บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ขยะ

2.1.1 ประเภทของขยะ

ขยะเป็นของเสียทั้งหมดที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของคนและสัตว์ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของขยะอยู่ในรูปของแข็ง นอกจากนี้ขยะยังรวมถึงสิ่งต่าง ๆ ที่ถูกทิ้งหรือไม่ใช้ประโยชน์แล้ว ดังนั้นคำจำกัดความของคำว่าขยะพอจะสรุปได้ดังนี้ "ขยะ (1) ได้แก่ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เถ้ามูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงวัตถุอื่นใดซึ่งเก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น"

ประเภทของขยะแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท (2) ได้แก่

ก ขยะจากบ้านเรือน (Municipal wastes) เป็นขยะที่ได้จากชุมชนที่อยู่อาศัย มีปริมาณมากที่สุดในจำนวนขยะทั้ง 3 ประเภท โดยมีแหล่งที่มาดังแสดงในตารางที่ 2-1

ข ขยะจากอุตสาหกรรม (Industrial wastes) เป็นขยะที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เศษเถ้า เศษสิ่งก่อสร้าง รวมทั้งขยะที่มีพิษ

ค ขยะที่มีพิษ (Hazardous wastes) เป็นขยะที่เกิดอันตรายทันทีทันใดหรือใช้เวลาช่วงหนึ่งแก่มนุษย์หรือสัตว์ขยะที่มีพิษจะมีลักษณะดังนี้คือ จุดติดไฟได้ง่าย เกิดการกัดกร่อน เกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นสารที่มีพิษ จากลักษณะดังกล่าวจะแบ่งกลุ่มของขยะมีพิษได้ดังนี้

1 เป็นสารที่มีการแผ่รังสี

2 สารเคมี

3 ของเสียที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่จะเป็นของเสียจากโรงพยาบาล

4 เป็นของเสียที่ลุกติดไฟได้

5 เป็นสารที่ระเบิดได้

ตารางที่ 2-1 แหล่งที่มาของขยะ

Source	Typical Facilities,activities,or locations where wastes are generated	Types of solid wastes
Residential	Single-family and multifamily dwellings, low-, medium-, and high-risk apartments, etc.	Food wastes, rubbish,ashes special wastes
Commercial	Stores, restaurants, markets, office buildings, hotels, print shops, auto repair shops, medical facilities and institutions, etc.	Food wastes, rubbish,ashes demolition and construction wastes, etc.
Open areas	Streets, alleys, parks, vacant lots ,playgrounds, beaches, high ways, recrational areas, etc.	Special wastes ,rubbish
Treatment plant sites	Water, wastewater, and industrial treatment processes, etc.	Treatment-plant wastes,sludges

2.1.2 องค์ประกอบของขยะ (2,3)

องค์ประกอบของขยะแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปประกอบด้วย ความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) และเถ้า (Ash) ส่วนองค์ประกอบทางกายภาพจะแบ่งชนิดของขยะออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ กระดาษ อาหาร ผ้าและสิ่งทอ ไม้ พลาสติก ยาง โลหะ แก้ว และอื่น ๆ

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของขยะ แบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ขยะแบบประมาณ (Proximate chemical analysis) และการวิเคราะห์ขยะแบบแยกธาตุ (Utimate chemical analysis)

Analysis	Compositon	Value, percent (By weight)	
		Range	Typical
Proximate	Moisture	15-40	20
	Volatile matter	40-60	53
	Fixed carbon	5-12	7
	Noncombustibles	15-30	20
Utimate (combustible components)	Carbon	40-60	47.0
	Hydrogen	4-8	6.0
	Oxygen	30-50	40.0
	Nitrogen	0.2-1.0	0.8
	Sulfur	0.05-0.3	0.2
	Ash	1-10	6.0
Heating Value (KJ/Kg)	Organic fraction	12,000-16,000	14,000
	Total	8,000-12,000	10,500

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะ

Component	Percent by weight			
	Range	Typical	Davis* California	Merida# Venezuela
Food wastes	6-26	14	8.3	27.4
Paper	15-45	34	35.8	15.5
Cardboard	3-15	7	10.9	13.0
Plastics	2-8	5	6.9	4.6
Textiles	0-4	2	2.5	2.3
Rubber	0-2	0.5	2.5	0.4
Leather	0-2	0.5	0.7	1.3
Garden trimmings	0-20	12	10.8	5.8
Wood	1-4	2	1.9	3.6
Misc. organics	0-5	8	2.0	0.6
Glass	4-16	6	7.5	10.3
Tin cans	2-8	1	5.1	8.3
Nonferrous metals	0-1	1	1.6	0.1
Ferrous metals	1-4	2	2.2	1.2
Dirt, ashes, brick, etc	0-10	4	1.3	5.6

* Based on measurements made during the month of October over a 5-year period (1978 through 1982)

Based on measurements made during the month of July over a 3-year period (1978 through 1980)

2.1.3 ขยะในประเทศไทย (1)

ปัจจุบันปัญหาขยะที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ส่วนใหญ่มาจากชุมชนที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก จากข้อมูลที่รวบรวมได้พอสรุปได้ว่า ชุมชนขนาดใหญ่ที่มีปัญหาขยะมากที่สุดในประเทศไทยคือ กรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครเมืองหลวงของประเทศไทย เป็นเมืองใหญ่เมืองหนึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีพื้นที่ 1,568,737 ตารางกิโลเมตร มีประชากรอยู่ 5,546,937 คน (จากสถิติประชากรของกองปกครองและทะเบียน สำนักปลัดกรุงเทพมหานคร 31 ธันวาคม 2533) เนื่องจากเป็นเมืองหลวงจึงเป็นศูนย์รวมความสำคัญและความเจริญในด้านต่าง ๆ อันได้แก่ การปกครอง การศึกษา สังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรม นอกจากนี้ยังเป็นที่ตั้งของกระทรวง ทบวง กรม สถาบันทางการศึกษา และหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้การขยายตัวของเขตเมืองเป็นไปอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบันได้แบ่งพื้นที่ การปกครองออกเป็น 36 เขต และ 2 สาขาได้แก่ พระนคร ป้อมปราบศัตรูพ่าย สัมพันธวงศ์ ปทุมวัน บางรัก ยานนาวา สาธร บางคอแหลม ดุสิต บางซื่อ พญาไท ราชเทวี ห้วยขวาง สาขาดินแดง พระโขนง คลองเตย ประเวศ เขตประเวศ สาขาสวนหลวง บางเขน ดอนเมือง จตุจักร บางกระปิ ลาดพร้าว บึงกุ่ม หนองจอก มีนบุรี ลาดกระบัง ธนบุรี คลองสาน บางพลัด บางกอกน้อย บางกอกใหญ่ ภาษีเจริญ บางขุนเทียน จอมทอง ตลิ่งชัน ราษฎร์บูรณะ หนองแขม จากโครงสร้างของเมืองดังกล่าว ได้ก่อให้เกิดปัญหาเพิ่มขึ้นมากมาย เช่น ปัญหาการจราจร ปัญหาเรื่องที่อยู่อาศัยปัญหาด้านการรักษาความสะอาด ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายหน่วยงานในการแก้ปัญหา สำหรับปัญหาด้านการรักษาความสะอาด สำนักรักษาความสะอาดมีหน้าที่รับผิดชอบในการขจัดปัญหาต่าง ๆ

ปัญหาด้านการจัดการขยะ เป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความยากลำบากในการดำเนินการสำหรับกรุงเทพมหานครเป็นอย่างยิ่ง ปัญหาดังกล่าวนับวันจะทวีความยุ่งยากซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้สาเหตุสำคัญมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และเป็นที่คาดการณ์ได้ว่าหากสถานการณ์ยังคงเป็นอยู่เช่นนี้ต่อไป คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2543 กรุงเทพมหานครจะมีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 10,000 ตันต่อวัน จากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในปัจจุบันประมาณ 5,600 ตันต่อวัน และเมื่อถึงเวลานั้น กรุงเทพมหานครคงไม่สามารถกำจัดขยะให้หมดไปได้ ทั้งนี้เพราะสถานที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะที่มีอยู่ทุกแห่งในปัจจุบันได้รองรับขยะจนเกือบเต็มขีดความสามารถจนไม่สามารถจะรับขยะเข้าทำลายได้อีก ประกอบกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรโรงงานกำจัดขยะต่ำจนเกือบจะทำงานไม่ได้ บางโรงงานต้องปิดไม่สามารถรับขยะเข้าทำลายได้ เนื่องจากเป็นโรงงานที่สร้างมาแล้วเป็นเวลา 10 ปี จึงทำให้เครื่องจักรในโรงงานชำรุดทรุดโทรมมาก ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

กรุงเทพมหานครได้ตระหนักและเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว และก็ได้พยายามดำเนินการจัดซื้อที่ดินมาหลายครั้ง เพื่อใช้เป็นที่ฝังกลบขยะ แต่ก็ไม่สามารถจัดซื้อได้ เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงมาก และกรุงเทพมหานครต้องซื้อตามราคากลางที่กรมที่ดินกำหนด แต่ราคาที่ดินที่ซื้อขายกันจริงในท้องตลาดมีราคาสูงกว่าหลายเท่า ซึ่งเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่ทำให้กรุงเทพมหานครไม่สามารถจัดซื้อที่ดินเพื่อใช้ในการฝังกลบดังกล่าวได้

ปี พ.ศ. 2533 กรุงเทพมหานครได้ขอความช่วยเหลือจากรัฐบาลญี่ปุ่นให้ช่วยทำการศึกษา ทบทวน และปรับปรุงแผนแม่บทฯ ซึ่งได้เคยทำการศึกษาไว้ในปี พ.ศ. 2523 ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากผลการศึกษาโดยการประสานงานของคณะผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่น ร่วมกับผู้บริหารสำนักรักษาความสะอาดได้เห็นพ้องต้องกันว่า แนวทางในการกำจัดขยะให้เน้นวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาลเป็นแนวทางหลัก และในอนาคตกรุงเทพมหานครควรมีการวางแผนที่จะสร้างเตาเผาไว้ด้วย พร้อมทั้งเสนอให้กรุงเทพมหานครจัดเตรียมพื้นที่จำนวน 785 ไร่ เพื่อการรองรับขยะภายในระยะ 5 ปีข้างหน้า โดยให้จัดหาพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออก (เขตมีนบุรีหรือหนองจอก) อีกประมาณ 1,000 ไร่ สำหรับการฝังกลบขยะในระยะ 15 ปี การเก็บขนขยะจากธรุกิจ ควรเป็นหน้าที่รับผิดชอบของแหล่งธรุกิจนั้น ๆ ที่จะเก็บขนไปทำลายเอง เพื่อจะได้เป็นการแบ่งเบาภาระการเก็บขนขยะของกรุงเทพมหานคร

นอกจากนั้นกรุงเทพมหานครก็ได้พยายามหาแนวทางที่จะลดปัญหาการจัดการขยะนี้โดยการจ้างเหมาเอกชนขนขยะไปทำลายโดยวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล ซึ่งเป็นการยืดอายุการใช้พื้นที่ของกรุงเทพมหานครทางหนึ่งรวมทั้งได้มีการจัดสร้างโรงงานกำจัดขยะเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขนาด 1,000 ตัน ที่โรงงานอ่อนนุช ซึ่งได้เริ่มทำการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 และคาดว่าจะแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2535 ซึ่งโรงงานนี้กรุงเทพมหานครจะได้ประโยชน์จากการขายปุ๋ยอินทรีย์นับเป็นผลพลอยได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังคำนึงถึงพิษภัยที่เกิดจากขยะติดเชื้อ จึงจะทำการสร้างเตาเผาขยะสำหรับเผาขยะติดเชื้อขนาด 20 ตันต่อวัน เพื่อป้องกันพิษภัยที่เกิดจากขยะติดเชื้อดังกล่าว และคาดว่าจะแล้วเสร็จในปี 2535 เช่นกัน

การให้บริการเก็บขนขยะ ทางกรุงเทพมหานครพยายามปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บขนขยะให้ดีขึ้น รวมทั้งการขยายพื้นที่การเก็บขนขยะออกไป ให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดทั้งทางบกและทางน้ำ โดยการเพิ่มรถเก็บขนขยะ เพิ่มอัตรากำลัง ปรับปรุงวิธีการเก็บขนขยะรวมทั้งพยายามจัดให้มีสถานีขนถ่ายขยะ (ย่อย) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บขน และมีแนวคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่นประจำสำนักรักษาความสะอาดที่จะทำการขนถ่ายขยะไปทำลายทางรถไฟ ซึ่งอยู่ในระหว่างศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนี้อยู่ ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นแนวทางโดยย่อ ๆ ที่กรุงเทพมหานครได้พยายามดำเนินการเพื่อคลี่คลายปัญหาด้านการจัดการขยะดังกล่าว

องค์ประกอบขยะของกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 2.3, 2.4 และ 2.5

แสดงองค์ประกอบของขยะทางเคมีและทางกายภาพตามลำดับ เนื่องจากการทิ้งขยะของแหล่งชุมชนต่าง ๆ ไม่มีการแยกชนิดของขยะเปียกและขยะแห้ง ทำให้ขยะที่เก็บได้มีปริมาณความชื้นสูง

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของขยะ โดยการวิเคราะห์ขยะแบบประมาณ

วันเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (น.น.%)			
	ความชื้น	สารติดไฟ	เถ้า	รวม
13 พฤษภาคม 2532 *	62.7	24.6	12.7	100
11 กรกฎาคม 2532 *	59.4	25.5	15.1	100
14 พฤศจิกายน 2532 *	60.2	22.4	17.4	100
9 พฤษภาคม 2533 *	59.7	19.4	20.9	100
23 สิงหาคม 2533 @	55.4	35.0	9.6	100
30 สิงหาคม 2533 @	56.9	32.3	10.8	100
ค่าเฉลี่ย	59.1	26.5	14.4	100

* วิเคราะห์โดยสำนักรักษาความสะอาด

@ วิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่น

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของขยะ โดยการวิเคราะห์ขยะแห้งแบบแยกธาตุ

วันเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ						
	C	H	O	N	S	Cl	รวม
พ.ศ. 2532 (ฤดูฝน)!	54.96	8.2	34.38	1.40	0.25	0.79	100
พ.ศ. 2532 (ฤดูแล้ง)!	53.28	11.07	33.49	1.12	0.15	0.89	100
23 สิงหาคม 2533 #	51.88	7.56	38.02	1.82	0.02	0.70	100
30 สิงหาคม 2533 #	53.13	6.56	38.01	1.91	0.06	0.33	100

! วิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่น (ทีมอดีด)

วิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่น (ทีมปัจจุบัน)

การจัดการขยะของกรุงเทพมหานครแบ่งลักษณะกลุ่มการทำงานออกเป็นหมวดใหญ่ ๆ ดังนี้

ก <u>การเก็บขนขยะ</u>

เนื่องจากกรุงเทพมหานครเล็งเห็นถึงความสำคัญและอันตรายที่เกิดจากขยะ จึงได้จัดเก็บขยะจากบ้านเรือนแยกออกจากขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาล โดยมีการเก็บขนดังนี้คือ

1 การเก็บขยะธรรมดาจากบ้านเรือน

กรุงเทพมหานครพยายามที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชนมากที่สุด จึงได้แบ่งวิธีการเก็บขนขยะออกเป็นวิธีใหญ่ 2 วิธี คือ

ก วิธีเก็บโดยตรง (Direct Collection) หมายถึง การส่งรถและเจ้าหน้าที่ออกไปเก็บขนขยะให้ถึงบ้านและสถานที่ต่าง ๆ ที่รถสามารถเข้าเก็บได้ถึง หรือให้เจ้าของขยะนำขยะจากบ้านมาใส่รถเก็บขนที่เข้าไปรับเอง แล้วรถเก็บขนขยะนั้นจะนำขยะไปทำลาย

และขณะนี้ได้ดำเนินการเก็บขนขยะทางน้ำอีกด้วย

ข การเก็บโดยทางอ้อม (Indirect Collection) หมายถึง วิธีการที่กรุงเทพมหานครจะนำถังรองรับขยะไปตั้งให้ตามริมถนนและบริเวณที่มีขยะเป็นจำนวนมาก เช่น ตามตลาด ศูนย์การค้า เพื่อให้ประชาชนที่ผ่านไปมา หรืออยู่ใกล้เคียงนำขยะมาใส่ลงในถังรองรับ ซึ่งถังรองรับขยะนี้จะมีขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อถังรองรับขยะเต็มแล้ว กรุงเทพมหานครก็จะมาขนนำไปทำลาย

การปฏิบัติงานด้านการเก็บขนขยะของสำนักงานเขตนั้น ขึ้นอยู่กับสำนักงานเขตที่จะกำหนดเวลาออกปฏิบัติงานให้เหมาะสมกับสภาพของท้องถิ่นและระบบการจราจร บางสำนักงานเขตอาจจะต้องออกปฏิบัติงานในเวลากลางคืนด้วย แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะเริ่มออกปฏิบัติงานก่อนเวลา 05.00 น. ทั้งนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงการปฏิบัติงานในเวลาที่การจราจรคับคั่ง ปัจจุบันคณะผู้บริหารกรุงเทพมหานครมีนโยบายในการแก้ไขปัญหาขยะตกค้างบางจุด โดยให้ทุกสำนักงานเขตสำรวจและหาทางแก้ไขปัญหา โดยเพิ่มรอบการเก็บขยะออกเป็น 3 รอบ เริ่มเวลา 04.00 น. หรือ 05.00 น. ทุกวัน ส่วนการกวาด ดูดฝุ่น และล้างถนน โดยเครื่องมือกลของสำนักรักษาความสะอาดนั้น จะออกปฏิบัติงานเฉพาะในเวลากลางคืน เว้นแต่ถนนบางสายที่การจราจรไม่ติดขัดก็จะปฏิบัติงานในเวลากลางวันด้วย

2 การเก็บขนขยะติดเชื้อและสารอันตรายจากสถานพยาบาล

ในปี 2531 กรุงเทพมหานครได้มีนโยบายเก็บขนขยะติดเชื้อโรคจากสถานพยาบาลต่าง ๆ ที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร แยกจากขยะจากบ้านเรือน เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค ขณะนำขยะไปทำลาย จึงได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2531 เป็นต้นมา เริ่มดำเนินการเก็บขนขยะติดเชื้อแยกจากขยะธรรมดาจากโรงพยาบาลกรุงเทพมหานครทั้ง 4 แห่งก่อน ได้แก่ โรงพยาบาลกลาง โรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์ และวชิรพยาบาล ต่อมาได้ขยายการให้บริการไปยังโรงพยาบาลของรัฐบาล เอกชน ศูนย์บริการสาธารณสุข และคลินิคต่าง ๆ ด้วย ในขณะนี้กรุงเทพมหานครได้แยกรถและเจ้าหน้าที่เพื่อใช้ในการเก็บขนขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลรวมทั้งสิ้น 515 แห่ง สามารถเก็บขนมูลฝอยติดเชื้อได้ประมาณ 5.73 ตันต่อวัน ขยะติดเชื้อเหล่านี้ กรุงเทพมหานครจะนำไปทำลายโดยวิธีเผาในโรงงานกำจัดขยะของกรุงเทพมหานคร

ข <u>การทำลายขยะ</u>

การทำลายขยะของกรุงเทพมหานคร ในปัจจุบันใช้วิธีการทำลาย 4 วิธี

ได้แก่

1 วิธีหมักเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (Compost) กรุงเทพมหานครมีโรงงานกำจัดขยะโดยวิธีหมัก เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 3 โรงงาน ตั้งอยู่ที่ซอยอ่อนนุช เขตพระโขนง และที่หนองแขมโรงงานทั้ง 3 โรงงาน ได้ออกแบบให้รับมูลฝอยเข้าทำลายได้วันละ 960 ตัน แต่ละโรงมีเตาเผาเพื่อใช้เผาขยะที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ประกอบอยู่ด้วยทุกแห่ง

ในสภาพความเป็นจริง โรงงานกำจัดขยะของ กทม. ทั้ง 3 โรงงาน มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปีแล้ว เครื่องจักรกลต่าง ๆ มีสภาพเสื่อมลง เพราะต้องใช้งานหนัก ต้องซ่อมเปลี่ยนเป็นประจำ ทำให้ขีดความสามารถของโรงงานทั้ง 3 โรงงานลดลง คงกำจัดได้เพียง 150 ตันต่อวัน ขณะนี้ขีดความสามารถในการเก็บขนได้ถึง 5,600 ตันต่อวัน (สถิติปริมาณขยะประจำปี 2533 เฉลี่ยวันละ 4,212 ตันต่อวัน) ฉะนั้นขยะที่เหลือจากการกำจัดโดยโรงงานกำจัดแล้วเกือบ 5,450 ตันต่อวัน จะต้องกำจัดโดยการกองให้สลายตัวตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในมลภาวะความเสียของดินและน้ำ อีกทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรค เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่ในบริเวณโรงงาน รวมถึงสุขภาพของคนงานที่ทำงานกับขยะ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความไม่สวยงาม เป็นการทำลายทัศนียภาพ และก่อให้เกิดเหตุรำคาญในเรื่องกลิ่นด้วย

2 การเทกองกลางแจ้งให้สลายตัวตามธรรมชาติ (Open dump) สถานที่เทกองขยะนี้มีทั้งหมด 2 แห่ง คือ

ก บริเวณโรงงานกำจัดขยะอ่อนนุช มีพื้นที่ประมาณ 581 ไร่

ข บริเวณโรงงานกำจัดขยะหนองแขม มีพื้นที่ประมาณ 463 ไร่

บริเวณที่เทกองทั้ง 2 แห่งจะรับขยะที่เหลือจากการนำเข้าทำลายในโรงงานกำจัดขยะทั้ง 3 โรงงาน เข้าทำลายรวมทั้งกากขยะที่ผ่านโรงงานหมัก หรือจากการร่อนทำปุ๋ยด้วย ขณะนี้บริเวณที่ใช้เป็นที่เทกองขยะที่อ่อนนุชและหนองแขม คาดว่าจะเทขยะได้อีกไม่เกิน 3-4 ปีข้างหน้า

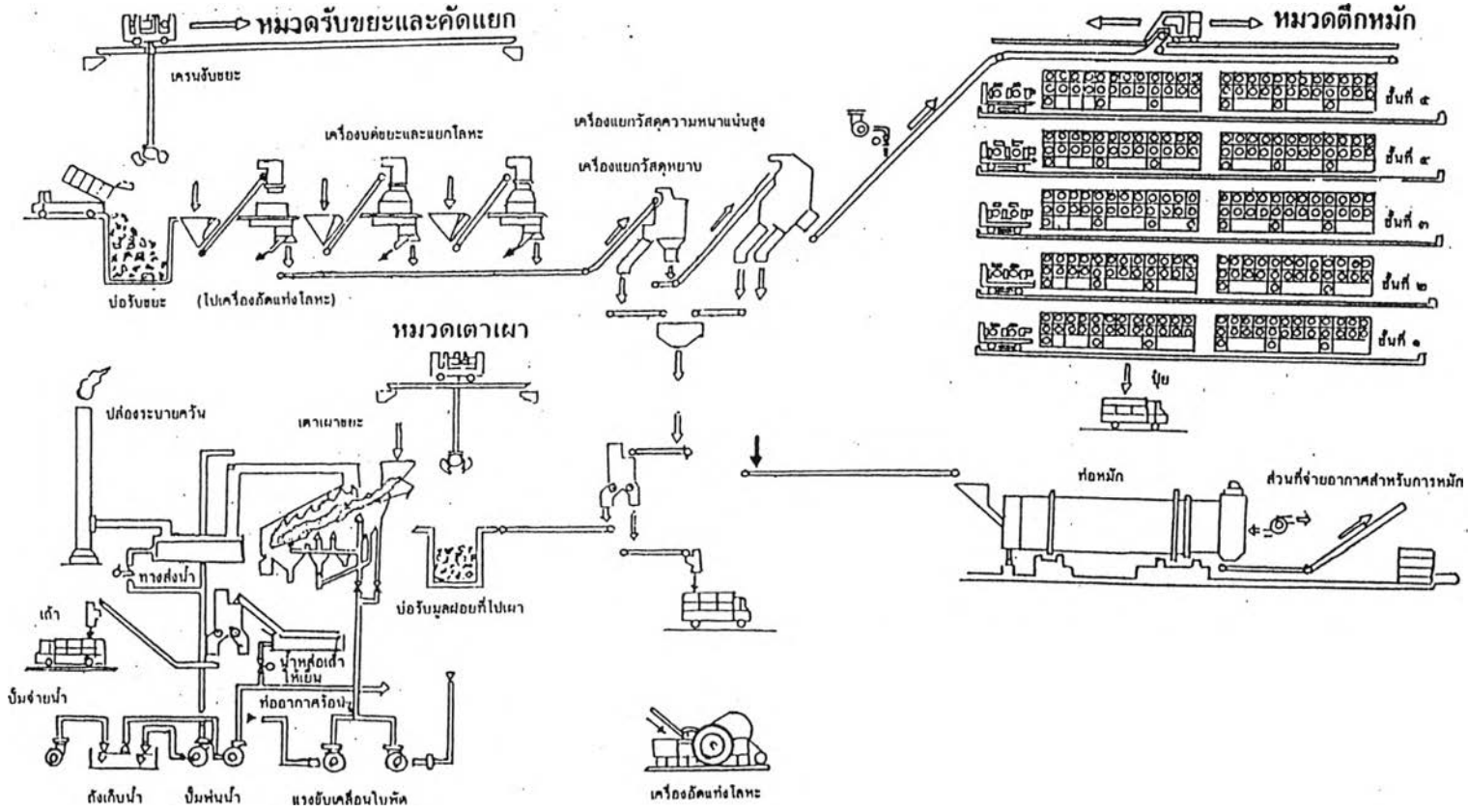
3 การเผา (Incineration) กรุงเทพมหานครจะทำการเผาขยะเฉพาะส่วนที่ถูกแยกออกมาจากขยะที่นำเข้าโรงงานแต่ไม่สามารถใช้หมักทำปุ๋ยอินทรีย์ได้ และขยะติดเชื้อที่เก็บขนมาจากสถานพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น เนื่องจากลักษณะของขยะที่นำเข้าเผามีความชื้นสูง และเตาเผามีประสิทธิภาพต่ำ จึงทำให้การเผาต้องใช้เชื้อเพลิงจำพวกน้ำมันเตาและฟืนเข้าช่วย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง และประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร

4 การจ้างเหมาเอกชนขนขยะและนำไปทำลายโดยวิธีฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ (Sanitary Landfill) ขณะนี้กรุงเทพมหานครได้จ้างเหมาเอกชนขนขยะจากโรงงานกำจัดขยะหนองแขม และนำไปทำลายโดยวิธีฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะเริ่มสัญญาเมื่อ 5 กันยายน 2532 กำหนดขนขยะไม่น้อยกว่า 500 ตันต่อวัน และตั้งแต่เริ่มสัญญา จนถึงวันที่ 7 กันยายน 2534 ขนขยะได้ปริมาณทั้งสิ้น 736,145.98 ตัน ขณะนี้ประสิทธิภาพการเก็บขนเพิ่มขึ้น โดยสามารถเก็บขนได้เฉลี่ย 1,350 ตันต่อวัน และมีโครงการจ้างเหมาเอกชนขนขยะจากโรงงานกำจัดขยะอ่อนนุชไปทำลายในลักษณะดังกล่าวนี้อีกด้วย

ค ขบวนการทำงานของโรงงานกำจัดขยะ

เริ่มจากรถเก็บขนขยะต้องชั่งน้ำหนักที่ด่านชั่งน้ำหนัก เพื่อจะได้ทราบน้ำหนักขยะที่เข้าโรงงานว่ามีจำนวนเท่าใดต่อวัน จากนั้นรถเก็บขนขยะจะนำขยะไปเทที่บ่อรับขยะ ขยะนี้จะมีทั้งขยะเปียกและขยะแห้ง ขยะดังกล่าวจะถูกป้อนไปยังบ่อป้อนขยะ โดยเครนงับขยะที่ติดตั้งอยู่เหนือบ่อรับขยะ สายพานลำเลียงขยะซึ่งติดตั้งอยู่ใต้บ่อป้อนขยะ จะทำหน้าที่ลำเลียงขยะจากบ่อป้อนขยะไปยังเครื่องบดขยะ ณ ที่เครื่องบดขยะนี้เอง จะทำหน้าที่บดตีขยะให้ละเอียดโดยหัวค้อน 16 ตัว และที่ใต้เครื่องบดขยะจะมีเครื่องแยกโลหะ โดยใช้แม่เหล็กติดตั้งอยู่เพื่อแยกขยะส่วนที่เป็นโลหะ ซึ่งเศษโลหะที่ถูกแยกออกมาจะตกลงสู่ภาชนะรองรับโดยอาการสั่นของเครื่องขยะที่ผ่านการบดแล้วจะถูกลำเลียงโดยสายพานไปยังเครื่องแยกวัสดุหยาบซึ่งจะทำหน้าที่แยกขยะที่มีความหยาบ เช่น กระดาษ พลาสติก ออกมาแล้วปล่อยลงสู่สายพานไปยังเตาเผา ซึ่งสร้างด้วยคอนกรีตทนไฟทำหน้าที่เผากระดาษ พลาสติก ยาง ตลอดจนเศษขยะอื่นที่ไม่สามารถนำเข้าเครื่องบดได้ การทำงานภายในเตาเผามี 4 ชั้น แต่ละชั้นมีเกรท (Grate) ซึ่งขยับไปมาได้ด้วยกลไกไฮโดรลิก การขยับตัวของเกรทจะทำให้ขยะตกลงมาจากชั้นที่ 4 จนถึงชั้นที่ 1 ที่ชั้นสุดท้ายนั้นขยะจะถูกเผาไหม้หมดเหลือเป็นเถ้า อุณหภูมิในการเผาประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2-1

ขยะจากเครื่องแยกวัสดุหยาบจะถูกลำเลียงโดยสายพานไปยังเครื่องแยกวัสดุความหนาแน่นสูงและถูกส่งไปยังตึกหมักโดยสายพาน ซึ่งกึ่งกลางที่จะขึ้นตึกหมักจะมีที่ชั่งน้ำหนักสายพานขึ้นตึกหมักทำหน้าที่ชั่งน้ำหนักขยะบนสายพานที่ผ่านการแยกแล้วไปยังตึกหมัก เพื่อให้ทราบปริมาณขยะที่ขึ้นตึกหมักในแต่ละวัน ตึกหมักนี้จะสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กจากพื้นถึงหลังคา มีทั้งหมด 5 ชั้น แบ่งออกเป็น 2 ข้างคือซ้ายและขวา แต่ละชั้นมีกระทะ 60 คู่ รวม 5 ชั้น เป็น 600 ใบ ภายในตึกหมักทุกชั้นมีรถพลิกกระทะอยู่ชั้นละ 1 ตัว สำหรับพลิกกระทะให้ขยะที่ผ่านการหมักตัวแล้วในแต่ละวัน ลงไปสู่ชั้นต่อไปจนครบทั้ง 5 ชั้น ชั้นสุดท้ายขยะจะตกลงสู่รถบรรทุก เพื่อนำออกไปเทกองที่ลานตากขยะ ขยะที่ออกจากตึกหมักนี้ เราใช้เรียกชื่อทับศัพย์ภาษาอังกฤษว่า



รูปที่ 2-1 หมวดการทำงานของโรงงานกำจัดขยะ

"คอมโพสต์" (Compost) สามารถนำเอาไปทำปุ๋ยได้

กรุงเทพมหานครได้ปรับปรุงโรงงานกำจัดขยะที่หนองแขม โดยการเพิ่มระบบการย่อยสลายขยะขึ้นอีก คือ ระบบการย่อยสลายในถังนอนทรงกระบอก (Digester drum) ขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นถังแรก และในปัจจุบันมีอยู่ถังเดียวในประเทศไทย

ระบบการย่อยสลายในถังนี้เป็นการย่อยสลายด้วยระบบที่ใช้ออกซิเจน (aerobic system) โดยมีการใช้เครื่องเป่าอากาศทำการเป่าอากาศเข้าไปในถังนอน ขยะจะใช้เวลาย่อยสลายอยู่ในถังนี้เพียง 1 วันเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากการย่อยสลายในระบบเก่าคือการย่อยสลายบนดิก 5 ชั้นนั้น ขยะต้องใช้เวลาในการย่อยสลายบนดิกนานถึง 5 วัน

แต่อย่างไรก็ตาม ระบบย่อยสลายบนดิก 5 ชั้น ที่มีอยู่เดิมก็ยังคงใช้ควบคู่กันไป คือเมื่อขยะที่เป็นสารอินทรีย์ถูกคัดแยกแล้วจะถูกส่งขึ้นดิก 5 ชั้น โดยส่งขึ้นเป็นระยะเวลานาน 8 ชั่วโมง แล้วสลับด้วยการป้อนเข้าถังนอนเป็นระยะเวลานาน 8 ชั่วโมง

ถังนอนใบนี้ออกแบบให้มีความสามารถในการรับขยะได้ 100 ตันต่อวัน แต่ป้อนขยะเข้าเพียง 60 ถึง 70 ตันต่อวัน ขยะที่ออกจากถังนอนและดิก 5 ชั้น จะถูกนำไปผึ่งที่ลานผึ่งซึ่งมีเครื่องเป่าอากาศซึ่งทำการเป่าอากาศจากใต้พื้นลานผึ่ง โดยขยะจะอยู่ที่ลานผึ่งนี้ประมาณ 40 วันเพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปโดยสมบูรณ์ ต่อจากนั้นก็จะถูกนำไปร่อนเพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับขายต่อไป

2.2 การเผาไหม้

2.2.1 การเผาไหม้ (4)

การเผาไหม้ หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารบางชนิดอย่างรวดเร็วเช่น ปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดการลุกไหม้และการคายความร้อน ทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงมาก เนื่องจากไม่สามารถถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาได้ทัน ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการแผ่รังสี หรือการพาความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนล้วน ๆ เพราะสิ้นเปลือง จะใช้อากาศซึ่งสามารถหาได้ในราคาถูกแทน ในอากาศมีก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่น ๆ มีปะปนอยู่น้อยมากจนไม่มีความสำคัญ ก๊าซออกซิเจนมีอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 79 โดยปริมาตรหรือมีก๊าซออกซิเจนประมาณร้อยละ 23 และก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก

องค์ประกอบพื้นฐานในการเผาไหม้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก เชื้อเพลิง (Fuel)

แบ่งตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลวจะเป็นเชื้อเพลิงที่มีทั้งที่เป็นของเหลวและก๊าซ เชื้อเพลิงประเภทนี้เช่นน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องยนต์ ก๊าซแอลพีจี (LPG) เป็นต้น ส่วนเชื้อเพลิงแข็งจะเป็นประเภท ไม้, ถ่านหิน, ขยะ เป็นต้น

เชื้อเพลิงประกอบด้วยพลังงานพันธะระหว่าง พันธะคาร์บอน-คาร์บอน พันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจน และ พันธะไฮโดรเจน-ไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแหล่งให้พลังงานเคมีทั่วไป ในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกออกซิไดซ์ และพลังงานพันธะซึ่งเป็นพลังงานเคมีอย่างหนึ่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานความร้อนและบางส่วนเป็นพลังงานกล เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง จะทำให้การเผาไหม้แตกต่างจากเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยองค์ประกอบเดียวเช่น พวกเชื้อเพลิงเหลวและแข็ง เพราะว่าความต้นไอขององค์ประกอบหลายชนิดในเชื้อเพลิงต่างกัน ทำให้ใช้เวลาในการเผาไหม้และระยะความสูงของเปลวไฟต่างกัน แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิง คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

ข ตัวออกซิแดนท์ (Oxidant)

องค์ประกอบพื้นฐานของการเผาไหม้อันดับต่อมา คือ ตัวออกซิแดนท์ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดการออกซิเดชัน ปฏิกิริยาจะเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อน และตัวออกซิแดนท์ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป ก็คือก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของอากาศ ตัวออกซิแดนท์ไม่จำเป็นจะต้องเป็นก๊าซ อาจเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ส่วนมากจะเป็นการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ดังนั้นก๊าซออกซิเจนจึงเป็นตัวออกซิแดนท์ที่สำคัญในปฏิกิริยาเผาไหม้

ค สารเจือจาง (Diluent)

องค์ประกอบสุดท้ายของการเผาไหม้ คือ สารเจือจางซึ่งไม่ได้มีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เหมือนกับสารเชื้อเพลิงและสารออกซิแดนท์ แต่สารนี้ก็จะมีอิทธิพลต่อกระบวนการเผาไหม้เช่น สารเจือจางสามารถที่จะพาความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ เป็นต้น สารนี้ไม่ได้ช่วยส่งเสริมให้พลังงานที่ปลดปล่อยออกมามากขึ้น แต่จะเป็นตัวรับความร้อนและกำหนดอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งสารเจือจางนี้จะมีปนอยู่ทั่วไปกับสารต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการเผาไหม้ โดยทั่วไปแล้ว ก๊าซไนโตรเจนจะเป็นตัวเจือจางซึ่งมีอยู่ในอากาศ

ประมาณร้อยละ 79 ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ของอากาศคือน้ำและก๊าซเฉื่อยก็เป็นสารเจือจางด้วย นอกจากนั้นออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ก็เป็นสารเจือจางเช่นกัน โดยมีส่วนร่วมในกระบวนการทางกายภาพ แต่ไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาเคมี ในกระบวนการเผาไหม้ นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นอีกคือปฏิกิริยาไพโรไลติค (pyrolytic) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากันเองที่อุณหภูมิสูงโดยไม่มีออกซิเจนหรือเรียกปฏิกิริยานี้อีกอย่างหนึ่งว่า การไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ออกมา

2.2.2 <u>ปฏิกิริยาเคมี</u> (5)

เนื่องจากเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และปริมาณธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่บ้างเช่น กำมะถัน เมื่อนำไปเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + \text{ความร้อน} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO + \text{ความร้อน} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + \text{ความร้อน} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 + \text{ความร้อน} \quad \cdots\cdots(4)$$

ในที่อุณหภูมิสูง ๆ กว่า 1,200 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส และมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมาก ๆ อาจเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \quad \cdots\cdots(5)$$

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมีสัดส่วนที่พอดีระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน หรือมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าปริมาณเชื้อเพลิงแต่ก็ไม่ควรจะให้มากเกินไป เพราะจะทำให้สูญเสียความร้อนไปกับก๊าซโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนั้นยังต้องมีการผสมหรือสัมผัสกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่ดีด้วย ฉะนั้นขบวนการเผาไหม้ที่ดีควรประกอบด้วย

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนหรืออากาศ
2. การผสมหรือสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนหรืออากาศ

3. การลุกไหม้ของของผสม

การผสมหรือการรวมตัวที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ก็คือการที่อนุภาคของเชื้อเพลิงสัมผัสกับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นก๊าซ การผสมกันนั้นจะเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าเชื้อเพลิงเป็นของแข็งหรือของเหลว การผสมกันนั้นก็จะยุ่งยากขึ้น

ในกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นของเหลว ส่วนใหญ่ก็จะมีการทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อน แล้วจึงจะทำการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้รวมตัวได้ง่ายกับอากาศและเกิดการลุกไหม้ได้ดีเหมือนเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ

ส่วนเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับพื้นผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่บริเวณรอบนอกของอนุภาคก่อน จากนั้นออกซิเจนจะแพร่ผ่านชั้นเถ้าเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงแข็งที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาหมด

ฉะนั้นกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้น สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดได้โดยการบดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นผงซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากขึ้น

2.2.3 <u>การติดไฟหรือการลุกไหม้</u>

การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดช้าในตอนแรก ๆ และเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะไปเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาแบบเกิดขึ้นได้เอง (spontaneous combustion) ต้องมี

1. บริเวณที่จำกัดสำหรับสะสมความร้อน
2. สารเชื้อเพลิง
3. อากาศ

การลุกไหม้ไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง ส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมามากขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไป การเผาไหม้ก็อาจจะมีผลต่ออุปกรณ์ ทำให้เกิดการสึกกร่อนมากขึ้น

ดังนั้นการติดไฟหรือลุกไหม้จึงขึ้นอยู่กับหลายสิ่งเช่น ชนิดของเชื้อเพลิง สถานะของเชื้อเพลิง และอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศ

2.2.4 <u>กระบวนการเผาไหม้</u>

แบ่งตามลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ 2 ประเภท คือ

ก การเผาไหม้ที่หัวเผา (Combustion of burner)

แบ่งแยกลักษณะการเผาไหม้ได้ 2 ประเภท คือ

1 เปลวไฟแบบที่มีการผสมกันก่อนเกิดการเผาไหม้ (premixed flames)

เป็นการเผาไหม้ที่เกิดจากการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศ เป็นของผสมก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยา คือ

- ขั้นแรกของผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงจะเกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ (precombustion) ขึ้นด้วยตัวมันเอง แต่จะเกิดหลังจากการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ครั้งแรกก่อน ต่อจากนั้นก็จะเกิดเป็นชั้นถัดไปแรก

- ขั้นที่สองปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion) เป็นการเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว

- ขั้นสุดท้ายปฏิกิริยาหลังการเผาไหม้ (post flame) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องหลังจากเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้ว ดังรูปที่ 2-2

เมื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ ปฏิกิริยาในบริเวณก่อนการเผาไหม้จะยังไม่เกิดขึ้น แต่จะเกิดหลังจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ครั้งแรกผ่านไปแล้ว โดยมีกระบวนการดังนี้คือ ของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมาถึงบริเวณการเผาไหม้ซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูง และเกิดกระบวนการในการถ่ายโอนที่สำคัญ 2 อย่าง คือ ความร้อน และสารกระตุ้นปฏิกิริยาเคมี การถ่ายโอนทั้งสองจะถูกส่งย้อนมาสู่บริเวณที่ไม่มีการเผาไหม้ (เป็นบริเวณที่มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเท่านั้น) การส่งผ่านความร้อนและสารกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีนี้ เป็นการไหลสวนทางกับทิศทางการไหลของกระแสก๊าซแบบพาของกระบวนการเผาไหม้ทั้งหมด ความร้อนที่ไหลสวนกลับทางเกิดขึ้นจากการพาและการแผ่รังสี ทำให้อุณหภูมิของของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันสารกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีที่ส่งกลับมานั้น จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา ใน

เหล่านี้จะแพร่ย้อนกลับไปทำปฏิกิริยาในบริเวณก่อนการเผาไหม้ มีผลให้การเกิดปฏิกิริยาของช่วงก่อนการเผาไหม้และการเผาไหม้เกิดต่อกันอย่างเนื่อง

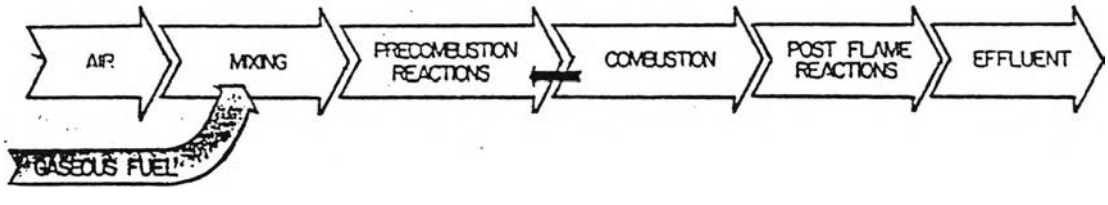
2 เปลวไฟแบบที่ไม่มีการผสมกันก่อนเกิดการเผาไหม้ (Diffusion Flames)

เป็นการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นโดยที่เชื้อเพลิงและอากาศ ไม่ได้ผสมกันก่อนเกิดการเผาไหม้แต่อากาศแพร่ผ่านเปลวไฟเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง แล้วเกิดการเผาไหม้

ขั้นตอนต่าง ๆ แตกต่างจากเปลวไฟแบบผสมกันก่อนเกิดปฏิกิริยาดังนี้ คือ บริเวณก่อนการเผาไหม้จะเกิดก่อนการผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศ ดังนั้น สิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ของทั้งสองกระบวนการจึงแตกต่างกันคือ ปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ของกระบวนการนี้ ไม่มีอากาศผสมอยู่จึงไม่มีสารออกซิไดซ์เช่น O^-, OH^-, O_2 แต่มีโมเลกุลของเชื้อเพลิงอยู่เท่านั้น ดังนั้นปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้จึงเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยไม่มีออกซิเจนร่วมหรือเรียกว่า ปฏิกิริยาไพโรไลติก ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ เมื่อได้รับความร้อน และมีสารกระตุ้นปฏิกิริยาจากการเผาไหม้ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาไพโรไลติก ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวเช่น โอลิฟิน, อะเซทติลีนและสารประกอบอื่น ๆ ที่สามารถเกิดกระบวนการโพลีเมอร์ได้ การเกิดกระบวนการนี้จำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งเข้าไปทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ทำให้ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก่อนการเผาไหม้จึงสามารถที่จะดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้ได้ และผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเป็นทั้งตัวดูดซับและคายความร้อนได้ดี ความร้อนที่ดูดซับจะถูกถ่ายเทให้กับก๊าซที่อยู่ก่อนการเผาไหม้ ด้วยวิธีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเกิดปฏิกิริยาไพโรไลติกต่อมา การแลกเปลี่ยนพลังงานจากกระบวนการแผ่รังสี โดยอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณก่อนการเผาไหม้จะเป็นการถ่ายโอนความร้อนที่สำคัญในการให้พลังงาน และการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเปลวไฟ ดังนั้นปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ของกระบวนการนี้ จึงเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ส่วนปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ของเปลวไฟที่ผสมกันก่อน เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสามารถนำไปสู่การติดไฟได้เองโดยปราศจากเปลวไฟ ความแตกต่างอีกอย่างก็คือ การติดไฟได้เองอย่างต่อเนื่องของกระบวนการแรกเกิดขึ้น เมื่อปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้มากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และความร้อนนี้จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดติดไฟ ส่วนกระบวนการนี้ ปริมาณความร้อนที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟแบบกระบวนการแรกนั้นไม่เพียงพอ แต่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพคือ เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศในลักษณะของการปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งตรงข้ามกับกระบวนการแรกที่ถูกควบคุมโดยกระบวนการทางเคมี และขึ้นกับความร้อนที่คายออกมาจากปฏิกิริยาเคมี

ของผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง

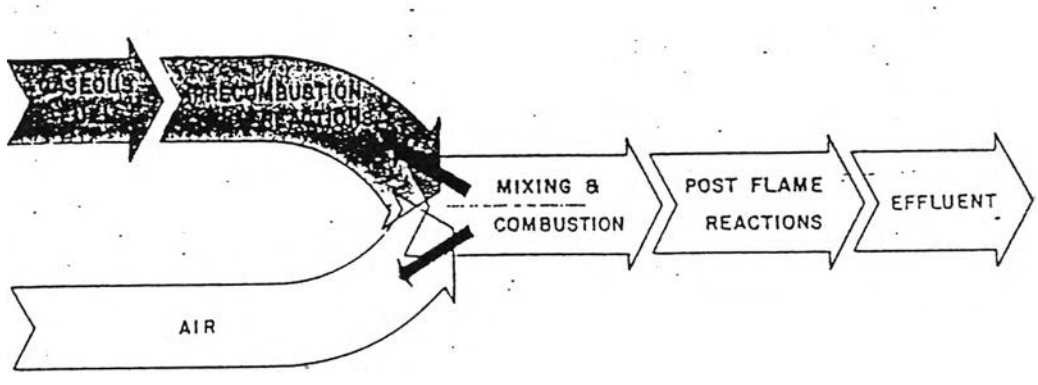
บริเวณของการเผาไหม้มีปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีผลมาจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก่อนการเผาไหม้ และการเกิดปฏิกิริยาหลังจากมีบริเวณก่อนการเผาไหม้แล้วจะใช้พลังงานมีค่าต่ำกว่าการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ครั้งแรก ดังนั้นจึงมีการเกื้อกูลกันระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทั้งสองเสมอ โดยธรรมชาติปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของปฏิกิริยาการเผาไหม้ เพราะการเผาไหม้ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานสูง พลังงานที่เกิดนี้จะกลับมาช่วยในการเกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้ด้วย หลังจากการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการเผาไหม้เสร็จลง ผลิตภัณฑ์และก๊าซร้อนที่ได้หลังการเผาไหม้ ยังคงมีส่วนประกอบของสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีเหลืออยู่ ทำให้การเกิดปฏิกิริยายังคงเกิดต่อเนื่องต่อไปในขณะที่มันค่อย ๆ เย็นลง ปฏิกิริยาช่วงนี้จึงเรียกว่า ปฏิกิริยาหลังการเผาไหม้ ตัวอย่างของเปลวไฟแบบที่มีการผสมกันก่อนคือ ตะเกียงบุนเซน โดยที่อากาศและเชื้อเพลิงจะผสมกันที่บริเวณฐานเดาก่อนเกิดการเผาไหม้



รูปที่ 2-2 กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในเปลวไฟแบบที่มีการผสมกันก่อนเกิดการเผาไหม้

การติดไฟได้เอง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่ในระหว่างช่วงของปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้และการเผาไหม้ ทางด้านกายภาพแล้ว เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่เปลี่ยนจากช่วงอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ยังไม่ถูกออกซิเดชันไปสู่สภาวะที่อุณหภูมิสูงเพียงพอทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ทางด้านเคมีแล้ว เป็นผลของปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดขึ้นกับโมเลกุลเชื้อเพลิง ซึ่งปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดฟรีแรดิเคิล (free radicals) และสารกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ สารกระตุ้น

ข้อสังเกตที่สำคัญของกระบวนการนี้คือ อิทธิพลของผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชันจะไม่เกิดขึ้น ถ้าเชื้อเพลิงและอากาศไม่ผสมกัน ดังนั้นปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้จึงเกิดได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศเกิดขึ้น ถ้าการผสมเป็นไปอย่างไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง ปฏิกิริยาที่เกิดก่อนการเผาไหม้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาไพโรไลติก จะได้ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นขึ้นจำนวนมาก



รูปที่ 2.3 กระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟแบบที่ไม่มีการผสมกันก่อน

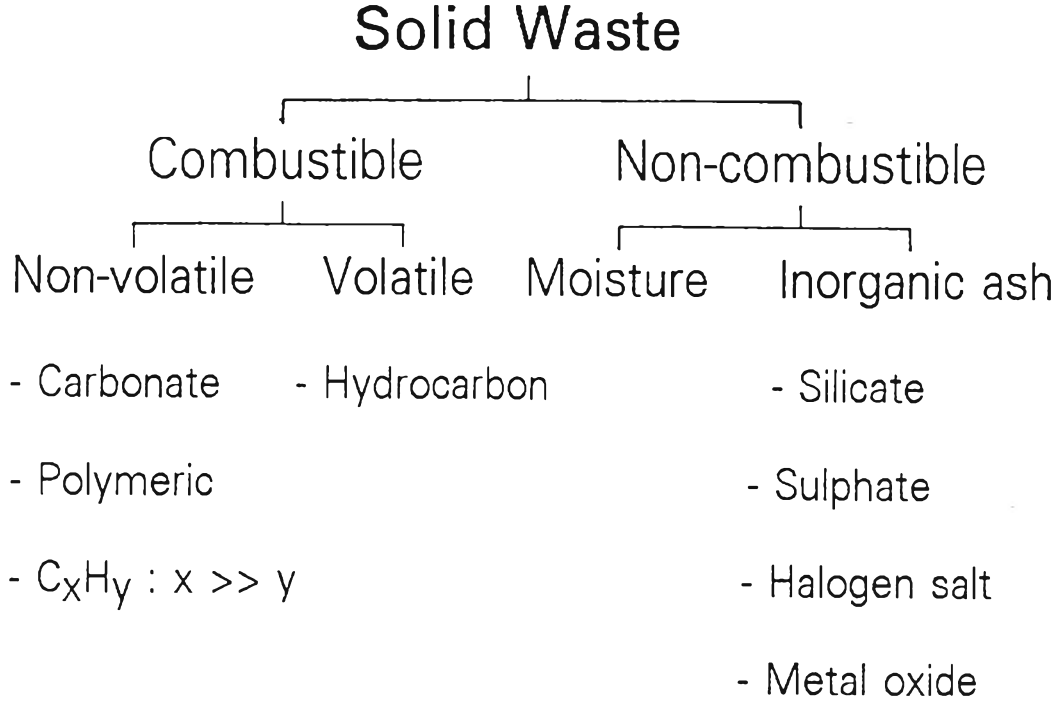
ข <u>การเผาไหม้ของขยะ</u>

(Combustion of municipal solid wastes)

กระบวนการในการเผาไหม้ขยะ แตกต่างจากเชื้อเพลิงเหลวและก๊าซ เพราะก๊าซและเชื้อเพลิงเหลวส่วนมากเป็นพวกสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งทราบส่วนประกอบ สามารถนำมาชี้สภาวะการเกิดของปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ ก๊าซมักเป็นพวกก๊าซธรรมชาติ ส่วนของเหลวเป็นพวกปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น ก๊าซแอลพีจี, ก๊าซโซลีน, น้ำมันเตา, น้ำมันก๊าด เป็นต้น บางครั้งอาจมีพวกเมทิลแอลกอฮอล์อยู่ด้วย ขยะมีตั้งแต่สารประกอบโลหะไปจนถึงของเสียต่าง ๆ และสารวัตถุระเบิด ส่วนประกอบทางด้านเคมีของขยะก็แตกต่างกันมากตามแต่องค์ประกอบที่อยู่ในขยะนั้น การเผาไหม้อาจเกิดขึ้นได้ไม่หมด ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบของขยะประกอบด้วย องค์ประกอบที่เผาไหม้ได้และองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ ซึ่งเรียกว่าสารเฉื่อย (inert) ดังรูปที่ 2-4 สารเฉื่อยนี้มีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาบางอย่างแต่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งก็ไม่ได้ให้พลังงานออกมาเช่น ความชื้นของขยะ เป็นต้น อีกพวกหนึ่งคือสารอนินทรีย์ซึ่งเป็นพวกสารประกอบ

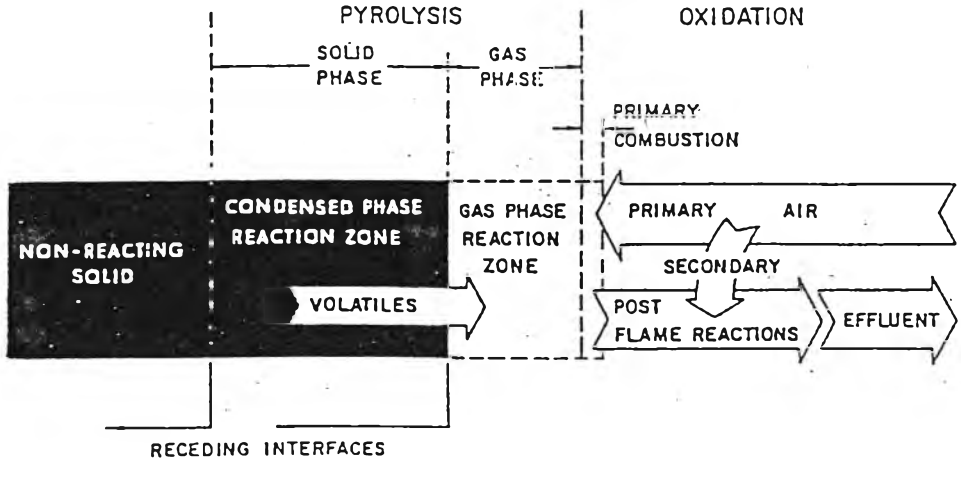
ที่มีแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ซิลิเกต, ซัลไฟด์ และเกลือฮาโลเจน เมื่อสารอนินทรีย์เหล่านี้ถูกเผาไหม้จะกลายเป็นเถ้า สารประกอบออกไซด์ของโลหะเช่น ปรอท, ซิลิเนียม และแคดเมียม สามารถระเหยออกมาได้ง่าย เมื่อสารเหล่านี้อยู่ในบริเวณการเผาไหม้จะทำให้ได้สัดส่วนที่ไม่เหมาะสมเกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ซึ่งอยู่ในสถานะไอ และเมื่อก๊าซจากปฏิกิริยาหลังการเผาไหม้เย็นลง ไอเหล่านี้จะควบแน่นกลายเป็นเถ้าปะปนออกมา

องค์ประกอบที่เผาไหม้ได้แบ่งเป็นสารระเหยได้ (volatile matter) และสารไม่ระเหย (non-volatile matter) สารไม่ระเหยประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ C_xH_y โดยที่ $x > y$ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนสารระเหยได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า สารระเหยได้หมายถึง สารประกอบที่ถูกทำให้ระเหยออกมาที่อุณหภูมิที่เกิดกระบวนการเผาไหม้ สารประกอบอินทรีย์นอกจากมี ไฮโดรเจน-คาร์บอน แล้วอาจประกอบไปด้วยสารระเหยได้และสารไม่ระเหย ตัวอย่างเช่น ไนโตรเจน, กำมะถัน และ เฮโลเจน เป็นต้น อาจปะปนอยู่ด้วย ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้จะกลายเป็น NO, SO_2,HCl, HF เป็นต้น



รูปที่ 2-4 องค์ประกอบของขยะ

การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในขยะ สามารถเกิดได้ทั้งในส่วนหนาแน่น (condensed phase) และส่วนที่เป็นไอ (vapor phase) เริ่มจากเมื่อให้ความร้อนแก่ขยะ สารระเหยได้จะระเหยออกมาจากผิวหน้าของขยะ แล้วผสมกับอากาศบริเวณรอบ ๆ ซึ่งเป็นการผสมที่ไม่เกิดก่อนการเผาไหม้ เกิดเป็นเปลวไฟขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ และเนื่องจากความสามารถในการนำความร้อนของขยะมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเมื่อมันได้รับพลังงานความร้อนที่ส่งมาจากการแผ่รังสีของเปลวไฟ แผ่มาที่ผิวหน้าของมัน ทำให้ส่วนของผิวหน้ามีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนกระทั่งขยะเกิดการลุกไหม้ เพื่อทำให้เกิดความสมดุลของพลังงานที่ดูดซับเข้ามาจากเปลวไฟ ขยะก็จะปลดปล่อยพลังงานออกมา การปลดปล่อยพลังงานออกมาเกิดทั้งในส่วนหนาแน่นและส่วนที่เป็นไอของขยะ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาไพโรไลติกทำให้เกิดอนุภาคต่าง ๆ อนุภาคเหล่านี้จะแพร่ผ่านออกมาสู่บริเวณการเผาไหม้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดในส่วนนอกสุดของขยะ บริเวณพื้นผิวของขยะที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องมาจากการเผาไหม้และการแตกตัวของวัตถุที่อยู่ที่ผิวหน้าของมัน มีผลให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ขึ้น ส่วนสารระเหยได้ที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวของขยะจะถูกทำให้ระเหยออกมา กระบวนการเกิดการเผาไหม้ของขยะที่เหลืออยู่จะเกิดขึ้นโดยกลไกที่แตกต่างออกไปจากขั้นตอนข้างต้นคือ ขั้นตอนแรก ก๊าซออกซิเจนจะแพร่ผ่านชั้นเถ้าไปสู่แกนกลางของขยะที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา จากนั้นก๊าซออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับขยะ และปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ จนกระทั่งเผาไหม้ขยะหมด ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการเผาไหม้จนหมดไป (burnout)



รูปที่ 2.5 การเผาไหม้ของของแข็ง

อัตราการเผาไหม้รวมของขยะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งหมด เช่น กระบวนการในการระเหยของสารระเหยได้, การผสมของไอของเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเกิดการเผาไหม้ตามลำดับของสารไม่ระเหย อัตราเร็วของกระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้จะขึ้นกับขนาดอนุภาคของขยะ ปัจจัยอีกอันหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเผาไหม้คือ อัตราเร็วในการนำเอาปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ที่ผิวหน้าของขยะมาใช้ ในกรณีของแข็งที่มีอนุภาคเล็ก ๆ การสัมผัสระหว่างผิวหน้าของแข็งกับออกซิเจนที่ถูกนำมาใช้ จะถูกทำให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณที่สัมผัสกันเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นอัตราการแพร่ของออกซิเจนจึงมากขึ้นซึ่งจะทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย ในกรณีของการเผาไหม้ของอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่เช่น ท่อนไม้ จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า ถ้าให้อากาศไหลผ่านท่อนไม้ด้วยความเร็วสูง อากาศจะช่วยลดชั้นความหนาที่พื้นผิวของท่อนไม้ ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้น อัตราการเผาไหม้ของอนุภาคขนาดใหญ่มีขั้นตอนที่เกิดขึ้นเป็นลำดับซ้ำไปซ้ำมา ขั้นแรกสารระเหยได้ที่อยู่ใกล้พื้นผิวของอนุภาคจะถูกเผาไหม้ และของแข็งที่เหลืออยู่จะเกิดการเผาไหม้ตามมา เมื่อการเผาไหม้หมดของแข็งส่วนที่มีสารระเหยได้ซึ่งยังไม่ระเหยจะมาแทนที่ แล้วเริ่มกระบวนการเผาไหม้ต่อไป ขั้นตอนก็จะทำซ้ำอย่างนี้จนขยะหมดไป ของแข็งที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น ขยะอาจจะมีสารไม่ระเหยเช่น ความชื้นเป็นสารที่ไม่เกิดการเผาไหม้มีอยู่ทั่วไปในขยะ ความชื้นจะถูกทำให้ระเหยออกมากับสารระเหยได้ และจะพาเอาส่วนผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ออกมาด้วย เมื่อความชื้นไหลผ่านเปลวไฟมันจะแยกตัวออกมา เหตุนี้ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ลดลง และความชื้นยังทำให้เกิดควันมากขึ้นด้วย แต่ก็ยังช่วยลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ได้ นอกจากนี้ขยะส่วนใหญ่มักมีองค์ประกอบที่ไม่เผาไหม้ทำให้เกิดเถ้า สารจำพวกนี้ก็คือ สารอนินทรีย์ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเกลือ, ซัลไฟด์, ออกไซด์ เป็นต้น สารพวกนี้อาจเกิดการเผาไหม้ได้มากขึ้น ถ้ามีอุณหภูมิสูงพอหรือถูกทำให้ระเหยออกไปกับสารระเหยได้ ถ้าขนาดอนุภาคของเถ้าที่เกิดขึ้นค่อนข้างเล็กมันจะถูกพาออกไปกับก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการกำจัดเถ้าที่ถูกปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ วิธีการกำจัดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยการใช้เครื่องมือเช่น ไซโคลน, เครื่องดักฝุ่น เครื่องแยกฝุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ถ้าการเผาไหม้เกิดที่อุณหภูมิสูง ๆ เถ้าอาจหลอมละลายและเกิดเป็นก้อน (slag) ขึ้น ตัวอย่างเช่น silicate มันจะหลอมละลายตัวเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 982 องศาเซลเซียส เถ้าที่หลอมละลายแล้วรวมตัวกันเกาะเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้เกิดการอุดตันภายในหรืออาจเป็นสารกัดกร่อนสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ได้ ในทางตรงกันข้ามการหลอมเป็นก้อนอาจเป็นสิ่งที่ดี เพราะมันเป็นการง่ายที่จะเอาเถ้าขนาดใหญ่ออกจากการเผาไหม้ แต่เถ้าที่หลอมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ มันจะรวมเอาอนุภาคที่ยังไม่ถูกเผาไหม้มารวมด้วย จึงทำให้ของแข็งที่สามารถเผาไหม้ได้ลดลง และสิ่งสำคัญที่เกิดขึ้นเมื่อเถ้าเกิดการหลอมตัวเย็นลง มันจะไปเกาะตามผนังภายในเตาเผา มีผลให้ปริมาตรของเตาเผาลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ลดลง นอกจากนี้สารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในขยะเช่น ซัลเฟอร์ซึ่งอยู่ได้ทั้งในสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของขยะ ซัลเฟอร์จะถูกออกซิไดซ์ในเปลวไฟ แล้วเกิดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) (เกิดง่ายกว่าซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)) ส่วนสารฮาโลเจน (ซึ่งมีอยู่ในสารพวกโพลีเมอร์) สามารถถูกเปลี่ยนไปเป็น กรดแอนไฮไดร์ ได้

จากส่วนประกอบที่ไม่แน่นอนของขยะ จึงทำให้เกิดปัญหาได้แก่

1 เป็นการยากที่จะหาค่าต่ำสุดสำหรับใช้เปรียบเทียบการเกิดของการเผาไหม้ เช่น อัตราส่วนของอากาศ อุณหภูมิของการเผาไหม้ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด

2 การเผาไหม้ไม่ได้เกิดเป็นแบบผสมเป็นเนื้อเดียวกันเช่น ของเหลวหรือก๊าซที่ให้ปริมาณออกซิเจนเข้าไปมากกว่าปริมาณที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงทั้งหมดเพียงเล็กน้อย แต่จะเกิดแบบไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ซึ่งจะมีพื้นผิวของเชื้อเพลิงในการสัมผัสกับออกซิเจนจำกัดคือ จะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของเชื้อเพลิงเข้าไปเรื่อย ๆ ฉะนั้นแม้ว่าจะให้ออกซิเจนมากเกินพอ ปริมาณออกซิเจนก็สามารถจะเกิดปฏิกิริยาเฉพาะที่พื้นผิวของเชื้อเพลิงที่มีอยู่เท่านั้น

จากปัญหา 2 ข้อของการเผาไหม้ของแข็งนั้น จะเห็นว่าการออกแบบระบบของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งนั้นควรคำนึงถึงเหตุผลต่าง ๆ (6) ดังนี้

1 ควรจะให้พื้นที่ผิวสำหรับปฏิกิริยามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งทำได้หลายวิธีเช่น

1.1 บดเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งให้เป็นอนุภาคที่เล็กเท่าที่จะเล็กได้ เพราะเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง พื้นที่ผิวหน้าจะมากขึ้น

1.2 มีการทำให้ก๊าซในเตาเผานั้นเกิดการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรง เพื่อที่จะกวาดให้พื้นที่ผิวของของแข็งนั้นปราศจากสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาหรือเถ้า เช่น ใช้เทคนิคทางฟลูอิไดเซชั่น

2 อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วที่พื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงสัมผัสหรือเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจะต้องมีเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้หมด

3 ระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องกัน

จากสาเหตุทั้ง 3 ข้อนี้ นักวิชาการมักจะนำมาพิจารณาในรูปของที 3 ตัว คือ เวลา (Time) การปั่นป่วน (Turbulence) และอุณหภูมิ (Temperature) โดยนักออกแบบของเครื่องมือของการเผาไหม้ (combustion equipment) นั้นจะนำสาเหตุทั้ง 3 ข้อ มาพิจารณาในการหาแบบที่เหมาะสม (3) ซึ่งสาเหตุแต่ละข้อจะเกี่ยวพันกันดังนี้

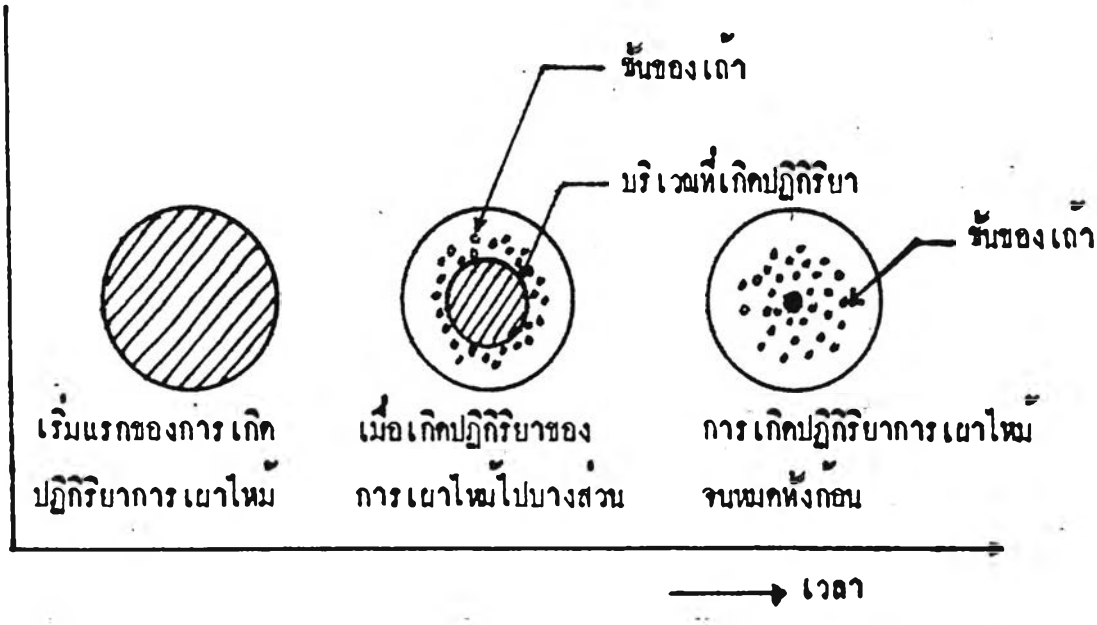
ก อุณหภูมิ ปกติแล้วในการเผาไหม้นั้นย่อมต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่การที่จะให้มีอุณหภูมิสูงได้มากน้อยแค่ไหนนั้นมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปก็ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และอาจทำให้เกิดข้อเสียได้ เช่น ทำให้เถ้ากลายเป็นขี้โลหะ (Slag) เกาะติดอยู่ตามผนังที่เป็นเหล็กซึ่งทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

ข การปั่นป่วน จุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนก็เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอากาศและพื้นผิวของเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วจะมีผลให้เกิดบริเวณของพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่ วิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดการปั่นป่วนได้ก็คือ ให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวปฏิกิริยา (reactant) ที่อยู่ในเตาเผาเกิดการวกเวียน โดยให้อากาศเป่าเข้าทางด้านล่างของเตา วิธีการชนิดนี้เรียกว่าการเกิดฟลูอิไดเซชั่น ถ้าการรวมตัวกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง เนื่องด้วยการปั่นป่วนโดยธรรมชาติของเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด เป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้เกิดการสัมผัสกันได้ดีระหว่างอนุภาคของแข็งกับอากาศ นอกจากนั้นยังเป็นการกำจัดเถ้าที่เหลือหลังการเผาไหม้ซึ่งมีขนาดของอนุภาคเล็ก ๆ ออกจากเตาได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-6 และ 2-7

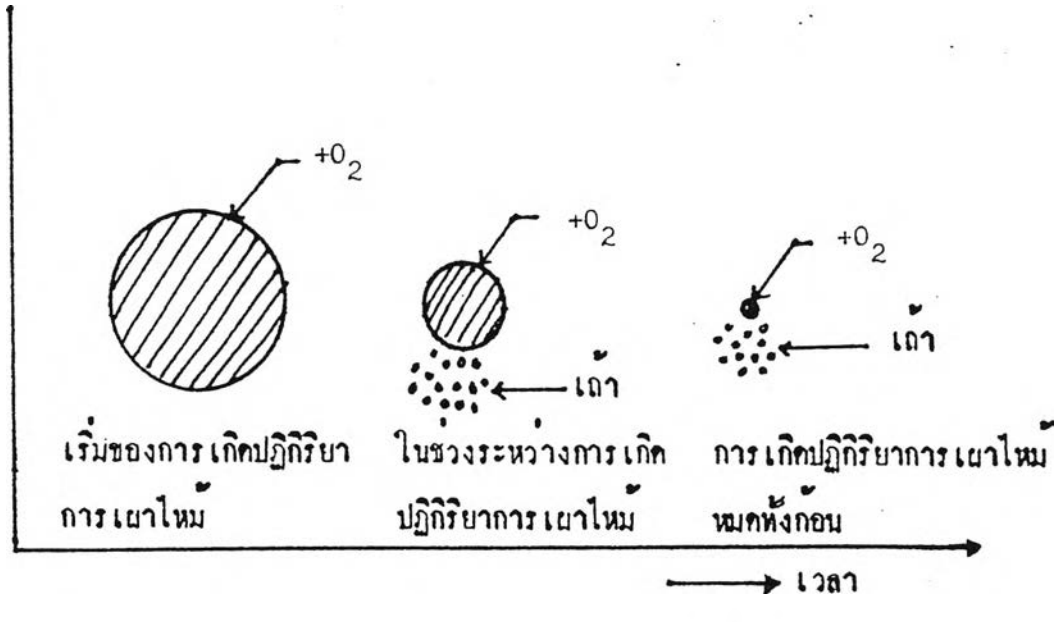
ค เวลา เมื่ออุณหภูมิและการปั่นป่วนที่เหมาะสมแล้ว สิ่งที่ควรนำมาพิจารณาอีกอย่างก็คือเวลา เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นต้องการให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ว่าเชื้อเพลิงที่มีอยู่สามารถเผาไหม้ชยะได้ดีที่สุดเป็นเวลานานเท่าไหร่ แต่การเผาไหม้ให้เชื้อเพลิงจนหมดนั้นย่อมเป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลาที่นานมากและทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

2.3 ฟลูอิไดเซชัน (Fluidization) (7)

ฟลูอิไดเซชันเป็นกระบวนการที่ของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น สัมผัสกับของไหลแล้ว



รูปที่ 2-6 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้โดยทั่วไปของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 2-7 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงแข็งในฟลูอิไดซ์เบด

เม็ดของแข็งเหล่านั้น มีคุณสมบัติคล้ายกับของไหลคือ เม็ดของแข็งจะอยู่นิ่งบนตะแกรงในหอทดลอง เมื่อให้ของไหลไหลผ่านเข้าทางด้านล่างของตะแกรงและเพิ่มความเร็วของของไหลมากขึ้น เม็ดของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ เมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นมาอีกเม็ดของแข็งจะลอย และเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะคล้ายกับคุณสมบัติของของไหล

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดพฤติกรรมฟลูอิไดเซชันที่ดีคือ

1 อนุภาคของของแข็งขนาดเล็ก และขนาดของเบดที่พอเหมาะกับขนาดของอนุภาคของของแข็ง กล่าวคือเส้นผ่านศูนย์กลางของเบดไม่มากหรือน้อยเกินไป

2 ขนาดของอนุภาคของแข็งต้องไม่แตกต่างมากเกินไป

3 รูปร่างทางกายภาพของอนุภาคของแข็งควรใกล้เคียงกันกับทรงกลม

4 ตัวกระจายของไหล (Distributor) ต้องสามารถกระจายของไหลได้อย่างสม่ำเสมอไม่อุดตันง่าย หรือหลอมเหลวติดกันเมื่อโดนความร้อนสูง

5 ความเร็วของของไหลภายในเบดต้องพอเหมาะกับขนาดของเบดที่ใช้ในการทดลอง คือ ถ้าความเร็วสูงมากเกินไปก็จะพัดพาให้อนุภาคของแข็งหลุดออกจากเบดได้

อย่างไรก็ตามถ้าอนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก และมีแรงดึงดูดระหว่างผิวของอนุภาคสูงก็อาจทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ได้ยากเช่น อนุภาคของของแข็งที่เป็นฝุ่นเป็นผงละเอียดเป็นต้น อีกประการหนึ่งถ้าอนุภาคมีความหนาแน่นต่ำเกินไป แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อของแข็งจะลดน้อยลง ดังนั้นโอกาสที่ของไหลจะผ่านทะลุขึ้นมาเป็นช่อง (Channeling) นั้นง่ายและรุนแรงมาก

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาเทคนิคฟลูอิไดซ์ขึ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น การอบแห้ง ปฏิกิริยาเคมี และการเผาไหม้ เหตุที่นำเอาเทคนิคนี้มาใช้กันอย่างมากก็เนื่องจากมีข้อดีหลายประการคือ

1 สามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้

2 มีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทความร้อน และมวลสาร

3 มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอของของไหล (อากาศ) และอนุภาคของแข็ง (ขยะ) ภายในเบด

4 สามารถควบคุมอุณหภูมิของเบดได้อย่างเที่ยงตรงและสม่ำเสมอทั่วเบด

ด้วยเหตุนี้ ถ้านำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้จะทำให้เกิดผลดีในแง่ต่าง ๆ คือ

1 การเผาไหม้เกิดอย่างทั่วถึงมากขึ้น เมื่อเทียบกับเบดอยู่กับที่ เนื่องจากมีการสัมผัสอย่างทั่วถึงของอากาศหรือออกซิเจนกับเชื้อเพลิง

2 อุณหภูมิในเตาเผาค่อนข้างคงที่ สามารถกำหนดหรือควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิดการหลอมเหลวของเถ้าในเตาเผาได้ ซึ่งเป็นปัญหามากในเตาเผาไหม้แบบอื่น ๆ

3 ระบบการนำเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากเตาเผาทำได้หลายวิธี และสามารถทำแบบต่อเนื่องได้

4 สามารถทำการเผาแบบต่อเนื่องได้อย่างสม่ำเสมอ

5 ควบคุมการเผาไหม้แบบอัตโนมัติได้

6 ขนาดเตาเผาจะเล็กกว่าแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพเท่ากัน

7 การที่เม็ดของแข็งไหลหมุนเวียนอยู่ภายในเบด เม็ดของแข็งนี้สามารถที่จะเป็นตัวนำความร้อนจากแหล่งความร้อนได้ดีทำให้ใช้เวลาสั้นในการเพิ่มอุณหภูมิภายในเตา

2.4 ผลงานวิจัยในอดีต

B.J. Copeland (8) ศึกษาระบบการเผาไหม้ โดยใช้วิธีฟลูอิไดซ์เบด พบว่าในการกำจัดตะกอนสลัดจ์ ด้วยวิธีเผาในเตาเผาวิธีฟลูอิไดเซชัน มีการใช้เตาเผาชนิดนี้มากกว่า 400 แห่ง และต่อมามีการนำไปใช้เผาขยะจากบ้านเรือน จากการทดลองทำการเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์และขยะอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 117 ชั่วโมง โดยเตาเผามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ฟุต มีอัตราการป้อนตะกอนสลัดจ์และขยะ 600 ตันต่อวัน พบว่าอุณหภูมิของเบดมีค่าอยู่ระหว่าง 740 ถึง 760 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีค่า 97 % และอัตราส่วนร้อยละของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย CO_2 12.61, O_2 6.35, N_2 81.02, CO 0.01 และก๊าซอื่น ๆ 0.01 ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบนี้คือ เสียงรบกวนที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเตาเผา แต่ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ระบบการเผาไหม้วิธีนี้ นอกจากการใช้กำจัดตะกอนสลัดจ์ และขยะจากบ้านเรือนแล้ว ยังนำพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ทำให้ระบบการเผาไหม้วิธีนี้น่าสนใจ เพราะสามารถลดราคาในการกำจัดตะกอนสลัดจ์ และการเผาขยะจากบ้านเรือนลง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเผาไหม้วิธีอื่น

E. Albrecht (9) ศึกษาการเผาขยะโดยเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบดขนาดเล็ก ซึ่งทำการเผาขยะอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 231 ชั่วโมง ขยะที่ใช้เผาเป็นขยะจากบ้านเรือนโดยมีอัตราการป้อนขยะ 155.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ก่อนทำการเผาต้องลดขนาดขยะให้มีขนาดต่ำกว่า 120 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการป้อนขยะเข้าเตาเผา และเครื่องป้อนขยะได้ออกแบบเป็น

พิเศษ ใช้ระบบการดันขยะเข้าโดยตรง ทำให้การติดค้างหรือการป้อนขยะไม่เข้าเตาเผาหมดไป อนุภาคบางส่วนของเบดที่ใช้ในการเผามีลักษณะเป็นรูพรุน ดังนั้นปัญหาการหลอมตัวของขยะบางชนิด เช่น แก้วไม่เกิดผลกระทบต่อการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ในการทดลอง พบว่ามีค่าสูง ทั้งนี้เกิดจากการลดขนาดของขยะก่อนการเผาไหม้ เป็นการเพิ่มพื้นที่ของขยะในการเผาไหม้ขึ้น แต่เมื่อวัดปริมาณก๊าซที่ได้หลังการเผาไหม้ พบว่ายังมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น เนื่องจากเตาเผามีขนาดเล็ก แต่ก็ไม่ได้สรุปว่าถ้าใช้เตาเผาที่มีขนาดใหญ่กว่านี้แล้ว ปัญหาการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบปริมาณก๊าซอื่น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ โดยเฉพาะก๊าซที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม พบว่ามีค่าของก๊าซไดออกซิน (Dioxin) และก๊าซฟูแรน (Furan) ต่ำมาก

Paul Wei-Cheng KU (10) ศึกษาลักษณะการเกิดการเผาไหม้ตะกอน สลัดจ์ ที่สภาวะก่อนจุดสมดุลย์และที่จุดสมดุลย์ ด้วยระบบเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาไหม้ โดยใช้เตาเผาฟลูอิไดซ์เบด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร (3 นิ้ว) ซึ่งมีตัวแปรที่พิจารณาได้แก่ อุณหภูมิที่ 760 กับ 880 องศาเซลเซียส, ความเร็วของอากาศที่มากกว่าความเร็วต่ำสุด 3 และ 10 เท่า, ขนาดของตะกอนสลัดจ์ระหว่าง 4 ถึง 12 มิลลิเมตร และเถ้า เพื่อดูอัตราการเผาไหม้, คุณสมบัติของเถ้าที่ได้และเปอร์เซนต์การลดลงของส่วนที่เผาไหม้ได้ในตะกอนสลัดจ์ ผลการทดลองพบว่าขนาดของตะกอนสลัดจ์ที่เหมาะสมมีค่า 8 มิลลิเมตร โดยมีอุณหภูมิที่ 760 องศาเซลเซียส และความเร็วที่ใช้มากกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดซ์ 3 เท่า ประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีค่า 99.2 % องค์ประกอบของก๊าซหลังการเผาไหม้มีอัตราส่วนร้อยละดังนี้ N_2 78.331, O_2 17.167, CO 0.000, CH_4 0.000 และ CO_2 4.461

ตอนที่ 2 ศึกษาหาโมเดลของการอบแห้งและการระเหยของสารระเหยได้ ในขณะเผา พบว่าโมเดลที่ได้ขึ้นอยู่กับการถ่ายโอนความร้อนของกระบวนการอบแห้ง และการระเหยของสารระเหยได้ตลอดการเผาไหม้ โดยสมมุติว่าความร้อนที่ได้รับส่วนใหญ่มาจากเบด ซึ่งตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนนี้คือ ขนาดของตะกอนสลัดจ์, ขนาดของอนุภาคเฉื่อย, พลังงานความร้อนที่เกิดจากตะกอนสลัดจ์, การนำความร้อนของตะกอนสลัดจ์ และอุณหภูมิของเตาเผา

ตอนที่ 3 ใช้โมเดลที่ได้ศึกษาการเผาตะกอนสลัดจ์ ในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดที่มีเบดคือ ทราย ซึ่งการทดลองจะทำเป็นแบบกะ (Batch type) พบว่าโมเดลที่ได้จะใช้ทำนายลักษณะการเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ รวมทั้งเปอร์เซนต์การเผาไหม้ และอุณหภูมิของการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของความชื้นในตะกอนสลัดจ์, ขนาดของตะกอนสลัดจ์ และสภาวะต่าง ๆ

ในการทดลอง

ตอนที่ 4 เผาตะกอนสลัดจ์แบบต่อเนื่อง (Continuous type) ที่จุดสมดุลย์ของการเผาไหม้ด้วยเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด พบว่าโมเดลสามารถทำนายเวลา, องค์ประกอบของก๊าซหลังการเผาไหม้, เปอร์เซนต์การเผาไหม้และความร้อนที่ต้องให้เข้าไปในสภาวะต่าง ๆ ของการเผาไหม้ รวมทั้งขนาดและอัตราการป้อนขยะตะกอนสลัดจ์, อัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิของเตาเผาในการเข้าสู่จุดสมดุลย์ของการเผาไหม้ในระบบได้

L.C. Preuit และ K.B. Wilson (11) ศึกษาการเผาไหม้ขยะ โดยทำการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 300 ชั่วโมง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาเผา 3 ฟุต ความสูง 16 ฟุต ใช้เบดคือเม็ดทรายมีขนาด 1.0 ถึง 1.1 มิลลิเมตร จากการทดลองได้หาสภาวะเหมาะสมในช่วงครึ่งแรกของการทดลอง เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วคือใน 144 ชั่วโมงหลัง พบว่าอุณหภูมิของเบดมีค่าอยู่ในช่วง 750 ถึง 763 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิเหนือเบดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 785 ถึง 818 องศาเซลเซียส, อัตราการไหลของอากาศ 19.5 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการป้อนขยะ 3.7 กิโลกรัมต่อนาที, ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าร้อยละ 99.0 %, อัตราส่วนร้อยละของอากาศมากเกินพอมีค่า 44 และอัตราส่วนร้อยละของก๊าซหลังการเผาไหม้ประกอบด้วย CO_2 13.5, O_2 6.7, CO 200 ppm, SO_2 29 ppm, NO_x 160 ppm, Hydrocarbon (CH_4) 40 ppm และ HCL 100 ppm ผลการทดลองที่ได้แสดงว่าการทำงานของเตาเผามีประสิทธิภาพสูง โดยใช้อัตราส่วนร้อยละของอากาศมากเกินพอไม่สูงมากนัก อุณหภูมิของเบดสามารถควบคุมได้ (มีค่า $\pm$ 15 องศาเซลเซียส) และไม่เกิดการหลอมตัวเป็นก้อนของขยะที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งมีผลต่อการเกิดฟลูอิไดซ์เบด นอกจากนั้นก๊าซที่ได้หลังการเผาไหม้มีค่ายอมรับได้ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ