หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์

ถ่านหิน เป็นหินตะกอนชนิดหนึ่งที่ติดไฟได้ มีสีน้ำตาลถึงสีดำ เกิดจากการสะสมตัวของซากพืชตามธรรมชาติ เมื่อมีปฏิกิริยาทางชีวเคมีและธรณีเคมีภายใต้ความร้อนและความดันสูง จนทำให้ซากพืชเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปโดยน้ำหนัก หรือร้อยละ 70 ขึ้นไปโดยปริมาตร ในกระบวนการแปรสภาพเป็นถ่านหิน หมายถึง การที่สารอินทรีย์ซึ่งยังคงสภาพอยู่ และผลผลิตจากการสลายตัวทางชีวเคมี เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ซากพืชหรือซากสัตว์ถูกทับถมจมลงตามความลึก ภายใต้อุณหภูมิ ระยะเวลา และความดันต่าง ๆ กัน ก่อให้เกิดถ่านหินชั้นคุณภาพต่างๆ กัน ตั้งแต่ พีทลิกไนต์ ซับบิทูมินัส บิทูมินัส และแอนทราไซต์

สำหรับถ่านหินที่พบในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นชนิดลิกไนต์ถึงบิทูมินัส มักพบในหินยุคเทอร์เชียรี่ แหล่งถ่านหินที่ใหญ่ที่สุดและมีการผลิตมากที่สุด คือ เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นถ่านหินชนิดลิกไนต์ ซึ่งทั้งหมดนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.1 การเกิดเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีเหมืองถ่านหินลิกไนต์อยู่บริเวณใกล้เคียง เมื่อขุดถ่านหินลิกไนต์ขึ้นมาจากเหมืองแล้ว จะลำเลียงตามสายพานจากบ่อเหมืองไปยังลานกองถ่าน จากนั้นจะใช้ระบบขนส่งถ่าน (Lignite handling system) นำถ่านที่ผ่านการบดและแยกเศษเหล็กออกแล้วไปยังถังเก็บถ่านของโรงไฟฟ้าแต่ละโรง

ถ่านจากถังเก็บถ่านจะถูกส่งเข้าโม่ (Pulverizer) ซึ่งจะบดถ่านให้เป็นผงละเอียด เพื่อจะผสมกับอากาศร้อน และจะถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้ ผลจากการเผาไหม้ภายในเตาจะทำให้เกิดความร้อน ฝุ่นละออง และขี้เถ้า เถ้าลอย (Fly ash) จะถูกพัดออกมาตามลมร้อน เข้าไปในเครื่องแยกฝุ่นละอองด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) และรวบรวมเถ้าลอยเก็บไว้ในไซโล ส่วนขี้เถ้าหรือ เถ้าหนัก (Bottom ash) ที่เกิดจากอุณหภูมิในเตาเผาสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าถ่านหิน เถ้าถ่านหินจะหลอมเหลวและบางส่วนจับกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมากและตกลงสู่ ก้นเตา อีกส่วนหนึ่งที่หลอมละลายจะเกาะเป็นตะกรัน (Slag ash) ที่ผนังของเตา

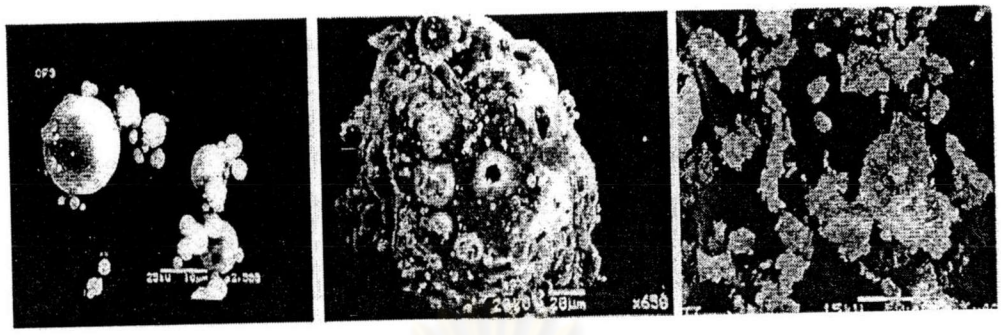
กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินลิกไนต์นี้ประกอบด้วยเถ้าลอย (Fly ash) ประมาณร้อยละ 80 และเถ้าหนัก (Bottom ash) อีกประมาณร้อยละ 20 ปริมาณเถ้าลอย (Fly ash) ผลิตได้ประมาณ 3 ล้านตันต่อปี

2.2 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

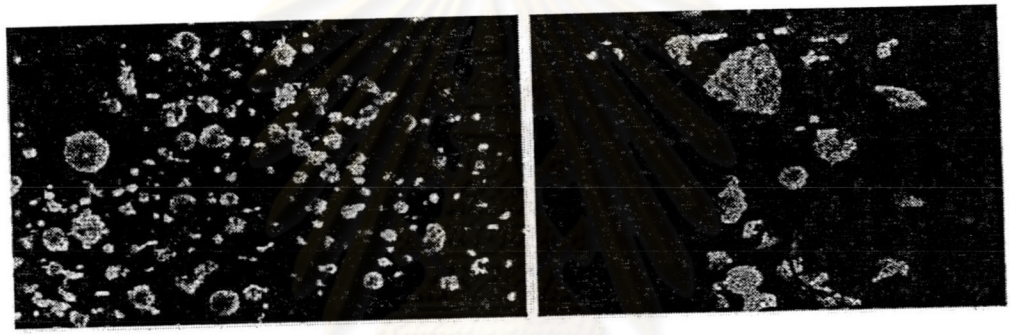
เถ้าลอยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งตั้งอยู่ในที่ต่างๆ กัน หรือมาจากแหล่งถ่านหินต่างแหล่งกัน อาจมีรูปทรง ความละเอียด การกระจายของขนาด ความหนาแน่น ส่วนประกอบของอนุภาคและสีต่างกันได้ โดยทั่วไปสีของเถ้าลอยอาจเป็นตัวบ่งชี้ว่าเถ้าลอยมาจากแหล่งที่ต่างกัน หรือมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา และมีปริมาณเหล็กต่างกันหรือผ่านสภาพการเผาที่แตกต่างกัน

2.2.1 รูปร่างและอนุภาค

ขนาดอนุภาคและรูปทรงของเถ้าลอยขึ้นอยู่กับแหล่งถ่านหิน ความสม่ำเสมอของถ่านหิน ความละเอียดของผงถ่านหินก่อนเผา สภาพการเผา (ระดับอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจน) ความสม่ำเสมอของการเผา และวิธีการดักจับเถ้าลอยที่ใช้ เช่น เป็นวิธีการแยกโดยเชิงกล (Mechanical separator) โดยใช้ถุงเก็บ (Bag filters) หรือเครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitators) รูปทรงของเถ้าลอยเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคของเถ้าลอยส่วนใหญ่จะไม่เป็นผลึก มีรูปทรงกลมซึ่งอาจตันหรือกลวง ลักษณะทรงกลมที่ภายในกลวง เรียกว่า เถ้าลอยกลวง (Cenosperes) บางส่วนจะเป็นทรงกลมกลวงบรรจุด้วยอนุภาคเล็กๆ อยู่ภายในที่รู้จักกันในนามของ Plerospheres อนุภาคที่เหลือมีลักษณะตั้งแต่โปร่งแสงจนทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อยถึงพรุนมาก มีรูปร่างที่กลมจนถึงรูปร่างยาวแบน เถ้าลอยที่มีรูพรุนมากๆ มักเกิดจากการเผาถ่านหินด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงพอที่จะทำให้ เถ้าลอยหลอมเหลวได้ และเถ้าลอยที่ได้มักจะมีรูปทรงต่างๆ กัน รูปต่อไปนี้เป็นลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยเมื่อถ่ายภาพโดยกล้องขยายกำลังสูง

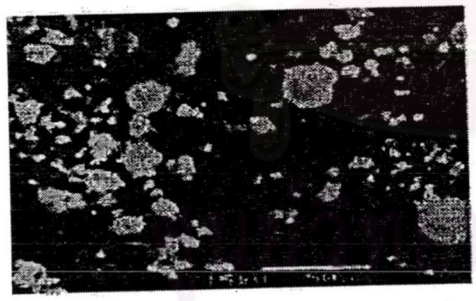


รูปที่ 2.1 รูปขยายเถ้าลอย (ชัย, สุรเชษฐ์, และวราภรณ์, 2543)

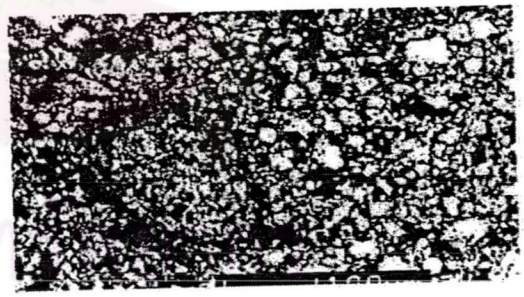


เถ้าลอยแม่เมาะ

เถ้าลอยจากกระบอง



เถ้าลอยจากสมุทรสาคร



เถ้าลอยจากกาญจนบุรี

รูปที่ 2.2 รูปขยายเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ (ชัย, สุรเชษฐ์, และวราภรณ์, 2543)

2.2.2 **ความละเอียด**

อนุภาคของเถ้าลอยมีหลากหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรจนถึงขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเก่ามักใช้วิธีดักจับเถ้าลอยโดยการแยกเชิงกล ซึ่งจะได้เถ้าลอยที่มีขนาดหยาบกว่าเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าสมัยใหม่ซึ่งดักจับเถ้าลอยด้วยเครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิตย์หรือใช้ถุงเก็บเถ้าลอย โดยทั่วไปการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากแหล่งผลิตหนึ่งๆ จะค่อนข้างคงที่ แต่ทั้งนี้ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงแหล่งของถ่านหิน วิธีการบดถ่านหิน กระบวนการเผาถ่านหิน และกำลังการผลิตมากนัก

2.2.3 **ความถ่วงจำเพาะ**

จากการศึกษาพบว่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยมีค่าระหว่าง 1.97 - 3.02 แต่โดยทั่วไปค่านี้จะอยู่ระหว่าง 2.2 – 2.8 สำหรับเถ้าลอยจากแม่เมาะจะมีค่าถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0 แต่เมื่อทำการแยกให้มีขนาดเล็กลง มีความละเอียดสูงขึ้น จะมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยที่มีขนาดใหญ่มักมีรูพรุนสูงกว่าเถ้าลอยที่มีขนาดเล็ก เถ้าลอยที่มีอนุภาคกลวงอาจลอยน้ำได้ เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะที่สูงมักเป็นตัวบ่งชี้ว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีความละเอียดสูงและตัน เนื่องจากเถ้าลอยที่มีอนุภาคหยาบมักมีอนุภาคที่กลวงปนอยู่ค่อนข้างมาก

เถ้าลอยที่ประกอบด้วยแร่เหล็กในปริมาณสูงจะมีความถ่วงจำเพาะสูง ส่วนเถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ เถ้าลอย Class C มีแนวโน้มที่จะมีอนุภาคเล็กและมีความละเอียดสูงปนอยู่มากกว่าเถ้าลอย Class F นั่นคือเถ้าลอย Class C จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเถ้าลอย Class F โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4 – 2.8

2.3 **องค์ประกอบทางเคมีและแร่ในเถ้าลอย**

เถ้าลอยมีองค์ประกอบทางเคมีและเฟสที่ซับซ้อนซึ่งองค์ประกอบด้วยเนื้อที่แตกต่างกัน (Heterogeneous phase) คือ ส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Glassy phase) และส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline phase) ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยในประเทศไทยจำนวน 4 แหล่งผลิต โดยแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุดคือจากโรงไฟฟ้า ที่อำเภอแม่เมาะ จำหวัดลำปาง

โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (ประมาณร้อยละ 25-60) อลูมิเนียมออกไซด์ (ประมาณร้อยละ 10-30) และเฟอริกออกไซด์ (ประมาณร้อยละ 5-25) หากผลรวมขององค์ประกอบทั้ง 3 นี้ มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70

ASTM จัดเถ้าลอยดังกล่าวเป็นเถ้าลอย Class F สำหรับเถ้าลอย Class C ส่วนใหญ่จะมีสารประกอบของแคลเซียมออกไซด์ในปริมาณสูง ดังนั้น ASTM จึงกำหนดผลรวมขององค์ประกอบหลักทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวให้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 เท่านั้น ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในเถ้าลอยโดยทั่วไปมักจะน้อยกว่าร้อยละ 5 ส่วนปริมาณของแอลคาไลออกไซด์ ซึ่งอาจจะแทนได้ด้วยปริมาณโซเดียมออกไซด์เทียบเท่า (Equivalent Na_2O = Na_2O + 0.658 K_2O) โดยทั่วไปในเถ้าลอย Class F จะมีอยู่น้อยกว่าร้อยละ 5 แต่สำหรับเถ้าลอย Class C อาจจะมากกว่าร้อยละ 10 เถ้าลอย Class C จะมีค่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) น้อยกว่าร้อยละ 1 แต่เถ้าลอย Class F อาจมีค่าดังกล่าวอยู่ระหว่างร้อยละ 1-10

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจาก 4 แหล่งที่ผลิตได้ในประเทศไทย (ชัย, สุรเชษฐ์ และวราภรณ์, 2543)

แหล่งผลิต	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
แม่เมาะ	46.25	26.43	10.71	7.61	2.21	1.11	3.07	1.85	0.23
ระยอง	45.02	36.21	4.09	3.64	0.54	0.44	0.31	0.48	5.32
สมุทรสาคร	43.92	36.62	3.97	3.05	0.55	0.38	0.44	0.64	7.52
กาญจนบุรี	47.39	22.73	6.29	8.36	2.64	0.63	2.95	3.38	3.12

เถ้าลอยที่เย็นลงอย่างรวดเร็วจากสถานะหลอมเหลวจะทำให้องค์ประกอบในเถ้าลอยส่วนใหญ่อยู่ในสถานะที่ไม่เป็นผลึกมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีสถานะเป็นผลึกเช่น มุลไลต์ (Mullite) ควอทซ์ (Quartz) แมกนีไทต์หรือเฟอร์ไรต์สปีนิล (Magnetite หรือ Ferrite Spinel) และ เฮมาไทต์ (Hematite) ร้อยละ 60 ถึง 90 ของเถ้าลอยส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะที่ไม่เป็นผลึก ส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจมีในเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ได้แก่ เพอริเคลส (Periclase) แอนไฮไดรต์ (Anhydrite) แอลคาไลซัลเฟต (Alkali Sulfate) เมลิไลต์ (Melilite) เมอร์วิไนต์ (Merwinite) เนฟิไลต์ (Nepheline) โซดาไลต์ (Sodalite) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และอื่น ๆ

2.3.1 เถ้าลอย Class C

เถ้าลอย Class C ส่วนใหญ่มักเป็นเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูง นอกเหนือจากแคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกตกลาส (Calcium aluminosilicate glass) ซึ่งเป็นส่วนที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีแล้วยังมีปูนขาวอิสระ (Free lime,CaO) แอนไฮเดรต (Anhydrate,$CaSO_4$)

ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate,$3CaO.Al_2O_3$) แคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต (Calcium sulfoaluminate, $4CaO.3Al2O_3.SO_4$) และที่มีอยู่น้อยมาก คือ แคลเซียมซิลิเกต

เถ้าลอย Class C ที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมักทำปฏิกิริยากับน้ำโดยตรงทำให้เกิดสารที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสาน เช่น แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และเอ็ททริงไงต์ (Ettringite) นอกจากนี้ส่วนที่มีสถานะไม่เป็นผลึกซึ่งมีอยู่ในเถ้าลอย Class C มักจะมีปริมาณน้อยกว่าในเถ้าลอย Class F แต่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยามากกว่า

2.3.2 เถ้าลอย Class F

เถ้าลอย Class F มักมีปริมาณแคลเซียมต่ำ ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ส่วนที่ไม่เป็นผลึกของซิลิกาซึ่งมีปริมาณซิลิกาสูงและส่วนที่เป็นผลึก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้น้อย ได้แก่ มุลไลต์ แมกนีไทต์ หรือเฟอร์ไรต์ สปินิลและควอทซ์

องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่ไม่เป็นผลึกในเถ้าลอยจะมีความผันแปรค่อนข้างมาก ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยา โครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นผลึกเหล่านี้มีตั้งแต่ประเภทที่มีการจับยึดกันอย่างแข็งแรงของซิลิกาในเถ้าลอย Class F จนถึงโครงสร้างที่มีส่วนประกอบอื่นๆแทรกอยู่มากในเถ้าลอย Class C ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้อาจรวมถึงแอลคาไลเอิรท์ (Alkaline earth) แอลคาไล (Alkali) และอะลูมิโนซิลิเกตกลาส (Alumino-silicate glasses) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นผลึกของตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Blast furnace slag)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย