

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาถึงสมบัติต่างๆ ของชีวมวลเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างเหมาะสม จึงควรศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิง

2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวล หมายถึง เชื้อเพลิงที่ได้มาจากอินทรีย์สารหรือสิ่งมีชีวิต รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตร การปศุสัตว์และการทำป่าไม้ ได้แก่ ไม้พืน เศษไม้ แกลบ ฟาง ชานอ้อย ต้นและใบอ้อย ใบปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว ใบมะพร้าว เศษพืช มูลสัตว์ กากชีวภาพ กากตะกอน หรือของเสียจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น

มนุษย์ได้ใช้พลังงานจากชีวมวลมาเป็นเวลานานแล้วจนถึงปัจจุบันก็ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในจำนวนไม่น้อย โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา ตามชนบทก็ยังมีการใช้ไม้พืนหรือถ่านในการหุงหาอาหาร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่ได้ในประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อาทิ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย และกะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าต่อไป

ในปัจจุบันก็ได้มีการนำชีวมวลมาใช้แล้ว แต่ก็ยังมีส่วนที่ไม่ได้นำไปใช้อีกจำนวนไม่น้อยซึ่งดูได้จากตัวอย่างในปี 2545-2546 ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

แสดงศักยภาพพลังงานเหลือทิ้งจากพืชชีวมวลทั้ง 9 ชนิด ปี 2545-2546

ชนิด	ผลผลิต (ตัน/ปี)	ส่วนเหลือทิ้ง	ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ตัน)	ศักยภาพพลังงาน (กิโลตันน้ำมันดิบ/ปี)
อ้อย	74,249,407	ส่วนยอด	10 - 30	17.39	4892
		ชานอ้อย	100	0.00	
ข้าว	26,076,846	แกลบ	70 - 80	14.27	4,239
		ฟางข้าว	50	10.24	
ข้าวโพด	4,230,976	ต้นและใบ	10	17.39	1,494
		ซังข้าวโพด	70	18.04	
มันสำปะหลัง	16,868,310	ต้นและใบ	60 - 80	17.39	917
		เหง้า	0	18.42	
มะพร้าว	1,870,975	กะลา	50 - 70	16.23	810
		เปลือก	20	17.93	
		ต้นและทะลาย	0	15.4	
สับปะรด	1,738,833	ยอดสับปะรด	0	12.68	305
ปาล์ม	4,001,376	ใบปาล์ม	100	0.00	219
		ทะลายปาล์ม	50 - 60	17.86	
		ทางปาล์ม	100	0.00	
		กะลาปาล์ม	70 - 80	18.46	
ยางพารา	3,005,212	ไม้ฟัน	100	0.00	86
		ขี้เลื่อย	100	0.00	
		อื่นๆ	20	14.98	
ถั่วเหลือง	259,863	ต้นและใบ	50 - 60	19.44	63
รวม					13,026

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จากตารางที่ 2.1 พบว่า ยังมีชีวมวลเหลือทิ้งอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งแนวโน้มการใช้ชีวมวลมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ตามนโยบายของรัฐบาลที่สนับสนุนให้ใช้พลังงานทดแทน คือ จะเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนให้ได้ตามเป้าหมายในปี 2554 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

แสดงเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในปี 2551-2554

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพ	ปัจจุบัน (พ.ศ.2550)	พ.ศ. 2551-2554	
ไฟฟ้า	(MW)	(MW)	(MW)	(ktoe)
รวม			3,276	1047
แสงอาทิตย์	50000	32	45	4
ไฟฟ้าพลังน้ำ	700	50	156	16
พลังงานลม	1600	1	115	13
ชีวมวล	4400	1507	2800	942
ก๊าซชีวภาพ	190	29.2	60	27
ไฟฟ้าพลังขยะ	250	4.1	100	45
พลังงานความร้อน (ktoe)	ktoe	ktoe		ktoe
รวม		2424.3		4035
แสงอาทิตย์	100	0.3		5
ชีวมวล	7400	2345		3660
ก๊าซชีวภาพ	470	79		370
เชื้อเพลิงชีวภาพ	ล้านลิตร/วัน	ล้านลิตร/วัน	ล้านลิตร/วัน	ktoe
รวม			5.4	1606
เอทานอล	5.4*	1.22	2.4	653
ไบโอดีเซล	3.3*	1.29	3	953
ความต้องการใช้พลังงานรวม (ktoe)				79811
ความต้องการใช้พลังงานหมุนเวียนรวม (ktoe)				6688
สัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียน				8%
ก๊าซ NGV (ktoe)		312		2516
ความต้องการใช้พลังงานทดแทนรวม (ktoe)				9204
สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน				11.5%

ที่มา: การประชุมเชิงปฏิบัติการพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน

ข้อดีและข้อเสียของพลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวลมีข้อได้เปรียบในแง่เศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่น ๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

การเปรียบเทียบชีวมวลกับแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ

โรงผลิตกระแสไฟฟ้า	เซลล์แสงอาทิตย์	ลม	ชีวมวล
มูลค่าลงทุนทั้งหมด (ล้าน เหรียญสหรัฐ)	1,830	12,700	6,300
กำลังการผลิต (กิโลวัตต์)	1,000,000	10,000,000	10,000,000
อัตราการทำงานในช่วง 1 ปี (%)	12	20	70
ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์-ชม.)	1,100	17,500	61,300
เงินลงทุนต่อหน่วย (เหรียญสหรัฐ/กิโลวัตต์)	1.66	0.72	0.10

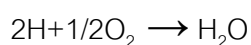
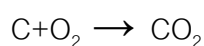
ที่มา www.eei-ku.com

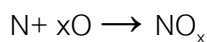
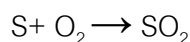
แต่การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงยังมีข้อเสียหลายประการ ดังนี้

- ให้พลังงานต่อหน่วยต่ำ (Low Energy Density per Unit) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล
- มีคู่แข่งในการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการนำไปเป็นอาหารสัตว์
- ต้องใช้กระบวนการแปรรูปที่หลากหลายจึงไม่สะดวกต่อการใช้งาน

2.2 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้หรือการสันดาปเชื้อเพลิงนั้น เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างองค์ประกอบต่างๆของเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H₂), ออกซิเจน (O), ซัลเฟอร์ (S), ไนโตรเจน (N), น้ำ (H₂O) และเถ้า แล้วกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แล้วคายความร้อนออกมาเป็นจำนวนมาก ดังปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานต่อไปนี้





สำหรับไนโตรเจน สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ แต่เกิดในปริมาณที่น้อยมากคือ ในล้านส่วน จากสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเห็นว่าไอเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในทางปฏิบัติอาจเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ ทำให้สารคาร์บอนในเชื้อเพลิงเกิดเป็นเขม่า ซึ่งเป็นคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นสารประกอบของคาร์บอนที่ยังเผาไหม้ไม่สิ้นสุด ผลผลิตทั้งสองตัวนี้ถือเป็นเชื้อเพลิงส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.3 การทดสอบคุณภาพของถ่านหิน

2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

เป็นการหาปริมาณของความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ในการจัดกลุ่มของถ่านหิน โดยอาศัยอัตราส่วนของสารที่เผาไหม้ได้กับสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่าสนใจมาพิจารณาในการซื้อขายและประเมินคุณภาพของถ่านหิน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ดังนี้

2.3.1.1 ความชื้น (ASTM D 3173)

ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงวิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 โดยให้ความร้อนกับเชื้อเพลิง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส และคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป คำนีถือว่าสำคัญมากโดยเฉพาะในด้านการซื้อขาย เพราะส่วนใหญ่จะทำการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพจากเชื้อเพลิงที่แห้ง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ค่าความชื้นนี้ไปคำนวณค่าอื่นๆของเชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง (Dry Basis)

2.3.1.2 เถ้า (ASTM D 3174)

เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เถ้าที่ได้จะต่างจากองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในสารตั้งต้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสารเคมีที่เกิดขึ้นภายในตัวแร่ธาตุ ได้แก่ การสูญเสียไอน้ำเนื่องจากการเกิดผลึกของแร่ธาตุที่มีน้ำอยู่ในองค์ประกอบ การสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์จากคาร์บอนเนต การเกิดออกซิเดชันของไพไรต์ (FeS_2)

เป็นเหล็กออกไซด์ (Ferric oxide) ปริมาณเข้ามีความสำคัญ เนื่องจากมีผลในการลดค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และยังเกี่ยวข้องกับค่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอีกด้วย การวิเคราะห์ปริมาณเข้าตาม ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่

2.3.1.3 สารระเหย (ASTM D 3175)

สารระเหยเป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซ เมื่อนำเชื้อเพลิงมาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดที่ปราศจากอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ เป็นเวลา 6-7 นาที (ขึ้นอยู่กับลักษณะของเชื้อเพลิง) และคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไปลดด้วยความชื้น สารระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยมากจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน น้ำ และสารระเหยจากทาร์ (Tar) ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างทางอินทรีย์ของเชื้อเพลิงนั้น ๆ

2.3.1.4 คาร์บอนคงตัว (ASTM D 3172)

เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหยและเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยนำเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนคงตัวนี้มีความสำคัญมากต่อการแบ่งระดับชั้นของเชื้อเพลิง ถ้ามีค่ามากขึ้นความเป็นเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.2 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนเป็นพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบต่อ 1 หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของเชื้อเพลิง โดยมีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg), กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg), หรือกิโลแคลอรีต่อลิตร (kcal/lit) เป็นต้น และมีคำจำกัดความ คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท หรือคายออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ก๊าซไอเสีย) เย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น ที่สภาวะมาตรฐานของเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ ซึ่งคำว่าสภาวะมาตรฐานในที่นี้คือ ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ (atm) และ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (77°F)

ซึ่งค่าความร้อนมีความสำคัญในการแบ่งระดับคุณภาพของเชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมและงานวิจัย โดยปกติค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองเผาเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งงานวิจัยนี้หาค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงตามวิธี ASTM D2015

2.3.3 การสกัดแยกองค์ประกอบทางเคมี (Chemical Fraction Analysis)

คือการแยกองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการชะล้างวัตถุดิบ โดยเทคนิคนี้จะทำให้พบสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆที่อยู่ในเชื้อเพลิงเมื่อนำมาชะล้างในสารละลายต่างชนิดกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการชะล้างด้วย น้ำ (H_2O), แอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4Ac) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

- การชะล้างด้วยน้ำจะทำให้สารจำพวกอัลคาไลต์ซัลเฟต คาร์บอเนตและคลอไรด์ถูกชะล้างออกไป ซึ่งสารจำพวกนี้มีส่วนทำให้เกิด Fouling ได้เนื่องจาก แอคทีฟอัลคาไลด์ (Active Alkali เช่น Na, K) เมื่อถูกความร้อนจะระเหยกกลายเป็นไอ และไปกลั่นตัวบนท่อไอน้ำ และจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ออกไซด์ ในไอเสียเกิดเป็นสารประกอบซัลเฟตที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาก และหลอมตัวเป็นคราบเหนียวตามผิวท่อคอยล์บ่อนุภาคของเถ้าที่มาสัมผัสปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียม เป็นตัวบอกแนวโน้มการเกิด Fouling ได้ ปริมาณคลอรีนของเชื้อเพลิงบางชนิด แอคทีฟอัลคาไลด์ จะพบอยู่ในรูป NaCl และ KCl ดังนั้น สามารถหาความสัมพันธ์ของการเกิด Fouling กับปริมาณคลอรีนในเชื้อเพลิงได้
- การชะล้างด้วยแอมโมเนียมอะซิเตทจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เช่น ซัลเฟต, แคลเซียมและอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโพแทสเซียมและโซเดียม
- การชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกสามารถชะล้างคาร์บอเนตและซัลเฟต, ซิลิเกต และแร่ธาตุอื่นๆที่ยังคงอยู่ในวัตถุดิบส่วนที่ไม่ละลาย (Zevenhoven-Onderwater et al., 2000)

2.4 ผลกระทบของเถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

เถ้าที่ได้จากการเผาชีวมวลประกอบด้วยโลหะและอโลหะ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในการเผาไหม้คือ การเกิด Slagging และ Fouling ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไหม้ เนื่องจากทำให้ผนังของห้องเผาไหม้มีสภาพเป็นฉนวน ดังนั้นความสามารถในการส่งผ่านความร้อนจึงลดลง

- Slagging เป็นตะกอนที่เคลือบอยู่ตามผนังด้านล่างของห้องเผาไหม้อันเกิดมาจากการหลอมตัวของสารประกอบออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นเบส (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) เมื่อสารประกอบเหล่านี้หลอมตัวแล้วจะเกิดเป็นคราบเหนียวเคลือบตามผนังคอยล์บู้นี้เถ้าที่ลอยมาสัมผัส

- **Fouling** เป็นตะกรันที่เคลือบอยู่ตามผนังท่อของห้องเผาไหม้ อันเกิดมาจากการหลอมตัวของโลหะอัลคาไลน์ (ธาตุหมู่ 1,2) เมื่อโลหะอัลคาไลน์ถูกความร้อนจะระเหยกายเป็นไอ และไปกลั่นตัวบนท่อไอน้ำและจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟตออกไซด์ในไอเสีย เกิดเป็นสารประกอบซัลเฟต ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาก และหลอมตัวเป็นคราบเหนียวเคลือบตามผิวท่อคอยจับฝุ่นที่เถ้าที่ลอยมาสัมผัส

ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าที่ทำให้เกิด Slagging

1. Base to Acid Ratio ($R_{b/a}$)

$$R_{b/a} = \frac{\%(Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O)}{\%(SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3)} \quad (1)$$

$R_{b/a}$ บ่งบอกถึงแนวโน้มของเถ้าซึ่งประกอบด้วยโลหะต่าง ๆ จะรวมตัวกันที่อุณหภูมิสูง เกิดเป็นเกลือที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ $R_{b/a}$ บ่งบอกถึงลักษณะการหลอมตัวและแนวโน้มการเกิด Slagging

2. Slagging Index (R_s)

$$R_s = (\text{Basic/Acid}) \times \% \text{ Sulphur in Fuel (Dry Basis)} \quad (2)$$

อัตราส่วนนี้บ่งบอกถึงแนวโน้มในการเกิด Slagging เช่นเดียวกับ $R_{b/a}$ ถ้าค่า R_s มีค่าสูง โอกาสที่จะเกิด Slagging จะเพิ่มขึ้น

3. Silica/Alumina Ratio

$$\text{Silica/Alumina Ratio} = SiO_2 / Al_2O_3 \quad (3)$$

ซิลิกา (Silica) สามารถรวมตัวกับสารประกอบที่เป็นเบส แล้วเกิดเป็นซิลิเกต (Silicates) ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำได้ มากกว่าโอกาสที่อะลูมินา (Alumina) จะรวมตัวเกิดเป็นอะลูมิเนต (Aluminates) ดังนั้นเถ้าที่มีค่า $R_{b/a}$ เท่ากัน เถ้าที่มีค่า Silica/Alumina Ratio สูงกว่าจะมีลักษณะหลอมตัวได้ง่ายกว่า โดยทั่วไปจะมีค่า อยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 4.0 อัตราส่วนนี้ ใช้เป็นข้อมูลพิจารณาเกี่ยวกับการหลอมตัวของเถ้า เนื่องจากส่วนประกอบทั้งสองเป็นอะซิดิกออกไซด์ (Acidic Oxides) ซึ่งถือว่ามีจุดหลอมเหลวสูง

4. Iron/Calcium Ratio

$$\text{Iron/Calcium Ratio} = \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO} \quad (4)$$

ถ้าในถ้ำมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมมาก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและแคลเซียมเกิดเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ถ้าผสมกันในสัดส่วนเหมาะสม อัตราส่วนที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด คือ ระหว่าง 0.3 ถึง 3.0 ความสัมพันธ์เหล็กและแคลเซียมต่อความยากง่ายในการหลอมตัวของถ้ำคือ

- ถ้าไม่มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เลย ไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃) จะไม่ทำให้เกิด Slagging ที่หลอมเหลวง่ายที่สุด
- ถ้ามีปริมาณไอรอนออกไซด์ สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในถ้ำ จะทำให้มีอัตราส่วนที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ ไอรอนออกไซด์ แต่ถ้าเปอร์เซ็นต์ไอรอนออกไซด์ มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 40เปอร์เซ็นต์ ไอรอนออกไซด์จะไม่มีผล ในการเพิ่มการหลอมตัวของถ้ำ
- ถ้ำที่มีเปอร์เซ็นต์ไอรอนออกไซด์มากกว่า 14% การเพิ่มของเปอร์เซ็นต์แคลเซียมออกไซด์ จะทำให้คุณสมบัติการหลอมตัวลดลงได้มากกว่าการเพิ่มไอรอนออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน

5. Iron/Dolomite Ratio

$$\text{Iron/Dolomite Ratio} = \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO} + \text{MgO} \quad (5)$$

6. Dolomite Percentage (D.P.) คือเปอร์เซ็นต์ของโดโลไมท์ (Dolomite) ในเบสออกไซด์ทั้งหมด

$$\text{D.P.} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \quad (6)$$

ตัวแปรนี้ใช้กับถ้ำที่ปริมาณเบสออกไซด์ มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปริมาณ เบสออกไซด์มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืด (Viscosity) ของถ้ำ ช่วงที่ใช้พิจารณาคือ เบสออกไซด์ เท่ากับ 40-98 เปอร์เซ็นต์ ถ้า Dolomite Percentage เพิ่มขึ้น ค่าคุณสมบัติการหลอมตัวและความหนืดจะสูงขึ้นด้วย

7. Equivalent Fe₂O₃ และ Ferric Percentage (F.P.)

$$\text{Equivalent Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1.11\text{FeO} + 1.43 \text{ Fe} \quad (7)$$

$$\text{F.P.} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Equi. Fe}_2\text{O}_3) \times 100 \quad (8)$$

จะบอกถึงระดับที่เหล็กถูกออกซิไดซ์ใน Slagging ของเถ้า ทั้งสองค่านี้จะถูกนำมาใช้เมื่อพบว่าอุณหภูมิการหลอมตัวของเถ้า (Ash Fusion Temperature) และอุณหภูมิที่เริ่มแข็งตัว (Crystallization Temperature) ในบรรยากาศรีดิวส์ต่ำกว่าในบรรยากาศออกซิไดซ์ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากรูปแบบที่ต่างกันของไอรอนออกไซด์ที่เกิดในบรรยากาศรีดิวส์และออกซิไดซ์ ไอรอนออกไซด์และไอรอน เป็นตัวที่มีผลมากกว่าไอรอนออกไซด์ และให้ผลในการลดอุณหภูมิการหลอมตัวและอุณหภูมิที่เริ่มแข็งตัว ลง ค่า F.P. ที่น้อยลง แสดงว่าเถ้ามีลักษณะที่หลอมเหลวง่ายขึ้น ค่า Equivalent Fe_2O_3 และ F.P. จะขึ้นกับภาวะในการเผาไหม้ในเตาเผา

8. Silica Percentage (S.P.)

$$\text{S.P.} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{Equi. Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}} \quad (9)$$

ค่า S.P. ที่มีค่าประมาณ 35-90 เปอร์เซ็นต์ จะมีความสัมพันธ์กับความหนืดของเถ้า โดยค่า S.P. เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของ Slagging เพิ่มขึ้น

ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าที่ทำให้เกิด Fouling

1. Fouling Index (R_f) (ใช้กับเชื้อเพลิงที่เถ้ามีปริมาณ $(\text{CaO} + \text{MgO}) < \text{Fe}_2\text{O}_3$ เท่านั้น)

$$R_f = (\text{Basic/ Acid}) \times \% \text{Na}_2\text{O} \text{ ในเถ้า} \quad (10)$$

- ค่า R_f น้อยกว่า 0.2 หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling ต่ำ
- ค่า R_f อยู่ในช่วง 0.2-0.5 หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling ปานกลาง
- ค่า R_f อยู่ในช่วง 0.5 -1.0 หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling สูง
- ค่า R_f มากกว่า 1.0 หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling รุนแรงมาก

2. ปริมาณโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ในเถ้า (ใช้กับเชื้อเพลิงที่เถ้ามีค่า $\text{CaO} + \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$) ซึ่งปริมาณร้อยละของโซเดียมออกไซด์ในเถ้าจะบอกถึงแนวโน้มการเกิด Fouling
 - ค่า Na_2O น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling ต่ำถึงปานกลาง
 - ค่า Na_2O อยู่ในช่วง 3-6 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling สูง
 - ค่า Na_2O มากกว่า 6 หมายถึง แนวโน้มในการเกิด Fouling รุนแรงมาก

3. แอคทีฟอัลคาไลด์ เป็นตัวบอกแนวโน้มของการเกิด Fouling เพราะโซเดียมและโพแทสเซียมเมื่อถูกความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ และไปกลั่นตัวบนท่อไอน้ำ และจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ออกไซด์ในไอเสีย เกิดเป็นสารประกอบซัลเฟตที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาก และหลอมตัวเป็นคราบเหนียวตามผิวท่อคอยล์บนอากาศเข้าที่สามผัด ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมเป็นตัวบอกแนวโน้มการเกิด Fouling ได้ดี

$$\text{Modified } R_f = (\text{Basic/acid}) \times \text{Water Soluble Sodium ในเชื้อเพลิง} \quad (11)$$

Modified R_f หาได้โดยการเตรียมค่า โดยใช้ อุณหภูมิค่า เพื่อไม่ให้โซเดียมและโพแทสเซียมกลายเป็นไอ เนื่องจากอุณหภูมิสูง

- ค่า Modified R_f น้อยกว่า 0.1 หมายถึง มีแนวโน้มการเกิด Fouling ต่ำ
- ค่า Modified R_f 0.1-0.25 มีแนวโน้มการเกิด Fouling ปานกลาง
- ค่า Modified R_f ค่า Modified R_f 0.25-0.7 มีแนวโน้มการเกิด Fouling สูง,
- ค่า Modified R_f มากกว่า 0.7 มีแนวโน้มการเกิด Fouling รุนแรงมาก

เปอร์เซ็นต์ของแอคทีฟอัลคาไลด์ในเชื้อเพลิง มีผลต่อการเกิด Fouling ดังนี้

- ค่าน้อยกว่า 0.7 หมายถึงมีแนวโน้มการเกิด Fouling ต่ำ,
- ค่าอยู่ในช่วง 0.7-1.5 มีแนวโน้มการเกิด Fouling ปานกลาง
- ค่า 1.5-5.5 มีแนวโน้มการเกิด Fouling สูง
- ค่ามากกว่า 5.5 มีแนวโน้มการเกิด Fouling รุนแรงมาก

เชื้อเพลิงที่มีปริมาณค่ามาก ๆ จะทำให้ผลของแอคทีฟอัลคาไลด์ ที่จะทำให้เกิด Fouling ลดลง อาจเกิดจากการที่ไอของอัลคาไลด์ ถูกดูดซึมโดยอนุภาคของเถ้าในไอเสีย มากกว่าไอของอัลคาไลด์ จะไปจับและกลั่นตัวบนท่อไอน้ำ เมื่ออนุภาคเถ้ามีมาก

4. ปริมาณคลอรีนเชื้อเพลิงบางแหล่ง แอคทีฟอัลคาไลด์ (ได้แก่ Na, K) พบอยู่ในรูป NaCl และ KCl ดังนั้น สามารถหาความสัมพันธ์ของการเกิด Fouling กับปริมาณคลอรีนในถ่านหินได้ ซึ่งปริมาณคลอรีนจะเป็นตัวบอกแนวโน้มการเกิด Fouling ได้
- โดยเปอร์เซ็นต์ของคลอรีนน้อยกว่า 0.2 หมายถึงมีแนวโน้มการเกิด Fouling ต่ำ
 - 0.2-0.3 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการเกิด Fouling ปานกลาง
 - 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการเกิด Fouling สูง

- มากกว่า 0.5 เปอร์เซนต์ มีแนวโน้มการเกิด Fouling รุนแรงมาก

- ปัจจัยอื่นๆที่ทำให้เกิด Slagging และ Fouling ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้, อุณหภูมิหลอมเหลวของเชื้อเพลิง, Ash Fusion Temperature ของเชื้อเพลิง

2.4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายการเกิด Slagging และ Fouling ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. AI (Alkali Index)

$$AI = \frac{kg(K_2O + Na_2O)}{GJ} \quad (12)$$

ค่า AI อยู่ในช่วง 0.17 – 0.34 kg/GJ อาจมีการเกิด Fouling และ Slagging แต่ ถ้าค่า AI มากกว่า 0.34 kg/GJ มีแนวโน้มการเกิด Fouling และ Slagging แน่ช่น

2. BAI (Bed Agglomeration Index)

$$BAI = \frac{\%(Fe_2O_3)}{\%(K_2O + Na_2O)} \quad (13)$$

ส่วนค่า BAI นั้น ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.15 เบด (Bed) จะจับตัวเป็นก้อน

3. $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio)

$$R_{b/a} = \frac{\%(Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O)}{\%(SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3)} \quad (14)$$

พารามิเตอร์ $R_{b/a}$ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัดส่วนของ ออกไซด์ของโลหะที่เป็นเบส ต่อ ออกไซด์ของโลหะที่เป็นกรดโดย ออกไซด์ของโลหะที่เป็นเบสจะหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ และ ออกไซด์ของโลหะ/อโลหะ ที่เป็นกรด จะหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง หากปริมาณของออกไซด์ของโลหะที่เป็นเบสมีมาก แนวโน้มการเกิด Slagging จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.5 เครื่องมือในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง

2.5.1 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer (AAS))

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรี (Free Atoms) ของธาตุ ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ โดยการทำให้ธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่าง แตกตัวเป็นอะตอมเสรีที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ การใช้เปลวไฟ (Flame AAS, FAAS) และ การใช้เตากราฟไฟท์ (Graphite Furnace AAS, GFAAS) ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความไวในการตรวจวัด (Sensitivity) ที่ต้องการ และลักษณะองค์ประกอบในสารตัวอย่าง

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์แบบสองอะตอมไมเซอร์ (Dual Atomizer AAS) เป็นเครื่องที่ได้รับการออกแบบให้มีความทันสมัยและประโยชน์ใช้สอยมากขึ้น โดยจะมีทั้ง อะตอมไมเซอร์แบบเปลวไฟและแบบเตากราฟไฟท์ติดตั้งรวมอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน เครื่องรูปแบบนี้มีข้อดีและข้อแตกต่างจากเครื่อง ทั่วไปอยู่หลายประการ

ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (Atomizer)

1. ส่วนทำให้แตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame Atomizer)

สารตัวอย่างของเหลวเมื่อผ่านเข้าสู่ตัวฉีดละออง (Nebulizer) จะเปลี่ยนเป็นละอองฝอย จากนั้นจึงผสมรวมกับแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel) และแก๊สสันดาป (Oxidant) ภายในห้องสเปรย์ (Spray Chamber) ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่เปลวไฟโดยเป็นไอของเกลือ และการแตกตัวเป็นอะตอมเสรี แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้โดยส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สอะเซทิลีน ส่วนแก๊สสันดาปอาจเป็นอากาศหรือแก๊สไนโตรส ออกไซด์ซึ่งจะให้เปลวไฟอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิของเปลวไฟจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกตัวเป็นอะตอมของธาตุ ดังนั้นจะต้องปรับอัตราส่วนผสมของแก๊สให้มีความเหมาะสมกับสารตัวอย่างและธาตุแต่ละชนิด

เครื่อง FAAS นี้จะใช้งานได้ง่ายและสะดวก แต่ยังมีข้อด้อยบางประการ อย่างเช่น สารตัวอย่างต้องมีปริมาตรที่มากพอสมควร และมีความไวในการตรวจวัดที่ค่อนข้างจำกัด

2. ส่วนทำให้แตกตัวเป็นอะตอมด้วยความร้อนจากไฟฟ้าหรือเตากราฟไฟท์ (Electrothermal Atomizer หรือ Graphite Furnace)

เทคนิคนี้จะใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนเพื่อให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอม เครื่อง GFAAS สามารถใช้ตรวจวัดธาตุส่วนใหญ่ได้เช่นเดียวกับ FAAS แต่จะมีความไวในการตรวจวัดที่ดีกว่าถึง 1,000 เท่า และใช้ปริมาณของสารตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในระดับไมโครลิตรเท่านั้น เมื่อสารตัวอย่างถูกใส่ลงในหลอดกราฟไฟท์ (Graphite Cuvette) แล้วจึงจะให้ความร้อนตามลำดับขั้นดังนี้

- ช่วงทำให้แห้ง (Drying Phase) เป็นขั้นตอนที่สารตัวอย่างถูกให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป
- ช่วงทำให้เป็นเถ้า (Ashing Phase) เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนที่สูงขึ้นเพื่อกำจัดส่วนประกอบต่าง ๆ ของสารตัวอย่าง
- ช่วงทำให้แตกตัวเป็นอะตอม (Atomization Phase) จะเป็นขั้นตอนที่สลายเป็นอะตอม และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง
- ช่วงทำความสะอาด (Cleaning Phase) เป็นขั้นตอนให้ความร้อนในอุณหภูมิสูงมากเพื่อกำจัดสิ่งตกค้างในหลอดกราฟไฟท์

สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากเทคนิคนี้จะมีลักษณะเป็นพีค (Peak) แทนที่จะเป็นสัญญาณต่อเนื่องดังเช่นที่ได้จากเทคนิคแบบเปลวไฟ

ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ในการใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ คือ สัญญาณที่วัดได้ต่ำกว่าที่ควร ไม่เสถียร และมีการรบกวนสูง วิธีการแก้ไขทำได้โดย ตรวจเช็คส่วนประกอบต่างๆ ให้อยู่ในสภาพปกติ ไม่ชำรุด ปรับตำแหน่งตะเกียง อัตราการดูดสารละลาย ความดันแก๊ส การลบค่าแบล็คกราวด์ ให้เหมาะสม ทำความสะอาดชิ้นส่วนที่พบว่าเกิดการอุดตัน หรือมีสิ่งกีดขวาง และสารละลายที่วัดควรเตรียมใช้ใหม่ทุกครั้ง

สำหรับการบำรุงรักษาควรหมั่นเช็คดูบริเวณตัวเครื่องหลังการใช้งาน เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ตรวจสอบรอยรั่วของข้อต่อ วาล์วของท่อแก๊สต่างๆ ล้างทำความสะอาดบริเวณที่เกิดการอะตอมไมซ์ เช่น เนบิวไลเซอร์ สเปรย์แชมเบอร์ ถังดักจับของเหลว และตะเกียง เพื่อกำจัดสารตกค้างต่างๆ ตรวจเช็คอุปกรณ์ทุกชิ้น

2.5.2 เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF))

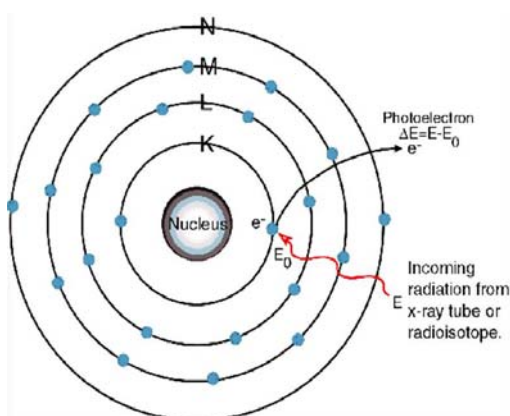
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยการใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

หลักการและวิธีการวิเคราะห์

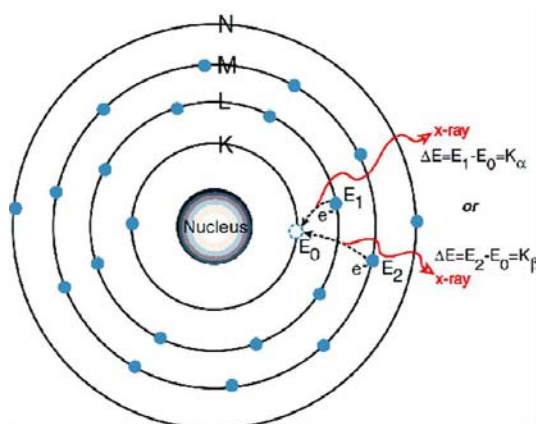
เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary X-ray Photon) จากหลอดรังสีเอกซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่าง จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปของโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2-1(a) ซึ่งที่สภาวะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่ช่องว่างดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-ray Photon) ดังแสดงในรูปที่ 2-1(b) และ (c) ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ฟลูออเรสเซนซ์” (Fluorescence) พลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนวงนอกที่เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงาน กับระดับพลังงานของช่องว่างที่เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2-2 รังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นรังสีเอกซ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นเทคนิคนี้ จึงใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

รูปที่ 2.1 (a) - (c)

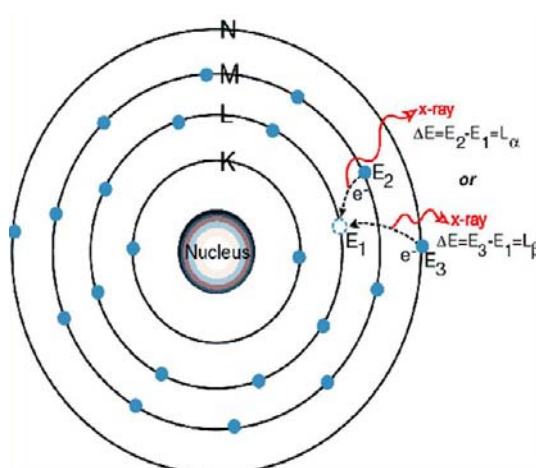
แผนภาพแสดงขั้นตอนการเกิดรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่าง



(a)



(b)

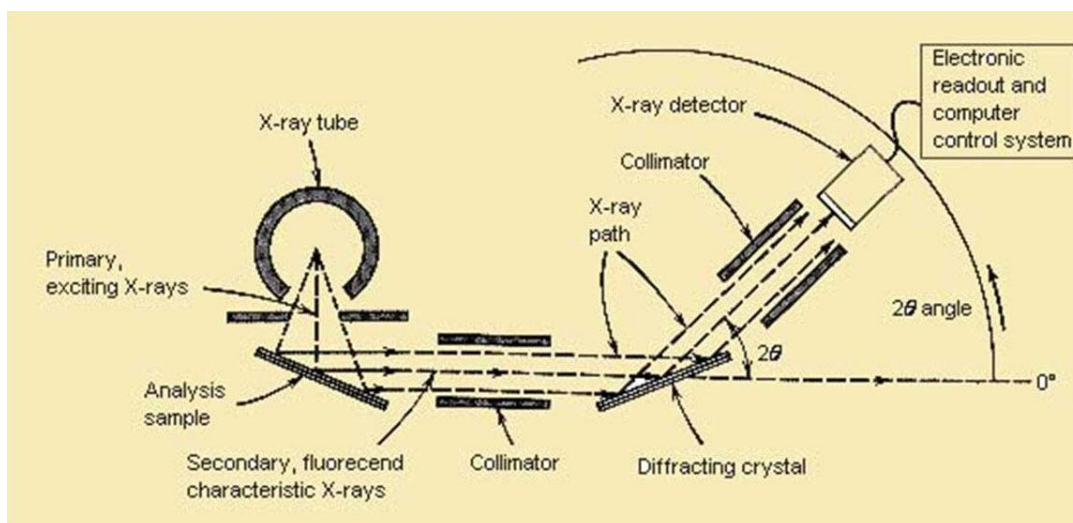


(c)

รังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านคอลลิเมเตอร์ (Collimator) ในรูปลำรังสีขนานไปยังแผ่นแก้ว (Diffracting Crystal) ซึ่งมีค่าระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (d) ที่แน่นอนเช่นควอทซ์ , ลิเทียม-ฟลูออไรด์ , โมกา ฯลฯ โดยแผ่นแก้ว (Diffracting Crystal) จะทำให้งรังสีเอ็กซ์เกิดการเลี้ยวเบนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (X-ray Detector) โดยปกติ แผ่นแก้ว (Diffracting Crystal) จะทำมุม กับระนาบรังสีขนานจากคอลลิเมเตอร์ (Collimator) และทำมุมกับเครื่องตรวจวัด (รูปที่ 2.2)

รูปที่ 2.2

แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักในเครื่อง XRF



การคำนวณหาความยาวคลื่น (Wavelength, λ) ของรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์จากสารตัวอย่าง จะทำได้โดยแทนค่าในสมการกฎของแบรกก์ (Bragg's law)

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (15)$$

ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณได้ จะสามารถชี้บ่งได้ว่ารังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุใดบ้าง เทคนิคการวิเคราะห์นี้ เรียกว่า Wavelength Dispersive XRF

รูปที่ 2.3

ภาพแสดงเครื่อง XRF



2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจนคินส์ และคณะ (Jenkins et al., 1998) ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของชีวมวลที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ พบว่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนองค์ประกอบสารอนินทรีย์ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาการเกิด Slagging และ Fouling และอัลคาไลต์เคิร์ธในการรวมตัวกันกับธาตุอื่นๆในเชื้อเพลิงเช่น ซิลิคอน ซัลเฟอร์ คลอไรด์ ซึ่งเป็นต้นเหตุสำหรับหลายๆปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการในการเผาไหม้ในเตาเผา การชะล้างธาตุต่างๆออกจากเชื้อเพลิงโดยใช้น้ำทำให้สามารถปรับปรุง คุณณภูมิการหลอมตัวของถ่าน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้พารามิเตอร์ AI และ $R_{b/a}$ เป็นดัชนีวัดการเกิด Slagging และ Fouling นอกจากนี้ อิทธิพลอื่นๆขององค์ประกอบของชีวมวลคือ อัตราการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลภาวะ

ซีเวนโฮเวน ออนเดอร์วอเตอร์ และคณะ (Zevenhoven-Onderwater et al., 2000) ศึกษาพฤติกรรมของถ่านโดยวิธีที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของถ่าน ได้แก่ วิธีการสกัดแยกองค์ประกอบ (Extended Fuel Analysis) และวิธีใช้โปรแกรมจำลอง (Advanced Global Thermodynamic Equilibrium Calculations) เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ถ่านหิน(บิทูมินัส), พีท, กากไม้ และ ซาลิก โดยวิธีการสกัดแยกองค์ประกอบ เป็นการสกัดแยกองค์ประกอบของธาตุ(Chemical Fraction) ออกจากเชื้อเพลิงด้วยการชะล้างเชื้อเพลิงกับสารชนิดต่างๆคือ น้ำ, แอมโมเนียมอะซีเตต กรดไฮโดรคลอริก ผลจากการแยกส่วนประกอบของธาตุออกจากเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในการกระจายตัวของแร่ธาตุในเชื้อเพลิง การใช้เชื้อเพลิงเก่าจะเกิดการก่อตัวของถ่านมากขึ้น สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะพบในส่วนที่เป็นสารละลายหลังจากที่มีการชะล้างกับน้ำ และแอมโมเนียมอะซีเตต การประเมินการเกิด Slagging และ Fouling จากทั้ง 2 วิธีคือ วิธีการสกัดแยกองค์ประกอบ (Extended Fuel Analysis) และวิธีใช้โปรแกรมจำลอง (Advanced Global Thermodynamic Equilibrium Calculations) ซึ่งวิธีนี้จะเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ถ่านเชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการสำหรับทำนายพฤติกรรมของถ่านเมื่อนำไปใช้จริง ผลบ่งชี้ว่าถ่านจากชีวมวลตัวอย่างทุกชนิดไม่มีปัญหาในการนำไปใช้ในเตาเผา การศึกษาเกี่ยวกับพีทเกิดการทับถมของถ่านเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส เศษไม้เกิดการสะสมของถ่านลอยในช่วงอุณหภูมิไอเสียอยู่ระหว่าง 600 องศาเซลเซียส และ 860 องศาเซลเซียส ส่วนซาลิก จะมีถ่านลอยสะสมที่อุณหภูมิระหว่าง 840 องศาเซลเซียส และ 1000 องศาเซลเซียส การหลอมตัวของเบด (Bed) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1030 องศาเซลเซียส เกิดจากซาลิกมีดินปนเปื้อน

ส่วนวามูลาและโซกราฟอส (Vamula and Zografos , 2004) ได้ทำการศึกษาลักษณะของถ่านของชีวมวลที่เกิดขึ้นโดยอาศัยดัชนีวัดการเกิด Slagging และ Fouling คือ ค่า AI, BAI และ $R_{b/a}$ รวมทั้งหาค่าความร้อนของชีวมวล ทำการทดลองเผาชีวมวลตัวอย่างประกอบด้วย ผลไม้

ลืฟ, ไม้ของต้นโอลืฟ, เปลือกไม้ตระกูลซีทรีส์ และก้านองุ่น มาบดให้ละเอียดจนมีขนาดอนุภาคเล็กเพียง 425 ไมโครเมตร เพื่อหาค่าความร้อนโดยเครื่องบอมแคลอรีมิเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ในการวิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ จากปัญหาการเกิด Slagging และ Fouling จึงนำไปสู่การวิจัยเพื่อศึกษาถึงการลดปัญหาการเกิด Slagging และ Fouling ซึ่งทดสอบโดยการชะล้างเชื้อเพลิงชีวมวลกับน้ำ จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างสารชีวมวลที่นำมาวิเคราะห์มีเถ้าและสารซัลเฟอร์ต่ำแต่มีค่าความร้อนสูง โดยเถ้าเหล่านี้มีองค์ประกอบของ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O), ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P₂O₅) และ นิเกิล (Ni) อยู่มาก เมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าเถ้าจะมีออกไซด์มากกว่า ผลจากการชะล้างกับน้ำลดการเกิดธาตุ โพแทสเซียม (K), โซเดียม (Na), ฟอสฟอรัส (P), คลอไรด์ (Cl) ในทางเดียวกันเมื่อมีการชะล้างทำให้โลหะหนัก (Co, V, Mo, Pb, As) ถูกกำจัดออกไปเกือบหมด อุณหภูมิหลอมตัวมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลโอลืฟจะมีแนวโน้มในการเกิด Fouling มากกว่าชีวมวลตัวอื่นๆ เนื่องจากมีโลหะอัลคาไลไนในปริมาณที่มาก

สำหรับสกริฟวาร์ส และคณะ (Skrifvars et al., 2005) วิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบในห้องเผาไหม้แบบสเกลใหญ่และเปรียบเทียบกับเปลือกยูคาลิปตัสและฟางข้าว จากการศึกษาพบว่าอนุภาคของเถ้าแกลบประกอบไปด้วยซิลิคอนเป็นส่วนใหญ่ และมีโพแทสเซียมอยู่ด้วยเล็กน้อย มีค่าอุณหภูมิการหลอมตัวเริ่มต้นสูง ส่วนฟางข้าวมีความแตกต่างกันเมื่อโดนความร้อน ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เถ้าของฟางข้าวมีซิลิคอนและโพแทสเซียมเป็นจำนวนมาก ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะพบคลอไรด์ในรูปของ KCl สำหรับเถ้าเปลือกยูคาลิปตัสพบแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก จากค่า AI และ ค่า Multi Fuel Fouling Index (MFF index) พบว่ามีแนวโน้มในการเกิด Slagging และ Fouling ของชีวมวลทุกชนิด

ต่อมายูมามาฮีสวารานและบาตรา (Umamaheswaran and Batra, 2007) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของเถ้าชีวมวลจาก 5 แหล่งในประเทศอินเดีย ได้แก่ แกลบ, ชานอ้อย, เปลือกเมล็ดถั่วลิสง, เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์, เปลือกผลหมาก โดยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ วิเคราะห์หาองค์ประกอบ, วิเคราะห์ขนาดอนุภาค, วิเคราะห์ทางความร้อน, และวิเคราะห์โครงสร้าง ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเถ้าทุกชนิดมีสารประกอบขั้นต้นคือซิลิคอนซึ่งอยู่ในรูปแบบต่างๆ ส่วนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคหลังจากที่ได้ผ่านความร้อนซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับเถ้าก่อนผ่านความร้อน ส่วนภาพจากการวิเคราะห์โครงสร้างแสดงถึงรูปร่างที่ไม่แน่นอนของอนุภาคในเถ้าทุกชนิด ผลจากการวิเคราะห์ทางความร้อนแสดงให้เห็น น้ำหนักที่หายไปของเถ้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส ยกเว้น

ถั่วเปลือกผลหยาบซึ่งอยู่ในช่วงสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระเหยของโพแทสเซียมคลอไรด์ ส่วนของการนำไปใช้ ชานอ้อยและแกลบมีปริมาณซิลิคอนสูงจึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิก ถั่วเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสจึงเหมาะสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดิน

วามวูกะ และคณะ (Vamvuka et al., 2007) ได้ใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรจากเกาะกริต ได้แก่ ผลโอลีฟ, ไม้ของต้นโอลีฟ พบว่ามีปัญหาจากผลกระทบของเถ้าจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ในการเกิด Slagging และ Fouling และมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนของเบด จากปัญหาเหล่านี้ได้มีการคิดค้นวิธีการที่จะปรับปรุงปัญหาได้แก่ การชะล้างวัตถุดิบชีวมวลกับน้ำ และใช้สารเติมแต่งลงไปเพื่อเคลือบระหว่างที่มีการเผาไหม้ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์เถ้าเหล่านี้ได้แก่ วิเคราะห์ในทางแร่, วิเคราะห์ทางเคมี และ วิเคราะห์ทางกายภาพ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าในเถ้าลอยมี แคลเซียม(Ca), ซิลิคอน (Si), เหล็ก (Fe) เป็นจำนวนมาก และมีอัลคาไลด์ อยู่ในช่วงที่มีแนวโน้มการเกิด Slagging และ Fouling การชะล้างวัตถุดิบชีวมวลด้วยน้ำพบว่า โพแทสเซียม (K), โซเดียม (Na), ซัลเฟอร์ (S), คลอไรด์ (Cl) ในเถ้าลอยมีจำนวนลดลง การเติมสารเติมแต่งลงไปพบว่าความเข้มข้นของอัลคาไลด์และเหล็กลดลง โดยเถ้าจมนจะใช้สารเติมแต่งจำพวกสารประกอบแคลเซียม เถ้าลอยใช้สารเติมแต่งจำพวกคาร์บอน

สำหรับในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการประเมินการเกิด Slagging และ Fouling โดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าในรูปของสารประกอบออกไซด์ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเปรียบเทียบผลกับการประเมินการเกิด Slagging และ Fouling โดยวิธีการสกัดแยกองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นวิธีการชะล้างวัตถุดิบชีวมวลด้วยสารละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำแอมโมเนียมอะซิเตต และกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเป็นอีกวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของสาร