกิดฟองอากาศเกิดการลอยขึ้น หรืออาจเป็นชนิดใช้อากาศอย่างเดียว โดยการอัดอากาศเข้าไปในน้ำและทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น หรืออาจจะใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ (รูปที่ 2.22)

วงจรรอยถ่านหินที่ใช้ส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 แสดง Floataire column flotation cell<sup>7)</sup>

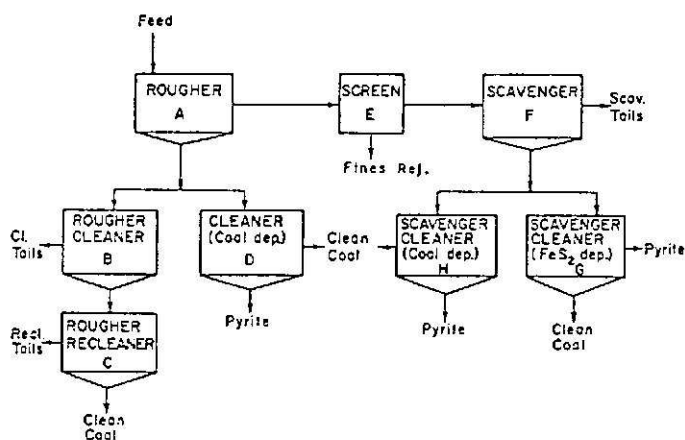


Fig. 7-88. Various potential coal flotation circuits.<sup>199</sup>

รูปที่ 2.23 แสดงวงจรการลอยถ่านหินโดยทั่วไป<sup>7)</sup>

#### 2.6.4.5 การประเมินผลการทดสอบการลอยแร่

อาจใช้วิธีพล็อตกราฟ ระหว่างเกรด-yield เทียบกับตัวแปรอื่นๆ Firth และคณะ และ US DOE ใช้ค่า Energy recovery และ Ash (or pyritic sulfur) efficiency index

$$\text{Ash Eff. Index} = \frac{\text{clean coal wt. \%} \times \text{Refuse ash \%}}{\text{clean coal ash \%}} \quad \text{-----}(2.2)$$

ในขณะที่อาจจะใช้เปรียบเทียบกับ Float - sink washability นั้นคือใช้ Organic efficiency, E ของ Fraser และ Yancey

$$E = \frac{\text{Actual yield of clean coal}}{\text{Float - sink yield corresponding to same ash content}} \quad \text{-----}(2.3)$$

#### 2.6.5 การแต่งถ่านหินโดยก่อดตะกอน (Flocculation Separation)<sup>13-14)</sup>

การแต่งแร่ โดยการก่อดัว (Flocculation) นี้ ได้มีการศึกษาและนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ กันมานานแล้วในต่างประเทศในปี พ.ศ. 2496 Hasemen ได้ทดลองแยกหินฟอสเฟตออกจากดินเหนียว โดยใช้น้ำแป้งเป็นสารก่อดัว (Flocculant) ต่อมาปี พ.ศ. 2503 Vsoni และคณะประสบความสำเร็จในการทดลองแยกแร่มีค่าชนิดต่างๆ ออกจากควอทซ์โดยใช้สาร Polyacrylamide เป็นสารก่อดัว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาแยกแร่ต่างๆ มากมาย แต่ที่ได้รับการกล่าวถึงกันมากที่สุด คือ การประยุกต์วิธีการนี้มาใช้แยกแร่ในเชิงพาณิชย์โดย Framer และ Colombo ซึ่งทำงานวิจัยอยู่ที่ Bureau of Mines, U.S.A. โดยการแยกแร่เหล็กออกไซด์ออกจากควอร์ตซ์ที่เหมือง Tilden ประเทศสหรัฐอเมริกา

การแยกถ่านหินโดยวิธีการก่อดัวนั้น Blagov ได้ทำการวิจัยและแยกถ่านหินออกจากดินเหนียว หินดินดาน โดยการใช้น้ำแป้งเป็นสารก่อดัว และใช้ sodium pyrophosphate เป็นสารช่วยกระจายตัว

นอกจากนี้ในบางประเทศ เช่น ออสเตรเลีย ได้พัฒนาวิธีการนี้แต่งถ่านหินที่เกรดสูง ให้มีคุณภาพดีขึ้นไปอีก

##### 2.6.5.1 ความหมาย

Flocculation หมายถึง การทำให้สารแขวนลอยรวมตัวเกิดเป็นมวลสาร (Flocs) ขึ้นเพื่อการตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำใช้กับขนาดอนุภาคขนาดเล็ก (0.1-50 mm.) เป็นวิธีการที่ได้พัฒนามาจากการลอยแร่โดยอาศัยพื้นฐานของการตกตะกอน และการเปลี่ยนแปลงของผิวหน้า โดยใช้สารเคมี

ความสำคัญของการก่อดัว เนื่องจากความเสถียรภาพของสารแขวนลอยที่มีขนาดละเอียดมากๆ มักจะไม่ตกตัวหรือมีอัตราการตกตัวช้ามาก เนื่องจากมีแรงระหว่างอนุภาคกระทำกัน คือ แรงดึงดูดที่รู้จัก คือ แรง London-Vander waals และแรงผลัก (Repulsion force) ซึ่งเป็นตัว

การสำคัญที่ทำให้เกิดการแขวนลอยสำหรับแหล่งหลักของแรงผลักรมี 2 แหล่งด้วยกัน คือ การกระทำของน้ำต่อผิวหน้าอนุภาค และจำนวนประจุไฟฟ้า

การก่อดัวเป็นการรวมตัวที่เกิดขึ้นจากการกระทำของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างอนุภาค ทำให้มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่มีทิศทางแน่นอน

### 2.6.5.2 กลไกทั่วไปของ Flocculation

รายละเอียดกลไกของการก่อดัว เป็นเรื่องที่ซับซ้อน และยุ่งยากสำหรับการเข้าใจ แต่การดำเนินของกลไกได้ถูกคาดหวังไว้ดังนี้

1. สารก่อดัวก่อตัว สร้างสะพานเชื่อมกันระหว่างอนุภาคทำให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเกิดอัตราการตกตะกอนเร็วขึ้น

2. การกำจัดประจุไฟฟ้า หรือการทำให้เย็น โดยการเติมสารก่อดัวที่มีประจุตรงข้าม

3. การปะทะกันระหว่างอนุภาค

การศึกษากลไกของการก่อดัว สามารถศึกษาได้ใน 2 ขั้นตอน คือ

1. การดูดซึมของสารเคมีบนผิวหน้าของอนุภาค (Adsorption of reagent onto the particle)

2. การก่อดัวของมวลรวม

- วัตถุประสงค์ของการก่อดัว

1. เพื่อเพิ่มอัตราการตกตะกอน (Setting rate)

2. เพื่อให้การกรองการกวนทำได้สะดวกและง่ายขึ้น

เงื่อนไขที่สำคัญที่สุดของการก่อดัว คือ สมบัติผิวหน้าของอนุภาค และสมบัติของน้ำ เช่น ค่า pH และความเข้มข้นของอนุมูล (Ionic concentration)

สมบัติของผิวหน้าอนุภาคจะมีประจุที่ผิวเป็นบวกหรือลบขึ้นกับค่า pH ของน้ำนั้น คือ ประจุที่ผิวของอนุภาคนั้นถูกควบคุมโดย (OH) และ H<sup>+</sup> อีออน ในการที่ประจุที่ผิวเป็นบวกหรือลบนั้นมิได้หมายความว่าผิวหน้าของอนุภาคมีแต่ประจุบวกหรือลบเพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงการที่ผิวหน้า H<sup>+</sup> อีออนมากกว่า (OH) อีออน ดังนั้นในการเติมสารก่อดัว จะต้องเลือกตัวที่มีประจุตรงข้ามกับผิวหน้าของอนุภาค เพื่อให้ไปทำปฏิกิริยาดูดซึมหรือจับตัวกับผิวหน้าของอนุภาคทำให้ผลลัพธ์ของประจุไฟฟ้า (Surface potential) มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่า pH ที่จุดนี้เรียกว่า "Point of Zero Charge" (pzc) ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี

ความเข้มข้นของอนุมูล (Ionic concentration) ของอนุภาคจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้สารก่อดัวในการก่อดัว เมื่อความเข้มข้นของอนุมูลยิ่งสูงปริมาณความต้องการสารช่วยตกตะกอนก็ยิ่งเพิ่มขึ้น



### 2.6.5.3 แฟกเตอร์ที่มีผลต่อการก่อตัว

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการก่อตัว มีหลายอย่างด้วยกันพอจะกล่าวเป็นหัวข้อสั้นๆ ได้ดังนี้

#### - ผลของปริมาณสารช่วยตกตะกอน

ในการเพิ่มปริมาณสารช่วยตกตะกอนก็จะเพิ่มอัตราการตกตะกอนด้วยไปจนถึงปริมาณที่เหมาะสมแต่ถ้าหากเพิ่มเกินปริมาณที่เหมาะสมอาจจะไปลดประสิทธิภาพของอัตราการตกตะกอนได้ เพราะจะไม่เกิดการคูดซิมที่ผิวหน้าอนุภาคได้อย่างสมบูรณ์เหมือนปริมาณที่เหมาะสม ปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นปริมาณสูงสุดที่ใช้ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนของการคูดซิมที่ต่อเนื่องของอนุภาค

ปริมาณที่เหมาะสมไม่สามารถทำนายได้ง่ายนักแต่ก็ขึ้นอยู่กับสมบัติอนุภาค ปริมาณ และน้ำหนักโมเลกุลของสารช่วยตกตะกอน ซึ่งสามารถบอกได้จากอัตราการตกตัวสูงสุด

#### - ผลของแรงเฉือนต่อมวลรวม

ขณะที่เกิดการตกตะกอนจะเกิดแรงเฉือนระหว่างมวลรวม (Flocs) กับน้ำที่อยู่รอบๆ ซึ่งแรงเฉือนนี้สามารถกำจัดได้โดยการกวนด้วยอัตราเร็วที่เหมาะสมเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างน้ำกับมวลรวม และระหว่างมวลรวมด้วยกัน

#### - ผลของความหนาแน่นของของผสม

เมื่อสัดส่วนของของแข็งในของผสมเพิ่มขึ้น ก็จะเป็นผลให้อนุภาครวมกลุ่มหนาแน่นมากขึ้นทำให้อัตราการตกตัวลดลง

#### - ผลของน้ำหนักโมเลกุล

น้ำหนักโมเลกุลของสารก่อตะกอนที่สูงมีโอกาส ที่จะทำให้เกิดอัตราการตกตะกอนสูงกว่าสารช่วยตกตะกอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพราะสารช่วยตกตะกอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้เกิดการคูดซิมหรือการจับตัวกันดีขึ้น

ในการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล จะทำให้ทั้งปริมาณที่เหมาะสม และอัตราการตกตะกอนเพิ่มขึ้นด้วย

#### - ผลของ pH

โดยทั่วไปค่า pH ที่ต่ำมักจะทำให้เกิดการก่อตัวดีกว่าค่า pH สูงๆ การหาค่า pH ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละกรณี สำหรับกรณีที่ผิวประจุของอนุภาคเป็นลบทำให้ประจุลัพท์ที่ผิวแร่เท่ากับศูนย์ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่จะทำให้สารแขวนลอยตกตะกอนได้ดี

#### - ผลของอุณหภูมิ

เป็นธรรมดาในการเพิ่มอุณหภูมิสำหรับการพัฒนาปรับปรุง การก่อตัวแต่ก็ไม่ทุกกรณี การเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราการแพร่กระจายของสารก่อตะกอน และอัตราการชนกัน

ระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น แต่คุณสมบัติของสารละลายอาจเปลี่ยนแปลงและยากที่จะกำหนดคุณสมบัติที่เหมาะสมของระบบ

- ผลของวิธีการเติม

วิธีการเติมสารก่อตะกอนก็เป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อการก่อตัวการทำสารก่อตะกอนให้เป็นสารละลายเสียก่อนแล้วเติมอย่างช้าๆ เพื่อให้สารก่อตะกอนได้มีโอกาสปะทะกับอนุภาคที่แขวนลอยมากที่สุด

- ผลของจุดที่เติม

จุดที่เติมสารก่อตะกอน ควรเป็นจุดที่สารช่วยตกตะกอนนี้โอกาสได้ปะทะกับสารแขวนลอยมากที่สุด

- ผลของขนาดของอนุภาค

ขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากๆ ทำให้พื้นที่ผิวหน้ามากความต้องการปริมาณของสารก่อตะกอนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวหน้า

- ผลของรูปร่างของอนุภาค

อนุภาคที่มีรูปร่างทรงกลมย่อมตกตะกอนได้ดีกว่าอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นแผ่นเมื่อขนาดของอนุภาคเท่ากัน

- ผลของปริมาณ

ช่วยเพิ่มการกระจายตัว และลดความหนืดทำให้เกิดการจับตัวของอนุภาคกับสารช่วยตกตะกอนดีขึ้น

- ผลของความถ่วงจำเพาะของอนุภาค

อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงย่อมตกตะกอนได้เร็วกว่าอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเมื่อมีขนาดของอนุภาคเท่ากัน

### วิธีการของการก่อตัว (รูปที่ 2.24)

ดังได้กล่าวแล้วว่าการก่อตัว เป็นวิธีการที่ทำให้สารแขวนลอยเกิดเป็นมวลรวม (Flocs) เพื่อการตกตะกอน

- โดยธรรมชาติของแร่เอง

จากคุณสมบัติของแร่แต่ละชนิด เช่น แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงรูปร่างทรงกลมและขนาดโดยย่อตกตะกอนได้ดีกว่าแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำรูปร่างเป็นแผ่น และขนาดละเอียด ก็ให้เกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติของตัวมันเอง โดยไม่ต้องอาศัยการช่วยตกตะกอน

- โดยการเติมสารเคมี

แร่หรือวัตถุที่มีขนาดละเอียด มักมีการแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือของเหลวเนื่องจากมีประจุไฟฟ้าอยู่ตามผิวอนุภาคทำให้ดกตัวลงซ้ำจึงมีการเติมสารเคมี เพื่อไปทำลายประจุเหล่านั้นแล้วทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มใหญ่ขึ้น ทำให้ก้อนตัวสู่กันภาชนะได้เร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4

- โดยใช้เครื่องมือเครื่องจักรกล

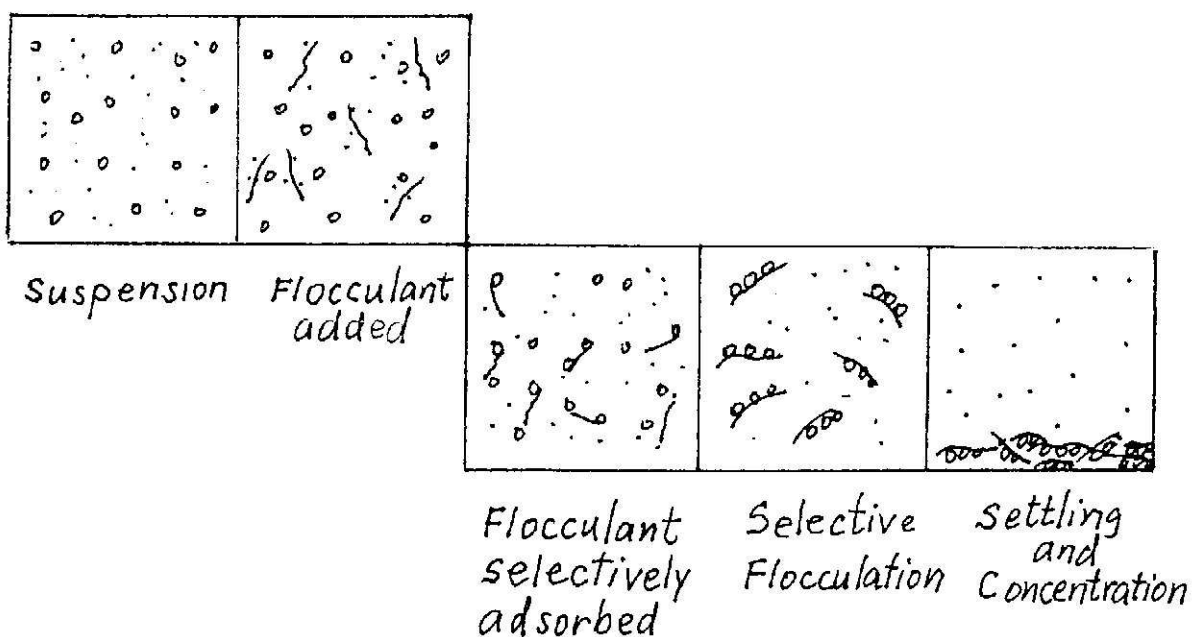
เป็นการใช้ใบพัดกวนด้วยความเร็วรอบช้าๆ เพื่อทำให้อนุภาคของสารแขวนลอยเกิดการชนกัน และจับกันด้วยพลังงานที่ผิว (free surface energy) และเพื่อทำให้ลดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมกับน้ำ และมวลรวมด้วยกัน

- โดยใช้วิธีที่ 2 และ 3 รวมกัน

โดยการเติมสารเคมีแล้วกวนด้วยความเร็วรอบช้าๆ เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีที่กล่าวมาแล้ว

- โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

ในบางกรณี การปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านของเหลวที่สารแขวนลอยขนาดละเอียดอยู่ จะสามารถทำลายประจุไฟฟ้าบนสารแขวนลอยนั้นได้ ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้น เช่นกัน



รูปที่ 2.24 แสดงขั้นตอนการเลือกจับของสารก่อก้อน<sup>14)</sup>

## 2.7 การใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรม<sup>1)</sup>

ถ่านหินเป็นพลังงานธรรมชาติซึ่งมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าน้ำมันดิบประเทศต่างๆ ได้ขุดค้นนำถ่านหินมาใช้เป็นเวลานานมากกว่าหนึ่งศตวรรษ

ในระหว่างปี พ.ศ.2522-2524 เป็นช่วงที่ทั่วโลกเกิดวิกฤตการณ์น้ำมัน โดยราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้นจากบาร์เรลละประมาณ 18 เหรียญสหรัฐอเมริกาเป็นบาร์เรลละประมาณ 36 เหรียญสหรัฐอเมริกา ทำให้เสถียรภาพทางเศรษฐกิจทั่วโลกเกิดความปั่นป่วน และขาดความเชื่อมั่นในการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้ทดแทนน้ำมันในภาคอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมซีเมนต์ และอุตสาหกรรมอื่นๆ

สำหรับประเทศไทยถึงแม้จะมีแหล่งถ่านหินไม่มากนักแต่ก็มีการใช้ประโยชน์จากถ่านหินมานานไม่น้อยกว่า 50 ปี โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก รองลงมาได้แก่การใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆ มีการใช้ถ่านหินบ้างเล็กน้อยเนื่องจากมีขีดจำกัดบางประการ

ในที่นี้จะนำเรื่องราวเกี่ยวกับการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมต่างๆ (นอกเหนือจากการผลิตกระแสไฟฟ้า) มารวบรวมไว้เพื่อเป็นข้อมูลในเชิงวิชาการต่อไป

### 2.7.1 การใช้ถ่านหินในโรงงานปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมาก มีการลงทุนสูง ความเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมซีเมนต์ขึ้นอยู่กับความเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ตามแหล่งที่มีวัตถุดิบทั่วประเทศ ปัจจุบันมีผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่ของประเทศทั้งสิ้น 8 ราย และผู้ผลิตรายเล็กอีก 37 ราย ผู้ผลิตรายใหญ่ทั้ง 8 ราย นั้น ได้แก่

- บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
- บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด
- บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด
- บริษัท ยูนิเวอร์แซลปูนซีเมนต์ จำกัด
- บริษัท ทีพีไอโพลิน จำกัด
- บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด
- บริษัท วิษณุซีเมนต์ จำกัด
- บริษัท อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์กรุงเทพ จำกัด

#### 2.7.1.1 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ วิธีการผลิตปูนซีเมนต์ มี 3 แบบ คือ

ก. **แบบเปียก (Wet Process)** มีวัตถุดิบ คือ ดินปูนขาวและดินเหนียว ผสมกันตามอัตราส่วน แล้วเติมน้ำลงไปทำการบดให้ละเอียดและนำเข้าเตาเผา

ข. **แบบแห้ง (Dry Process)** มีหินปูนและหินดินดานเป็นวัตถุดิบ ผสมกันตามอัตราส่วน บดให้ละเอียด แล้วจึงนำเข้าเตาเผาต่อไป

ค. **แบบหมาด (Semi-Dry Process)** ลักษณะการผลิตคล้ายแบบแห้ง แต่นำส่วนผสมมาปั่นเป็นเม็ดด้วยน้ำก่อน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาต่อไป

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ  $1,482^{\circ}\text{C}$  โดยส่วนใหญ่แล้วกรรมวิธีแบบแห้งเป็นที่นิยม เนื่องจากมีความเหมาะสม ทนสม้ยที่สุด กรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากอีกทั้งสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อย

ถ่านลิกไนต์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซิเมนต์มีค่าความร้อนระหว่าง 3,600-5,500 Kcal/Kg. ใช้สำหรับเผาในเตาเผาและอุ้งวัตถุดิบ ซึ่งใช้ร่วมกับน้ำมันเตา ถ่านหินนำเข้า และก๊าซธรรมชาติ

### 2.7.1.2 โรงงานผลิตปูนซิเมนต์ในประเทศไทย

โรงงานปูนซิเมนต์เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีการใช้เงินลงทุนสูง ตั้งอยู่บริเวณแหล่งวัตถุดิบเพื่อลดค่าขนส่งและลดปัญหาผลที่เกิดจากมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ทางภาคใต้ ภาคเหนือและภาคกลาง โรงงานผลิตปูนซิเมนต์ที่สำคัญ ได้แก่

#### 2.7.1.2.1 โรงงานปูนซิเมนต์ไทยแก่งคอย จ.สระบุรี

เป็นโรงงานแห่งที่ 4 ของบริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด เริ่มทำการผลิตครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2514 การใช้เชื้อเพลิงออกแบบสำหรับใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินนำเข้าและถ่านลิกไนต์ โดยถ่านลิกไนต์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงคิดเป็นร้อยละ 60 ของความร้อนที่ใช้ทั้งหมด ในการออกแบบครั้งนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงทดแทนกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ปัจจุบันมีอัตราการผลิตปูนซิเมนต์รวมปีละ 6,900,000 ตัน ใช้ถ่านลิกไนต์ประมาณปีละ 500,000 ตัน

#### 2.7.1.2.2 โรงงานปูนซิเมนต์ไทยทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

เป็นโรงงานแห่งที่ 3 ของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด เริ่มทำการผลิตครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2509 การใช้เชื้อเพลิงของโรงงานแห่งนี้ใช้ถ่านหินนำเข้าจากต่างประเทศและมีการใช้ถ่านลิกไนต์เป็นพลังงานทดแทนในส่วนของถ่านหินนำเข้าใช้ประมาณปีละ 90,000 ถึง 100,000 ตันต่อปี มีค่าความร้อนประมาณ 6,500 - 7,000 Kcal/Kg.(ad) มีอัตราการผลิตปูนซิเมนต์ประมาณ 2,100,000 ตันต่อปี

#### 2.7.1.2.3 โรงงานชลประทานซิเมนต์ชะอำ จ.เพชรบุรี

เป็นโรงงานแห่งที่ 2 ของบริษัท ชลประทานซิเมนต์ จำกัด มีกำลังการผลิตปูนซิเมนต์วันละ 2,700 ตัน เชื้อเพลิงหลักในเตาเผาปูนเม็ด คือ ถ่านลิกไนต์หรือถ่านหินนำเข้าผสมกับน้ำมันเตา การใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันเตาในอัตราส่วน 70:30 ในเตาเผาปูนเม็ด และมีการใช้ถ่านลิกไนต์ประมาณปีละ 60,000 ตัน ค่าความร้อนประมาณ 4,500 - 5,000 Kcal/Kg. (ad) และใช้น้ำมันเตาประมาณ 18,000 ตันต่อปี ในส่วนของถ่านหินนำเข้ามีค่าความร้อนประมาณ 6,800 Kcal/Kg.(ad)

#### 2.7.1.2.4 โรงงานปูนซิเมนต์นครหลวงกับกวัง จ.สระบุรี

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอุ่นปูนผึ่งคือ ถ่านลิกไนต์และใช้ถ่านหินนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลักในการเผาในเตา ส่วนน้ำมันเตาใช้สำหรับจุดและอุ่นให้เชื้อเพลิงร้อนเท่านั้น ถ่านหินนำเข้าจากต่างประเทศ มีค่าความร้อนประมาณ 6,800 Kcal/Kg.(ad) และมีค่ากำมะถันต่ำ

#### 2.7.1.3 สถิติการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมปูนซิเมนต์

การผลิตปูนซิเมนต์ มีการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงร้อยละ 75 ของทั้งหมดในการเผาปูนเม็ดและอุ่นวัตถุดิบ ในอดีตเชื้อเพลิงหลักในการเผาปูนเม็ด คือ น้ำมันเตา ต่อมาเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันมีราคาสูง ทำให้มีการออกแบบคัดแปลงเตาเผา และหม้ออุ่นปูนซิเมนต์ให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดร่วมกัน คือ ถ่านหินนำเข้า ถ่านลิกไนต์ น้ำมันเตา และก๊าซธรรมชาติ ส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้

- ความสัมพันธ์ของราคาโรงงาน หรือเตาเผาที่มีการปรับปรุง
- คุณภาพของเชื้อเพลิง
- การขนส่งเชื้อเพลิงจากแหล่งเชื้อเพลิงมายังโรงงาน
- ราคาของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดแทนจากน้ำมันเตาเป็นถ่านลิกไนต์ถ่านหินนำเข้าและก๊าซธรรมชาติ

ตารางที่ 2.10 การใช้ถ่านลิกไนต์ในอุตสาหกรรมปูนซิเมนต์ (ก) และปริมาณกำลังผลิตซิเมนต์และการใช้ถ่านลิกไนต์ของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย ปี 2537<sup>1)</sup> (ข)

ปี พ.ศ.	ปริมาณการใช้ (พันตัน)
2533	1,951
2534	1,955
2535	2,245
2536	2,943

(ก)

โรงงาน	กำลังการผลิต (พันตัน)	ปริมาณถ่านลิกไนต์ (ตัน)
ท่าหลวง (1-6)	3,600	500,000
แก่งคอย (1-5)	6,900	900,000
เขาวง 1	3,600	500,000
ทุ่งสง (1-4)*	2,100	-

\*ใช้ถ่านหินนำเข้า

(ข)

### 2.7.1.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจำนวนมากของต้นทุนการผลิต ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ จึงต้องให้เกิดความเหมาะสมสอดคล้องกับสถานะการณ์ในปัจจุบันหลักการของการนำเชื้อเพลิงมาใช้ก็เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของการเผาในเตาปูนเม็ค (Kiln) และอุ่นวัตถุดิบ (Precalcination) เชื้อเพลิงที่สำคัญในการใช้สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ รายละเอียดลักษณะของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทได้ทำการสรุปไว้ในตารางที่ 7.3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### ก. ถ่านหิน (Coal)

ถ่านหินที่จะใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ควรจะมีค่า Volatile Content อยู่ระหว่าง 18 % ถึง 20 % หากมีความจำเป็นอาจทำการผสมระหว่างถ่านหินที่มี Volatile Content สูงกับถ่านหินที่มี Volatile Content ต่ำ

สำหรับถ่านลิกไนต์ก็จัดเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้ได้ แม้ว่าจะมีค่า Volatile Content สูงกว่า 50 % วิธีการจัดการอาจเติม Inert Gas ลงไปเพื่อระงับการเกิด Explosion ซึ่งมักจะเกิดกับถ่านลิกไนต์ในขณะที่ทำการเผา

ส่วนถ่านหินที่มี Ash Content สูง (ประมาณมากกว่า 20 %) ควรนำหินปูน (High Grade Limestone) มาเป็นส่วนผสม ขนาดของถ่านหินที่ได้จากการบดพร้อมเข้าเตาเผา จะมีขนาดประมาณ 0.09 มิลลิเมตร

#### ข. น้ำมันเตา (Heavy Fuel Oil)

ลักษณะของน้ำมันเตาที่ใช้ควรมีค่า Sulphur ต่ำ โดยปกติน้ำมันเตาจะมีความหนืดมากที่อุณหภูมิค่า จึงจำเป็นต้องให้ความร้อนเพื่อให้ความหนืดลดลง และสามารถถ่ายเทจากถังเก็บไปด้วยการ Pump ส่วน Oil Temperature ที่เหมาะสมในการเผาคือ 120°C ที่ความดันประมาณ 40-60 bar

#### ค. ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)

มีคุณสมบัติที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงคุณลักษณะเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์<sup>1)</sup>

constituents and properties	unit	medium volatile coal	heavy fuel oil	low-sulphur fuel oil	natural gas
C	% by weight	88.4	86.0	85.0	57.9
H	% by weight	4.9	11.7	13.5	18.9
S	% by weight	1.2	1.5	0.5	
N	% by weight	1.3	0.2		21.8
O	% by weight	4.2	0.6		1.4
Water (raw fuel)	% by weight	2.7	0.1-0.2	traces	
Ash (raw fuel)	% by weight	6-20	bis 0.1	traces	
Density at 0°C, 1013 mbar	kg/m <sup>3</sup>				0.830
Density at 15°C, 980 mbar	kg/m <sup>3</sup>		930-950	830-860	
Bulk density	kg/m <sup>3</sup>	99-950			
Calorific value H	kJ/kg/m <sup>3</sup>	34750	40200-		
(not value for coal)	kJ/kg/m <sup>3</sup>		41450	42700	31600*
free from water and ash)					
Gross calorific value	kJ/kg/m <sup>3</sup>	35690	42700-		
			44000	45550	35100*
Theoretical flame temperature, without dissociation and air preheating	°C	2155	2120	2160	2010
Minimum air requirements <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9.04	10.76	11.13	8.33
Minimum air requirements referred to H <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /103 kJ	0.260	0.261	0.261	0.264
Minimum combustion gas (waste gas, moist) <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9.35	11.42	11.89	9.35
Minimum combustion gas (waste gas) referred to H <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kJ	0.269	0.277	0.278	0.296
constituents of minimum combustion gas	% by volume	17.4	13.7	13.3	9.6
	% by volume	7.6	12.5	12.7	18.5
	% by volume	75.0	73.8	74.0	71.9

\*Referred to standard conditions (0° and 013 inbar)



## 2.7.2 การใช้ถ่านหินในโรงบ่มใบยาสูบ

การบ่มใบยาสูบเป็นอุตสาหกรรมหลักประเภทหนึ่ง ซึ่งนำใบยาสูบสดมาแปรรูปเป็นใบยาสูบแห้งโดยใช้ความร้อนจากไม้ฟืน ถ่านลิกไนต์ อุตสาหกรรมบ่มใบยาสูบเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ หลังจากรัฐบาลประกาศนโยบายอนุรักษ์ป่าไม้เป็นทรัพยากรของชาติทำให้ไม้ฟืนมีน้อย หายากและมีราคาแพง จึงมีการเปลี่ยนแปลงมาใช้ถ่านลิกไนต์ ซึ่งมีอยู่มากมายทางภาคเหนือ ทั้งนี้เพราะประหยัดเชื้อเพลิงกว่าไม้ฟืน และเทคโนโลยีไม่แตกต่างกันการที่จะตัดแปลงเตามาใช้ถ่านลิกไนต์กระทำได้ง่าย ใช้เงินทุนน้อยมาก

การใช้ถ่านลิกไนต์บ่มใบยาสูบระยะแรกๆ มีปัญหาทางเทคนิคมากมายและความไม่เคยชิน ทำให้มีการคิดค้นการประดิษฐ์เตาออกมาเพื่อสะดวกและประหยัดต่อการใช้เชื้อเพลิง เช่น เตาแบบจำลองอเนกประสงค์ของสถานีทดลองยาสูบแม่โจ้ พบว่าปริมาณการใช้ถ่านลิกไนต์ 6.74 กิโลกรัม ได้ใบยาแห้ง 1 กิโลกรัม

ปริมาณการใช้ถ่านลิกไนต์บ่มใบยาสูบมีปริมาณเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง จะสัมพันธ์กับจำนวนของผลผลิตใบยาสูบและจำนวนเตาที่ใช้ถ่านลิกไนต์บ่มใบยาสูบอย่างแท้จริง หากมีผลผลิตมากเตาบ่มที่ใช้ถ่านลิกไนต์จะช่วยลดการลักลอบใช้ไม้ฟืน การใช้ถ่านลิกไนต์จะเพิ่มมากขึ้นหรือกรณีผลผลิตลดน้อยลงการใช้ถ่านลิกไนต์บ่มใบยาสูบก็จะลดลงด้วย ซึ่งการใช้ถ่านลิกไนต์บ่มใบยาสูบจะขึ้นกับการควบคุมและลักลอบตัดไม้ทำลายป่า

ถ่านลิกไนต์ใช้ในอุตสาหกรรมบ่มใบยาสูบ มีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ดังเช่นในปี 2532 มีการใช้ถ่านลิกไนต์ประมาณ 110,000 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 132,000 ตันในปี 2533 ในปี 2534 มีปริมาณการใช้ถ่านลิกไนต์ 133,000 ตัน และในปี 2535 มีปริมาณการใช้คิดเป็น 157,000 ตัน

## 2.7.3 การใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมอื่นๆ

### 2.7.3.1 อุตสาหกรรมเผาปูนขาว

ปูนขาวใช้เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี และการเกษตรกรรม เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล กระดาษ การผลิตโซดาไฟ การผลิตแก้ว การก่อสร้าง ด้านการเกษตรปูนขาวมีแคลเซียม (Calcium) และแมกนีเซียม (Magnesium) เป็นธาตุอาหารของพืชช่วยลดกรดในดินให้ลดลงทำให้ดินอุดมสมบูรณ์

การเผาปูนขาวทำมาจากหินปูนซึ่งมีกระจุกกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ แต่มีมากในเขตจังหวัดภาคกลาง เช่น สระบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี กระจุกกระจายอยู่ทั่วประเทศเนื่องจากอุตสาหกรรมปูนขาวเป็นอุตสาหกรรมที่มีต้นทุนการผลิตเป็นค่าเชื้อเพลิงสูงกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเดิมใช้ไม้ฟืนเพียงอย่างเดียวต่อมาได้มีการเริ่มใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืน ซึ่งหากสถานการณ์การใช้ถ่านลิกไนต์เผาปูนขาวจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของจำนวนโรงปูนขาวที่ใช้ถ่านลิกไนต์ ปริมาณผลผลิตปูนขาวและสถานการณ์การใช้เชื้อเพลิงเผาปูนขาว

จำนวนโรงงานเผาปูนขาวและเตาเผาปูนตั้งกระจายทั่วประเทศ ตามแหล่งที่มีหินปูน ซึ่งเป็นวัตถุดิบ และความต้องการปูนขาวของตลาดจะมีมากที่จังหวัดราชบุรี สระบุรี และกำแพงเพชร มีกำลังการผลิตประมาณร้อยละ 66 ของการผลิตปูนขาวทั้งประเทศ

การใช้ถ่านลิกไนต์เผาปูนขาว มีการเริ่มใช้ที่จังหวัดสระบุรี พบว่าอัตราเฉลี่ยของถ่านลิกไนต์ที่ใช้ 1.34 ตัน เผาปูนขาวได้ 1 ตัน หรือเป็นพลังงาน  $4,824 \times 10^3$  กิโลแคลอรี

### 2.7.3.2 เครื่องจักรประเภทหม้อน้ำ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมความร้อนง่าย และใช้ความร้อนส่วนใหญ่ไม่เกิน  $300^{\circ}\text{C}$  โดยหม้อน้ำจะเป็นตัวผลิตไอน้ำแล้วนำไอน้ำไปใช้ทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ การให้ความร้อนส่งผ่านวัสดุ ความร้อน และให้ความร้อนแก่วัสดุที่รับความร้อนโดยตรง ประเภทอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่ใช้หม้อน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ ปลายีน การผลิตเคมีภัณฑ์ เครื่องดื่ม สีขาว และอาหาร ดังรายละเอียดดังนี้

- ประเภทอุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอถัก ได้แก่ ประเภทปั่นด้าย แห อ้วน เชือกทอผ้า ทอกระสอบ และฟอกย้อม เป็นต้น หม้อน้ำที่ใช้มีทั้งแบบท่อไฟนอน และท่อน้ำแบบความดันสูง และความดันต่ำ หม้อน้ำที่มีความดันสูงใช้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นน้ำมันเตา ส่วนหม้อน้ำความดันต่ำจะใช้ทั้งน้ำมันเตา ฟืน และอื่นๆ ลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่อยู่ที่ความดันระหว่าง  $3.2-7.7 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิที่  $241^{\circ}\text{C}$

- ประเภทอุตสาหกรรมปลาป่น ส่วนใหญ่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีบางส่วนที่ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ลักษณะการใช้ไอน้ำของหม้อน้ำทั้งหมดเพื่อให้ความร้อน ความดันใช้งานอยู่ระหว่าง  $5.3-7.7 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง  $153-168^{\circ}\text{C}$

- ประเภทอุตสาหกรรมเคมีผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่ได้แก่อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ กำมะถันผงซัลฟอก ยาเป็นต้น เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตา น้ำมันโซล่า รองลงมาคือพวกไม้ฟืน และเชื้อเพลิงแข็งอื่นๆ ลักษณะการใช้ประโยชน์จากไอน้ำเป็นแบบให้ความร้อนช่วงความดันอยู่ระหว่าง  $3.2-7.7 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิระหว่าง  $134-168^{\circ}\text{C}$

- ประเภทอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิต ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงและมีบ้างที่มีการใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ลักษณะการใช้ไอน้ำของหม้อน้ำทั้งหมดใช้เพื่อให้ความร้อน ความดันใช้งานอยู่ระหว่าง  $3.54-10.62 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $138-181^{\circ}\text{C}$  อุตสาหกรรมประเภทนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะเปลี่ยนไปใช้ถ่านลิกไนต์

- ประเภทอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ได้แก่ ประเภทอาหารกระป๋อง น้ำมันพืช ผลไม้อบ อาหารจากแป้ง แป้งมัน ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ เป็นต้น เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็น น้ำมันเตา รองลงมาคือ พวกไม้ฟืน เศษไม้ ถ่านหินนำเข้า ถ่านลิกไนต์ ลักษณะการใช้งานของไอน้ำจะเป็นการใช้

เพื่อให้ความร้อน ความดันช่วงใช้งานระหว่าง  $5.3-7.7 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง  $153-168^\circ\text{C}$

- ประเภทโรงสีข้าว ส่วนใหญ่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานมาเป็นเชื้อเพลิงลักษณะการใช้งานของไอน้ำจากหม้อน้ำใช้เป็นพลังงานกลจุดเครื่องจักรสีข้าว ความดันใช้งานอยู่ระหว่าง  $7.7-11 \text{ Kg/cm}^2$  อุณหภูมิประมาณ  $168^\circ\text{C}$  มีความเป็นไปได้น้อยที่จะเปลี่ยนใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง

- ประเภทอุตสาหกรรมอื่น เช่น พลาสติก พกยาง เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์จากไม้ส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงหลักน้ำมันเตา และเชื้อเพลิงรองลงมาจำพวกไม้ฟืน น้ำมันโซล่า ซีเลียม เศษไม้

การใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมประเภทหม้อน้ำในระยะแรกเริ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมจะคัดแปลงน้ำที่ใช้ น้ำมันเตา หรือเชื้อเพลิงชนิดอื่นมาใช้กับถ่านลิกไนต์ การป้อนถ่านลิกไนต์จะใช้วิธีโยนถ่านเข้าไปในเตาเผาหลักประสิทธิภาพของการใช้งานค่อนข้างต่ำ และจะต้องคอยควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา ต่อมาการใช้หม้อน้ำที่ใช้ถ่านลิกไนต์เริ่มแพร่หลาย ได้มีการนำหม้อน้ำที่ออกแบบโดยเฉพาะสำหรับใช้กับถ่านลิกไนต์ ทั้งที่ผลิตขึ้นในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ มาใช้ในอุตสาหกรรม หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านลิกไนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เป็นขนาดความดันต่ำกว่า  $10$  ตันต่อชั่วโมง และมักจะเป็นแบบท่อไฟความดันต่ำเกือบทั้งหมด ซึ่งหม้อน้ำที่มีการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันมี 2 ระบบ คือ หม้อน้ำแบบ Under Feed Stoker และแบบ Travelling Grate

แนวโน้มการใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมต่างๆ มีมากขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบด้านเชื้อเพลิง สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ อีกทั้งหากมีความจำเป็นก็สามารถดำเนินการนำเข้าจากต่างประเทศได้

ตารางที่ 2.12 แสดงปริมาณการใช้ด้านพลังงานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (หน่วย: พันตัน)<sup>1)</sup>

ประเภทอุตสาหกรรม	ปี 2533	ปี 2534	ปี 2535
อาหาร	85.497	80.397	62.815
น้ำตาล	-	12.428	-
อาหารสัตว์	34.709	40.099	23.362
ป๋มไวยา	131.843	133.300	156.649
สิ่งทอ	7.243	66.918	94.281
กระดาษ	218.865	329.430	312.414
ไฟเบอร์	54.499	44.442	46.956
แอลกอฮอล์	0.546	-	-
ปูนซีเมนต์	1,951.166	1,955.498	2,244.741
ปูนขาว	90.913	147.214	167.703
หล่อเหล็ก	6.600	5.400	3.200
อื่นๆ	-	1.987	2.313
รวม	2,581.881	2,817.113	3,114.434

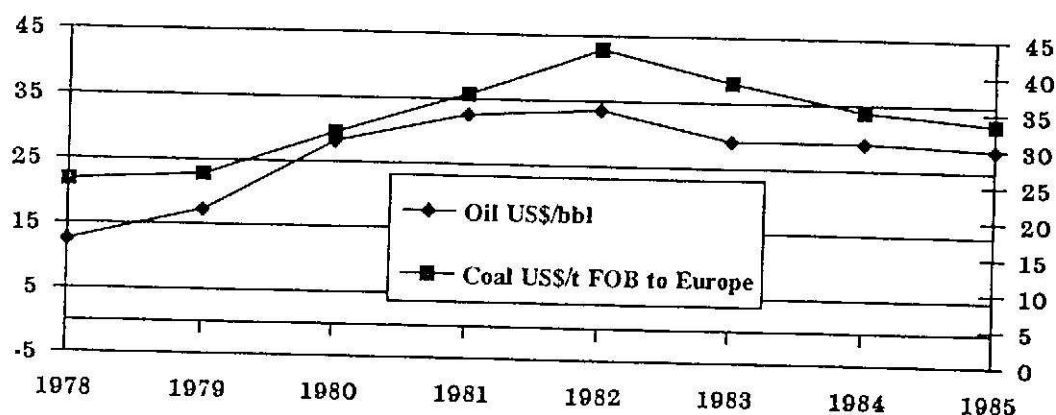
ตารางที่ 2.18 การใช้ถ่านหินนำเข้าในโรงงานอุตสาหกรรม (หน่วย: พันตัน)<sup>1)</sup>

ประเภทอุตสาหกรรม	ปี 2533	ปี 2534	ปี 2535
กระดาษ	90.978	126.462	10.846
เคมี	68.572	75.352	180.847
ซีเมนต์	78.575	169.737	174.241
รีดเหล็ก	3.356	1.820	13.080
หล่อเหล็ก	13.685	20.001	181.975
รวม	255.166	393.372	560.989

## 2.8 ตลาดการค้าด้านหินโลก<sup>1)</sup>

ปริมาณการใช้ด้านหินประเภท Steaming ของประเทศต่างๆ นั้น ได้เพิ่มขึ้นมากในช่วงกลางทศวรรษ 2513 ทั้งนี้เพราะเกิดวิกฤตการณ์น้ำมัน ซึ่งส่งผลให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในปี 2516 และในปี 2522 ทำให้ประเทศต่างๆ ได้ใช้นโยบายลดการพึ่งพาน้ำมัน ตลอดจนมีการปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละอุตสาหกรรม โดยพยายามหาพลังงานอื่นๆ มาใช้ทดแทนน้ำมันซึ่งด้านหินก็เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าต่างๆ ประกอบกับการที่แต่ละประเทศมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจในด้านต่างๆ สูงขึ้น ซึ่งดูได้จาก GDP (Gross Domestic Product) ของแต่ละประเทศที่เพิ่มสูงขึ้นมาก จึงทำให้การใช้พลังงานต่างๆ มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นอุปสงค์ของการนำเข้าด้านหินประเภท Steaming จึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ทางด้านราคาของด้านหินในตลาดซื้อขายระหว่างประเทศ จะแปรผันตามอุปสงค์ของด้านหินและราคาน้ำมันในตลาดโลก จากรูปที่ 2.25 เป็นกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาด้านหินประเภท Steaming ของประเทศออสเตรเลีย (เป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลก) ที่ส่งขายในตลาดยุโรปกับราคาน้ำมันของประเทศซาอุดีอาระเบีย ในช่วงปี 2521-2528 จะเห็นได้ว่าระดับราคาของด้านหินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี 2522 เนื่องจากประเทศต่างๆ ได้เริ่มปรับรูปแบบของการใช้พลังงานหลังการเกิด Oil Shock โดยระดับราคาสูงที่สุด ในปี 2525 หลังจากนั้นราคาด้านหินเริ่มลดลงตามระดับราคาน้ำมัน เพราะในช่วงดังกล่าวอุปทานของน้ำมันได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการสำรวจพบแหล่งน้ำมันใหม่ๆ เพิ่มขึ้น ประกอบกับอุปสงค์ของน้ำมันก็ได้ชะลอตัวลงด้วย

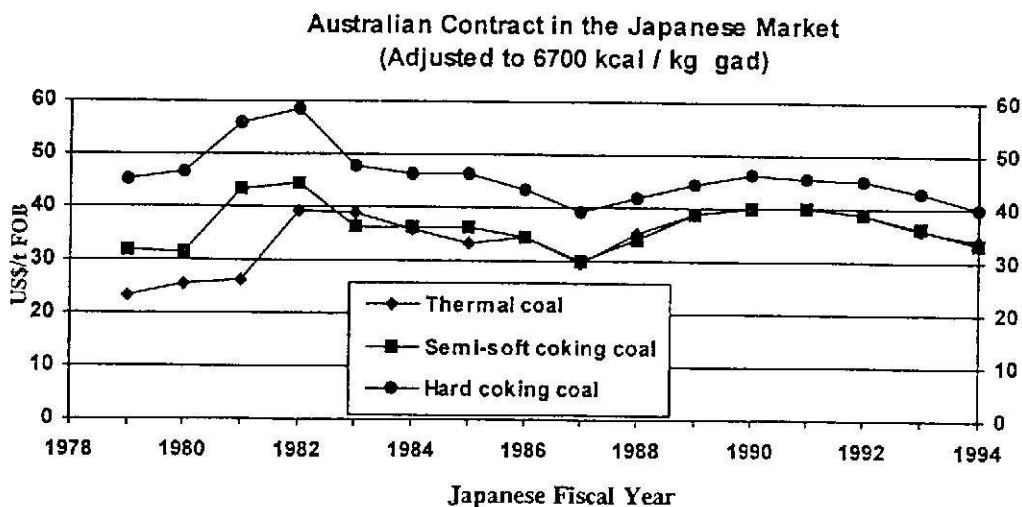


รูปที่ 2.25 กราฟแสดง Oil and Coal Prices Period 1978-1985<sup>1)</sup>

การซื้อขายถ่านหินระหว่างประเทศส่วนมากเกือบร้อยละ 90 จะซื้อขายกันในเงินสกุล US Dollar ราคา FOB โดยผู้ซื้อจะต้องจัดการเรื่องขนส่งเอง นอกจากนี้ในสัญญาการซื้อขายยังมีเรื่องของการปรับ และการให้ Bonus ตามคุณภาพของถ่านหินที่ได้รับเทียบกับคุณภาพของถ่านหินที่ได้กำหนดไว้ในสัญญาซื้อขายด้วย เช่น การปรับราคาในกรณีที่ค่า Moisture เกินกว่าที่กำหนด ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักของถ่านหินนั้นเปลี่ยนไปด้วย, การปรับราคาในกรณีที่ค่า Sulphur เกินจาก Quality Specification Contract ฯลฯ ส่วนในสัญญาการซื้อขาย Steaming Coal โดยเฉพาะของโรงไฟฟ้านั้น จะกำหนดการปรับราคาในลักษณะของราคาตามสัดส่วน (Pro-rata Price) ตาม Specific Energy ที่ได้รับจริงเทียบกับ Specific Energy ใน Specification

การนำเข้าถ่านหินในตลาดโลกนั้น ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำเข้าถ่านหินรายใหญ่ที่สุด ทั้งประเภท Steaming Coal และ Metallurgical Coal ดังนั้นการกำหนดราคาในตลาดการซื้อขายถ่านหินระหว่างประเทศจึงมักจะขึ้นอยู่กับตลาดของประเทศญี่ปุ่น โดยราคาถ่านหินที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นราคาถ่านหินส่งออกของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่รายหนึ่งในตลาดโลก ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นภาพโดยรวมของระดับราคาถ่านหินในตลาดโลกได้ ซึ่งราคาถ่านหินส่งออกของประเทศออสเตรเลียก็จะถูกกำหนดจากตลาดของประเทศญี่ปุ่นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพราะญี่ปุ่นเป็นตลาดหลักของประเทศออสเตรเลียโดยมีการส่งออกถ่านหินไปยังประเทศญี่ปุ่น ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณการส่งออกถ่านหินทั้งหมด

ราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลีย (FOB Price) ที่ส่งไปขายยังประเทศญี่ปุ่นในช่วงที่ผ่านมาจะถูกกำหนดโดยผู้ซื้อรายใหญ่ 2 ประเภท คือ Japanese Power Utilities และ Japanese Steel Mills ซึ่งราคานี้จะถูกนำมาใช้ในการกำหนดราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลียที่จะขาย ให้กับประเทศอื่นๆ ในแถบเอเชียเหนือ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยเช่นกัน ราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลียได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26 ซึ่งเป็นกราฟเส้นแสดง Contract Prices ของถ่านหินประเภทต่างๆ ที่ส่งไปขายที่ประเทศญี่ปุ่นในช่วงปี 2521-2537 ซึ่งราคาดังกล่าวที่เป็นราคาที่ได้มีการปรับให้อยู่ในฐานเดียวกันที่ Heating Value 6700 Kcal/Kg (Gross Air-Dry Basis)



รูปที่ 2.26 กราฟแสดง FOB Prices of Export Australian Coal to Japanese Utilities and Steel Mills, Period 1979-1994<sup>1)</sup>

ตารางที่ 2.14 Summary of Japan/Australian Coal Contract Price (a)<sup>1)</sup>

Year	Hard Coking (b)	Soft Coking	Semi-Soft Coking	Steaming (c)
JFY 1987	43.00/44.00	37.25/38.75	31.50/33.00	29.40
JFY 1988	46.40/46.90	40.65/42.65	35.40/36.90	35.65
JFY 1989	49.90/50.40	45.15/47.15	40.90/42.40	39.15
JFY 1990	52.30/52.80	47.35/49.35	42.70/44.20	40.85
JFY 1991	51.30/51.80	46.35/48.35	41.70/43.20	39.85
JFY 1992	50.80/51.30	45.85/47.85	40.70/42.20	38.90
JFY 1993	48.80/49.30	43.85/45.85	38.20/39.70	36.25

(a) For major contracts with Japanese steel mills and power utilities.

(b) Covers Coal Cliff/West Cliff, Tahmoor and South Bulli hard coking coals.

Not included in the table is Wollondilly semi-hard coking coals at US\$ 45.80

For JFY 1993 (US\$ 47.80 in JFY 1992).

(c) 6700 Kcal/Kg gross air-dry basis.

(d) All price is FOB price

ในตารางที่ 2.14 เป็นข้อมูลแสดง Contract Prices ของการซื้อขายถ่านหินประเภทต่างๆ ระหว่างประเทศออสเตรเลียกับประเทศญี่ปุ่น ในช่วงปี JFY 2530 ถึง JFY 2536 (JFY เป็นปีงบประมาณของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเริ่มต้นปีงบประมาณวันที่ 1 เมษายน ของทุกปี) จากตารางแสดงให้เห็นว่า Contract Prices ของถ่านหินทุกประเภทได้เพิ่มขึ้นทุกปี ตั้งแต่ปี JFY 2531 -JFY 2533 หลังจากนั้น Contract Prices ได้ลดลงในช่วงปี JFY 2534 -JFY 2536 โดย Contract Prices ของ Steaming Coal อยู่ในระดับ US\$ 36.25/Tonne ในปี 2536 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นตลาดการค้าถ่านหินในตลาดโลกมีสถานะ Over Supply มาตลอด ซึ่งตลาดในช่วงนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นตลาดของผู้ซื้อ แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดราคาซื้อขายโดยเฉพาะตลาดในเอเชียเหนือ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ก็ยังคงใช้ Contract Prices นี้เป็นเกณฑ์ในการเจรจาซื้อขาย โดยจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากราคานี้ตามสถานะของตลาดถ่านหินในช่วงระหว่างการเจรจาด้วย ซึ่งราคาในปัจจุบัน (ปี 2537) จะอยู่ในช่วงราคาประมาณ US\$ 35/Tonne ส่วนราคา Spot Price ในปัจจุบันนี้จะมีแนวโน้มของราคาค่ำกว่า Contract Price ประมาณ US\$ 2-5/Tonne



ตารางที่ 2.12 แสดงปริมาณการใช้ด้านพลังงานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (หน่วย: พันตัน)<sup>1)</sup>

ประเภทอุตสาหกรรม	ปี 2533	ปี 2534	ปี 2535
อาหาร	85.497	80.397	62.815
น้ำตาล	-	12.428	-
อาหารสัตว์	34.709	40.099	23.362
ป๋มไวย	131.843	133.300	156.649
สิ่งทอ	7.243	66.918	94.281
กระดาษ	218.865	329.430	312.414
ไฟเบอร์	54.499	44.442	46.956
แอลกอฮอล์	0.546	-	-
ปูนซีเมนต์	1,951.166	1,955.498	2,244.741
ปูนขาว	90.913	147.214	167.703
หล่อเหล็ก	6.600	5.400	3.200
อื่นๆ	-	1.987	2.313
รวม	2,581.881	2,817.113	3,114.434

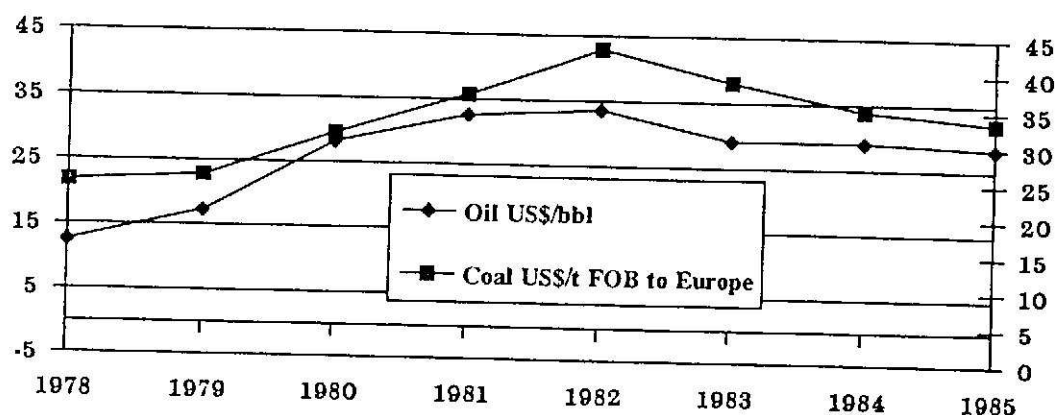
ตารางที่ 2.18 การใช้ถ่านหินนำเข้าไปในโรงงานอุตสาหกรรม (หน่วย: พันตัน)<sup>1)</sup>

ประเภทอุตสาหกรรม	ปี 2533	ปี 2534	ปี 2535
กระดาษ	90.978	126.462	10.846
เคมี	68.572	75.352	180.847
ซีเมนต์	78.575	169.737	174.241
รีดเหล็ก	3.356	1.820	13.080
หล่อเหล็ก	13.685	20.001	181.975
รวม	255.166	393.372	560.989

## 2.8 ตลาดการค้าด้านหินโลก<sup>1)</sup>

ปริมาณการใช้ด้านหินประเภท Steaming ของประเทศต่างๆ นั้น ได้เพิ่มขึ้นมากในช่วงกลางทศวรรษ 2513 ทั้งนี้เพราะเกิดวิกฤตการณ์น้ำมัน ซึ่งส่งผลให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในปี 2516 และในปี 2522 ทำให้ประเทศต่างๆ ได้ใช้นโยบายลดการพึ่งพาน้ำมัน ตลอดจนมีการปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละอุตสาหกรรม โดยพยายามหาพลังงานอื่นๆ มาใช้ทดแทนน้ำมันซึ่งด้านหินก็เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าต่างๆ ประกอบกับการที่แต่ละประเทศมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจในด้านต่างๆ สูงขึ้น ซึ่งดูได้จาก GDP (Gross Domestic Product) ของแต่ละประเทศที่เพิ่มสูงขึ้นมาก จึงทำให้การใช้พลังงานต่างๆ มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นอุปสงค์ของการนำเข้าด้านหินประเภท Steaming จึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ทางด้านราคาของด้านหินในตลาดซื้อขายระหว่างประเทศ จะแปรผันตามอุปสงค์ของด้านหินและราคาน้ำมันในตลาดโลก จากรูปที่ 2.25 เป็นกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาด้านหินประเภท Steaming ของประเทศออสเตรเลีย (เป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ของโลก) ที่ส่งขายในตลาดยุโรปกับราคาน้ำมันของประเทศซาอุดีอาระเบีย ในช่วงปี 2521-2528 จะเห็นได้ว่าระดับราคาของด้านหินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี 2522 เนื่องจากประเทศต่างๆ ได้เริ่มปรับปรุงรูปแบบของการใช้พลังงานหลังการเกิด Oil Shock โดยระดับราคาสูงที่สุด ในปี 2525 หลังจากนั้นราคาด้านหินเริ่มลดลงตามระดับราคาน้ำมัน เพราะในช่วงดังกล่าวอุปทานของน้ำมันได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการสำรวจพบแหล่งน้ำมันใหม่ๆ เพิ่มขึ้น ประกอบกับอุปสงค์ของน้ำมันก็ได้ชะลอตัวลงด้วย

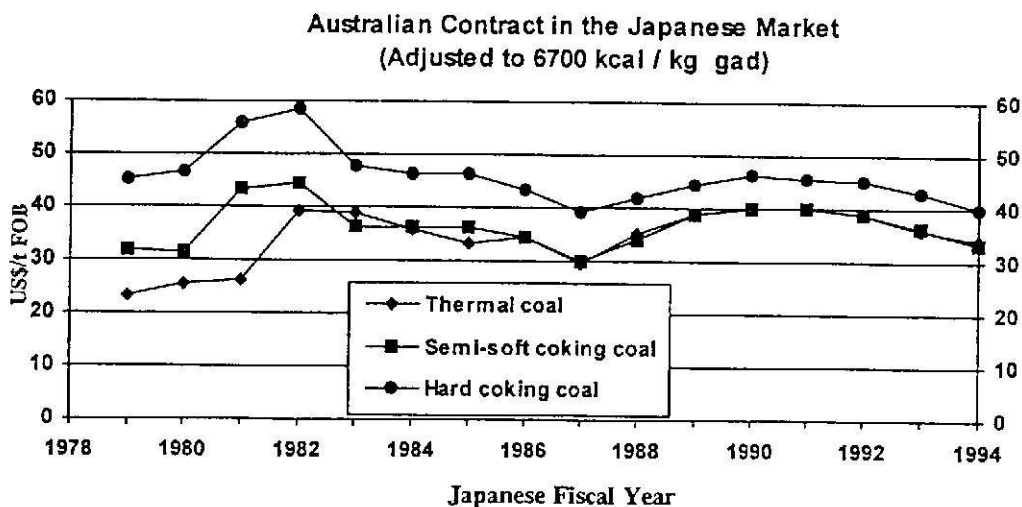


รูปที่ 2.25 กราฟแสดง Oil and Coal Prices Period 1978-1985<sup>1)</sup>

การซื้อขายถ่านหินระหว่างประเทศส่วนมากเกือบร้อยละ 90 จะซื้อขายกันในเงินสกุล US Dollar ราคา FOB โดยผู้ซื้อจะต้องจัดการเรื่องขนส่งเอง นอกจากนี้ในสัญญาการซื้อขายยังมีเรื่องของการปรับ และการให้ Bonus ตามคุณภาพของถ่านหินที่ได้รับเทียบกับคุณภาพของถ่านหินที่ได้กำหนดไว้ในสัญญาซื้อขายด้วย เช่น การปรับราคาในกรณีที่ค่า Moisture เกินกว่าที่กำหนด ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักของถ่านหินนั้นเปลี่ยนไปด้วย, การปรับราคาในกรณีที่ค่า Sulphur เกินจาก Quality Specification Contract ฯลฯ ส่วนในสัญญาการซื้อขาย Steaming Coal โดยเฉพาะของโรงไฟฟ้านั้น จะกำหนดการปรับราคาในลักษณะของราคาตามสัดส่วน (Pro-rata Price) ตาม Specific Energy ที่ได้รับจริงเทียบกับ Specific Energy ใน Specification

การนำเข้าถ่านหินในตลาดโลกนั้น ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำเข้าถ่านหินรายใหญ่ที่สุด ทั้งประเภท Steaming Coal และ Metallurgical Coal ดังนั้นการกำหนดราคาในตลาดการซื้อขายถ่านหินระหว่างประเทศจึงมักจะขึ้นอยู่กับตลาดของประเทศญี่ปุ่น โดยราคาถ่านหินที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นราคาถ่านหินส่งออกของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเป็นประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่รายหนึ่งในตลาดโลก ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นภาพโดยรวมของระดับราคาถ่านหินในตลาดโลกได้ ซึ่งราคาถ่านหินส่งออกของประเทศออสเตรเลียก็จะถูกกำหนดจากตลาดของประเทศญี่ปุ่นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพราะญี่ปุ่นเป็นตลาดหลักของประเทศออสเตรเลียโดยมีการส่งออกถ่านหินไปยังประเทศญี่ปุ่น ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณการส่งออกถ่านหินทั้งหมด

ราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลีย (FOB Price) ที่ส่งไปขายยังประเทศญี่ปุ่นในช่วงที่ผ่านมาจะถูกกำหนดโดยผู้ซื้อรายใหญ่ 2 ประเภท คือ Japanese Power Utilities และ Japanese Steel Mills ซึ่งราคานี้จะถูกนำมาใช้ในการกำหนดราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลียที่จะขาย ให้กับประเทศอื่นๆ ในแถบเอเชียเหนือ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยเช่นกัน ราคาถ่านหินของประเทศออสเตรเลียได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26 ซึ่งเป็นกราฟเส้นแสดง Contract Prices ของถ่านหินประเภทต่างๆ ที่ส่งไปขายที่ประเทศญี่ปุ่นในช่วงปี 2521-2537 ซึ่งราคาดังกล่าวที่เป็นราคาที่ได้มีการปรับให้อยู่ในฐานเดียวกันที่ Heating Value 6700 Kcal/Kg (Gross Air-Dry Basis)



รูปที่ 2.26 กราฟแสดง FOB Prices of Export Australian Coal to Japanese Utilities and Steel Mills, Period 1979-1994<sup>1)</sup>

ตารางที่ 2.14 Summary of Japan/Australian Coal Contract Price (a)<sup>1)</sup>

Year	Hard Coking (b)	Soft Coking	Semi-Soft Coking	Steaming (c)
JFY 1987	43.00/44.00	37.25/38.75	31.50/33.00	29.40
JFY 1988	46.40/46.90	40.65/42.65	35.40/36.90	35.65
JFY 1989	49.90/50.40	45.15/47.15	40.90/42.40	39.15
JFY 1990	52.30/52.80	47.35/49.35	42.70/44.20	40.85
JFY 1991	51.30/51.80	46.35/48.35	41.70/43.20	39.85
JFY 1992	50.80/51.30	45.85/47.85	40.70/42.20	38.90
JFY 1993	48.80/49.30	43.85/45.85	38.20/39.70	36.25

(a) For major contracts with Japanese steel mills and power utilities.

(b) Covers Coal Cliff/West Cliff, Tahmoor and South Bulli hard coking coals.

Not included in the table is Wollondilly semi-hard coking coals at US\$ 45.80

For JFY 1993 (US\$ 47.80 in JFY 1992).

(c) 6700 Kcal/Kg gross air-dry basis.

(d) All price is FOB price

ในตารางที่ 2.14 เป็นข้อมูลแสดง Contract Prices ของการซื้อขายถ่านหินประเภทต่างๆ ระหว่างประเทศออสเตรเลียกับประเทศญี่ปุ่น ในช่วงปี JFY 2530 ถึง JFY 2536 (JFY เป็นปีงบประมาณของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเริ่มต้นปีงบประมาณวันที่ 1 เมษายน ของทุกปี) จากตารางแสดงให้เห็นว่า Contract Prices ของถ่านหินทุกประเภทได้เพิ่มขึ้นทุกปี ตั้งแต่ปี JFY 2531 -JFY 2533 หลังจากนั้น Contract Prices ได้ลดลงในช่วงปี JFY 2534 -JFY 2536 โดย Contract Prices ของ Steaming Coal อยู่ในระดับ US\$ 36.25/Tonne ในปี 2536 ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นตลาดการค้าถ่านหินในตลาดโลกมีสถานะ Over Supply มาตลอด ซึ่งตลาดในช่วงนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นตลาดของผู้ซื้อ แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดราคาซื้อขายโดยเฉพาะตลาดในเอเชียเหนือ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ก็ยังคงใช้ Contract Prices นี้เป็นเกณฑ์ในการเจรจาซื้อขาย โดยจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากราคานี้ตามสถานะของตลาดถ่านหินในช่วงระหว่างการเจรจาด้วย ซึ่งราคาในปัจจุบัน (ปี 2537) จะอยู่ในช่วงราคาประมาณ US\$ 35/Tonne ส่วนราคา Spot Price ในปัจจุบันนี้จะมีแนวโน้มของราคาค่าต่ำกว่า Contract Price ประมาณ US\$ 2-5/Tonne

# บทที่ 3

## การวิจัย

แนวคิดในการวิจัย จะแบ่งด้านลิกไนต์จากแหล่งในประเทศไทย และมุ่งไปที่แหล่งถ่านแหล่งใหญ่ในภาคเหนือ และมีบางส่วนในภาคใต้ การแบ่งด้านลิกไนต์ จะแบ่งด้านลิกไนต์ขนาดหยาบ และขนาดละเอียด โดยประกอบด้วยการศึกษาวิจัยย่อยๆ ดังนี้

1. การวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของถ่านลิกไนต์
2. การศึกษาการบดถ่านลิกไนต์
3. การศึกษา Coal Washability ลิกไนต์
4. การวิจัยและทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ขนาดหยาบ
  - การทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยจึก
  - การทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยโต๊ะสั่น
5. การวิจัยและทดลองแต่งลิกไนต์ขนาดละเอียด
  - การทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยวิธีลอยแร่
  - การทดลองแต่งลิกไนต์ด้วยวิธี Flocculation

### 3.1 การวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของถ่านลิกไนต์

#### 3.1.1 รวบรวมตัวอย่างถ่านลิกไนต์

ตัวอย่างถ่านลิกไนต์ที่นำมาวิจัยได้มาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

1. ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จังหวัดลำปาง
  - A-seam
  - B-seam
  - C-seam
  - hight-S
2. ถ่านหินจากบริษัท เหมืองบ้านปู้ จำกัด (มหาชน)
  - ถ่านคุณภาพต่ำ
  - ถ่านคุณภาพพอใช้
  - ถ่านที่มีซัลเฟอร์สูง
  - ถ่านลิกไนต์จากแอ่งลี้ อ.ลี้ จังหวัดลำพูน
3. ถ่านลิกไนต์จากแหล่งบ้านนาทราย

4. ด้านลิกไนต์จากแหล่งนาฮ่อง อ.แม่เมาะ จ.เชียงใหม่
  - K-seam
  - S-seam
5. ด้านลิกไนต์จากแหล่งปากา อ.ลี้ จังหวัดลำพูน
6. ด้านลิกไนต์จากแหล่งแม่สาย อ.ฮอด จังหวัดเชียงใหม่
7. ด้านลิกไนต์จากแหล่งบ้านปอม (Lower seam)
8. ด้านแอนทราไซต์จากแหล่งนาคิ้ว อ.นาคิ้ว จ.เลย
  - นาคิ้ว I
  - นาคิ้ว II
9. ด้านหินจากแหล่งกันดั่ง บ้านพระม่วง อ.กันดั่ง จังหวัดตรัง
10. ด้านหินจากแหล่งกระบี่
  - บางปุดำ (เกรดปานกลาง) อ.เมือง จ.กระบี่
  - บางหมาก อ.เมือง จ.กระบี่
  - หวายเล็ก อ.เมือง จ.กระบี่
11. ด้านหินจากแหล่งบ้านโฮ้ง อ.ลี้ จ.ลำพูน

3.1.2 น้ำตัวอย่างทั้ง 23 ตัวอย่าง มาชักตัวอย่างและเตรียมด้วยการบด เพื่อทำการวิเคราะห์ Proximate analysis, Ultimate analysis, Calorific value, หาค่าความสามารถในการบดในการเทอมของ Hargrove grindability index (HGI) และหาค่าความแข็งด้วย micro vickers hardness

### 3.1.3 ขั้นตอนการทำงานวิเคราะห์ Proximate analysis

- ทำการบดด้านหินให้มีขนาดเล็กลง (ขนาดเล็กกว่า 0.2 มม. หรือประมาณ 70 เมช)
  - หาคความชื้นโดยนำด้านหิน 1 กรัม ใส่ภาชนะมีฝาปิดแบบมาตรฐานอังกฤษ BS 1056 อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใน oven ที่ไว้ให้เขียนในเคสซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักที่หายไป
- การคำนวณเพื่อหาค่าความชื้น Air-dried moisture

$$\% \text{ Air - dried moisture} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักด้านหิน}} \times 100 \%$$

- หาค่าสารละลายโดยนำด้านหิน 1 กรัมใส่ภาชนะฝาปิดแบบมาตรฐานอังกฤษ BS 1056 เผาที่อุณหภูมิ 110°C ในเวลา Furnace เป็นเวลา 7 นาที ที่ไว้ให้เขียนในเคสซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักที่หายไป

$$\% \text{ VM} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักก่อนหั่น}} \times 100 - (\% \text{ Air-dried moisture } \%)$$

- หาค่าปริมาณแฉะ โดยนำถ่านหิน 1 กรัม ใส่ภาชนะแบบมาตรฐานอังกฤษ BS 1056 ไม่ปิดฝาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 30 นาที เพิ่มความร้อนให้เป็น 900°C เผานานอีก 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักแฉะ

การคำนวณเพื่อหาค่าแฉะถ่านหิน (Ash)

$$\% \text{ Ash} = \frac{\text{น้ำหนักแฉะ}}{\text{น้ำหนักก่อนหั่น}} \times 100 \%$$

การคำนวณคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon, FC)

$$\% \text{ FC} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ VM} + \% \text{ Ash})$$

### 3.1.4 ขั้นตอนการทำการวิเคราะห์ Ultimate analysis โดยใช้ PE 2400 II analyzer ของ Perkin - Elmer

- เตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ โดยนำถ่านหินมาบดเป็นผงละเอียด และอบถ่านหินที่บดแล้วที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น
- เตรียมเครื่อง PE 2400 series II analyzer โดยการอุ่นเครื่อง 2.5-3 ชั่วโมง ใน mode การวิเคราะห์ CHNS โดยใช้อุณหภูมิของ combustion tube 900°C Reduction tube 500°C ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็น carrier gas ปรับเครื่องโดย run blank, K factors และสารละลายมาตรฐาน (Cystine) จนได้ค่า % ของ C, H, N, S ตรงกับค่าของสารมาตรฐาน
- การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ปริมาณถ่านหิน 1.5-2 มิลลิกรัม วิเคราะห์อย่างน้อย 2 ครั้ง วิเคราะห์สารมาตรฐาน (Cystine) ในภาวะเดียวกับการวิเคราะห์ถ่านหินเพื่อหาค่า % ความคลาดเคลื่อน

### 3.1.5 ขั้นตอนการหาค่าความร้อนด้วยเครื่องมือ AC-800 Automatic Calorimeter ของ Leco

- อุ่นเครื่อง และเริ่มเปิดวาล์ว ก๊าซออกซิเจน แล้วกดปุ่ม Power จากนั้นจึงป้อนข้อมูลวัน เดือน ปี และเวลาที่เดินเครื่อง
- วางเบ้าโลหะลงบนเครื่องมือ และ tare ค่าน้ำหนักของเบ้าโลหะ



- ชั่งตัวอย่างถ่านหินขนาด - 200 เมช ลงในเบ้าโลหะ โดยให้ค่าน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.6-1.5 กรัม ค่าของน้ำหนักจะไปปรากฏบนจอ control console จากนั้นจึงใส่ข้อมูล % N และ % S
- กดปุ่ม enter เครื่องก็จะเก็บข้อมูลต่างๆ ไว้ ในกรณีที่ถ่านหินมีค่าความร้อนต่ำมากๆ จะต้องใช้ Sparking เป็นตัวช่วยจุดชนวน
- นำเบ้าโลหะที่ชั่งแล้วไปใส่ไป Bomb ผูกหลอดนิกเกิล อัดก๊าซออกซิเจนที่ความดัน 440 psi เข้าไปใน Bomb นำ Bomb ไปใส่ใน vessel แล้วกดปุ่ม vessel control เครื่องก็จะเริ่มทำงาน
- เมื่อเครื่องทำงานเสร็จเรียบร้อย เครื่องก็จะคำนวณค่าความร้อนให้ใน Dry-basis หากต้องการค่าในแบบ as-recieved ก็กดปุ่ม edit moisture ต่อ จากนั้นจึงป้อน % moisture แล้วกดปุ่ม enter เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนในแบบ As-recieved

### 3.1.6 ขั้นตอนการทดสอบค่า Hardgrove Grindability Index (HGI)

เครื่องมือที่ใช้จะใช้เครื่องมือมาตรฐาน เพื่อหาค่า Hardgrove mill

- ทำความสะอาด Hardgrove mill โดยใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เช็ดให้ทั่ว
- เตรียมตัวอย่างถ่านหินที่จะทดสอบให้ได้ขนาด -14 + 28 เมช และชั่งมา 50 กรัม เกลี่ยลงบนลูกบอลล์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว 8 ลูก ที่เรียงอย่างเป็นระเบียบใน Race นำ Race ด้านบนปิดทับ แล้วนำเข้าไปประกอบกับเครื่องที่มีแรงกดทับ (คิดเป็นมวล 29 กิโลกรัม)
- ตั้งจำนวนรอบในการบดไว้ 60 รอบ (ความเร็วรอบในการหมุน 20 รอบ/นาที)
- เปิดสวิทซ์ เครื่องบดจะหมุนไปจำนวน 60 รอบ เครื่องจะทำการตัดสวิทซ์เอง โดยอัตโนมัติ
- ปลดน้ำหนักที่กดทับออก คลายสกรู และนำ Shell ออกจากเครื่อง และนำถ่านหินที่บดแล้วทั้งหมดไปคัดขนาดด้วยตะแกรง 200 เมช (74 ไมครอน) เป็นเวลา 20 นาที และนำมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านหินขนาด -200 เมช สมมติให้เป็น W กรัม

คำนวณค่า Hardgrove Grindability Index โดยใช้สูตร

$$HGI = 13.6 + 6.93 W \quad \text{-----}(3.1)$$

ค่า HGI เป็นค่าข้อมูลสำคัญมากในการออกแบบเครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ย่อยหรือลดขนาดถ่านหิน<sup>15)</sup> Mc Intyre และ Plitt ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Bond Work index กับ HGI ไว้ดังนี้

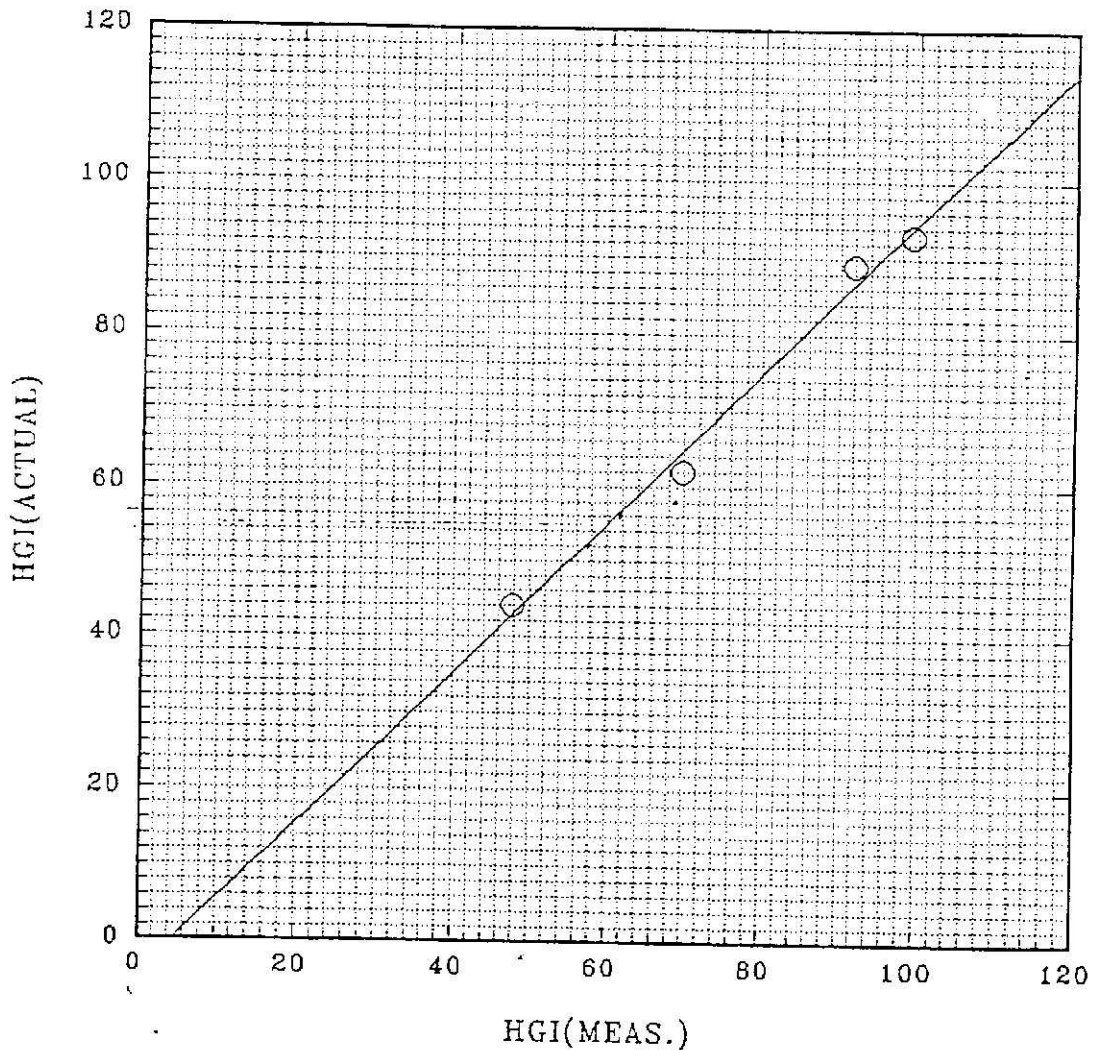
$$W_i = 1622 \text{ HGI}^{1.08} \text{-----}(3.2)$$

เนื่องจากงาน (W) ที่ต้องการบดให้ได้อนุภาคขนาด P (80 % passing) จากอนุภาคขนาด F (20 % passing) มีค่าดังนี้

เมื่อแทนค่า HGI ในสมการ (3.2) ก็สามารถหางานที่ต้องการได้ และสามารถนำไปใช้คำนวณขนาดของเครื่องบดต่อไป

- นำค่าที่คำนวณได้ไปหาค่า HGI ที่แท้จริง ด้วยการ ใช้ standardized calibration curve ที่แสดงดังรูปที่ 3.1

$$W = W_i \left( \frac{F - P}{F} \right)^{0.5} \left( \frac{75}{P} \right)^{0.5} \text{-----}(3.3)$$



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI (Measure) กับ HGI (Actual)

ค่า HGI > 70	แสดงว่าดำนหินอ่อนและบดง่าย
50 < HGI < 70	แสดงว่าดำนหินอ่อนปานกลาง
30 < HGI < 50	แสดงว่าเป็นดำนหินแข็ง

### 3.1.7 การวัดค่าความแข็งของดำนลิกไนต์

- เตรียมตัวอย่างทดสอบ โดยใช้ดำนหินตัวอย่างขนาด นิ้ว หล่อด้วยเบกเกอร์ไลต์ และผ่นหน้าให้เรียบ และสามารถเห็นเนื้อดำนได้ชัดเจน
- นำชิ้นทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่อง Vickers micro hardness ซึ่งมีหัวกดเป็นหัวเพชรรูปปิรามิด กดจนเป็นรอยปุ่ม และทำการวัดค่าความกว้างแนวเฉียงของรอยปุ่ม

การคำนวณค่า Vickers hardness จะใช้สูตร

$$VHN = 1854.4 p/d^2 \quad \text{-----}(3.4)$$

เมื่อ VNH คือค่า Vicker hardness number (กรัม/ไมครอน<sup>2</sup>)

p คือ โหลดที่กระทำ (กรัม)

d คือ ความกว้างแนวเฉียงของรอยปุ่ม (ไมครอน)

- การทดสอบหาค่าความแข็ง ควรหาค่าความแข็งของแต่ละตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 20 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

## 3.2 การศึกษาการลดขนาดและการบดลิกไนต์

### 3.2.1 ตัวอย่างดำนหินที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างดำนที่นำมาศึกษาคือ ดำนหินจากแหล่งแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง (ถ่าน c-seam)

### 3.2.2 ขั้นตอนในการศึกษาการบดดำนลิกไนต์

ขั้นตอนในการบดจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การบดขั้นแรก และการบดขั้นที่ 2

#### 3.2.2.1 ขั้นตอนการบดขั้นแรก

- แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดที่โตกว่า 10 มม. และขนาดที่เล็กกว่า 10 มม. โดยใช้ตะแกรงขนาด 10 มม. เป็นตัวคัดขนาด

- นำตัวอย่างแต่ละขนาดที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว โตกกว่า 10 มม. มาบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์ (Jaw crusher) ส่วนตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มม. นำเข้าสู่การบดขั้นที่ 2
- นำตัวอย่างขนาดเล็กกว่า 10 มม. และตัวอย่างหลังจากการบดแล้วมาวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน

### 3.2.2.2 การบดขั้นตอนที่ 2

- นำตัวอย่างที่ได้จากการบดขั้นตอนแรก มาทดสอบการบดด้วยเครื่องบดแบบไจราทอรี (Gyratory crusher) ซึ่งจะใช้ gape ขนาดต่างๆ คือ 5 มม., 4 มม., 3 มม. และขนาด 2 มม.
- นำตัวอย่างที่ผ่านการบดในขั้นแรกมาบดด้วยเครื่องไจราทอรี โดยการ ปรับขนาด gape 5 มม. จากนั้นนำถ่านหินที่บดแล้วไปคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด แยกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาด +35 เมช ขนาด -35+60 เมช และขนาดเล็กกว่า 60 เมช นำขนาด +35 เมช ไปบดในขั้นตอนต่อไป
- นำถ่านหินขนาด +35 เมช ไปบดด้วยเครื่องบดไจราทอรี โดยตั้ง gape 2.5 มม. จากนั้นก็นำไปคัดขนาดเป็น 3 ขนาด เช่นเดียวกับขั้นตอนข้างบน
- นำตัวอย่างที่ได้จากการบดทุกขั้นตอนไปวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน

## 3.3 การศึกษา Washability Characteristics of Coal ในประเทศไทย

### ขั้นตอนการทดลอง

- เตรียมตัวอย่างถ่านหินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย ออกเป็น 2 ชุด คือ ขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาด -4+10 เมช และ -10+35 เมช ตามลำดับ

- เตรียมสารละลายมัชฌิมหนัก (Heavy Media Solution) ซึ่งได้แก่ สารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride) ให้มีความถ่วงจำเพาะ 1.65 1.60 1.50 1.40 และ 1.35 ตามลำดับ

อนึ่ง หากความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของถ่านหินที่ต้องการแยก โดยอาศัยมัชฌิมหนัก ใกล้เคียงกันมากและกระจายอยู่ในช่วงแคบๆ จะทำการแบ่งย่อยความถ่วงจำเพาะของสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ ออกเป็น 1.65 1.60 1.55 1.50 1.45 1.40 และ 1.35 ตามลำดับ

- ตรวจสอบความถ่วงจำเพาะของสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ ก่อนทำการทดลองทุกครั้งด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

- ดวงสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.65 ในกระบอกตวงประมาณ 400 และ 350 มิลลิลิตร แล้วเทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร และกรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร ตามลำดับ

อนึ่ง ปริมาตรของสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก ขนาด และการกระจายความถ่วงจำเพาะของด้านหินที่ต้องการแยกเป็นหลัก

- นำถ่านหินขนาด -4+10 เมช และ -10+35 เมช น้ำหนักประมาณ 40 และ 35 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ และกรวยแยกตามลำดับ กวนช้าๆ ด้วยแท่งกวน (Stirring Rod) แล้วปล่อยให้ตกตัวตามธรรมชาติ จนสภาวะการตกตัวหยุดนิ่ง

- แยกส่วนที่จม (Sink Product) ออกจากสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ โดยวิธีการกรองด้วยเครื่องกรอง Aspirator ล้างสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ ที่ติดอยู่ที่ผิวของส่วนที่จมออก ด้วยน้ำสะอาด ส่วนสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ที่ได้จากการกรอง นำไปเก็บไว้ในขวดสำรองเพื่อรอการปรับความ ถ่วงจำเพาะ และนำกลับไปใช้ใหม่ต่อไป

- นำส่วนที่จมไปอบแห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวลงในเดสซิเคเตอร์ ชั่งและบันทึกน้ำหนักเป็น S-1.65

- แยกส่วนที่ลอย (Float Product) ออกจากสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ โดยวิธีการกรองด้วยเครื่องกรอง Aspirator ส่วนสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ที่ได้จากการกรอง นำไปเก็บไว้ในขวดสำรองเพื่อรอการปรับความถ่วงจำเพาะ และนำกลับไปใช้ใหม่ต่อไป

- นำส่วนที่ลอย (Float Product) ไปแยกด้วยสารละลายเกลือซิงค์คลอไรด์ ที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.60 1.50 1.40 และ 1.35 และทำซ้ำอีกครั้ง จากนั้นบันทึกน้ำหนักเป็น 1.60/1.65 1.50/1.60 1.40/1.50 1.35/1.40 และ F-1.35 ตามลำดับ

- หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเถ้า ด้วยการชั่งตัวอย่างส่วนที่ได้จากการแยก ในแต่ละช่วงความถ่วงจำเพาะ น้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในเบ้าทนไฟ จากนั้นนำไปใส่ในเตาเผาไฟฟ้า ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิจากห้องถึงอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมินั้นไว้ประมาณ 30 และ 15 นาที สำหรับตัวอย่างขนาด -4+10 เมช และ -10+35 ตามลำดับ ปล่อยให้เย็นตัวลงในเตาเผาไฟฟ้า และเดสซิเคเตอร์ชั่งน้ำหนักเถ้าส่วนที่เหลือ จากนั้นหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเถ้า ได้จากสมการ

$$\% \text{ เถ้า (โดยน้ำหนัก) } = \left( \frac{\text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักของส่วนที่แยกได้ทั้งหมด}} \right) \times 100$$

- บันทึกการกระจายเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของส่วนที่แยกได้ และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเถ้า ในแต่ละช่วงความถ่วงจำเพาะของสารละลายตัวกลางหนักที่ใช้ในการแยก ลงในตาราง

### 3.4 การวิจัยการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ

#### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ที่ใช้เป็นถ่านจากแหล่งบ้านปู จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นถ่านคุณภาพต่ำ ก่อนเข้าโรงล้างของเหมืองบ้านปู ตัวอย่างที่เก็บจากเหมือง จะมีลักษณะสีเทาดำ จากการสังเกตจะมีดินเคลือบปนอยู่มาก ซึ่งถ่านส่วนนี้เหมืองบ้านปู จะทำการล้าง แล้วส่งขายให้กับผู้รับซื้อโดยไม่มีกรรมวิธีการแต่งแบบอื่นเลย จากการหาค่าความด่างจำเพาะของถ่านพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.0-1.4 ขณะที่มลทินอื่นๆ ที่ปนอยู่มีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป

#### การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่เก็บมานั้น จะเก็บไว้ในกระสอบ ซึ่งบรรจุกระสอบละ 50 กิโลกรัมจากตัวอย่างนี้พบว่า มีทั้งส่วนที่เป็นก้อนโตและขนาดละเอียดปนอยู่ จึงต้องมีการบดเพื่อลดขนาดเพื่อใช้ในการแต่ง การบดจะใช้เครื่องบดแบบหยาบ (Jaw Crusher) และการบดละเอียด (Gyratory Crusher) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) บดถ่านด้วยเครื่องบดแบบจอร์ว ปากเปิด 1 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์ขนาดที่ขนาด -4 +8, -8 +18, -18 +35 และ -35 +60 เมช โดยปรับปากให้ได้ค่าที่ต้องการ และหาอัตราการบดด้วย

2) ตะแกรงคัดขนาดของถ่านหิน ตามขนาดที่แบ่ง

#### 3.4.2 การล้างถ่านหินก่อนนำไปแต่ง

เนื่องจากถ่านหินที่เตรียมทั้ง 4 ขนาด ดังกล่าว จะมีพวกดินละเอียดปนอยู่มาก ดังนั้น ก่อนที่จะนำไปแต่งก็จะต้องทำการกำจัดฝุ่น (Deslime) ออกให้หมดเสียก่อน

สำหรับการล้างตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้ว จะใช้ตะแกรงหมุนโดยใส่ตัวอย่างถ่านหินในตะแกรงหมุน แล้วใช้น้ำฉีดล้าง

จากการชั่งตัวอย่าง ถ่านหินก่อนล้าง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นที่ปนในแต่ละขนาด พบว่ามีฝุ่นอยู่ในปริมาณมาก จากการหาปริมาณฝุ่นพบว่า

ขนาด -4 +8 เมช	ที่ฝุ่นปนอยู่	71.1 %	โดยน้ำหนัก
ขนาด -8 +18 เมช	ที่ฝุ่นปนอยู่	79.1 %	
ขนาด -18 +35 เมช	ที่ฝุ่นปนอยู่	53.3 %	
ขนาด -35 +60 เมช	ที่ฝุ่นปนอยู่	25.4 %	

จะเห็นได้ว่าในปริมาณฝุ่นของถ่านลิกไนต์ขนาดโตนั้น ดินเคลือบจะยังเป็นก้อนโตอยู่ และเป็นตัวอย่างที่ทำการบดเพียงครั้งเดียว ในขณะที่ขนาดละเอียดนั้นผ่านการบดหลายครั้ง และดินเคลือบนั้นสามารถที่จะถูกบดให้ละเอียดได้ง่ายกว่าถ่านลิกไนต์ และมักจะแตกละเอียดจนเป็นฝุ่นเลย

ซึ่งขนาดจะเล็กกว่า 60 เมช เมื่อร่อนจึงลอดผ่านตะแกรงไปได้มาก ในตัวอย่างที่เตรียมไว้ดังนั้นขนาดละเอียดจึงมีฝุ่นน้อยกว่า

สำหรับการเตรียมตัวอย่างสำหรับการแต่งด้วยจึกนั้น มีการเตรียมถ่านลิกไนต์เป็นพิเศษอีก 2 ส่วน คือ

1) ถ่านหินที่ใช้สำหรับทดสอบซ้ำ เพื่อยืนยันกระบวนการแต่งถ่านลิกไนต์ที่ดีที่สุด ถ่านลิกไนต์ที่ใช้เป็นถ่านลิกไนต์คุณภาพพอใช้จากเหมืองบ้านปู

2) ถ่านลิกไนต์สำหรับทำเป็นลูกจึก ใช้ถ่านจากบางปูคำ เหมืองลิกไนต์กระบี่ ซึ่งเป็นถ่านคุณภาพต่ำ โดยการเจียรละเอียดด้วยเครื่องเจียร ให้เป็นรูปทรงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ลูกจึกที่ใช้นี้มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ประมาณ 1.3 ตามตารางที่ 3.1

### ตารางที่ 3.1 แสดงผลวิเคราะห์คุณภาพถ่านเบื้องต้นจากแหล่งบ้านปู

moisture	9.63 %
ash	35.42 %

#### Ultimate analysis

Hydrogen	4.16 %
Nitrogen	0.41 %
Sulphur	1.20 %
Carbon	58.55 %
Heating value*	1803.9 kcal/kg.
Specific grav.	1.0-1.4

**หมายเหตุ** ตารางที่ 3.1 เป็นผลวิเคราะห์โดยประมาณ โดยเครื่อง PE 2400 series II analyser ของ Perkin-elmer

\* วิเคราะห์โดยเครื่อง Automatic Calorimeter ของ LECO รุ่น AC-300

#### 3.4.3 การวิจัยการแต่งถ่านหินโดยใช้โต๊ะสั่น

ในขั้นตอนการออกแบบการแต่งเบื้องต้นโดยใช้โต๊ะสั่นนี้จะใช้ขนาดของแร่ป้อนเป็นสองขนาด คือ ขนาด -18+35 เมช กับขนาด -35+50 เมช โดยใช้โต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการแบบ Willey Table ในการแต่งตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ เพื่อหาสภาวะที่เกิดการแยกที่ดีที่สุด และโต๊ะขนาดโรงประลองในการแต่งตามสภาวะที่ได้จากการทดลองแต่งด้วยโต๊ะขนาดห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลการแต่งในการนำไปใช้ในการแต่งในอุตสาหกรรมจริง ๆ

• เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำการทดลองแปรตัวแปรต่างๆที่อาจมีอิทธิพลต่อการแยกถ่านหินลิกไนต์ โดยใช้โต๊ะสั่น (Shaking Table) ซึ่งในการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ มีตัวแปร 2 ตัว ที่มีข้อจำกัดในการแปรค่า ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ คือ ความยาวช่วงชักใช้ค่า 1.2 ซม. และความเร็วรอบที่ 220 รอบ/นาที แล้วไปพิจารณาแปรตัวแปรที่ยังเหลืออยู่ คือ

1. ความลาดเอียงของโต๊ะ (slope)
2. ความหนาแน่นของของผสม (% Solids)
3. อัตราการป้อน (feed rate)

จากการปรับดูสภาวะของการเอียงของโต๊ะสั่น พบว่าปรับความเอียงต่ำสุดได้ประมาณ 2 องศา ในแนวขวางและ 1 องศาในแนวตามยาว ดังนั้นจึงทำการปรับเฉพาะความเอียงในแนวขวาง เพราะความเอียงในแนวยาวขึ้นกับความเอียงในแนวขวาง โดยจะทำการปรับเพียง 2 ค่า คือ 1 องศา กับ 2 องศา ซึ่งเป็นความเอียงต่ำที่สุด ที่สามารถทำการปรับได้

#### 8.4.3.1 วิธีการทดลอง

##### 1) ขนาด -18 +35 เมช

- ทำการปรับความลาดเอียงไว้ที่ค่าต่ำสุด คือ ที่ 2 องศา ความยาวช่วงชักที่ 1.2 ซม. ความเร็วรอบ 220 รอบ/นาที ที่ป้อนแร่ลงบนโต๊ะเรื่อยๆ ปรับเปิดวาล์วน้ำล้าง (Wash water) ดูสภาพที่ทำให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด บันทึกค่าต่างๆ ไว้ทุกค่า เพื่อทำการทดลองต่อไป

- ทำการปรับสภาพโต๊ะตามสภาวะต่างๆ ตามข้อ 1.1 ชั่งแร่มาหนัก 500 กรัม แล้วทำการปรับให้มีความหนาแน่นของของผสมเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ทำการป้อนแร่ลงบนโต๊ะสั่นให้หมดภายในเวลา 30 วินาที จากนั้นทำการเก็บส่วนที่เป็นหัวแร่ (Concentrate) แร่ละ (Middling) แร่หางแร่ (Tailing) ให้นำไปอบให้แห้ง แล้วนำไปทำการวิเคราะห์เบื้องต้น

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 1.2 แต่เปลี่ยนอัตราการป้อนแร่ลงบนโต๊ะ ให้หมดภายในเวลา 45 วินาที, 60 วินาที, 75 วินาที, 90 วินาที แต่ละรอบตามลำดับ

- ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างบน แต่เปลี่ยนความหนาแน่นของของผสมเป็น 40 % ของแข็ง แล้วนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ ค่าเปอร์เซ็นต์ชี้ได้ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับที่ 25 % ของแข็งแล้วสรุปผลออกมา

- ทำการทดลองตามขั้นตอนข้างบน แต่ปรับเปลี่ยนความลาดเอียงของโต๊ะในแนวขวางที่เป็น 1 องศา นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบ สรุปผล

##### 2) ขนาด -35 +60 เมช

ทำการทดลองเช่นเดียวกับขนาด -13 +35 เมช ตามลำดับก่อนหลังจากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาทำการพิจารณาเปรียบเทียบสรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะและเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำการแยกแร่ถ่านลิกไนต์โดยใช้โต๊ะสั่น



### 3.4.4 ขั้นตอนการวิจัย การแต่งถ่านหินโดยใช้จิ๊ก

ในการวิจัยการแต่งถ่านหินขนาดเล็กโดยใช้จิ๊กนี้ เราทดลองหากระบวนการแต่งถ่านหินที่ให้ผลดีที่สุด คือ สามารถเพิ่มค่าความร้อนของถ่านได้มากที่สุด ลดแฉะลงมากที่สุด ในขณะที่ให้ Recovery สูงสุดด้วย โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่มีผลต่อการแต่งถ่านหินลิกไนต์ด้วยจิ๊ก โดยพิจารณาตัวแปร 2 ตัวแปร คือ

- ความยาวช่วงชัก (Stroke Length)

- ความสูงของ Weir

และกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ ดังนี้

- อัตราการป้อนตัวอย่างถ่านหิน (Rate of Feed)

- ขนาด -4 +8 เมช(9.4 kg/h)

- ขนาด -8 + 18 เมช(11.2 kg/h)

- อัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate)

- ขนาด -4 +8 เมช 5.39 l/s.

- ขนาด -8 + 18 เมช 5.39 l/s.

- ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง

- ขนาด -4 +8 เมช 210 s.

- ขนาด -8 + 18 เมช 240 s.

### สรุปสถานะในการทดลอง

การทดลอง	ความสูงของเวียร์ (นิ้ว)	ความยาวของช่วงชัก (นิ้ว)
1	2	3/8
2	2 1/4	3/8
3	2 1/2	3/8
4	2	1/2
5	2 1/4	1/2
6	2 1/2	1/2

### 3.5 การวิจัยการแต่งถ่านหินด้วยวิธีการลอยถ่านหิน

#### 3.5.1 เทคโนโลยีการลอยถ่านหิน

การแต่งถ่านหินโดยวิธีการลอยถ่านหินด้วยเครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ยังเป็นสิ่งใหม่สำหรับประเทศไทยและเอกสารต่างๆยังไม่แพร่หลายหรือเกือบไม่มีเลยในประเทศไทย ดังนั้นความรู้และผลงานต่างๆ จึงได้มาจากเอกสารและตำราของต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

J.Rubio และ C. Hoffman Sampaio<sup>15)</sup> ได้ทำการทดลองแต่งถ่านหินขนาด -28 mesh จาก Candiota, South Brazil โดยใช้เครื่องลอยแร่แบบ Denver D-12 ขนาด 4,000 ml. ซึ่งใช้ Diesel oil, kerosene และ Walker 405-Century flotation เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่ ส่วนน้ำยาเคลือบฟองใช้น้ำมันสน และ Methyl-Isobutyl-Carbinol (MIBC) โดยไม่ได้ใช้ตัวกด ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าปริมาณถ่านหินที่ลอยขึ้นมาน้อยและค่า % Ash ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง ต่อมาก็ได้ทำ Agglomeration flotation ก็ได้ผลที่ไม่ต่างกัน หลังจากนั้นก็ได้ทำการทดลองแต่งถ่านหินโดยการใช้ไฮโครโซโคลน RWS 1522 (75 มิลลิเมตร) ซึ่งก็ยังไม่ได้ผลในการที่จะแยกมลทินออกจากถ่านหินลิกไนต์ เนื่องจากมลทินของถ่านหินที่ใช้ในการทดลอง เป็นพวกหินดินดานชนิด carbonaceous ซึ่งมลทินชนิดนี้มี คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของผิวแร่ใกล้เคียงกับถ่านหินมาก

G.H.Luttrell และคณะ<sup>16)</sup> ได้ทำการทดลองแต่งถ่านหินขนาดประมาณ 5 ไมครอน ซึ่งเป็นถ่านหินจากหน้าเหมือง Eikhorn 3 seam, Kentucky ซึ่งมีค่า % Ash และ % Sulfur เป็น 9.1 % และ 0.81 % โดยใช้เครื่องลอยแร่แบบ Microbubble Flotation Column ซึ่งสามารถทำฟองอากาศได้ขนาด 70-250 ไมครอน และน้ำยาเคลือบผิวแร่ที่ใช้คือ kerosene ปริมาณ 1.5 กิโลกรัม/ตัน โดยทำการป้อนถ่านหินในสภาพของผสม ซึ่งผ่านการบดด้วยเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์โดยตรง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการปรับตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อัตราของน้ำล้าง, อัตราการไหลของฟองอากาศ, อัตราการป้อน และอัตราการส่วนของความยาวคอเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ ผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่า % Ash ลดลงเหลือประมาณ 2-3 % โดยสามารถลอยถ่านหินขึ้นมาได้ประมาณ 90 % โดยน้ำหนัก

S.K. Kawatr และ T.C. Eisele<sup>17)</sup> ได้ทำการทดลองแต่งถ่านหินจาก Ohio : The Pittsburgh (No.8 seam), The Middle Kittaning (No.6 seam) and The Meigs Creek (No.9 seam) โดยใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ขนาดห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ซึ่งได้ทำการทดลองโดยป้อนถ่านหิน 90 % passing 100 เมช ในอัตรา 200 กรัม/นาที ใช้เวลาในการลอย 20 นาที แล้วนำส่วนที่ลอยขึ้นมาไปบดโดยเครื่องบดแบบรอกมิลล์ ให้ได้ขนาด 90 % passing 400 เมช แล้วป้อนถ่านหินส่วนที่ลอยเข้าสู่เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง โดยใช้น้ำยาต่างๆ ในการลอยครั้งแรกดังนี้ 1.00 ปอนด์ PPG/ตัน, 0.40 ปอนด์ #2 fuel oil/ตัน และครั้งที่สองดังนี้ 1.00 ปอนด์ PPG/ตัน 0.10 ปอนด์ #2 fuel oil/ตัน ซึ่งผลปรากฏว่าสำหรับ Pittsburgh seam, % Ash ลดลงจาก 29.1 % เหลือ 3.6 % และ % S ลดลงจาก 4.3 % เหลือ 2.7 %, Middle Kittaning Seam % Ash ลดลงจาก

7.9 % เหลือ 2.7 % และ % S ลดลงจาก 2.2 % เหลือ 1.5 % และ Meigs Creek Seam % Ash ลดลงจาก 18.0 % เหลือ 4.9 % และ % S ลดลงจาก 4.8 % เหลือ 3.7 %

P.S.R. Reddy และคณะ<sup>18)</sup> ได้ทำการทดลองลอยถ่านหินโดยใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ กัน คือ 0.056, 0.080, 0.100 และ 0.220 เมตร โดยใช้น้ำยาเคลือบฟองคือ น้ำมันสน และ methyl isobutyl carbinol (MIBC) ซึ่งได้ทำการปรับตัวแปรต่างๆ ดังนี้คือ อัตราการป้อน, อัตราการใช้ น้ำล้าง, อัตราของฟองอากาศ แลปริมาณของน้ำยาเคลือบฟอง โดยใช้ kerosene เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่

B.K. Parekh และคณะ<sup>19)</sup> ได้ทำการทดลองแต่งถ่านหินขนาด -100 เมช โดยใช้เครื่องลอยแร่แบบคอลัมน์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 26 ฟุต ได้ใช้น้ำยาสารเคมีต่างๆ ดังนี้ น้ำยาเคลือบฟองใช้ MIBC และน้ำยาเคลือบผิวแร่ใช้ Fuel oil ซึ่งได้ทำปรับตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อัตราของน้ำล้าง, froth depth., froth drainage zone, residence time และอัตราการไหลของฟองอากาศ ซึ่งผลปรากฏว่า % Ash ลดลงจาก 30-50 % เหลือ 5-10 % และได้ถ่านหินส่วนที่ลอยขึ้นมาประมาณ 80-95 % โดยน้ำหนัก

M. Misra และ R. Harris<sup>20)</sup> ได้ทำการทดลองลอยถ่านหินขนาด -200 เมช ซึ่งมี % Ash ประมาณ 60 % โดยใช้ kerosene เป็นน้ำยาเคลือบผิวแร่, ใช้ MIBC เป็นน้ำยาเคลือบฟอง ส่วนตัวกักก็ใช้โซเดียมซัลเฟต และ M606 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ทำการปรับตัวแปรดังนี้ อัตราการไหลของฟองอากาศ, อัตราการเติมสารเคลือบฟองอากาศ, ขนาดของอนุภาค, อัตราการเติมสารกัก และความหนาแน่นของของผสม

### 3.5.2 ตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ทดลอง

เป็นถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งเป็นถ่านเกรด B ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

% C	% H	% N	% S
40.29	3.81	1.18	5.29

การเตรียมตัวอย่าง โดยการบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์และเครื่องบดแบบโจราทอรี จนได้ถ่านตัวอย่างขนาด -65 เมช และก่อนนำตัวอย่างไปทำการลอยแร่ ได้นำตัวอย่างถ่านไปผ่านโตะสั่น โดยปรับให้โตะสั่นเอียง 20 องศา, อัตราในการสั่น 216 รอบต่อนาที และ STROKE LENGTH 1 เซนติเมตร พบว่าสามารถลด % Ash จากเดิม 43.48 เหลือ 34.28 % และเมื่อนำถ่านหินที่ผ่านการแต่งด้วยโตะสั่นแล้วไปวัดค่าความร้อนได้ 2706.7 Kcal/kg ซึ่งจากเดิมวัดค่าความร้อนได้เพียง 2293.6 Kcal/kg

ตารางที่ 3.2 ผลการทำ SIZE ANALYSIS ตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ก่อนนำไปทำการลอยแร่มีผลดังนี้

SIZE	% WEIGHT	% ASH	% INORGANIC SULPHUR	CALORIFIC VALUE (cal/g)
-65 +100	43.37	30.21	5.18	3106.4
-100 +150	16.34	36.69	4.86	2518.07
-150 +200	14.20	41.17	5.30	2386.1
-200	24.09	45.99	4.96	2215.7

### 3.5.3 ขั้นตอนการทดลองในการลอยถ่านหินลิกไนต์

ในการทดลองลอยถ่านหินลิกไนต์ด้วยเครื่องลอยแร่แบบ DENVER LABORATORY FLOTATION MACHINE จะทำการปรับตัวแปรและสภาวะต่างๆ เริ่มต้นโดยเลือกค่าตามข้อมูลค่าที่ได้ศึกษากันความา และแต่ละการทดลองจะแปรเปลี่ยนค่าตัวแปรตามที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีขั้นตอนการทดลอง คือ

1. นำตัวอย่างถ่านหินลิกไนต์ไปอบไล่ความชื้นที่ผิวอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง
2. ฉีดสเปรย์ FUEL OIL ลงบนผิวถ่านหิน
3. เตรียมสภาวะในการลอยแร่ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง
4. นำผลผลิตที่ได้ทั้งสองส่วนไปล้างน้ำมันออก และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
5. นำไปชั่งน้ำหนัก
6. นำไปวิเคราะห์หา % ASH และหาค่าความร้อน

การทดลองที่ 1 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 7 เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 7
- ความเร็วใบพัด 1200 รอบ/นาที

- ความหนาแน่นของของผสม 15 % solids
- conditioning time 15 นาที
- เวลาที่ใช้ในการลอย 15 นาที

การทดลองที่ 2 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 8  
เงื่อนไขคงที่

- ที่ pH 8
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวเป็น 2, 4, 6, 8, 10 กิโลกรัม/ตัน

การทดลองที่ 3 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 9  
เงื่อนไขคงที่

- ที่ pH 9
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวเป็น 2, 4, 6, 8, 10 กิโลกรัม/ตัน

การทดลองที่ 4 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 10  
เงื่อนไขคงที่

- ที่ pH 10
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวเป็น 2, 4, 6, 8, 10 กิโลกรัม/ตัน

การทดลองที่ 5 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH 11  
เงื่อนไขคงที่

- ที่ pH 11
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวเป็น 2, 4, 6, 8, 10 กิโลกรัม/ตัน

จากการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบผิวในปริมาณ 8 กิโลกรัมต่อตัน จะทำให้ได้ % Yield สูงที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ค่าความเป็นกรด - เบส จะพบว่า เมื่อทำการทดลองลอยที่ pH 9 จะทำให้สามารถลด % Ash ในส่วนลอยได้มากที่สุด ดังนั้นการทดลองต่อไปจะใช้ปริมาณสารเคลือบผิวในอัตรา 8 กิโลกรัม/ตัน และปรับสภาวะความเป็นกรด - ด่างให้อยู่ในช่วง pH 9

การทดลองที่ 6 โดยการแปรค่าปริมาณสารเคลือบฟอง  
เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน
- ที่ pH 9

- ความเร็วใบพัด 1200 รอบ/นาที
- ความหนาแน่นของของผสม 15 % solids
- conditioning time 15 นาที
- เวลาที่ใช้ในการลอย 15 นาที

แปรค่าปริมาณสารเคลือบฟองเป็น 50, 100, 150 , 200 กรัม/ตัน

การทดลองที่ 7 โดยการแปรค่าความเร็วใบพัด  
เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน
- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 9
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าความเร็วใบพัดเป็น 800, 900, 1000 , 1100, 1200 รอบ/นาที

การทดลองที่ 8 โดยการแปรค่าความเร็วใบพัด เมื่อลดปริมาณสารเคลือบผิวลง  
เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบผิว 2 กิโลกรัม/ตัน
- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 9
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าความเร็วใบพัดเป็น 800, 900 รอบ/นาที

การทดลองที่ 9 โดยการแปรค่า % solids  
เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน
- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 9
- ความเร็วใบพัด 1000 รอบ/นาที
- เงื่อนไขอื่นๆ เหมือนกับการทดลองที่ 1

แปรค่าความหนาแน่นของของผสมเป็น 15, 20, 25 , 30 solids

การทดลองที่ 10 โดยการแปรค่าของ conditioning time  
เงื่อนไขคงที่

- ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน
- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 9

- ความเร็วใบพัด 1000 รอบ/นาที
- ความหนาแน่นของของผสม 15 % solids
- เวลาในการลอย 15 นาที

แปรค่าของ conditioning time เป็น 5, 10, 15 นาที

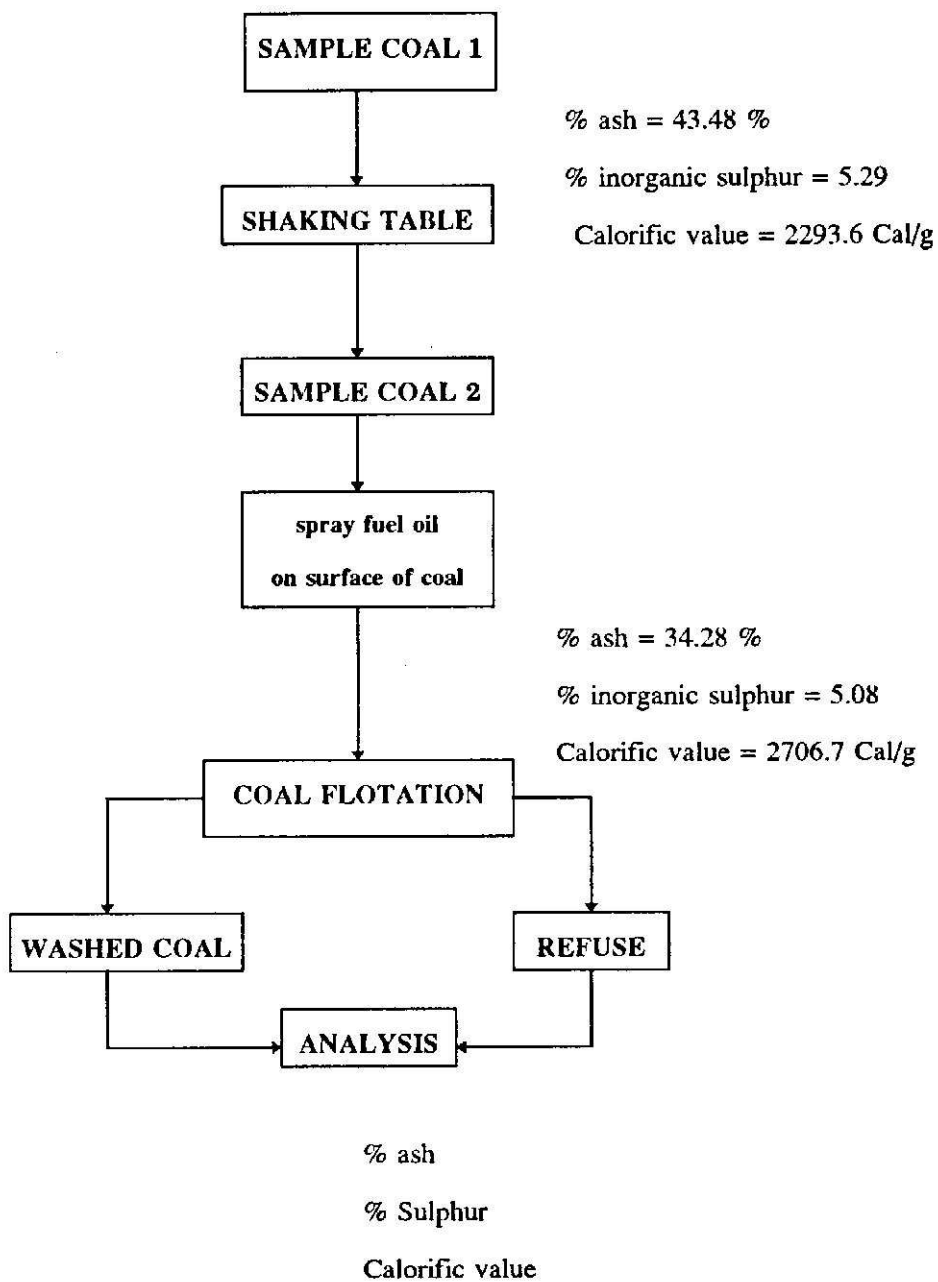
การทดลองที่ 11 เป็นการทดลองการลอยซ้ำ

โดยนำส่วนที่ได้จากการลอยเมื่อใช้สภาวะดังนี้

ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน, ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน, ที่ pH 9, ความเร็วใบพัด 1000 รอบ/นาที, 15 % solids, conditioning time 15 นาที, เวลาในการลอย 15 นาที หลายๆ ครั้ง มาทำการลอยซ้ำที่สภาวะใหม่ดังนี้

- ปริมาณสารเคลือบผิว 8 กิโลกรัม/ตัน
- ปริมาณสารเคลือบฟอง 150 กรัม/ตัน
- ที่ pH 9
- ความเร็วใบพัด 900 รอบ/นาที
- ความหนาแน่นของของผสม 15 % solids
- conditioning time 5 นาที
- เวลาในการลอย 15 นาที

การทดลองที่ 12 เป็นการนำผลไปวิเคราะห์หา % inorganic sulphur ของตัวอย่างที่น่าสนใจ (มี % Ash คำนวณความร้อนของถ่านสูง)



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนต่างๆ ในการทดลอง



### 3.6 การวิจัยแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation

#### 3.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

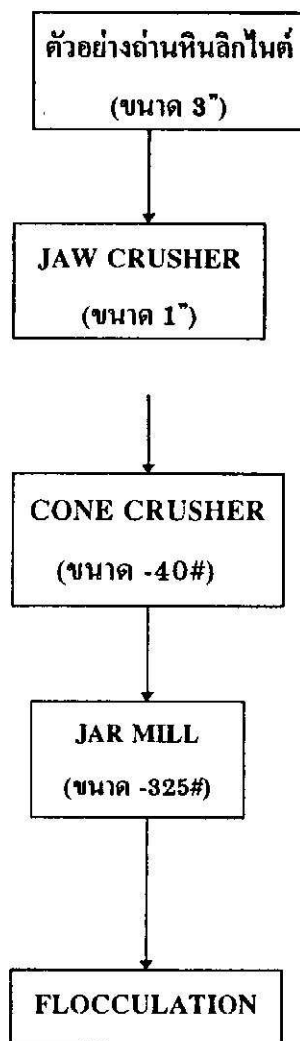
การวิจัยนี้จะใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองบ้านปู เป็นหลักในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม และใช้ถ่านหินลิกไนต์จากบ่อบางปูดำ กระบี่, เหมืองแม่เมาะ ลำปาง มาทดสอบดูว่าเงื่อนไขต่างๆ ที่เกิดจากการทดลองถ่านหินลิกไนต์เหมืองบ้านปู จะนำมาใช้กับถ่านหินลิกไนต์เหล่านี้ได้หรือไม่

การเตรียมตัวอย่าง เริ่มจากนำถ่านหินลิกไนต์ ขนาดประมาณ 3 นิ้ว ปริมาณ 50 kg มาบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์ เหลือขนาด 1 นิ้ว ไปบดด้วย cone crusher ค้อนจนเหลือขนาด 40 เมช แล้วนำไปบดต่อด้วย jar mill จนได้ขนาด -325 เมช (-45 ไมครอน) และนำตัวอย่างไปทดลอง ซึ่งแผนผังการเตรียมตัวอย่างตามรูปที่ 3.3

#### 3.6.2 การเก็บตัวอย่างและชั่งตัวอย่าง เพื่อทดลองและวิเคราะห์หาค่าความร้อน และค่าเปอร์เซ็นต์ซีดี

เมื่อได้ตัวอย่างขนาด -45 ไมครอน ก็จะนำมาคลุกเคล้ากันในถุงพลาสติก และชั่งตัวอย่างได้โดยวิธี Cone and Quartering ให้ได้ตัวอย่างประมาณ 1000 กรัม เก็บไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น และชั่งตัวอย่างแบบ Grab Sampling เพื่อวิเคราะห์หาค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์ซีดี ประมาณอย่างละ 5 กรัม

ซึ่งผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อน และเปอร์เซ็นต์ซีดีทั้ง 4 แหล่งดังแสดงในตารางที่ 3.3



แผนผังการเตรียมตัวอย่าง

รูปที่ 3.3 แผนผังการเตรียมตัวอย่าง

### ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการก่อตัว

ตัวอย่าง (แหล่ง)	ASH %	HEAT VALUE (CAL/G)	pH (ถ่านหิน+น้ำ)
บ้านปู	23.24	3,792.94	4.50
บางปูดำ	49.91	2,288.62	5.50
แม่เมาะ (High Sulfur)	41.74	2,692.94	2.55
แม่เมาะ (Clay rich)	40.42	2,756.73	4.95

#### 3.6.3 สารเคมีที่ใช้

1. สารก่อตะกอน (Flocculant) ชนิด F-1029J, น้ำแป้ง polyethylene oxide (PEL)
2. สารช่วยกระจายตัว (Dispersant) -Sodium Hexametaphosphate (NHP), -Demol N
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

#### 3.6.4 การทดลอง ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ใช้ถ่านหิน และเติมน้ำในบีกเกอร์ให้ได้ (% Solid ที่ต้องการ)
2. เติมสารช่วยกระจายตัวและกวน  
โดยกวนประมาณ 3 นาที ด้วยความเร็วรอบสูงประมาณ 1200 rpm
3. ปรับ pH (dosage of pH)
4. เติมสารก่อตะกอน (dosage of flocculant) และกวนด้วยความเร็วรอบสูง 1200 rpm 3 นาที และตามด้วยความเร็วรอบต่ำ ประมาณ 300 rpm 1 นาที
5. ตั้งทิ้งให้ก่อตะกอน ประมาณ 10 นาที
6. รินน้ำทิ้งโดยรินให้น้ำออกจนเหลือเฉพาะเนื้อถ่านหิน ทิ้งโดยการริน

### 3.6.5 ตัวแปรในการทดลอง

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำการทดลอง แปรตัวแปรต่างๆ ที่อาจมีอิทธิพลต่อการก่อดัว ซึ่งในการวิจัยนี้ต้องการแปร เพียง 4 ค่า

#### 1. ผลของปริมาณสารก่อดัวก่อน (Dosage of flocculant)

- เตรียมถ่านหินลิกไนต์ (-45 ไมครอน) ที่ 5% Solid จำนวน 300 ml. ใส่ในบีกเกอร์ 400 ml. หรือ 600 ml.

- เติม NHP 2 % กวนด้วยความเร็วสูง ประมาณ 2-3 นาที (คว่าเกิดการรวมเป็นเนื้อเดียวหรือยัง)

- ปรับ pH ให้ได้ประมาณ 7 โดยเติม NaOH หรือ HCl เติม Flocc (F-1029 J) ปริมาณตามที่ต้องการ กวนด้วยความเร็วสูง ประมาณ 3 นาที แล้วตามด้วยความเร็วต่ำ 1 นาที รินน้ำออก

- นำไปอบที่อุณหภูมิ (70-80 องศาเซลเซียส) จนน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งหาน้ำหนักที่เหลือ

ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม หา % ASH

#### 2. ผลของ % Solid ที่มีต่อการก่อดัว

- ใช้ปริมาณสารก่อดัวที่เหมาะสมซึ่งหาได้ในข้อ 1

- เปลี่ยนค่า % Solid ตามที่ต้องการ (เช่น 2, 3, 4, 5, 6) ทำการทดลองเหมือนข้อ 1

#### 3. ผลของปริมาณ pH ที่มีต่อการก่อดัว

- ใช้ปริมาณสารก่อดัวและ % Solid ที่เหมาะสม ซึ่งหาได้ในข้อ 2

- เปลี่ยนค่าปริมาณ pH (6, 7, 8, 9, 10, 11)

#### 4. ผลของ NHP ที่มีต่อการ Flocculation

- ใช้ปริมาณสารก่อดัว % Solid และ pH ที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากข้อ 3

- ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 หากค่าเปลี่ยนค่าปริมาณ NHP (0.5 %, 1 %, 2 %, 5 %)

- ชั่งตัวอย่างหลังจาก Flocculation หากค่าความร้อนประมาณ 1 กรัม

5. ใช้เงื่อนไขที่ได้จากข้อ 1-4 ซึ่งคิดว่าเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด นำมาใช้กับถ่านหินแหล่งอื่นดูว่าได้ผลหรือไม่

6. ศึกษาทดลองเพิ่มเติม เพื่อเปลี่ยนชนิดของสารก่อดัว และสารช่วยกระจายตัว

# บทที่ 4

## ผลการวิจัยและการวิจารณ์

### 4.1 ผลการวิจัยสมบัติต่างๆ ของถ่านหิน

#### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถ่านหิน

ผลการวิเคราะห์แบบ Proximate ผลการวิเคราะห์แบบ Ultimate ค่า HGI ค่าความแข็งของถ่านหิน และค่าความร้อนของถ่านหินแหล่งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

จากผลวิเคราะห์ที่แสดงดังตารางที่ 4.1 สรุปลำดับคุณภาพถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM-D388 ดังนี้

- Lignite B ได้แก่ ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (high-S), บ้านนาทราย และแม่เมาะ (A-seam)
- Lignite A ได้แก่ ถ่านหินจากแหล่งบ้านปู (คุณภาพต่ำ), บ้านปู (คุณภาพพอใช้) แหล่งกันตัง และบางปูดำ
- Subbituminous (coal) ได้แก่ ถ่านหิน จากแหล่งบ้านปู (high-S) บางปูดำ (ปานกลาง) บางหมาก แม่ลาย และแม่เมาะ (C-seam)
- Subbituminous B coal ได้แก่ แหล่งนาฮ่อง บ้านบอม (lower seam) และห้วยเล็ก
- Subbituminous A coal ได้แก่ ถ่านหินจากแหล่งบ้านโฮ้ง
- High volatile C bituminous coal ได้แก่ ถ่านหินจากแหล่งบ้านปู (ลิ)

#### 4.1.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI และค่าต่างๆ

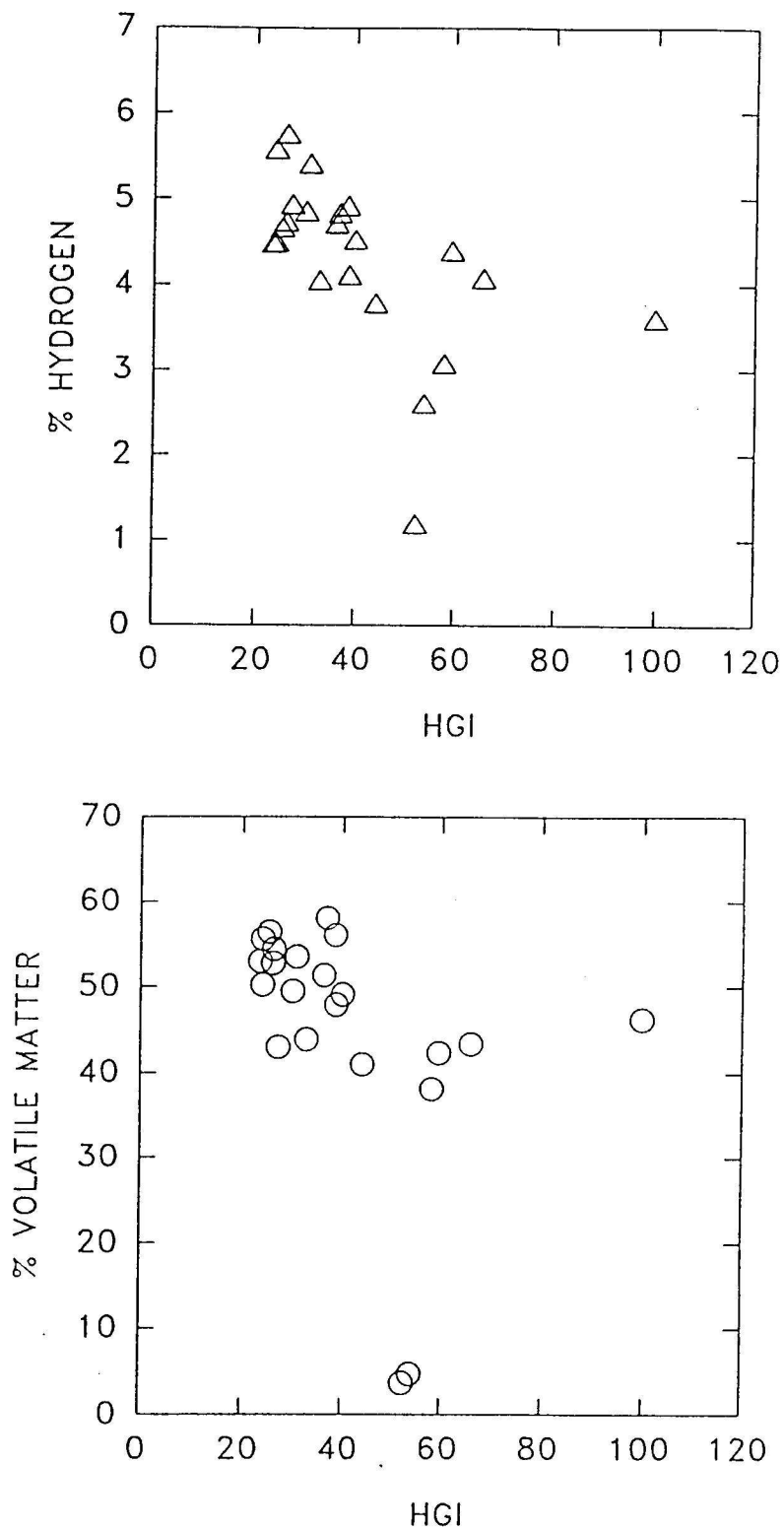
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI และค่าต่างๆ ในตารางที่ 4.1 และจากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับปริมาณไฮโดรเจนและสารระเหย พบว่าค่า HGI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไฮโดรเจนและสารระเหยต่ำลง อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับปริมาณคาร์บอน และคาร์บอนคงที่ไม่ชัดเจน (ซึ่งต้องการตัวอย่างทดสอบที่มากขึ้น) แต่จากรายงานผลวิจัยของผู้วิจัยเอง<sup>21)</sup> ที่ทดสอบกับถ่านหินต่างประเทศจากหลายแหล่งพบว่าค่า HGI เพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนหรือคาร์บอนคงที่ และตามปริมาณไฮโดรเจนหรือสารระเหยที่ต่ำลง ดังนั้นอาจสรุปว่าค่า HGI มีแนวโน้มขึ้นอยู่กับลำดับชั้นการกลายเป็นถ่านหิน (Coalification rank) ซึ่งดูได้จากค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงและสารระเหยต่ำหรือค่าคาร์บอนสูงและไฮโดรเจนต่ำ

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Ultimate analysis, Proximate analysis

ค่า HGI ค่าความแข็งและค่าความร้อน

ชื่อตัวอย่าง	% C	% H	% N	% S	% Moisture	% Ash	% volatile matter	% Fixed carbon	Calorific value (BTU/lb)	HGI	VHN
บ้านปู (คุณภาพพอใช้)	61.04	4.74	0.34	0.87	11.72	3.24	46.43	38.26	6688.0	26.0	18.7
บ้านปู (High-S)	58.87	4.50	0.24	0.42	12.78	3.30	44.92	41.14	7927.5	24.0	16.7
บ้านปู (ดี)	62.73	4.84	0.42	1.20	27.14	2.44	42.33	28.09	13751.0	36.8	10.2
กันดัง(หน้าเหมือง)	32.51	3.08	0.76	4.67	12.59	30.68	34.53	25.43	3910.0	58.0	17.3
กันดัง(หลังเลือก)	48.10	3.79	1.55	6.28	12.28	16.10	36.65	36.58	5108.0	44.2	16.4
บางปูดำ N-8-9	49.70	4.06	1.86	4.70	19.81	12.23	34.78	32.11	6945.5	32.8	16.4
บางปูดำ (ปานกลาง)	49.43	4.12	1.21	4.23	17.29	10.45	39.57	32.53	7869.0	38.8	18.0
บางหมาก	56.62	4.49	1.37	2.73	17.23	4.42	42.11	32.91	8940.5	23.5	18.8
บางหมาก (ก้อน)	54.55	4.86	1.36	3.67	20.56	7.40	39.35	32.69	9605.5	30.0	15.8
บ้านนาทราย	41.62	4.08	1.15	2.33	10.63	24.74	39.42	26.64	4915.5	65.8	11.2
นาสอง K-seam	65.53	5.41	1.25	0.74	10.98	3.66	46.06	36.30	9647.5	30.8	25.8

ชื่อตัวอย่าง	% C	% H	% N	% S	% Moisture	% Ash	% volatile matter	% Fixed carbon	Calorific value (BTU/lb)	HGI	VHN
นาซ่อง P-seam	64.54	4.94	0.46	1.43	10.72	10.60	38.42	40.26	10004.5	27.2	16.5
บ้านโธ้ง	62.91	5.58	0.42	0.27	14.61	2.20	47.50	35.69	10882.0	24.0	16.9
ป่าคา	62.91	4.67	1.17	0.31	13.75	2.67	48.64	34.94	10690.0	25.2	21.1
แม่ลาย	56.70	4.72	0.98	3.14	12.36	6.10	45.03	36.51	9160.0	36.2	10.2
แม่ทาน(Lower seam)	65.23	5.76	0.78	0.38	13.89	2.25	45.86	37.00	10324.0	26.2	12.1
ห้วยเล็ก	57.12	4.92	1.73	1.71	16.22	6.02	46.95	30.81	9815.5	38.5	13.9
แม่เมาะ A-seam	49.59	4.40	1.59	2.89	13.59	13.39	36.87	36.78	5159.5	59.5	14.7
แม่เมาะ (High-S)	31.22	3.61	0.75	7.74	16.14	25.43	40.53	21.54	4486.5	99.8	-
แม่เมาะ C-seam	58.76	4.53	2.21	1.51	20.91	6.13	42.18	37.53	8745.5	40.0	13.7
นาด้วง I	79.63	2.61	1.44	0.58	2.64	15.01	4.61	77.74	7336.5	54.0	-
นาด้วง II	69.91	1.19	0.85	0.08	5.95	11.62	3.47	78.96	10688.0	52.5	-



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับค่าปริมาณสารระเหย และไฮโดรเจนของลิกไนต์ไทย



นอกจากนั้นยังพบว่าค่า HGI จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอนินทรีย์ในลิกไนต์ ซึ่งดูได้จากปริมาณเถ้าและค่ากำมะถัน (จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่า HGI มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าและกำมะถันเพิ่มขึ้น)

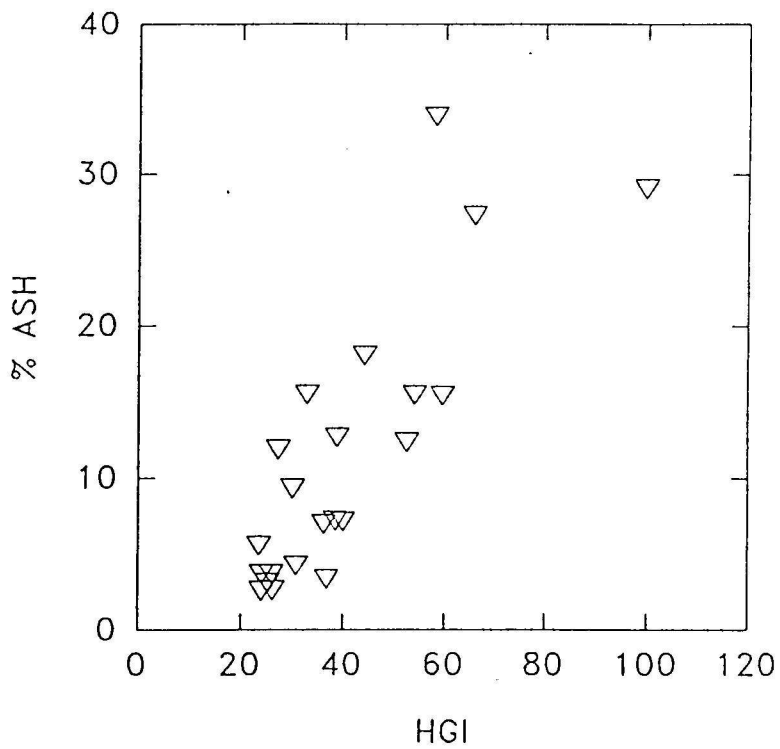
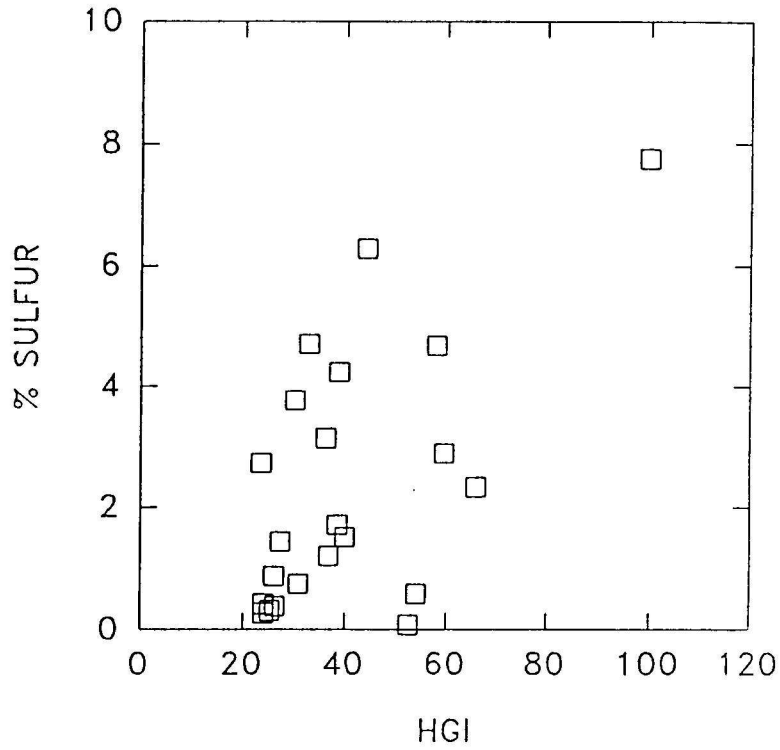
สำหรับค่าความแข็งของถ่านหิน จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับ ค่าความร้อนของถ่านหิน แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูง (High rank) จะมีค่า HGI ต่ำ

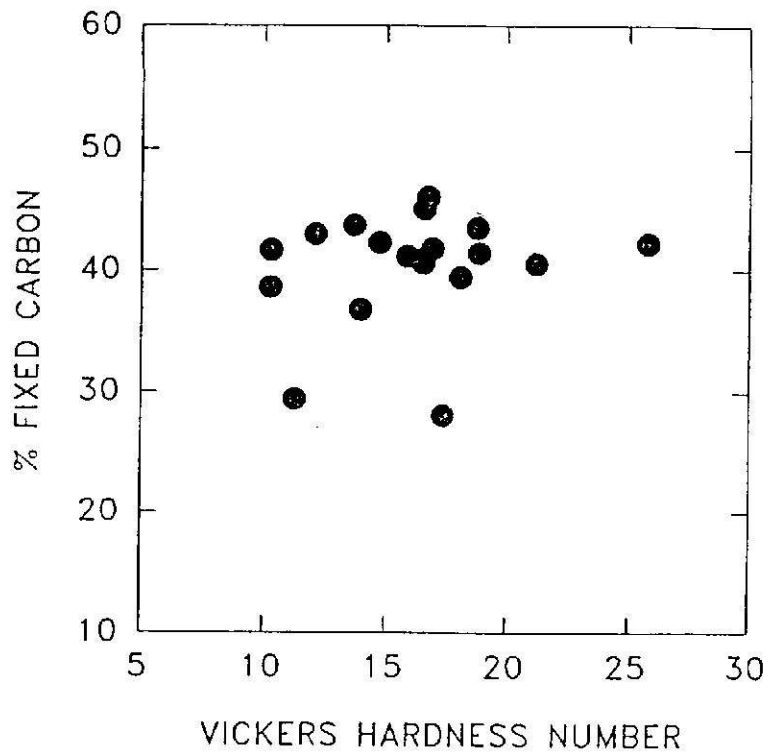
จากรูปที่ 4.5 พบว่าถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงจะมีค่า % เถ้าต่ำ หรือมีความสัมพันธ์แบบผกผัน นั่นคือ ถ่านหินเกรดสูง (มีค่าความร้อนสูง) จะมีปริมาณเถ้าต่ำ

#### 4.1.3 สรุปผลการศึกษาสมบัติต่างๆ ของถ่านหิน

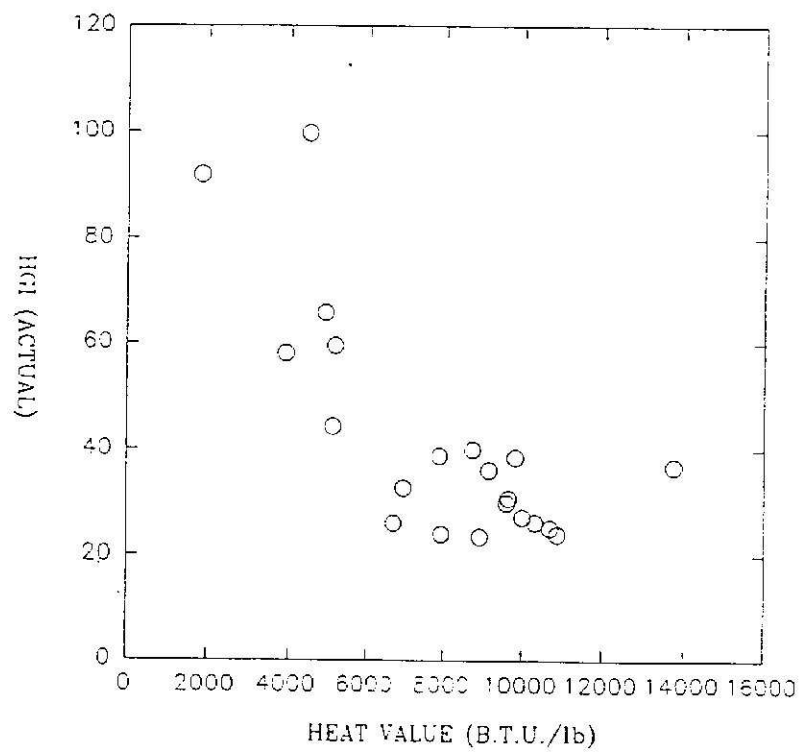
1. ถ่านหินไทยจากแหล่งต่างๆ ทั่วประเทศส่วนใหญ่มีคุณภาพเป็นลิกไนต์ ชั้นบิทูมินัส
2. ค่า HGI ของถ่านหินไทย มีแนวโน้มขึ้นอยู่กับลำดับชั้นการกลายเป็นถ่านหิน ซึ่งสามารถดูได้จากค่าคาร์บอนคงที่ที่สูง และสารระเหยต่ำ หรือค่าคาร์บอนสูงและไฮโดรเจนต่ำ และขึ้นอยู่กับปริมาณสารอนินทรีย์ (ซึ่งดูได้จากปริมาณเถ้าและค่ากำมะถัน) และค่าความร้อนของถ่านหิน
3. ถ่านหินเกรดสูง (มีค่าความร้อนสูง) จะมีปริมาณเถ้าต่ำ



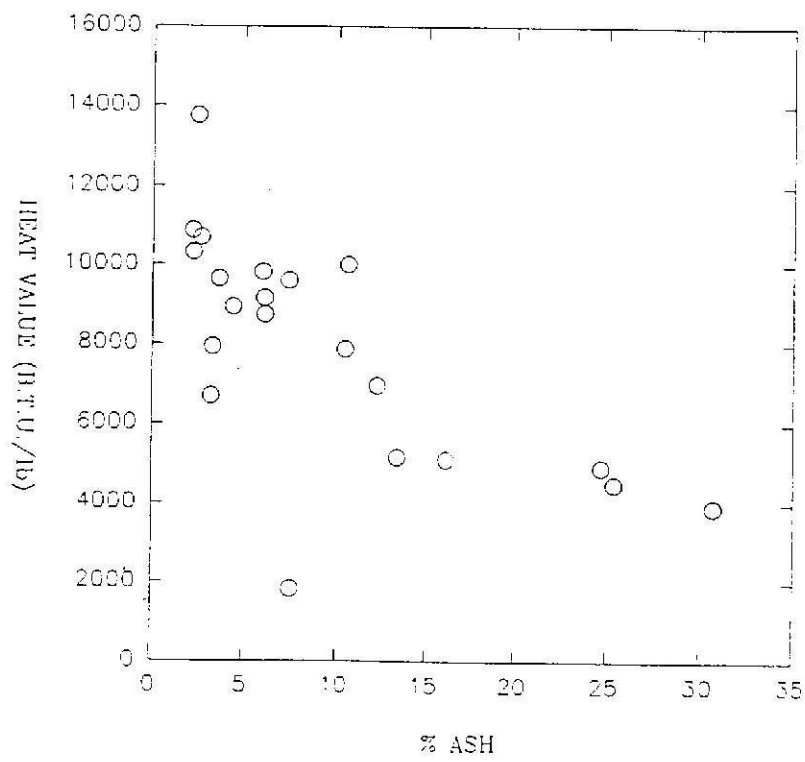
รูปที่ 4.2 แสดงผลของสารอินทรีย์ในด้านหินต่อค่า HGI



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง (VHN) กับค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านหินไทย



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับค่าความร้อนของถ่านหินไทย



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านหินกับปริมาณเถ้า

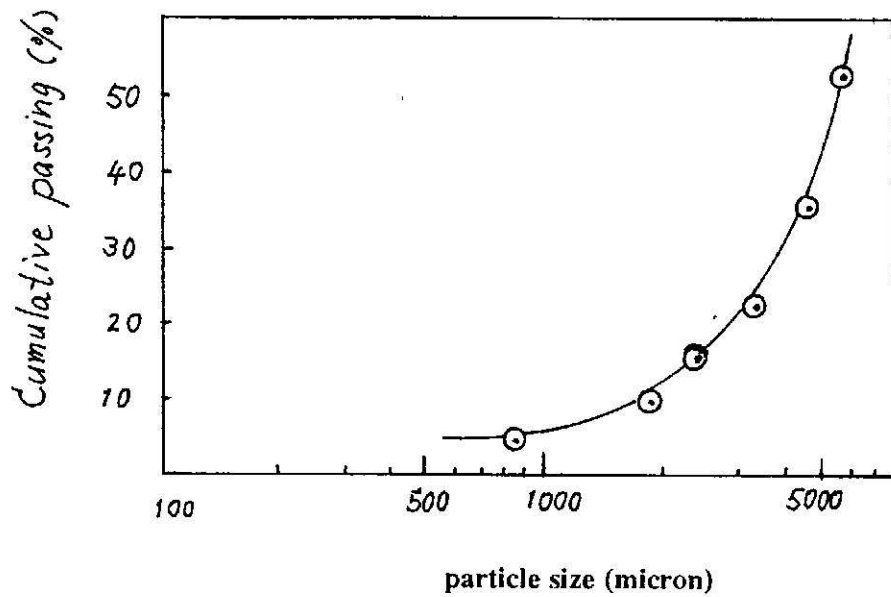
## 4.2 ผลการวิจัยการบดถ่านหิน

### 4.2.1 การบดถ่านหินขนาดหยาบ

เนื่องจากถ่านหินไทยมีเกรดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการศึกษาการบดถ่านหินจากแม่เมาะ (C-seam) เพียงเกรดเดียว เพื่อศึกษาผลการบดจากการบดขั้นแรกด้วยเครื่องบดแบบจอร์วี่ เมื่อปรับ gape 10 มิลลิเมตร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6

**ตารางที่ 4.2** แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน หลังจากผ่านการบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์วี่ที่ปรับ gape 10.0 มม. จากถ่านหินก้อนขนาดประมาณ 25 มม.

particle size		cumulative weight passing %		
mesh	micron	sample 1	sample 2	average
3	6350	49.72	53.28	51.50
4	4760	33.94	35.01	34.48
6	3360	22.91	22.58	22.75
8	2380	14.96	14.40	14.68
10	1680	10.17	9.59	9.88
20	841	4.9	4.57	4.74

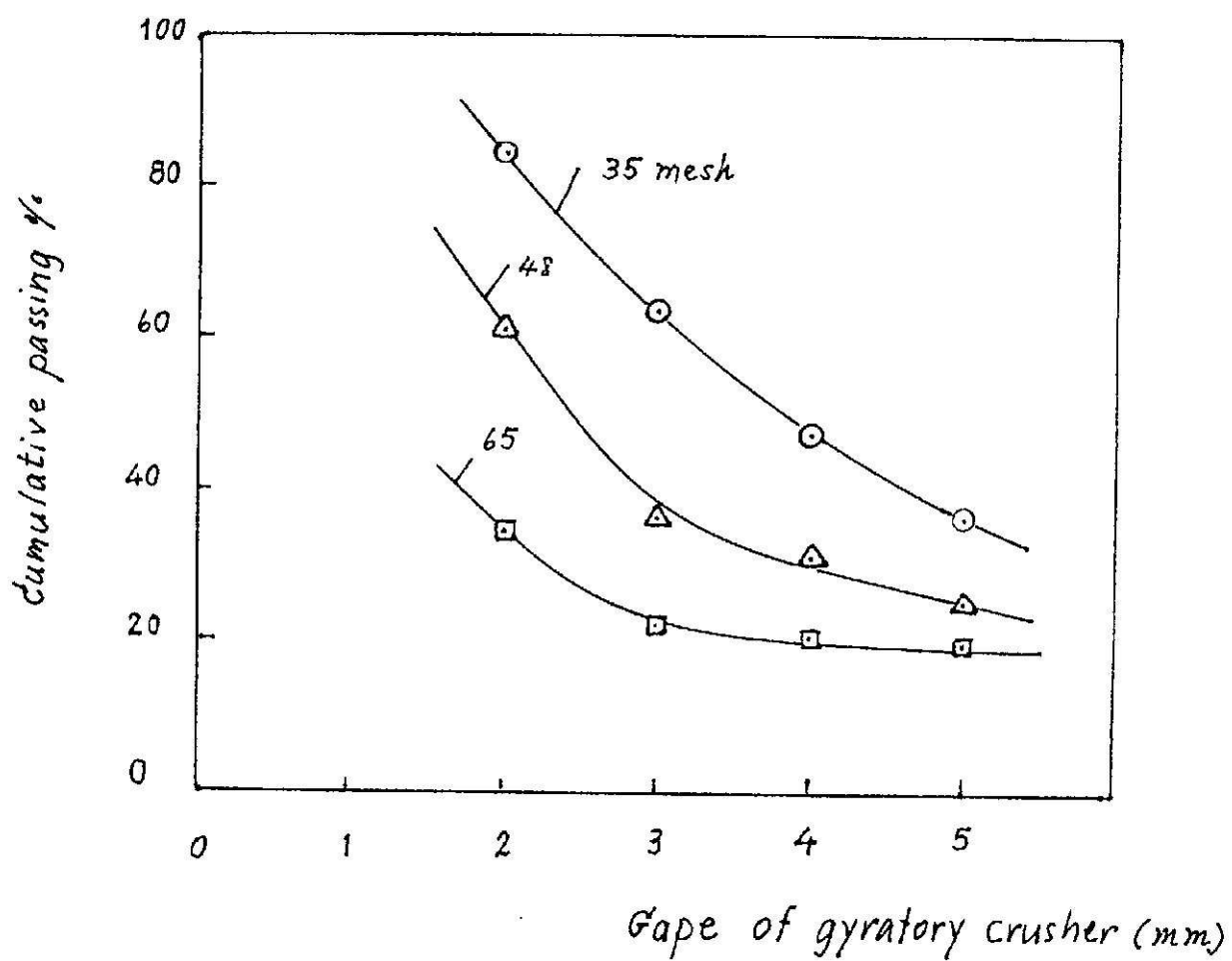


รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคผ่านหินหลังการบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์วี เมื่อ gape 10 มม.

ในการบดขั้นที่สองจะทำการบดด้วยเครื่องบดไซราทอรี เมื่อปรับ gape ที่ขนาดต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.7 แสดงผลของขนาดของ gape ต่อความละเอียดในการบดผ่านหิน

**ตารางที่ 4.3** แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน หลังจากผ่านการบดด้วยเครื่องบดแบบโรตารี เมื่อปรับ gape ที่ขนาดต่างๆ

Particle size		Cumulative weight passing %				
mesh	micron	Feed	gape 5 mm.	gape 4 mm.	gape 3 mm.	gape 2 mm.
3	6350	50.98				
4	4760	32.57				
6	3360	20.29				
8	2380	12.51				
10	1680	8.45				
20	841	4.33				
35	420		36.12	47.02	63.32	84.28
48	297		25.01	30.84	36.32	61.14
65	210		19.46	20.59	21.86	34.06



รูปที่ 4.7 แสดงผลของ gape ต่อความละเอียดในการบดถ่านหิน



#### 4.2.2 การบดถ่านหินขนาดละเอียด<sup>21)</sup>

ผลการวิจัยส่วนหนึ่งผู้ทำการวิจัยได้ทำการวิจัยมาก่อนและได้ตีพิมพ์ในวารสารต่างประเทศ สามารถดูได้จากภาคผนวกที่ 1 และในหัวข้อนี้ได้เสนอผลงานของการบดถ่านหินขนาดละเอียดมากด้วยเครื่องบดแบบสั้นและเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์ (ใช้ลูกบอลล้ออะลูมินา) คุณภาพของถ่านหินที่ใช้บดแสดงดังตารางที่ 4.4 สภาวะการบดที่ดีที่สุดแสดงดังตาราง 4.5 และ 4.6

**ตารางที่ 4.4** แสดงสมบัติของถ่านหินที่ใช้ทดสอบ<sup>21)</sup>

	Daiyon coal*	Yarabee coal**
ความหนาแน่น (kg-m <sup>3</sup> )	1400	1530
ความชื้น (%)	2.5	2.5
ความร้อน (kcal/kg)	7870	7690
สารระเหย (%)	36.1	8.7
คาร์บอนคงที่ (%)	57.9	83.5
เถ้า (%)	6.0	7.8

**หมายเหตุ**

\* ถ่านหินจากสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน

\*\* ถ่านหินจากประเทศออสเตรเลีย

ตารางที่ 4.5 แสดงสภาวะการบดที่ดีที่สุดในการบดถ่านหินของเครื่องบดแบบสั้น<sup>21)</sup>

Variable	Conditions
Mill	steel mill
Volume of mill, $V$ [ $\text{cm}^3$ ]	1000 (2 chambers)
Amplitude [mm]	1
Ball quality	Alumina balls
Size of ball mixture [ $D_1/D_2$ ]	3:5 [mm/mm]
Ball filling, $J$ [%]	90
Amount of ball charge [in ratio of gram]	500:1500
Feed size [mesh]	48x100
Amount of powder [ $\text{cm}^3$ ]	75
Void filling fraction, $U$	1
Solid fraction [vol.%]	20
Water addition [ $\text{cm}^3$ ]	292
Amount of additives used:	
DN [wt.%]	0.05
NS [wt.%]	0.05
$D_p/D_b$	1:20
Grinding time [hour]	5-6

**ตารางที่ 4.6** แสดงสภาวะการบดที่ดีที่สุดในการบดแร่หินของเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์<sup>(21)</sup>

Variable	Conditons
Mill	Porcelain mill
Volume of mill, $V$ [ $\text{cm}^3$ ]	2000
Speed [%c.s.]	75
Critical speed (c.s.) [rpm]	113
Ball quality	Alumina balls
Size of ball mixture ( $D_1/D_2$ )	3:5 [mm/mm]
Ball filling, $J$ [%]	50
Amount of ball charge [in ratio of gram]	500:1650
Feed size [mesh]	48x100
Amount of powder [ $\text{cm}^3$ ]	75
Void filling fraction, $U$	1
Solid fraction [vol.%]	20
Water addition [ $\text{cm}^3$ ]	292
Amount of additives used:	
DN [wt.%]	0.05
NS [wt.%]	0.05
$D_p/D_b$	1:20
Grinding time [hour]	4

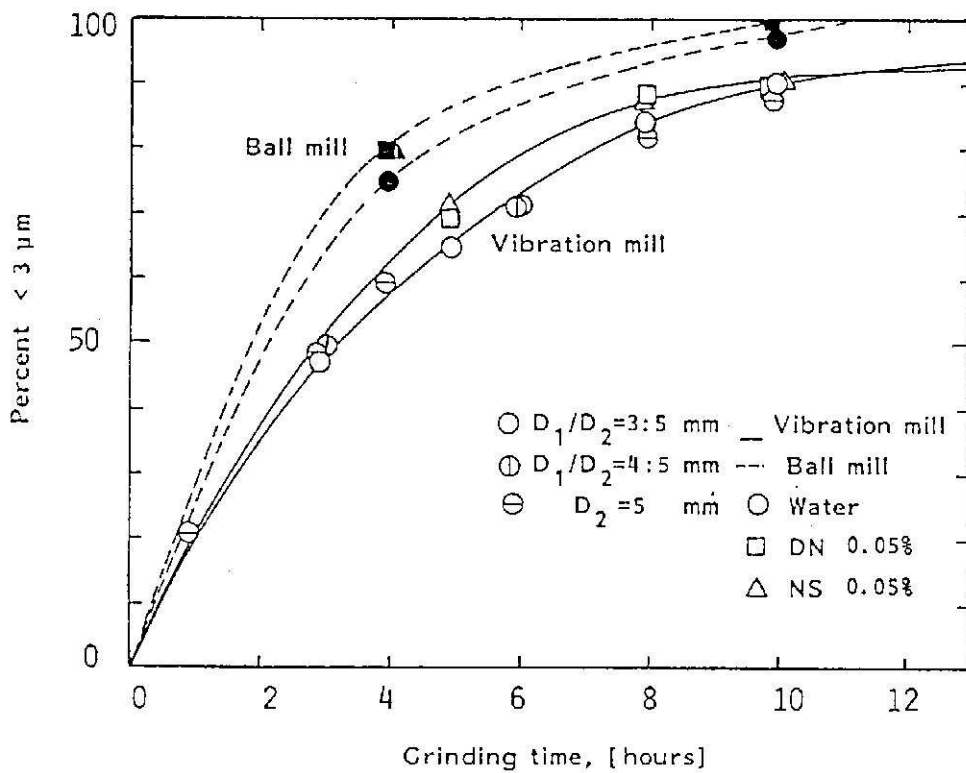
Wet grinding

ผลการบดของเครื่องบดทั้งสองในสถานะที่ดีที่สุดแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 การกระจายตัวของอนุภาคด้านหินเมื่อถูกบด 10 ชั่วโมง สถานะต่างๆ กับแสดงดังรูปที่ 4.10

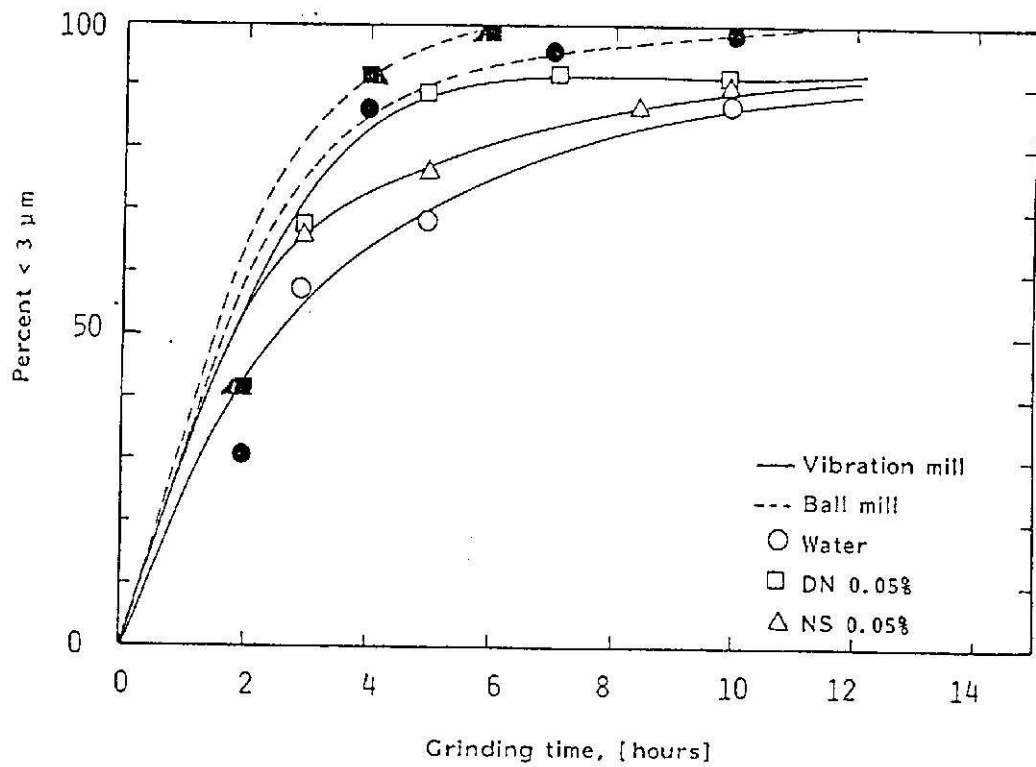
จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 สรุปว่าการบดด้านหินขนาดละเอียดมาก ด้วยเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์ให้ผลที่ดีกว่าเครื่องบดแบบสั้น เนื่องจากในเครื่องบดแบบบอลล์มิลล์มีกลไกของการขัดสีมาก ซึ่งจำเป็นสำหรับการบดอนุภาคขนาดละเอียดมากๆ เพราะอนุภาคด้านหินที่มีขนาด 4-5 ไมครอน จะมีสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นพลาสติกสูง ซึ่งตัวอาศัยแรงเฉือนในการทำให้ละเอียดขึ้น ซึ่งนั่นคือกลไก การขัดสีนั่นเอง ซึ่งต่างกับเครื่องบดแบบสั้นจะมีความถี่ของการกระทบกับสูงมาก มีโอกาสทำให้ด้านหินขนาดเล็กรวมตัวกันจับเป็นก้อนใหม่ มีขนาดโตขึ้นกว่าเดิม และจากการศึกษาก็พบว่า สารช่วยกระจายตัว (Dispersant) จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบดดีขึ้น นอกจากนี้การออกแบบขนาดของลูกบดให้เหมาะสมกับขนาดของอนุภาคมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพ การบดดีขึ้นและบดได้ละเอียดขึ้น กล่าวคือเมื่ออนุภาคมีพื้นที่ผิวมากขึ้น พื้นที่ผิวของลูกบดจะต้องมีมากขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน (ขนาดลูกบดจะเล็กลง เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง)

#### 4.2.3 สรุปผลการวิจัย

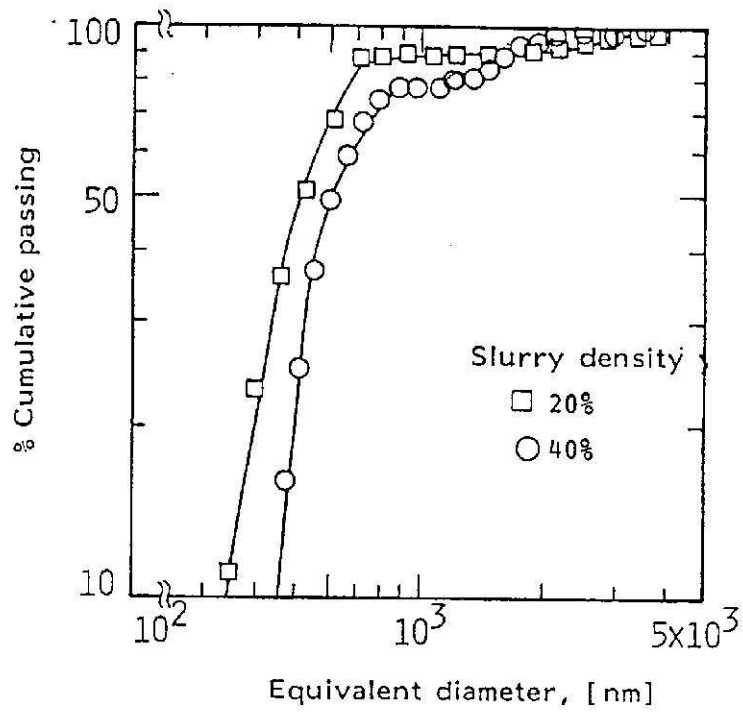
1. การบดด้านหินขนาดหยาบขึ้นอยู่กับขนาดด้านหินที่ต้องการ สามารถเลือกได้ด้วยการปรับ gape
2. การบดด้านหินที่ละเอียดมาก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วย
  - การเลือกกลไกการบดให้เหมาะสม
  - ออกแบบขนาดของลูกบดให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค
  - อาจต้องใช้สารเติมช่วยบด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการจับตัวเป็นก้อนใหม่ของอนุภาคขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและผลข้างเคียงของสารเติมต่อการนำด้านหินไปใช้ด้วย (แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีผลน้อย)
3. เนื่องจากด้านหินแตกง่าย ดังนั้นก่อนบด ควรล้างดิน หรือสิ่งปนเปื้อนออกก่อน แล้วบดให้เล็กลง โดยไม่ต้องใช้แรงบดของเครื่องบดมากสำหรับการบดหยาบ



รูปที่ 4.8 แสดงผลของการบดฉันทิน Daiyon ขนาด 48x100 เมช  
 ด้วยสภาวะที่ดีที่สุดในตารางที่ 4.5 และ 4.6<sup>21)</sup>



รูปที่ 4.9 แสดงผลของการบดถ่านหิน Yarabee ขนาด 48x100 เมช ด้วยสถานะที่ดีที่สุดตารางที่ 4.5 และ 4.6<sup>21)</sup>



รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน Yarabee เมื่อถูกบดด้วย เครื่องบดแบบบอลล์มิลล์ ที่สภาวะที่ดีที่สุดตามตารางที่ 4.6 เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อใช้สาร DN 1 %<sup>21)</sup>

#### 4.8 การศึกษา Coal Washability

##### 4.8.1 ผลของการศึกษา

ผลของการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.7-4.34

#### ตารางที่ 4.7 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางหมาก

ขนาด -4 +10 เมช (BMB)

Washability Data for BMB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	4.78	6.00	28.66	28.66	4.78	6.00	952.15	100.00	9.52
1.40/1.45	1.45	15.43	8.00	123.46	152.12	20.21	7.53	923.49	95.22	9.70
1.45/1.50	1.50	28.18	9.00	253.62	405.74	48.39	8.38	800.03	79.79	10.03
1.50/1.55	1.55	36.46	10.00	364.61	770.35	84.85	9.08	546.41	51.61	10.59
S-1.55		15.15	12.00	181.80	952.15	100.00	9.52	181.80	15.15	12.00



ตารางที่ 4.8 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางหมาก  
ขนาด -10 +35 เมช (BMS)

Washability Data for BMS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.50	1.50	6.90	10.00	69.00	69.00	6.90	10.00	2690.91	100.00	26.91
1.50/1.60	1.60	39.65	12.00	475.79	544.80	46.55	11.70	2621.91	93.10	28.16
1.60/1.65	1.65	31.80	28.00	890.40	1435.20	78.35	18.32	2146.11	53.45	40.15
S-1.65		21.65	58.00	1255.71	2690.91	100.00	26.91	1255.71	21.65	58.00

ตารางที่ 4.9 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางปูล่า (N-8-9)  
ขนาด -4 +10 เมช (BPDMB)

Washability Data for BPDMB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	0.64	4.76	3.05	3.05	0.64	4.76	2128.65	100.00	21.29
1.40/1.50	1.50	17.96	11.00	197.56	200.61	18.60	10.78	2125.60	99.36	21.39
1.50/1.60	1.60	39.03	12.00	468.42	669.03	57.64	11.61	1928.04	81.40	23.69
1.60/1.65	1.65	28.59	26.00	743.31	1412.34	86.22	16.38	1459.62	42.36	34.45
S-1.65		13.78	52.00	716.31	2128.65	100.00	21.29	716.31	13.78	52.00

ตารางที่ 4.10 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางปูดำ (N-8-9)  
ขนาด -10 +35 เมช (BPDMS)

Washability Data for BPDMS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.50	1.50	4.31	10.00	43.06	43.06	4.31	10.00	2898.17	100.00	28.98
1.50/1.60	1.60	33.55	14.00	469.68	512.74	37.85	13.55	2855.11	95.69	29.84
1.60/1.65	1.65	27.16	26.00	706.21	1218.95	65.02	18.75	2385.43	62.15	38.38
S-1.65		34.98	48.00	1679.22	2898.17	100.00	28.98	1679.22	34.98	48.00

ตารางที่ 4.11 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางปูดำ  
เกรดปานกลาง ขนาด -4 +10 เมช (BPDPB)

Washability Data for BPDPB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	0.35	7.14	2.52	2.52	0.35	7.14	1692.09	100.00	16.92
1.40/1.50	1.50	10.35	10.00	103.53	106.05	10.71	9.91	1689.57	99.65	16.96
1.50/1.60	1.60	64.70	12.00	776.41	882.47	75.41	11.70	1586.03	89.29	17.76
1.60/1.65	1.65	18.29	26.00	475.49	1357.96	93.70	14.49	809.62	24.59	32.92
S-1.65		6.30	53.00	334.13	1692.09	100.00	16.92	334.13	6.30	53.00

ตารางที่ 4.12 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบางปูล่า  
เกรดปานกลาง ขนาด -10 +35 เมช (BPDPS)

Washability Data for BPDPS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.50	1.50	2.33	9.09	21.20	21.20	2.33	9.09	1640.35	100.00	16.40
1.50/1.60	1.60	65.28	11.00	718.11	739.32	67.62	10.93	1619.14	97.67	16.58
1.60/1.65	1.65	27.00	23.00	620.96	1360.28	94.61	14.38	901.03	32.38	27.82
S-1.65		5.39	52.00	280.07	1640.35	100.00	16.40	280.07	5.39	52.00

ตารางที่ 4.13 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปู  
ก่อนเข้าโรงล้าง ขนาด -4 +10 เมช (BPFb)

Washability Data for BPFb Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	38.03	3.00	114.08	114.08	38.03	3.00	3570.39	100.00	35.70
1.35/1.40	1.40	8.23	11.00	90.54	204.62	46.26	4.42	3456.31	61.97	55.77
1.40/1.50	1.50	9.01	17.00	153.22	357.84	55.27	6.47	3365.77	53.74	62.63
1.50/1.60	1.60	4.54	29.00	131.77	489.61	59.81	8.19	3212.55	44.73	71.82
1.60/1.65	1.65	3.28	39.08	128.08	617.69	63.09	9.79	3080.78	40.19	76.66
S-1.65		36.91	80.00	2952.70	3570.39	100.00	35.70	2952.70	36.91	80.00

ตารางที่ 4.14 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปู  
ก่อนเข้าโรงล้าง ขนาด -10 +35 เมช (BPFS)

Washability Data for BPFS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	16.25	3.00	48.76	48.76	16.25	3.00	5548.01	100.00	55.48
1.35/1.40	1.40	4.74	8.00	37.89	86.65	20.99	4.13	5499.25	83.75	65.67
1.40/1.50	1.50	10.69	14.00	149.70	236.35	31.68	7.46	5461.36	79.01	69.12
1.50/1.60	1.60	5.02	25.00	125.58	361.93	36.71	9.86	5311.66	68.32	77.75
1.60/1.65	1.65	6.93	57.00	394.73	756.66	43.63	17.34	5186.08	63.29	81.94
S-1.65		56.37	85.00	4791.35	5548.01	100.00	55.48	4791.35	56.37	85.00

ตารางที่ 4.15 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปู (ดี)  
ขนาด -4 +10 เมช (BPMB)

Washability Data for BPMB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	47.96	3.00	143.88	143.88	47.96	3.00	903.58	100.00	9.04
1.35/1.40	1.40	20.43	10.00	204.27	348.15	68.39	5.09	759.70	52.04	14.60
1.40/1.50	1.50	24.23	15.00	363.45	711.60	92.62	7.68	555.43	31.61	17.57
1.50/1.60	1.60	3.58	23.00	82.35	793.95	96.20	8.25	191.98	7.38	26.00
1.60/1.65	1.65	2.22	28.00	62.17	856.12	98.42	8.70	109.63	3.80	28.83
S-1.65		1.58	30.00	47.46	903.58	100.00	9.04	47.46	1.58	30.00



ตารางที่ 4.16 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปู (ดี)

ขนาด -10 +35 เมช (BPMS)

Washability Data for BPMS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	40.77	3.00	122.31	122.31	40.77	3.00	1056.74	100.00	10.57
1.35/1.40	1.40	15.03	7.00	105.20	227.50	55.80	4.08	934.44	59.23	15.78
1.40/1.50	1.50	29.71	10.00	297.10	524.61	85.51	6.14	829.24	44.20	18.76
1.50/1.60	1.60	7.59	18.00	136.67	661.28	93.10	7.10	532.14	14.49	36.72
1.60/1.65	1.65	2.46	30.77	75.62	736.90	95.56	7.71	395.47	6.90	57.32
S-1.65		4.44	72.00	319.85	1056.74	100.00	10.57	319.85	4.44	72.00

ตารางที่ 4.17 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปญ (High-S)  
ขนาด -4 +10 เมช (BPSB)

Washability Data for BPSB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	60.55	2.00	121.11	121.11	60.55	2.00	590.23	100.00	5.90
1.35/1.40	1.40	22.08	7.00	154.58	275.69	82.64	3.34	469.12	39.45	11.89
1.40/1.50	1.50	12.47	11.00	137.19	412.87	95.11	4.34	314.55	17.36	18.12
1.50/1.60	1.60	2.32	25.93	60.08	472.95	97.43	4.85	177.36	4.89	36.26
1.60/1.65	1.65	1.09	34.21	37.18	510.13	98.51	5.18	117.28	2.57	45.56
S-1.65		1.49	53.85	80.10	590.23	100.00	5.90	80.10	1.49	53.85

ตารางที่ 4.18 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งบ้านปู (High-S)  
ขนาด -10 +35 มม (BPSS)

Washability Data for BPSS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	49.78	3.00	149.35	149.35	49.78	3.00	831.67	100.00	8.32
1.35/1.40	1.40	17.92	4.00	71.68	221.04	67.71	3.26	682.31	50.22	13.59
1.40/1.50	1.50	21.04	10.00	210.36	431.40	88.74	4.86	610.63	32.29	18.91
1.50/1.60	1.60	5.06	23.00	116.35	547.75	93.80	5.84	400.27	11.26	35.55
1.60/1.65	1.65	2.78	34.44	95.61	643.36	96.58	6.66	283.92	6.20	45.79
S-1.65		3.42	55.00	188.31	831.67	100.00	8.32	188.31	3.42	55.00

ตารางที่ 4.19 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งทรายเค็ด  
ขนาด -4 +10 มม (BYLB)

Washability Data for BYLB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	0.41	6.67	2.73	2.73	0.41	6.67	1223.66	100.00	12.24
1.35/1.40	1.40	57.73	10.00	577.27	580.00	58.14	9.98	1220.93	99.59	12.26
1.40/1.50	1.50	39.15	14.00	548.06	1128.06	97.28	11.60	643.66	41.86	15.38
1.50/1.60	1.60	1.46	22.45	32.79	1160.85	98.74	11.76	95.60	2.72	35.19
S-1.60		1.26	50.00	62.81	1223.66	100.00	12.24	62.81	1.26	50.00

ตารางที่ 4.20 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งทรายเล็ก  
ขนาด -10 +35 เมช (BYLS)

Washability Data for BYLS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod.	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	46.11	3.00	138.34	138.34	46.11	3.00	950.40	100.00	9.50
1.35/1.40	1.40	15.54	6.00	93.26	231.60	61.66	3.76	812.05	53.89	15.07
1.40/1.50	1.50	21.23	10.00	212.27	443.87	82.88	5.36	718.80	38.34	18.75
1.50/1.60	1.60	11.56	19.00	219.65	663.52	94.44	7.03	506.53	17.12	29.59
1.60/1.65	1.65	2.50	33.33	83.49	747.01	96.95	7.71	286.88	5.56	51.64
S-1.65		3.05	66.67	203.39	950.40	100.00	9.50	203.39	3.05	66.67

ตารางที่ 4.21 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (A-seam)  
ขนาด -4 +10 เมช (EGATAB)

Washability Data for EGATAB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	1.20	8.70	10.45	10.45	1.20	8.70	3453.88	100.00	34.54
1.40/1.50	1.50	18.32	19.00	348.06	358.51	19.52	18.37	3443.43	98.80	34.85
1.50/1.60	1.60	46.32	27.00	1250.66	1609.17	65.84	24.44	3095.38	80.48	38.46
1.60/1.65	1.65	12.95	36.00	466.33	2075.50	78.79	26.34	1844.71	34.16	54.00
S-1.65		21.21	65.00	1378.39	3453.88	100.00	34.54	1378.39	21.21	65.00

ตารางที่ 4.22 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่มาะ (A-seam)  
ขนาด -10 +35 มม (EGATAS)

Washability Data for EGATAS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	1.55	6.38	9.88	9.88	1.55	6.38	2958.01	100.00	29.58
1.40/1.50	1.50	25.55	9.00	229.94	239.81	27.10	8.85	2948.13	98.45	29.94
1.50/1.60	1.60	27.61	16.00	441.81	681.62	54.71	12.46	2718.19	72.90	37.28
1.60/1.65	1.65	16.97	29.00	492.06	1173.69	71.68	16.37	2276.39	45.29	50.26
S-1.65		28.32	63.00	1784.32	2958.01	100.00	29.58	1784.32	28.32	63.00

ตารางที่ 4.23 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (B-seam)  
ขนาด -4 +10 มม (EGATBB)

Washability Data for EGATBB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	80.43	5.00	402.16	402.16	80.43	5.00	1090.78	100.00	10.91
1.35/1.40	1.40	6.54	12.00	78.48	480.64	86.97	5.53	688.62	19.57	35.19
1.40/1.50	1.50	4.19	19.00	79.70	560.34	91.17	6.15	610.14	13.03	46.83
1.50/1.60	1.60	1.17	27.27	31.97	592.32	92.34	6.41	530.44	8.83	60.05
1.60/1.65	1.65	1.02	26.31	26.74	619.05	93.36	6.63	498.47	7.66	65.07
S-1.65		6.64	71.00	471.73	1090.78	100.00	10.91	471.73	6.64	71.00



ตารางที่ 4.24 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (B-seam)  
ขนาด -10 +35 เมช (EGATBS)

Washability Data for EGATBS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.50	1.50	3.08	13.00	40.04	40.04	3.08	13.00	2956.07	100.00	29.56
1.50/1.60	1.60	20.10	14.00	281.34	321.38	23.18	13.87	2916.03	96.92	30.09
1.60/1.65	1.65	32.42	21.00	680.74	1002.12	55.59	18.03	2634.69	76.82	34.30
S-1.65		44.41	44.00	1953.95	2956.07	100.00	29.56	1953.95	44.41	44.00

ตารางที่ 4.25 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่มาะ (C-seam)  
ขนาด -4 +10 เมช (EGATCB)

Washability Data for EGATCB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	4.46	10.00	44.60	44.60	4.46	10.00	1234.40	100.00	12.34
1.40/1.50	1.50	66.56	12.00	798.75	843.35	71.02	11.87	1189.80	95.54	12.45
1.50/1.60	1.60	26.11	13.00	339.41	1182.76	97.13	12.18	391.05	28.98	13.50
S-1.60		2.87	18.00	51.64	1234.40	100.00	12.34	51.64	2.87	18.00

ตารางที่ 4.20 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแมงเมอะ (C-seam)  
ขนาด -10 +35 มม (EGATCS)

Washability Data for EGATCS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.45	1.45	6.53	9.00	58.77	58.77	6.53	9.00	1148.51	100.00	11.49
1.45/1.50	1.50	21.26	10.00	212.65	271.42	27.79	9.77	1089.74	93.47	11.66
1.50/1.55	1.55	55.66	11.00	612.24	883.66	83.45	10.59	877.09	72.21	12.15
1.55/1.60	1.60	13.61	14.00	190.50	1074.15	97.06	11.07	264.85	16.55	16.01
S-1.60		2.94	25.29	74.36	1148.51	100.00	11.49	74.36	2.94	25.29

ตารางที่ 4.27 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งก้นต้ง (หลังเด็ก)  
ขนาด -4 +10 เมช (KTASB)

Washability Data for KTASB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	9.48	8.00	75.88	75.88	9.48	8.00	1894.90	100.00	18.95
1.40/1.50	1.50	60.83	14.00	851.59	927.47	70.31	13.19	1819.02	90.52	20.10
1.50/1.60	1.60	19.08	22.00	419.74	1347.20	89.39	15.07	967.43	29.69	32.59
1.60/1.65	1.65	3.29	33.00	108.55	1455.76	92.68	15.71	547.70	10.61	51.63
S-1.65		7.32	60.00	439.14	1894.90	100.00	18.95	439.14	7.32	60.00

ตารางที่ 4.28 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งก้นต้ง (หลังเลือก)  
ขนาด -10 +35 เมช (KTASS)

Washability Data for KTASS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	3.14	6.31	19.78	19.78	3.14	6.31	1745.48	100.00	17.45
1.40/1.50	1.50	61.60	10.00	616.03	635.81	64.74	9.82	1725.69	96.86	17.82
1.50/1.60	1.60	18.75	17.00	318.68	954.49	83.48	11.43	1109.66	35.26	31.47
1.60/1.65	1.65	5.79	31.00	179.35	1133.84	89.27	12.70	790.98	16.52	47.89
S-1.65		10.73	57.00	611.64	1745.48	100.00	17.45	611.64	10.73	57.00

ตารางที่ 4.29 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งก้นต้ง (หน้าหม้อ)  
ขนาด -4 +10 มม (KTMFB)

Washability Data for KTMFB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.35	1.35	11.12	3.00	33.37	33.37	11.12	3.00	1854.07	100.00	18.54
1.35/1.40	1.40	10.34	12.00	124.04	157.42	21.46	7.34	1820.70	88.88	20.49
1.40/1.50	1.50	45.20	15.00	677.95	835.37	66.66	12.53	1696.66	78.54	21.60
1.50/1.60	1.60	22.36	21.00	469.55	1304.92	89.02	14.66	1018.71	33.34	30.55
1.60/1.65	1.65	5.17	32.00	165.39	1470.31	94.19	15.61	549.16	10.98	50.00
S-1.65		5.81	66.00	383.76	1854.07	100.00	18.54	383.76	5.81	66.00

ตารางที่ 4.30 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งก้นต้ง (หน้าเหมือง)  
ขนาด -10 +35 มม (KTMFS)

Washability Data for KTMFS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	8.96	4.00	35.85	35.85	8.96	4.00	1736.19	100.00	17.36
1.40/1.50	1.50	47.55	10.00	475.48	511.33	56.51	9.05	1700.34	91.04	18.68
1.50/1.60	1.60	29.73	17.00	505.34	1016.67	86.24	11.79	1224.86	43.49	28.16
1.60/1.65	1.65	5.41	28.00	151.50	1168.18	91.65	12.75	719.51	13.76	52.28
S-1.65		8.35	68.00	568.01	1736.19	100.00	17.36	568.01	8.35	68.00

ตารางที่ 4.31 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (J2)  
ขนาด -4 +10 เมช (MMJ2B)

Washability Data for MMJ2B Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	0.99	18.75	18.59	18.59	0.99	18.75	3527.16	100.00	35.27
1.40/1.50	1.50	6.41	25.00	160.35	178.94	7.41	24.16	3508.57	99.01	35.44
1.50/1.60	1.60	35.86	29.00	1039.94	1218.88	43.27	28.17	3348.22	92.59	36.16
1.60/1.65	1.65	44.78	39.00	1746.47	2965.35	88.05	33.68	2308.28	56.73	40.69
S-1.65		11.95	47.00	561.81	3527.16	100.00	35.27	561.81	11.95	47.00



ตารางที่ 4.32 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (J2)  
ขนาด -10 +35 เมช (MMJ2S)

Washability Data for MMJ2S Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.50	1.50	1.02	18.52	18.91	18.91	1.02	18.52	2982.00	100.00	29.82
1.50/1.60	1.60	18.42	19.00	349.96	368.87	19.44	18.97	2963.09	98.98	29.94
1.60/1.65	1.65	53.06	28.00	1485.78	1854.65	72.50	25.58	2613.12	80.56	32.44
S-1.65		27.50	41.00	1127.34	2982.00	100.00	29.82	1127.34	27.50	41.00

ตารางที่ 4.33 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งนากาย  
ขนาด -4 +10 เมช (NSB)

Washability Data for NSB Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	4.22	15.00	63.31	63.31	4.22	15.00	3988.12	100.00	39.88
1.40/1.50	1.50	12.55	20.00	251.08	314.39	16.77	18.74	3924.81	95.78	40.98
1.50/1.60	1.60	16.31	31.00	505.76	820.16	33.09	24.79	3673.73	83.23	44.14
1.60/1.65	1.65	44.48	45.00	2001.62	2821.78	77.57	36.38	3167.97	66.91	47.35
S-1.65		22.43	52.00	1166.34	3988.12	100.00	39.88	1166.34	22.43	52.00

ตารางที่ 4.34 แสดง Washability Data ของถ่านหินจากแหล่งนาทราย  
ขนาด -10 +35 เมช (NSS)

Washability Data for NSS Coal										
SG.Fract	Sep.SG.	Wt.%	Ash%	Ash Prod	Cum.Float			Cum.Sink		
					Ash	Wt.%	Ash%	Ash	Wt.%	Ash%
F-1.40	1.40	4.33	14.00	60.59	60.59	4.33	14.00	3792.15	100.00	37.92
1.40/1.50	1.50	11.67	17.00	198.47	259.06	16.00	16.19	3731.57	95.67	39.00
1.50/1.60	1.60	18.12	26.00	471.11	730.17	34.12	21.40	3533.09	84.00	42.06
1.60/1.65	1.65	17.84	37.00	660.06	1390.22	51.96	26.75	3061.99	65.88	46.48
S-1.65		48.04	50.00	2401.93	3792.15	100.00	37.92	2401.93	48.04	50.00

### 4.3.2 สรุป

ข้อมูลจากตารางที่ 4.7-4.34 ถ้าเลือกแต่งด้านหินด้วยวิธีอ้าค้ำขั้วมัทฉิมหนัก เมื่อกำหนดให้ได้ในด้านหินไม่เกิน 10 % จะสรุปได้ว่าควรเลือกใช้ความถ่วงจำเพาะของมัทฉิมเป็นเท่าไร ดังแสดงในตารางที่ 4.35 ในกรณีที่เลือกใช้กรรมวิธีการแต่งด้านหินด้วยจิ๊กหรือโต๊ะสัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง แต่อาจใช้ Washability Data ที่ได้เป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการได้

**ตารางที่ 4.35** แสดงความถ่วงจำเพาะของมัทฉิมที่ควรใช้ในการแยกจากแหล่งต่างๆ  
เมื่อกำหนดปริมาณได้แล้ว

แหล่งถ่านหิน	ความถ่วงจำเพาะที่ใช้แยก							
	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	>1.65
1. บางหมาก						/		
2. บางปูดำ (N-8-9)				/				
3. บางปูดำ (เกรดปานกลาง)				/				
4. บ้านปูก่อนเข้าโรงล้าง						/	/	
5. บ้านปู (ลี)							/	/
6. บ้านปู (High-S)								/
7. หวายเล็ก ขนาด -4 +10 เมช ขนาด -10 +35 เมช		/						/
8. แม่เมาะ A-seam		/						
9. แม่เมาะ B-seam ขนาด -4 +10 เมช ขนาด -10 +35 เมช		/					/	
10. แม่เมาะ C-seam		/						
11. กั้นดั่ง (หลังเลือก)		/						
12. กั้นดั่ง (หน้าเหมือง)			/					
13. แม่เมาะ J2	/							
14. นาทราย	/							

#### 4.4 ผลการวิจัยการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ

##### 4.4.1 ผลการวิจัยการแต่งถ่านหินด้วยจิ๊ก

ผลการทดลองในเบื้องต้น ใช้ถ่านหินจากแหล่งบ้านปูเกรดต่ำ (ก่อนเข้าโรงล้าง) จากตารางที่ 4.35 จะเห็นว่าการทดลองที่ 1 ให้ผลการแต่งถ่านหิน (ขนาด -4 +8 เมช) ดีที่สุด จึงทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อยืนยันข้อมูลที่ได้ และนำผลไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนได้ผลดังตารางที่ 4.36 จะเห็นว่าสามารถแต่งถ่านหินได้เกรดสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อนำถ่านหินก่อนแต่งด้วยจิ๊กมาล้างฝุ่นออกก่อน สามารถเพิ่มเกรดของถ่านได้จาก 32 % ถ้าค่าความร้อน 3780 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เป็น 17 % ถ้าและมีค่าความร้อนสูงขึ้นเป็น 5486 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หลังจากนำถ่านหินที่ล้างแล้วไปแต่งด้วยจิ๊ก ปรากฏว่าได้ถ่านหินที่สะอาดขึ้น โดยมีถ่านหินสะอาดเพียง 3 % มีค่าความร้อน 5736 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม % Yield 72 % ได้ผลในทำนองเดียวกับสำหรับการทดลองที่ถ่านหินขนาด -8 +18 เมช (ตารางที่ 4.37 และ 4.38)

จากสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดของจิ๊กในการแต่งถ่านหินบ้านปูเกรดต่ำนำมาใช้กับถ่านหินบ้านปู เกรดพอใช้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.39-4.40

##### 4.4.1.1 การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองแต่งถ่านหินโดยใช้จิ๊กนี้ ตัวแปรที่มีผลต่อการแต่งถ่านหินมีอยู่ด้วยกันหลายตัวแปร คือ

- ความยาวช่วงชัก (stroke) และความเร็ว
- ความสูงของเวียร์
- อัตราการป้อนตัวอย่างถ่านหิน
- อัตราการไหลของน้ำ
- ขนาดของตัวอย่างถ่านหิน

ตารางที่ 4.36 แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์แหล่งบ้านปูเกรดต่ำ ขนาด -4 +8 เมช ด้วยจิก

Test No.	Stroke (inch)	Wier height (inch)	Washed coal		Refuse	
			% wt.	% Ash	% wt.	% Ash
1	3/8	2	72.59	4	7.60	31
2	3/8	2 1/4	53.16	3	9.55	30
3	3/8	2 1/2	39.57	1	9.74	36
4	3/8	2	70.95	4	11.63	31
5	1/2	2 1/4	52.81	4	11.48	28
6	1/2	2 1/2	37.94	2	15.44	25

ตารางที่ 4.38 แสดงผลการวิจัยแต่งถ่านลิกไนต์แหล่งบ้านปูเกรดต่ำ ขนาด -8 +18 เมช  
ด้วยจิก

Test No.	Stroke (inch)	Wier height (inch)	Washed coal		Refuse	
			% wt.	% Ash	% wt.	% Ash
1	3/8	2	77.44	5	9.31	35
2	3/8	2 1/4	64.13	5	12.55	30
3	3/8	2 1/2	52.66	2	14.35	31
4	1/2	2	67.83	6	20.11	33
5	1/2	2 1/4	52.81	6	7.80	35
6	1/2	2 1/2	43.90	5	13.48	40

ตารางที่ 4.40 แสดงผลการทดลองแต่งถ่านบ้านปู เกรดพอใช้ ขนาด -4 +8 เมช ด้วยจิก  
ที่ความยาวช่วงชัก 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว

No.		% wt.	% Ash.
Feed	Sample	100	19
	After desliming*	91.81	16
1	Washed coal	76.54	3
	Middling	15.00	-
	Refuse	8.46	33
2	Washed coal	72.19	3
	Middling	18.17	-
	Refuse	9.74	35
mean.	Washed coal	74.37	3
	Middling	16.53	-
	Refuse	9.10	34



ตารางที่ 4.41 แสดงผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ เกรดพอใช้ ผ่านขนาด -8 +18 เมช ด้วยจิก ที่ความยาวช่วงชัก 3/8 นิ้ว และความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว

No.		% wt.	% Ash.
Feed	Sample	100	21
	After desliming*	83.73	13
1	Washed coal	80.67	4
	Middling	18.91	-
	Refuse	10.42	37
2	Washed coal	82.75	3
	Middling	16.41	-
	Refuse	10.84	35
mean.	Washed coal	81.71	3.5
	Middling	18.66	-
	Refuse	10.63	36

แต่สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะใช้สารเพียง 2 ตัวแปร เท่านั้นคือ ความยาวช่วงชัก และ ความสูงของเวียร์ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 1 ในการทดลองนี้เราใช้ความยาวช่วงชัก  $3/8$  นิ้ว และ ความยาวสูงของเวียร์ 2 นิ้ว โดยให้ตัวแปรตัวอื่นๆ คงที่คือ

- อัตราการป้อน

- ขนาด -4 +8 เมช 9.36 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- ขนาด -8 +18 เมช 11.20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- อัตราการไหลของน้ำเท่ากับทั้ง 2 ขนาด คือ 0.323 ลิตร/นาที ที่ความยาวช่วงชัก และความสูงของเวียร์เท่านี้ จะให้ผลการแต่งถ่านหินดีที่สุดที่ทั้ง 2 ขนาด คือ สามารถลดมลทิน (% ash) และมีอัตราการเก็บแร่ได้ (% Recovery) สูงสุด มากกว่าการทดลองชุดอื่นๆ ดังนี้

- ตัวอย่างถ่านขนาด -4 +8 เมช มีปริมาณแฉะ 32 % เมื่อผ่านการกำจัดฝุ่น (deslime) แล้วปริมาณแฉะลดลงเหลือ 17 % สามารถแต่งให้ปริมาณแฉะลดลงเหลือ 3 % และมีอัตราการเก็บแร่ได้สูงถึง 72.02 % (ตารางที่ 4.37) ในขณะที่สามารถเพิ่มค่าความร้อนให้ถ่านลิกไนต์ได้จาก ตัวอย่างมีค่าความร้อน 3780.85 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หลังจากการกำจัดฝุ่นแล้ว ค่าความร้อนเป็น 5485.86 สามารถแต่งเพิ่มค่าความร้อนขึ้นเป็น 5736.15 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

- ตัวอย่างถ่านลิกไนต์ขนาด -8 +18 เมช มีปริมาณแฉะ 40 % เมื่อผ่านการล้าง แล้วลดเหลือ 12.65 % และเมื่อผ่านการแต่งด้วยจิ๊กที่สภาวะตามการทดลองชุดที่ 1 นี้แล้ว สามารถแต่งถ่านลิกไนต์ได้หัวแร่ (concentrate) ที่มีปริมาณแฉะเพียง 4 % และเก็บหัวแร่ 80.34 % ค่าความร้อนจากตัวอย่างตอนต้น 4284.77 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อผ่านการกำจัดฝุ่นแล้ว ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 5328.9 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และเมื่อผ่านการแต่งด้วยจิ๊กที่สภาวะนี้แล้ว จะได้หัวแร่ที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 5694.1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.39)

2) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 2 ในการทดลองนี้ใช้ความยาวช่วงชัก  $3/8$  นิ้วเท่าเดิม แต่เพิ่มความสูงของเวียร์เป็น  $2 \frac{1}{4}$  นิ้ว ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ คงที่ เท่ากับการทดลองชุดที่ 1

- จากตารางที่ 4.36 พบว่าตัวอย่างถ่านขนาด -4 +8 เมช จะได้อัตราการเก็บแร่ ได้ลดลงเหลือ 53.16 % หัวแร่มีปริมาณแฉะ ลดลงเหลือ 3 % หางแร่เพิ่มขึ้นเป็น 9.55 % (เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 แสดงว่าการเพิ่มความสูงของเวียร์นี้ทำให้ผลการแต่งแร่ด้อยกว่า การทดลองชุดที่ 1)

- จากตารางที่ 4.38 พบว่า ตัวอย่างถ่านขนาด -8 +18 เมช ให้ผลในทำนองเดียวกับขนาด -4 +8 เมช ถึงแม้อัตราการเก็บแร่ได้น้อยลง % แฉะ ในหัวแร่เท่าเดิม และมีแร่สูญเสียไปเป็น หางแร่มากขึ้น นั่นคือผลการทดลองชุดที่ 2 นี้ ให้ผลได้ไม่ดีเท่ากับทดลองชุดที่ 1

3) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 3 ในการทดลองนี้จะเพิ่มความสูงของเวียร์ เป็น  $2 \frac{1}{2}$  นิ้ว ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ คงเดิม เท่ากับการทดลองชุดที่ 1

- จากตารางที่ 4.36 พบว่าตัวอย่างด้านขนาด -4 + 8 เมช ให้ผลได้ไม่ดีเท่าการทดลองชุดที่ 1 คือ อัตราการเก็บแร่ได้ลดลงเหลือเพียง 39.57 % เท่านั้น ถึงแม้ว่าจะให้หัวแร่ที่สะอาดมาก คือ มีปริมาณแร่เพียง 1 % เท่านั้น แต่การแต่งแร่ให้สะอาดมากเกินไป จนดำเนินถึงอัตราการเก็บแร่ได้เลย หรือปล่อยให้มีการสูญเสียมากเกินไป ข่อมไม่ใช้การแต่งแร่ที่ดี

- จากตารางที่ 4.38 พบว่าตัวอย่างด้านขนาด -8 +18 เมช ให้ผลในทำนองเดียวกับขนาด -4 +8 เมช

4) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 4 การทดลองที่ใช้ความยาวช่วงชักเพิ่มขึ้น เป็น 1/2 นิ้ว ความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ คงที่

- จากตารางที่ 4.36 พบว่าตัวอย่างด้านขนาด -4 +8 เมช ให้หัวแร่สะอาดพอสมควร คือมีปริมาณแร่ 4 % และเก็บได้ 70.95 % ถือว่าให้ผลการแต่งแร่ได้ดี แต่อย่างน้อยก็ว่าการทดลองชุดที่ 1

- จากตารางที่ 4.38 พบว่าตัวอย่างด้านขนาด -8 +18 เมช ให้หัวแร่ที่มีปริมาณแร่ อยู่ 6 % และเก็บได้ 67.83 % ถือว่ามีเก็บหัวแร่ได้ในเกณฑ์ต่ำ และหัวแร่ยังไม่สะอาดพอเมื่อเทียบกับการทดลองชุดที่ 1

5) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 5 ใช้ความยาวช่วงชัก 1/2 นิ้ว แต่เพิ่มความสูงของเวียร์ เป็น 2 1/4 นิ้ว ผลการทดลองนี้ ให้อัตราการเก็บแร่ได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ และให้หัวแร่ที่ยังไม่ค่อยสะอาดเหมือนทั้ง 2 ขนาด (ตารางที่ 4.36 และ 4.38)

6) อภิปรายผลการทดลองชุดที่ 6 ใช้ความยาวช่วงชัก 1/2 นิ้ว ความสูงของเวียร์ 2 1/2 นิ้ว

- ผลการทดลองชุดนี้ให้หัวแร่ที่สะอาดกว่าการทดลองชุดที่ 5 คือ มีปริมาณแร่ต่ำ กว่า แต่ให้อัตราการเก็บแร่ได้เพียง 37.94 % (ดูตารางที่ 4.36) ขนาด -8 +18 เมช ให้อัตราการเก็บแร่ได้ 43.90 % (ดูตารางที่ 4.38 ประกอบ) ซึ่งถือว่าต่ำ

อนึ่ง ในการทดลองชุดการทดลองชุดที่ 1 (ความยาวช่วงชัก 3/8 นิ้ว ความสูงของเวียร์ 2 นิ้ว) ทั้งที่ใช้ถ่านลิกไนต์เกรดเดียวกัน และการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเกรดของถ่านหิน ก็จะทำให้ผลใกล้เคียงกันมาก คือ สามารถลดปริมาณแร่ในหัวแร่ลงได้มาก และให้อัตราการเก็บแร่ได้สูง (ตารางที่ 4.40 และ 4.41) แสดงว่าที่สภาวะของจิ๊กดงการทดลองที่ 1 นี้สามารถแต่งถ่านได้ ไม่ว่าเกรดของถ่านจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นไร

จากผลการทดลองทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการปรับระยะความยาวช่วงชัก ในขณะที่มอเตอร์ มีความเร็วคงที่ 290 รอบต่อนาที จะทำให้ไดอะแฟรม (Diaphragm) ซึ่งต่อกับก้านสูบ ทำหน้าที่กระพือ และดูดในจังหวะที่เปลี่ยนไปด้วย ในที่นี้การเพิ่มระยะช่วงชักจาก 3/8 นิ้ว เป็น 1/2 นิ้ว ทำให้แผ่นไดอะแฟรมเคลื่อนที่ช้าลง ถ่านและมลทินจึงมีเวลาตกตัวเพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการเก็บแร่ได้ (%)

Yield) ลดลง แต่จะได้หัวแร่ที่สะอาดขึ้นคือ มีปริมาณเถ้าในหัวแร่น้อยลง นั่นคือ การเพิ่มระยะช่วงชัก ทำให้ได้ปริมาณหัวแร่ที่เก็บได้ลดลง แต่ปริมาณเถ้าในหัวแร่ก็ลดลงด้วย

การปรับความสูงของเวียร์ มีผลโดยตรงต่อถ่านหรือมลทินที่จะเคลื่อนตัวออกมาทางด้านช่องปล่อย เพราะการกระจายตัวของอนุภาคในจึก เป็น 3 ระดับ คือ สูงสุดหรือ Transporting layer, Roughing Layer และ Separating Layer จะขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของตัวมันเอง ระดับความสูงของเวียร์เป็นตัวแบ่งว่า อนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในระดับใดจะต้องไหลออกมาทางช่องปล่อยอนุภาคในระดับใดที่จะกักไว้ไม่ให้ไหลออกมาและจะต้องจมตัวผ่านชั้นของเม็ดลูกจึกและตะแกรงลงไปสู่ห้องล่างของจึก ดังนั้นการปรับความสูงของเวียร์จึงเป็นการปรับหาระดับที่คิดว่าแร่และมลทินแยกออกจากกัน เพื่อใช้เวียร์เป็นตัวปิดกั้นไม่ให้มลทินลอยเคลื่อนตัวออกมาได้ แต่ปล่อยถ่านให้หลุดออกมานั่นเอง

การปรับเวียร์ให้สูงขึ้นในการแต่งถ่านหินนี้จึงทำให้ได้เปอร์เซ็นต์หัวแร่ที่เก็บได้ลดลง แต่จะได้หัวแร่ที่สะอาด มีปริมาณเถ้าต่ำ

#### 4.4.1.2 สรุปผลการแต่งถ่านหินด้วยจึก

มีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการแต่ง ดังนี้

##### 1) ความสูงของเวียร์

- การปรับเวียร์ให้สูงขึ้น ทำให้ได้ % Yield ลดลง แต่จะได้หัวแร่สะอาดขึ้นคือ มี % เถ้าในหัวแร่น้อย

##### 2) ความยาวช่วงชัก

- ความยาวช่วงชักมาก ทำให้ได้ % Yield ลดลง แต่ได้หัวแร่สะอาดขึ้น

##### 3) อัตราการป้อน<sup>22)</sup>

- อัตราการป้อนตัวอย่างถ่านหิน จะแปรผันตรงกับปริมาณ ash และปริมาณแร่ที่แต่งได้ ในส่วนของหัวแร่

##### 4) อัตราการไหลของน้ำ<sup>22)</sup>

- ปริมาณเถ้า และปริมาณแร่ที่แต่งได้ของหัวแร่จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของน้ำ

รวมทั้งตัวแปรอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่น แรงขนาดโตกว่าจะให้ Yield น้อยกว่าแรงขนาดเล็ก ซึ่งให้ Yield สูงกว่าแต่ให้ % เถ้า ในหัวแร่มากกว่าด้วย หรือความเร็วของมอเตอร์ ความหนาของชั้นจึก ลักษณะการป้อนแร่ แม้กระจายดีหรือไม่ ขนาดของช่วงตะแกรงที่สัมพันธ์กับขนาดของแร่ เป็นต้น

ในการแต่งถ่านหินด้วยจึกนี้ ถือเป็นการแต่งถ่านหินที่วิธีหนึ่ง และกำลังได้รับความนิยมในภาคอุตสาหกรรมในขณะนี้โดยอาศัยข้อมูลจากการวิจัย และค้นคว้าในครั้งนี พอดีจะกำหนดหลักเกณฑ์คร่าวๆ ในการแต่งถ่านหินด้วยจึก เพื่อปรับแก้ในส่วนของการแต่งแร่ให้ดีขึ้น ได้ดังนี้

- 1) กรณีที่การแต่งถ่านหินให้ Yield น้อย
  - เพิ่มอัตราการป้อนแร่ และอัตราการไหลของน้ำ
  - ปรับระยะช่วงชักให้เหมาะสม โดยอาจลดระยะช่วงชักลงได้เล็กน้อย
  - ลดความสูงของเวียร์ลง
- 2) กรณีที่การแต่งถ่านหินในหัวแร่ที่ไม่สะอาดพอ คือ ยังมีมลทิน หรือ % ถ่านในหัวแร่สูงอยู่
  - ลดอัตราการป้อนแร่ และอัตราการไหลของน้ำลง
  - เพิ่มความสูงของเวียร์
  - เพิ่มระยะช่วงชัก

จากการแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยจิ๊ก ภายได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด (ตารางที่ 4.36 และ 4.37) พบว่าขนาด -4 +8 เมช สามารถแต่งถ่านลิกไนต์ให้มีเถ้าลดลง 17 % เหลือเพียง 3 % และเพิ่มค่าความร้อนขึ้นจาก 5485.8 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 5736.2 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และขนาด -8 +18 เมช สามารถแต่งถ่านลิกไนต์ให้มีเถ้าลดลง 12.7 % เหลือเพียง 4 % และเพิ่มค่าความร้อนขึ้นจาก 5328.9 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 5694.1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และถ้าพิจารณาทั้งกระบวนการตั้งแต่การบดและคัดขนาด การกำจัดฝุ่นและการแต่งขั้นสุดท้ายด้วยจิ๊ก พบว่าขนาด -4 +8 เมช สามารถแต่งถ่านลิกไนต์ให้มีเถ้าลดลง 90.6 % (จาก 32 % เป็น 3 %) และเพิ่มค่าความร้อนได้ 51.7 % (จาก 3780.8 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 5736.2 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) และขนาด -8 +18 เมช สามารถแต่งถ่านลิกไนต์ให้มีเถ้าลดลง 90.0 % (จาก 40 % เป็น 4 %) และเพิ่มค่าความร้อนได้ 32.9 % (จาก 4284.8 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 5694.1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

#### 4.4.2 ผลการวิจัยการแต่งถ่านหินด้วยโต๊ะสั่น

สำหรับการแต่งด้วยโต๊ะสั่น ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองก็คือ

1. ขนาดของอนุภาค หรือเม็ดถ่านหินที่แต่ง
2. ความเร็วรอบ
3. ความยาวช่วงชัก
4. ความเอียงของโต๊ะ
5. อัตราการป้อน
6. อัตราน้ำล้าง
7. ความหนาแน่นของของผสม

สำหรับการทดลองนี้ ได้ทดลองโดยใช้โต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการและขนาดโรงประลองและได้ทำการทดลองโดยแปรตัวแปรเพียง 4 ตัวแปร คือ ขนาดของอนุภาค ความเอียงของโต๊ะ อัตราการป้อน และความหนาแน่นของของผสม โดยจะกำหนดค่าตัวแปรอื่นๆ ไว้คงที่โดยจะใช้ค่าที่ได้จากการพิจารณาเลือกจากรายงานการทดลองที่มีผู้ทำการศึกษาไว้<sup>(23)</sup> ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 4.42-4.49

#### 4.4.2.1 การอภิปรายผลตัวแปรที่ทดลองของโตะต้นขนาดห้องปฏิบัติการ

##### 1) อภิปรายการทดลองการแปรอัตราการป้อน

จากการแปรค่าอัตราการป้อน โดยการใช้ถ่านป้อนจำนวน 0.5 กก. แล้วป้อนให้หมดในเวลาต่างๆ กัน คือ 30 45 60 75 และ 90 วินาที ตามลำดับพบว่าที่เวลาป้อนน้อยกว่า 30 วินาที นั้น จะทำให้เกิดการสูญเสียของถ่านไปมากที่สุดในระหว่างการแต่ง เพราะว่าถ่านจะลั่นออกไปที่ตัวป้อน สำหรับการคำนวณหาอัตราการป้อนนั้นจะคำนวณโดยการเอาน้ำหนักถ่านที่เก็บได้ทั้งหมดหารด้วยเวลาป้อนที่ใช้ และจากการสังเกตระหว่างทดลอง พบว่า

เวลาป้อนที่ 30 วินาที จะเก็บเปอร์เซ็นต์หัวแร่โดยน้ำหนักได้มากที่สุด คือ อยู่ในช่วง 65-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และหาค่าปริมาณถ่านได้เฉลี่ยสูงสุด คือ อยู่ในค่าประมาณ 5 % ขึ้นไป

เวลาป้อนที่ 45 วินาที จะเก็บหัวแร่ได้ประมาณเฉลี่ย 60-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และหาค่าปริมาณถ่านได้เฉลี่ยประมาณ 3-4 % หาอัตราการป้อนได้เฉลี่ยประมาณ 36 กก.ต่อชม.

เวลาป้อนที่มากกว่า 45 วินาที แม้ว่าจะหาค่าปริมาณถ่านได้ต่ำสุด โดยเฉลี่ยคือน้อยกว่า 3 % แต่ปริมาณถ่านที่เก็บได้เฉลี่ยแล้วต่ำกว่า 50 % โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างถ่านป้อนทั้งสองขนาด คือ ขนาด -18 +35 เมช กับขนาด -35 +60 เมช จะพบว่าเปอร์เซ็นต์หัวแร่ที่เก็บได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ปริมาณถ่านนั้น ขนาด 18 +35 เมช มีปริมาณถ่านของหัวแร่เฉลี่ยประมาณ 4 % และที่ขนาด -35 +60 เมช นั้น มีค่าปริมาณถ่านเฉลี่ยประมาณ 5 %

##### 2) อภิปรายผลการแปรค่าความหนาแน่นของผสม

จากตารางที่ 4.41 และ 4.42 ที่ความเอียงของโตะตามแนวขวางเท่ากัน ไม่พบว่าการทดลองที่ความหนาแน่นของผสม 25 % และ 40 % จะให้ผลที่แตกต่างกันของถ่านลิกไนต์ทั้งสองขนาด โดยที่พิจารณาผลที่ได้ที่เหมาะสมที่สุด และโดยที่การพิจารณาผลการทดลองที่อัตราการป้อนค่าเดียวกัน ทั้งสองขนาด คือ ที่อัตราการป้อนในช่วง 35-40 กก.ต่อชม. คือ พิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์หัวแร่ที่เก็บได้กับปริมาณถ่านรวมกัน

##### 3) อภิปรายผลการแปรค่าความเอียงของโตะ

จากตารางที่ 4.42 และ 4.43 โดยใช้หลักการพิจารณาการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดเหมือนกับการแปรค่าความหนาแน่นของผสม และพิจารณาอัตราการป้อนในช่วง 35-40 กก.ต่อชม. พบว่าไม่เห็นความแตกต่างของผลการทดลองจากการปรับความเอียงของพื้นโตะเป็น 1 และ 2 องศา

#### 4.4.2.2 การทดลองแต่งด้วยไ้ตะขนาดโรงประลอง

ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตาราง 4.43 และ 4.46 โดยพบว่าที่ขนาด -18 +35 เมช เก็บหัวแร่ได้ถึง 80 % มีปริมาณถ้ำ 6.07 % โดยมีค่าความร้อน 5785.60 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และขนาด -35 +60 เมช เก็บหัวแร่ได้เพียง 69.9 % ปริมาณถ้ำ 7.3 และค่าความร้อนได้ 5681.6 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

ในการทดลองแต่งด้วยไ้ตะขนาดโรงประลองโดยรวมถ้ำทั้ง 2 ขนาดเข้าด้วยกัน ปรากฏว่าผลการทดลองจะเก็บหัวแร่ได้ 73.6 % มีปริมาณถ้ำ 6.6 % และความร้อนได้ 5681.6 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งการทดลองครั้งนี้เก็บผลการทดลองเฉพาะหัวแร่กับหางแร่เท่านั้น

#### 4.4.2.3 อภิปรายผลการแต่งทั้งกระบวนการ

จากตารางที่ 4.48 และ 4.49 พบว่าในขั้นตอนการบดและคัดขนาดสามารถที่จะลด % ถ้ำจาก 35.42 % ลงเป็น 11 % จึงทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นจาก 1803.9 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 2000-3000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เนื่องจากมลทินพวกดินเหนียวมีการแตกตัวเนื่องจากการบดเร็วมาก มีขนาดละเอียดกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อถ่านลิกไนต์ แล้วการคัดขนาดจึงสามารถกำจัดส่วนนี้ลงไปสู่ช่วงขนาดที่เล็กกว่าได้ แต่อย่างไรก็ตามที่ผิวถ่านลิกไนต์เหล่านี้ก็ยังมีฝุ่นดินเหนียวอยู่มาก จึงได้ทำการกำจัดฝุ่นก่อนเข้ากระบวนการแต่งโดยใช้ไ้ตะ และพบว่าสามารถที่จะลดถ้ำลงได้ และทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นเป็น 4600-4900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลจากการแต่งแร่โดยใช้ไ้ตะสั้น ทำให้ถ้ำลดลงเหลือเพียงประมาณ 6-7 % และมีค่าความร้อนเป็น 5700 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ด้วย Yield ประมาณ 70 %

**ตารางที่ 4.42 แสดงการแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยโต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ**

สภาวะ SIZE -18 +35 mesh

WSAH WATER 250 ML/S STROKE 1.2 CM.

SPEED 220 rpm.

% SOLID	SLOPE (Degree)	FEED RATE (KG/HR)	WASHED COAL		MIDDLING		REFUSE	
			% WT.	% ASH	% WT.	% ASH	% WT.	% ASH
		55.74	66.78	8.70	22.34	11.43	10.88	50.90
		34.54	57.49	5.42	36.60	11.27	5.92	70.22
	2.00	24.77	56.05	5.70	30.84	8.63	13.11	38.00
		20.37	35.09	8.23	59.79	11.38	5.12	78.34
		17.25	31.65	5.60	53.19	6.65	15.15	24.66
25								
		50.61	66.23	5.76	27.31	13.78	6.46	61.74
		38.89	81.67	6.27	12.43	15.19	5.90	70.27
	1.00	28.65	51.73	6.83	41.26	12.60	7.01	52.08
		22.15	68.33	6.38	23.32	11.98	8.35	58.55
		17.57	35.13	6.07	51.68	11.20	13.19	44.56
		45.35	56.93	6.25	36.62	10.44	6.45	70.61
		31.83	57.17	5.64	36.71	12.38	6.12	74.25
	2.00	26.45	57.18	6.09	32.13	10.00	10.69	49.88
		22.60	46.62	3.47	50.05	10.25	3.33	86.82
		16.95	45.87	5.45	39.36	7.39	14.78	41.74
40.00								
		48.61	66.03	6.80	19.04	7.07	14.93	38.49
		35.02	66.16	5.26	28.85	14.02	4.99	79.90
	1.00	26.06	56.77	6.18	29.07	8.94	14.16	41.11
		23.41	57.27	6.22	37.79	11.30	4.93	78.94
		17.50	44.86	4.72	34.11	7.59	21.03	31.20



**ตารางที่ 4.48 แสดงการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์ด้วยโต๊ะสั่นขนาดห้องปฏิบัติการ**

**สภาวะ SIZE -35 +60 mesh**

**WSAH WATER 250 ML/S STROKE 1.2 CM.**

**SPEED 220 rpm.**

% SOLID	SLOPE (Degree)	FEED RATE (KG/HR)	WASHED COAL		MIDDLING		REFUSE	
			% WT.	% ASH	% WT.	% ASH	% WT.	% ASH
		45.66	79.10	4.92	17.62	8.34	3.28	29.43
		34.22	68.95	4.39	28.69	10.97	2.36	54.33
	2.00	23.49	54.02	4.72	35.49	6.69	10.49	19.00
		15.69	51.76	3.50	46.17	9.17	2.06	56.84
		13.42	43.69	2.13	41.65	5.09	14.66	20.00
25.00								
		56.84	68.78	5.46	29.59	6.52	11.63	21.33
		37.41	66.65	4.56	27.08	10.16	6.27	28.67
	1.00	29.32	34.29	2.74	61.92	7.50	3.79	27.39
		21.58	48.06	3.19	45.80	7.42	6.14	29.68
		19.65	21.47	3.30	71.19	5.00	7.34	20.59
		49.58	70.13	4.23	20.86	7.30	9.00	24.27
		37.93	65.09	4.11	33.13	10.68	1.75	71.08
	2.00	21.55	52.62	2.23	43.63	8.58	3.75	24.36
		16.38	48.52	1.11	48.26	7.09	3.21	37.23
		16.62	38.50	4.20	55.17	10.92	6.33	35.51
40.00								
		43.75	67.15	3.97	25.60	8.37	7.25	29.24
		36.28	61.04	3.09	35.57	8.56	3.40	41.87
	1.00	24.31	38.66	2.99	49.70	6.26	11.64	23.73
		20.30	52.74	3.61	42.51	7.03	4.75	38.25
		18.26	33.86	4.20	51.87	10.92	14.27	35.51

**ตารางที่ 4.44** แสดงการทดลองการหาสภาวะการแต่งที่ดีที่สุด โดยใช้โต๊ะสั่นขนาดห้อง  
ปฏิบัติการพิจารณาหัวแร่

Size (mesh)	% Solids	Slope (degree)	Speed (rpm)	Stroke (cm)	Flowrate kg/hr	% Wt.	% Ash	Heating value kcal/kg
-18+35	40	1	220	1.2	36.3	61.0	3.09	5436.7
-35+60	40	1	220	1.2	35.0	66.2	5.26	5728.3

**ตารางที่ 4.45** ผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์โดยใช้โต๊ะสั่นขนาดโรงประลอง

Results	Weight (g.)	% Wt.	% Ash	Heating value (Kcal/Kg)
Washed coal	4001.04	80.02	6.07	5785.60
Middling	577.97	11.56	21.32	-
Refuse	197.96	3.96	66.81	-
Loss	223.04	4.96	-	-
Feed	5000.00	100.00	-	4906.7

#### สภาวะการทดลอง

- ขนาด -18 +35 เมช
- อัตราการป้อน 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- ความยาวช่วงชัก 1.2 ซม.
- ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที
- ความเอียงของโต๊ะ 1 องศา
- ความหนาแน่นของผสม 40 %

ตารางที่ 4.46 ผลการทดลองแต่งถ่านลิกไนต์โดยใช้โตะสันขนาดโรงประลอง

Results	Weight (g.)	% Wt.	% Ash	Heating value (Kcal/Kg)
Washed coal	3495.42	69.90	7.30	5681.60
Middling	1034.76	20.70	24.40	-
Refuse	209.98	4.20	55.40	-
Loss	223.04	5.20	-	-
Feed	5000.00	100.00	-	4692.4

สภาวะการทดลอง

- ขนาด -35 +60 เมช
- อัตราการป้อน 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- ความยาวช่วงชัก 1.2 ซม.
- ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที
- ความเอียงของโตะ 1 องศา
- ความหนาแน่นของผสม 40 %

**ตารางที่ 4.47** แสดงผลการทดลองโดยถ่านลิกไนต์ทั้งสองขนาดรวมกัน และเก็บผลการทดลองที่ได้เพียงหัวแร่และหางแร่

Size (mesh)	Results	% Weight	% Ash	Heating value (Kcal/Kg)
-18 +60	Washed coal	73.60	6.60	5775.2 *
	Refuse	20.40	56.82	-
	Loss	6.00	-	-
	Feed	100.00	9.45	4799.5 *

**สภาวะการทดลอง**

- อัตราการป้อน 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- ความยาวช่วงชัก 1.2 ซม.
- ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที
- ความเอียงของโต๊ะ 1 องศา
- \* เป็นค่าเฉลี่ยของถ่านลิกไนต์ทั้งสองขนาด

**ตารางที่ 4.48** แสดงค่าความร้อนและเปอร์เซ็นต์เถ้าของถ่านลิกไนต์จากหน้าเหมืองและถ่านลิกไนต์ที่ผ่าน ขนาด -18 mesh +35 mesh

Type	%Yield	Heating Value (Kcal/Kg)	% Ash
Run of Mine	100.00	1803.9	35.42
B.W. Coal	100.00	3084.4	10.50
A.W. Coal	74.60	4906.7	8.30
A.T. Coal	80.02	5785.6	6.08

**หมายเหตุ**

Run of Mine	=	ถ่านลิกไนต์จากบริเวณหน้าเหมือง
B.W. Coal	=	ถ่านลิกไนต์บดก่อนกำจัดฝุ่น
A.W. Coal	=	ถ่านลิกไนต์บดหลังจากกำจัดฝุ่น
A.T. Coal	=	ถ่านลิกไนต์หลังจากการแต่งโดยใช้โต๊ะสั่น

**ตารางที่ 4.49** แสดงค่าความร้อนและเปอร์เซ็นต์เถ้า ของถ่านหินจากหน้าเหมืองและ ถ่านลิกไนต์ที่ผ่านการแต่งจากกระบวนการต่างๆ ในการแต่งโดยใช้โต๊ะสั่น ขนาด -35 +60 เมช

Type	%Yield	Heating Value (Kcal/Kg)	% Ash
Run of Mine	100.00	1803.9	35.42
B.W. Coal	100.00	2276.1	11.20
A.W. Coal	46.70	4692.4	10.60
A.T. Coal	69.90	5681.6	7.10

**หมายเหตุ**

- Run of Mine = ถ่านลิกไนต์จากบริเวณหน้าเหมือง  
 B.W. Coal = ถ่านลิกไนต์บดก่อนกำจัดฝุ่น  
 A.W. Coal = ถ่านลิกไนต์บดหลังจากกำจัดฝุ่น  
 A.T. Coal = ถ่านลิกไนต์หลังจากการแต่งโดยใช้โต๊ะสั่น

#### 4.4.2.4 สรุปผลการทดลองการแต่งด้วยไค้สั้น

ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดของไค้ โดยไค้ขนาดห้องปฏิบัติการ สรุปได้ว่า

1. ไม่สามารถสรุปผลของความเอียงของพื้นไค้และความหนาแน่นของของผสมที่มีต่อการแต่งด้านลึกในครั้งนี้ได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากเทคนิคการตัดและเก็บหัวแร่ และหางแร่ ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญพอสมควร

#### 2. อัตราการป้อน (Feed Rate)

ในขณะที่สภาวะตัวแปรอื่นๆ เหมือนกัน อัตราการป้อนก็จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์หัวแร่ที่เก็บได้ และปริมาณไค้ด้วย นอกจากนี้อัตราการป้อนแรกก็ขึ้นกับขนาดของไค้ด้วย จากการทดลองโดยใช้ขนาดปฏิบัติการ พบว่าอัตราการป้อนแรกที่ทำให้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วง 35-40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

#### 3. ขนาดของเม็ดแร่ที่แต่ง

พบว่าช่วงขนาดที่เลือก 2 ช่วง คือ -18 +35 เมช และ -35 +60 เมช นั้น ให้ผลการแต่งที่ใกล้เคียงกัน

ซึ่งผลการแต่งด้วยไค้ขนาดห้องปฏิบัติการ ของขนาดทั้ง 2 ขนาด สรุปผลได้สภาวะที่ดีที่สุดเหมือนกัน คือ

อัตราการป้อน	35	กก./ชม.
ความเอียง (ตามแนวขวาง)	1	องศา
ความหนาแน่นของของผสม	40	%
ความเร็วรอบ	220	รอบ/นาที
ความยาวช่วงชัก	1.2	ชม.
อัตราไหลน้ำล้าง	18	ลิตร/นาที

#### ผลการแต่งด้วยไค้ขนาดโรงประลอง

ตามสภาวะข้างต้นยกเว้นค่าความเอียงของไค้ที่เอียงกว่า เพราะว่าลูกคั้นของไค้ขนาดโรงประลองมีขนาดโตกว่า และร่องก็ลึกกว่า เพื่อที่จะชดเชยกัน พบว่าได้ผลที่ใกล้เคียงกันกับการทดลองด้วยไค้ขนาดห้องปฏิบัติการ

จากทั้งกระบวนการตั้งแต่นำด้านหินเข้าบดหยาบ จนเสร็จสิ้นการแต่งด้วยไค้สั้น สามารถจะเพิ่มค่าความร้อนได้ถึง 220 % (จาก 1803.9 ได้เป็น 5775.2 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) และลดปริมาณไค้ได้ถึง 81.4 % (จาก % ไค้ 35.42 % ได้เป็น 6.6 %) โดยเฉพาะในขั้นตอนของการกำจัดฝุ่นออก จะเห็นว่าเพียงแค่ขั้นตอนเดียวก็สามารถที่จะลดปริมาณไค้ได้ถึง 73.3 %

(จากเต้า 35.42 % ได้เป็น 9.45 %) และเพิ่มค่าความร้อนได้ถึง 166 % (จาก 1803.9 ได้เป็น 4799.5 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

#### 4.4.3 สรุปผลทั้งกระบวนการการแต่งถ่านหินขนาดหยาบ (ด้วยจิ๊กและโต๊ะสั่น)

จากการศึกษาออกแบบกระบวนการแต่งถ่านลิกไนต์ ขนาดหยาบด้วยจิ๊ก และโต๊ะสั่นตามที่ได้ออกแบบกระบวนการไว้ในเบื้องต้น สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 4.13

ในเบื้องต้นถ่านลิกไนต์จะถูกป้อนเข้าเครื่องบดแบบจอร์วี่ ขนาด 6x12 นิ้ว ซึ่งมีอัตราการบด 432 กก./ชม. ที่ปากเปิด 1 ซม. การบดในขั้นตอนนี้จะมีการสูญเสียไปในกระบวนการ 1 % จากแร่ป้อนทั้งหมดที่คิดเป็น 100 %

ผลจากการบดด้วยเครื่องบดแบบจอร์วี่นี้ ได้ทำการวิเคราะห์ขนาดไว้ในภาคผนวกแล้ว นำถ่านลิกไนต์ที่ได้มาตะแกรงแยกเป็น 3 ขนาด คือ -4 +8 และ -8 +18 เมช เพื่อให้แต่งด้วยจิ๊ก และขนาดที่โตกว่า 4 เมช, ขนาดที่เล็กกว่า 18 เมช จะถูกส่งไปยังเครื่องบดแบบโรราทอรี่เพื่อบดให้ได้ขนาด -18 +60 เพื่อใช้แต่งด้วยโต๊ะสั่นต่อไป

จากผลวิเคราะห์ขนาดของถ่านที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบโรราทอรี่ ซึ่งมีอัตราการบด 42 กก./ชม. จะได้ถ่านขนาดที่แต่งด้วยจิ๊กอีกส่วนหนึ่ง และถ่านขนาด -18 +60 ที่ใช้แต่งด้วยโต๊ะสั่น ส่วนขนาดที่เล็กกว่า 60 จะเก็บไว้แต่งด้วยกระบวนการอื่นๆ ต่อไป

ถ่านที่ได้จากเครื่องบดแบบจอร์วี่ จะถูกคัดขนาด -4 +18 เมช ไปแต่งด้วยจิ๊ก และเหลือผ่านเข้าเครื่องบดแบบโรราทอรี่ 68.4 %

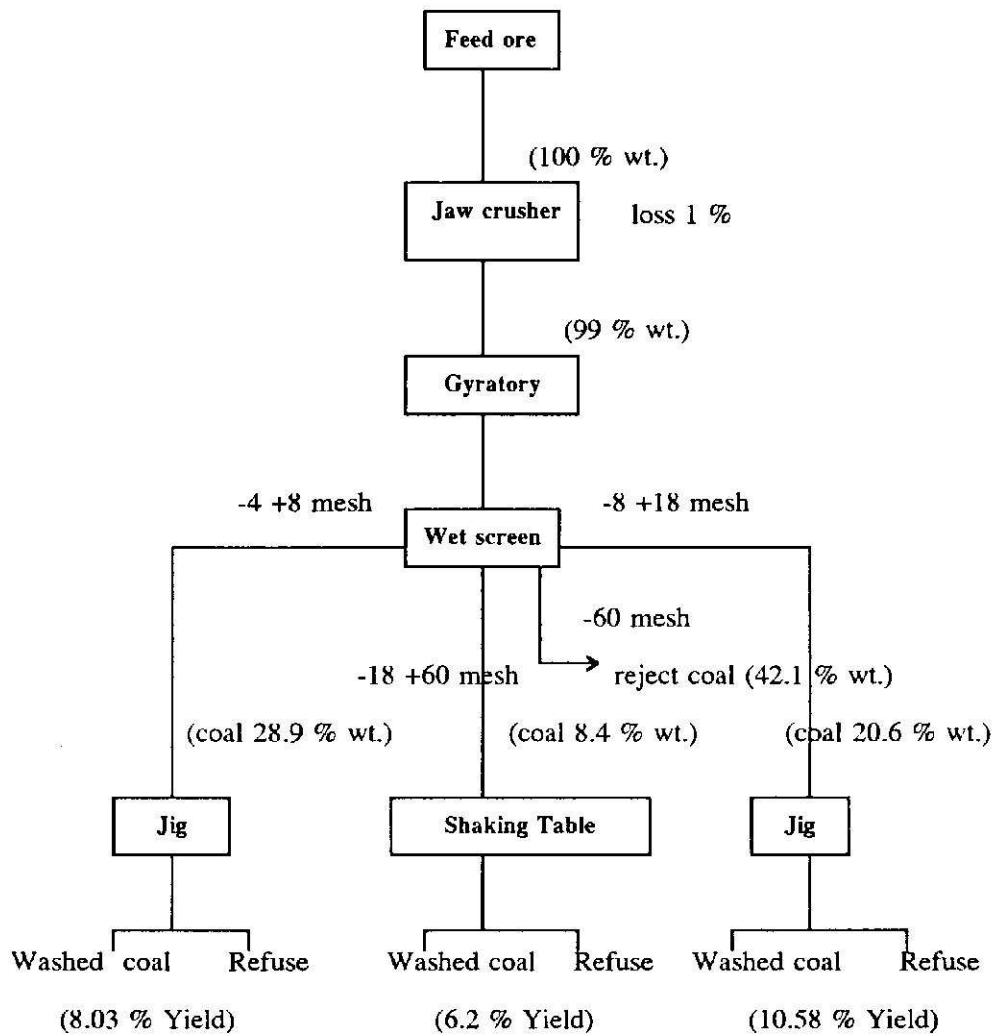
เครื่องบดแบบโรราทอรี่ จะให้ถ่าน -4 +18 เมช ที่ใช้แต่งกับจิ๊กอีก 46.8 % ให้ขนาด -18 +60 เมช ที่ใช้แต่งกับโต๊ะสั่น 13.8 % เหลือเป็นขนาดเล็กกว่า 60 เมช 7.8 % ซึ่งจะเก็บไว้ใช้แต่งกับกระบวนการอื่นๆ

ดังนั้นการป้อน 100 % ในตอนแรก จะถูกนำไปแต่งด้วยจิ๊กคิดเป็น 79.4 % และแต่งด้วยโต๊ะสั่น 13.8 % ภายหลังจากทำการกำจัดฝุ่นแล้ว จะมีเนื้อถ่านและมลทินเข้าจิ๊กเพียง 49.5 % เข้าโต๊ะสั่น 8.4 % โดยน้ำหนักเท่านั้น เพราะว่ามีฝุ่นผงปนเปื้อนอยู่มาก จึงถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการกำจัดฝุ่นนั่นเอง

จากผลการทดลองสามารถเก็บถ่านหินจากโต๊ะสั่นได้ 6.2 % (จาก 8.4 % โดยน้ำหนัก) และจากจิ๊กได้ประมาณ 19 % คือ ขนาด -4 +8 เมช เก็บได้ 8.03 % ขนาด -8 +18 เมช เก็บได้ 10.58 % รวมเป็น 18.61 % (จาก 49.5 % โดยน้ำหนัก)

ดังนั้นถ่านหินป้อนสู่กระบวนการ 100 % โดยน้ำหนัก สามารถเก็บถ่านหินได้รวม 24.81 % ซึ่งคิดเป็นประมาณ 50 % Yield ของถ่านหินที่เข้าสู่การแต่งด้วยโต๊ะสั่นและจิ๊ก และสามารถเพิ่มค่าความร้อนจากเดิมประมาณ 3700 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม มาเป็นประมาณ 5700 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ทั้งในหัวถ่านหินที่แต่งโดยจิ๊กและโต๊ะสั่น สามารถลดเต้าในถ่านหินป้อนจาก 35 % มาเป็นประมาณ 3-6 % ในถ่านหินที่แต่งแล้ว





รูปที่ 4.11 แสดงแผนผังกระบวนการแต่งถ่านลิกไนต์สะอาด

## 4.5 ผลการวิจัยแต่งถ่านหินขนาดละเอียด

### 4.5.1 ผลการวิจัยแต่งถ่านหินด้วยวิธีลอยแร่

การวิจัยนี้เป็นแนวทางการศึกษาการลอยถ่านหินออกจากมลทิน โดยใช้เครื่องลอยแร่ Denver พิจารณาผลการลอยจากเปอร์เซ็นต์ของการเก็บถ่านหินได้เปอร์เซ็นต์ถ่าน และปริมาณค่าความร้อนของถ่านหิน ในตอนแรกของการทดลองได้อาศัยเงื่อนไขและการใช้ ชนิด และปริมาณสารเคมีจากตำราและเอกสารการทดสอบต่างๆ ที่ได้จากผู้ทำการทดลองไว้แล้ว<sup>24-25)</sup> เพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีในตอนแรกๆ ของการทดลองถ่านหินเหล่านี้ไม่ได้ผล จึงได้ทดลองเปลี่ยนแปลงชนิดน้ำยาเคมี และปริมาณที่ใช้และปรับ pH ให้มีค่าสูงขึ้น (สภาพการลอยเป็นค่ามากขึ้น) พร้อมกับวิเคราะห์ผลทดลองแล้วปรับปรุงให้ดีขึ้น ได้ทดลองแปรค่าตัวแปรตัวหนึ่ง ในขณะที่ตัวแปรตัวอื่นคงที่ และนำผลที่เหมาะสมจากตัวแปรนี้มาใช้ทดลองแปรค่าตัวแปรอื่นๆ ต่อไป ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.50-4.60 และรูปที่ 4.14-4.19

ตารางที่ 4.50 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในปริมาณดังนี้ 2,4,6,8 และ 10 กิโลกรัมต่อตัน โดยมีสภาวะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 7, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Collector (Kg/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
2	14.37	34.60	2710.00	84.40	34.26	2689.40	14.37
4	21.30	34.68	2710.60	78.06	34.30	2705.10	21.30
6	24.56	34.93	2697.80	75.27	34.26	2700.50	24.56
8	30.96	34.47	2715.60	68.25	34.40	2700.50	30.96
10	20.39	34.16	2715.00	77.63	34.56	2710.00	20.39

ตารางที่ 4.51 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในปริมาณดังนี้ 2,4,6,8 และ 10 กิโลกรัมต่อตัน โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 8, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Collector (Kg/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
2	13.26	32.69	2813.30	86.74	35.62	2699.40	13.26
4	23.58	32.06	2823.30	76.42	35.48	2691.70	23.58
6	33.24	32.08	2870.80	66.76	35.56	2683.80	33.24
8	43.88	31.45	2901.70	56.72	35.90	2599.40	43.88
10	40.27	31.39	2964.10	59.73	36.02	2591.10	40.27

ตารางที่ 4.52 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในปริมาณดังนี้ 2,4,6,8 และ 10 กิโลกรัมต่อตัน โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 9, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Collector (Kg/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
2	17.48	28.57	3287.20	82.52	36.89	2522.80	17.48
4	28.56	27.65	3336.10	71.74	37.21	2455.60	28.26
6	43.35	27.17	3448.80	56.65	37.38	2403.90	43.35
8	56.98	27.21	3420.60	43.02	37.62	2402.80	56.98
10	45.71	27.79	3396.10	54.29	37.45	2389.40	45.71

ตารางที่ 4.53 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในปริมาณดังนี้ 2,4,6,8 และ 10 กิโลกรัมต่อตัน โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 10, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Collector (Kg/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
2	30.65	30.67	3013.90	69.35	36.78	2568.50	30.65
4	38.76	29.06	3092.20	61.24	36.85	2523.90	38.76
6	53.94	28.87	3178.30	46.06	36.64	2494.40	53.94
8	64.71	28.95	3130.60	35.29	36.29	2507.90	64.71
10	67.83	30.26	3087.20	32.17	36.26	2525.00	67.83

ตารางที่ 4.54 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในปริมาณดังนี้ 2,4,6,8 และ 10 กิโลกรัมต่อตัน โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 11, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Collector (Kg/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
2	32.57	30.93	2997.20	67.43	36.53	2597.50	32.57
4	43.38	30.35	3086.10	56.62	36.84	2540.60	43.38
6	59.03	28.97	3158.30	40.97	36.45	2513.80	59.03
8	68.68	29.04	3112.20	31.32	36.67	2528.70	68.68
10	66.24	29.98	3063.30	33.76	35.86	2582.90	66.24

ตารางที่ 4.55 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) ต่างๆ ดังนี้ 50,100,150 และ 200 กรัมต่อตัน โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) 8 กิโลกรัมต่อตัน, ที่ pH 9, ความเร็วใบพัด 1200 RPM, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

Frother (g/ton)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
50	20.47	28.86	3284.40	79.53	36.63	2524.70	20.47
100	46.65	27.32	3349.40	53.35	37.26	2428.30	46.65
150	56.98	27.21	3396.70	43.02	37.62	2397.20	56.98
200	58.84	27.82	3377.80	41.16	37.46	2410.80	58.84

ตารางที่ 4.56 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนความเร็วใบพัดตั้งแต่ 800,900,1000,1100 และ 1200 RPM โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) 8 กิโลกรัมต่อตัน ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 9, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

RPM	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
800	30.25	26.06	3590.60	69.75	38.24	2361.70	30.25
900	42.76	26.21	3556.10	57.24	38.22	2375.00	42.76
1000	52.41	26.48	3548.90	47.59	38.15	2386.10	52.41
1100	57.64	27.03	3474.40	42.36	38.02	2396.10	57.64
1200	56.98	27.21	3406.10	43.02	37.62	2411.70	56.98

ตารางที่ 4.57 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนความเร็วรอบตั้งแต่ 800 และ 900 RPM โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) 2 กิโลกรัมต่อตัน, ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 9, 15 % solids, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

RPM	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
800	10.28	26.79	3510.60	89.72	38.36	2395.60	10.28
900	14.58	26.94	3497.20	58.42	38.10	2432.80	14.58

ตารางที่ 4.58 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนค่าของ % solids ตั้งแต่ 15,20,25 และ 30 % solids ตามลำดับ โดยมีสถานะอื่นดังนี้ ปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในอัตราคงที่ 8 กิโลกรัมต่อตัน, ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine Oil) ในอัตราคงที่ 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 9, ความเร็วใบพัด 1000 RPM, conditioning time 15 นาที และ FLOTATION TIME 15 นาที

% Solids	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
15	52.41	26.48	3552.20	47.59	38.15	2424.40	52.41
20	200.70	28.69	3254.40	99.33	36.60	2538.50	66.90
25	225.49	31.10	2985.00	74.51	36.05	2551.10	75.16
30	389.18	31.95	2876.00	110.82	35.81	2648.90	77.84

ตารางที่ 4.59 แสดงผลเมื่อแปรเปลี่ยนค่าของ conditioning time ตั้งแต่ 5,10 และ 15 นาที โดยมีสถานะอื่นๆ ดังนี้ ปริมาณสารเคลือบผิว (Fuel Oil) ในอัตราคงที่ 8 กิโลกรัมต่อตัน สารเคลือบฟอง (Pine Oil) ในอัตราคงที่ 150 กรัมต่อตัน, ที่ pH 9, ความเร็วใบพัดที่ 1000 RPM, 15 % solids, และ FLOTATION TIME 15 นาที

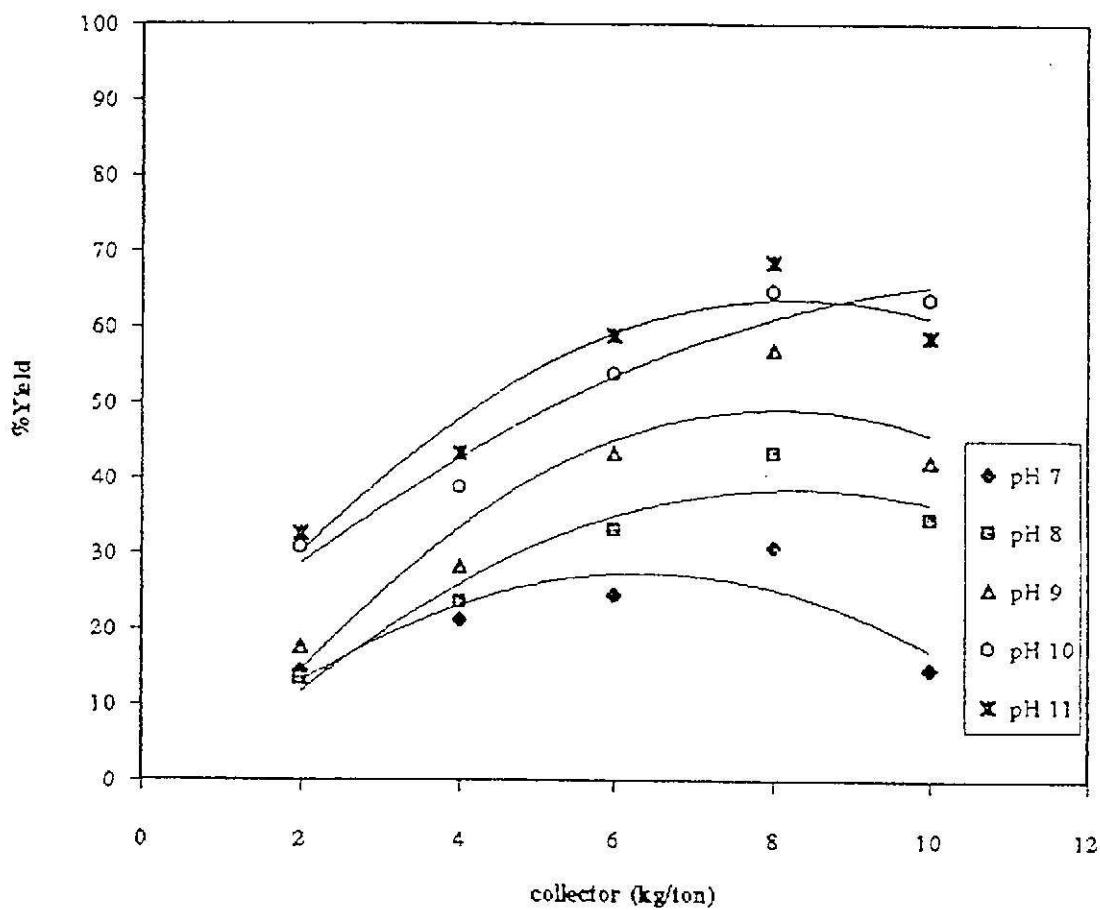
condi- tioning time (min)	washed coal			refuse			% Yield
	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	weight (g)	% ash	calorific value (kcal/kg)	
5	48.95	26.54	3531.90	51.05	38.13	2395.80	48.95
10	50.62	26.38	3554.70	49.38	38.26	2372.60	50.62
15	52.41	26.48	3548.90	47.59	38.15	2386.10	52.41

ตารางที่ 4.60 แสดงผลเมื่อนำตัวอย่างส่วนป้อนก่อนนำไปแต่งด้วยโตะสั้น, ตัวอย่างส่วนป้อนก่อนนำไปแต่งด้วยวิธีการลอยแร่ และตัวอย่างส่วนลอยบางตัวอย่างที่น่าสนใจ คือ มีเปอร์เซ็นต์กำมะถัน มีค่าความร้อนสูง ไปทำการวิเคราะห์หา % INORGANIC SULPHUR

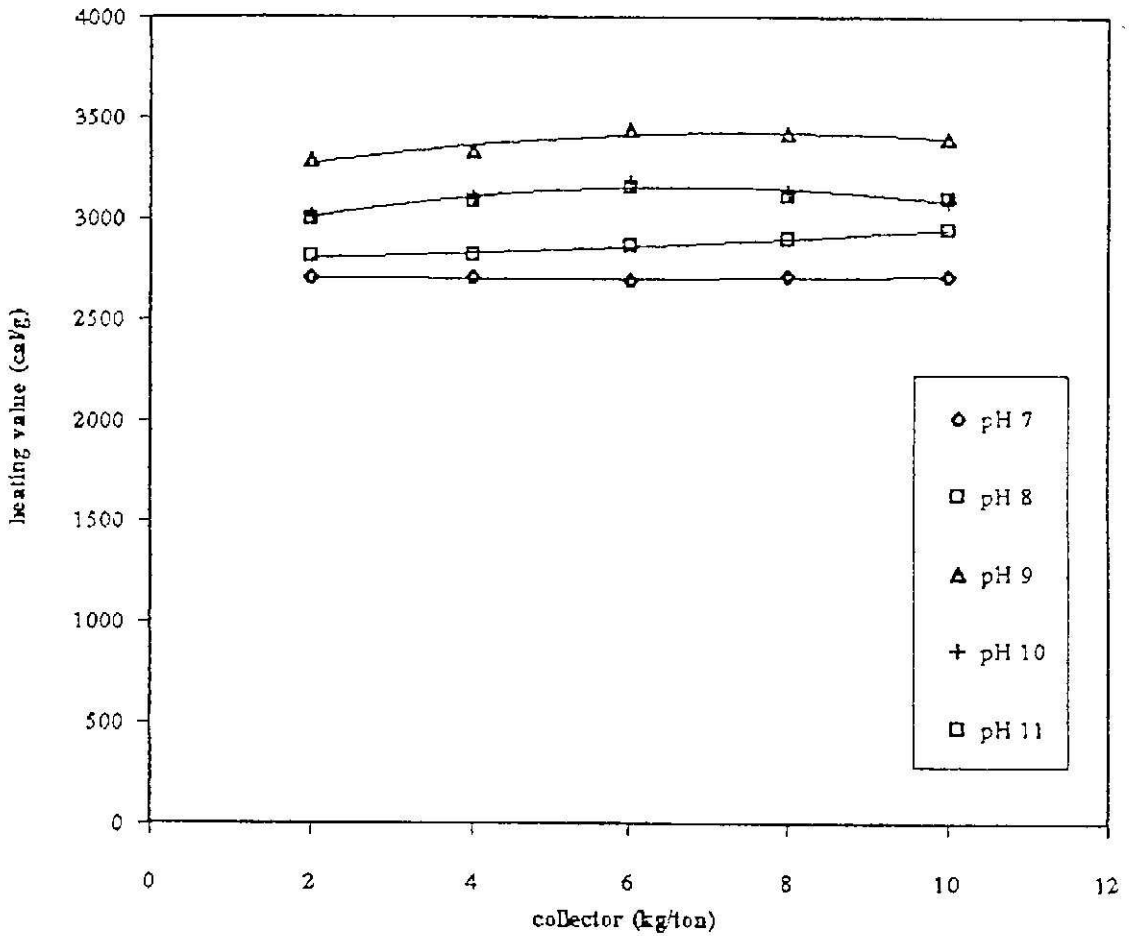
SAMPLE	% INORGANIC SULPHUR
FEED 1	5.29
FEED 2	5.08
FLOAT 1	4.36
FLOAT 2	4.90
FLOAT 3	5.02
FLOAT 4	4.98

- หมายเหตุ**
- FEED 1 เป็นตัวอย่างส่วนป้อนก่อนนำไปแต่งด้วยโตะสั้น
  - FEED 2 เป็นตัวอย่างส่วนป้อนก่อนนำไปแต่งด้วยวิธีการลอยแร่
  - FLOAT 1 เป็นตัวอย่างส่วนลอยที่สภาวะเมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบผิว 8 kg/ton สารเคลือบฟอง 150 g/ton, ที่ pH 9, 15 % Solids, 1200 RPM, Conditioning time 15 นาที และ Flotation Time 15 นาที
  - FLOAT 2 เป็นตัวอย่างส่วนลอยที่สภาวะเมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบผิว 8 kg/ton, สารเคลือบฟอง 150 g/ton, ที่ pH 9, 15 % Solids, 1000 RPM, Conditioning time 15 นาที และ Flotation Time 15 นาที
  - FLOAT 3 เป็นตัวอย่างส่วนลอยที่นำมาลอยซ้ำครั้งที่ 1
  - FLOAT 4 เป็นตัวอย่างส่วนลอยที่นำมาลอยซ้ำครั้งที่ 2

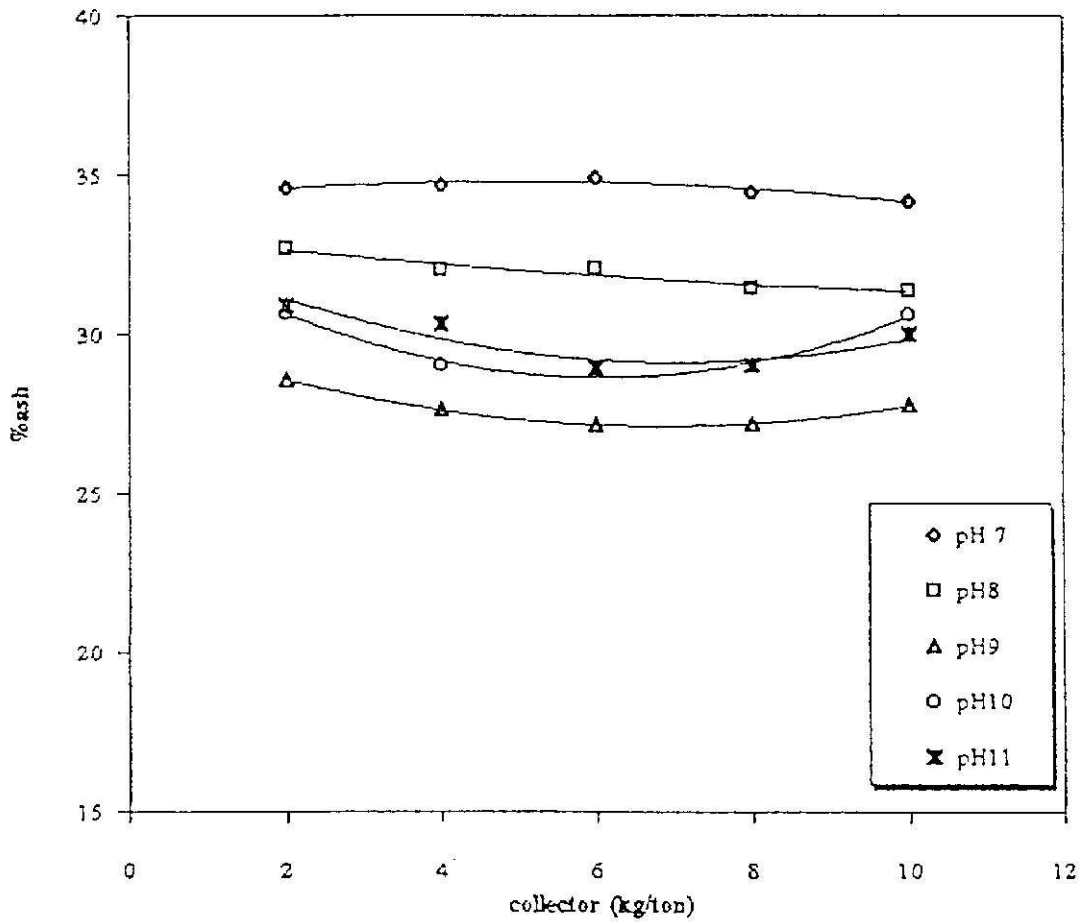




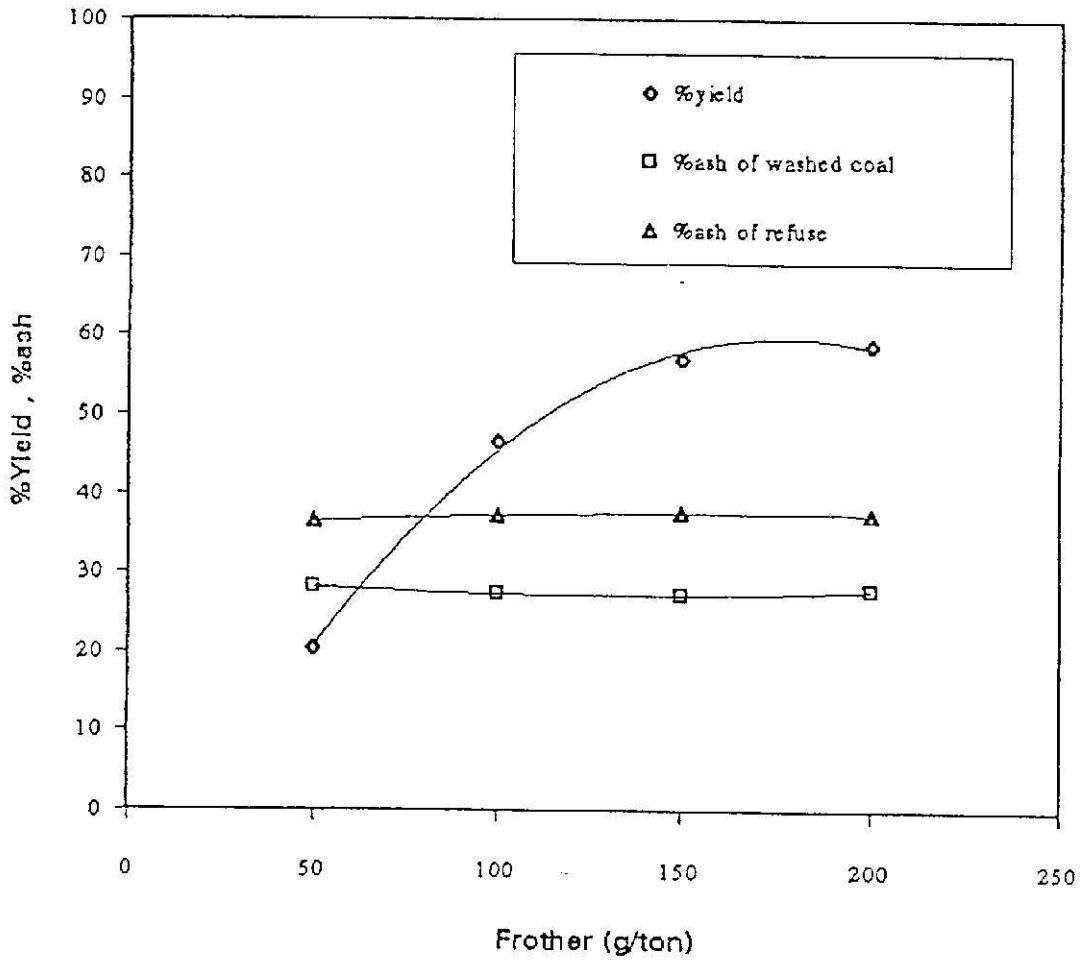
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ collector กับ % Yield  
ที่ pH 7-11



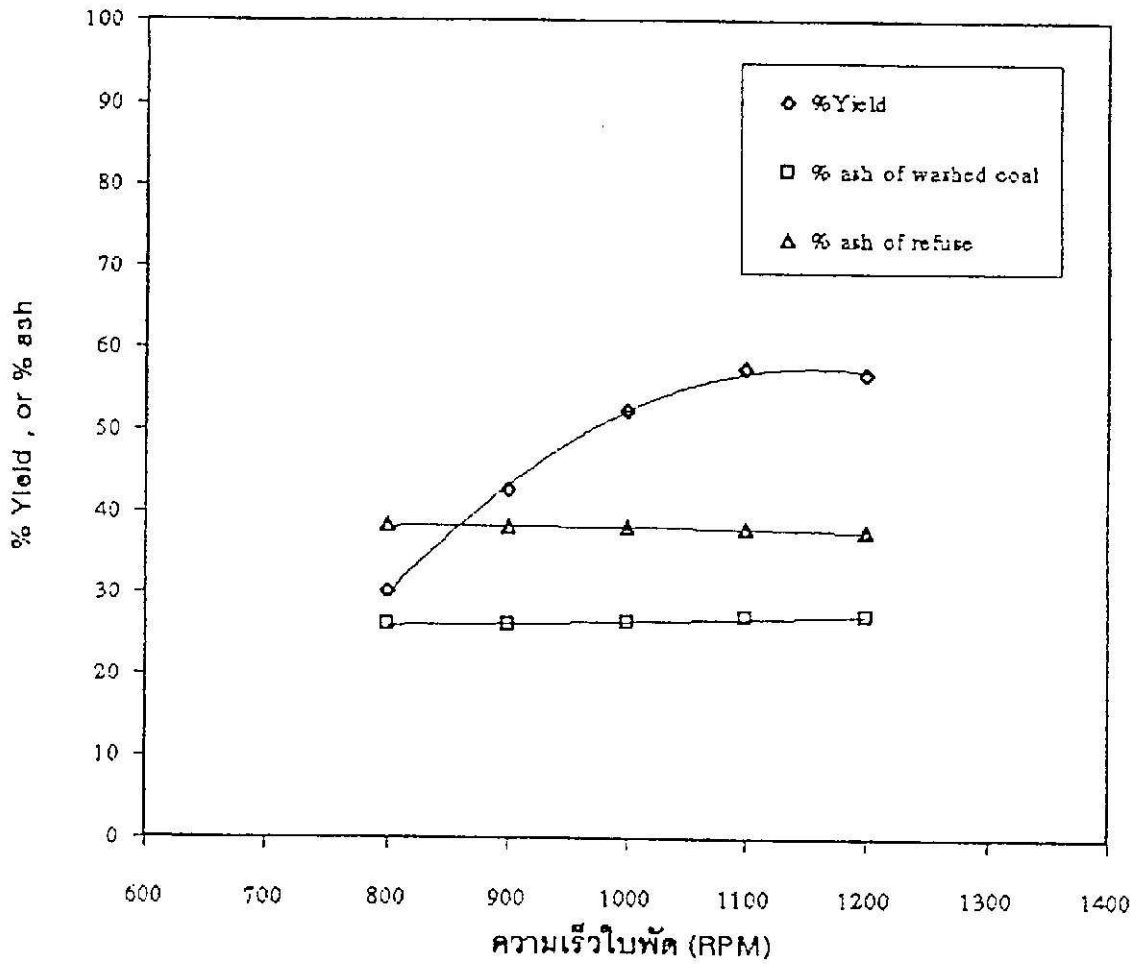
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ collector กับ heating value ของส่วนลอยที่ pH 7-11



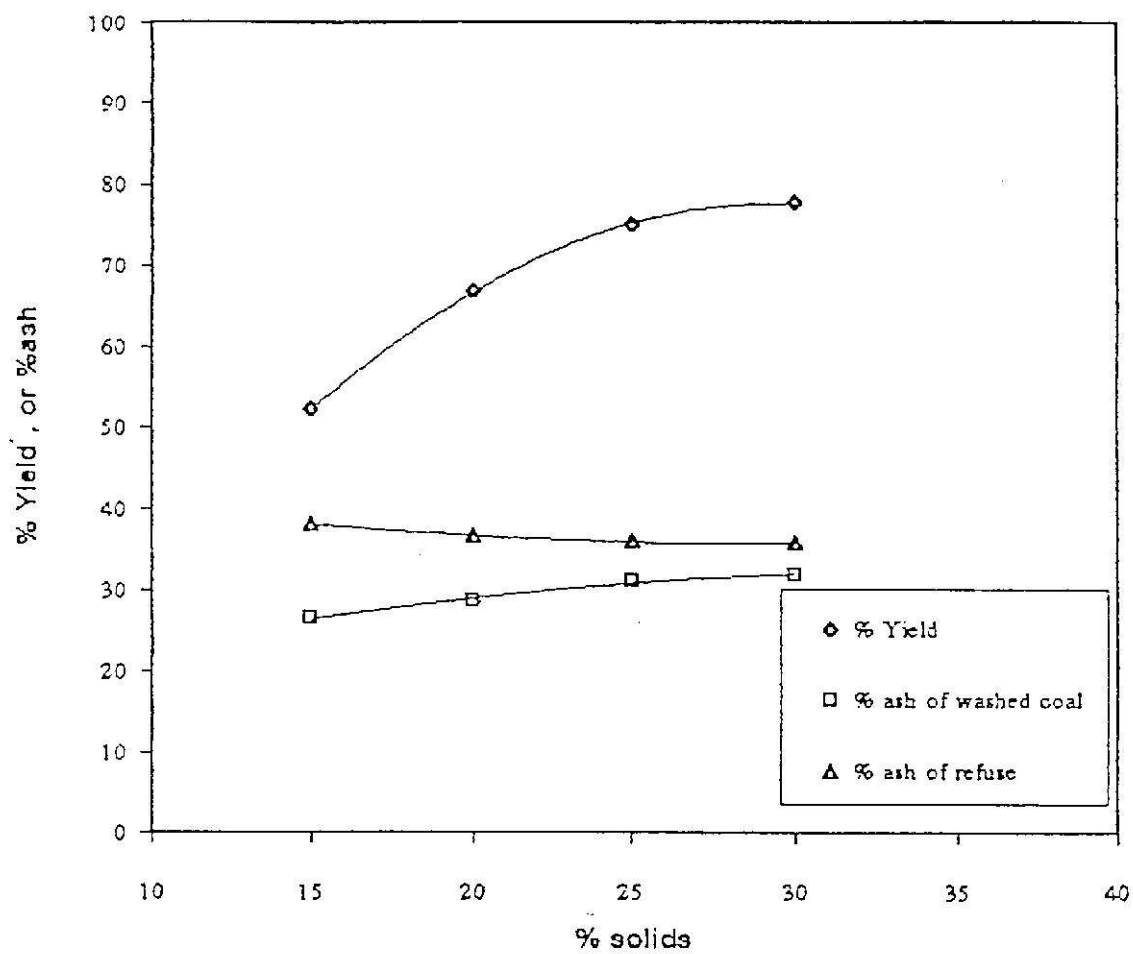
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ collector กับ % ash ของส่วนลอยที่ pH 7-11



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Frother กับ % Yield และ % ash ที่ pH 9



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วโม่ กับ % Yield และ % ash ที่ pH 9



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % solids กับ % Yield และ % ash ที่ pH 9

#### 4.5.1.1 วิจารณ์ผลการลอยถ่านหิน

จากตารางที่ 4.50-4.54 และจากรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นการแปรค่าปริมาณสารเคลือบผิวที่ pH ต่างๆ กัน ปรากฏว่าปริมาณสารเคลือบผิวที่เหมาะสมคือ ใช้ในปริมาณ 8 กิโลกรัมต่อตัน เนื่องจากเมื่อดูจากรูปที่ 4.14 จะพบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบผิวในปริมาณ 8 กิโลกรัม/ตัน จะทำให้ % Yield สูงที่สุดไม่ว่าจะเป็นที่ pH ใดก็ตาม ซึ่งหากใช้ในปริมาณน้อยกว่าหรือมากกว่านี้จะทำให้ % Yield ลดลง อาจเนื่องมาจากหากใช้สารเคลือบผิวในปริมาณน้อยกว่านี้จะทำให้สารเคลือบผิวสามารถจับกับผิวถ่านหินได้น้อย และหากใช้ในปริมาณมากกว่านี้จะทำให้ฟองอากาศในขณะที่ทำการลอยแตก ฟุ้งกระจายไม่สามารถจับกับผิวถ่านหินได้ จึงทำให้ไม่สามารถนำถ่านหินขึ้นมาได้ และเมื่อดูรูปที่ 4.15 และ 4.16 และพบว่า pH ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทำการทดลองต่อไป คือ pH 9 เนื่องจากที่ pH 9 นี้จะทำให้ได้ % ash ในส่วนลอยน้อยที่สุด และค่าความร้อนของถ่านหินสูงที่สุด

จากตารางที่ 4.54 เป็นการแปรค่าปริมาณสารเคลือบฟอง ปรากฏว่าปริมาณสารเคลือบฟองที่เหมาะสม คือ ใช้ปริมาณ 150 กรัม/ตัน จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบฟองน้อยกว่านี้ จะทำให้ได้ % Yield ลดลง เนื่องจากเมื่อใช้ในปริมาณน้อยจะทำให้ฟองมีขนาดใหญ่และไม่เหนียว ทำให้แตกง่ายจึงสามารถจับกับถ่านได้น้อย และเมื่อใช้มากกว่านี้จะทำให้ได้ % Yield เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อดูผลของ % ash และค่าความร้อนของถ่านในส่วนลอย พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารเคลือบฟองในปริมาณ 150 กรัม/ตัน จะทำให้ส่วนลอยได้ % ash ต่ำที่สุด และค่าความร้อนของถ่านสูงที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้สารเคลือบฟองมากกว่านี้จะทำให้ฟองอากาศเล็กและเหนียวขึ้น ทำให้เกิดการพามลทินเพิ่มเข้ามาในส่วนลอยมากขึ้น

จากตารางที่ 4.56 เป็นการแปรเปลี่ยนความเร็วใบพัด จากรูปที่ 4.18 ปรากฏว่าความเร็วใบพัดที่ 1,100 RPM จะทำให้ได้ % Yield สูงที่สุด แต่เมื่อดู % ash และค่าความร้อนของถ่านส่วนลอย พบว่าที่ความเร็วใบพัด 1,100 RPM มี % ash สูงกว่าที่ 1000 RPM มาก และค่าความร้อนของถ่านก็ต่ำกว่าที่ความเร็วใบพัด 1000 RPM มากด้วย เนื่องมาจากเมื่อใช้ความเร็วใบพัดสูงเกินไป จะไปทำให้เกิดการปั่นป่วนของของผสม (turbulent flow) ทำให้ถ่านไม่สามารถที่จะเกาะติดกับฟองอากาศได้ทัน หรือเกาะติดแล้วหลุดแต่มลทินจะถูกดีให้ลอยขึ้นมาผสมกับส่วนลอยเพิ่มขึ้น และหากใช้ความเร็วใบพัดน้อยกว่า 1000 RPM พบว่าที่ความเร็วใบพัด 800 และ 900 RPM จะได้ % Yield ที่ต่ำกว่าที่ความเร็วใบพัด 1000 RPM มาก แต่เมื่อนำส่วนลอยที่ความเร็วใบพัด 800, 900 และ 1000 RPM ไปหา % ash และค่าความร้อนของถ่านก็ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วใบพัดที่ 1000 RPM

จากตารางที่ 4.57 เป็นการแปรเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของใบพัดที่ 800 และ 900 RPM โดยใช้ปริมาณสารเคลือบผิวที่น้อยลง เพื่อดูว่า % ash สามารถลดลงได้มากกว่านี้เมื่อใช้สภาวะความเร็วใบพัด 1,000 RPM หรือไม่ เนื่องจากหากใช้สารเคลือบผิวในปริมาณ 8

กิโลกรัมต่อตัน อาจสิ้นเปลืองปริมาณสารเคมีมากเกินไป ผลปรากฏว่าไม่ดีกว่า และยังทำให้ % Yield น้อยลงมากๆ ด้วย

จากตารางที่ 4.58 เป็นการแปรเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของของผสม จากรูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อ % Solids เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ % Yield เพิ่มสูงขึ้นด้วยและพบว่า ที่ 15 % Solids จะทำให้ส่วนลอยมี % ash ต่ำที่สุด และค่าความร้อนสูงที่สุด ซึ่งเมื่อเทียบกับที่ 20 %, 25 % และ 30 % Solids พบว่าต่างกันมาก ซึ่งการที่ % ash ในส่วนลอยที่ 15 % Solids น้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อใช้ % Solids สูงๆ จะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดี ทำให้สารเคลือบผิวทำงานได้ไม่ดี ดังนั้นการทดลองจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของของผสมที่ 15 % Solids

จากตารางที่ 4.59 เป็นการแปรค่าของ conditioning time พบว่าเวลาในการปรับสภาพมีผลต่อ % Yield น้อยมาก และพบว่าในส่วนลอย เมื่อดู % ash และค่าความร้อนของถ่านหินพบว่าเวลาในการปรับสภาพก็ไม่มีผลเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ conditioning time 5 นาที

จากตารางที่ 4.60 เป็นการนำตัวอย่างส่วนป้อนและตัวอย่างส่วนลอย ที่สถานะที่น่าสนใจไปวิเคราะห์ % inorganic sulphur ปรากฏว่าในส่วนลอยที่ทุกสถานะยังคงมี % inorganic sulphur ใกล้เคียงกับส่วนป้อนมากจึงแสดงว่าไม่สามารถทำการลดซัลเฟอร์ได้ อาจเนื่องมาจากซัลเฟอร์อยู่ในถ่านหินที่เป็นองค์ประกอบที่เล็กมากและฝังประในเนื้อถ่านหิน ยังไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีการแต่งแร่โดยการลอยแร่ขั้นต้นได้

#### 4.5.1.2 สรุปผลการทดลองการลอยถ่านหิน

ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีมลทินซึ่งเป็นพวกหินดินดานชนิด carbonaceous ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของผิวแร่ใกล้เคียงกับลิกไนต์มาก อีกทั้งถ่านหินที่นำมาทดลองนี้เป็นถ่านหินลิกไนต์ที่ถูกนำมาบดให้มีขนาด -65 เมช และตั้งทิ้งไว้นานจึงทำให้สภาพบริเวณผิวของถ่านหินมีการดูดความชื้นในอากาศทำให้ผิวถ่านเปียก และอาจเกิดการออกซิเดชันที่ผิว (เป็นสาเหตุของการทำให้ลอยยาก)

จากการทดลองการลอยถ่านหินในแหล่งนี้พบว่า สามารถลดมลทินออกได้แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสถานะที่เหมาะสมที่ลด % ash ได้เหลือน้อยนั้นใช้สารเคลือบผิวเป็น Fuel oil และสารเคลือบฟองเป็น Pine oil พบว่า ถ่านหินจะลอยได้ดีในช่วง pH ที่เป็นค่าประมาณที่ pH 9 ซึ่งสามารถลด % ash จาก 34.28 % ในส่วนป้อนเหลือ 26.48 % และสามารถเพิ่มค่าความร้อนของถ่านหินได้จาก 2,706.7 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 3,548.9 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งสถานะดังกล่าวนี้ใช้สารเคมีและสถานะต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณน้ำยาเคลือบผิว (Fuel oil) อัตรา 8 กิโลกรัม/ตัน
2. ปริมาณสารเคลือบฟอง (Pine oil) อัตรา 150 กิโลกรัม/ตัน
3. ที่ pH 9



4. ความเร็วใบพัด 1,000 รอบ/นาที
5. ใช้ความเข้มข้นของของผสม 15 % Solids
6. เวลาในการปรับสภาพ 5 นาที
7. เวลาที่ใช้ในการลอยแร่ 15 นาที

และจากการทดลองในครั้งนี้อาจยังไม่สามารถแยกมลทินออกจากถ่านหินลิกไนต์ได้อย่างเป็นนัยสำคัญ เนื่องจากมลทินส่วนใหญ่เป็นพวก carbonaceous ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของผิวแร่ใกล้เคียงกับถ่านหินลิกไนต์มาก และถ่านหินบางส่วนยังมีมลทินฝังในเนื้อถ่านหินด้วย ซึ่งอนาคตอาจมีการทดลองศึกษาก็อาจใช้สภาวะเริ่มต้นตามที่ได้ทำการวิจัยในครั้งนี้อาจจะเป็นแนวทางในการเริ่มต้นได้ ส่วนจุดประสงค์ที่จะลดปริมาณซัลเฟอร์ในรูปไพไรต์ พบว่าการทดลองในครั้งนี้อาจไม่สามารถลดปริมาณซัลเฟอร์ได้ตามจุดประสงค์เนื่องจากไพไรต์ที่อยู่ในถ่านหินอาจถูกออกซิไดซ์กลายเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ลอยถ่านได้ยาก ทำให้ไม่สามารถแยกออกจากถ่านด้วยวิธีนี้ได้ การลอยถ่านหินควรใช้ในขั้นตอนทำความสะอาดถ่านหินหลังจากได้ผ่านกรรมวิธีการล้าง หรือกำจัดฝุ่นมาแล้ว ถ้าสมบัติการลอยของมลทินในถ่านหินใกล้เคียงกับถ่านหินมาก จะทำให้การแยกมลทินด้วยวิธีนี้ทำได้ยาก นอกจากนั้นการเตรียมตัวอย่างถ่านหินเพื่อลอย ไม่ควรบดตั้งทิ้งไว้นาน เพราะผิวถ่านหินถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย องค์ประกอบของไพไรต์เองก็จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนรูปเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งทำให้การแยกแยกได้ยากขึ้น

#### 4.5.2 ผลการวิจัยแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation

##### 1) การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารก่อตะกอนที่มีต่อการตกตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash ของตัวอย่าง ถ่านหินที่ผ่านการแต่งแล้วกับปริมาณสารก่อตะกอนที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.61

ตารางที่ 4.61 แสดงผลการทดลองที่ 1

DOSAGE OF FLOCC (%)	0.05	0.10	0.40	0.70	1.00
COAL FLOCS					
YIELD (%)	87.11	88.54	87.89	92.34	93.60
TAIL (%)	12.89	11.40	12.11	7.66	6.40
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	21.73	13.68	15.53	15.62	17.10

CONDITIONS :

FLOCCULANT (F-1029J)

SOLID 5 %

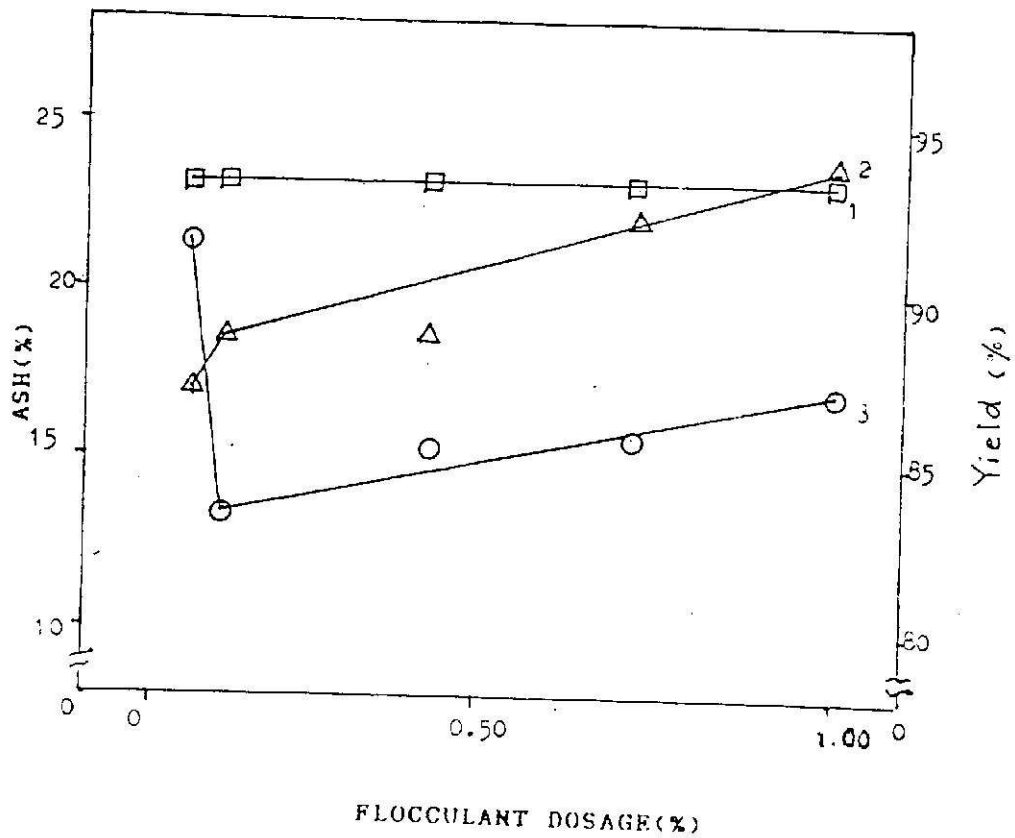
pH 7

NHP 2 %

SAMPLE :

BANPOO COAL : 23.24 % Ash,

3792.94 Kcal/kg Heating value



**CONDITIONS :**

1. 5 % SOLID
2. pH 7
3. 2 % NHP

**KEY :**

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD AFTER FLOCCULATION
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ปริมาณสารก่อดัวที่เปลี่ยนไป สำหรับถ่านหินแห้งขี้่านปู

2) การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นของผสมที่มีต่อการก่อดัว  
จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash ของ  
ตัวอย่างที่ผ่านการแต่งแล้ว กับความหนาแน่นของผสมที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตาราง  
ที่ 4.62

ตารางที่ 4.62 แสดงผลการทดลองที่ 2

SOLID (%)	2	3	4	5	6
COAL FLOCS					
YIELD (%)	87.64	89.86	94.37	95.25	96.42
TAIL (%)	12.36	10.14	5.63	4.75	3.58
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	18.29	16.00	10.11	12.12	14.51

CONDITIONS:

DOSAGE OF F-1029J 0.1 %

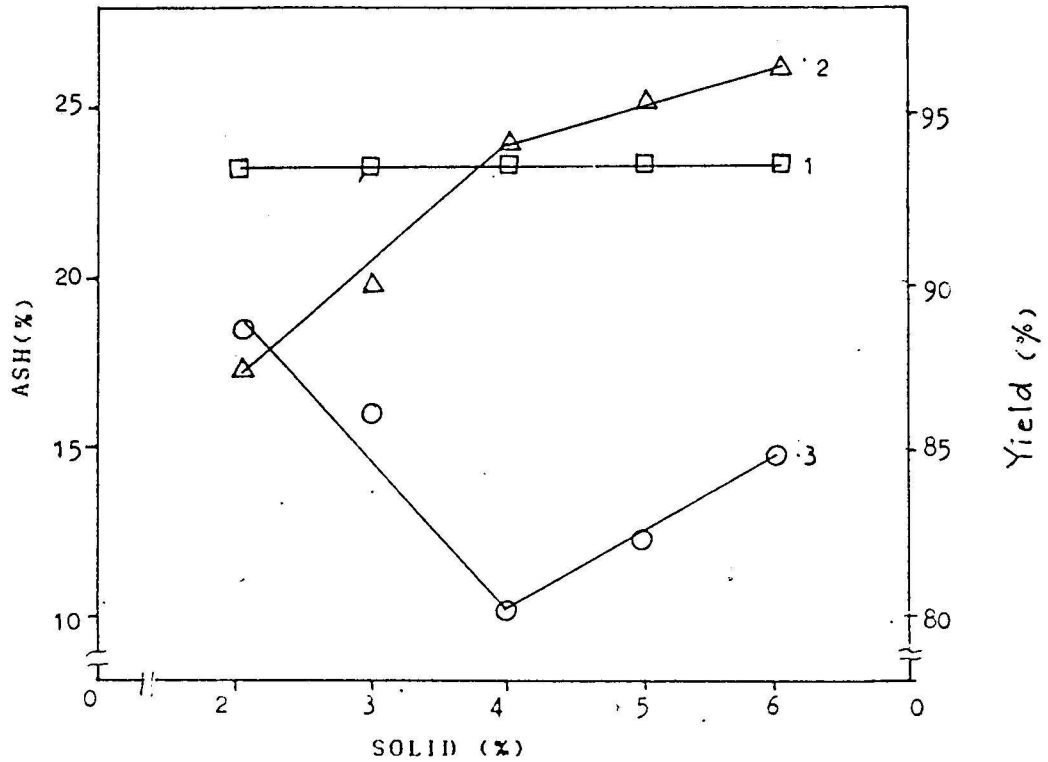
pH 7

NHP 2 %

SAMPLE:

COAL : 23-24 % Ash

BANPOO 3,792.94 Kcal/kg Heating value



**CONDITIONS :**

1. FLOCCULANT (F-1029J) 0.1 %
2. pH 7
3. 2 % NHP

**KEY :**

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

**รูปที่ 4.19** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ความหนาแน่นของของผสมที่เปลี่ยนไป สำหรับถ่านหินแหล่งบ้านปู

3) การทดลองเพื่อศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการก่อตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash ของตัวอย่างที่ผ่านการแต่งแล้ว กับ pH ที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.63

ตารางที่ 4.63 แสดงผลการทดลองที่ 3

pH	6	7	8	9	10	11
COAL FLOCS						
YIELD (%)	90.96	94.49	95.61	94.62	93.93	79.60
TAIL (%)	9.04	5.51	4.39	5.38	6.07	20.40
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	16.30	10.66	8.74	9.87	13.22	16.77

CONDITIONS:

DOSAGE OF F-1029J 0.1 %

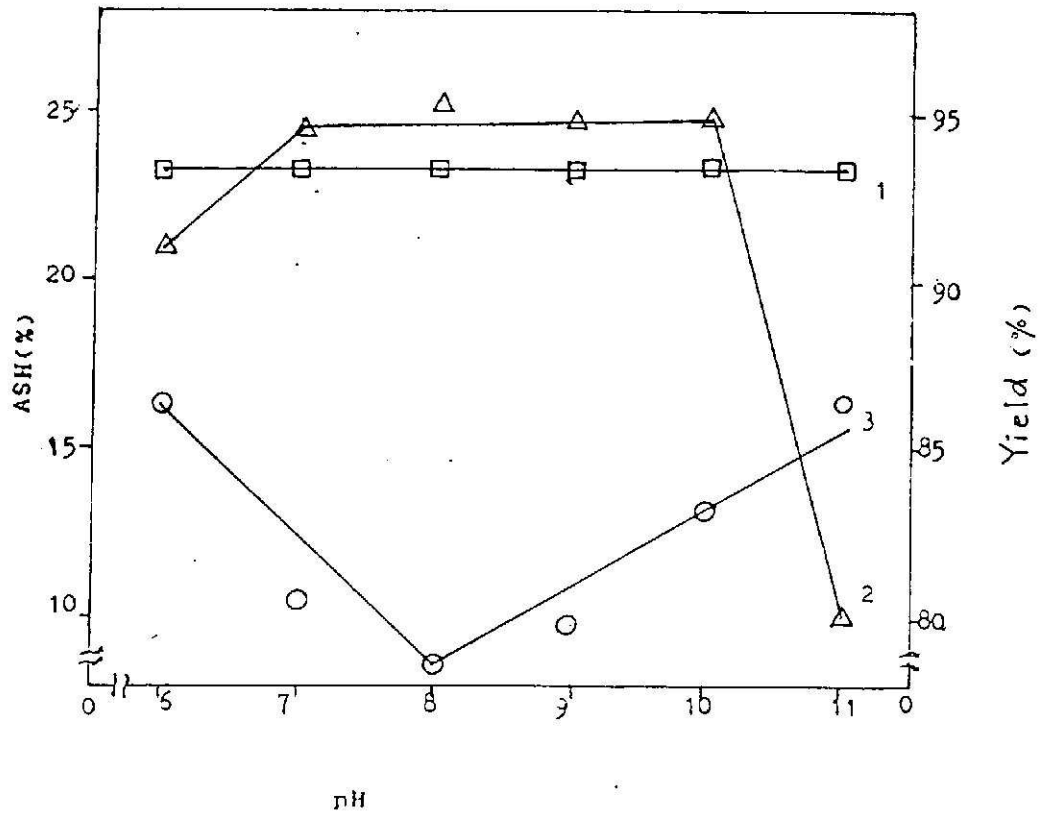
SOLID 4 %

NHP 2 %

SAMPLE:

BANPOO COAL: 23.24 % Ash

3.792.94 Kcal/kg Heating value



**CONDITIONS :**

1. FLOCCULANT (F-1029J) 0.1 %
2. 4 % SOLID
3. 2 % NHP

**KEY :**

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD AFTER FLOCCULATION
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

**รูปที่ 4.20** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ปริมาณ pH ที่เปลี่ยนไป สำหรับถ่านหินแหล่งบ้านปู

4) การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารช่วยกระจายตัว ที่มีต่อการก่อตัว  
จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash กับ  
ปริมาณ NHP ที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.64

ตารางที่ 4.64 แสดงผลการทดลองที่ 4

DOSAGE NHP (%)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	5.00
COAL FLOCS						
YIELD (%)	91.23	94.65	94.33	95.27	95.18	95.69
TAIL (%)	8.77	5.35	5.67	4.73	4.82	4.61
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	19.51	11.04	10.83	8.97	9.34	9.04

CONDITIONS:

DOSAGE OF F-1029J 0.1 %

SOLID 4 %

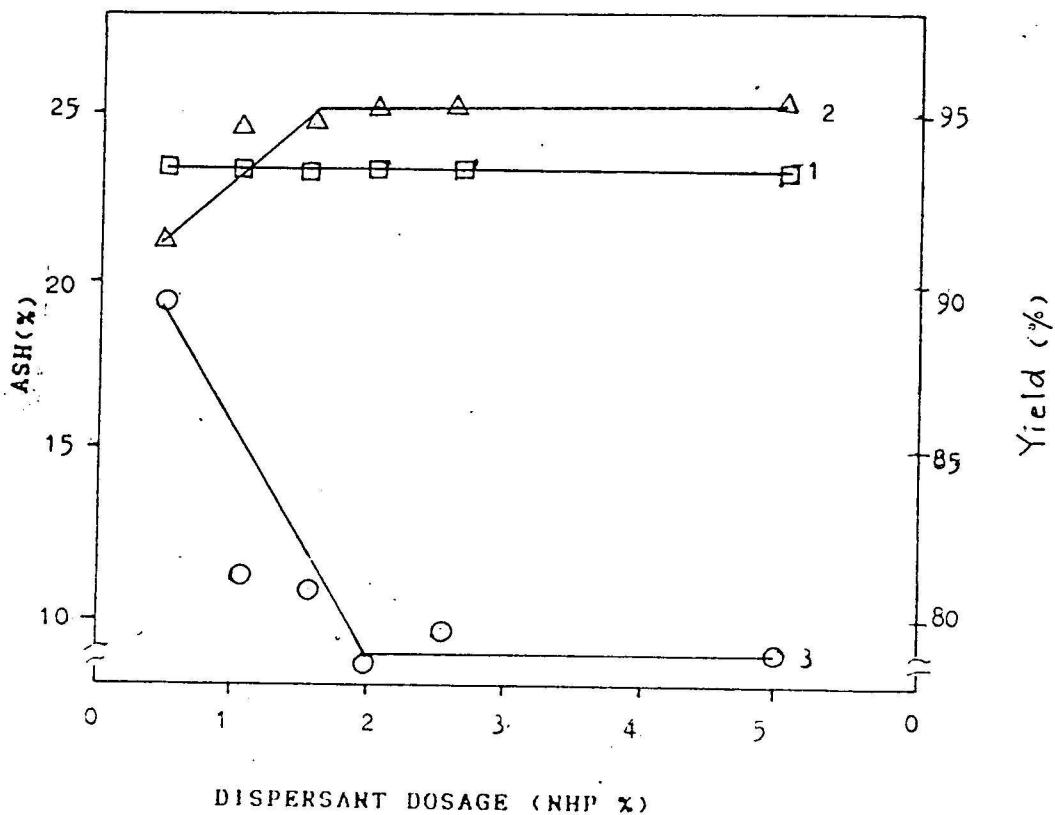
pH 8

SAMPLE:

BANPOO COAL: 23.24 % Ash

3.792.94 Kcal/kg Heating value





**CONDITIONS :**

1. FLOCCULANT (F-1029J) 0.1 %
2. 4 % SOLID
3. pH = 8

**KEY :**

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD AFTER FLOCCULATION
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ปริมาณ NHP ที่เปลี่ยนไป สำหรับถ่านหินแหล่งบ้านปู

5) การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำแป้งเมื่อใช้แทน F-1029J  
ที่มีต่อการก่อตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash ของ  
ตัวอย่างที่ผ่านการแต่งแล้วกับปริมาณน้ำแข็งที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.65 แสดงผลการทดลองที่ 5

DOSAGE STARCH (%)	0.10	0.50	1.00	1.50
COAL FLOCS				
YIELD (%)	79.61	77.51	78.28	79.07
TAIL (%)	20.39	22.49	21.72	20.93
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	10.68	9.79	15.68	17.89

CONDITIONS:

FLOCCULANT (STARCH)

SOLID 4 %

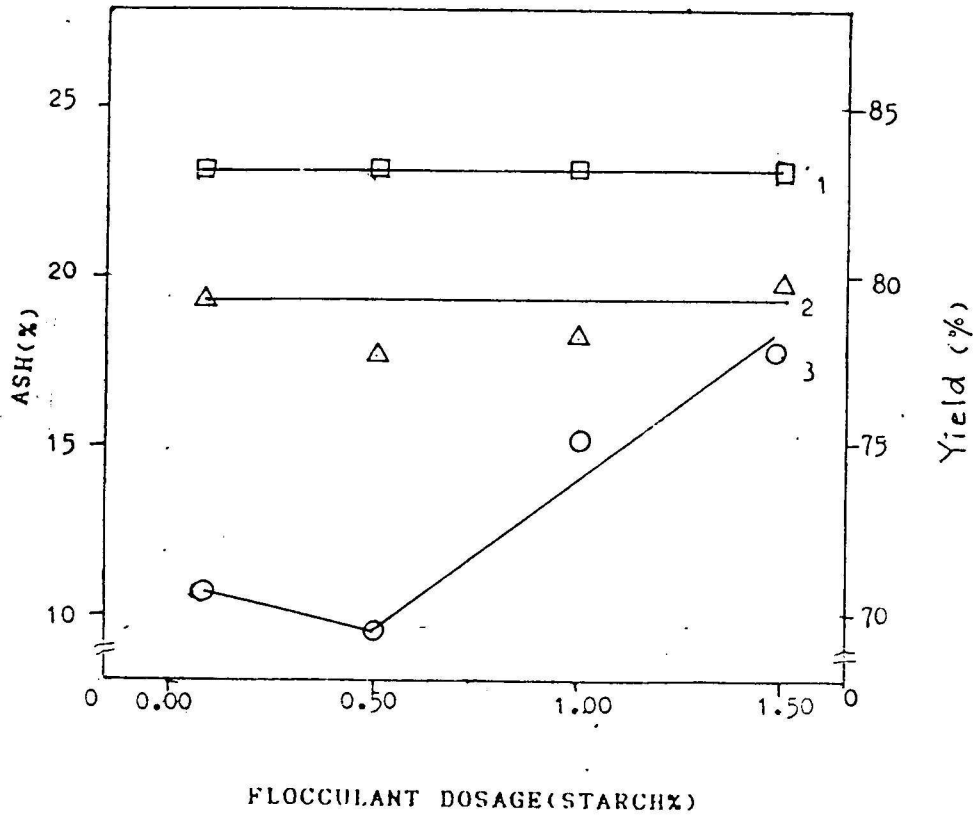
pH 8

NHP 2 %

SAMPLE:

BANPOO COAL: 23.24 % Ash

3.792.94 Kcal/kg Heating value



**CONDITIONS :**

1. FLOCCULANT (STARCH)
2. 4 % SOLID
3. pH = 8
4. 2 % NHP

**KEY :**

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD AFTER FLOCCULATION
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ปริมาณน้ำแป้งที่เปลี่ยนแปลง สำหรับถ่านหินแหล่งบ้านปู

8) การทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณ DEMOL N เมื่อใช้แทน NHP  
ที่มีต่อการก่อตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % Ash ของ  
ถ่านหินที่ผ่านการแต่งแล้วกับปริมาณ DEMOL N ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งได้ผลการทดลองตามตาราง  
ที่ 4.66

ตารางที่ 4.66 แสดงผลการทดลองที่ 8

DOSAGE DEMOL N (%)	0.05	0.10	0.20	0.40	0.50
COAL FLOCS					
YIELD (%)	82.43	78.14	78.44	79.55	79.83
TAIL (%)	17.57	21.86	21.56	20.45	20.17
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	15.45	10.55	10.79	11.65	11.41

CONDITIONS:

DOSAGE OF STARCH 0.5 %

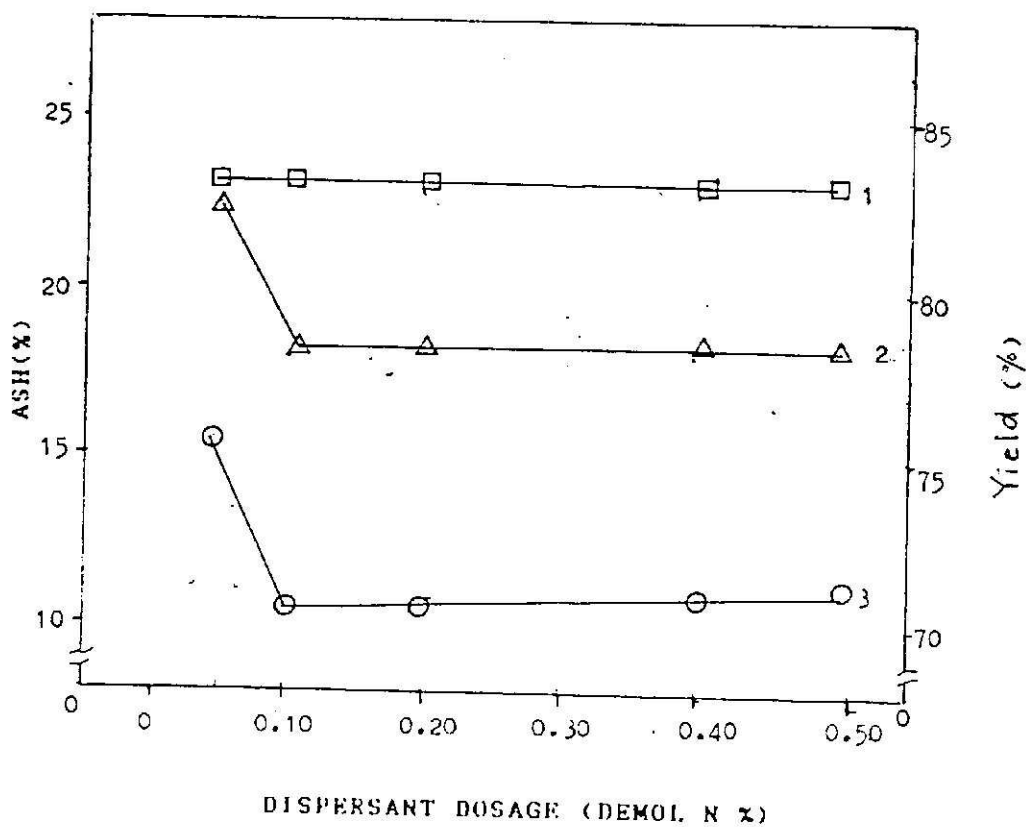
SOLID 4 %

pH 8

SAMPLE:

BANPOO COAL: 23.24 % Ash

3.792.94 Kcal/kg Heating value



CONDITIONS :

1. FLOCCULANT (STARCH) 0.5 %
2. 4 % SOLID
3. pH = 8

KEY :

1. % ASH BEFORE FLOCCULATION
2. % YIELD AFTER FLOCCULATION
3. % ASH AFTER FLOCCULATION

รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ASH, % YIELD กับ ปริมาณ DEMOL N ที่เปลี่ยนไป สำหรับถ่านหินแหล่งบ้านปู

## 7) การทดลองเพื่อศึกษาผลของแหล่งถ่านหินที่มีต่อการก่อตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อศึกษาว่าเมื่อใช้เงื่อนไขที่คิดว่าดีที่สุดจากการทดลอง 1-4 นำมาทดลองใช้กับแหล่งถ่านหินอื่นๆ ว่าสามารถจะใช้ได้หรือไม่ ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.67

ตารางที่ 4.67 แสดงผลการทดลองที่ 7

RESOURCE	BANBOO	MAE MOH[CLAYRICH]	MAE MOH[HIGH S]	BANG PU DAM
COAL FLOCS				
YIELD (%)	95.27	91.23	99.83	82.66
TAIL (%)	4.73	8.77	0.17	17.34
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	8.97	10.68	38.29	14.68
ASH (%) BEFORE FLOCC	23.24	40.40	41.74	49.9
pH (SLURRY)	4.50	4.95	2.55	5.50

## CONDITIONS:

DOSAGE OF F-1029J 0.1 %

SOLID 4 %

pH 8

NHP 2 %

8) การทดลองเพื่อศึกษาเพิ่มเติมกรณีเปลี่ยนชนิดสารก่อตะกอน และสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการก่อตัว

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อศึกษาว่าสารช่วยก่อตะกอน และสารช่วยกระจายตัวบางชนิดมีผลต่อการก่อตัวอย่างไร ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 4.68

ตารางที่ 4.68 แสดงผลการทดลองที่ 8

TYPE	1	2	3	4
COAL FLOCS				
YIELD (%)	96.12	96.94	96.70	92.93
TAIL (%)	3.88	3.06	3.30	7.07
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00
ASH (%) IN FLOCS	10.11	8.02	6.78	8.15

CONDITIONS:

TYPE

1. F-1029J 0.1 %, SOLID 4 %, pH 9, NHP 2 %
2. F-1029J 0.1 %, SOLID 4 %, pH 8, DEMOL N 0.5 %
3. PEL 0.05 %, SOLID 4 %, pH 8, DEMOL N 0.5 %
4. PEL 0.05 %, SOLID 4 %, pH 8, NHP 2 %

SAMPLE:

BANPOO COAL: 23.24 % Ash

3.792.94 Kcal/kg Heating value

๑) การหาค่าความร้อนของถ่านหินและหลังก่อตัว  
ผลดังตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.69 แสดงผลการหาค่าความร้อน

SAMPLE	ASH BEFORE FLOCC (%)	ASH AFTER FLOCC (%)	HEAT BEFORE FLOCC (kcal/kg)	HEAT AFTER FLOCC (kcal/kg)
1	49.91	14.48	2,288.62	4,530.26
2	40.42	10.68	2,756.73	4,544.65
3	23.24	8.74	3,792.94	5,109.32
4	23.24	6.74	3,792.94	5,281.28
5	23.24	8.15	3,792.94	5,148.46
6	23.24	8.02	3,792.94	5,048.31
7	23.24	11.41	3,792.94	4,918.01

หมายเหตุ

1. แหล่งบางปูดำ กระบี่
- 2 แหล่งแม่เกาะ (clay rich) ลำปาง
- 3-7 แหล่งบ้านปู



#### 4.5.2.1 การอภิปรายผลการวิจัยแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation

ถ่านหินที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ มาจากเหมืองบ้านปูเป็นหลัก จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ประมาณ 23.24 % และเมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนมีค่าประมาณ 3800 Kcal/Kg และจากการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อการก่อตัว สามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้

##### 1) ปริมาณสารก่อตะกอน (Flocculant, F-1029 J)

จากผลการทดลอง ปริมาณ F-1029J ที่เหมาะสม คือ ให้เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ต่ำสุด คือ 0.1-0.4 % (1-4 kg/ton)

ซึ่งถ้าปริมาณ F-1029 J น้อยกว่าหรือมากกว่าจุดนี้เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์จะเพิ่มขึ้นซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อปริมาณ F-1029 J ลดลง การจับกันของอนุภาค (เนื้อถ่านหิน) ซึ่งอาศัยสารก่อตะกอน เป็นสะพานเชื่อม ก็จะน้อยลง ทำให้เกิดการเลือกจับน้อย มีสารแขวนลอยอยู่ก็จะสูญเสียไป และเนื้อถ่านหินที่ตกตัวก็ตกตัวโดยไม่เกิดการเลือกจับมากนัก ทำให้มีมลทินปะปนอยู่มากด้วย เมื่อปริมาณ F-1029 J เพิ่มขึ้น น้ำหนัก สารก่อตะกอน จะดึงให้สารแขวนลอยที่มีทั้งเนื้อถ่านและมลทินปนอยู่ก่อนตะกอนก่อนที่จะเกิดการเลือกจับ

##### 2) ความหนาแน่นของผสม (% Solid)

จากผลการทดลองปริมาณความหนาแน่นของผสมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4-5 % Solid ซึ่งถ้า % Solid น้อยกว่า 4 % สารแขวนลอยเกิดการเลือกจับ เนื่องจากความหนาแน่นน้อยทำให้สารก่อตะกอนจับได้ไม่ทั่ว เป็นสารแขวนลอยเหลืออยู่

ถ้า % Solid มากกว่า 5 % ความหนาแน่นของผสมมากจะเกิดการก่อตัวก่อนการเลือกจับ เนื่องจากน้ำหนักของเนื้อถ่าน และมลทิน ซึ่งเป็นไปตาม Stoke's law

##### 3) การปรับค่า pH

ค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7-10 ซึ่งถ้า pH มากกว่าหรือน้อยกว่าจุดนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ ก็จะเพิ่มขึ้น

เมื่อ pH น้อยกว่า 7 เมื่อเติมสารก่อตะกอนลงไปจะไม่เกิดการเลือกจับ เพราะศักย์ที่ผิวของอนุภาคจะมีค่าเป็นบวกมากขึ้นเมื่อค่า pH น้อยลง

แต่ถ้า pH มากกว่า 10 จะเกิดเป็นสารแขวนลอยของอนุภาค ซึ่งอธิบายโดยหลักการของ pzc (point of zero charge) ปกติสารก่อตะกอนที่ใช้เป็น Non-ionic ซึ่งจะจับกับอนุภาคได้ดีเมื่อ pzc = 0 แต่เมื่อเราเติม OH ลงไปมากๆ ทำให้ประจุที่ผิวหน้าของอนุภาคเปลี่ยนจากศูนย์ไปเป็นลบ (-) ทำให้การจับกันของสารก่อตะกอนกับอนุภาคไม่ดีเท่า pzc = 0

## 4) ปริมาณสารช่วยกระจายตัว

ปริมาณ NHP ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2-5 % (20-50 kg/ton) เราก็ทราบอยู่แล้วว่า NHP เราเติมลงไปเพื่อลดความหนืดระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัว เมื่อเติมสารก่อตะกอน จะทำให้อนุภาคจับกัน สารก่อตะกอนดีซัน ซึ่งถ้าเติม NHP น้อยไปความหนืดระหว่างอนุภาคก็จะสูงทำให้เกิดการก่ตัวของอนุภาคก่อนที่จะมีการเลือกจับ โดยสารก่อตะกอน แต่ถ้าเติมมากเกินไปก็จะมีผลต่อการก่อตะกอน ซึ่งจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ซีดีต่ำกว่ากับจุดที่เหมาะสม

## 5) ปริมาณน้ำแป้ง

เมื่อใช้น้ำแป้งแทน F-1029 J ปริมาณน้ำแป้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.1-0.5 % (1-5 kg/ton) ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำแป้งที่ใช้จะมากกว่าปริมาณ F-1029 J อยู่ประมาณ 5 เท่า เมื่อต้องการเปอร์เซ็นต์ซีดีใกล้เคียงกัน ซึ่งอันนี้เนื่องจากเราทราบว่าน้ำหนักโมเลกุลของสารก่อตะกอน (Flocculant) จะมีผลต่อการก่ตัว คือ สารก่อตะกอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะเกิดการเลือกจับได้ดีกว่าสารช่วยก่อตะกอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย เมื่อเทียบกับที่ปริมาณการใช้เท่ากัน

## 6) ปริมาณ Demol N

เมื่อใช้ Demol N แทน NHP นำมาใช้ควบคู่กับน้ำแป้ง ปริมาณ Demol N ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.1-0.5 % (1-5 kg/ton) ซึ่งถ้าน้อยกว่าหรือมากกว่าจุดนี้ก็จะอธิบายโดยหลักการเดียวกันกับปริมาณ NHP

## 7) การศึกษาด้านหินจากแหล่งอื่น

จากผลการทดลองที่ได้จากการใช้ถ่านหินจากเหมืองบ้านปู ทำให้เราได้เงื่อนไขที่คิดว่าดีที่สุด และนำเงื่อนไขนี้ไปใช้กับแหล่งอื่นได้ ผลการทดลองในตารางที่ 4.67

และผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.70 และ 4.71

ตารางที่ 4.70 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ซีดีและค่าความร้อนทั้งก่อนและหลังก่ตัว

แหล่ง	ซีดีก่อน ก่ตัว (%)	ซีดีหลัง ก่ตัว (%)	ค่าความร้อนก่อนก่ตัว (kcal/kg)	ค่าความร้อนหลังก่ตัว (kcal/kg)
บ้านปู	23.24	8.74	3,723.24	5,109.32
บางปูดำ	49.91	14.48	2,288.62	4,530.26
แม่เกาะ (High S)	41.7	38.29	2,692.94	-
แม่เกาะ (richclay)	40.42	10.68	2,756.73	4,544.65

ตารางที่ 4.71 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ซีเด้าและค่าความร้อน

แหล่ง	ปริมาณซีเด้า (ลดลง) %	ค่าความร้อน (เพิ่มขึ้น) %
บ้านปู	62.4	37.2
บางปูดำ	71.0	97.9
แม่เมาะ (High S)	8.3	-
แม่เมาะ (Clay rich)	73.6	64.9

ซึ่งจากผลการวิจัยจะเห็นว่าเงื่อนไขที่ได้สามารถนำไปใช้กับถ่านหินแหล่งอื่นๆ ได้ แต่สำหรับถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ (High S) ซึ่งจะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ซีเด้าแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยนั้น อธิบายโดยการหลักการ adsorbtion ion ที่มีต่อ pzc ซึ่งจากการสังเกตถ่านหินที่ผ่านการบดของแหล่งนี้จะมีเกลือแคววาวอยู่จำนวนมาก คาดว่าน่าจะเป็นอนุภาคของเหล็กซึ่งมาจาก Pyrite อนุภาคของเหล็ก (Fe) จะทำให้ค่า Layer ของชั้น H, OH เลื่อนออกไปจากเดิม ดังนั้น Shear plane ก็จะต้องเลื่อนออกไป ทำให้ pH ที่เหมาะสมต้องมากกว่าที่ใช้คือ pH 8 แต่จากการทดลองกวนดูพบว่า pH ประมาณ 10 จะเกิดการเลือกจับได้ดี

8) การศึกษาผลของสารก่อตะกอน และสารช่วยกระจายตัวอื่นๆ

เนื่องจากสารก่อตะกอนที่ใช้กันในห้องทดลองมีมากมายจึงศึกษาเฉพาะกรณีใช้ polyethylene oxide แทน F-1029 J และใช้ Demol N แทน NHP พบว่าสามารถลดเปอร์เซ็นต์ซีเด้าจาก 23.24 % เหลือ 6.78 % ซึ่งลดลงประมาณ 71 % และค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 3,723.24 Kcal/Kg ไปเป็น 5,286.28 Kcal/Kg ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 42 %

นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของ polyethylene oxide คู่กับ NHP สามารถลดเปอร์เซ็นต์ซีเด้าจาก 23.24 % เหลือ 8.02 % ซึ่งลดลง 65.5 % และค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 3,723.24 Kcal/Kg เป็น 5,048.31 เพิ่มขึ้น 35.6 %

#### 4.5.2.2 สรุปผลการวิจัยแต่งถ่านหินด้วยวิธี Flocculation

โครงการวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงตัวแปรบางประการที่มีผลต่อการก่อตะกอน (Flocculation) ของถ่านหินซึ่งเราต้องการลดปริมาณซีเด้าให้น้อยลงสำหรับผลของตัวแปรที่ศึกษา แบ่งได้ดังนี้ ปริมาณของสารก่อตะกอน ความหนาแน่นของของผสม ค่า pH ปริมาณของสารช่วยกระจายตัว ชนิดของสารก่อตะกอน

จากการศึกษาพบว่า สารก่อตะกอนชนิด F-1029 J ปริมาณ 0.1 % (1 kg/ton) ความหนาแน่นของของผสม 4 % ปริมาณสารช่วยกระจายตัวชนิด NHP 2 % (20 kg/ton) ที่ pH 8 สามารถลดค่าของค่าดินเหนียวจากประมาณ 23 % เหลือเพียง 9 % หรือลดลงประมาณ 60 % และค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากประมาณ 3,800 kcal/kg เป็น 5000-5100 kcal/kg หรือเพิ่มขึ้น 34 % และมีค่า Yield % ประมาณ 95 % และเมื่อใช้สารก่อตะกอนชนิดน้ำแป้ง ปริมาณ 0.5 % (50 kg/ton) ที่ pH 8, ความหนาแน่นของของผสม 4 % ปริมาณสารกระจายตัวชนิด NHP 2% สามารถลดค่าของค่าดินเหนียวจากประมาณ 23 % เหลือเพียงประมาณ 10 % หรือลดลงประมาณ 56 % ค่า Yield % ประมาณ 77 % ในขณะที่ใช้สารชนิด PEL ประมาณ 0.05 %, pH 8 ความหนาแน่นของของผสม 4 % ใช้สารช่วยกระจายตัวชนิด Demol N ประมาณ 0.5 % สามารถลดค่าของค่าดินเหนียวจากประมาณ 23 % เหลือเพียงประมาณ 7 % หรือลดลงประมาณ 70 % โดยมีค่า Yield ประมาณ 96 % ในการแต่งดินเหนียวโดยใช้วิธี Flocculation จะมีความเป็นไปได้สูง ดินเหนียวที่แตกตัวเป็นอิสระกับมลทิน และขนาดของดินเหนียวจะต้องมีขนาดเล็ก และมีขนาด -400 เมช สามารถประยุกต์ใช้ดินเหนียว ฟุ้งที่เกิดขึ้นในแหล่งการผลิตดินเหนียว ซึ่งมีประมาณ 20 % (ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายในการบด)

สารก่อตะกอนที่ถูกและหาซื้อได้ง่าย ได้แก่ น้ำแป้ง หรือพวก ไฮโพลิเมอร์ ซึ่งใช้เพียงปริมาณเล็กน้อย สภาพของน้ำที่ใช้ pH ประมาณ 8 (เป็นด่างอ่อนๆ) จึงไม่กัดกร่อนเครื่องมือ และสามารถปรับสภาพน้ำก่อนทิ้งได้ง่าย

เพื่อให้ได้ผลดีขึ้นก่อนนำไปประยุกต์ใช้ นอกจากคำนึงถึงตัวแปรที่กล่าวในการทดลองนี้แล้ว ยังมีสิ่งที่น่าพิจารณาอีกเช่น เวลาที่ใช้สำหรับการก่อตะกอน กระบวนการในการแยกตะกอน (Flocs.) และของเหลวออกจากกันอย่างมีประสิทธิภาพ

# บทที่ 5

## บทสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

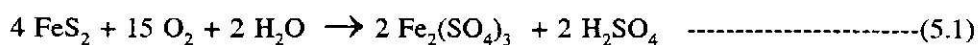
เนื่องจากถ่านหินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีคุณภาพชั้นลิกไนต์เป็นส่วนใหญ่ และมีซัลฟิวรีนีสบ้างเล็กน้อย จากแหล่งเหล่านี้อาจมีดินเหนียวหรือหินดินดานปนเปื้อนมาได้ในช่วงตอนการผลิตเพื่อลดปริมาณเถ้าลงให้มากที่สุด ควรมีการล้างถ่านลิกไนต์ในขณะที่มีขี้เถ้าเป็นก้อนใหญ่ๆ หรือมีการล้างถ่านลิกไนต์ให้มากที่สุดก่อนที่จะมีการย่อยขนาดให้เล็กลง หรืออาจมีการย่อยหยาบแล้วล้าง จะเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการบดให้ละเอียดก่อนแล้วค่อยล้างที่หลัง เพราะนอกจากล้างยากแล้วจะทำให้ถ่านลิกไนต์สูญเสียน้ำหนักได้มาก อย่างไรก็ตามการล้างถ่านหินในช่วงตอนนี้ไม่สามารถกำจัดมลทินที่ฝังประในเนื้อถ่านหินได้ ดังนั้นหลังจากที่ล้างแล้ว จำเป็นจะต้องมีการลดขนาดให้เล็กลงไปอีก เพื่อให้มลทิน (เถ้าและไพไรต์) แยกเป็นอิสระจากถ่านหินก่อน โดยมีการล้างเป็นขั้นตอน ได้แก่ การแต่งถ่านหินขนาดหยาบ การแต่งถ่านหินขนาดละเอียด และขนาดละเอียดมาก ซึ่งอาจมีกระบวนการบดเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งด้วย

ในกรณีที่ถ่านลิกไนต์มีไพไรต์ปนอยู่ด้วย ถ้าไพไรต์มีเกรนขนาดใหญ่อยู่ด้วยในช่วงตอนการล้างก็จะสามารถกำจัดไปได้บ้าง แต่ถ้ามีขนาดเล็กยากที่จะใช้วิธีการแต่งถ่านหินด้วยวิธีการใช้ความโน้มถ่วงอย่างเดียว อาจต้องใช้วิธีการลอยแร่ หรือการกำจัดด้วยแบคทีเรีย ซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจอย่างยิ่ง การบดถ่านหินแล้วแต่งทันที เนื่องจากอาจจะเกิดการออกซิไดซ์ขึ้นที่ผิวของถ่านหิน ทำให้สมบัติของถ่านหินเปลี่ยนไป เช่น สมบัติการลอยจะเปลี่ยนไป ถ่านหินที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์อยู่ในรูปของไพไรต์ก็อาจถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายเช่นกัน ทำให้การแยกถ่านหินทำได้ลำบากขึ้น

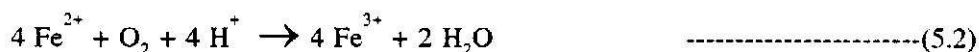
โดยสรุปการแต่งถ่านหินเกรดต่ำ ควรแต่งถ่านหินเมื่อมีขนาดหยาบ เพราะจะลดค่าใช้จ่ายลงได้ อาจใช้จึกหรือวิธีอาศัยขี้เถ้าหนัก สำหรับถ่านหินละเอียดที่เกิดจากกระบวนการนำจะแต่งด้วยวิธี Flocculation ที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในการลดเถ้าลงได้มาก อย่างไรก็ตามจากการวิจัยครั้งนี้ไม่อาจสรุปได้ว่าปริมาณซัลเฟอร์ที่ปนอยู่ในเนื้อถ่านหินถูกลดลงไปเล็กน้อยเพียงใดด้วยวิธีการนี้ ควรมีการศึกษาต่อไปตามที่กล่าวแล้วค้ำบนการแต่งถ่านหินขนาดละเอียด อาจต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น คงไม่คุ้มราคาถ่านหินที่ใช้สำหรับการเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยทั่วไป แต่อาจจะแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีราคาสูงขึ้น หรือใช้สำหรับการใช้งานในลักษณะที่เป็นถ่านผสมน้ำ (Coal Water mixture, CWM) หรือถ่านผสมน้ำมัน (Coal oil mixture, COM) ในรูปของเชื้อเพลิงสะอาดคล้ายน้ำมัน (heavy oil) ซึ่งประกอบด้วยน้ำ 30 % สารช่วยกระจายตัวและถ่านหินผงสามารถลำเลียงหรือขนย้ายด้วยระบบบ่อหรือถัง

การวิจัยนี้บ่งประเด็นการวิจัยไปที่การลดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ชัลเฟอร์ที่ปนในเมื่อถ่านหินในรูป สารอนินทรีย์ก็อาจถูกกำจัดไปด้วยเมื่อเผาลดลง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน เพื่อการออกแบบกระบวนการแต่งถ่านหินแหล่งหนึ่งๆ ถ้ามีองค์ประกอบของชัลเฟอร์สูง ควรวิจัยเน้นหนักถึงการลดปริมาณชัลเฟอร์โดยตรง วิธีการหนึ่งเพื่อกำจัดชัลเฟอร์ในถ่านหิน คือ กรรมวิธีทางเคมีด้วยการใช้ แคลเซียมออกไซด์ ซึ่งศึกษาโดย นิรันดร์ ยิงมหิศรานนท์<sup>26)</sup> โดยใช้ถ่านหินแหล่งกระบี่ที่ผ่านการแต่ง ด้วยวิธีการวิหัตแล้ว ได้ปรับความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์ 5 % และ 10 % ด้วยเวลาทำปฏิกิริยา ต่างๆ กัน ปรากฏว่าเมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ 10 % เวลาทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง สามารถลดชัลเฟอร์ ในถ่านหินจาก 3.46 % S เหลือเพียง 1.10 % S หรือสามารถกำจัดชัลเฟอร์ได้ถึงประมาณ 68 %

ด้วยวิธีการนี้เป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับการกำจัดชัลเฟอร์ในถ่านหิน ถึงแม้จะเพิ่มค่าใช้จ่าย ขึ้นบ้าง แต่เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนั้นวิธีการที่นำมาการศึกษาในแง่ของรายละเอียดได้แก่ การกำจัดชัลเฟอร์ที่อยู่ในรูปไพไรต์หรือชัลเฟตด้วยแบคทีเรีย เมื่อไพไรต์ถูกออกซิไดซ์ จะเกิดขึ้นตามสมการข้างล่างนี้



จะเห็นว่าเมื่อ pH ต่ำลงตามสมการข้างบน แบคทีเรียเริ่มมีบทบาทเมื่อ pH 4 และออกซิไดซ์แร่เมื่อ สัมผัสกับความชื้นหรืออากาศ ตามสมการ (5.2)



โลหะที่อยู่ในรูปแร่ซัลไฟด์ถูกทำให้ละลายโดยใช้แบคทีเรีย<sup>27)</sup> แต่วิธีการนี้ควรใช้เมื่อไพไรต์มี ขนาดละเอียดและใช้กระบวนการอื่นไม่ได้ผล

วิธีการลอยแร่ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการแยกแร่ไพไรต์ออกจากถ่าน หิน แต่ควรเป็นถ่านหินที่เตรียมใหม่ๆ กล่าวคือเป็นถ่านหินสดที่ยังไม่ถูกออกซิไดซ์ นั่นคือ การบด ถ่านหินและมลทินจะต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด เพราะจะมีผลโดยตรงต่อความเป็นได้การใช้วิธีการ และประสิทธิภาพในการแยก

## เอกสารอ้างอิง

1. ประเสริฐ ชูมรุม และคณะ. 2538. เทคโนโลยีการทำเหมืองถ่านหิน. บริษัทแคนคิด มีเดีย จำกัด. กรุงเทพ.
2. กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณี. 2526. ถ่านหิน., รายงานการประชุมวิชาการ กรมทรัพยากรธรณี ครั้งที่ 2, สำนักงานเลขานุการกรม 12-13 กันยายน 2526.
3. Durie, R.A. editor. 1991. The Science of Victorian Brown Coal; Structure, Properties and Consequences for Utilization. Butterworth Heinemann, Australia. pp. 72-74.
4. Berkowitz, N. 1994. An Introduction to Coal Technology, 2nd. ed., Academic Press, Inc., San Diego. pp. 62-72.
5. เกริกชัย สุกาญจน์จี้. 2529. ไอ้และพลังงานจากถ่านหิน. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 3-7.
6. งานถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ. 2529. พลังงานจากถ่านหินในประเทศ, ข่าวสารการธรณี ปีที่ 31 ฉบับที่ 3.
7. Leonard, J.W., III, editor. 1991. Coal Preparation. 5th ed. Societr for Mining, Metallurgy, and Exploration, INC., Littleton, Colorado, 1131 p.
8. นิคม โชติกานนท์. 2536. การแต่งแร่, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. จำนวน 232 หน้า.
9. สมชาย สุพฤฒินิษฐ์ และจิตวัฒน์ มีสุข. 2530. ประโยชน์ของการแต่งถ่านหิน, ข่าวสารการธรณี มีนาคม 2530. หน้า 19-23.
10. Kelly, E. G. and Spottiswood, D.J. 1982. Introduction to Mineral Processing. John Wiley and Sons, New York, pp. 250-256.
11. Burt, R.O. 1984. Gravity Concentration Technology. Elsevier Science Publisher, New York. pp. 189-190 and 291.
12. Wills, B.A. 1985. Mineral Processing Technology, 3rd. ed., Pergamon Press, Oxford, 624 p.
13. Lone, NR.S, 1984. On The Sedectric Flocculation of Coal Using Polystyrene latex, Inter J. of Mineral Proc. No.7 Vol.17., pp. 187.
14. Hucks, R.E. 1983. Beneficiation of Coal by Selective Flocculation a habavatory Study, U.S. Bureau of Mines, pp. 2-4.

15. Rubio, J. and Hoffman Sampaio, C. 1988. "The Beneficiation of Coal Fines From Candiota, Brazil," Froth Flotation, Elsevier, Amsterdam, pp. 129-140.
16. Cuttrell, G.H. and et. al., 1988, "Microbubble Flotation of Fine Coal", Column Flotation '88, Society of Mining Engineering Inc., Littleton, Colorado, pp. 205-211.
17. Kawatra, S.H. and Eisele, T.C., 1988. "Studies Relating to Removal of Pyritic Sulfur From Coal by Column Flotation", Column Flotation '88, Society of Mining Engineering Inc. Littleton, Colorado, pp. 213-220.
18. Reddy, P.S.R. and et. al., 1988. "Flotation Column for the Recovery of Coal Fines.," Column flotation '88 pp. 221-226.
19. Parekh, B.K., Groppo, J.G., Stotts, W.F. and Bland, A.E., 1988. Recovery of Fine Coal from Preparation Plant Refuse Using Column flotation, Column Flotation '88. Society of Mining Engineering Inc., Littleton, Colorado. pp. 227-233.
20. Misra, M. and Harris, R. 1988. Column Flotation of Fine Coal From Waste Coal Refuse; Column Flotation '88., Society of Mining Engineering Inc., Littleton, Colorado., pp. 235-242.
21. Sikong, L. 1989. Fundamental Investigation of Properties and Fine Grinding of Coals. Doctoral Thesis, Tohoku University. Sendai, Japan, 258 p.
22. สุชาติ คุ่นแก้ว. 2532. การแต่งถ่านหินลิกไนต์โดยใช้จี้กและไต้สัน, รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
23. สมชาย สุพฤฒินิพนธ์ และจิตวัฒน์ มีสุข. 2531. สารสำคัญของ การแต่งถ่านหิน. ข่าวสารการธรณี, ฉบับพิเศษ หน้า 59-67.
24. ภัทรารุช มณีรัตน์. 2536. การศึกษาการลอยถ่านหินลิกไนต์. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 32 หน้า.
25. อารงค์ ศรีตุลาการ. 2533. การศึกษาการกำจัดกำมะถันในถ่านหินลิกไนต์. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 61 หน้า.



26. นิรันดร์ ชัยมหิธรานนท์. 2538. Coal Dressing. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรม-เหมืองแร่และโลหะวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 66 หน้า.
27. Bos, P., Boogerd, F.C. and Kuenen, J.G. 1992. Microbial Desulfurization of Coal; Environmental Microbiology ed. by. Ralph Mitchell, Wiley-Liss, A. John Wiley & Sons. Inc., New York, pp. 375-403.

## ภาคผนวก

1. Sikong, L., Hashimoto, H. and Yashima, S. 1990. Breakage Behavior of Fine Particles of Brittle Minerals and Coals, Powder Technology, (61) : 51-57.
2. Sikong, L., Hashimoto, H. and Yashima, S. 1991. Effective Fine Grinding of Coal of a Ball-Race Mill with Grinding Additives, J. of Min. and Materials Process. Inst. of Japan, (107): 41-46.
3. เล็ก สีคง และพันธุทธิ์ วิจิตรสงวน. 2537. ค่า HGI และความแข็งของลิกไนต์ไทย, การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5 ในหัวข้อ “อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ”, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์, 5-44~5-53.

## Breakage Behavior of Fine Particles of Brittle Minerals and Coals

L. SIKONG

*Department of Mining and Metallurgical Engineering, Prince of Songkla University, Hat-Yai (Thailand)*

H. HASHIMOTO

*Department of Materials Processing, Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai (Japan)*

and S. YASHIMA

*Emeritus Professor of Tohoku University, Sendai (Japan)*

(Received March 21, 1989; in revised form August 18, 1989)

### SUMMARY

*Breakage behavior of fine single particles of five minerals and two coals in a size range from 88  $\mu\text{m}$  to 1  $\mu\text{m}$  was investigated by compression tests. Strength of the particles varies with particle size and their relation is similar to that of coarser particles previously given by Yashima et al. Specific fracture energy has a tendency to increase with decreasing particle size. Particles under a few micrometres deformed to a considerable extent without fracture. It may suggest even brittle materials deformed plastically. Local plastic deformation was also observed in fractured coarser particles. Critical sizes of this elastic/partially-plastic behavior and of partially-plastic/fully-plastic behavior were estimated based on theory of elasticity and microscopic observation of the particles after compression.*

### INTRODUCTION

Ultrafine grinding techniques have attracted much attention as a method of producing ultrafine powders. In order to understand the ultrafine grinding by compression, it is necessary to know breakage characteristics of fine particles under compressive load. According to Yashima and Saito [1], the compressive strength of a brittle particle varies with its volume or particle size. They showed that the particle's strength tended to increase with decreasing particle size in a wide range from 100  $\mu\text{m}$  to 0.030  $\mu\text{m}$  size. Yashima et al. [2] calculated the energy

which is required to fracture those brittle particles of 1  $\mu\text{g}$ , by taking into account the dependence of the particle's strength on particle size. They showed that this energy increased with decreasing particle size. Their result suggests that a large amount of energy is required for the ultrafine grinding by compression. MacMillan and Gane [3] showed that no crack was observed around an impression on the surface of germanium. The impression was made by an ultra-micro indentation tester with a 100-nm diameter stylus. They postulated that on such a small scale the applied stress affected a volume virtually free from defects and therefore the plastic deformation without fracture was possible. According to Rumpf [4], even brittle materials increasingly tend to deform plastically as the particle size becomes smaller. He showed by SEM that a 1.7- $\mu\text{m}$  quartz particle deformed plastically without fracture to a third of the particle size and it provided an answer to the important technical question as to the limit of grindability by compression. Thus the breakage characteristics of a fine brittle particle may change at a certain particle size. Parish [5] determined the critical particle size of elastic/plastic behavior of coal from his microscopic observation. He observed the breakage behavior of a coal particle compressed between glass plates.

This paper presents an experimental study of the breakage behavior of a single brittle particle in a size range from 88  $\mu\text{m}$  to 1  $\mu\text{m}$ . The relation between the particle's strength and the particle size of five minerals and two coals is given. The relation of the specific fracture energy to the particle size is also

given. Critical sizes of elastic/partially-plastic behavior and of partially-plastic/fully-plastic behavior were estimated, based on theory of elasticity and microscopic observation.

## EXPERIMENTAL

### Materials

Five minerals and two coals were used in this experiment: quartz, feldspar, limestone, marble, gypsum, Yarrabee coal and Daiyon coal. Some properties of the minerals and coals are tabulated in Table 1. These samples were ground by a mortar and classified into narrow size intervals by electroformed micro-mesh sieves (3, 5, 10, 26 and 32  $\mu\text{m}$ ) and JIS standard sieves combined with a vibratory sieve shaker in an ultrasonic bath. The classified samples were dried and kept in a desiccator.

### Compression tests

An ultra-micro compression apparatus having a maximum load of 0.98 N was used for compression tests. The apparatus was made by modifying a dynamic ultra-micro hardness tester (Shimadzu, DUH-50). As illustrated in Fig. 1, a specimen was compressed between two parallel diamond platens. Compression load was controlled with an accuracy of  $\pm 1\%$  of indication by a solenoidal coil connected to a digital computer. Displacement of the specimen in the loading direction was measured by a differential transformer (D.T.F.) with a sensitivity of 0.01  $\mu\text{m}$ .

TABLE 1  
Properties of samples

Sample	Density ( $\text{kg/m}^3$ )	Young modulus (GPa)	Poisson ratio	Moh's hardness number	Bond work index (kWh/t)	Hardgrove grindability index	Content of volatile matter <sup>a</sup> (%)
<b>Minerals</b>							
Quartz	$2.62 \times 10^3$	87.1	0.16	6	13.3	—	—
Feldspar	$2.55 \times 10^3$	58.7	0.26	6	12.4	—	—
Limestone	$2.70 \times 10^3$	68.0	0.32	4	9.4	—	—
Marble	$2.70 \times 10^3$	53.4	0.30	3	6.9	—	—
Gypsum	$2.30 \times 10^3$	37.8	0.32	2	6.3	—	—
<b>Coals</b>							
Yarrabee	$1.53 \times 10^3$	4.77	0.29	—	1.7	67	9.4
Daiyon	$1.41 \times 10^3$	—	—	—	—	38	38.4

<sup>a</sup>Dry ash-free basis.

The narrow-sized particles were suspended in acetone and were dropped onto the lower diamond platen (the lower platen is detachable from the apparatus). After evaporating the acetone, the particles' size was checked by a profile projector (Nikon, V-12). A very thin adhesive or resin film formed on the surface of the platen was used to fix these particles on the platen if necessary. After attaching the lower platen to a X-Y-Z table, one of the particles was selected to be compressed and its position was adjusted by the X-Y-Z table and a built-in microscope (magnification 400). The compression tests were carried out under a conventional rate of loading. The load and the displacement were recorded by a X-Y plotter.

The strength of the particle, which we called particle compressive strength, was calculated by the Hiramatsu-Oka equation [6]:

$$St = \frac{2.8L_f}{\pi d^2} \quad (1)$$

where  $St$  (Pa) is the particle compressive strength,  $L_f$  (N) is the fracture load and  $d$  (m) is the particle size.

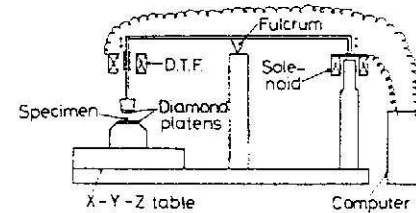


Fig. 1. Schematic diagram of ultra-micro loading apparatus.

The specific fracture energy, which means the specific strain energy accumulating in the particle until fracture, was calculated by eqn. (2):

$$SE = \frac{\Delta_f L_f}{2m} \quad (2)$$

where  $SE$  (J/kg) is the specific fracture energy,  $\Delta_f$  (m) is displacement at fracture and  $m$  (kg) is the mass of the particle. The mass of the particle was estimated by assuming the particle to be a sphere.  $St$  and  $SE$  of 50 - 100 specimens in each size interval were measured.

## RESULT AND DISCUSSION

Figure 2 shows the relation between the particle compressive strength and the particle size of five minerals.  $St$  has, on the whole, a tendency to increase with decreasing particle size. However, it decreases slightly under about 10  $\mu\text{m}$ .  $St$  of two coals has the same tendency as minerals as shown in Fig. 3. Figures 4 and 5 show the relationship between the specific fracture energy and the particle size of five minerals and that of two coals, respectively.  $SE$  has a similar trend to  $St$ . These figures show that a large amount of energy is required to fracture such fine particles by compression. In this experiment,

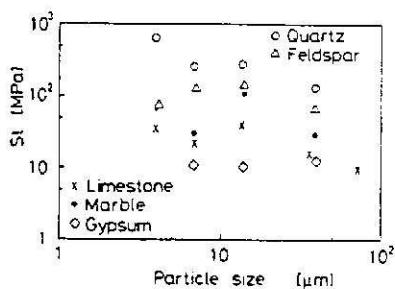


Fig. 2. Relation between particle compressive strength and particle size of brittle minerals.

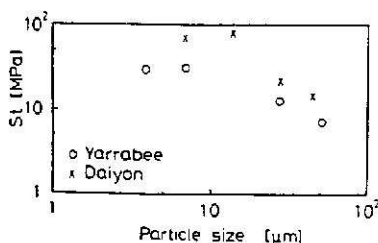


Fig. 3. Relation between particle compressive strength and particle size of coals.

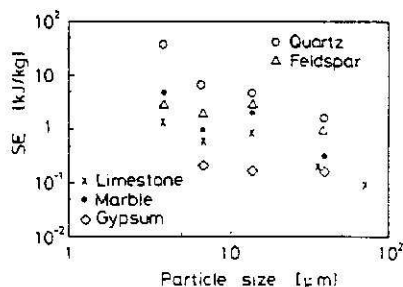


Fig. 4. Relation between specific fracture energy and particle size of brittle minerals.

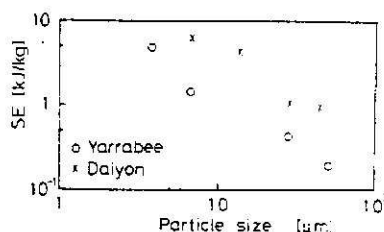


Fig. 5. Relation between specific fracture energy and particle size of coals.



Fig. 6. SEM image of a 1 to 2- $\mu\text{m}$  quartz particle after compression.

particles under a few micrometres were deformed to a considerable extent without fracture. Figure 6 shows an SEM image of a 1 to 2- $\mu\text{m}$  quartz particle after compression. The particle deformed to a platelike particle without fracture. No crack was observed, suggesting that plastic deformation occurred. The same phenomenon as for the quartz particle is observed for a 3 to 4- $\mu\text{m}$  Yarrabee coal particle as shown in Fig. 7. Therefore,  $St$  and  $SE$  of the particles under a few micrometres could not be calculated. As compared with the result for coarser particles [1], the breakage behavior of fine particles varies



Fig. 7. SEM image of a 3 to 4- $\mu\text{m}$  Yarrabee coal particle after compression.

with particle size in a more complicated manner.

It is very useful to know the critical size of elastic/plastic behavior. It is, however, thought that the breakage behavior changes gradually with particle size. Figure 8 shows an SEM image of a 30- $\mu\text{m}$  Daiyon coal particle after compression. Although many large cracks are observed, a wide plain surface is also observed on the upper side of the particle, which was pressed by the upper diamond platen. The wide plain surface seemed to be formed by the local plastic deformation. Thus the breakage behavior may change from elastic to partially-plastic at a certain coarser size and then change from partially-plastic to fully-plastic at a certain finer size. The fully-plastic region can be estimated by the microscopic observation as already shown in Figs. 6 and 7. However, we have much difficulty in determining the critical size of elastic/partially-plastic behavior by micro-



Fig. 8. SEM image of a 30- $\mu\text{m}$  Daiyon coal particle after compression.

scopic observation alone. In this study, the critical size of elastic/partially-plastic behavior was estimated based on theory of elasticity and microscopic observation.

When an elastic sphere is compressed between two parallel platens as illustrated in Fig. 9, the load-deformation relationship is given by eqn. (3) [7]:

$$\Delta = 3^{2/3} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{2/3} d^{-1/3} L^{2/3} \quad (3)$$

where  $\Delta$  (m) denotes the deformation of the sphere in the loading direction,  $L$  (N) the load,  $d$  (m) the diameter of the sphere,  $E_1$  (Pa) and  $\nu_1$ , the Young modulus and Poisson ratio of the sphere, respectively,  $E_2$  (Pa) and  $\nu_2$ , those of the diamond platens. Generally,  $E_2 \gg E_1$  and  $\nu_1 \cong \nu_2$ . Therefore,

$$\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \cong \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \quad (3)$$

Strain  $\epsilon$  at the fracture point is given by

$$\epsilon = \frac{\Delta_f}{d} \quad (5)$$

where  $\Delta_f$  (m) denotes the deformation of the sphere at the fracture point. From eqns. (1), (3), (4) and (5), we have the following relationship:

$$\frac{St}{\epsilon^{1.5}} = \frac{0.297E_1}{1 - \nu_1^2} \quad (6)$$

Since the Young modulus and Poisson ratio of elastic materials do not change with particle size,  $St/\epsilon^{1.5}$  of the elastic sphere does not change with particle size, as derived from eqn. (6). When local plastic deformation occurs, the relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and  $0.297E_1/(1 - \nu_1^2)$  may deviate from eqn. (6). The value of  $St/\epsilon^{1.5}$  is presumed to decrease with an increase in the local plastic deformation

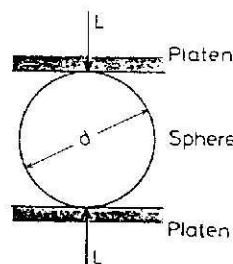


Fig. 9. Elastic sphere compressed between parallel platens.

because the plastic strain is added to the elastic strain.

Figure 10 shows the relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and the particle size of quartz. The dotted line in the figure denotes the value of  $0.297E_1/(1 - \nu_1^2)$ . A slight decrease in  $St/\epsilon^{1.5}$  is observed under 10 - 20  $\mu\text{m}$  size. The critical size of elastic/partially-plastic behavior of quartz is therefore estimated to be 10 - 20  $\mu\text{m}$  from this figure. Figures 11 - 16 show the relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and the particle size of feldspar, limestone, marble, gypsum, Yarrabee coal and Daiyon coal, respectively. Slight or large decrease in  $St/\epsilon^{1.5}$  is observed in most of these figures. The critical size of elastic/partially-plastic behavior estimated both from these figures and the microscopic observation is tabulated in Table 2. The critical size of partially-plastic/fully-plastic behavior estimated from the microscopic observation is also tabulated in Table 2. It is found that the partially-plastic/fully-plastic

critical size of quartz is 1 - 2  $\mu\text{m}$ , which agrees well with that given by Steier and Schonert [8]. It is interesting to note that the hard minerals such as quartz and feldspar have finer critical sizes than the soft minerals such as limestone, marble and gypsum. It is also interesting to note that the high-volatile coal (Daiyon) has coarser critical sizes than the low-volatile coal (Yarrabee).

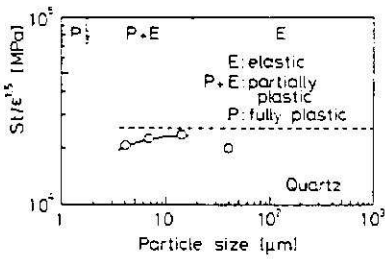


Fig. 10. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of quartz.

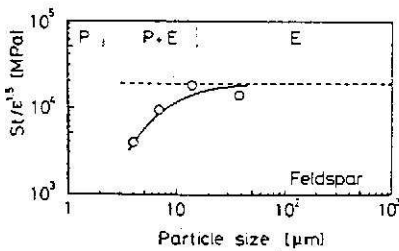


Fig. 11. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of feldspar.

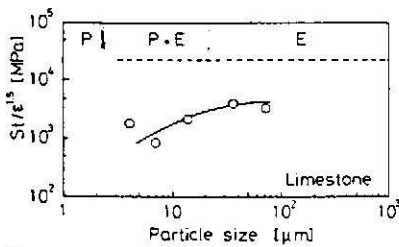


Fig. 12. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of limestone.

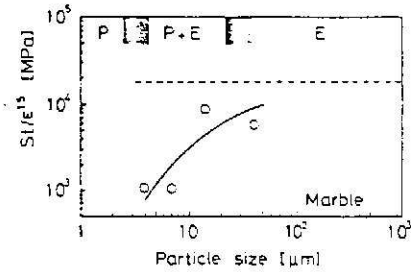


Fig. 13. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of marble.

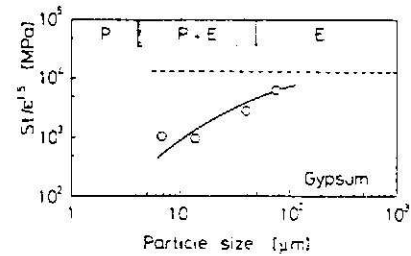


Fig. 14. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of gypsum.

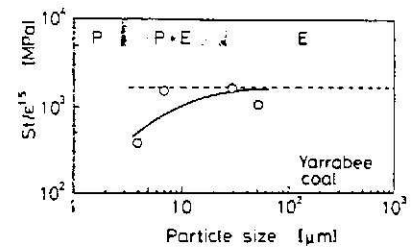


Fig. 15. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of Yarrabee coal.

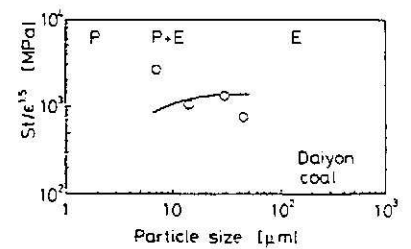


Fig. 16. Relation between  $St/\epsilon^{1.5}$  and particle size of Daiyon coal.

TABLE 2  
Critical size of elastic and plastic behavior

Sample	Elastic/partially-plastic ( $\mu\text{m}$ )	Partially-plastic/fully-plastic ( $\mu\text{m}$ )
Minerals		
Quartz	10 - 20	1 - 2
Feldspar	10 - 20	2 - 3
Limestone	20 - 30	2 - 3
Marble	20 - 30	2 - 3
Gypsum	30 - 40	4 - 5
Coals		
Yarrabee	10 - 20	3 - 4
Daiyon	20 - 30	4 - 5

Concerning the mechanism of the change in breakage behavior, we have no clear explanation. However, some researchers [3, 9] have reported the mechanism of the plastic deformation of brittle materials. As already described, MacMillan and Gane [3] showed that no crack was observed around an impression on the surface of germanium. The impression was made by an ultra-micro indentation tester with a 100-nm diameter stylus. They postulated that on such a small scale the applied stress affected a volume virtually free from defects and therefore plastic deformation without fracture as possible. Pethica *et al.* [9] reported a similar result by using hardness measurements at small penetration depth (20 nm) on silicon. They postulated that the local plastic deformation could be aided by the presence of active surface dislocation sources. Fine brittle particles made by grinding are supposed to contain a large number of mechanochemically activated points such as active dislocation sources [10]. It is supposed that the potential energy accumulates in such fine particles in the form of lattice strain energy. Figure 17 [11] shows Hall's plot [12] of marble particles used in

this experiment. The slope of mean squares-fitted lines, which is proportional to the lattice strain, increases with decreasing particle size. It may suggest that a greater number of active dislocation sources exists in the finer particles. These sources may aid the plastic deformation.

## CONCLUSION

This paper presents an experimental study of the breakage behavior of a single brittle particle in a size range from 88  $\mu\text{m}$  to 1  $\mu\text{m}$ . The relation between the particle's strength and the particle size of these finer particles is similar to that of coarser particles given by Yashima and Saito [1]. The specific fracture energy has a tendency to increase with decreasing particle size. The particles under a few micrometres were deformed to a considerable extent without fracture. The critical sizes of partially-plastic/fully-plastic behavior and of elastic/partially-plastic behavior were estimated based on the theory of elasticity and microscopic observation. The critical sizes of the hard minerals seem to be finer than those of the soft minerals.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Grant-in-Aid for Co-operative Research (A) No. 62302052, from The Ministry of Education, Science and Culture of Japan. The authors wish to thank Mr. K. Suzuki, Government Industrial Research Institute, Nagoya, for help with X-ray diffraction analysis. The authors also thank Dr. K. Tanno, Miyagi Technical College, for help with SEM observation.

## LIST OF SYMBOLS

- $d$  particle size, m
- $E_1$  Young modulus of particle, Pa
- $E_2$  Young modulus of diamond platen, Pa
- $L$  load, N
- $L_f$  fracture load, N
- $m$  mass of particle, kg
- $SE$  specific fracture energy, J/kg
- $St$  particle compressive strength, Pa

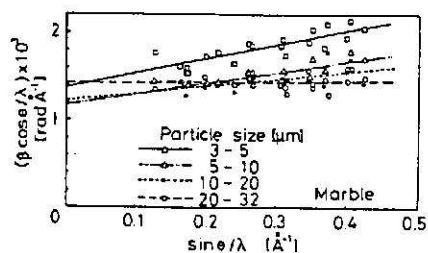


Fig. 17. Hall's plot of marble particles.



- $\beta$  line broadening of X-ray diffraction pattern, rad  
 $\Delta$  deformation, m  
 $\Delta_f$  deformation at fracture, m  
 $\epsilon$  strain at fracture  
 $\theta$  angle of diffraction, rad  
 $\lambda$  wave length of X-ray, Å  
 $\nu_1$  Poisson ratio of particle  
 $\nu_2$  Poisson ratio of diamond platen

## REFERENCES

- 1 S. Yashima and F. Saito, *Science Reports of Research Institutes of Tohoku University*, 27A (1978) 31.
- 2 S. Yashima, Y. Kanda and S. Sano, *Powder Technol.*, 51 (1987) 277.
- 3 N. H. MacMillan and N. Gane, *J. Appl. Phys.*, 41 (1970) 672.
- 4 H. Rumpf, *Powder Technol.*, 7 (1973) 145.
- 5 B. M. Parish, *Brit. J. Appl. Phys.*, 18 (1967) 233.
- 6 Y. Hiramatsu and Y. Oka, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 3 (1966) 89.
- 7 S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, New York, 3rd edn., 1970, p. 420.
- 8 K. Steier and K. Schonert, *DEHEMA Monogr.*, 69 (1972) 167.
- 9 J. B. Pethica, R. Hutchings and W. C. Oliver, *Phil. Mag.*, A48 (1983) 593.
- 10 M. Senna, in *Advances in Chemical Engineering in Japan*, vol. 19, edited by Institute of Chemical Engineers Japan, Maki-shoten, Tokyo, 1985.
- 11 L. Sikong, *Ph.D. Thesis*, Tohoku University (1989).
- 12 W. H. Hall, *Proc. Phys. Soc. (London)*, 62A (1949) 741.

# Effective Fine Grinding of Coal by a Ball-Race Mill with Grinding Additives\*

by Lek SIKONG<sup>1</sup>, Hitoshi HASHIMOTO<sup>2</sup> and Saburo YASHIMA<sup>3</sup>

[UDC 622.735.33]

Ball-race mills form one of the most widely used types of industrial grinding device, employed especially for dry fine grinding of coal. Grinding rates and efficiencies of these mills decrease with build up of fine ground powder. In this study, grinding mechanism of coal by a Hardgrove mill, a representative ball-race mill, was analyzed by using a dead space model combined with a non-linear mean squares fitting technique. As a result of the analysis, slow mixing down of grinding rates which results in inefficient fine grinding of coal by Hardgrove mill. Based on the result, grinding additives which can improve the flowability were selected and tested by a milling experiment. As a result, calcium stearate and carbon black were found to be most effective for fine grinding of coal by Hardgrove mill. Furthermore, action mechanisms of some additives were analyzed by using the dead space model.

**KEY WORDS:** Fine Grinding, Coal, Grinding Additive, Hardgrove Mill, Grinding Efficiency

## 1. Introduction

Coal has great possibilities as an energy resource because of its huge amount of reserves and world-wide distribution. However, coal has not been utilized widely because of its poor facility in handling. New coal-utilizing techniques which have been developed after the oil crisis involve fluidizing of coal such as gasification, liquefaction, coal-oil-mixture (COM), coal-water-mixture (CWM) and pulverized coal firing of furnaces. Effective fine grinding of coal is a key technique to most of them. Especially for production of the pulverized coal fuel of furnaces, efficient dry fine grinding techniques are necessary. Roll-race and ball-race mills form one of the most widely used types of industrial grinding device, employed especially for grinding of coal for pulverized coal firing of furnaces<sup>1)</sup>. However, these mills essentially have low efficiency in grinding of finer powders. Austin et al.<sup>2)</sup> showed that grinding of coarse coal powder by a standard Hardgrove mill, which is a ball-race mill used to measure a grindability index of coal, gave first-order disappearance kinetics, whereas starting with a feed of fine powder gave non-first-order breakage due to slowing down of the specific breakage rates of the powder with increasing milling time. This paper presents an analysis of grinding mechanism of coal by Hardgrove mill by using a dead space model combined with a non-linear mean squares fitting technique. Based on a result of the analysis, grinding additives which can improve the grinding efficiency were selected and tested by a milling experiment.

Furthermore, action mechanisms of some grinding additives including the effective additives were analyzed by the dead space model.

## 2. Theoretical Consideration

The dead space model which has been proposed by Gotsis et al.<sup>3)</sup> consists of a dead space and an active space as shown in Fig. 1. In the active space, particles are ground according to the first-order breakage law, while in the dead space no breakage action occurs. Each space is considered as fully mixed with respect to all particle sizes. A constant mass interchange between the two spaces is assumed. Grinding kinetics and mass balance of the largest particles in feed powder give the following grinding rate equation<sup>3)</sup>,

$$\frac{d^2w(t)}{dt^2} + \left(S + \frac{C}{V}\right) \frac{dw(t)}{dt} + CSw(t) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

where  $w(t)$  denotes weight fraction of the largest particles at grinding time  $t$ ,  $V$  volume fraction of the active space,  $S$  the specific rate of breakage of the largest particles in the active space and  $C$  the specific rate of mass interchange defined by a weight ratio of the powder which is transferred from the dead space to the active space per unit time and vice versa to the powder in the dead space. The solution of the equation for the fully mixed initial condition is,

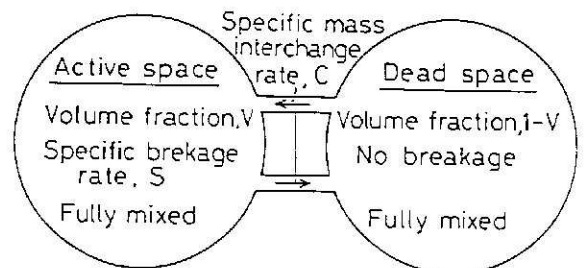


Fig. 1 Dead space model.

\* Received August 8, 1990; accepted for publication November 28, 1990

1 ~ 3. Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy (SEN-KEN), Tohoku University Aoba-ku, Sendai 980 JAPAN  
 1. Res. Student, (Now he is Lecturer, Dr., Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand)  
 2. Res. Assoc., Dr. (Now he is at Faculty of Engineering, Tohoku University)  
 3. Prof., Dr. (Now he is Prof. Emeritus)

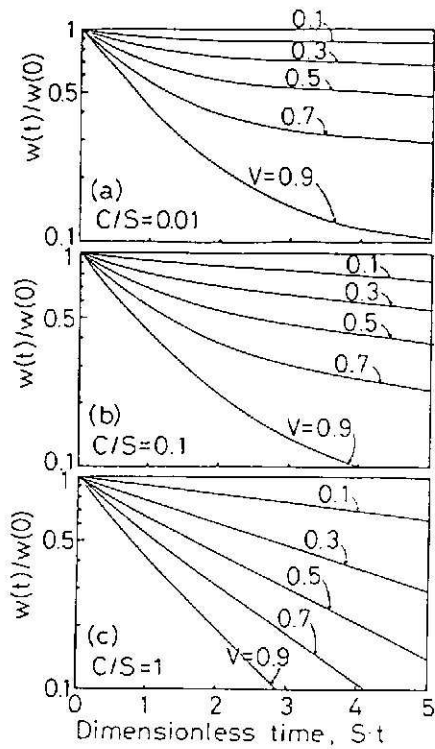


Fig. 2 Typical results given by eqn. (2); (a) for  $C/S = 0.01$ , (b) for  $C/S = 0.1$  and (c) for  $C/S = 1$ .

$$\frac{w(t)}{w(0)} = \frac{(D_2 - VS) \exp(-D_1 t) + (VS - D_1) \exp(-D_2 t)}{D_2 - D_1} \dots (2)$$

where

$$D_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{C}{V} + S \right) - \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{C}{V} + S \right)^2 - 4CS \right]^{1/2} \dots (3)$$

$$D_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{C}{V} + S \right) + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{C}{V} + S \right)^2 - 4CS \right]^{1/2} \dots (4)$$

Experimental data are usually plotted on log-normal coordinates. If the grinding proceeds according to first-order breakage kinetics, it results in a linear decrease in  $\log[w(t)/w(0)]$  with increasing milling time. However, the first-order grinding in the presence of the dead space with a slow mass interchange between the active and dead spaces shows a non-linear decrease in  $\log[w(t)/w(0)]$ , as shown in Fig. 2. Fig. 2(a), (b) and (c) show typical results given by eqn. (2). For small values of  $C/S$ ,  $\log[w(t)/w(0)]$  versus dimensionless grinding time shows non-linear decrease. Therefore, the small rate of mass interchange in comparison with the specific breakage rate gives non-linear breakage kinetics.

To determine the parameters  $C$ ,  $V$  and  $S$  from the non-linear grinding data, a least squares fitting method for non-linear problems was used. Marquardt's method<sup>4)</sup>, which is an excellent non-linear least squares fitting technique, requires partial derivatives of  $\log[w(t)/w(0)]$  with respect to  $C$ ,  $V$  and  $S$ . These derivatives are given from eqn. (2) as follows,

$$\frac{\partial f}{\partial C} = \frac{1}{(VS - D_1) \exp(-D_2 t) + (D_2 - VS) \exp(-D_1 t)} \left[ -\frac{\partial D_1}{\partial C} \exp(-D_2 t) - \frac{\partial D_2}{\partial C} t (VS - D_1) \exp(-D_2 t) \right]$$

$$+ \frac{\partial D_2}{\partial C} \exp(-D_1 t) + \frac{\partial D_1}{\partial C} (D_2 - VS) t \exp(-D_1 t) - \frac{1}{D_2 - D_1} \left( \frac{\partial D_2}{\partial C} - \frac{\partial D_1}{\partial C} \right) \dots (5)$$

$$\frac{\partial f}{\partial V} = \frac{1}{(VS - D_1) \exp(-D_2 t) + (D_2 - VS) \exp(-D_1 t)} \left[ \left( S - \frac{\partial D_1}{\partial V} \right) \exp(-D_2 t) + \frac{\partial D_2}{\partial V} t (D_1 - VS) \exp(-D_2 t) + \left( \frac{\partial D_2}{\partial V} - S \right) \exp(-D_1 t) + \frac{\partial D_1}{\partial V} t (VS - D_2) \exp(-D_1 t) \right] - \frac{1}{D_2 - D_1} \left( \frac{\partial D_2}{\partial V} - \frac{\partial D_1}{\partial V} \right) \dots (6)$$

$$\frac{\partial f}{\partial S} = \frac{1}{(VS - D_1) \exp(-D_2 t) + (D_2 - VS) \exp(-D_1 t)} \left[ \left( V - \frac{\partial D_1}{\partial S} \right) \exp(-D_2 t) + \frac{\partial D_2}{\partial S} t (D_1 - VS) \exp(-D_2 t) + \left( \frac{\partial D_2}{\partial S} - V \right) \exp(-D_1 t) + \frac{\partial D_1}{\partial S} t (VS - D_2) \exp(-D_1 t) \right] - \frac{1}{D_2 - D_1} \left( \frac{\partial D_2}{\partial S} - \frac{\partial D_1}{\partial S} \right) \dots (7)$$

where,  $f = \log [w(t) / w(0)]$

Correction vector  $(\delta C, \delta V, \delta S)$  of the parameters is given by solving the following matrix equation<sup>4)</sup>,

$$\begin{bmatrix} \Sigma \left( \frac{\partial f}{\partial C} \right)^2 - z & \Sigma \frac{\partial f}{\partial C} \frac{\partial f}{\partial V} & \Sigma \frac{\partial f}{\partial C} \frac{\partial f}{\partial S} \\ \Sigma \frac{\partial f}{\partial V} \frac{\partial f}{\partial C} & \Sigma \left( \frac{\partial f}{\partial V} \right)^2 - z & \Sigma \frac{\partial f}{\partial V} \frac{\partial f}{\partial S} \\ \Sigma \frac{\partial f}{\partial S} \frac{\partial f}{\partial C} & \Sigma \frac{\partial f}{\partial S} \frac{\partial f}{\partial V} & \Sigma \left( \frac{\partial f}{\partial S} \right)^2 - z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta C \\ \delta V \\ \delta S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Sigma R \frac{\partial f}{\partial C} \\ -\Sigma R \frac{\partial f}{\partial V} \\ -\Sigma R \frac{\partial f}{\partial S} \end{bmatrix} \dots (8)$$

where  $\Sigma$  denotes the operation of summing with respect to all experimental points,  $z$  a weighing factor and  $R$  a residual which is given by,

$$R = (\text{value of } \log[w(t)/w(0)] \text{ calculated by eqn. (2)}) - (\text{experimental value of } \log[w(t)/w(0)]) \dots (9)$$

A set of optimum values of the parameters was determined through the following steps, 1) the initial values of the parameters and the weighing factor are given, 2) correction vector is calculated by solving eqn. (8), 3) values of the parameters are corrected by adding the correction vector, 4) the weighing factor  $z$  is lessened when the sum total of  $R^2$  tends to diminish, whereas the factor is increased when the sum total becomes greater, 5) to repeat the step through 2) to 4) until the sum total of the absolute value of components of the vector becomes smaller than a given value.

### 3. Experimental

Canadian coal was used to analyze the grinding mechanism of coal by Hardgrove mill. The Hardgrove grindability index (HGI), ash content, volatile matter content (VM), fixed carbon content (FC) and calorific value of the sample are

Table 1 Properties of Canadian coal.

Hardgrove grindability index HGI	Volatile matter content VM [%]	Fixed carbon content FC [%]	Calorific value [kJ/g]
42	29	55	28.1

Table 2 Properties of test sample powders.

Mesh No.	Particle size range [mm]	Aerated bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Tapped bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Compressibility [%]
10 × 14	1.19 ~ 1.68	660	730	9.6
20 × 28	0.59 ~ 0.84	620	720	13.9
35 × 48	0.297 ~ 0.42	610	730	16.4
65 × 100	0.150 ~ 0.21	550	700	21.4
100 × 150	0.105 ~ 0.150	520	690	24.6

tabulated in Table 1. The coal was crushed by a crushing roll and classified into five size intervals as tabulated in Table 2 by JIS standard sieves and a Ro-tap sieve shaker. Particle size range, aerated and tapped bulk densities and compressibility of each classified sample are tabulated in Table 2.

Each sample was ground by the standard Hardgrove mill which has been modified by the addition of a torque meter and a variable-speed motor. Ground powder was sieved to determine the value of  $w(t)$  after a given milling time. After sieving, the powder was put back and ground again. Several sets of grinding and sieving operations were performed to obtain a series of  $w(t)$  values. By using Marquardt's method, a set of the parameters  $C$ ,  $V$  and  $S$  of the dead space model was determined from a series of  $w(t)$  values.

Canadian coal was also used to test 13 kinds of grinding additives. The sample in the range 0.105 ~ 0.150 mm (100 × 150 mesh) was ground with and without the additives for 30 minutes under a standard condition (rotational speed of 15 rpm, powder filling fraction of 0.5, crushing load of 284 N). Energy consumption by grinding was determined by measurements of torque with and without powder. (The torque was corrected by subtracting the torque due to friction in bearings and reduction gears of the mill.) The weight of powder passing 0.105 mm (150 mesh) sieve after grinding was measured to determine the energy efficiency of grinding which was defined by the ratio of the weight passing 0.105 mm to the energy consumption. The weight passing 0.105 mm and the energy efficiency in grinding with the additives were compared with those in grinding without the additives.

Three foreign coals of different grindabilities were used to analyze the action mechanisms of three grinding additives, including calcium stearate, carbon black and methanol. HGI, ash content, VM, FC and calorific value of each sample are tabulated in Table 3. These coals were crushed and sieved to prepare the samples in the range 0.105 ~ 0.150 mm. Calcium stearate and carbon black which were selected on the basis of a result of the analysis, are respectively solid lubricant and

Table 3 Properties of foreign coals.

Coal	Hardgrove grindability index HGI	Volatile matter content VM [%]	Fixed carbon content FC [%]	Calorific value [kJ/g]
A	38	36	58	33.1
B	52	28	62	30.2
C	67	8.7	84	32.3

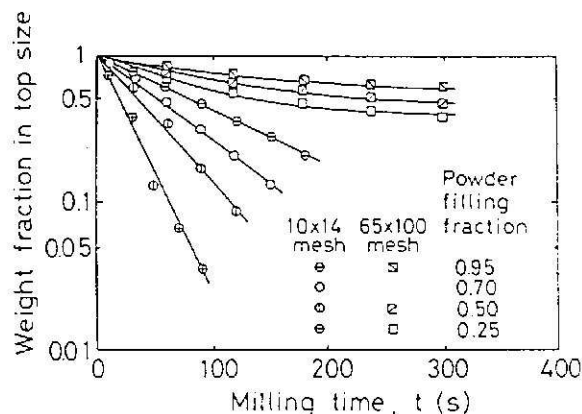


Fig. 3 First-order plots for 1.19 ~ 1.68 mm (10 × 14 mesh) and 0.150 ~ 0.210 mm (65 × 100 mesh) Canadian coal at various powder filling fractions.

dispersant which can improve the flowability of coal powder. Methanol is expected to affect coals chemically and weaken the strength of coal particles. Calcium stearate powder and carbon black powder were mixed with the coal samples by a rotating bottle type of mixer. Additive content of these additives was 0.5 wt.%. Methanol was evaporated in a stainless steel container to expose the coal samples to gaseous methanol for one hour. These samples with the additives were ground by Hardgrove mill under the standard condition. Grinding data was processed in the same manner as mentioned above.

#### 4. Result and Discussion

Hardgrove mill showed the first-order kinetics to Canadian coal sample in the range 1.19 ~ 1.68 mm (10 × 14 mesh) at various powder filling fractions, as shown in Fig. 3. Straight lines in the figure are the mean squares fitted lines obtained for 1.19 ~ 1.68 mm sample by a usual fitting technique for linear problem. On the other hand, the Hardgrove mill showed the non-first-order kinetics to the sample in the range 0.150 ~ 0.210 mm (65 × 100 mesh). As already shown in Table 2, the compressibility of Canadian coal powder increases with a decrease in particle size, which suggests that fine coal powder can cushion the pressure from grinding balls more strongly than coarse powder. This may lead to slowing down of the grinding rate.

Flow characteristics of coal powder, such as flowability and floodability, as well as the cushioning action may affect the grinding behavior. The compressibility has a close relation to the flowability<sup>5)</sup>. Powder of high compressibility has poor flowability which may affect the behavior of Hardgrove mill which has a large dead space, as shown in Fig. 4. Curved lines

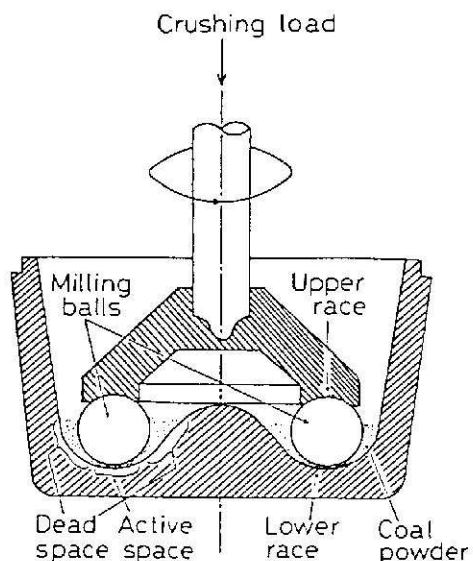


Fig. 4 Grinding elements of Hardgrove mill (cross sectional view).

Table 4 Parameters of dead space model determined by grinding experiment on Canadian coal at various powder filling fractions.

Powder filling fraction	$V$	Parameters	
		$S$ [s <sup>-1</sup> ]	$C$ [s <sup>-1</sup> ]
0.25	0.54	0.0190	0.00147
0.50	0.43	0.0150	0.00179
0.70	0.39	0.0133	0.00169
0.95	0.35	0.0128	0.00145

in Fig. 3 are the mean squares fitted lines determined for the sample in the range 0.150 ~ 0.210 mm by using the dead space model combined with the non-linear fitting technique. These curved lines agree quite well with the experimental data. It suggests that the dead space model can explain the breakage kinetics of fine coal particles. The parameters  $C$ ,  $V$  and  $S$  of the dead space model determined from these experimental data are tabulated in Table 4. It was found that the value of  $C$  is about one tenth the value of  $S$ , which suggests that the slow mixing of powder in the presence of the dead space can be responsible for the slowing down of grinding rate. It was also found from Table 4 that the volume fraction of the active space  $V$  and the specific rate of breakage in the active space  $S$  tend to decrease with an increase in the powder filling fraction, while the specific rate of mass interchange  $C$  remains almost constant. Considering a structural characteristic of Hardgrove mill shown in Fig. 4, it can be easily realized that the increasing powder filling thickens a powder layer between grinding balls and the lower race, which leads to the decrease in the specific rate of breakage  $S$ . The increasing powder filling also increases the volume of dead space more than that of active space, which diminishes the volume ratio of the active space to the dead space. Mass interchange between the dead and active spaces is supposed to be driven by rolling action of the grinding balls. The powder is thrust away by rolling balls and falls behind them. The increasing powder

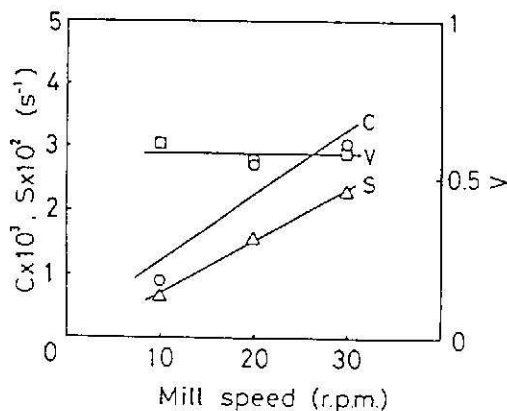


Fig. 5 Dead space model's parameters for 0.397 ~ 0.420 mm (35 x 48 mesh) Canadian coal as a function of mill speed.

filling raises the rate of mass interchange in proportion to the volume of dead space. Therefore, the specific rate of mass interchange, which is the ratio of mass interchange to the mass in the dead space, may remain constant.

If the supposition that the mass interchange is driven by the rolling action of the balls is correct, the specific rate of mass interchange should be in proportion to the mill speed. The change in the three parameters with mill speed is shown in Fig. 5. The specific rates of mass interchange  $C$  and breakage  $S$  are proportionate to the mill speed, while the volume fraction of the active space  $V$  is constant. This shows, we believe, that the dead space model well explains the mill behavior.

Thus, the analysis by the dead space model revealed that the slow mass interchange presumably due to the poor flowability of fine coal powder is responsible for the non-first-order grinding behavior. Therefore, addition of chemical agents which can improve the flowability of the fine coal powder is expected to be effective for fine grinding. Canadian coal sample in the range 0.105 ~ 0.150 mm (100 x 150 mesh) was ground with and without some additives to test the additives. The ratios of weight passing 0.105 mm (150 mesh) and energy efficiency in grinding with the additives to the respective factors in grinding without the additives are tabulated in Table 5. A solid lubricant type of additives is found to be efficacious to increase the weight passing 0.105 mm and the efficiency, as is expected from their lubricating action. Some alcohols are also effective to improve the efficiency.

Finally, the action mechanisms of some additives was analyzed, again by the dead space model. The three parameters of the model which were determined by a grinding experiment with calcium stearate are tabulated in Table 6. The mass interchange rate  $C$  tends to increase with an increase in the additive content, while the specific breakage rate  $S$  decreases and the volume of the active zone  $V$  remains constant. Lubricating action of calcium stearate is supposed to increase the mass interchange, but it may decrease the breakage rate due to the decrease in probability of the particles being gripped between the rolling balls and the lower race. The parameters determined by an experiment with carbon black shows that

**Table 5** Ratios of weight passing 0.105 mm and energy efficiency in grinding with additives to respective factors in grinding without additives.

Additives	Content [wt.%]	Ratio	
		Weight passing 0.105 mm	Energy efficiency
Calcium stearate	0.5	1.29	2.52
Sodium capronate	0.5	1.08	1.43
Molybdenum disulfide	0.5	1.11	1.52
Talc	0.5	1.10	1.24
Graphite	0.5	1.05	1.14
Carbon black	0.5	1.23	1.33
Methanol	*	1.02	1.41
Ethanol	*	1.08	1.18
Nonyl alcohol	0.2	1.05	1.27
Iso-amyl alcohol	0.2	1.06	1.05
Glycerol	0.1	1.00	1.23
Propylene glycol	0.1	0.95	1.23
Ethylene glycol	0.1	0.98	1.05

\* Sample was exposed to gaseous additives for one hour.

**Table 6** Parameters of dead space model determined by grinding experiment with calcium stearate powder.

Coal	Additive content [wt.%]	Grinding efficiency* [g/kJ]	<i>V</i>	Parameters	
				<i>S</i> [s <sup>-1</sup> ]	<i>C</i> [s <sup>-1</sup> ]
A	0	4.7	0.42	0.016	0.00056
	0.5	8.6	0.46	0.013	0.00086
	1.0	14.4	0.48	0.011	0.00104
	1.5	10.1	0.58	0.007	0.00066
B	0	6.4	0.51	0.015	0.00063
	0.5	8.7	0.44	0.014	0.00085
	1.5	12.3	0.49	0.010	0.00105
C	0	8.1	0.54	0.017	0.00082
	0.3	7.4	0.57	0.015	0.00095
	0.5	9.1	0.58	0.013	0.00106
	1.0	19.3	0.54	0.013	0.00137

\* Grinding efficiency  
=  $\frac{\text{Weight of powder passing 0.105 mm}}{\text{Energy consumption by grinding}}$

carbon black has a different action on the grinding behavior from calcium stearate as shown in Table 7. Both *C* and *S* increase with an increase in the additive content, while *V* remains constant. Dispersing action of carbon black powder is supposed to increase the mass interchange by improving the flowability. It may also increase the specific breakage rate by preventing agglomeration. Methanol has a quite different action from calcium stearate and carbon black, as shown in Table 8. The addition of methanol increases the specific rate of breakage in the active zone, while it has a small effect on the mass interchange. It is interesting to note here that methanol has a specific effect on the high volatile coals such as coal A and B, whereas it has a small effect on anthracite coal C. As might have already been noticed, the energy efficiency in grinding of the same coal without the additive has different values in Tables 6, 7 and 8. For example, 4.73 g/kJ for coal A in Table 6, 50.5 g/kJ in Table 7 and 29.5 g/kJ in Table 8. It should be noted that the energy efficiency varies with

**Table 7** Parameters of dead space model determined by grinding experiment with carbon black powder.

Coal	Additive content [wt.%]	Grinding efficiency* [g/kJ]	<i>V</i>	Parameters	
				<i>S</i> [s <sup>-1</sup> ]	<i>C</i> [s <sup>-1</sup> ]
A	0	50.5	0.41	0.017	0.00065
	0.1	101.0	0.42	0.036	0.00123
	1.0	103.0	0.45	0.027	0.00128
	1.5	92.6	0.48	0.030	0.00142
	2.0	103.0	0.46	0.030	0.00143
	5.0	103.0	0.46	0.027	0.00144
B	0	73.1	0.51	0.015	0.00063
	0.5	73.1	0.54	0.022	0.00077
	1.5	81.7	0.51	0.025	0.00095
C	0	95.8	0.54	0.017	0.00082
	0.1	154.0	0.48	0.037	0.00110
	0.5	154.0	0.54	0.033	0.00110
	1.5	174.0	0.50	0.045	0.00138

\* Grinding efficiency  
=  $\frac{\text{Weight of powder passing 0.105 mm}}{\text{Energy consumption by grinding}}$

**Table 8** Parameters of dead space model determined by grinding experiment with methanol.

Coal	Methanol	Grinding efficiency* [g/kJ]	<i>V</i>	Parameters	
				<i>S</i> [s <sup>-1</sup> ]	<i>C</i> [s <sup>-1</sup> ]
A	none	29.5	0.40	0.011	0.00056
	add	57.8	0.46	0.020	0.00066
B	none	54.3	0.51	0.011	0.00052
	add	75.2	0.47	0.021	0.00084
C	none	75.2	0.51	0.014	0.00078
	add	89.3	0.51	0.016	0.00095

\* Grinding efficiency  
=  $\frac{\text{Weight of powder passing 0.105 mm}}{\text{Energy consumption by grinding}}$

milling time due to the non-first-order breakage nature. Longer milling decreases the efficiency. The values in the tables have different milling time bases. As a matter of course, the effect of additive content was compared on the same milling time basis.

## 5. Conclusions

Grinding mechanism of coal by Hardgrove mill was analyzed by using the dead space model. Based on the result, grinding additives were selected and tested. Furthermore, the action mechanisms of some additives were analyzed by using the dead space model.

As a result, it was found that the slow mixing of coal powder in the mill presumably due to poor flowability of the powder is responsible for inefficient fine grinding of coal by Hardgrove mill. Lubricant and dispersant types of additives which can improve the flowability such as calcium stearate and carbon black were found to be effective, as has been expected from the result of the analysis. It was found that calcium stearate and carbon black work by affecting the powder

characteristics, while methanol works in a different manner.

**Acknowledgements**

This work was supported by the Grant-in-Aid for Cooperative Research (A) No.62302052, from the Ministry of Education, Science and Culture of Japan. The authors wish to thank Dr. T. Miyazu and Y. Suzuki, NKK Co., Ltd., for help with analysis of coal samples.

**References**

- 1) Austin, L.G., Shah, J., Wang, J., Gallagher, E. and Luckie, P.T.: Powder Technol., 29, 263 ~ 275, (1981)
- 2) Austin, L.G., Klimpel, R.R., Shoji, K., Bhatia, V.K., Jindal, V.K. and Savage, K.: Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 15, 187 ~ 196, (1976)
- 3) Gotsis, C. and Austin, L.G.: Powder Technol., 41, 91 ~ 98, (1985)
- 4) Henly, E.J. and Edward, M.R.: Material and Energy Balance Computations, 202 ~ 204, (1969), Wiley, (New York)
- 5) Aoki, R.: in Funryutai no Baruku Handoringu Gijutsu, edited by The Association of Powder Process Industry & Engineering, 37, (1985), Nikkan Kogyo Gijutsu Shinbunsha, (Tokyo)

粉砕助剤を用いたボールレースミルによる  
石炭の効率的微粉砕

レク シコング<sup>1</sup> 橋本 等<sup>2</sup> 八嶋 三郎<sup>3</sup>

ボールレースミルは石炭の乾式微粉砕に広く用いられているが、微粉が蓄積すると粉砕速度が低下し、効率が低下することが知られている。そこで、ボールレースミルの一種であるハードグローブミルによる石炭の粉砕メカニズムを非線形最小自乗法とデッドスペースモデルを用いて解析した。解析の結果、石炭粉末の流動性が悪いためミル内での粉末の混合速度が遅く、それがハードグローブミルによる石炭の非効率的な微粉砕の原因となる粉砕速度の低下をもたらすことがわかった。この結果に基づいて、石炭粉末の流動性を改善できる粉砕助剤を選び、粉砕実験により助剤のテストを行った。テストの結果、ステアリン酸カルシウムとカー

ボンブラックがハードグローブミルによる石炭の微粉砕に最も効果があることがわかった。さらに、いくつかの粉砕助剤の作用メカニズムをデッドスペースモデルを用いて解析した。

1. 工博 東北大学研究生 (現 タイ国 Prince of Songkla 大学 講師 工学部鉱山冶金学科)
  2. 正会員 工博 東北大学助手 選鉱製錬研究所 (現 工学部材料加工学科)
  3. 正会員 工博 東北大学教授 選鉱製錬研究所 (現 名誉教授)
- キーワード: 微粉砕, 石炭, 粉砕助剤, ハードグローブミル, 粉砕効率

部門委員会主催・資料お頒けいたします

粉体の生成とその応用に関する  
講演会

期日 平成3年2月1日  
会場 京大会館

主催 資源・素材学会粉体精製工部門委員会  
共催 資源・素材学会関西支部、資源処理技術研究会、粉体工学会

目	次
1. 超微粉砕用乾式連続遊星ボールミルに関する中間報告	鋼栗本鉄工所 金子 貫太郎
2. セラミックス原料の微粉砕	鋼村田製作所 田中 謙次
3. アトリターによる石炭の乾燥粉砕	不二パウダル㈱ 岩崎 泰宣
4. アイリッヒミキサーによる造粒	日本アイリッヒ㈱ 豊田 成紀
5. 機械的手法による粒子複合化とその応用	ホソカワミクロン㈱ 内藤 牧男
6. 粒子分散系新素材の現状	同志社大学工学部 興田 聡

〈B5・79頁・定価 4,812円, 消費税 138円, 送料 250円〉

การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5  
ในหัวข้อ: อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ  
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่  
24-25 พฤศจิกายน 2537

---

## ค่า HGI และความแข็งของลิกไนต์ไทย

เล็ก สีคง และพันธุฤทธิ์ วิจิตรสงวน

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทดสอบหาค่า HGI ความแข็ง และสมบัติทางเคมีของถ่านลิกไนต์ไทย จำนวน 22 ชนิด ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI และความแข็งกับสมบัติทางเคมีของถ่านลิกไนต์ จากการศึกษาพบว่าค่า HGI ขึ้นกับลำดับชั้นของการถากเป็นถ่านหิน (Coalification rank) กล่าวคือ ค่า HGI จะเพิ่มขึ้นตามค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงขึ้นและสารระเหยต่ำหรือค่าคาร์บอนสูงและไฮโดรเจนต่ำ ค่า HGI จะสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารอนินทรีย์ในถ่านลิกไนต์ ซึ่งได้แก่ ปริมาณซัลเฟอร์และกำมะถันสูงขึ้น ส่วนค่าความแข็งของถ่านลิกไนต์จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น

### Abstract

Research Title: Hardgrove Grindability Index and Vickers hardness of Thai Lignite  
Name: Sikong, L., Asst. Professor and Vichitrasanguan, P.  
Address: Department of Mining and Metallurgical Engineering,  
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

*This research is to determine Hardgrove grindability index, hardness and chemical properties of 22 kinds of Thai lignite. The correlation among their properties was also investigated. It was found that HGI value depends on a coalification rank and inorganic compounds in lignites such as % ash and sulfur. HGI tends to increase with the amount of carbon or fixed carbon and decrease with hydrogen or volatile matter values. It is also apparent that the hardness of lignite tends to increase with the increase of fixed carbon.*



## ค่า HGI และความแข็งของลิกไนต์ไทย

### บทนำ

การนำถ่านหินหรือลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ทำถ่านอัด ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซีเมนต์ และใช้เป็นถ่านบดละเอียดเพื่อผสมเป็นเชื้อเพลิงสำเร็จรูป ถ่านหินผสมน้ำ (coal water mixture) หรือถ่านหินผสมน้ำมัน (coal oil mixture) จะใช้เครื่องบดแบบโรลเลอร์มิลล์ หรือบอลล์มิลล์ นอกจากนั้นจะมีการบดถ่านหินหรือลิกไนต์ให้ละเอียด เพื่อจุดประสงค์ในการแต่งให้มีคุณภาพสูงขึ้น การหาค่าความยากง่ายในการบดถ่านหินจะมีมาตรฐาน ASTM กำหนดเป็นค่า Hardgrove grindability index (HGI) ซึ่งค่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญมากในการออกแบบเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ย่อยหรือลดขนาดถ่านหิน McIntyre และ Plitt [1] ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Bond work index กับ HGI ไว้ดังนี้

$$W_i = 1622 \text{ HGI}^{-1.08} \quad \dots\dots\dots(1)$$

เนื่องจากงาน (W) ที่ต้องการบดให้ได้อนุภาคขนาด P (80% passing) จากอนุภาคขนาด F (80% passing) มีค่าดังนี้

$$W = W_i \left( \frac{F-P}{F} \right)^{0.5} \left( \frac{75}{P} \right)^{0.5} \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อแทนค่า HGI ในสมการ (2) แล้ว ก็สามารถหางานที่ต้องการได้และสามารถนำไปใช้กำหนดขนาดของเครื่องบดต่อไป จะเห็นว่าวิธีการหาค่า HGI จะหาได้ง่ายและเร็วกว่าการหา Bond work index จึงสะดวกที่จะนำมาคัดแปลงใช้

สำหรับค่าความแข็ง (Hardness) ของถ่านหินนิยมใช้เครื่องทดสอบแบบ Vickers ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่หัวกดทำด้วยเพชรรูปปิรามิด [2]

### ถ่านลิกไนต์ตัวอย่าง

เก็บถ่านตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ทั่วประเทศ และตัวอย่างถ่านบางส่วนได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.เบญจวรรณ รัตนเสถียร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ การเตรียมตัวอย่างทดสอบ จะนำถ่านตัวอย่างมาลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบจอร์วี่และเครื่องบดแบบโจราทอรี และทำการชักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม และนำตัวอย่างไปทดสอบแบบต่างๆ

### การทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่า HGI คือ Laboratory Hardgrove mill ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM และ JIS [3]

ขั้นตอนการทดสอบค่า HGI เริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่างด้านหินที่จะทดสอบด้วยการบด และ คัดขนาดให้มีขนาดอยู่ในช่วง -14+28 เมช (1190 ~ 590 ไมครอน) และนำไปอบไล่ความชื้นที่ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ 50 กรัมมาทดสอบ โดยเกลี่ยตัวอย่างไปบน race ที่มี การจัดลูกบอลล์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นจำนวน 8 ลูก เรียงเป็นระเบียบอยู่บน race นำ upper race ปิดและนำ shell ไปประกอบเข้ากับเครื่อง ชันสุกรให้แน่นพอสมควร และนำตุ้มน้ำหนัก (ประมาณ 29 กิโลกรัม กดทับ) ทำการบดเป็นจำนวน 60 รอบ (ความเร็วในการหมุน 20 รอบ/นาที) เมื่อบด เสร็จแล้วทำการคัดขนาดตัวอย่างทั้งหมดด้วยตะแกรง 200 เมช (75 ไมครอน) ด้วยเครื่องคัดขนาด เป็นเวลา 20 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างด้านหินขนาด -200 เมช สมมติให้เป็น W กรัม เพื่อนำมา คำนวณค่า HGI ด้วยสูตรดังนี้

$$HGI = 13.6 + 6.93 W \quad \dots\dots\dots(3)$$

ค่า HGI ที่ได้นี้เป็นค่าที่ได้จากการวัดนำไปหาค่าที่แท้จริงด้วยการใช้ standardized calibration curve การทดสอบหาค่า HGI ของตัวอย่างด้านหินแต่ละตัวทำ 3 ครั้ง นำ 2 ครั้งที่ใกล้เคียงกันมา หาค่าเฉลี่ย ค่า HGI > 70 แสดงว่าด้านหินอ่อนบดง่าย 50 < HGI < 70 แสดงว่าด้านหินอ่อน ปานกลางและ 30 < HGI < 50 แสดงว่าเป็นด้านหินแข็ง

การวัดค่าความแข็งของด้านลิกไนต์จะเตรียมชิ้นงานทดสอบโดยใช้ด้านลิกไนต์ตัวอย่าง ขนาด 1/2 นิ้ว หั่นด้วยเบกเกอร์ไลต์ และฝนหน้าให้เรียบและสามารถเห็นเนื้อด้านได้ชัดเจน นำชิ้น ทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่อง Vickers micro hardness tester ซึ่งมีหัวกดเป็นหัวเพชรรูปปิรามิด กด จนเป็นรอยบุ๋ม และทำการวัดค่าโดยใช้สูตรดังนี้ [4]

$$VHN = 1854.4 P/d^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ VHN คือค่า Vicker hardness number (กรัม/ไมครอน<sup>2</sup>)
- P คือ โหลดที่กระทำ (กรัม)
- d คือ ความกว้างแนวเฉียงของรอยบุ๋ม (ไมครอน)

การทดสอบความแข็งของด้านหินแต่ละชนิดจะทดสอบ 20 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและ รายงานผล

การหาค่าความร้อนจะใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ (Leco; AC-300) แสดงค่าความร้อนในหน่วยบีทียู/ปอนด์

การวิเคราะห์ทางเคมีจะใช้วิธีมาตรฐาน ASTM ด้วยการวิเคราะห์แบบ proximate analysis และ ultimate analysis [3] เพื่อให้ทราบส่วนประกอบทางเคมีของด้านหิน โดยใช้เครื่อง PE 2400 Series II analyser

## ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบสมบัติของถ่านลิกไนต์แสดงดังตารางที่ 1 ได้มีการวิเคราะห์ค่าความชื้นสารระเหย ซี้เด้า คาร์บอนคงที่ แบบ Proximate analysis และวิเคราะห์หาค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ตามแบบ Ultimate analysis

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI และค่าต่างๆ ในตารางที่ 1 และจากรูปที่ 1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับปริมาณไฮโดรเจน และสารระเหยต่ำ พบว่าค่า HGI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไฮโดรเจนและสารระเหยต่ำลง อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับปริมาณคาร์บอน และคาร์บอนคงที่ไม่ชัดเจน (ซึ่งต้องการตัวอย่างทดสอบที่มากขึ้น) แต่จากรายงานผลวิจัยของผู้วิจัยเอง [5] ที่ทดสอบกับถ่านหินต่างประเทศจากหลายแหล่งพบว่า ค่า HGI จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ คาร์บอนหรือคาร์บอนคงที่ และตามปริมาณไฮโดรเจนหรือสารระเหยที่ต่ำลง ดังนั้นอาจสรุปว่าค่า HGI มีแนวโน้มขึ้นอยู่กับลำดับชั้นการกลายเป็นถ่านหิน (Coalification Rank) ซึ่งดูได้จากค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงและสารระเหยต่ำหรือค่าคาร์บอนสูงและไฮโดรเจนต่ำ

นอกจากนั้นยังพบว่าค่า HGI จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอนินทรีย์ในลิกไนต์ ซึ่งดูได้จากปริมาณซี้เด้าและค่ากำมะถัน (จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าค่า HGI มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณซี้เด้าและกำมะถันเพิ่มขึ้น)

สำหรับค่าความแข็งของถ่านหิน จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 3

## สรุป

จะเห็นว่าค่า HGI ของถ่านลิกไนต์ไทย มีแนวโน้มขึ้นอยู่กับ

1. ลำดับชั้นการกลายเป็นถ่านหิน ซึ่งสามารถดูได้จากค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงและสารระเหยต่ำ หรือค่าคาร์บอนสูงและไฮโดรเจนต่ำ

2. ปริมาณสารอนินทรีย์ ซึ่งดูได้จากปริมาณซี้เด้าและค่ากำมะถัน

สำหรับค่าความแข็งของถ่านลิกไนต์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าคาร์บอนคงที่ อาจกล่าวได้ว่าลิกไนต์ที่มีสารระเหยสูง หรือคาร์บอนคงที่ต่ำ จะบดได้ยากกว่าถ่านหินที่มีลำดับชั้นการกลายเป็นถ่านหินสูงกว่า

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อ รศ.ดร.เบญจวรรณ รัตนเสถียร แห่งภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อตัวอย่างถ่านลิกไนต์บางส่วน และช่วยวิเคราะห์ทางเคมี ขอบุณการไฟฟ้าฝ้ายผลิต (เหมืองแม่เมาะและเหมืองกระบี่) เหมืองบ้านปู เหมืองถ่านหินกันดั่ง และเหมืองต่างๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้มอบตัวอย่างให้ศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

1. McIntyre, A., and Plitt, L.R., "The Interrelationship Between Bond and Hardgrove Grindabilities," CIM Bulletin, Vol.73, June 1980, pp. 149-155.
2. Hower, J.C. and Parekh, B.K. "Chemical/Physical Properties and Marketing," Coal Preparation, 5th.ed., ed. Leonard, III, J.W., Society for Mining and Metallurgical Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 1991, pp. 32-33.
3. Bevan, R.R., "Size Reduction", Coal Handbook, ed. Robert A. Meyers, Marcel Dekker, Inc., New York, 1981, p. 175.
4. เล็ก สีง, วัสดุวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่ 2533 หน้า 94
5. Sikong, L. Fundamental Investigation of Properties and Fine Grinding of Coals, Doctoral Thesis, Tohoku University, Sendai, Japan, Feb. 1989 pp. 20-34.

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ด้านหินแบบ Ultimate analysis, Proximate analysis

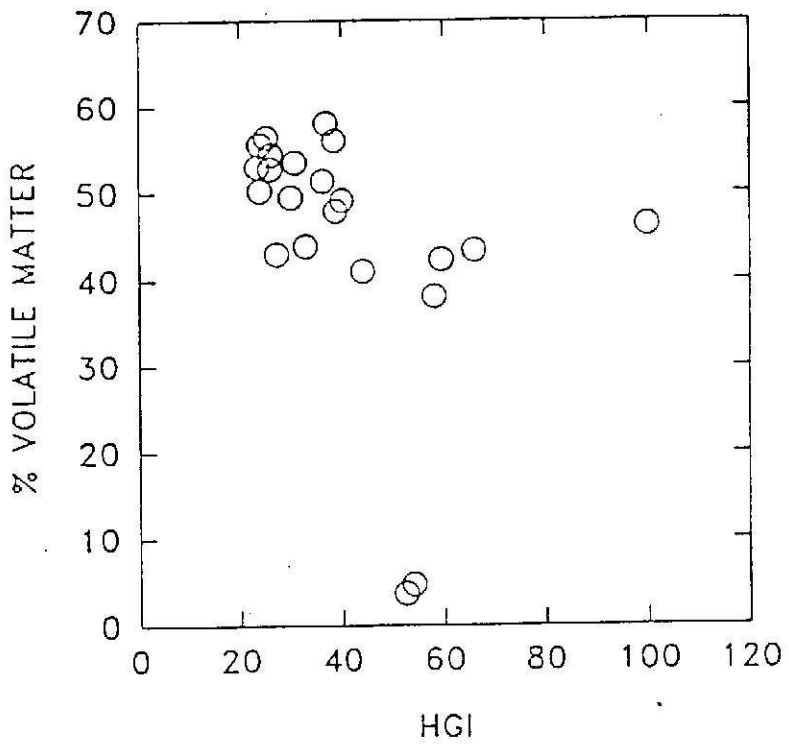
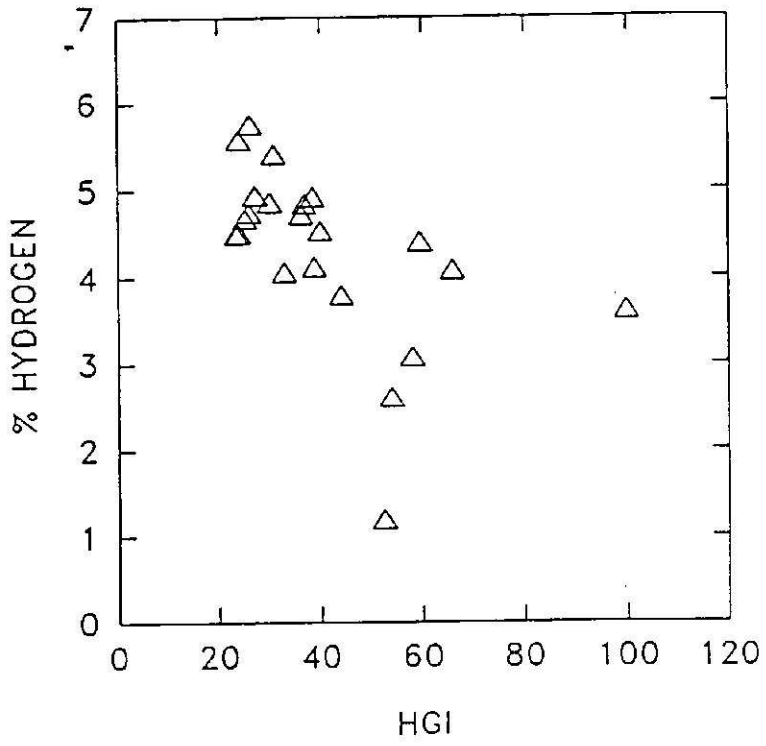
ค่า HGI ค่าความแข็งและค่าความร้อน

ชื่อตัวอย่าง	% C	% H	% N	% S	% Moisture	% Ash	% volatile matter	% Fixed carbon	Calorific value (BTU/lb)	HGI	VDN
บ้านปู (คุณภาพพอใช้)	61.04	4.74	0.34	0.87	11.72	3.24	46.43	38.26	6688.0	26.0	18.7
บ้านปู (High-S)	58.87	4.50	0.24	0.42	12.78	3.30	44.92	41.14	7927.5	24.0	16.7
บ้านปู (ดี)	62.73	4.84	0.42	1.20	27.14	2.44	42.33	28.09	13751.0	36.8	10.2
กันตัง(หน้าเหมือง)	32.51	3.08	0.76	4.67	12.59	30.68	34.53	25.43	3910.0	58.0	17.3
กันตัง(หลังเลือก)	48.10	3.79	1.55	6.28	12.28	16.10	36.65	36.58	5108.0	44.2	16.4
บางปูดำ N-8-9	49.70	4.06	1.86	4.70	19.81	12.23	34.78	32.11	6945.5	32.8	16.4
บางปูดำ (ปานกลาง)	49.43	4.12	1.21	4.23	17.29	10.45	39.57	32.53	7869.0	38.8	18.0
บางหมาก	56.62	4.49	1.37	2.73	17.23	4.42	42.11	32.91	8940.5	23.5	18.8
บางหมาก (ก้อน)	54.55	4.86	1.36	3.67	20.56	7.40	39.35	32.69	9605.5	30.0	15.8
บ้านนาทราย	41.62	4.08	1.15	2.33	10.63	24.74	39.42	26.64	4915.5	65.8	11.2
นาช่อง K-seam	65.53	5.41	1.25	0.74	10.98	3.66	46.06	36.30	9647.5	30.8	25.8

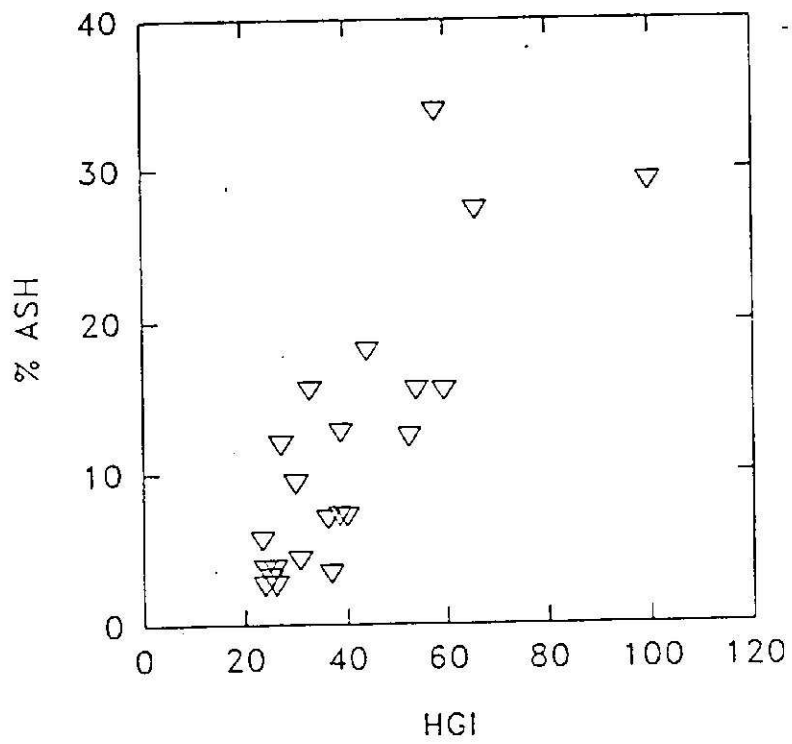
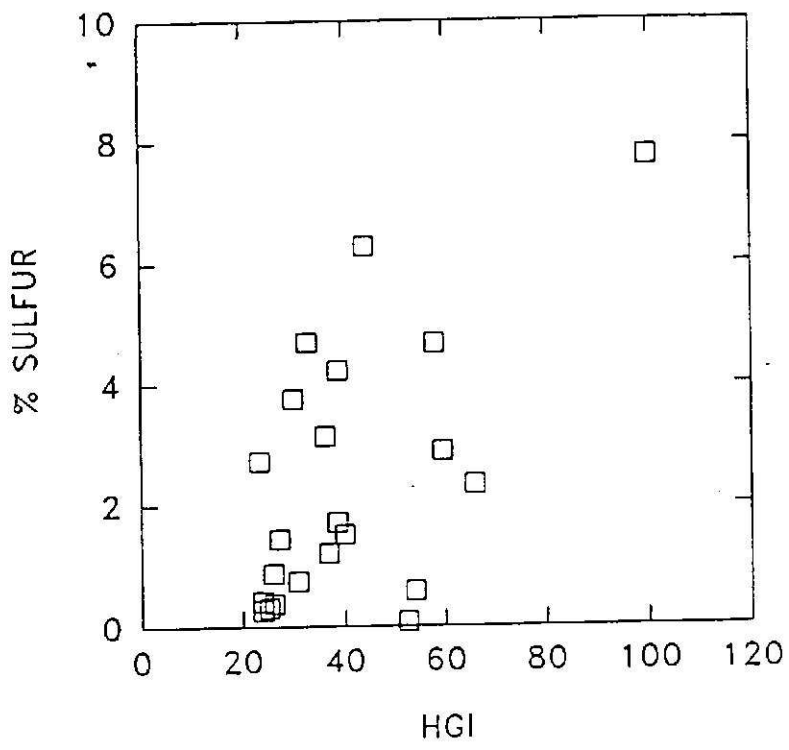
ตารางที่ 1 (ต่อ) ผลวิเคราะห์ด้านหินแบบ Ultimate analysis, Proximate analysis

ค่า HGI ค่าความแข็งและค่าความร้อน

ชื่อตัวอย่าง	% C	% H	% N	% S	% Moisture	% Ash	% volatile matter	% Fixed carbon	Calorific value (BTU/lb)	HGI	VHN
นาซ็อง P-seam	64.54	4.94	0.46	1.43	10.72	10.60	38.42	40.26	10004.5	27.2	16.5
บ้านโฮ้ง	62.91	5.58	0.42	0.27	14.61	2.20	47.50	35.69	10882.0	24.0	16.9
ป่าคา	62.91	4.67	1.17	0.31	13.75	2.67	48.64	34.94	10690.0	25.2	21.1
แม่ลาข	56.70	4.72	0.98	3.14	12.36	6.10	45.03	36.51	9160.0	36.2	10.2
แม่ทาน(Lower seam)	65.23	5.76	0.78	0.38	13.89	2.25	45.86	37.00	10324.0	26.2	12.1
หาวเหล็ก	57.12	4.92	1.73	1.71	16.22	6.02	46.95	30.81	9815.5	38.5	13.9
แม่เมะ A-seam	49.59	4.40	1.59	2.89	13.59	13.39	36.87	36.78	5159.5	59.5	14.7
แม่เมะ (High-S)	31.22	3.61	0.75	7.74	16.14	25.43	40.53	21.54	4486.5	99.8	-
แม่เมะ C-seam	58.76	4.53	2.21	1.51	20.91	6.13	42.18	37.53	8745.5	40.0	13.7
นาคัง I	79.63	2.61	1.44	0.58	2.64	15.01	4.61	77.74	7336.5	54.0	-
นาคัง II	69.91	1.19	0.85	0.08	5.95	11.62	3.47	78.96	10688.0	52.5	-

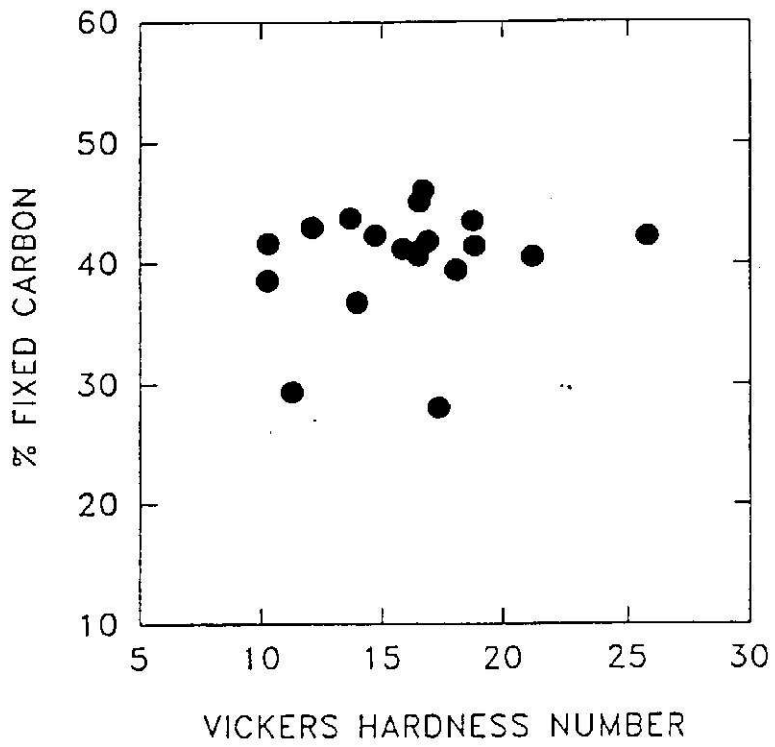


รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HGI กับค่าปริมาณสารระเหย และไฮโดรเจนของลิกไนต์ไทย



รูปที่ 2 แสดงผลของสารอนินทรีย์ในด้านลิกไนต์ต่อค่า HGI





รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง (VHN) กับค่าปริมาณคาร์บอนคงที่ของถิกไนต์ไทย