



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย
สาขา

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปลอดภัย
สำหรับการเผาทำลายของเสียอันตรายในระบบเตาเผาแบบหมุน

Optimum Incinerator Operation for Hazardous Waste
in Rotary Kiln System : Safety Approach

นามผู้วิจัย นางสาวกตिका สระมณีอินทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เกียรติคุณ ไกร อายวัฒน์, วศม.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๙ เดือน มี.ค. พ.ศ. ๒๕๔๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการเผาทำลายของเสียอันตราย
ในระบบเตาเผาแบบหมุน

**Optimum Incinerator Operation for Hazardous Waste
in Rotary Kiln System : Safety Approach**

โดย

นางสาวกติกา สระมณีอินทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ 2549

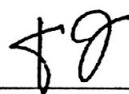
ISBN 974-16-1269-9

กติกา สรณะณินทร์ 2549: การศึกษาวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการเผาทำลายของเสียอันตรายในระบบเตาเผาแบบหมุน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย
โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์
ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D. 100 หน้า
ISBN 974-16-1269-9

ระบบเตาเผาของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เป็นระบบเตาเผาแบบหมุน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ในการปฏิบัติงานกับของเสียอันตรายอย่างปลอดภัยประกอบกับเตาเผาใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้มีปัญหาด้านทุนการเผาทำลายขยะ การศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล CFX 5.7 เพื่อการจำลองสถานะการเผาไหม้ของขยะในเตาเผาขยะแบบหมุน โดยทดลองใส่ขยะติดไฟในช่วงอุณหภูมิต่างๆที่หัวเผาเริ่มทำงานขณะอุ่นเตา พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มป้อนของเสียไวไฟที่ต่างกัน จะให้ค่าอุณหภูมิหลังการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน และแปรผกผันกับอัตราการจ่ายอากาศ ในขั้นตอนการอุ่นเตาจึงจะเริ่มป้อนของเสียไวไฟ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ 300 °C เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิจากการเผาไหม้ของหัวเผาเริ่มจะเพิ่มขึ้นช้า และเลือกปรับอัตราการจ่ายในช่วงอุ่นเตาที่ 0-21 ชม³/วินาที เพราะจะช่วยให้อุณหภูมิสูงเร็วขึ้น และมีอากาศพอเพียงต่อการเผาไหม้ในช่วงอุ่นเตา แต่ไม่มากจนทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง และเริ่มเผาโดยป้อนขยะติดไฟก่อนในช่วงแรก เพื่อช่วยให้อุณหภูมิภายในเตาสูงคงที่ และปรับอัตราการจ่ายอากาศที่ 63-105 ชม³/วินาที เพื่อให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นให้ป้อนขยะติดไฟสลับกับขยะไม่ติดไฟ เพื่อทำลายขยะประเภทไม่ติดไฟ จากผลของการจัดรูปแบบการเผาขยะอันตราย สามารถประหยัดการใช้น้ำมัน จากเดิมเฉลี่ย อยู่ที่ 0.68 ลิตร ต่อขยะ 1 กิโลกรัม เหลือ 0.50 ลิตร ต่อขยะ 1 กิโลกรัม และสามารถเผาขยะได้ในปริมาณที่มากขึ้นโดยน้ำหนักเฉลี่ยการเผาทำลายเดิม 239.4 กิโลกรัม/ครั้ง เพิ่มขึ้นเป็น 342.2 กิโลกรัม/ครั้ง ทำให้ขยะอันตรายไม่ค้างอยู่ในอาคารเก็บ รวมทั้งผลจากการเผาขยะนี้ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด



ลายมือชื่อนิติ



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

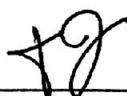
20, มี.ค., 49

Katika Samaneein 2006: Optimum Incinerator Operation for Hazardous Waste
in Rotary Kiln System : Safety Approach. Master of Engineering (Safety Engineering),
Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program.
Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Srinophakun, Ph.D. 100 pages.
ISBN 974-16-1269-9

The rotary kiln system has been used for National Science and Technology Development Agency (NSTDA) laboratories hazardous waste disposal. Even though the incineration is becoming increasingly attractive as a waste disposal option, the process itself is difficult to control and operate. Skilled operators are required as well as the high fuel cost problem from diesel oil. This research aimed to simulate the incineration performance by the computational fluid dynamics program named CFX 5.7. The operating parameters are the feeding schedule of waste at various air supplies. The results showed that the final temperatures of combustion were slightly the same and depended upon oxygen value. The preheat started by feeding the flammable chemical waste at 300 °C and the air at 0-21 cm³/s. The incineration time feed the flammable chemical waste first. Next, the flammable chemical waste was fed together with nonflammable chemical waste to promote the high temperature to combust the nonflammable waste at air feed 63-105 cm³/s. Flammable chemical waste could be used as supplementary fuel to increase the temperature of the incinerator. The fuel consumption changed from 0.68 to 0.50 lit/ kg of waste. The hazardous waste can be treated more from 239.4 to 342.2 kg/time. This new procedure can remove more hazardous waste, use less emission and reduce the fuel but still maintain the regulations.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

20, 03, '06

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้นี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ ที่ได้แนะนำ และควบคุมงานจนสัมฤทธิ์ผล ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์เกียรติไกร आयुวัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต กิตติชัยการ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษา แนวทางที่เป็นประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์ เจ้าหน้าที่ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ คุณสุเทพ อิศตยาพิทักษ์ คุณเฉลิมพล เทียนระหงษ์ คุณพิเชษฐ์ เอี่ยมลีอนาม และทีมงานซึ่งได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านข้อมูลต่างๆแก่ผู้วิจัยจนสามารถทำการทดลองได้สำเร็จลุล่วง รวมทั้ง คุณเสกฐวรรธ สุจริตภักตสกุล และ คุณสุธิ์ โอพารฤทธินันท์ นักวิจัยจากศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้ในงานชิ้นนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนวิชาความรู้มา เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรม ความปลอดภัย เพื่อนๆ ทุกคน ที่ได้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนทั้งกำลังใจ และกำลังทรัพย์แก่ผู้วิจัยเสมอมา

กติกา สระมณีอินทร์

มีนาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(3)
สารบัญภาพ.....	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและอักษรย่อ.....	(7)
คำนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร.....	4
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีการเผาไหม้.....	4
ทฤษฎีเตาเผาแบบหมุน.....	16
การคำนวณพลศาสตร์ของไหล.....	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
อุปกรณ์และวิธีการ.....	30
อุปกรณ์.....	30
เตาเผาของเสียอันตรายของ สวทช.....	30
ของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการของ สวทช.....	35
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	37
โปรแกรมในการจำลอง.....	37
วิธีการ.....	38
ศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบเตาเผา	39
ออกแบบการทดลอง	44
จำลองสภาพการเผาไหม้ในเตาเผาด้วยโปรแกรม.....	44
ผลและวิจารณ์.....	50
สรุป.....	61
ข้อเสนอแนะ.....	63

	หน้า
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก ตารางแสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการ สวทช.	68
ภาคผนวก ข สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้.....	81
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณหาค่าความร้อนของขวดบรรจุสารเคมี.....	85
ภาคผนวก ง วิธีการใช้โปรแกรม CFX ในการจำลองการเผาไหม้ ของระบบเตาเผาขยะ.....	88
ประวัติการศึกษาและการทำงาน.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ลักษณะปฏิบัติการเผาทำลายที่สมบูรณ์.....	14
2 ช่วงอุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศ.....	49
3 เปรียบเทียบขั้นตอนการเผาทำลายขยะอันตราย.....	54
4 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ใช้ในการเผาของเสียอันตราย.....	55
5 ปริมาณขยะและของเสียอันตรายที่เผาทำลาย เปรียบเทียบปี 2547 – 2548.....	56
6 ผลการตรวจวัดมลพิษจากปล่อง.....	58
ตารางผนวกที่	
ก1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช.	69
ข1 สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้.....	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 องค์ประกอบที่เป็นตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเผาไหม้.....	5
2 ตำแหน่งที่อากาศเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่สามารถเผาไหม้ได้.....	7
3 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบอากาศพอดี (Stoichiometric).....	8
4 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบอากาศส่วนเกิน (Excess air).....	9
5 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ (Starved air).....	9
6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาไหม้กับอากาศส่วนเกิน.....	10
7 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์.....	15
8 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์.....	16
9 เตาเผาขยะแบบหมุน.....	17
10 รูปแบบของเตาเผาขยะแบบหมุนตามลักษณะการไหลของก๊าซ.....	18
11 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแบบ Co - Current.....	19
12 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแบบ Counter – Current.....	20
13 ภาควัดภายในเตา.....	20
14 ลักษณะการจัดวางของห้อง Post-Combustion ของเตาเผาขยะแบบหมุน.....	22
15 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบเตาเผาแบบหมุน	31
16 ภาพขณะบรรจุของเสียติดเชื้อ.....	36
17 ภาพขณะบรรจุของเสียเคมีวัตถุ/กากสารเคมีของเหลวขนาด 1 ลิตร และ 4 ลิตร.....	37
18 ข้อมูลขยะที่ส่งเข้าเตาเผาช่วง พ.ศ. 47 – เม.ย. 48.....	38
19 วาล์วปรับปริมาณอากาศ.....	39
20 การปรับวาล์วปรับปริมาณอากาศ	40
21 หัวเผาระบบฉีดน้ำมัน.....	40
22 แสดงสภาพภายในเตาเผาแบบหมุนขณะอุ่นเตา.....	41
23 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ 1	41
24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการอุ่นเตา.....	42
25 แสดงขั้นตอนการป้อนของเสียสารเคมีและขยะติดเชื้อ.....	43
26 สร้างลักษณะของเตาเผาแบบหมุน ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 9.0.....	45
27 ช่องป้อนขยะและท่อส่งอากาศ.....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
28 แบบจำลองปริมาตรเตาเผาขยะแบบหมุน.....	46
29 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต.....	47
30 ผลของอุณหภูมิภายหลังการเผาไหม้ของขยะติดไฟที่ป้อนเข้าเตาเผา ในช่วงอุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศที่ต่างกัน.....	50
31 อุณหภูมิเริ่มต้นในการป้อนขยะขณะอุ่นเตา.....	51
32 สภาพการกระจายของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของขยะติดไฟ.....	52
33 สภาพการกระจายของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของขยะติดไฟและขยะไม่ติดไฟ.....	53
34 ปล่องของเตาเผาของเสียอันตราย.....	57
35 กราฟแสดงผลการตรวจวัดฝุ่น, NO ₂ , HCl.....	59
36 กราฟแสดงผลการตรวจวัด SO ₂ , CO.....	59
 ภาพผนวกที่	
ง1 หน้าต่างโปรแกรม CFX.....	89
ง2 หน้าต่างโปรแกรม Ansys Workbench.....	89
ง3 ลักษณะแบบจำลองใน Ansys Workbench.....	90
ง4 การกำหนดคุณสมบัติให้ Mesh.....	90
ง5 หน้าต่างโปรแกรม CFX-Pre.....	91
ง6 เรียงรูปจำลองที่สร้างไว้.....	91
ง7 สร้าง Material name.....	92
ง8 เลือก Material.....	92
ง9 เลือกชนิดปฏิกิริยา.....	93
ง10 สร้างโดเมน.....	93
ง11 การกำหนดคุณสมบัติให้โดเมน.....	94
ง12 สร้างเงื่อนไขขอบเขต.....	94
ง13 การกำหนดคุณสมบัติให้ Boundary Condition.....	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง14 การกำหนดตำแหน่งและทิศทาง.....	95
ง15 การตั้งค่าเริ่มต้น.....	96
ง16 การตั้งค่าการคำนวณ.....	96
ง17 การสร้างเพิ่มการคำนวณ.....	97
ง18 เริ่มการคำนวณ.....	97
ง19 หน้าต่างโปรแกรม CFX-Post.....	98
ง20 การสร้าง Plane เพื่อดูผลของการไหล.....	98
ง21 แสดงผลของอุณหภูมิ.....	99

คำอธิบายสัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

r^2	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
H	ค่าความร้อนรวมของสารเคมีภายในขอบบรรจุสารเคมี, kcal
m_i	มวลของสารเคมีแต่ละชนิด, kg
y_i	ค่าความร้อนของสารเคมีแต่ละชนิด, kcal/kg
n	จำนวนชนิดของสารเคมีที่มีในขอบบรรจุ
∇	gradient operator
ρ	ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg/m ³
u	ค่าทิศทางความเร็วของของไหล, m/s
σ	Cauchy stress tensor, N/m ²
f	ทิศทางแรงของวัตถุ
T	ค่าอุณหภูมิ, °C
q	ทิศทางการไหลของความร้อน, W/m ²
Q	internal heat generation
Φ	viscous dissipation function
BTU	British Thermal Units
CFD	Computation Fluid Dynamics
PCBs	Products of Combustion By-products
PICs	Products of Incomplete Combustion
GA	Genetic Algorithm
hp	Horse Power
PLC	Programmer Logic Control
TA	Theoretical Aspect
TSP	Total Suspended Particulate

การศึกษาวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมและปลอดภัย สำหรับการเผาทำลายของเสียอันตรายในระบบเตาเผาแบบหมุน

Optimum Incinerator Operation for Hazardous Waste in Rotary Kiln System : Safety Approach

คำนำ

ของเสีย และสิ่งเหลือใช้จากห้องปฏิบัติการต่างๆ ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประกอบด้วยของเสียติดเชื้อ ของเสียปนเปื้อนสารเคมี และของเสียที่เป็นของเหลวทั้งที่เป็นตัวทำละลาย และสารกัดกร่อน ในช่วงสองปีที่ผ่านมา พบว่ามีของเสียติดเชื้อและปนเปื้อนสารเคมีอันตรายประมาณ 100 กิโลกรัมต่อเดือน ของเสียเคมีประมาณ 500-600 ลิตรต่อเดือน ของเสียเกือบทั้งหมดนี้จัดว่าเป็นของเสียอันตรายที่ไม่สมควรถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโดยปะปนร่วมกับของเสียทั่วไป เพราะอาจทำให้สารเคมีอันตรายปนเปื้อนและเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมหรืออาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อโรค ซึ่งในที่สุดก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยทั่วไป

การกำจัดด้วยวิธีการเผา ถือว่าเหมาะสำหรับการกำจัดของเสียอันตรายของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เนื่องจากของเสียมีความหลากหลายและไม่ทราบสัดส่วนปริมาณที่แน่นอน จึงไม่เหมาะสมกับวิธีการทางเคมี และมีของเสียอันตรายซึ่งไม่อยู่ในรูปของเหลวทั้งหมดทำให้ไม่สามารถใช้วิธีทางกายภาพในการแยกสารอันตรายเพียงอย่างเดียวได้ รวมทั้งไม่สามารถใช้วิธีทางชีวภาพ ให้จุลินทรีย์กำจัดได้ และถึงแม้การฝังกลบจะเป็นอีกวิธีที่สามารถทำได้แต่เมื่อเทียบกับปริมาณของเสียอันตรายที่จะทำการกำจัดแล้ว ถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่น้อยไปในการลงทุนทำการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการฝังกลบ ระบบเตาเผาของเสียอันตรายจึงได้ถูกคัดเลือกให้เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ

ระบบเตาเผาเป็นระบบการกำจัดของเสียอันตรายด้วยวิธีการทางความร้อนที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อทำการกำจัดของเสียอันตราย ทั้งของเสียอันตรายจากห้องทดลอง และของเสียติดเชื้ออันตราย ด้วยข้อดีที่มีอยู่หลายประการ ดังนี้

- องค์ประกอบของของเสียอันตรายจะถูกทำลาย ปริมาณและน้ำหนักของของเสียจะมีการลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับก่อนทำการเผา
- เป็นการทำลายของเสียในทันที ไม่ต้องใช้เวลานาน
- ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการติดตั้งระบบควบคุมมลพิษอากาศ
- ลดปัญหาด้านการขนส่งของเสีย เนื่องจากระบบมีขนาดไม่ใหญ่มากทำให้สามารถทำการสร้างระบบ และดำเนินการเผาทำลายของเสียได้ในบริเวณ แหล่งกำเนิดของเสีย
- สำหรับเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ แต่ก็ยังเป็นระบบฝังกลบที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับการก่อสร้างระบบฝังกลบเพื่อทำการกำจัดของเสียเพียงอย่างเดียว

แต่ระบบเตาเผาก็มีข้อเสียเช่นกัน ดังนี้

- ต้องใช้การลงทุนครั้งแรกในการสร้างระบบเตาเผา (Capital cost) สูง และเป็นระบบที่ใช้เวลานานเป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้ต้นทุนการเผาสูง
- ไม่สามารถควบคุมการกำจัดของเสียอันตรายทั้งหมด จำเป็นต้องมีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศต่อจากระบบเตาเผา
- ไม่ใช่การกำจัดของเสียอันตรายขั้นตอนสุดท้าย โดยยังมีเถ้าต้องส่งไปฝังกลบเป็นของเสียอันตราย
- ผู้ทำการควบคุมดูแลระบบเตาเผาต้องมีความรู้และได้รับการอบรมมาเป็นอย่างดี สามารถแก้ไขปัญหาฉุกเฉินของเตาเผาได้

ระบบเตาเผาที่ใช้เป็นระบบการกำจัดของเสียอันตรายโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งในปัจจุบันราคาน้ำมันปรับราคาสูงขึ้น จึงทำให้มีปัญหาด้านต้นทุนการเผาทำลายของเสียสูงขึ้นไปตามราคาน้ำมัน ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 51% จากราคาเดิม และจากการรวบรวมของเสียอันตรายที่เกิดจากห้องปฏิบัติการภายในศูนย์ต่างๆ ของ สวทช. ในช่วงสองปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2547-2548) พบว่ามีของเสียติดเชื้อและปนเปื้อนสารเคมีอันตรายประมาณ 3 ตัน ของเสียเคมี ประมาณ 13 ตัน ซึ่งของเสียสารเคมีส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่มีส่วนประกอบของสารไวไฟ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำของเสียสารเคมีติดไฟมาช่วยเป็นเชื้อเพลิงในการเผาทำลายของเสียอันตราย โดยเฉพาะในช่วงอุ่นเตาเผาซึ่งต้องใช้น้ำมันในการเผาเตาให้อุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนการเผาจริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงาน การใช้พลังงานเชื้อเพลิงและการควบคุมการปฏิบัติงานของระบบเตาเผาของเสียอันตราย
2. เพื่อจำลองสภาพการเผาไหม้ของของเสียสารเคมีติดไฟในเตาเผาโดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamics)
3. เพื่อเสนอแนวทางการประหยัดเชื้อเพลิง โดยใช้ของเสียสารเคมีติดไฟช่วยในการอุ่นเตาและช่วยในการเผาไหม้
4. เพื่อลดภาระการเก็บของเสียอันตรายในบริเวณอาคารเตาเผา ลดระยะเวลาสัมผัสกับของเสียอันตรายของผู้ปฏิบัติงานในการปฏิบัติงานบริเวณอาคารเผาของเสีย

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดลองด้วยระบบเตาเผาแบบหมุนของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.)
2. ของเสียสารเคมีที่ใช้เป็นของเสียสารเคมีที่เกิดขึ้นจริงจากทางห้องปฏิบัติการของ สวทช.
3. โปรแกรมการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ที่ใช้ คือ CFX 5.7 และ Ansys 9.0 ในการจำลองห้องเผาไหม้ที่ 1 ในระบบเตาเผา

ประโยชน์ของการวิจัย

1. ทำให้ทราบการทำงานของเตาเผาและการควบคุม นำไปสู่แนวทางการปฏิบัติงานที่ถูกต้องปลอดภัยยิ่งขึ้น
2. เสนอแนวทางการประหยัดเชื้อเพลิง โดยใช้ของเสียสารเคมีติดไฟช่วยในการอุ่นเตาและช่วยในการเผาไหม้
3. สามารถเผาของเสียในแต่ละครั้งได้ปริมาณมากยิ่งขึ้น ลดการสะสมของของเสียอันตรายในสถานที่เก็บ
4. สามารถใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล ในการจำลองสภาพการเผาไหม้

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการเผาไหม้

1.1 กระบวนการการเผาไหม้

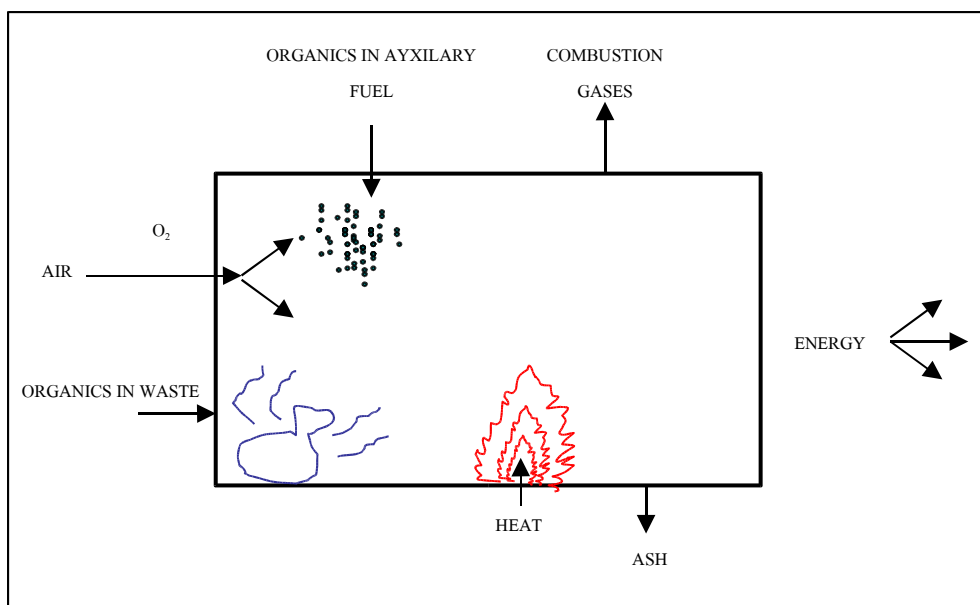
การเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างรวดเร็วที่ทำให้เกิดความร้อนหรือทั้งแสงสว่างและความร้อน รวมทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างช้าๆ ที่อาจจะมีความร้อนเกิดขึ้นเล็กน้อยและไม่มีแสง

การเผาของเชื้อที่มีอินทรีย์สาร เมื่อของเชื้อถูกป้อนเข้าไปในเตาเผาองค์ประกอบส่วนที่เป็นอินทรีย์สารในของเชื้อจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างรวดเร็วและรุนแรงซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซจากการเผาไหม้และพลังงานในรูปของความร้อนและแสง

เชื้อเพลิง + ออกซิเจน $\longrightarrow$ ผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ + ความร้อน + แสงสว่าง

สำหรับการเผาทำลายของเสีย คือ กระบวนการทางวิศวกรรมที่ใช้การควบคุมสภาวะการเผาไหม้เพื่อผลในการกำจัดของเสียด้วยกระบวนการทางความร้อน ในความหมายเชิงทฤษฎีการเผาทำลายจะมีหลักการเหมือนกับการเผาไหม้ โดยความต้องการของการเผาไหม้ จะเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการและ/หรือพลังงานที่ได้จากระบบ ส่วนการเผาทำลายจะเน้นไปที่การเปลี่ยนรูปของสารตั้งต้นในกระบวนการเผาไหม้ให้อยู่ในรูปของสารที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

องค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ ที่จะเป็นตัวเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาและควบคุมให้สามารถดำเนินต่อไปได้ คือ อินทรีย์สารของเสีย ออกซิเจน และความร้อน ในภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบที่จำเป็นต่อระบบของการเผาทำลาย ของเสียที่ถูกป้อนเข้าไปจะผสมกับออกซิเจนในอากาศ และความร้อน เกิดการเผาไหม้ ได้เป็นพลังงาน เถ้า และก๊าซเผาไหม้



ภาพที่ 1 องค์ประกอบที่เป็นตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเผาไหม้

ที่มา : Theodore and Reynold (1987)

1.2 องค์ประกอบของการเผาทำลาย

โดยหลักการแล้วองค์ประกอบของระบบการเผาไหม้ประกอบไปด้วย เชื้อเพลิง ตัวออกซิไดซ์ ความร้อน และ ตัวเจือจาง แต่ในระบบการเผาทำลายนั้นจะมีอินทรีย์สารเพิ่มขึ้นมา

1.2.1 เชื้อเพลิง คือ ส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยพันธะที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพลังงานสูง เช่น พันธะคาร์บอน-คาร์บอน (C-C) และพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจน (C-H) สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ โดยปกติแล้วเป็นแหล่งของพลังงานศักย์เคมี

1.2.2 ตัวออกซิไดซ์ คือ ชนิดของสารเคมีซึ่งทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของเสียระหว่างการเผาทำลาย มีหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานพันธะศักย์เคมีที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานความร้อน หรือเปลี่ยนสารอินทรีย์ในของเสียให้อยู่ในรูปของเปลวเพลิง (Fire flame) และองค์ประกอบพื้นฐาน เช่น CO_2 , H_2O และ HCl ซึ่งตัวออกซิไดซ์ ที่ปรากฏ ส่วนใหญ่ ได้แก่ โมเลกุลของออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ โดยปกติแล้วอากาศส่วนนี้ประกอบด้วยออกซิเจน 21% ของปริมาณทั้งหมด และไนโตรเจน 79% ดังนั้นจึงมีเพียง 21% ของปริมาณอากาศในการเผาไหม้ที่ถูกป้อนเข้าระบบการเผาทำลายที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารในของเสียและเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างอินทรีย์สารและออกซิเจนจะทำให้เกิดการลุกไหม้นั้น ก็ต่อเมื่ออินทรีย์สารมีอุณหภูมิ

สูงขึ้นเพียงพอถึงจุดติดไฟหรือเริ่มการเผาไหม้เท่านั้น สารแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันของแต่ละสาร แต่ในช่วงอุณหภูมิ $530^{\circ}\text{C} - 980^{\circ}\text{C}$ มักจะพิจารณาได้ว่าเป็นช่วงที่เกิด “สภาวะการเผาไหม้ที่ดี” โดยพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของความร้อนถูกต้องการเพื่อที่จะเพิ่มอุณหภูมิของห้องเผาไหม้และของเสีย รวมทั้งออกซิเจนให้สูงเพียงพอที่จะเกิดการเผาไหม้ได้ ซึ่งในช่วงเริ่มต้นพลังงานนี้จะได้จากหัวเผาของเสียจะมีปริมาณเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมินั้นไว้

1.2.3 ความร้อน คือ ความร้อนที่จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึงอุณหภูมิการเผาไหม้ และรักษาอุณหภูมินั้นไว้ตลอดการเผาไหม้

1.2.4 ตัวเจือจาง คือ สารที่ไม่มีส่วนร่วมทางเคมีในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้เหมือนกับสารเชื้อเพลิงหรือตัวออกซิไดซ์ โดยเป็นแต่เพียงการมีอยู่ในทางกายภาพ และมักจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการเผาไหม้ในลักษณะที่ความจุความร้อนของตัวเจือจางซึ่งไม่มีส่วนสนับสนุนต่อการปลดปล่อยพลังงานความร้อนรวม แต่จะมีลักษณะเป็นอ่างความร้อน (Heat sink) ในระบบและมีผลในการจำกัดอุณหภูมิที่จะสูงขึ้นของการเผาไหม้ ดังนั้นจึงสามารถให้ความหมายของตัวเจือจางในหลักการได้ว่าเป็นสารที่มีผลกระทบในทางกายภาพแก่กระบวนการเผาไหม้ ในระบบการเผาไหม้ถาหรือน้ำมันอาจมีตัวเจือจางอยู่หลายตัว โดยหลักๆ คือ

ก. ไนโตรเจน ในอากาศจะมี ประมาณ 79% ของปริมาตรซึ่งเป็นตัวเจือจางที่มีอยู่มากที่สุด

ข. ออกซิเจนส่วนเกิน โดยปกติแล้วเตาเผามีความต้องการปริมาณออกซิเจนส่วนเกินประมาณ 150-200% จากทางทฤษฎี ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินนี้(ส่วนที่เกินจากความต้องการทางทฤษฎี) มีลักษณะเป็นตัวเจือจางที่มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้ในทางกายภาพไม่ใช่ทางเคมี

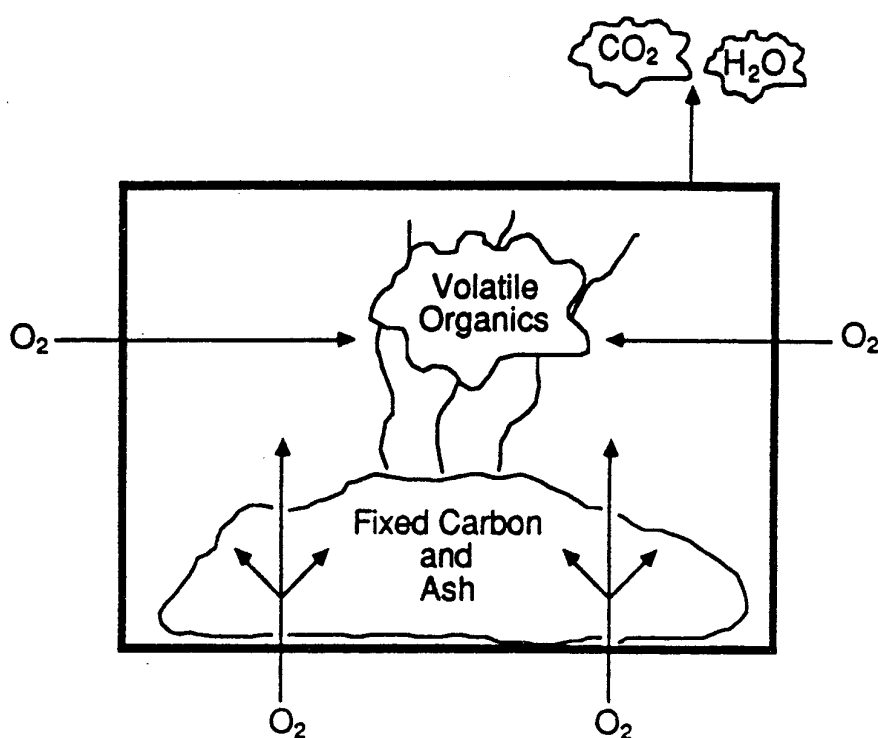
ค. ไอน้ำในอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้หรือไอน้ำที่อยู่ในของเสีย หรือไอน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ

ง. องค์ประกอบของแก๊สอินทรีย์ซึ่งมาจากโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในของเสียหรือเชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักที่เจือปนอยู่ไม่มีผลใดๆ ต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ และสุดท้ายจะยังคงอยู่ในขี้เถ้าจากการเผาหรือปล่อยออกมาในรูปของมลพิษฝุ่นกับก๊าซจากการเผาไหม้ การลดมลพิษฝุ่นในก๊าซจากการเผาไหม้ทำได้โดยการควบคุมความเร็วของอากาศในห้องเผาไหม้

1.2.5 อินทรีย์สาร ได้แก่ สารประเภทที่สามารถเผาทำลายได้ ทั้งนี้อินทรีย์สารที่ใช้ในการเผาไหม้มีที่มาจากอยู่ 2 แหล่ง คือ ของเสียและเชื้อเพลิง โดยสัดส่วนและชนิดของอินทรีย์สารที่มีอยู่ในของเสียประเภทต่างๆ นั้นย่อมแตกต่างกันไป ซึ่งมีผลให้ค่าความร้อนและความสามารถในการรักษาอุณหภูมิการเผาไม่เท่ากัน โดยอินทรีย์สารในของเสียจะถูกใช้ในการรักษาอุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาเผา ในส่วนของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นอีกแหล่งหนึ่งของอินทรีย์สารส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการเริ่มการเผาไหม้หรืออุ่นให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่มีการใช้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของการเผาไหม้ด้วย ในกรณีที่ของเสียมีค่าความร้อนไม่สูงเพียงพอ

1.3 ปัจจัยในการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับการเผาไหม้

ปัจจัยในการปฏิบัติงานที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการเผาไหม้ มีอยู่ด้วยกัน 3 อย่างคือ อากาศในการเผาไหม้ อุณหภูมิการเผาไหม้ และลักษณะของเสีย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันทั้งหมด การควบคุมการเผาไหม้ทำได้โดยการควบคุมปัจจัยดังกล่าว

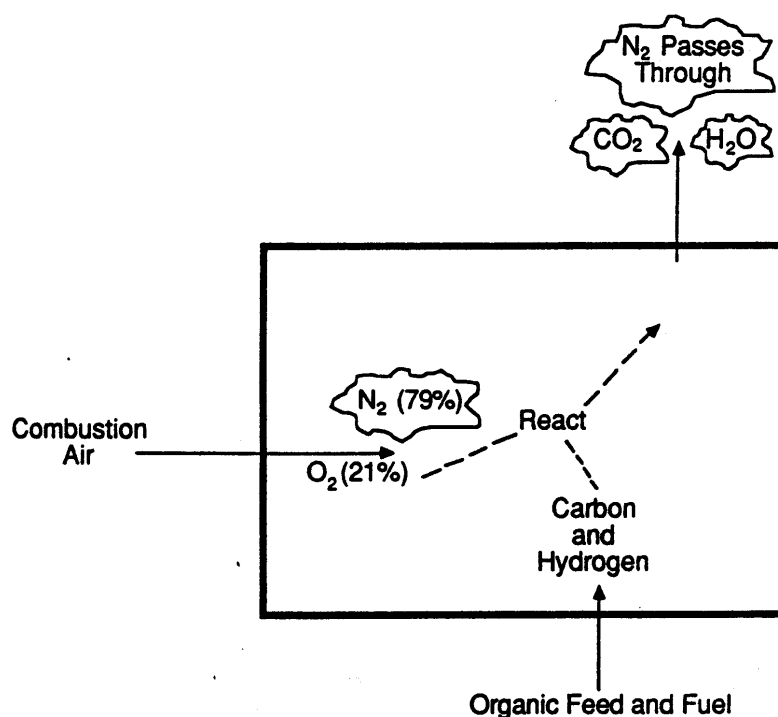


ภาพที่ 2 ตำแหน่งที่อากาศเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่สามารถเผาไหม้ได้

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

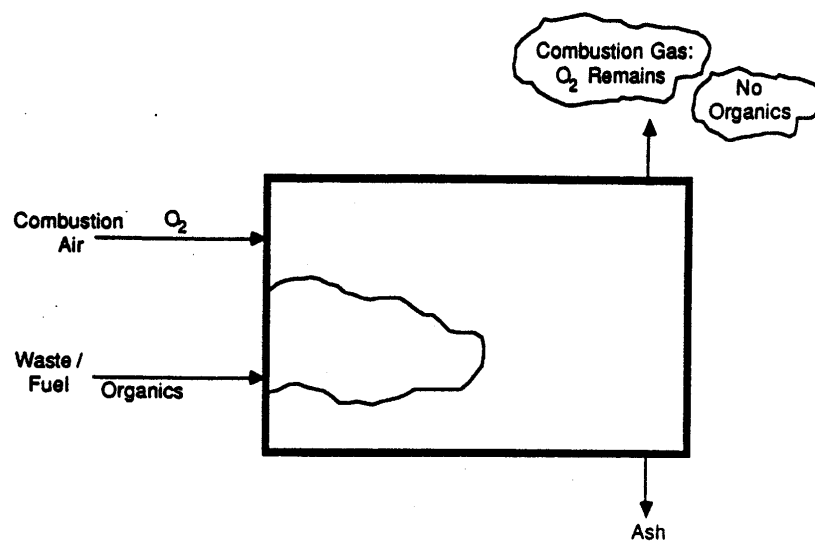
1.3.1 อากาศในการเผาไหม้

อากาศในการเผาไหม้ คือ อากาศในบรรยากาศที่มีออกซิเจนซึ่งจำเป็นในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือของเสีย แต่ต้องมีอากาศในการเผาไหม้ที่เหมาะสมโดยต้องมีอากาศมากพอเพื่อให้เพียงพอต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แต่ไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิการเผาไหม้โดยไม่จำเป็น ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างอินทรีย์สารและออกซิเจน ปริมาณของออกซิเจนตามสภาวะอุดมคติหรือโดยสมบูรณ์สำหรับการเผาไหม้อินทรีย์สารให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) โดยไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ เรียกว่า ระดับออกซิเจนตามทฤษฎีหรือแบบอากาศพอดี (Stoichiometric) หรือ เรียกว่า เป็นกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (สุชัย และคณะ, 2547) และปริมาณอากาศในการเผาไหม้นี้เรียกว่าเป็น ระดับอากาศที่พอดี (ภาพที่ 3) ปริมาณอากาศที่มากกว่าระดับพอดีนี้เรียกว่าเป็นระดับปริมาณอากาศส่วนเกิน หรือ Excess Air (ภาพที่ 4) และปริมาณอากาศที่น้อยกว่าระดับพอดีจะเรียกว่าเป็น ระดับปริมาณอากาศจำกัด หรือ Deficient Air หรือ Substoichiometric Starved Air (ภาพที่ 5)



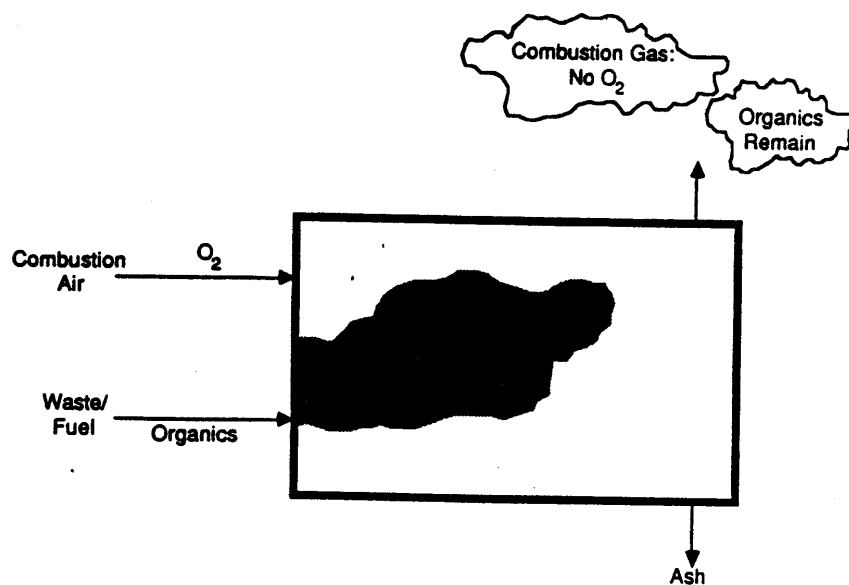
ภาพที่ 3 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบอากาศพอดี (Stoichiometric)

ที่มา : Gill and Quiel (1993)



ภาพที่ 4 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบอากาศส่วนเกิน (Excess air)

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

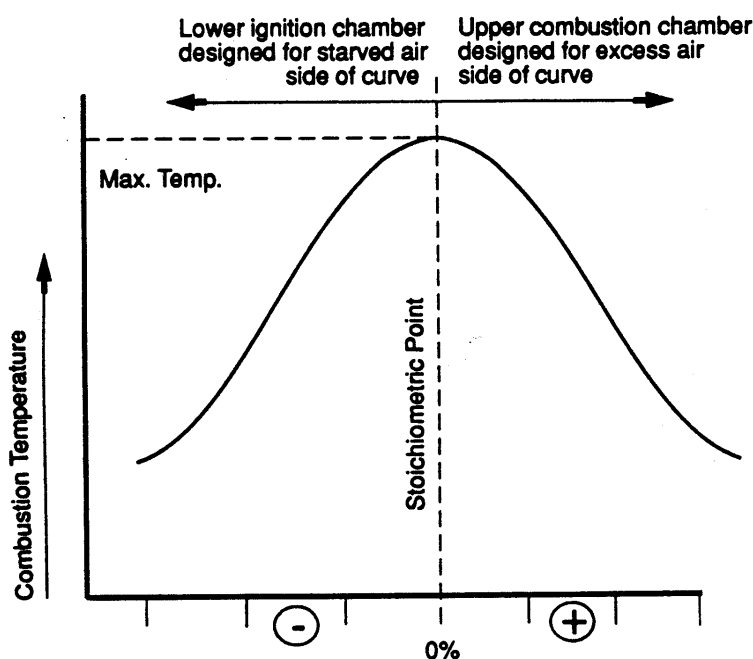


ภาพที่ 5 สารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ (Starved air)

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

ซึ่งการคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีหรืออากาศพอดี อย่างถูกต้องแม่นยำนั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของของเสียและเชื้อเพลิง

อุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดมักจะเกิดขึ้นที่สภาวะพอดีในขณะที่ปริมาณอากาศเพิ่มมากขึ้นกว่าจุดที่พอดี อุณหภูมิในเตาเผาจะลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกใช้ในการให้ความร้อนแก่อากาศนั้น และถ้าปริมาณอากาศในการเผาไหม้มีมากเกินไปอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า “อุณหภูมิสำหรับการเผาไหม้ที่ดี” และจะเกิดผลิตภัณฑ์มลพิษจากการเผาไหม้อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยในขณะที่ปริมาณอากาศส่วนเกินลดลงนี้ อุณหภูมิการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดที่จุดพอดี และที่สภาวะต่ำกว่าจุดพอดีจะทำให้อุณหภูมิในเตาเผาจะลดลง เนื่องจากไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผาไหม้และอากาศส่วนเกินสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 6 โดยที่สภาวะต่ำกว่าพอดีจะมีอันตรายที่หลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยาและเป็นส่วนที่เผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดมลภาวะ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาไหม้กับอากาศส่วนเกิน

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

ถ้าเตาเผาทำงานที่สภาวะอากาศส่วนเกินจะมีออกซิเจนบางส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยา ซึ่งการเพิ่มอากาศส่วนเกินก็เป็นผลให้ปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของออกซิเจนในก๊าซจากการเผาไหม้สามารถใช้แสดงถึงระดับอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้และใช้ตรวจสอบกระบวนการการเผาไหม้ได้

1.3.2 อุณหภูมิการเผาไหม้

ข้อกำหนดหรือกฎหลักที่สำคัญของการเผาไหม้ของเสียโดยเฉพาะของเสียอันตรายก็คือ อุณหภูมิ โดยต้องสามารถรักษาระดับของอุณหภูมิคงที่ เพื่อการทำลายเชื้อโรค สารมลพิษที่เกิดขึ้น และคงไว้ซึ่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามการมีอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดการหลอมของจีเถ้าและสร้างความเสียหายแก่วัสดุทนไฟ ดังนั้นควรมีการควบคุมระดับของอุณหภูมิไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไป

1.3.3 คุณลักษณะของของเสีย

ลักษณะเบื้องต้นของของเสียที่จะพิจารณาซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ ค่าความร้อน ปริมาณสารประกอบในของเสีย และปริมาณความชื้น

1. ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของของเสีย คือ ปริมาณที่แสดงถึงขนาดของพลังงานที่ปลดปล่อยเมื่อของเสียถูกเผา ซึ่งวัดได้เป็นหน่วย กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) หรือบีทียู (BTU; British Thermal Units) (2.324 กิโลจูลต่อกิโลกรัม = 1 บีทียูต่อปอนด์) โดยทั่วไปต้องใช้ค่าความร้อนประมาณ 12,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือมากกว่าในการรักษาปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ค่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง) ของเสียที่มีค่าความร้อนต่ำกว่านี้ก็สามารถทำการเผาได้โดยจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการรักษาอุณหภูมิการเผาไหม้ และค่าความร้อนของของเสียใช้สำหรับการคำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องให้ทั้งหมด (Total heat input) แก่เตาเผา

$$\begin{aligned} \text{Heat Input (kJ/hr)} &= \text{Feed Rate (kg/hr)} \times \text{Heating Value (kJ/kg)} \\ \text{ปริมาณความร้อนที่ให้} &= \text{อัตราป้อนของเสีย} \times \text{ค่าความร้อนของของเสีย} \end{aligned}$$

ค่าความร้อนระดับสูง (High heating value) คือ ค่าความร้อนที่ได้จากการการเผาไหม้ของของเสียภายใต้สภาวะที่ไอน้ำในก๊าซจากการเผาไหม้อยู่ในสถานะของเหลว โดยมีเชื้อเพลิงที่มี

ไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบจะต้องมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งจากการเผาไหม้ และที่ความดันบรรยากาศ ความดันย่อยของไอน้ำในก๊าซจากการเผาไหม้จะส่งผลให้เกิดการควบแน่นหยดน้ำเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าประมาณ 48-60 °C ซึ่งจะมีการปลดปล่อยความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of Vaporization) ออกมา และค่าความร้อนค่าสูงนี้ ยังจะหมายถึงค่าความร้อนรวม (Gross Heating Value) ด้วย

ค่าความร้อนระดับต่ำ (Low heating value) มีลักษณะคล้ายกับค่าความร้อนระดับสูง โดยเป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเสียเช่นกัน แตกต่างที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่ไอน้ำในก๊าซจากการเผาไหม้ไม่ได้ควบแน่นไปอยู่ในสถานะของเหลว ในบางครั้งเรียกเป็นค่าความร้อนสุทธิ (Net Heating Value)

2. ปริมาณสารองค์ประกอบในของเสีย

องค์ประกอบทางเคมีในส่วนประกอบทั้งหมด เช่น คาร์บอน(C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน(H) คลอรีน(Cl) ซัลเฟอร์(S) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยาการเผาไหม้จะก่อให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น คลอรีนที่อยู่ในพลาสติกหรือสารเคมีในของเสียจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในระหว่างการเผาไหม้ และรวมตัวเป็นกรดไฮโดรคลอริก(HCl) ซึ่งจำเป็นต้องมีระบบดักจับเพื่อกำจัดออกจากก๊าซที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากเป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษและการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเตาเผา

3. ปริมาณความชื้น

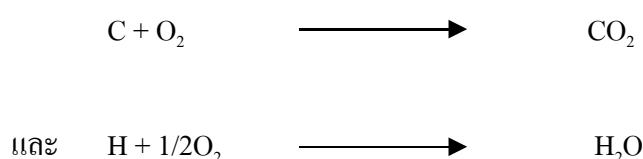
ความชื้นจะระเหยออกจากของเสียในขณะที่อุณหภูมิห้องเตาเผาไหม้สูงขึ้น ซึ่งความชื้นนี้จะอยู่ในรูปไอน้ำและไหลไปพร้อมกับกระแสก๊าซผ่านเตาเผาออกไปโดยไม่เปลี่ยนรูป การระเหยความชื้นนี้มีการใช้พลังงาน และทำให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ลดลง

1.4 การเผาไหม้/การทำลายที่สมบูรณ์

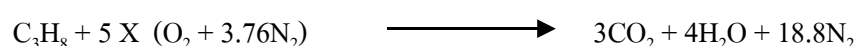
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเผาไหม้ และขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว ซึ่งบางตัวตรวจวัดได้ยาก ในการเผาทำลายที่สมบูรณ์ สารตั้งต้นทุกชนิดของการเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารเสถียรอื่นๆ

1.4.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ กระบวนการเผาไหม้ที่ธาตุคาร์บอนและธาตุไฮโดรเจนทั้งหมดถูกทำปฏิกิริยา และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยสถานะพอดิบหรือ อากาศในการเผาไหม้ 100% เท่านั้น การเปลี่ยนรูปของคาร์บอนและไฮโดรเจนสามารถแสดงได้ดังนี้



โดยตัวอย่างของปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของก๊าซโพรเพนเป็นดังนี้

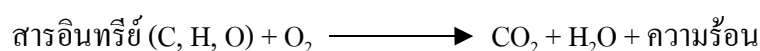


สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่างการเผาไหม้นั้น สามารถหาได้โดยการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่ในสารตั้งต้นทั้งหมดให้เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งธาตุคาร์บอนและธาตุไฮโดรเจนทั้งหมดในระบบของการเผาไหม้จะต้องถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ และเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

1.4.2 การเผาทำลายที่สมบูรณ์

ในลักษณะเดียวกันกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ “การเผาทำลายที่สมบูรณ์” คือ กระบวนการซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของของเสียได้ถูกสมมติฐานให้เกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปดัง ตารางที่ 1 โดยมีจุดมุ่งหมายของการเผาทำลายของเสีย เพื่อให้เปลี่ยนสภาพไปอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่มีพิษน้อยที่สุด

วัสดุที่เป็นอินทรีย์สารทุกชนิดทั้งในของเสียและเชื้อเพลิงมีองค์ประกอบพื้นฐานหลักมาจากคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งในทางอุดมคติเมื่อสารเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ โดยมีสมการเป็นดังนี้



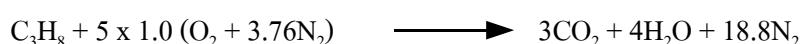
ปฏิกิริยาทางอุณหเคมีนี้แสดงให้เห็นถึงการเผาทำลายที่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจริง จะไม่เป็นไปตามอุณหเคมี โดยเกิดเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ อันมีตัวแปรที่สำคัญคือ การผสมกันที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจมีอากาศในการเผาไหม้มากหรือน้อยเกินไป รวมทั้งมีอุณหภูมิต่ำ หรืออื่นๆ และภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากการเผาไหม้ (Product of Combustion By-product, PCBs) ซึ่งจะถูกพบในเถ้าหรือถูกปล่อยออกทางปล่องควัน สำหรับก๊าซ PCBs ที่ปล่อยออกทางปล่องนี้เป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Product of incomplete combustion, PICs) และ PICs ตัวที่มีความสำคัญและเป็นที่รู้จักดีที่สุดคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทั้งนี้โดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นแปรตามสภาวะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ PICs อีกชนิดหนึ่งที่พบมากเมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ คือ เเขม่า (Soot) ซึ่งได้แก่ อนุภาคของคาร์บอนที่มีความละเอียดสูงมากและเป็นสาเหตุของควันดำที่ปลายปล่อง สำหรับสาร PICs ประเภทอื่น ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย คือ เบนซิน ไดออกซิน และฟูแรนส์ รวมทั้งสารอินทรีย์อันตรายต่างๆ

ตารางที่ 1 ลักษณะปฏิกิริยาการเผาทำลายที่สมบูรณ์

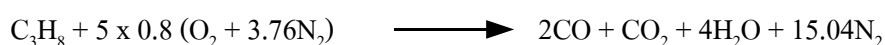
องค์ประกอบของของเสีย	เปลี่ยนไปเป็น	ผลิตภัณฑ์
คาร์บอน (C)	—————>	น้ำ (H ₂ O)
คลอไรด์ (Cl)	—————>	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)
ไฮโดรเจน (H)	—————>	กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือคลอไรด์ (Cl ₂)
ไนโตรเจน (N)	—————>	ไนโตรเจน (N)
ฟลูออไรด์ (F)	—————>	ไฮโดรฟลูออริก (HF) หรือฟลูออไรด์ (F ₂)
ซัลเฟอร์ (S)	—————>	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)
โซเดียม (Na)	—————>	โซเดียมคาร์บอเนต (Na ₂ CO ₃)
โปแตสเซียม (K)	—————>	โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
โลหะอัลคาไลน์	—————>	คาร์บอเนต (CO ₃)
โลหะที่ไม่ใช่อัลคาไลน์	—————>	ออกไซด์ (Oxides)
ทองแดง (Cu)	—————>	คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)
เหล็ก (Fe)	—————>	ไออนทูปออกไซด์ (Fe ₂ O)

ตัวอย่างปฏิกิริยาต่อไปนี้จะแสดงถึงการเผาไหม้โพรเพน (C_3H_8) ที่ใช้อากาศเป็นไปตาม ทฤษฎี (100% TA) อันเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และการใช้อากาศที่ 80% TA และ 150% TA อัน เป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซไนโตรเจน

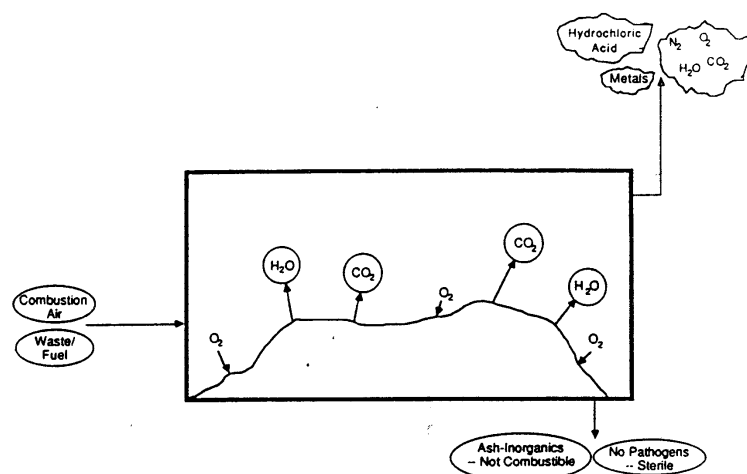
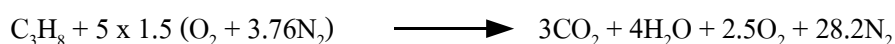
ที่ 100% TA ;



ที่ 80% TA ;



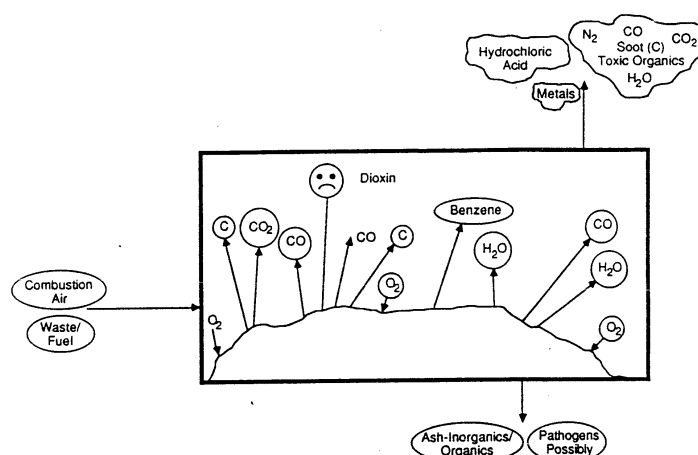
ที่ 150% TA ;



ภาพที่ 7 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

ผลิตภัณฑ์หลักจากการเผาทำลายของเสียติดเชื้อทั้งในรูปแบบการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (ภาพที่ 7) และไม่สมบูรณ์ (ภาพที่ 8) ได้แก่ ก๊าซจากการเผาไหม้ ของแข็งที่เหลืออยู่ (ขี้เถ้า) และพลังงาน สำหรับจุดมุ่งหมายในการออกแบบและปฏิบัติงานเตาเผาก็คือ การให้ก๊าซจากการเผาไหม้มี PICs ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เถ้าที่เหลืออยู่ปราศจากเศษหรือซากที่แสดงว่าเป็นของเสียและให้พลังงานที่ได้ถูกนำกลับมาใช้



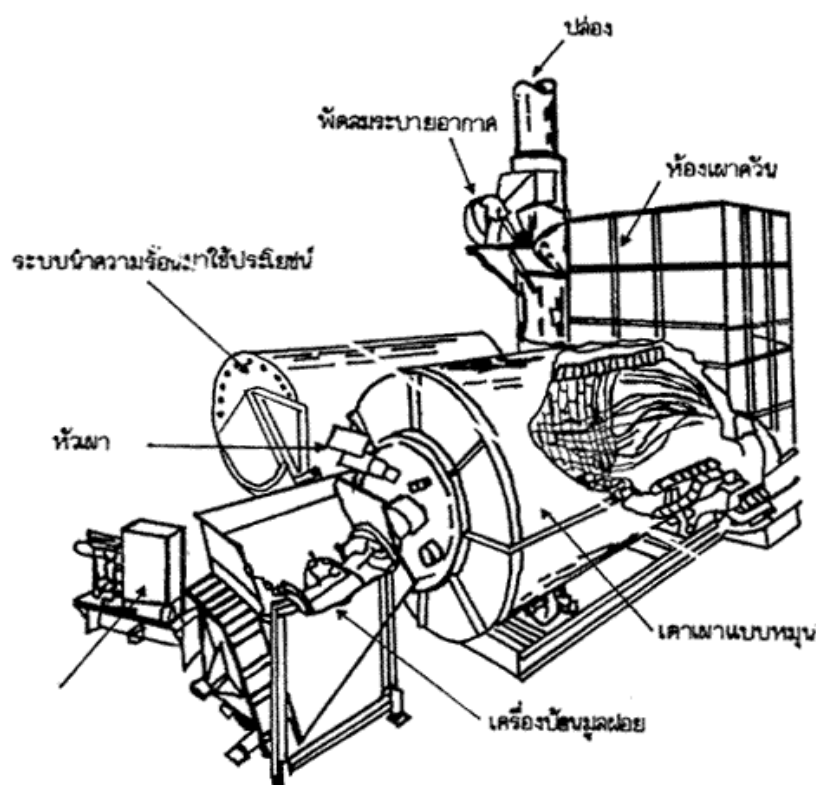
ภาพที่ 8 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ที่มา : Gill and Quiel (1993)

2. ทฤษฎีเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln incinerator)

การกำจัดของเสียในเตาเผา เป็นวิธีการแปรรูปของเสียให้อยู่ในสภาพที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ โดยกระบวนการทางความร้อน ซึ่งเหมาะสมกับการกำจัดของเสียในปริมาณสูง อย่างรวดเร็ว (Brunner, 1994)

ระบบเตาเผาแบบหมุนเป็นการเผาไหม้มวลของของเสียโดยใช้ห้องเผาไหม้ทรงกระบอก ซึ่งสามารถหมุนได้รอบแกน ของเสียจะเคลื่อนตัวไปตามผนังของเตาเผาทรงกระบอกตามการหมุนของเตาเผาซึ่งทำมุมเอียงกับแนวระดับ



ภาพที่ 9 เตาเผาของเสียแบบหมุน

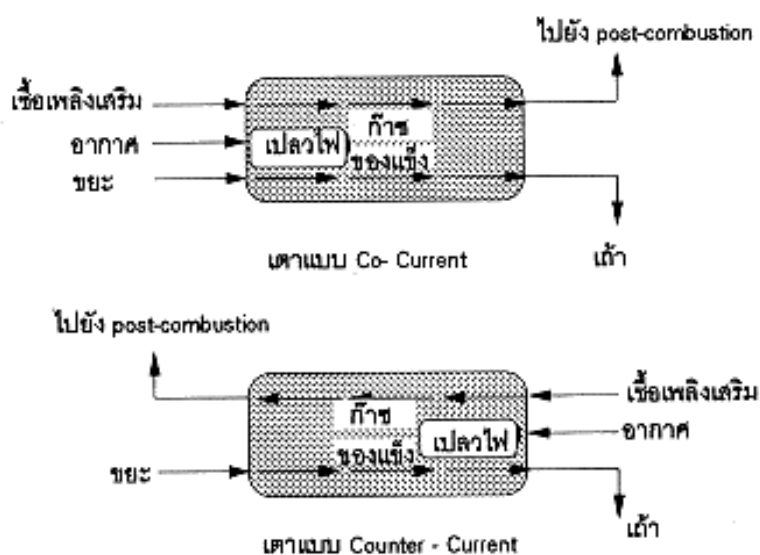
ที่มา : สำนักงานรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร (2538)

เตาเผาแบบหมุนส่วนใหญ่จะเป็นแบบผนังอิฐทนไฟ แต่ก็มีบ้างที่เป็นแบบผนังน้ำ ทรงกระบอกอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และยาวตั้งแต่ 8 ถึง 20 เมตร ความสามารถในการเผาทำลายของเสียมีตั้งแต่ 2.4 ตันต่อวัน (0.1 ตันต่อชั่วโมง) จนถึงประมาณ 480 ตันต่อวัน (20 ตันต่อชั่วโมง)

อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ใช้จะมีปริมาณที่มากกว่าแบบที่ใช้กับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด สิ่งที่ตามมาก็คือ เตาเผาแบบหมุนจะมีประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 เนื่องจากว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (Retention time) ของก๊าซไอเสียค่อนข้างสั้นเกินไปสำหรับการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเตาทรงกระบอกจึงมักมีส่วนต่อที่ทำเป็นห้องเผาไหม้หลัง (Post-combustion chamber) และมักรวมอยู่ในส่วนของหม้อน้ำด้วย (William, 1990)

ระบบเตาเผาของเสียแบบหมุน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเตาหมุน (Rotary kiln combustion chamber) และส่วนของห้องเผาไหม้หลัง (Post-combustion chamber)

2.1 เตาหมุน (Rotary kiln) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในหล่อด้วยปูนซีเมนต์ทนความร้อนพร้อมฉนวน ผิวภายนอกทำด้วยเหล็กกล้า ตัวเตาหมุนได้รอบแกนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ความเร็วหมุนสามารถปรับได้ เตาจะเอียงทำมุมกับแนวระดับเล็กน้อย ที่ส่วนท้ายของเตาจะมีห้องดักจี๊แก๊ส ซึ่งจะทำการลำเลียงจี๊แก๊สออกหลังการเผาไหม้ แบ่งตามลักษณะทิศทางการป้อนของเสีย และทิศทางการวิ่งของก๊าซได้ 2 ลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 10



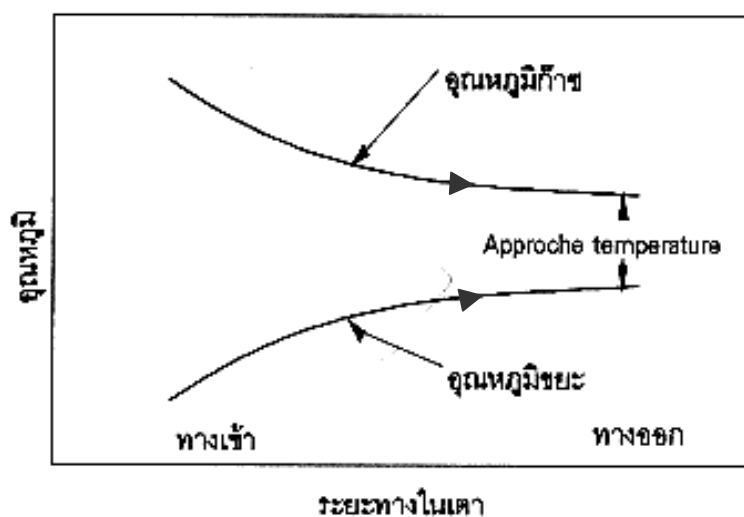
ภาพที่ 10 รูปแบบของเตาเผาของเสียแบบหมุนตามลักษณะการไหลของก๊าซ
ที่มา : ศูนย์วิจัยการเผากากของเสีย (2545)

2.1.1 แบบไหลตามกัน (Co – Current)

ในแบบนี้ ของเสียจะถูกป้อนเข้าไปในเตาทางด้านเดียวกับที่ตั้งของหัวเผา เมื่อเป็นเช่นนี้ ระบบทั้งหมดจะสามารถควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ในแต่ละโซนให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้สะดวกขึ้น ลักษณะการกระจายอุณหภูมิของเตาชนิดนี้แสดงในภาพที่ 11

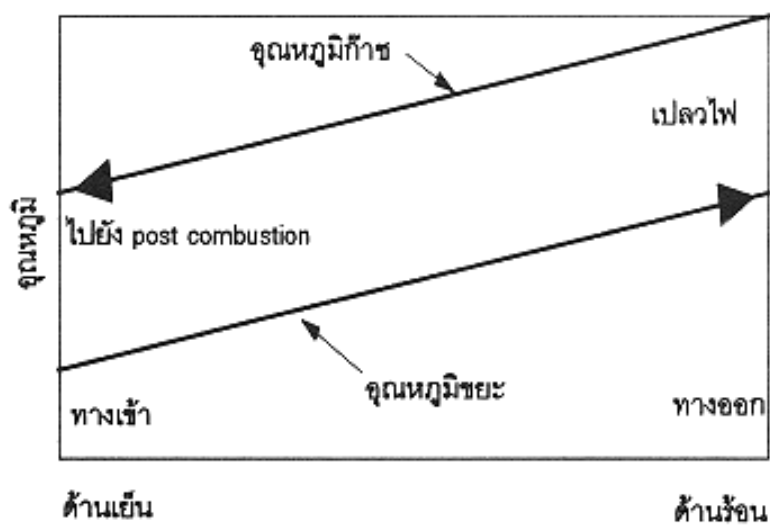
2.1.2 แบบไหลสวนทาง (Counter – Current)

จะมีด้านเย็น ซึ่งหมายถึงด้านที่เป็นทางเข้าของของเสียที่จะเผาไหม้และเป็นทางออกของก๊าซจากการเผาไหม้ ในขณะที่ด้านร้อน คือ ด้านซึ่งอยู่ตรงกันข้าม และเป็นที่ตั้งของหัวเผาพร้อมกับเป็นทางออกของเถ้าของเสียที่สิ้นสุดการเผาไหม้แล้ว เตาชนิดนี้จะเป็นเตาที่ให้อัตราการถ่ายเทเชิงความร้อน และเชิงมวลสูงที่สุด ลักษณะการกระจายตัวจากการเผาไหม้และของของเสียได้แสดงไว้ดังภาพที่ 12 อย่างไรก็ตาม เตาเผาแบบนี้ไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ทำงาน เช่นเวลาในการเผาไหม้ ของของเสียได้สะดวกนัก ดังนั้นเตาเผาแบบหมุนในลักษณะนี้จะใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ มากกว่าที่จะใช้ในการเผาของเสียชุมชน



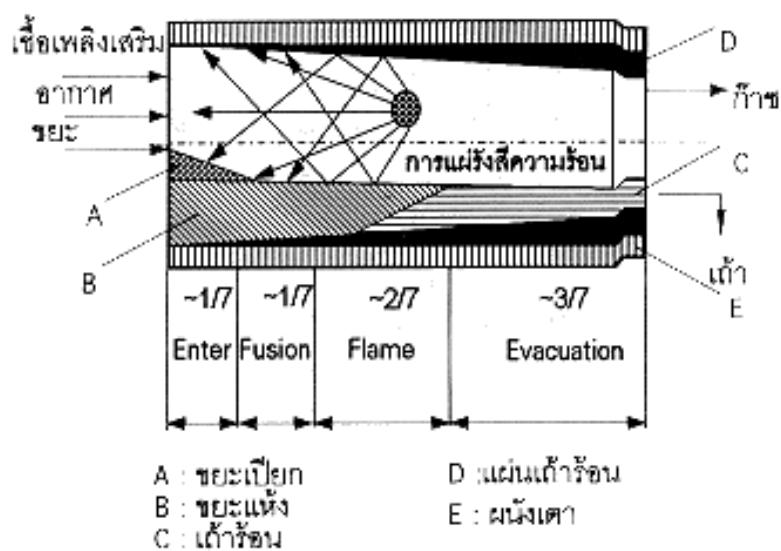
ภาพที่ 11 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแบบไหลสวนกัน

ที่มา : ศูนย์วิจัยการเผากากของเสีย (2545)



ภาพที่ 12 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแบบไหลสวนทาง
ที่มา : ศูนย์วิจัยการเผาากของเสีย (2545)

โดยพิจารณาภาคตัดภายในเตาจะสามารถแบ่งส่วนต่างๆภายในเตา ออกเป็น 4 โซน
ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ภาคตัดภายในเตา

ที่มา : ศูนย์วิจัยการเผาากของเสีย (2545)

- บริเวณทางเข้า (Enter Zone) ขยะเปียกจะถูกป้อนเข้าไปในเตาโดยผ่านประตูเตา ความร้อนจากการแผ่รังสีโดยผนังเตาและของเสียส่วนที่เผาไหม้แล้วที่อยู่ด้านในจะระเหยน้ำที่อยู่ในของเสีย อุณหภูมิในโซนนี้จะต่ำกว่า $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ของเสียจะแห้งและเริ่มระเหิดเป็นก๊าซ โดยปกติในโซนนี้จะไม่มีเปลวไฟหรือจี้เถ้าจับที่ผนัง
- บริเวณหลอมเหลวและระเหย (Fusion and Evaporation Zone) อุณหภูมิในโซนนี้จะอยู่ที่ประมาณ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ และจะสังเกตเห็นสารระเหิดเกิดขึ้นอย่างรุนแรง
- บริเวณ เปลวไฟ (Flame Zone) บริเวณนี้อุณหภูมิของของเสียจะสูงถึง $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เกิดการเผาไหม้และเปลวไฟรวมทั้งจี้เถ้าจากของเสียที่เผาไหม้สมบูรณ์แล้ว
- บริเวณระเหย (Evacuation Zone) แผ่นจี้เถ้าจะจับผนังเตาในส่วนนี้โดยรอบ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะไหลออกไปสู่ห้องเผาไหม้หลัง ในขณะที่จี้เถ้าจะถูกลำเลียงออกบริเวณด้านท้ายเตา

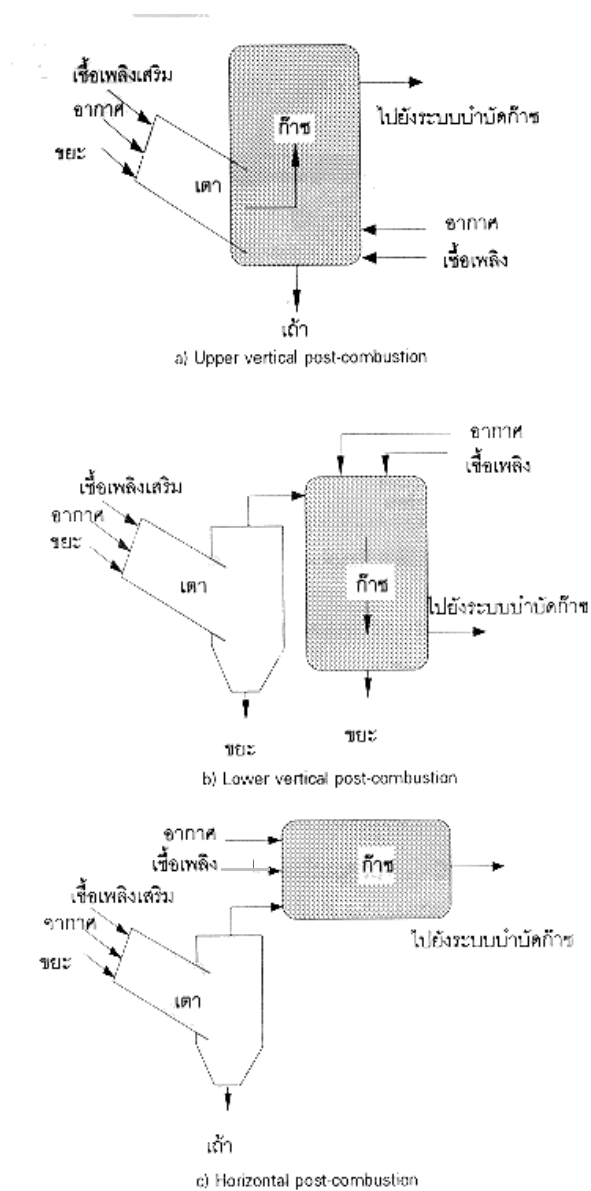
เตาเผาของเสียแบบหมุนจะได้รับการออกแบบให้ทำมุมเอียงกับแนวระดับเล็กน้อยประมาณ 3 องศา ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ของเสียเคลื่อนตัวจากปากทางเข้าไปสู่ทางออก ดังนั้นจึงสามารถควบคุมเวลาในการเผาไหม้ ของของเสียในเตาเผาได้ทั้งจากมุมเอียง และความเร็วของการหมุนของเตา ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 0.25 – 2.5 รอบต่อนาที ทั้งนี้แล้วแต่สภาพการเผาไหม้ในเตา

2.2 ห้องเผาไหม้หลัง (Post-combustion chamber) มีหน้าที่ในการทำลายอนุภาคมลสารและก๊าซจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แรก (เตาหมุน) ทั้งนี้โดยมีหัวเผาทำหน้าที่ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น และควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้นี้ให้อยู่ที่ประมาณ $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีเวลาในการเผาไหม้ ของก๊าซระหว่าง 2 – 4 วินาที ซึ่งหากห้องเผาไหม้หลังของเตาเผาของเสียได้รับการออกแบบมาให้บรรลุเงื่อนไขนี้ ก็สามารถทำให้แน่ใจได้ว่าทั้งสารพิษและก๊าซพิษจะถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูปไปก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ รูปแบบของห้องเผาไหม้หลังยังแบ่งได้อีกตามลักษณะการจัดวางห้องเผาไหม้ และลักษณะการเข้าออกของก๊าซ รวมทั้งหัวเผา ดังภาพที่ 14

2.2.1 วางห้องเผาไหม้ลักษณะตั้ง(Upper vertical) ลักษณะของการไหลก๊าซเป็นแบบไหลขึ้น แล้วออกไประบบบำบัดทางด้านบน ซึ่งเตาเผาของ สวทช. ใช้ลักษณะการวางแบบนี้

2.2.2 วางห้องเผาไหม้ลักษณะตั้ง (Lower vertical) ลักษณะของการไหลก๊าซเป็นแบบไหลลง แล้วออกไประบบบำบัดทางด้านล่าง

2.2.3 วางห้องเผาไหม้ลักษณะนอน (Horizontal) ลักษณะของการไหลก๊าซเป็นแบบแนวนอน ออกไปทางด้านหลัง



ภาพที่ 14 ลักษณะการจัดวางของห้องเผาไหม้หลังของเตาเผาของเสียแบบหมุน
ที่มา : ศูนย์วิจัยการเผาากของเสีย (2545)

3. การคำนวณพลศาสตร์ของไหล

วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ได้เข้ามามีบทบาทและก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลผสมกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟิกสี ทำให้สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลให้สามารถปรับปรุง คัดแปลงรูปแบบของการออกแบบจนได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองต่อไป

การคำนวณพลศาสตร์ของไหล ก่อให้เกิดประโยชน์ในการวิเคราะห์งานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลเป็นจำนวนมาก นับตั้งแต่ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมากในการออกแบบ ช่วยในการวิเคราะห์และลดขั้นตอนที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองหรือในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์หลังไปในรายละเอียดของการไหลในบางบริเวณเพื่อหาผลลัพธ์และข้อมูลที่ต้องการความสมบูรณ์ (ปราโมทย์ : 2545)

3.1 กระบวนการแก้ปัญหา

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหา ขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือองค์ประกอบใหญ่ๆ 3 องค์ประกอบ คือ (ก) ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้น (ข) เงื่อนไขขอบเขต สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษานั้น และ (ค) ลักษณะรูปร่าง ทั้ง 3 องค์ประกอบนี้ หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

3.1.1 สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ปัญหาในงานวิศวกรรมต่างมีความลึกซึ้งของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แตกต่างกันออกไป สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสามารถจัดได้ว่าเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งแสดงถึงความจริงที่เกิดขึ้นในปัญหานั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายความสมดุลของการถ่ายเทความร้อน หรือการวิเคราะห์ปัญหาการไหลนั้น จำเป็นต้องเริ่มจากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แสดงถึง การอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน เป็นต้น

3.1.2 เงื่อนไขขอบเขต ในกระบวนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นเงื่อนไขขอบเขตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันขึ้น หากปัญหาที่ทำการ

วิเคราะห์เป็นแบบไม่อยู่ตัว เงื่อนไขเริ่มต้น จำเป็นต้องถูกประยุกต์เข้าด้วยกัน เงื่อนไขขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงไปจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน

3.1.3 ลักษณะรูปร่าง ในการแก้ปัญหาพื้นฐานโดยทั่วไป ลักษณะรูปร่างของปัญหามักไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา ส่วนใหญ่จะเน้นเพียงขั้นตอนวิธีแก้สมการเชิงอนุพันธ์พร้อมด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ หรือหากกำหนดลักษณะรูปร่างมาให้ ก็จะเป็นเพียงรูปสี่เหลี่ยม จักรฐาน หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น การไม่นำลักษณะของปัญหาเข้ามารวมพิจารณา ทำให้มองข้ามความยากลำบากของการแก้ปัญหาอันสืบเนื่องมาจากลักษณะรูปร่างของปัญหาโดยเกือบสิ้นเชิง

3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เหล่านี้ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้แก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของไหล โดยมีเงื่อนไขขอบเขตและลักษณะรูปร่างของปัญหาที่สามารถกำหนดได้โดยสะดวก ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วโปรแกรม จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนการสร้างลักษณะรูปร่างของปัญหา และเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งเป็นขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (Pre-Processor), ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (Analysis) ซึ่งเป็นหัวใจของโปรแกรม และ ขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย (Post-Processor) เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

3.2.1 กระบวนการขั้นต้น เริ่มจากการสร้างโดเมนของการไหลที่ต้องการทำการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนนับตั้งแต่การสร้างเส้นขอบ (line) การสร้างพื้นผิว (Surface) รวมไปถึงการสร้างปริมาตร (Volume) หากเป็นการไหลในสามมิติ จากนั้นจึงแบ่งโดเมนของการไหลที่ได้สร้างขึ้นนี้ออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) เล็กๆ หรือออกเป็นตาราง (Mesh) ย่อยๆ โดยเส้นตารางเหล่านี้ตัดกันที่จุดต่อ (Grid หรือ Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณค่าผลลัพธ์ของการไหล อันได้แก่ ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ เป็นต้น แล้วจึงกำหนดคุณสมบัติของของไหล และเงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหานั้นตามลำดับ กระบวนการขั้นต้นนี้ ถึงแม้จะสามารถดำเนินการได้โดยง่ายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป แต่ก็ต้องใช้เวลารวบรวมข้อมูลมากเนื่องจากลักษณะรูปร่างของปัญหาการไหลโดยทั่วไปนั้นมีความซับซ้อนมาก และต้องสร้างให้ลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกับลักษณะรูปร่างของปัญหามากที่สุด

3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา จัดเป็นส่วนสำคัญที่สุดของโปรแกรม การแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดเล็ก หรือเป็นตารางที่มีความถี่มากจนเกินไป จะก่อให้เกิด

จำนวนจุดต่อซึ่งประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) มากขึ้นตามไปด้วย อันจะเป็นผลต่อเนื่องกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่จำเป็นต้องจัดหาให้ แต่ในทางกลับกัน ก็จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ (Solution Accuracy) สูงมากขึ้น ในการแก้ปัญหาก็จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดนี้ก่อนเริ่มคำนวณ

แนวความคิดของการแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นเอลิเมนต์หรือตารางเล็กๆ ก็เพื่อที่จะสามารถใช้ฟังก์ชันชนิดง่ายๆ สำหรับแทนลักษณะของการไหลผ่านเอลิเมนต์หรือตารางเล็กๆ นั้น ฟังก์ชันดังกล่าวจะถูกแทนลงไปในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหล ผสมผสานกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์บางอย่างเพื่อทำการลดค่าผิดพลาด (error) ก่อให้เกิดระบบสมการทางพีชคณิต (System of Algebraic Equations) ขนาดใหญ่ซึ่งจำเป็น ต้องแก้โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขต่อไป

3.2.3 กระบวนการขึ้นท่าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการวิเคราะห์การไหลนั้น โดยปกติจะประกอบด้วย ความเร็วย่อยในทิศแกนต่างๆ ความดัน และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดๆ ในโดเมนของการไหลนั้น ผลลัพธ์ที่คำนวณได้เหล่านี้โดยปกติจะมีจำนวนมาก ซึ่งขึ้นโดยตรงกับจำนวนของจุดต่อและต่างล้วนอยู่ในรูปแบบของค่าตัวเลข ดังนั้นจึงแทบจะเป็นไปไม่ได้ที่จะดูเพียงแค่ตัวเลขเหล่านี้แล้วก่อให้เกิดความเข้าใจในฟิสิกส์ของสภาวะการไหล โดยเฉพาะหากเป็นปัญหาในสามมิติ การสร้างผลลัพธ์เหล่านี้ออกมาในรูปของกราฟิกจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยจำนวนหนึ่ง ที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเผาไหม้ที่เหมาะสมในการเผาทำลายของเสียในเตาเผาแบบหมุน พารามิเตอร์ปฏิบัติงานที่มีความสำคัญ ผลของมลพิษที่เกิดขึ้น โดยมีทั้งการศึกษาจากการปฏิบัติงานจริง และใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับที่ใช้ในการศึกษานี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังต่อไปนี้

กฤษ (2542) ศึกษาการออกแบบเตาเผาของเสียชุมชนแบบ Rotary Kiln ขนาดเล็ก การทดลองเพื่อคำนวณประสิทธิภาพของเตาเผาในรูปของประสิทธิภาพการเผาไหม้ และประสิทธิภาพการทำลายของเสีย ได้ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเผาไหม้ 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการป้อนอากาศที่ 150, 200 และ 250% ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนของเสียที่ 15, 20 และ 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเตาเผา 0.6, 0.8 และ 1 รอบต่อนาที จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสม คือ อัตราการป้อนอากาศ 250% ของอากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนของเสีย 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความเร็วรอบเตาเผา 0.6 รอบต่อนาที อุณหภูมิภายในเตาเผาที่สภาวะคงที่ไว้ค่า สูงสุดประมาณ 790 °C มีปริมาณก๊าซ CO, SO_x และ NO_x ประมาณ 3200 ppm, 20 ppm และ 60 ppm ตามลำดับ ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 96.07% และ ประสิทธิภาพการทำลายสูงสุด 94.3%

จิตติพงษ์ (2536) ศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายในเตา เผาของเสีย โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง พร้อมทั้งนำความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์โดยการไปอบของเสียเปียก ในอีกส่วนหนึ่งของเตาเผา และได้ทำการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้นต้น โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบบจำลองขั้นต้นนี้จะนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ขั้นสูง ที่ใช้กับเตาเผาของเสียที่มีลักษณะการใช้งานที่ซับซ้อนต่อไป ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรควบคุม ได้แก่ ปริมาณเชื้อเพลิง ถ่าน อัตราอากาศ ผลจากการทดลองพบว่า ความชื้นเริ่มต้นของของเสียเปียก มีอิทธิพลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้รวมทั้งอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ด้วย ในส่วนของการแปรค่าปริมาณอากาศ พบว่าปริมาณอากาศที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 0.28 กิโลกรัมต่อนาที จะให้อุณหภูมิการเผา ไหม้สูงสุดประมาณ 570 °C ความเข้มข้นของก๊าซ มลพิษต่ำที่สุด แต่กรณีของอัตราการระเหยน้ำในของเสียเปียกนั้น อิทธิพลของตัวแปรปริมาณอากาศไม่สามารถแสดงให้เห็นผลอัตราการระเหยอย่างชัดเจน เนื่องจากอิทธิพลของปริมาณความชื้น เริ่มต้นในของเสียเปียกมีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำมากกว่า ปริมาณอากาศที่ใช้ ผลจากการทดลองเปรียบเทียบกับผลจากการทำนายจากแบบจำลอง

คณิตศาสตร์ที่ค่าเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศต่าง ๆ กัน พบว่าแนวโน้มและจุดสูงสุดของอุณหภูมิเผาไหม้ ทั้งผลจากการทดลองและจากการจำลองสภาวะ เป็นไปในทางเดียวกัน แต่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของแบบจำลองคณิตศาสตร์จะช้ากว่าของการทดลอง และในทางตรงกันข้าม ปริมาณน้ำระเหยจากของเสียเปียกจะมีอัตราการระเหยที่คำนวณได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์เร็วกว่าการทดลอง

ชัยวัฒน์ (2539) ทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาและตรวจวัดปริมาณสารมลพิษ ทางอากาศจากปล่องระบายควันเตาเผาของเสียติดเชื้อ แบบของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย จากเตาเผาของสถานพยาบาล 9 แห่งทั่วประเทศ สารมลพิษที่ตรวจวัดได้แก่ ฝุ่น (PM) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) และไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ (VCM) ผลการตรวจวัดพบว่า สารมลพิษทางอากาศที่มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศจากปล่องระบายควันของ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ส่วนฝุ่นพบว่า 2 ใน 9 ของเตาเผาที่ศึกษามีค่าเกินมาตรฐาน ไฮโดรเจนคลอไรด์ พบว่า 3 ใน 9 เตามีค่าเกินมาตรฐาน ส่วนไวนิลคลอไรด์ โมโนเมอร์และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ พบน้อยมาก การทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาพบว่า 7 ใน 9 เตาเผาของเสีย ติดเชื้อ แบบของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย สามารถเผาทำลายของเสียได้ตามอัตราที่กำหนด ควรลดอัตราการป้อนอากาศของหัวเผาทั้งสอง เพื่อเพิ่มเวลาที่ใช้เผาไหม้ในห้องเผาควัน ตามแบบที่กำหนดซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเกิดสารมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาโดยการลดเวลาป้อนของเสีย มีแนวโน้มจะทำให้เกิดสารมลพิษ ทางอากาศเพิ่มขึ้น ได้แก่ ฝุ่น ($r^2 = 0.8141$) คาร์บอนมอนนอกไซด์ ($r^2 = 0.7381$) รวมทั้ง ไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ ที่แปรผันตามปริมาณฝุ่น ($r^2 = 0.7632$) การป้อนของเสียเข้าเตาเผาน้อยกว่า 40 กิโลกรัมต่อครั้ง จะทำให้เผาของเสียได้ ตามประสิทธิภาพที่กำหนด ($r^2 = 0.7391$)

ณพร และคณะ (2538) ได้ศึกษาการเผาของเสียติดเชื้อจากโรงพยาบาลในเตาเผาของเสียเสียแบบหมุน เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิ คุณลักษณะการเผาไหม้และก๊าซที่เกิดขึ้น พบว่าของเสียติดเชื้อสามารถเผาไหม้ได้ดีในเตาเผาของเสียแบบหมุน ซึ่งในการเผาจริงเมื่อใช้อุณหภูมิอุ่นเตาที่ 850 °C จะทำให้ได้อุณหภูมิสูงสุดในการเผาไหม้อยู่ที่ 1100 °C ซึ่งนับว่ามีอุณหภูมิสูงพอที่จะเผาทำลายและฆ่าเชื้อโรคได้ รวมทั้งความเข้มข้นของก๊าซจากการเผาไหม้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่บางครั้งมีค่าความเข้มข้นของก๊าซสูงกว่ามาตรฐานเนื่องมาจากปริมาตรของของเสียที่ใหญ่เกินไป

และขวางทางเดินของอากาศซึ่งส่งผลให้ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ และยังเกิดจากการเปิดฝาเตาเพื่อป้อนของเสียทำให้ก๊าซจากการเผาไหม้ไหลออกจากปล่องระบายเร็วเกินไปก่อนที่จะเผาไหม้หมด

ธันวา และคณะ (2538) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเผาไหม้ของของเสียจากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูป กับของเสียแข็ง(กระดาษ และขังข้าวโพด) ในเตาเผาแบบหมุน โดยมีการวัดค่าโปรไฟล์ของอุณหภูมิ ส่วนผสมของก๊าซ และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้กระดาษเป็นเชื้อเพลิงแข็งในการช่วยเผา อัตราส่วนโดยมวลของ กากตะกอน/กระดาษ ที่เหมาะสมคือ 60/40 และเมื่อใช้ขังข้าวโพดเป็นของเสียช่วยเผาพบว่าอัตราส่วนโดยมวลที่เหมาะสมคือ 72.5/27.5 นอกจากนั้นการใช้ขังข้าวโพดช่วยเผาจะประหยัดกว่าใช้กระดาษช่วยเผาโดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 95 และ 115 บาทตามลำดับต่อ 100 กิโลกรัมของของเสีย

เลอศักดิ์ (2544) การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาของเสียชุมชนขนาดเล็ก ศึกษาวิจัยการใช้เตาเผาที่มีท่อระบายไอเสียเชื่อมกับหอพ่นน้ำ (Spray Tower) เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญในการควบคุมมลสารทางอากาศและน้ำจากเตาเผาของเสียชุมชนขนาดเล็ก การวิจัยได้เดิม ของเสียแห้ง และ ของเสียเปียก เข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราส่วนผสมของเสีย 1:0, 4:1, 3:1, 2:1, และ 1:1 ผลการศึกษพบว่าคุณภาพอากาศที่ระบายออกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ ก่อนข้างสูง พบว่า ค่าของมลพิษมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของของเสียแห้ง คุณภาพของน้ำเสียมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากปริมาณของคลอไรด์ มลสารทางน้ำจำพวกของแข็งสามารถกำจัดได้ด้วย บ่อตกตะกอนซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับ 60% ส่วนของแข็งแขวนลอยที่เหลือ สามารถกำจัดโดยการเติมสารก่อตะกอนคือสารส้ม

Denison et al. (2005) ได้ศึกษาเตาเผาของกองทัพ ซึ่งเผาทำลายของเสียจำพวกอาวุธทางเคมี และสารเคมีความเป็นพิษสูง โดยจำลองกระบวนการจาก Computation Fluid Dynamic (CFD) models และ fast running process (mass/energy balance) models ซึ่งจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ของเตาเผา ความปั่นป่วนของของไหลภายใน และการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นการจำลองกระบวนการและการพัฒนาการดำเนินงานของเตาเผาที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากจะสามารถควบคุมการทำงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น อาจจะส่งผลดีให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการเผาทำลายของเตาเผานั้นที่มีค่าใช้จ่ายการทำงานสูงถึง \$300,000/วัน ลงได้บ้าง

Deschaine (2000) ได้ใช้ Genetic Algorithm (GA) ที่พัฒนามาจาก โปรแกรม C/C++ ในการจำลองความเข้มข้นของ CO_2 ในเตาเผาของเสียอันตราย โดยการวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์และควบคุมคุณสมบัติของตัวแปรในระบบเตาเผา ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการควบคุมดำเนินการ และยังสามารถทำนายความเข้มข้นของมลพิษโดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดมลพิษจากปล่อง ทั้งนี้เพื่อพัฒนาไปสู่กระบวนการเผาทำลายของเสียอันตรายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Roh (2001) ได้ใช้วิธีการเกี่ยวกับตัวเลขและการจำลอง เพื่อวินิจฉัยกระบวนการเผาของเตาเผาแบบหมุน โดยใช้ข้อมูลมวลสาร และการจำลอง 3 มิติ เพื่อทำนายอุณหภูมิในเตา องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง การไหล และความร้อนของการเผาไหม้ เพื่อกำหนดกฎเกณฑ์ในการปฏิบัติงานที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาในกระบวนการทำงาน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เตาเผาของเสียอันตรายของ สวทช.

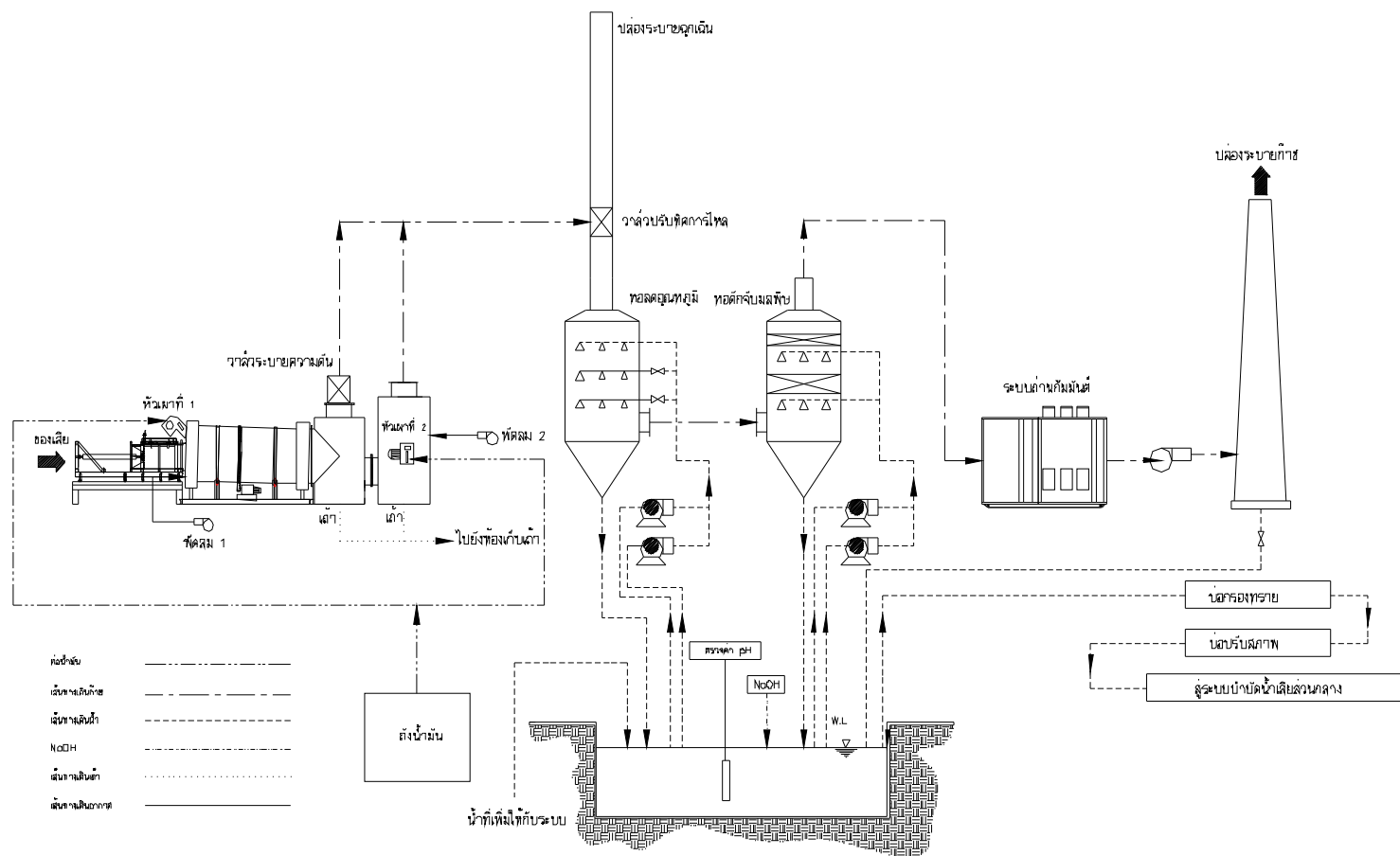
ส่วนประกอบหลักของระบบเตาเผาของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ระบบป้อนของเสีย ห้องเผาไหม้แบบหมุน ห้องดักเถ้า ห้องเผาไหม้หลัง ระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบหอดักจับมลพิษ ระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบถ่านกัมมันต์ระบบบ่อน้ำหมุนวน และระบบควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 15

1.1 ระบบป้อนของเสีย

เป็นลักษณะรางป้อน หล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ ภายในปูด้วยแผ่นสแตนเลส โครงสร้างด้านนอกเป็นเหล็กกล่องสำหรับรับน้ำหนัก มีช่องสำหรับป้อนถังบรรจุสารเคมีและช่องสำหรับป้อนของเสียติดเชื้อซึ่งเป็นถุงแดงแยกจากกัน ควบคุมการป้อนโดยระบบควบคุมในห้องควบคุม ใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในการเปิดประตูป้อน ยกพลิกของเสียเข้าราง และป้อนของเสียเข้าห้องเผาไหม้แบบหมุน รางป้อนมีช่องป้อนซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3×0.4 ตารางเมตร และมีความยาว 0.8 เมตร ความจุของรางป้อนสามารถป้อนถังบรรจุสารเคมีขนาด 4 ลิตร ได้สูงสุด 3 ถัง และของเสียติดเชื้อได้สูงสุด 96 ลิตร

1.2 ห้องเผาไหม้แบบหมุน

มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เมตร และมีความยาวเท่ากับ 2.4 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้องเผาไหม้ 1.53 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนด้านหน้าของห้องเผาไหม้ ส่วนห้องเผาไหม้แบบหมุน และส่วนของห้องเผาไหม้ด้านหลัง มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 15 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบเตาเผาแบบหมุน

ที่มา : ผังระบบเตาเผาของ สวทช. (2546)

1.2.1 ส่วนด้านหน้าห้องเผาไหม้

ภายนอกทำด้วยเหล็กขึ้นรูปจนทนความร้อน ภายในหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างระบบป้อนของเสียและส่วนของห้องเผาไหม้แบบหมุน โดยส่วนนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ มีช่องสำหรับป้อนของเสียเข้าส่วนห้องเผาไหม้แบบหมุน ช่องสำหรับเทอร์โมคัปเปิล ช่องสำหรับหัวเผา และช่องสำหรับจ่ายอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้

1.2.2 ส่วนห้องเผาไหม้แบบหมุน

ภายนอกทำด้วยเหล็กขึ้นรูปจนทนความร้อน ภายในหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ ส่วนนี้จะมีหน้าที่เผาไหม้ของเสียโดยในระหว่างการเผาห้องเผาไหม้จะหมุนไปด้วย ซึ่งตัวห้องเผาไหม้จะมีมุมเอียง เพื่อให้เถ้าไหลลงไปที่ห้องดักเถ้า ไซมอเตอร์ไฟฟ้าขับเฟืองทดผ่านโซ่มายังฟันโซ่ ซึ่งอยู่รอบห้องเผาไหม้โดยห้องเผาไหม้จะหมุนบนลูกกลิ้ง ห้องเผาไหม้แบบหมุนนี้จะอยู่ระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของห้องเผาไหม้

1.2.3 ส่วนหลังห้องเผาไหม้ ส่วนนี้จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนห้องเผาไหม้หมุนและห้องถ่ายเถ้า

1.3 ห้องดักเถ้า

มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เมตร สูง 2 เมตร ภายนอกทำด้วยเหล็กขึ้นรูปจนทนความร้อน ภายในหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ ทำหน้าที่รองรับเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเสียจากห้องเผาไหม้แบบหมุน โดยเถ้าที่ไหลเข้ามามีแนวโน้มจะร่วงลงสู่ด้านล่างของห้องดักเถ้า ซึ่งจะมีช่องสำหรับนำเถ้าออก ในห้องดักเถ้าจะมีช่องมองซึ่งสามารถมองเห็นภายในห้องเผาไหม้แบบหมุนได้ นอกจากนี้ด้านบนของห้องดักเถ้ายังมีช่องทางระบายก๊าซอุณหภูมิในกรณีที่ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้มีมากเกินไปอย่างรวดเร็ว(เกิดการระเบิด) ห้องดักเถ้าอยู่ระหว่างห้องเผาไหม้แบบหมุนกับห้องเผาไหม้หลัง

1.4 ห้องเผาไหม้หลัง (Post-Combustion Chamber)

มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เมตร และมีความสูงเท่ากับ 2.2 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้องเผาไหม้ 1.4 ลูกบาศก์เมตร ภายนอกทำด้วยเหล็กขึ้นรูปจนทนความร้อน ภายในหล่อด้วยคอนกรีตทนไฟ ทำหน้าที่เผาไหม้ก๊าซที่เกิดจากห้องเผาไหม้แบบหมุนซ้ำ โดยมีหัวเผาเป็นตัวให้ความร้อน และมีช่องมองเพื่อดูสภาพการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ด้านล่างของห้องเผาไหม้หลังจะมีช่องสำหรับไคยเถ้าที่ลงมา

ในห้องเผาไหม้หลังด้วย ห้องเผาไหม้หลังจะอยู่ระหว่างห้องดักเถ้าและระบบควบคุมมลพิษอากาศ
หอดักจับมลพิษแบบเปียก

1.5 ระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบหอดักจับมลพิษ

ประกอบไปด้วย 2 หอ ได้แก่หอลดอุณหภูมิและหอดักจับมลพิษ

1.5.1 หอลดอุณหภูมิ (Quencher)

ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกมาจากห้องเผาไหม้หลัง โดยการฉีดพ่น
สารผสมจากบ่อน้ำหมุนวนด้วยเครื่องสูบน้ำผ่านหัวฉีด หอทำจากแผ่นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 0.76 เมตร ความสูงรวม 3.15 เมตร

1.5.2 หอดักจับมลพิษ (Scrubber)

ทำหน้าที่ดักจับก๊าซที่เป็นกรดภายในก๊าซร้อนซึ่งผ่านการทำให้เย็นมาจากหอลด
อุณหภูมิโดยการฉีดพ่นสารผสมจากบ่อน้ำหมุนวนด้วยเครื่องสูบน้ำผ่านหัวฉีด เช่นเดียวกับหอลดอุณหภูมิ
แต่ภายในหอยังบรรจุด้วยวงกระเบื้องเพื่อเพิ่มพื้นที่และเวลาสัมผัสระหว่างก๊าซและน้ำ หอทำจาก
แผ่นสแตนเลส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.76 เมตร ความสูงรวม 3.15 เมตร

1.6 ระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

โครงสร้างทำจากสแตนเลส ภายในแบ่งออกเป็นช่องๆ บรรจุด้วยถ่านกัมมันต์ทำหน้าที่ดูด
กลืนสารมลพิษและอนุภาคนาขนาดเล็กที่ปะปนมากับก๊าซ เช่น ไอสารประกอบอินทรีย์ โลหะหนัก
เป็นต้น

1.7 ระบบบ่อน้ำหมุนวน

เป็นบ่อปูน จำนวน 6 บ่อ ด้านบนเปิดเชื่อมถึงกัน ด้านล่างเชื่อมถึงกันด้วยท่อ PVC ทำ
หน้าที่ระบายความร้อนให้สารผสมและปรับสภาพสารผสมให้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในระบบควบ
คุมมลพิษอากาศด้วยหอดักจับมลพิษแบบเปียก นอกจากนี้ ยังมีบ่อกรองทรายและบ่อปรับสภาพ
เบื้องต้นก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ในบ่อน้ำหมุนวนนี้จะมีการเติมโซดาไฟ
(NaOH) ผสมน้ำในบ่อให้กลายเป็นสารผสมที่มีสภาพเป็นด่าง (pH 8-9) เพื่อใช้ในระบบควบคุมมล
พิษอากาศ

1.8 ระบบควบคุม

เป็นตู้ควบคุมตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติงานซึ่งควบคุมการทำงานด้วยระบบ Programmer Logic Control (PLC) บนตู้ควบคุมจะมีไฟแสดงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ในระบบเตาเผา และยังแสดงค่า pH ของสารผสมในระบบบ่อน้ำหมุนวนด้วย

1.9 อุปกรณ์ประกอบอื่นๆในระบบเตาเผา

1.9.1 หัวเผา

มีหัวเผา จำนวน 2 หัว ได้แก่ หัวเผาซึ่งติดตั้งภายในห้องเผาไหม้แบบหมุน 1 หัว ขนาด 180 kW และหัวเผาซึ่งติดตั้งภายในห้องเผาไหม้หลังอีก 1 หัว ขนาด 250 kW ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง

1.9.2 พัดลมจ่ายอากาศ

พัดลมจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้มี 2 ตัวสำหรับห้องเผาไหม้แบบหมุนและห้องเผาไหม้หลังอย่างละ 1 ตัว มีขนาด $\frac{1}{2}$ hp โดยจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้ผ่านวาล์วปีกผีเสื้อซึ่งสามารถปรับปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้ได้

1.9.3 เครื่องสูบน้ำ

ใช้กับระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบหอดักจับมลพิษ ซึ่งมี 2 หอ หอหอดูดอุณหภูมิใช้เครื่องสูบน้ำขนาด 3 hp จำนวน 2 ตัว โดยใช้งาน 1 ตัว อีก 1 ตัวสำหรับสำรองในกรณีฉุกเฉิน สำหรับหอหอดักจับมลพิษ ใช้เครื่องสูบน้ำขนาด 2 hp จำนวน 2 ตัว โดยใช้งาน 1 ตัว อีก 1 ตัวสำหรับสำรองในกรณีฉุกเฉินเช่นเดียวกัน

1.9.4 พัดลมดูดอากาศ

ใช้มอเตอร์ขนาด 10 hp ส่งถ่ายกำลังผ่านสายพานขับใบพัดของพัดลมดูดอากาศ เพื่อดูดอากาศที่ออกมาจากระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบถ่านกัมมันต์ก่อนที่จะปล่อยออกทางปล่องระบาย

1.9.5 Inverter

ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบการหมุนของห้องเผาไหม้แบบหมุน ความเร็วจะกำหนดตามลักษณะของของเสียและการเผาไหม้ ซึ่งอาจจะไม่ต้องหมุน หรือหมุนเพียงเล็กน้อย ไม่ต่อเนื่อง

1.9.6 pH มิเตอร์

ใช้สำหรับวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อน้ำหมุนวน

1.10 ระบบป้องกันอันตรายและทำให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานต่อผู้ปฏิบัติงาน

1.10.1 ระบบดับเพลิงเป็นระบบดับเพลิงอัตโนมัติโดยใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบท่อเปือก ระบบหัวกระจายน้ำและท่อส่งน้ำจะต้องกระจายทั่วทั้งอาคาร มีการติดตั้งถังดับเพลิงเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน ติดตั้งในบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถหยิบใช้ได้สะดวกและทันเวลา

1.10.2 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

- ชุด (เครื่องแต่งกาย) ต้องเป็นชุดทนความร้อนและสารเคมี
- หน้ากากกันความร้อนและสารเคมีที่บริเวณศีรษะและใบหน้าของผู้ปฏิบัติงาน
- หน้ากากหายใจสำหรับป้องกันการสูดดมสารเคมี
- แวนตากันความร้อนและสารเคมี
- ถุงมือกันสารเคมี
- รองเท้าหุ้มส้น
- ติดตั้งฝักบัวแบบตั้งไว้ในจุดใกล้เคียงกับถังดับเพลิง

2. ของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการของ สวทช.

การจัดการของเสียติดเชื้อและของเสียเคมี/กากสารเคมีก่อนการเผาทำลายจำเป็นต้องคัดแยกของเสียเพื่อความสะดวกเหมาะสมในการเผาทำลาย และเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการเผาทำลาย ดังข้อกำหนดต่อไปนี้

2.1 ข้อกำหนดทั่วไป

ของเสียติดเชื้อและของเสียเคมีวัตถุ/กากสารเคมี ที่มีองค์ประกอบตามรายละเอียดดังต่อไปนี้ ไม่สามารถเผาทำลายได้ ควรคัดแยกออกก่อนการเผาทำลาย

- เศษแก้ว หรือเศษโลหะ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แตก เข็มฉีดยาใช้แล้ว เศษจานแก้วเพาะเลี้ยงเชื้อ เศษเครื่องแก้ววัดปริมาตร เป็นต้น
- เซรามิกส์ เช่น เศษเครื่องปั้นดินเผา เป็นต้น
- ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)
- ปูนซีเมนต์
- ของเสียที่มีสภาพเป็นกรด-ด่างสูง และไม่สามารถปรับให้เป็นกลางได้ก่อนการเผาทำลาย

2.2 ข้อกำหนดเฉพาะ

2.2.1 ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับของเสียติดเชื้อ

การเก็บรวบรวมของเสียติดเชื้อจากห้องปฏิบัติการซึ่งคัดแยกออกจากของเสียทั่วไป ควรใช้ถุงพลาสติกสีแดงความจุประมาณ 25 ลิตร และมีรายละเอียดข้อมูลของของเสียติดเชื้อมูลขบริเวณข้างถุง ตามภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ภาพขณะบรรจุของเสียติดเชื้อ

2.2.2 ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับของเสียเคมีวัตถุ/กากสารเคมี

การกำจัดกากสารเคมี/ของเสียเคมีวัตถุจากห้องปฏิบัติการโดยวิธีการเผาต้องมีการจัดการและจำแนกประเภทอย่างชัดเจน เครื่องครัด และรัดกุม เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และพื้นที่ข้างเคียง โดยสารเคมีที่เหลือจากการวิเคราะห์ในแต่ละห้องปฏิบัติการจะถูกบรรจุลงในขวด PE (Polyethylene) ขนาดความจุ 1 ลิตร (ปากกว้าง) และขนาดความจุ 4 ลิตร (ปากแคบ) โดยบรรจุของเสียเคมีวัตถุ/กากของเสียที่เป็นของแข็งและของเหลว ตามลำดับ จากนั้นนำขวดทั้งสารปิดผนึกฝาให้เรียบร้อย พร้อมทั้งติดรายละเอียดต่างๆ ไว้อย่างชัดเจนบริเวณข้างขวด ตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ภาชนะบรรจุของเสียเคมีวัตถุ/กากสารเคมีของเหลวขนาด 1 ลิตร และ 4 ลิตร

3. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

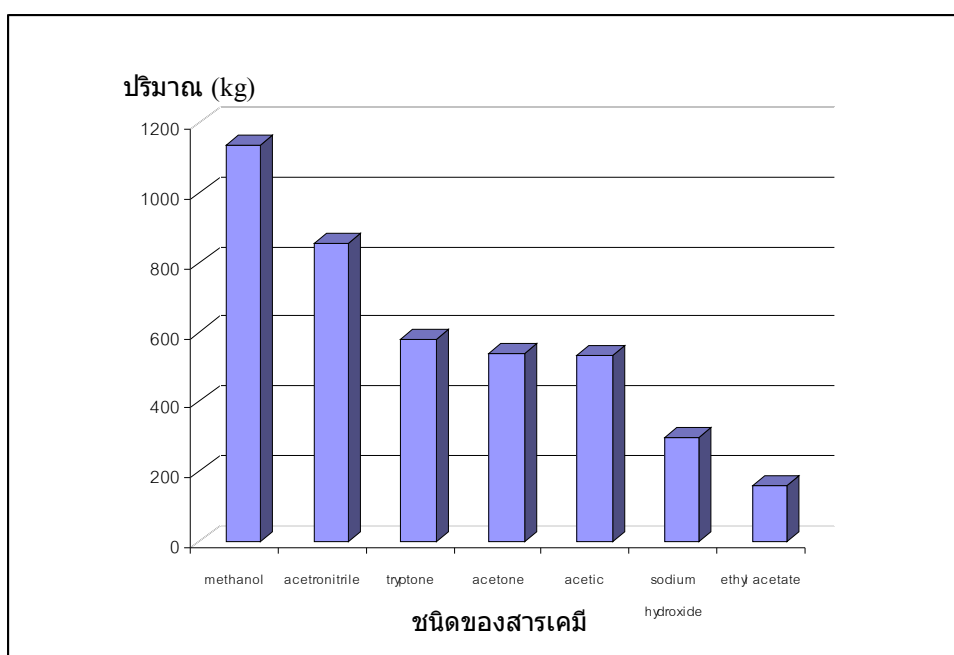
- 3.1 CPU (AMD Turion™ 64 Mobile MT-32 25 w 1.8 GHz)
- 3.2 512 KB of RAM
- 3.3 80 GB of hard disk

4. โปรแกรมในการจำลอง

- 4.1 Computational Fluid Dynamics software ชื่อ CFX 5.7
- 4.2 Ansys Workbench

วิธีการ

จากผลการรวบรวมสถิติสารเคมีที่ส่งเข้าเผาทำลายในเตาเผาในช่วง ปี 2547-2548 พบว่าของเสียประเภทสารเคมีมีมากที่สุด และเป็นของเสียสารเคมีประเภทติดไฟ ซึ่งส่วนมากมีองค์ประกอบเป็น Methanol ในการดำเนินการวิจัยจะทำการทดลองโดยใช้วิธีการจำลองเพื่อศึกษาสถานะการใช้เชื้อเพลิงจากของเสียติดไฟ เป็นส่วนช่วยในการอุ่นเตาเผาไหม้ของเสียในห้องเผาไหม้ที่ 1 โดยทำการทดลองใส่เชื้อเพลิงของเสียติดไฟ



ภาพที่ 18 ข้อมูลของเสียที่ส่งเข้าเตาเผาช่วง พ.ศ. 47 – เม.ย. 48

ที่มา : ข้อมูลของเสียที่ส่งเข้าเตาเผา สวทช. (2548)

โดยทำการทดลองป้อนของเสียติดไฟในช่วงเวลา และอุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่ช่วยในการติดไฟ และเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นโดยลดภาระในการใช้น้ำมันดีเซลลง จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการจำลองมากำหนดรูปแบบการเผาของเสีย เพื่อการประหยัดพลังงาน และเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานโดยมีรายละเอียดของการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบเตาเผา

1.2 ขั้นตอนการอุ่นห้องเผาไหม้

เตาเผาของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการจะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีอุณหภูมิสูงจนเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิปฏิบัติงาน ประมาณ 600°C จึงต้องมีการอุ่นเตาก่อนการเผาของเสีย ซึ่งการอุ่นห้องเผาไหม้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.2.1 เปิดวาล์วปรับปริมาณอากาศในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีพัดลมจ่ายอากาศ ขนาด แรงม้า จ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้ผ่านวาล์วปีกผีเสื้อ โดยปรับวาล์วในห้องเผาไหม้แบบหมุนไปที่ 15 องศา (อัตราการจ่ายอากาศ = 21 ลบ.ชม.) และห้องเผาไหม้หลังไปที่ 45 องศา (อัตราการจ่ายอากาศ = 105 ลบ.ชม.)



ภาพที่ 19 วาล์วปรับปริมาณอากาศ



ภาพที่ 20 การปรับวาล์วปรับปริมาณอากาศ

1.2.2 เปิดการทำงานของอุปกรณ์ทั้งระบบ โดยจะเริ่มจากพัดลมดูดอากาศ เครื่องสูบน้ำของระบบควบคุมมลพิษอากาศแบบหอดักจับมลพิษ พัดลมจ่ายอากาศเข้าห้องเผาไหม้ และหัวเผาห้องเผาไหม้หลัง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นไปตามขั้นตอนการทำงานซึ่งโปรแกรมไว้ในตู้ควบคุมด้วยระบบ PLC

1.2.3 เปิดหัวเผาห้องเผาไหม้แบบหมุนและระบบป้อนของเสียจะต้องรอเวลาประมาณ 15 นาทีนับจากที่เปิดหัวเผาห้องเผาไหม้หลังแล้วจึงจะสามารถเปิดได้

1.2.4 ตั้งค่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้แบบหมุนไม่ต่ำกว่า 600°C และห้องเผาไหม้หลังอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1100°C

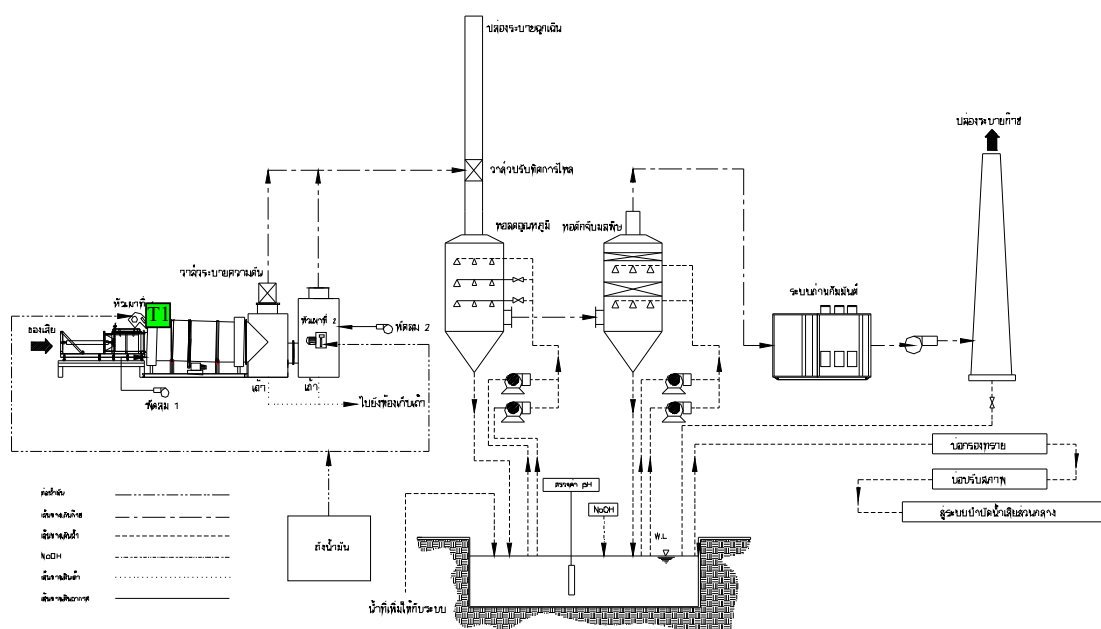


ภาพที่ 21 หัวเผาระบบฉีดน้ำมัน

1.2.5 หัวเผาที่ติดตั้งภายในห้องเผาไหม้แบบหมุนขนาด 180 kW และขนาด 250 kW ในห้องเผาไหม้หลังจะทำงาน โดยระบบฉีดน้ำมันจะฉีดน้ำมันดีเซล ไปที่หัวเผาทั้งสอง ทำงานจนห้องเผาไหม้อุณหภูมิสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ หัวเผาก็จะหยุดทำงานและหยุดฉีดน้ำมัน หลังจากนั้นจึงจะสามารถป้อนของเสีย สภาพภายในห้องเผาไหม้ผู้ปฏิบัติงานสามารถมองเห็นได้โดยผ่านทางช่องมองของเสียในแต่ละห้องเผาไหม้ (ภาพที่ 22)



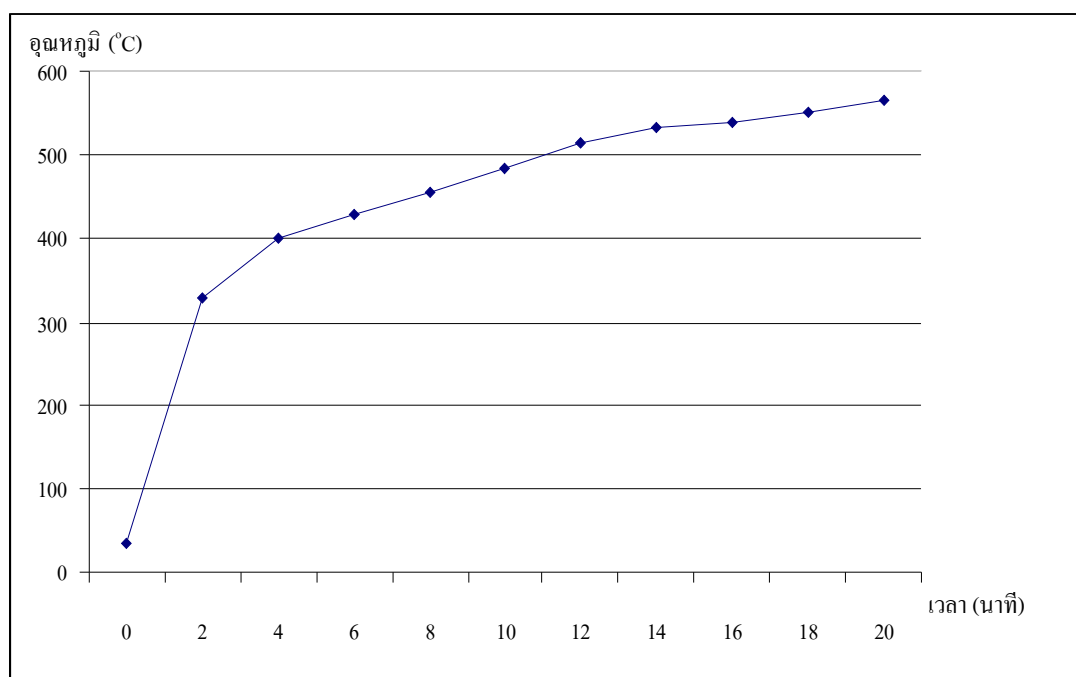
ภาพที่ 22 แสดงสภาพภายในเตาเผาแบบหมุนขณะอุ่นเตา



ภาพที่ 23 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ 1

ที่มา : ผังระบบเตาเผาของ สวทช.

จากการเก็บข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอุ่นเตา อัตราการจ่ายน้ำมัน 0.4 ลิตร ต่อ นาที ใช้เวลาประมาณ 20 นาที จึงใช้น้ำมัน 8 ลิตร และค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K แบบ Probe ที่ติดตั้งบริเวณเหนือช่องป้อนภายในเตาเผา ตามภาพที่ 23 เป็นดังนี้



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการอุ่นเตา

1.2 ช่วงการเผาของเสีย

หลังจากทำการอุ่นเตาคือห้องเผาไหม้แบบหมุนและห้องเผาไหม้หลังแล้ว ขั้นตอนต่อไปในการทดลองคือ การป้อนของเสียเพื่อให้ของเสียเข้าไปทำการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ โดยการเผาของเสียจะมีทั้งของเสียซึ่งเป็นถังบรรจุสารเคมีและถุงแดงตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว ซึ่งของเสียทั้ง 2 รูปแบบจะแตกต่างกันที่วิธีป้อน และวิธีการหมุนห้องเผาไหม้ดังนี้

1.2.1 ของเสียสารเคมี

- ทำการป้อนในช่องป้อนของเสียสารเคมี
- การป้อนของเสียสารเคมีจะป้อนด้วยระบบอัตโนมัติ
- ในขณะที่เพิ่งเริ่มเผาของเสียสารเคมีจะไม่ทำการหมุนห้องเผาไหม้
- อุณหภูมิขณะป้อนจะต้องไม่สูงเกินไป (ขึ้นกับชนิดสารเคมี)

1.2.2 ของเสียติดเชื้อ (ถุงแดง)

- ทำการป้อนในกระเบยยกพลิก
- การป้อนของเสียสารเคมีจะป้อนด้วยระบบ Manual
- สามารถหมุนห้องเผาไหม้ได้ตลอดเวลา
- อุณหภูมิขณะป้อนจะต้องไม่สูงเกินไป (อุ้งบรรจุของเสียละลาย)



ภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนการป้อนของเสียสารเคมีและของเสียติดเชื้อ

2. ออกแบบการทดลอง

โดยปกติการอุ่นเตาเผาให้มีอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติจะใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล และใช้เวลานานซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานสูง การใช้ของเสียดัดไฟซึ่งมีค่าความร้อนสูง ช่วยในการเผาไหม้ช่วงอุ่นเตาจะสามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพ ของระบบเตาเผา (เนื่องจากอุณหภูมิจะสูงขึ้นเร็ว) การศึกษานี้จึงออกแบบการทดลอง ให้ทดลองใส่ของเสียดัดไฟในช่วงอุณหภูมิต่างๆขณะอุ่นเตา และดูผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้น จนหัวเผาไม่ต้องทำงาน ลดการใช้น้ำมันดีเซล และลดระยะเวลาการอุ่นเตา

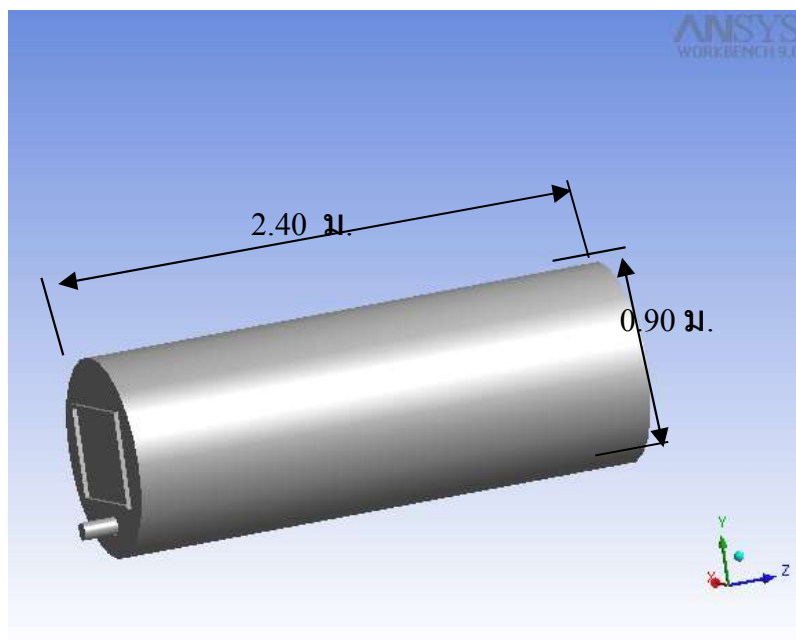
การทดลองจะเป็นการหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ Methanol ในการอุ่นเตา กับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานที่ว่าหัวเผาย่อยจุดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิในเตาเผาสูงถึงจุดที่กำหนด จากการออกแบบ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดของเสียอันตราย คือ ช่วง $550 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นในการอุ่นเตาจึงตั้งอุณหภูมิของหัวเผา $600\text{ }^{\circ}\text{C}$

3. จำลองสภาพการเผาไหม้ในเตาเผาด้วยโปรแกรม

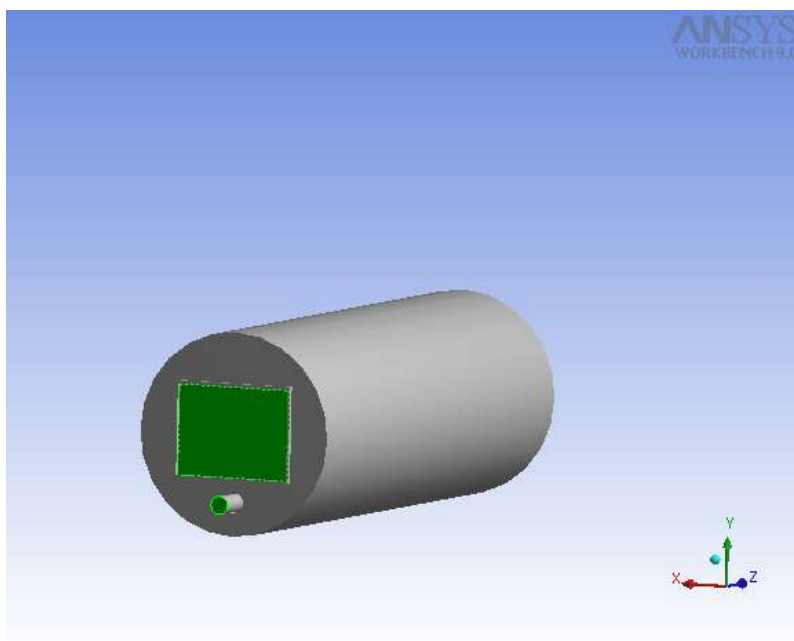
การศึกษานี้ใช้โปรแกรมในการจำลองสภาพการเผาไหม้ของ Methanol ในเตาเผาของเสียอันตรายที่จำลองขึ้นด้วยโปรแกรม Ansys Workbench และใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (CFD) ด้วยโปรแกรม CFX 5.7 โดยขอบเขตของการจำลองเฉพาะเตาเผาห้องแรก ซึ่งเป็นเตาเผาแบบหมุน

3.1 สร้างลักษณะรูปร่างภายในของเตาเผาแบบหมุน ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ตามลักษณะจริง โดยเตาเผามีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกนอน ยาว 2.4 เมตร หน้าตัดรัศมี 0.45 เมตร ค่าสัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3:1 ทำมุมก้ม 3 องศา มีช่องป้อนของเสีย และมีท่อพ่นอากาศเข้าไปยังห้องเผาไหม้ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 เซนติเมตร ทางด้านเข้ามีวาล์วปรับปริมาณอากาศ ผงด้านในของห้องเผาไหม้ทำจากวัสดุทนไฟ ไม่ต่ำกว่า $1,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ และทนการกัดกร่อนของสารเคมี ผงด้านนอกทำด้วยเหล็กแผ่นม้วนขึ้นรูป ระหว่างผนังด้านนอกและด้านใน มีฉนวนทนความร้อนทำจาก Ceramic fiber ห้องเผาไหม้จะหมุนได้โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง แล้วใช้โซ่เป็นตัวส่งผ่านกำลัง ความเร็วในการหมุน 2-3 รอบ ต่อนาทีสามารถรักษาความดันภายในห้องเผาไหม้ให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศได้ตลอดการเผาไหม้มีระบบนำแก๊สออกทางด้าน

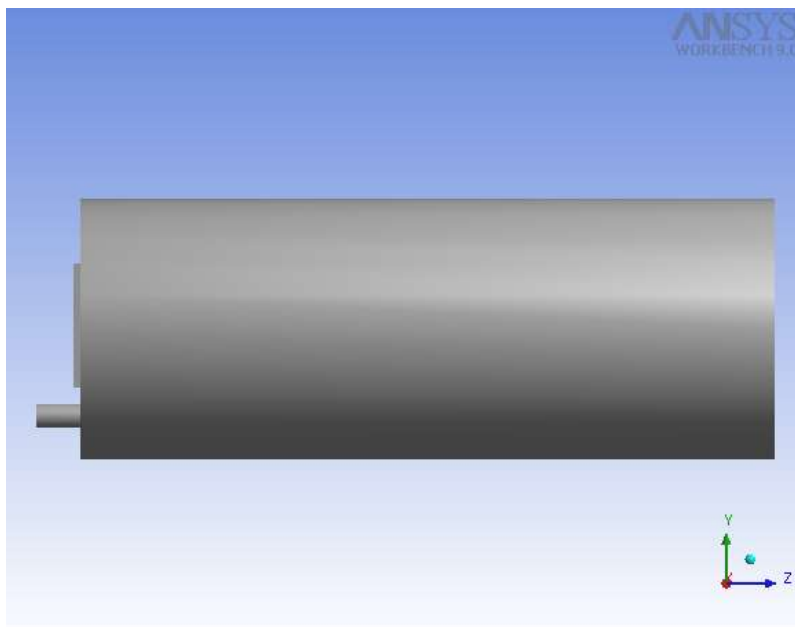
ท้ายของห้องเผาไหม้มีช่องระบายความดันในกรณีที่เกิดการเผาไหม้เกินกว่าอัตราที่ออกแบบอยู่ บริเวณที่ถ่ายเทได้โดยต่อเข้ากับระบบควบคุมมลพิษอากาศ



ภาพที่ 26 สร้างลักษณะของเตาเผาแบบหมุน ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 9.0



ภาพที่ 27 ช่องป้อนของเสียและท่อส่งอากาศ



ภาพที่ 28 แบบจำลองปริมาตรเตาเผาของเสียแบบหมุน

3.2 แบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นตารางย่อยๆ (Mesh) เพื่อคำนวณค่าผลลัพธ์ของการไหล และกำหนดคุณสมบัติของการไหลและเงื่อนไขขอบเขต โปรแกรมจะใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยใช้สมการสมดุลของมวล (1), โมเมนตัม (2) และการอนุรักษ์พลังงาน สมการที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับพิจารณาการไหลและการส่งผ่านความร้อน สามารถอธิบายด้วยสมการ ดังนี้ (Reddy and Gartling : 2000)

สมการสมดุลของมวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ	∇	คือ	gradient operator
	ρ	คือ	ค่าความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3
	$\mathbf{u}$	คือ	ค่าทิศทางความเร็วของของไหล, m/s

สมการสมดุลของโมเมนตัม

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \nabla \cdot \sigma + \rho f \quad (2)$$

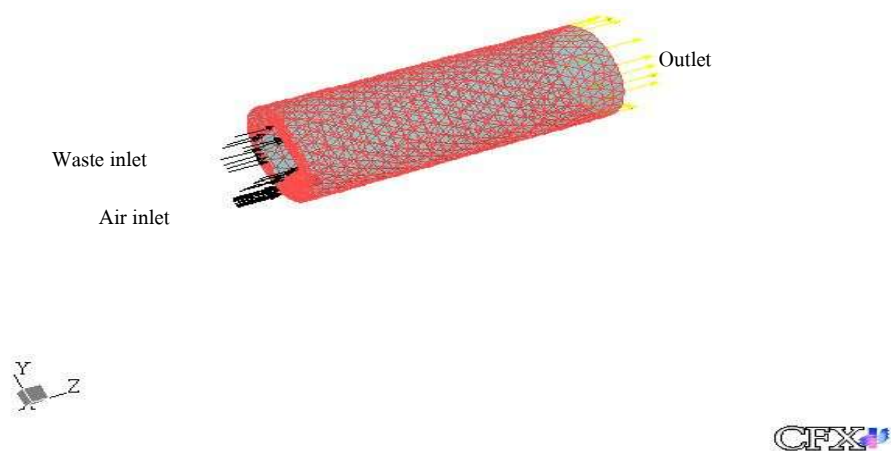
เมื่อ σ คือ Cauchy stress tensor, N/m^2
 f คือ ทิศทางแรงของวัตถุ

สมการสมดุลของพลังงาน

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{q} + Q + \Phi \quad (3)$$

เมื่อ T คือ ค่าอุณหภูมิ, $^{\circ}\text{C}$
 $\mathbf{q}$ คือ ทิศทางการไหลของความร้อน, W/m^2
 Q คือ internal heat generation
 Φ คือ viscous dissipation function

3.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Domain & Boundary Conditions) ด้วยโปรแกรม CFX



ภาพที่ 29 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

สมมติฐานในการจำลอง

- ลักษณะของปัญหา ประกอบด้วย ทางเข้า 2 ทาง คือ ทางเข้าของของเสีย ทางเข้าของอากาศ และทางออก 1 ทาง
- สามารถป้อนของเสียแบบต่อเนื่อง ในอัตราคงที่
- ในการจำลองใช้ Methanol เป็นตัวแทนของของเสียไวไฟ ซึ่งมีองค์ประกอบของ Methanol มากกว่า 80%
- กำหนดให้ทางเข้าที่หนึ่ง เป็นทางเข้าของของเสีย ซึ่งเป็น Methanol อัตราการป้อน 0.02 กก./วินาที (ประสิทธิภาพเตา 100 กก./ชม.) อุณหภูมิเริ่มต้นภายในเตาเพื่อการเผาไหม้ ที่ 250 °C, 300 °C และ 350 °C
- กำหนดให้ทางเข้าที่สอง เป็นทางเข้าของอากาศ กำหนดอัตราการจ่ายอากาศ 0 ชม³/วินาที, 21 ชม³/วินาที, 63 ชม³/วินาที และ 105 ชม³/วินาที (อากาศที่ 25 °C) อุณหภูมิเริ่มต้นภายในเตาเพื่อการเผาไหม้ ที่ 250 °C, 300 °C และ 350 °C
- การจำลองภายในเตา เป็นลักษณะการเผาไหม้ของของไหล ใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล
- ผนัง ไม่มีการสิ้นเปลือง เรายบ ไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ผนัง
- ค่าของอุณหภูมิเป็นจุดเดียวกันกับที่สามารถวัดได้ในเตาเผาจริง

3.2 รูปแบบการจำลอง

กำหนดการป้อนของเสียในช่วงอุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศต่างๆ ดังตารางที่ 2

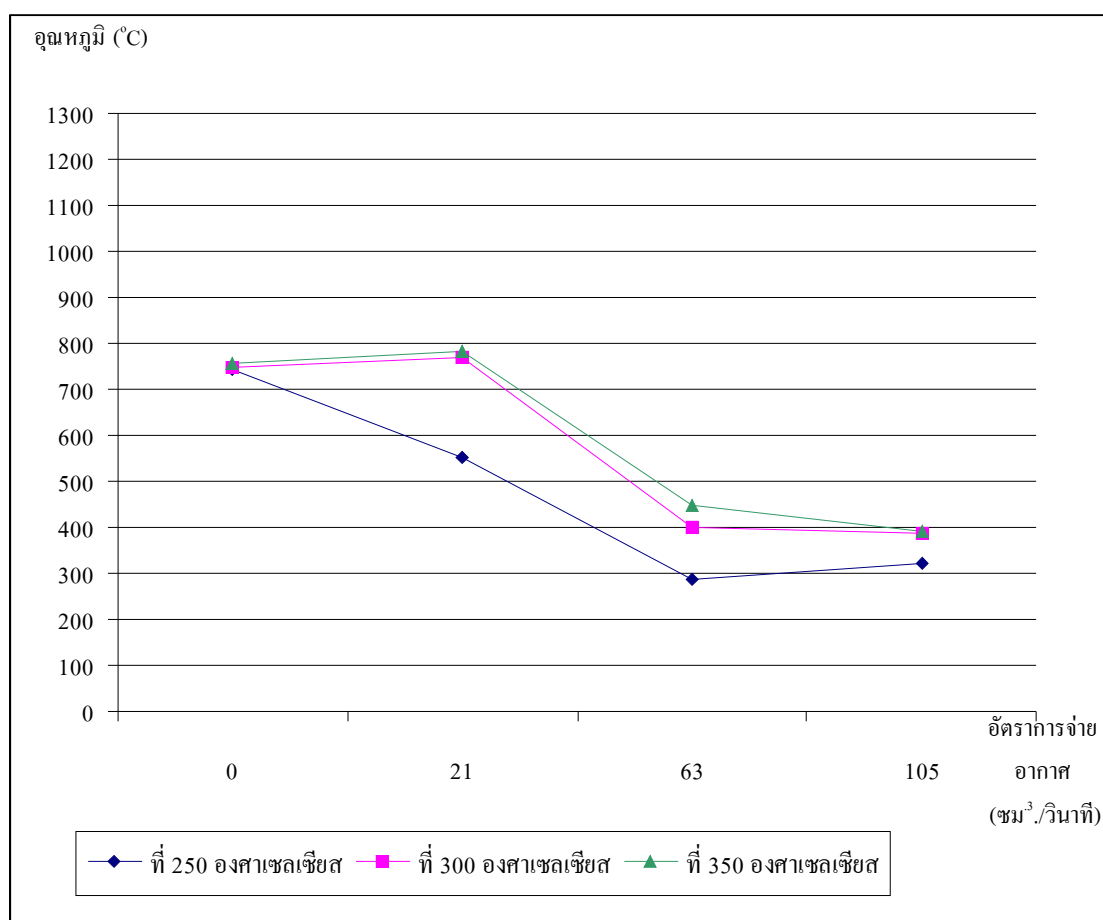
ตารางที่ 2 ช่วงอุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศ

อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อัตราการจ่ายอากาศ ชม. ³ /วินาที
250	0
250	21
250	63
250	105
300	0
300	21
300	63
300	105
350	0
350	21
350	63
350	105

หลังจากนั้นนำผลที่ได้จากการจำลอง มากำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเผาของเสียในระบบเตาเผาจริง และดูผลลัพธ์ของการกำหนดรูปแบบการเผาของเสียอันตราย

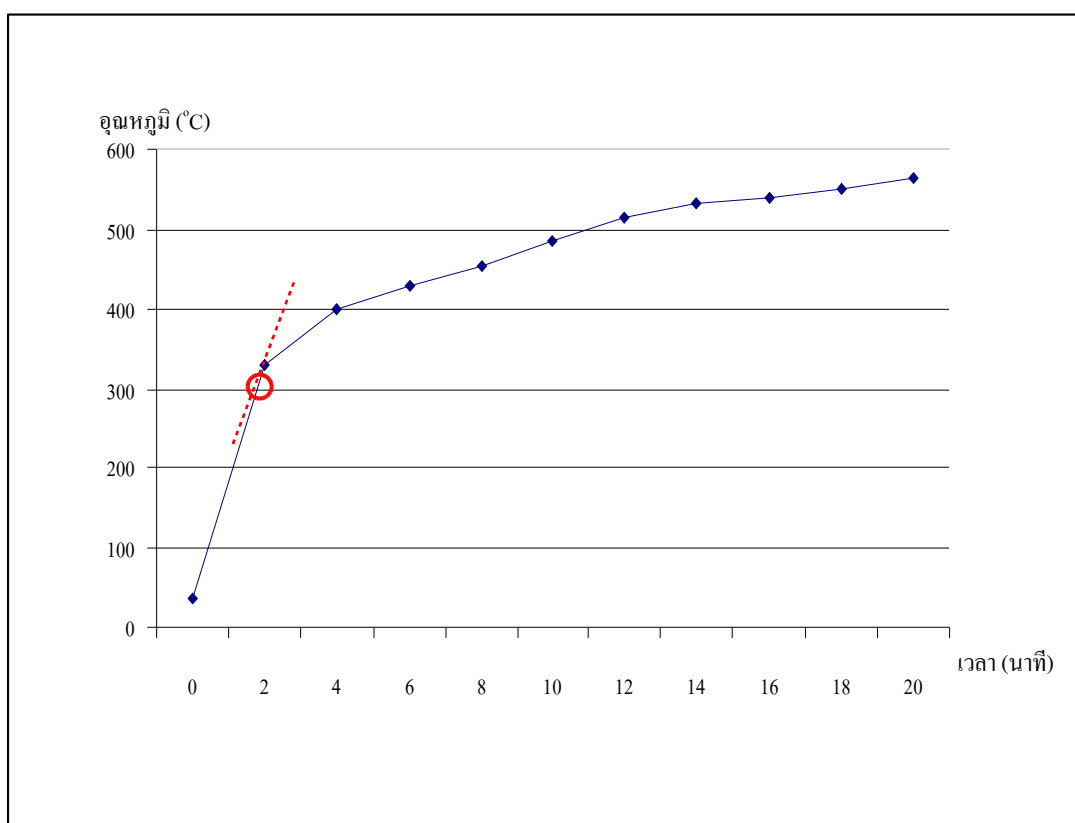
ผลและวิจารณ์

นำผลที่ได้จากการจำลอง มากำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการเผาของเสียในระบบเตาเผาจริง โดยผลที่ได้จากการจำลองการป้อนของเสียติดไฟให้เตาเผาในช่วงอุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศต่างๆ เป็นไปตามภาพที่ 30



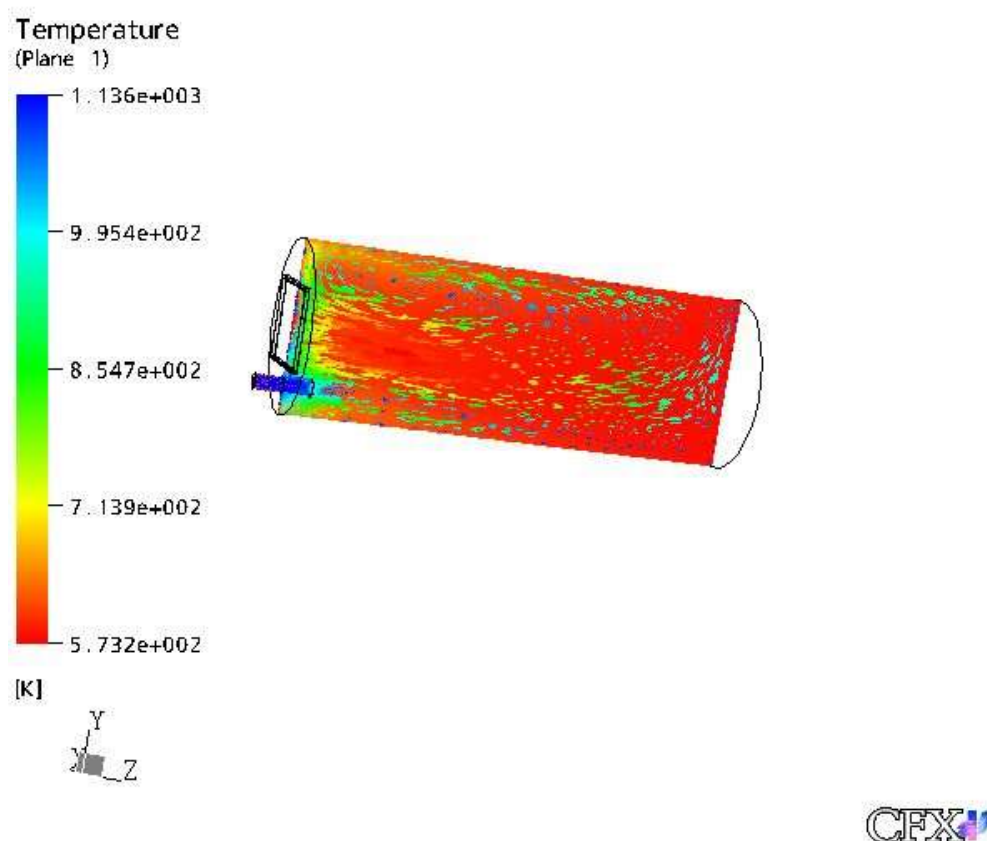
ภาพที่ 30 ผลของอุณหภูมิภายหลังการเผาไหม้ของของเสียติดไฟที่ป้อนเข้าเตาเผาในช่วง อุณหภูมิ และอัตราการจ่ายอากาศที่ต่างกัน

จากผลที่ได้ พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มป้อนของเสียไวไฟที่ต่างกัน จะให้ค่าอุณหภูมิหลังการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน และแปรผกผันกับอัตราการจ่ายอากาศ ในขั้นตอนการอุ่นเตาจึงจะเริ่มป้อนของเสียไวไฟ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ 300°C เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิจากการเผาไหม้ของหัวเผาเริ่มจะเพิ่มขึ้นช้า จึงควรป้อนของเสียไวไฟเพื่อช่วยให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเลือกปรับอัตราการจ่ายในช่วงอุ่นเตาที่ 0-21 ชม³/วินาที เพราะจะช่วยให้อุณหภูมิสูงเร็วขึ้น และมีอากาศพอเพียงต่อการเผาไหม้ในช่วงอุ่นเตา แต่ไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิการเผาไหม้โดยไม่จำเป็น



ภาพที่ 31 อุณหภูมิเริ่มต้นในการป้อนของเสียขณะอุ่นเตา

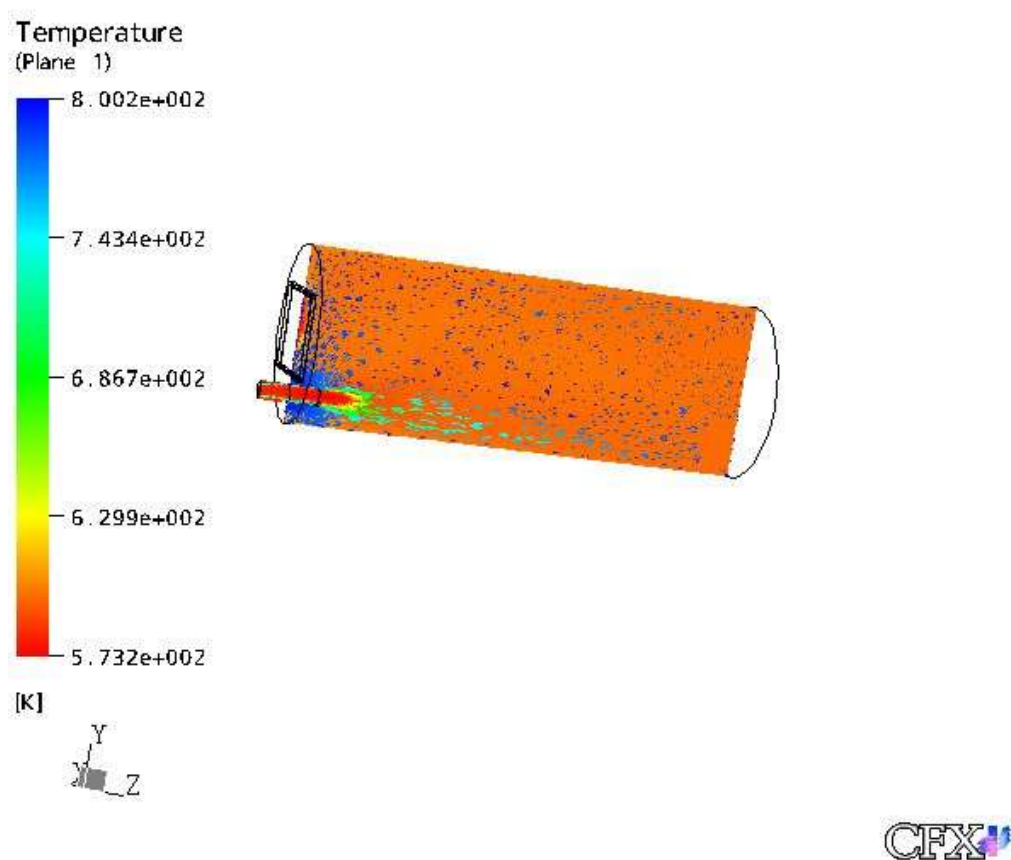
โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการเผาไหม้ดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิภายหลังการเผาไหม้ที่ได้จากการจำลอง อยู่ที่ 746°C (วัดในตำแหน่งตรงกับตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในเตาเผา) แสดงสภาพการกระจายของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของของเสียติดไฟ ตามภาพที่ 32



ภาพที่ 32 สภาพการกระจายของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของของเสียติดไฟ

เมื่อวิเคราะห์จากภาพ พบว่า อุณหภูมิมีการกระจายทั่วภายในเตาเผาโดยเฉพาะบริเวณด้านหน้าเตาที่เป็นทางเข้าของอากาศ และของเสีย จะมีอุณหภูมิสูง โดยเฉลี่ยอุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ $300^{\circ}\text{C} - 863^{\circ}\text{C}$

นอกจากนี้ยังได้ใช้โปรแกรมในการจำลองการเผาไหม้ของของเสียติดไฟและของเสียไม่ติดไฟ (ภาพที่ 34) ภายหลังการเผาไหม้อุณหภูมิเป็น $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงอุณหภูมิภายในเตา $300\text{--}527\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิจะลดลง เนื่องจากพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกดึงมาใช้ในการเผาไหม้ของเสียไม่ติดไฟ



ภาพที่ 33 สภาพการกระจายของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของของเสียติดไฟและของเสียไม่ติดไฟ

จากผลที่ได้จากการจำลองดังกล่าว นำไปใช้ในการเผาของเสียในระบบเตาเผาจริง การอุ่นเตาจะเริ่มป้อนของเสียไวไฟ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ 300 °C หลังการอุ่นเตาจนได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาทำลายของเสีย คือ ที่ 600 °C จึงเริ่มเผาโดยป้อนของเสียติดไฟก่อนในช่วงแรก เพื่อช่วยให้อุณหภูมิภายในเตาส่งคงที่ และปรับอัตราการจ่ายอากาศที่ 21-63 ซม³/วินาที เพื่อให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นให้ป้อนของเสียติดไฟสลับกับของเสียไม่ติดไฟ เพื่อทำลายของเสียประเภทไม่ติดไฟเนื่องจากเป็นของเสียที่ใช้พลังงานในการเผาทำลายสูง ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการเผาทำลายของเสียอันตรายแบบเก่า และแบบใหม่

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบขั้นตอนการเผาทำลายของเสียอันตราย

ขั้นตอน	แบบเก่า	แบบใหม่
อุ่นเตา	ให้เตาเผาทำการเผาโดยใช้น้ำมัน ฉีดเข้าไปเป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นเตา เผาจนถึงอุณหภูมิ ประมาณ 600 °C (ประมาณ 20 นาที) จึงเริ่มป้อนของ เสีย	ให้เตาเผาทำการเผาโดยใช้น้ำมันฉีด เข้าไปเป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นเตา เเผาจน ถึงอุณหภูมิ ประมาณ 300 °C (ประมาณ 5 นาที) จึงเริ่มป้อนของเสียติดไฟ เพื่อ ช่วยเพิ่มอุณหภูมิ จนอุณหภูมิสูงคงที่ ประมาณ 600 °C
ป้อนของเสีย	ป้อนของเสียติดไฟกับของเสียไม่ ติดไฟสลับกันไป	จัดแยกของเสียเป็นของเสียติดไฟ และไม่ติดไฟ และจัดของเสียเพื่อป้อน เข้าเตาเป็นชุดๆ โดยในชุดแรกให้จัดของ เสียติดไฟ ชุดที่ 2 ป้อนชุดของเสียติดไฟ ผสมกับของเสียไม่ติดไฟ ในสัดส่วน 1:2 กรณีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เริ่มลดลง ให้เพิ่มอุณหภูมิโดยป้อนของเสียติดไฟ 1 ชุด

ในการเผาของเสียอันตรายโดยใช้รูปแบบการอุ่นเตา และการแบ่งประเภทของเสียติดไฟ และไม่ติดไฟ เริ่มใช้ในการเผาของเสียในระบบเตาเผา เมื่อเดือนสิงหาคม 2548 และได้ใช้รูปแบบดังกล่าวเผาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน โดยมีผลการใช้พลังงาน ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ใช้ในการเผาของเสียอันตราย

เดือน ปี	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร)	ปริมาณของเสียอันตรายที่ทำการเผา (กิโลกรัม)	อัตราการใช้น้ำมัน (ลิตร/กิโลกรัม)
Jan-48	407	630.6	0.65
Feb-48	398	812.9	0.49
Mar-48	596	1013	0.59
Apr-48	191	340.5	0.56
May-48	398	703.7	0.57
Jun-48	427	702.7	0.61
Jul-48	401	633.2	0.63
Aug-48	415	852.5	0.49
Sep-48	199	386.4	0.52

ที่มา : รายงานสรุปผลการปฏิบัติงานการจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการด้วยระบบเตาเผาของเสียอันตราย ประจำปีงบประมาณ (2548)

จากผลของการจัดรูปแบบการเผาของเสียอันตราย สามารถประหยัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลลง จากเดิมเฉลี่ยการใช้น้ำมันใน อยู่ที่ 0.68 ลิตร ต่อของเสีย 1 กิโลกรัม (รายงานสรุปผลการปฏิบัติงานการจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการด้วยระบบ เตาเผาของเสียอันตราย ประจำปีงบประมาณ 2547) ลดลงมาเหลือ 0.50 ลิตร ต่อของเสีย 1 กิโลกรัม

นอกจากนี้การจัดรูปแบบการเผาทำลายที่เหมาะสม สามารถเพิ่มปริมาณการเผาของเสียต่อครั้งได้ ทำให้ลดการตกค้างของของเสียอันตราย โดยมีการเปรียบเทียบปริมาณของของเสียที่เผาทำลายในปี 2547 และ 2548 ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณของเสียและของเสียอันตรายที่เผาทำลาย เปรียบเทียบปี 2547 – 2548

ปี พ.ศ.	2547	2548
จำนวนครั้งในการเผา (ครั้ง)	36	22
น้ำหนักของเสียอันตราย (กก.)	8,618.50	7,528.10
น้ำหนักเฉลี่ยที่เผาทำลายต่อครั้ง	239.4	342.2

ที่มา : รายงานสรุปผลการปฏิบัติงานการจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการด้วยระบบเตาเผาของเสียอันตรายประจำปีงบประมาณ (2548)

ค่าเฉลี่ยในการเผาทำลายปี 2548 เพิ่มขึ้นจากปี 2547 จาก 239.4 กิโลกรัมต่อครั้ง เป็น 342.2 กิโลกรัมต่อครั้ง เพิ่มขึ้น 102.8 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นเพิ่มขึ้น 42.9 %

การป้องกันอันตรายขณะปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย ควรปฏิบัติ ดังนี้

1. สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลได้แก่ แว่นตา ชุดปฏิบัติงาน ถุงมือป้องกันสารเคมี หน้ากากป้องกัน ไอระเหยจากของเสียอันตราย และรองเท้า Safety (แบบหุ้มส้น) ทุกครั้งในขณะจับถือของเสียอันตราย
2. ในขณะที่ระบบป้อนของเสียอันตรายกำลังทำงาน(จะมีไฟหมุนสีเหลืองเตือนว่าขณะนี้ชุดป้อนของเสียกำลังทำงานอยู่)ผู้ปฏิบัติงานไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณประตู เปิด-ปิด เตาเผา และห้องเผาไหม้ ควรอยู่ในบริเวณที่ปลอดภัย เช่น ในห้องควบคุม เป็นต้น
3. หลีกเลี่ยงกับการสัมผัสโดยตรงกับพื้นผิวที่มีความร้อนของเตาเผา เช่น ผนังห้องเผาไหม้ ท่อน้ำหมุนวน ปล่องระบายอากาศ
4. ให้สังเกตสิ่งผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆเป็นระยะ เช่น การสังเกตสภาพไอเสียที่ออกทางปล่องระบายของปล่องเตาเผา (Stack) ทางจอมอนิเตอร์ ว่ามีควันดำหรือควันขาวหรือไม่ ขณะปฏิบัติงาน เพื่อพิจารณาการปรับปริมาณอากาศที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้ (ภาพที่ 36) หากควันดำอาจเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ควรปรับวาล์วเพิ่มการจ่ายอากาศ หากควันขาวควรปรับวาล์วลดการจ่ายอากาศ



ภาพที่ 34 ปล่องของเตาเผาของเสียอันตราย

การควบคุมมลพิษจากการเผาของเสียอันตรายเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องเฝ้าระวังไม่ให้เกิดการดำเนินการของเตาเผาก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหรือชุมชนข้างเคียง จึงมีแผนการตรวจคุณภาพอากาศจากปล่องเตาเผาเป็นประจำ ปีละ 2 ครั้ง โดยมีผลการตรวจตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดมลพิษจากปล่อง

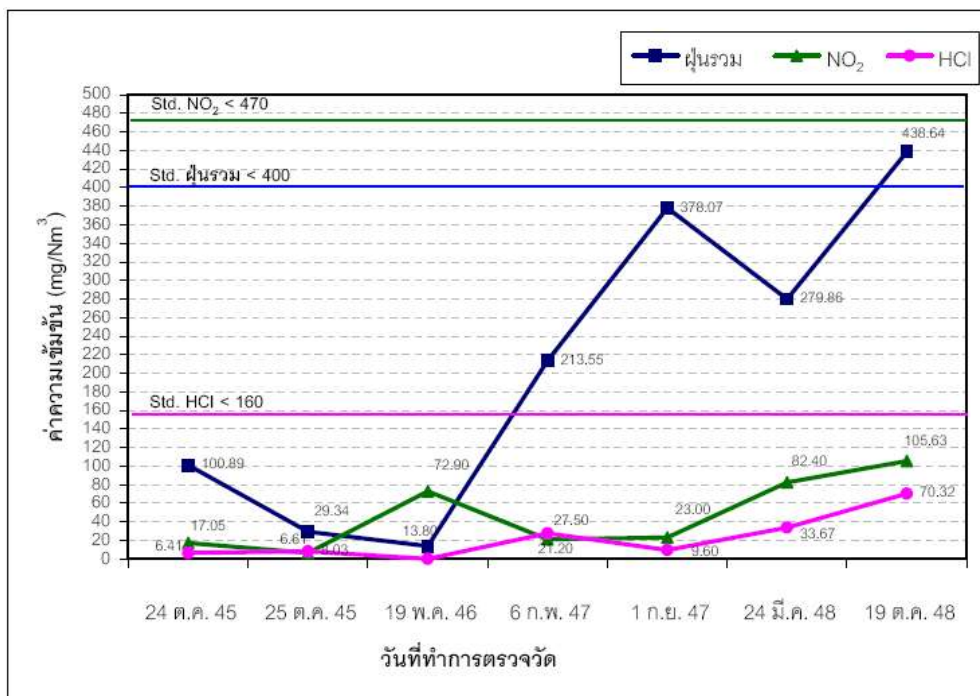
วันที่ เก็บตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่ามาตรฐาน	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ปริมาณลมเฉลี่ย (m ³ /s)	ความชื้น (%)	ฝุ่น (TSP) (mg/Nm ³)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (mg/Nm ³)	CO (ppm)	HCl (mg/Nm ³)
		มาตรฐาน 1	-	-	-	-	-	-	-	<690	<160
		มาตรฐาน 2	-	-	-	-	<400	<30	<470	-	-
24 ต.ค. 45	ปล่อง(Stack)	1,2	62	1.79	0.22	12.41	100.89	1.82	17.05	2.16	6.41
25 ต.ค. 45	ปล่อง(Stack)	1,2	58	2.45	0.31	10.43	29.34	1.80	6.61	1.68	8.03
19 พ.ค. 46	ปล่อง(Stack)	1,2	63	4.50	0.38	-	13.80	1.16	72.90	51.90	-
6 ก.พ. 47	ปล่อง(Stack)	1,2	40	4.32	0.54	24.21	213.55	0.72	21.20	174.50	27.50
1 ก.ย. 47	ปล่อง(Stack)	1,2	64	3.01	0.39	13.53	378.07	1.62	23.00	161.70	9.60
24 มี.ค. 48	ปล่อง(Stack)	1,2	68	1.60	0.20	16.62	279.86	1.82	82.40	7.66	33.67
19 ต.ค. 48	ปล่อง(Stack)	1,2	65	2.79	0.35	20.19	438.64	2.87	105.63	7.03	70.32
หมายเหตุ: มาตรฐาน 1 = มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม(9 พ.ค.2548)											
มาตรฐาน 2 = มาตรฐานตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (7 ส.ค.2540)											
N = สภาวะอ้างอิง (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท)											

ที่มา : รายงานสรุปผลการปฏิบัติงาน

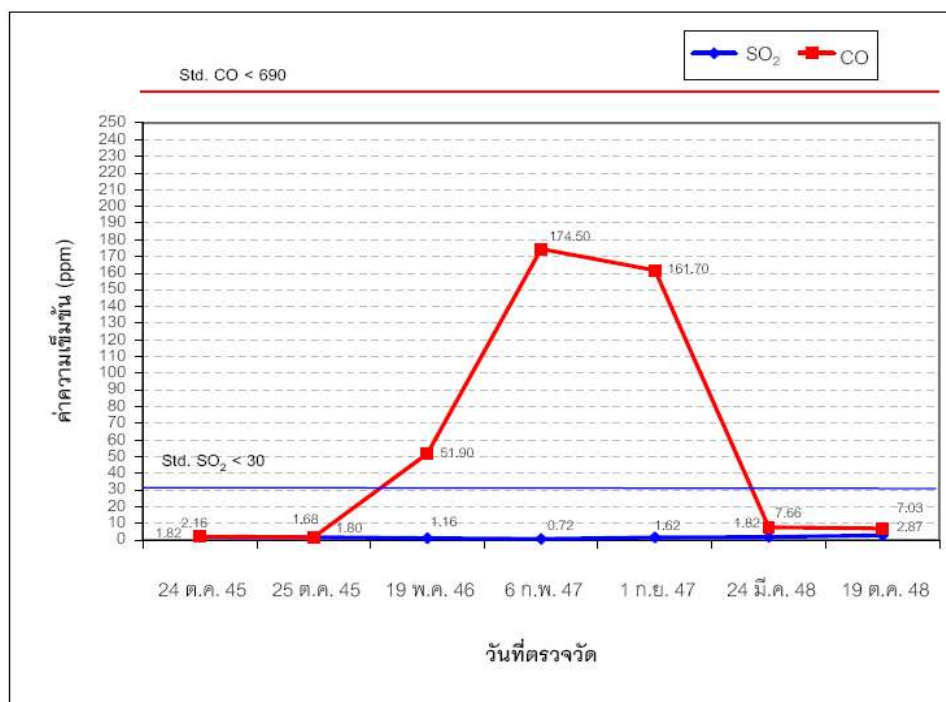
การจัดการของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ

ด้วยระบบ เตาเผาของเสียอันตราย

ประจำปีงบประมาณ (2548)



ภาพที่ 35 กราฟแสดงผลการตรวจวัดฝุ่น, NO₂, HCl



ภาพที่ 36 กราฟแสดงผลการตรวจวัด SO₂, CO

ผลการตรวจคุณภาพอากาศเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2548 เป็นผลที่ได้จากการจัดรูปแบบการเผา ตามที่ได้จากการจำลอง พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ฝุ่นรวม (TSP), SO_2 , NO_2 , CO และ HCl พบว่า SO_2 , NO_2 , CO และ HCl ที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม และมาตรฐานกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม แต่พบว่า ค่าฝุ่นรวม เกินมาตรฐาน เนื่องจากในวันที่ทำการตรวจวัด หัวเผาของห้องเผาไหม้หลังเกิดชำรุด จึงทำให้ห้องเผาไหม้หลังไม่สามารถเผาถ่านได้ แต่หลังจากแก้ปัญหาแล้วระบบก็สามารถเผาไหม้ได้ตามปกติ

นอกจากมาตรฐานดังกล่าวแล้ว ได้มีประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง วิธีการตรวจวัดค่า ความทึบแสงของฝุ่นละอองด้วยเครื่องวัดความทึบแสง ประกาศ ณ วันที่ 9 ธันวาคม 2548 ซึ่งจะต้อง นำมาใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจวัดมลพิษครั้งต่อไป

สรุป

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำนายผลของการเผาไหม้ และทดลองเพื่อหารูปแบบการปฏิบัติปฏิบัติงานเผาของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ประหยัดพลังงาน และปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

1. รูปแบบการปฏิบัติงานที่เหมาะสม

1.1 การที่เตาเผามีความร้อนสะสมอยู่จากการปฏิบัติงานของวันที่ผ่านมา ทำให้สามารถลดเวลาของการที่เตาเผามีอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติ ($600^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$) ได้เร็วขึ้นและควร ปฏิบัติงานเตาเผาอย่างต่อเนื่องจะทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องเผาไหม้ รวมทั้งช่วยเพิ่มอัตราการเผาทำลายของเสีย (เริ่มเผาได้เร็วขึ้น) ของเสียอันตรายจึงไม่ต้องค้างในอาคารเก็บของเสีย นาน

1.2 โดยทั่วไปการอุ่นเตาเผาให้มีอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติมักใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงน้ำมันและใช้เวลานานซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น การใช้ของเสียคืดไฟซึ่งมีค่าความร้อนสูงช่วยในการเผาไหม้ช่วงอุ่นเตาสามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการเผาของเสียเฉลี่ย 0.68 ลิตร/กิโลกรัม เหลือ 0.50 ลิตร/กิโลกรัม

1.3 ในขั้นตอนการอุ่นเตาจะเริ่มป้อนของเสียไวไฟ เมื่ออุณหภูมิภายในเตาอยู่ที่ประมาณ 300°C เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิจากการเผาไหม้ของหัวเผาเริ่มจะเพิ่มขึ้นช้า จึงควรป้อนของเสียไวไฟเพื่อช่วยให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเลือกปรับอัตราการจ่ายในช่วงอุ่นเตาที่ 0-21 ซม³/วินาที เพราะจะช่วยให้อุณหภูมิสูงเร็วขึ้น และมีอากาศพอเพียงต่อการเผาไหม้ในช่วงอุ่นเตา แต่ไม่มากจนเกินไปจนทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิการเผาไหม้โดยไม่จำเป็น หลังการอุ่นเตาจนเข้าสู่สภาวะการทำงานปกติ จึงเริ่มเผาโดยของเสียประเภทคืดไฟเข้าเผาในช่วงแรกของการปฏิบัติงานเพื่อลดภาระการใช้เชื้อเพลิงน้ำมัน และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม หลังจากนั้นควรป้อนสลับของเสียประเภทคืดไฟและไม่คืดไฟ เพื่อทำลายของเสียประเภทไม่คืดไฟเนื่องจากเป็นของเสียซึ่งใช้พลังงานในการเผาทำลายสูง และปรับอัตราการจ่ายอากาศที่ 63-105 ซม³/วินาที เพื่อให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

1.4 การสังเกตสภาพการเผาไหม้จะช่วยให้สามารถเผาทำลายของเสียได้มากขึ้น ได้ด้วยการป้อนของเสียติดไฟเพื่อเข้าไปช่วยเผาทำลายของเสียที่ไม่ติดไฟ โดยน้ำหนักเฉลี่ยการเผาทำลายเดิม 239.4 กิโลกรัม/ครั้ง เพิ่มขึ้นเป็น 342.2 กิโลกรัม/ครั้ง คิดเป็นเพิ่มขึ้น 42.9 %

2. การแบ่งประเภทของเสีย พิจารณาจากองค์ประกอบของของเสียและค่าความร้อน

2.1 ของเสียติดไฟที่ทำการป้อนได้แก่ ของเสียที่มีองค์ประกอบของอะซิโตน เฮกเซน ไคคลอโลมีเทน เอทิลอะซิเตท เป็นต้น

2.2 ของเสียไม่ติดไฟที่ทำการป้อนได้แก่ ของเสียที่มีองค์ประกอบของน้ำ ไนตริกแอซิด ฟอรัลดีไฮด์ เป็นต้น

3. ปัจจัยในการปฏิบัติงานที่ควรสังเกตเป็นพิเศษ

3.1 อุณหภูมิห้องเผาไหม้ ซึ่งไม่ควรสูงหรือต่ำเกินไปดังที่ได้กล่าวถึงแล้ว

3.2 ของเสียสารเคมีที่ทำให้เกิดสภาวะผิดปกติในห้องเผาไหม้รวมทั้งก๊าซไอเสียที่ออกทางปล่องระบายเพื่อเป็นข้อสังเกตในการเผาทำลายครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการจำลองการเผาไหม้ของของเสียหลายๆชนิด คุณสมบัติการเผาทำลาย เพื่อการจัดของเสียเข้าเผาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด
2. การใช้โปรแกรมในการจำลองการเผาไหม้แทนการเผาจริง มีประโยชน์อย่างมากต่อผู้ทำการทดลอง เนื่องจากไม่ต้องทดลองเผาในระบบจริง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทั้งในด้านมลพิษและความปลอดภัยต่อผู้ทดลอง ทั้งยังประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วย แบบจำลองขั้นต้นนี้ควรจะนำไปสู่การพัฒนาการจำลองในระบบเตาเผาที่มีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นต่อไป
3. ควรมีวิธีการหาค่าความร้อนของเสียที่แม่นยำกว่านี้เพื่อให้สามารถควบคุมการเผาไหม้ได้
4. ควรมีการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซไอเสียแบบต่อเนื่องเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิเพื่อให้สามารถเห็นแนวโน้มการเกิดของก๊าซไอเสีย ได้อย่างชัดเจนและแม่นยำขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤษ มณีรัตน์. 2542. การออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาแบบ Rotary Kiln. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิตติพงษ์ กิจพลาไพบูลย์. 2536. การศึกษาพฤติกรรมของเตาเผาขยะและแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัยวัฒน์ งามเจตน์วัฒน์. 2539. ปริมาณสารมลพิษทางอากาศจากปล่องระบายควันของเตาเผามูลฝอย ติดเชื้อแบบของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิชา (วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณพร บุญมี, คุณพัชร เอี่ยมเกื้อกูล และสุรศักดิ์ ชื่นพิทักษ์ธรรม. 2538. การศึกษาการเผาไหม้ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในเตาเผาขยะแบบหมุนซึ่งมีความสามารถในการเผาขยะ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธันวา วิรุฬห์กุล, สมาน เลิศศิริสุนทร และสิริฉัตร สมัยกุล. 2538. การเผาจากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียในเตาเผาขยะแบบหมุน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุชัย ศศิวิมลพันธุ์, สำเริง จักรใจ, สุรเชษฐ์ ชูติมา, สุรัช บวรเศรษฐนันท์, สุรัช สนิทใจ, ณรงค์ ปรายเนตร, บุญยัง สายสีแก และสมพล ดันดิอมรพงษ์. คู่มือการปรับแต่งหัวเผา. แหล่งที่มา : <http://www.kmutt.ac.th/TEC2/Tuneup%20Burner/tuneup.pdf>, 24 ธันวาคม 2548

เลอศักดิ์ โคสูงเนิน. 2544. การควบคุมมลภาวะทางอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก.

วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี.

ศูนย์วิจัยการเผาของเสีย. 2545. โครงการวิจัยและพัฒนาเตาเผาของเสียจากห้องปฏิบัติการ.

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สำนักงานรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร. 2538. โรงงานเผาขยะมูลฝอย. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.

สัมพันธพาณิชย์, กรุงเทพฯ.

Brunner, C. R. 1994, **Hazardous Waste Incineration**. 2nd ed. McGraw – Hill Inc, United States.

Deschaine, M. L. 2000. Using Linear Genetic Programming to Develop a C/C++ Simulation

Model of a Waste Incinerator. Available Source: <http://citeseer.ist.psu.edu/correct/396498>, June 10, 2005

Denison, M., Montgomery C., Wei Zhao, Bockelie M. and Sarofim A., 2005, “**Advanced**

Modelling of Incineration of Building Decontamination Residue”, AWMA 98th

Annual Meeting; Minneapolis, MN; June 21-24, 2005.

Gill, J.H. and Quiel, J. M. 1993, **Incineration of Hazardous, Toxic, and Mixed Wastes**. North

American Mfg. Co., United States of America.

Reddy, J.N. and Garting, D.K. 2000, **The Finite Element Method in Heat Transfer and Fluid**

Dynamics. 2nd ed. CRC Press Inc, United States

Roh, S. D. 2001. The numerical modelling and process simulation for the fault diagnosis of rotary kiln incinerator. Waste Management & Research. Available Source: [http://wmr.sagepub.com/ cgi/content/abstract/19/5/403](http://wmr.sagepub.com/cgi/content/abstract/19/5/403), June 10, 2005

Theodore, L. and Reynold J. 1987. **Introduction to Hazardous Waste Incineration.** , John Wiley & Sons, United States of America.

William, S.R. 1990, **CRC Handbook of Incineration of Hazardous Waste/editor.** CRC Press Inc, United States

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช.

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช.

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
1. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร	
phenol + sulfuric acid + chloroform	600 มิลลิลิตร / สัปดาห์
สารละลายที่มี cyanide	12 ลิตร / สัปดาห์
สารละลายที่มี lead	1 ลิตร / สัปดาห์
Plates	268 ชิ้น/เดือน
Formaldehyde	1 ลิตร / เดือน
Gel ปนเปื้อนด้วย Ethyl Bromine	20 ชิ้น / เดือน
Rubber glove with Ethyl Bromine	100 ชิ้น / เดือน
Fungi	80 ชิ้น/เดือน
หลอดพลาสติกสำหรับเก็บเชื้อ	20 หลอด/เดือน
Infectious waste	4 ลิตร
Phenol sulfuric	1 ลิตร
Centrifuse หลอด	100 หลอด/ครั้ง
Tip	550 อัน/ครั้ง
Perchloric acid 0.5 N	50 มิลลิลิตร / ครั้ง
Sulfuric acid 0.01 N	600 มิลลิลิตร / ครั้ง
Acetonitrile	200 มิลลิลิตร / ครั้ง
Sep pak C18 cartridge	50 อัน / ครั้ง
ถุงมือยางปนเปื้อนสารเคมี	1 คู่ / เดือน
Chloroform	2 ลิตร/เดือน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
Hexane	500 มิลลิลิตร / เดือน
Methanol	1 ลิตร / เดือน
Benzene	20 มิลลิลิตร / เดือน
Acetylchloride	10 มิลลิลิตร / เดือน
Acetone	1 ลิตร / เดือน
Isooctane	500 มิลลิลิตร / เดือน
B - mercaptoethanol	50 มิลลิลิตร / ครั้ง
Acetic acid	100 มิลลิลิตร / ครั้ง
Trichloroacetic acid	100 มิลลิลิตร / ครั้ง
polyacrylamine	10 มิลลิลิตร / ครั้ง
Infectious waste	40 ชัน / เดือน
2. ห้องปฏิบัติการเขีอราวิทยา	
Plates	3 กิโลกรัม / วัน
Fixing reagent	> 10 มิลลิลิตร / ปี
Acetone	> 1000 มิลลิลิตร / ปี
Resin (waste)	> 10 มิลลิลิตร / ปี
ภาชนะแก้วบรรจุลึนทรีย์ ที่แตกหัก	> 0.5 กิโลกรัม / ปี

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
3. ห้องปฏิบัติการเก็บรักษาสายพันธุ์จุลินทรีย์	
จานเพาะเชื้อพลาสติก	1000 อัน/สัปดาห์
อาหารเลี้ยงเชื้อ	20 ลิตร/สัปดาห์
Broken borasilicate glass	5 กิโลกรัม/ปี
Pipette tip พลาสติก	5 กิโลกรัม/ปี
สารผสม o – phenelenedia mine ,HCl , ethyl acetate	5 ลิตร/ปี
TE – phenol	5 ลิตร/ปี
Haxane	5 ลิตร/ปี
Chloroform	5 ลิตร/ปี
4. ห้องปฏิบัติการวิจัยทรัพยากรชีวภาพ	
กรดต่าง ๆ	1 ลิตร/เดือน
ตัวทำละลายต่าง ๆ	20 ลิตร/วัน
กากดินไม้ต่าง ๆ	5 กิโลกรัม/เดือน
5. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหมัก	
จานอาหารเลี้ยงเชื้อพลาสติก	240 ชิ้น/เดือน
อาหารเลี้ยงเชื้อ	6 ลิตร/เดือน
แอลกอฮอล์	18 ลิตร/ปี
น้ำมันเครื่อง	1 ลิตร/ปี
กระดาษกรองเซลล์	700 แผ่น/เดือน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
Tip & Append off	1000 ชิ้น/เดือน
เครื่องแก้ว	50 กิโลกรัม/เดือน
ใบมีดผ่าตัด sterilize	10 ใบ/เดือน
Magnesium sulfate	5 กิโลกรัม/ปี
ถุงพลาสติก	1 กิโลกรัม/เดือน
จุกสำลี	1 กิโลกรัม/3 เดือน
เศษกระดาษ+กล่องกระดาษ	4 กิโลกรัม/เดือน
6. ห้องปฏิบัติการตรวจสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ	
Micro หลอด ขนาด 1.5 มิลลิลิตร	2000 หลอด/เดือน
Cell culture Plasticware	20 กิโลกรัม/เดือน
Ethidium bromide	2 ลิตร/เดือน
MTT in 100% DMSO	2 ลิตร/เดือน
7. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเซลล์สัตว์	
พลาสติกที่ใช้แล้ว	520 กิโลกรัม/ปี
อุปกรณ์ที่เป็นแก้ว	10 กิโลกรัม/ปี
ของมีคม เช่น เข็ม ใบมีด	กล่อง/ปี
สารละลายเซลล์เพาะเลี้ยง	100 ลิตร/ปี
DMSO	48 ลิตร/ปี
MTT	12 กรัม/ปี

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
Formaldehyde	10 มิลลิลิตร/ปี
Mitomycin (MMC)	10 มิลลิลิตร/ปี
Crystal violet	130 มิลลิลิตร/ปี
Trypan blue	10 มิลลิลิตร/ปี
Neutral red	
Chlonox	12 แกลอน/ปี
YX	2 แกลอน/ปี
70 – 95 % ethanol	36 ลิตร/ปี
8. ห้องปฏิบัติการอนุชีววิทยา	
Phenol	10 มิลลิลิตร/เดือน
Chloroform	20 มิลลิลิตร/เดือน
Ethidium	100 มิลลิลิตร/เดือน
Magnesium sulfate	1 กิโลกรัม /เดือน
ตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล	1 – 2 ลิตร/เดือน
ตัวทำละลายอินทรีย์กรด	500 มิลลิลิตร/เดือน
Tip ที่ใช้แล้ว	10 กิโลกรัม/เดือน
9. ห้องปฏิบัติการหน่วยบริการชีวภาพ	
Acetonitrile/Dichloromethane/Methanol	5 ลิตร / เดือน
Tetrazole/Trichloroacetic acid/Trifluoroacetic acid	3 ลิตร / เดือน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC)	
1-Methylimidazole/Iodine/Phosphoramidite	3 ลิตร / เดือน
Tetrahydrofuran/Ethyl acetate/N-Butyl Chloride	3 ลิตร / เดือน
N-Methylpiperidine/Haptene	2 ลิตร / เดือน
Phenylisothiocyanate	2 ลิตร / เดือน
Ethidium Bromide	2 ลิตร / เดือน
เลือดและภาชนะบรรจุจากการวิจัยโรคเอดส์	1 ถุง/เดือน
10. ห้องปฏิบัติการ Anti – TB Lab	
Ethidium Bromide	1.5 ลิตร/สัปดาห์
Phenol/chloroform	< 10 มิลลิลิตร/สัปดาห์
Cultures/organisms	20 ชิ้น/สัปดาห์
กระดวยพิษงู	3 ม้วน/สัปดาห์
ถุงมือ	5 – 10 คู่/สัปดาห์
Tip	60 – 80 อัน/สัปดาห์
Micro titer plate	40 – 50 อัน/สัปดาห์
Media (broth)	40 – 100 มม./สัปดาห์
11. ห้องปฏิบัติการโมโนโคลนอลแอนติบอดี	
P – Nitrophenyl Phosphat	50 มิลลิลิตร/เดือน
Bis – Acrylamide	50 มิลลิลิตร/เดือน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	
1. ห้องปฏิบัติการ Thermal Spray Lab	
Ni โลหะผสม	3 กิโลกรัม/ 3 เดือน
Cr โลหะผสม	0.5 กิโลกรัม/ 3 เดือน
Zn	0.5 กิโลกรัม/ 3 เดือน
Cu	0.5 กิโลกรัม/ 3 เดือน
เซรามิกส์	1-2 กิโลกรัม/ 3 เดือน
Nitric acid	1 ลิตร/เดือน
Acetone	1 ลิตร/เดือน
2. ห้องปฏิบัติการ Polymer chemistry	
Methanol	1 ลิตร/สัปดาห์
Acetone	1 ลิตร/วัน
Hydrochloric acid	1 ลิตร/เดือน
3. โครงการการขึ้นรูปอลูมินา	
Alumina Slips & Alumina Powders	5-10 ลิตร/สัปดาห์
4. ห้องปฏิบัติการ XRD & XRF	
Dilithinm Tetraborate	100 กรัม/สัปดาห์
Sample powders	100 กรัม/วัน
Sample pieces	5 ชิ้น/สัปดาห์
Ethanol	100 มิลลิลิตร/สัปดาห์
Sodium Hydroxide	100 มิลลิลิตร/สัปดาห์
Glass slide	2 ชิ้น/วัน
Tissue	ทุกวัน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	
5. ห้องปฏิบัติการ MTEC Cell Culture	
BGJb Completed media	< 0.5-1 ลิตร/สัปดาห์
DMEM Completed media	< 0.5-1 ลิตร/เดือน
Plate count agar	< 200 มิลลิลิตร/เดือน
Sterikon plus bioindicator for check autoclave	< 10 มิลลิลิตร/ 3 เดือน
25 % glutaraldehyde	<1 มิลลิลิตร/เดือน
Fixative reagent	< 200 มิลลิลิตร/เดือน
Washing solution	< 200 มิลลิลิตร/เดือน
pH Buffer pH 4.01,7.00,10.01	< 50 มิลลิลิตร/pH/เดือน
Freezing mixture	< 10 มิลลิลิตร/ เดือน
KBr pellet	100 กรัม/เดือน
ชิ้นตัวอย่าง (ชิ้นพลาสติก)	100 กรัม/เดือน
6. ห้องปฏิบัติการ Polymer	
Sodium Hydroxide (8-50 %)	0.5 ลิตร/วัน
Hydrochloric acid (4-8 %)	0.5 ลิตร/วัน
Acetic acid (2%)	0.5 ลิตร/สัปดาห์
Dichloromethane	1.5 ลิตร/1 สัปดาห์
Diethyl ether	1 ลิตร/1 สัปดาห์
Acetone	1.4 ลิตร/ 1 เดือน
Methanal	0.2 ลิตร/ 1 สัปดาห์
Isopropanol	1.0 ลิตร/1 เดือน
Dimethyl Sulfoxide	0.02 ลิตร/1 สัปดาห์

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	
7. ห้องปฏิบัติการยาง	
สารตัวอย่าง	100 กรัม/เดือน
ยางชนิดต่าง ๆ	4-5 กิโลกรัม/สัปดาห์
8. ห้องปฏิบัติการ SEM	
Acetone	0.4 ลิตร/1 เดือน
Sample	100 กรัม/1 สัปดาห์
9. ห้องปฏิบัติการ Ceramic	
Aniline	0.01 ลิตร/1 สัปดาห์
Phthalocyanine	0.5 กรัม/1 สัปดาห์
10. ห้องปฏิบัติการ MDTC	
ตะกั่วออกไซด์	50 กรัม/1 สัปดาห์
แทนทาลัมออกไซด์	50 กรัม/1 สัปดาห์
เซอร์โคเนียมออกไซด์	50 กรัม/1 สัปดาห์
Ethylene glycol methylether	50 กรัม/1 สัปดาห์
ก๊าซไฮโดรเจน+ LPG ซึ่งเผาไหม้แล้ว	10 กิโลกรัม / สัปดาห์
11. โครงการพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน	
Dimethacrylate resin (DMA)	<10 กรัม(resin)หรือ 50 กรัมรวม นน. วัสดุที่เปื้อน/1 สัปดาห์
Crosslinlinked DMA	<1000 กรัม/ 1 ปี
o-phosphoric acid(+ silica)	500 กรัม /1 ปี

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	
12. ห้องปฏิบัติการ Sensor	
Chloroform	ยังกำหนดไม่ได้
Dichloromethane	ยังกำหนดไม่ได้
PdCl_2	2 g ต่อ 4 เดือน
PdCl_2	2 g ต่อ 4 เดือน
SnCl_2	2 g ต่อ 1 เดือน
Dimethyldichlorosilane	5 มิลลิลิตร ต่อ 1 เดือน
Ethanol	ยังกำหนดไม่ได้
13. ห้องปฏิบัติการ Powder Characterization	
เศษผงตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์	1 ถุงขยะต่อ 3 เดือน
Ethanol	300 มิลลิลิตร/1 เดือน
Propanol	300 มิลลิลิตร/1 เดือน
14. ห้องปฏิบัติการ OM	
เศษวัสดุชิ้นงานตัวอย่าง	1 ถุงขยะ / 1 วัน
Ethanol	1 ถึง 2 สัปดาห์
15. ห้องปฏิบัติการ Molar Mass Characterization	
Styrene butadiene rubber	3 ขวด
Wax	1 ถุง
Acrylic resin	
Polyethylmethacrylate	1 ถุง
Polystyrene	1 ถุง
White master batch (แม่สี)	4 ถุง

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)	
16. ห้องปฏิบัติการ Ceramic processing	
Clay slip	5-7 กิโลกรัม / เดือน
ผงอลูมินา ดิน	1 กิโลกรัม / เดือน
สารยัดเกาะ	200 กรัม / เดือน
SiC Slip	200 กรัม / เดือน
Alcohol	500 กรัม / เดือน
SiC powder	500 กรัม / เดือน
Si powder	500 กรัม / เดือน
$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3$	15 กรัม / เดือน
$\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3$	15 กรัม / เดือน
$\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3$	15 กรัม / เดือน
LiAlO_2	15 กรัม / เดือน
Acetone	100 กรัม / เดือน
Li_2CO_3	น้อยมาก
Nickel	20 กรัม / เดือน
Nickel oxide	15 กรัม / เดือน
Lead	15 กรัม / เดือน
ปูนทนไฟ (cement)	5 กิโลกรัม / เดือน

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงของเสียจากห้องปฏิบัติการของ สวทช. (ต่อ)

รายการ	ปริมาณ
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)	
1. ห้องปฏิบัติการ อิเล็กทรอนิกส์	
ของเสียจากกรดไฮโดรฟลูออริก หรือกรดกัดแก้ว	1 ลิตร/เดือน
Sulfuric acid	1 ลิตร/เดือน
น้ำยาล้างฟิล์ม photoresist	3 ลิตร/เดือน
Sodium Hydroxide	3 ลิตร/เดือน
น้ำยา Fixer สำหรับล้างฟิล์ม	3 ลิตร/เดือน
Isoporponal	1 ลิตร/เดือน
$(\text{NH}_4)_2 \text{Cr}_2\text{O}_7$	1 ลิตร/เดือน
น้ำยาล้าง Stop Batn สำหรับล้างฟิล์ม	3 ลิตร/เดือน
Sodium Hydroxide	300 กรัม/ปี
Quinal $\text{CaH}_2(\text{OH})_3$	300 กรัม/ปี
Glyceral	1 ลิตร/ปี
2. โครงการ TMEC	
กากตะกอนของสารประกอบพวก ฟลูออไรด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ คลอไรด์ ซัลเฟต	4.56 กิโลกรัมต่อวัน
Activated Carbon	4,780 กิโลกรัม ต่อปี
วัสดุทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ เช่น เศษผ้า กระดาษทิชชู กระดาษดูดซับ ฯลฯ	3.5 กิโลกรัมต่อเดือน
น้ำมันเครื่องต่าง ๆ	3.5 ลิตรต่อเดือน
Developer solution	0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
Photoresist	7 ลิตรต่อเดือน
IPA (Isopropyl Alcohol)	5 ลิตรต่อเดือน

ภาคผนวก ข
สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ ข 1 สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้

No.	Substance	Do Not Mixing With
1	Alkaline and alkaline earth metals, such as sodium, potassium, lithium, magnesium calcium, aluminium.	Carbon Dioxide, carbon tetrachloride and other chlorinated hydrocarbons any free acid or halogen.
2	Acetic Anhydride	Chromic Acid, nitric acid, hydroxyl containing compounds, ethylene glycol, perchloric acid, peroxides, and permanganates.
3	Acetone	Concentrated nitric acid, and sulfuric acid mixture
4	Acetylene	Chlorine, bromine, copper, silver, fluorine, and mercury.
5	Ammonia (anhydrous)	Mercury, chlorine, calcium hypochlorite, iodine, bromine and hydrogen fluoride.
6	Ammonium Nitrate	Acids, metal powders, flammable liquids, chlorates, nitrates, sulfur, finely divided organics or combustibles.
7	Aniline	Nitric acid, hydrogen peroxide.
8	Bromine	Ammonia, Acetylene, butadiene, butane, and other petroleum gases, sodium carbide, turpentine, benzene, and finely divided metals.
9	Calcium carbide	Water (see also acetylene)
10	Calcium oxide	Water.
11	Carbon, activated	Calcium hypochlorite
12	Copper	Acetylene, hydrogen peroxide.

ตารางผนวกที่ ข 1 สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้ (ต่อ)

No.	Substance	Do Not Mixing With
13	Chlorates	Ammonium salts, acids, metal powders, sulfur, finely divided organic or combustibles.
14	Chromic acid	Acetic acid, naphthalene, camphor, glycerine, turpentine, alcohol, and other flammable liquids, paper or cellulose.
15	Chlorine	Ammonia, acetylene, butadiene, butane, and other petroleum gases, hydrogen, sodium carbide, turpentine, benzene, and finely divided metals.
16	Chlorine dioxide	Ammonia, methane, phosphine and hydrogen sulfide.
17	Fluorine	Isolate from everything.
18	Hydrocyanic acid	Nitric acid, alkalis.
19	Hydrogen peroxide	Copper, chromium, iron, most metals or their salts, any flammable liquid, combustible materials, aniline, nitromethane.
20	Hydrofluoric acid, anhydrous (Hydrogen fluoride)	Ammonia, aqueous or anhydrous.
21	Hydrogen sulfide	Fuming nitric acid, oxidizing gases.
22	Hydrocarbons(benzene, butane, propane, gasoline, turpentine, etc.	Fluorine, chlorine, bromine, chromic acid, sodium peroxide.
23	Iodine	Acetylene, ammonia (anhyd. or aqueous).
24	Mercury	Acetylene, fulminic acid, ammonia.
25	Nitric acid (concentrated)	Acetic acid, aniline, chromic acid, hydrocyanic acid, hydrogen sulfide, flammable liquids, flammable gas, and nitritable substances.
26	Nitroparaffins	Inorganic bases.

ตารางผนวกที่ ข 1 สารเคมีที่ไม่สามารถทิ้งรวมกันได้ (ต่อ)

No.	Substance	Do Not Mixing With
27	Oxygen	Oils, grease, hydrogen, flammable liquids, solids, or gases.
28	Oxalic acid	Silver, mercury.
29	Perchloric acid	Acetic anhydrous, bismuth and its alloys, alcohol, paper, wood, grease, oils, organic amines or antioxidants.
30	Peroxides, Organic	Acid (organic or mineral) avoid friction.
31	Phosphorus (white)	Air, oxygen.
32	Potassium chlorate	Acids (see also chlorate).
33	Potassium perchlorate	Acids (see also perchloric acid).
34	Potassium permanganate	Glycerine, ethylene glycol, benzaldehyde, any free acid.
35	Silver	Acetylene, oxalic acid, tartaric acid, fulminic acid, ammonium compounds.
36	Sodium	See alkaline metals(above).
37	Sodium nitrate	Ammonium nitrate and other ammonium salts:
38	Sodium oxide	Water, any free acid.
39	Sodium peroxide	Any oxidizable substance, such as ethanol, methanol, glacial acetic acid, acetic anhydride, benzaldehyde, carbon disulfide, glycerine, ethylene glycol, ethyl acetate, methyl acetate, and furfural.
40	Sulfuric acid	Chlorates, perchlorates, permanganates.

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณหาค่าความร้อนของขวดบรรจุสารเคมี

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณหาค่าความร้อนของขวดบรรจุสารเคมี

ของเสียสารเคมีนั้นจะถูกบรรจุลงในขวด PE ขนาดความจุ 4 ลิตรนั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณา ก่อนที่จะทำการบรรจุลงในขวด PE ขนาด 4 ลิตร เนื่องจากเตาเผาที่ใช้สำหรับเผาของเสียสารเคมีซึ่ง ถูกออกแบบมาโดยใช้ค่าความร้อนในการกำหนดขนาดห้องเผาไหม้ หากมีการใส่สารเคมีที่มีค่า ความร้อนสูง ในปริมาณที่มากย่อมก่อให้เกิดปัญหาระหว่างการเผาได้

ปริมาณค่าความร้อนสูงสุดในขวด PE ขนาด 4 ลิตรซึ่งเตาสามารถรองรับได้เป็นค่าที่ได้จาก การทดลองเผาขวดสารเคมีซึ่งบรรจุสารเคมีแล้วสามารถป้อนเข้าเตาเผาได้อย่างไม่เกิดปัญหา โดยทำ การเปรียบเทียบหาค่าความร้อนมากที่สุดที่เตาเผาสามารถรองรับได้ ซึ่งมีค่า เท่ากับ 14000 kcal/ขวด บรรจุสารเคมีขนาด 4 ลิตร และ 3500 kcal/ขวดบรรจุสารเคมีขนาด 1 ลิตร ค่าความร้อนที่กำหนดนี้ ได้กำหนดขึ้นภายใต้การทดลองตามสภาพที่กำหนด ได้แก่ อุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่ 1 และขั้นตอน การปฏิบัติงานตามที่ได้ทำการทดลอง ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพที่กำหนดขึ้นในระหว่าง การเผาสารเคมี ค่าความร้อนมากที่สุดที่เตาเผาสามารถรองรับได้ต่อขวดสารเคมีต่อการป้อนของเสีย 1 ครั้ง จะเปลี่ยนแปลงได้

วิธีการคำนวณหาค่าความร้อนของขวดบรรจุสารเคมี

- จำแนกชนิดของสารเคมีว่ามีสารเคมีชนิดใดบ้าง ปริมาณของสารเคมีมีอยู่เท่าไร โดยประมาณ และหาค่าความร้อนของสารเคมีแต่ละชนิด
- คำนวณหาค่าความร้อนรวมของสารเคมีในขวด โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$H = \sum_{i=1}^n m_i y_i$$

โดย	H	คือ	ค่าความร้อนรวมของสารเคมีภายในขวดบรรจุสารเคมี, kcal
	m_i	คือ	มวลของสารเคมีแต่ละชนิด, kg
	y_i	คือ	ค่าความร้อนของสารเคมีแต่ละชนิด, kcal/kg
	n	คือ	จำนวนชนิดของสารเคมีที่มีในขวดบรรจุ

ตัวอย่างในการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 ขวดสารเคมี บรรจุ Methanol 4 Kg

ดังนั้น มวลของ Methanol = 4 Kg มีค่าความร้อนของสารเคมี = 5340 kcal/Kg

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad H &= (4 \times 5340) \\ &= 21360 \quad \text{kcal} \end{aligned}$$

ขวดสารเคมีขวดนี้มีค่าความร้อน เท่ากับ 21360 kcal

ตัวอย่างที่ 2 ต้องการเผาขวดบรรจุสารเคมีซึ่งบรรจุ Methanol จะสามารถป้อนได้สูงสุดเท่าใด
จึงถูกต้องและปลอดภัย

เนื่องจาก Methanol มีค่าความร้อนของสารเคมี = 5340 kcal/kg และค่าความร้อนที่ตั้งไว้เป็นเกณฑ์
มีค่าเท่ากับ 14000 kcal/ขวดบรรจุสารเคมีขนาด 4 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad m &= 14000/5340 \\ &= 2.62 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

Methanol สามารถบรรจุในขวดขนาด 4 ลิตรด้วยปริมาณ 2.62 kg ซึ่งจะสามารถเผาสารเคมี
ได้อย่างปลอดภัย

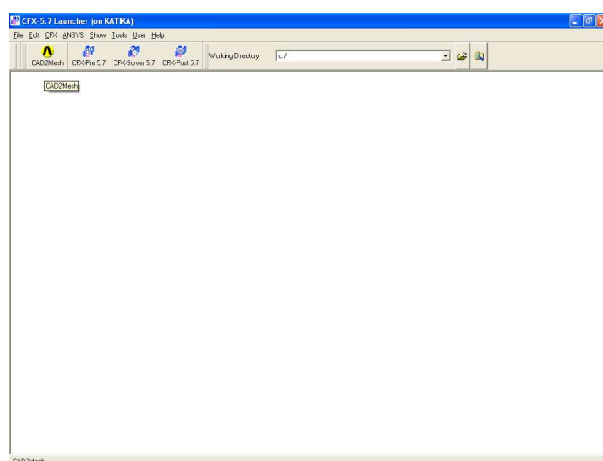
ภาคผนวก ง

วิธีใช้โปรแกรม CFX ในการจำลองการเผาไหม้ของระบบเตาเผาขยะ

ภาคผนวก ง

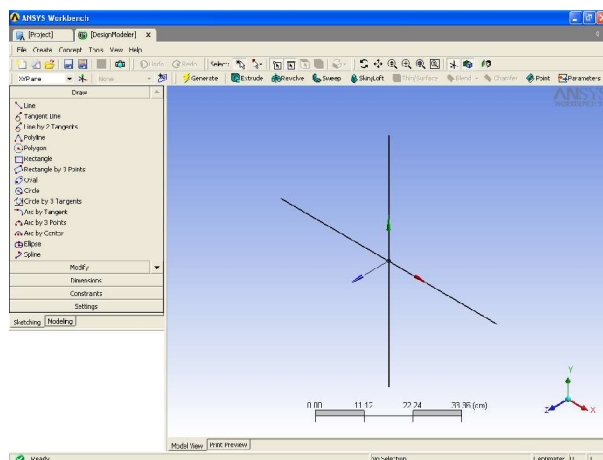
วิธีการใช้โปรแกรม CFX ในการจำลองการเผาไหม้ของระบบเตาเผาขยะ

1. เปิดโปรแกรม CFX เรียกโปรแกรมวาดแบบจำลอง CAD2Mesh

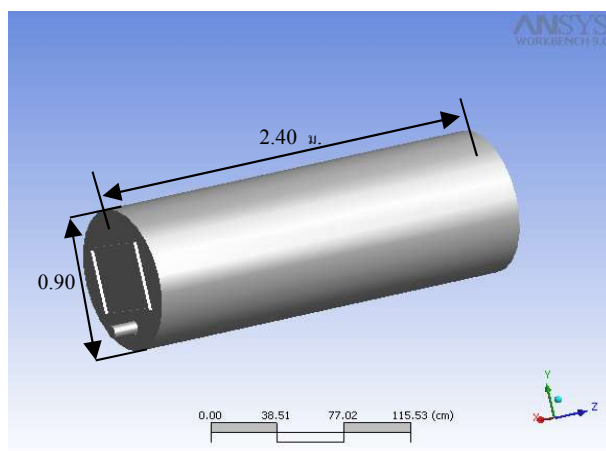


ภาพผนวกที่ ง 1 หน้าต่างโปรแกรม CFX

2. สร้างลักษณะรูปร่างภายในของเตาเผาแบบหมุน ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ตามลักษณะจริง

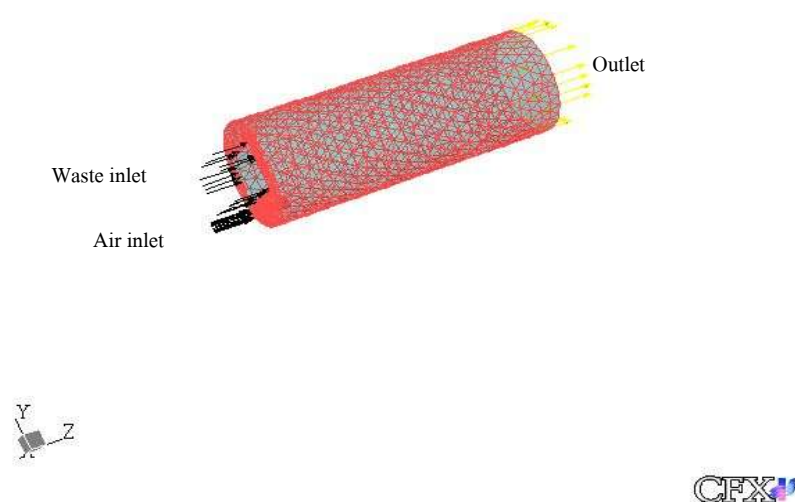


ภาพผนวกที่ ง 2 หน้าต่างโปรแกรม Ansys Workbench



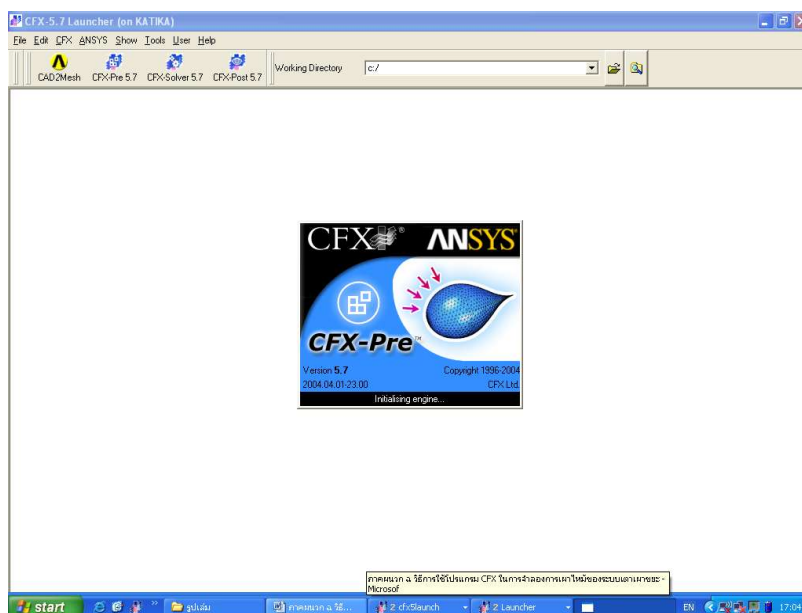
ภาพผนวกที่ ง 3 ลักษณะแบบจำลองใน Ansys Workbench

3. แบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นตารางย่อยๆ (Mesh) เพื่อคำนวณค่าผลลัพธ์ของการไหล และกำหนดคุณสมบัติของการไหล และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

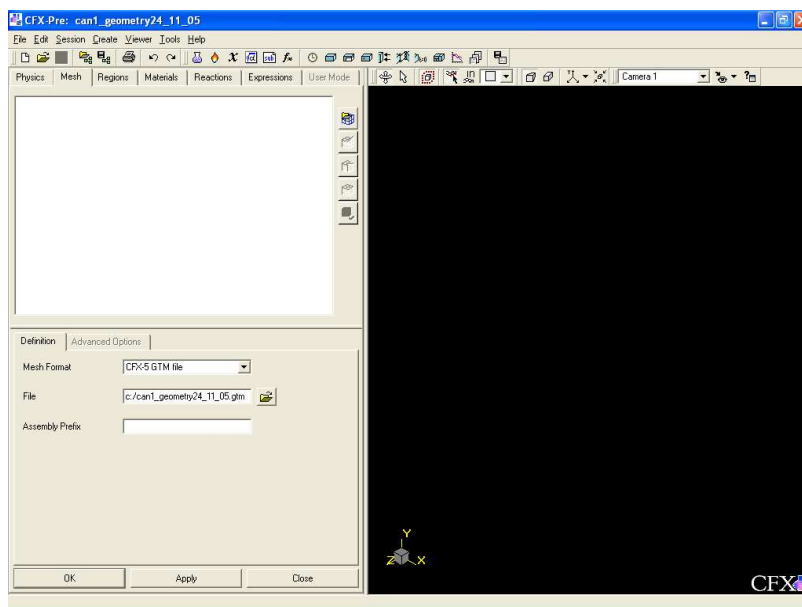


ภาพผนวกที่ ง 4 การกำหนดคุณสมบัติให้ Mesh

4. เปิดโปรแกรม CFX-Pre เริ่มสร้างการจำลอง ด้วยการเรียกดูรูปจำลองที่สร้างไว้ในโปรแกรม Ansys Workbench

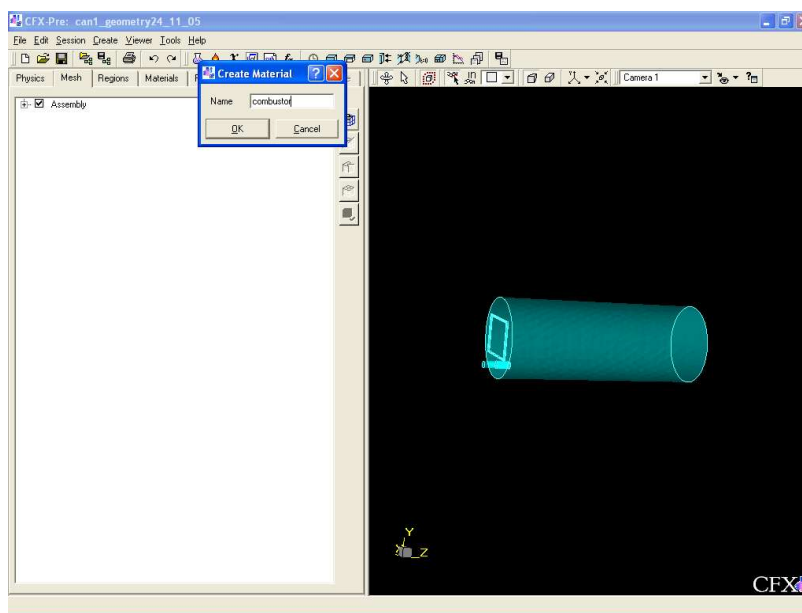


ภาพผนวกที่ ง 5 หน้าต่างโปรแกรม CFX-Pre

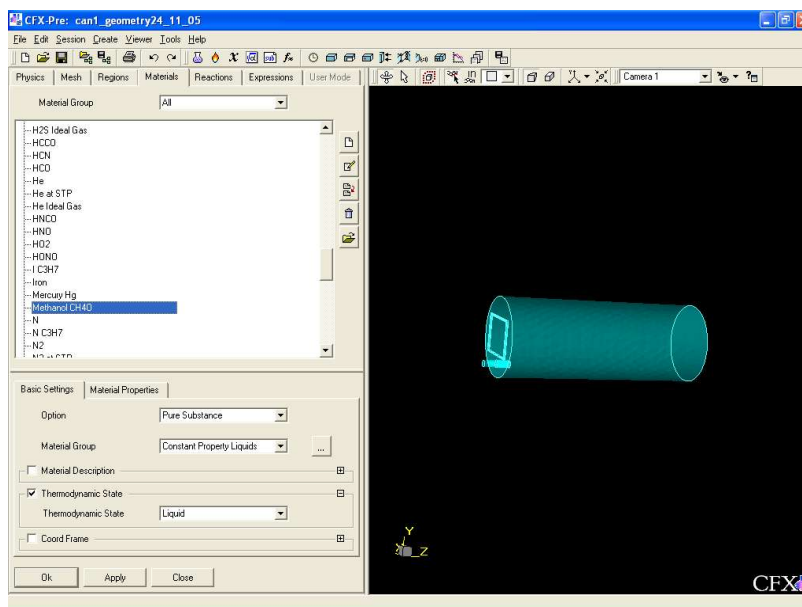


ภาพผนวกที่ ง 6 เรียกดูรูปจำลองที่สร้างไว้

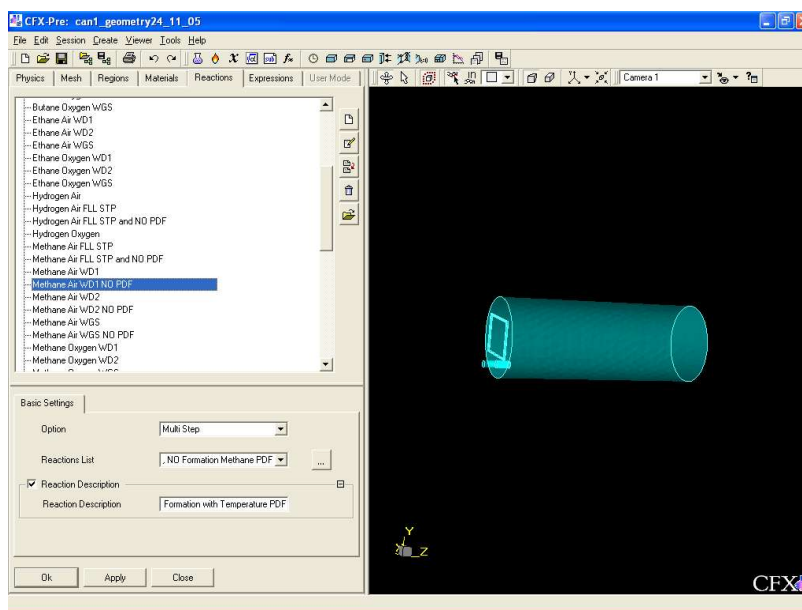
5. รูปที่สร้างไว้จะปรากฏขึ้นมา ต่อไปให้กำหนดวัสดุและปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นในแบบจำลองนี้ โดยเลือกใน Library ที่โปรแกรมมีอยู่



ภาพผนวกที่ 7 สร้าง Material name

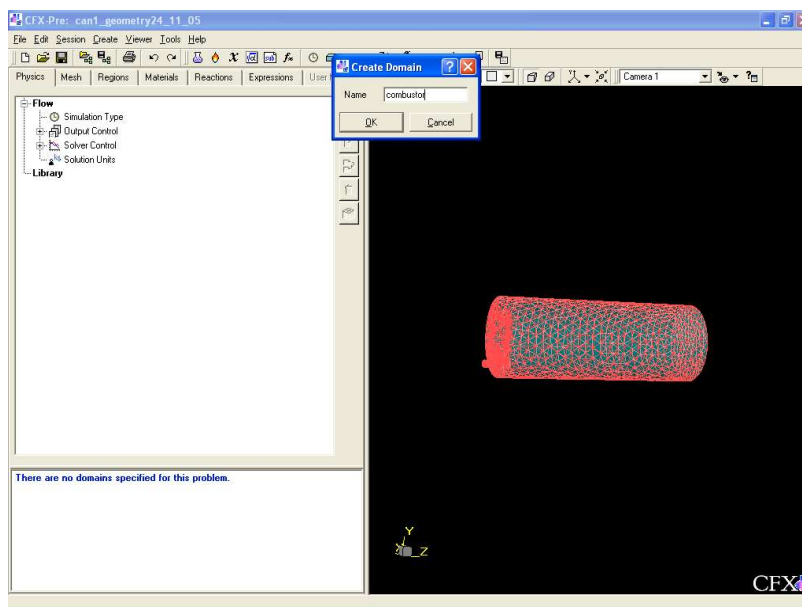


ภาพผนวกที่ 8 เลือก Material

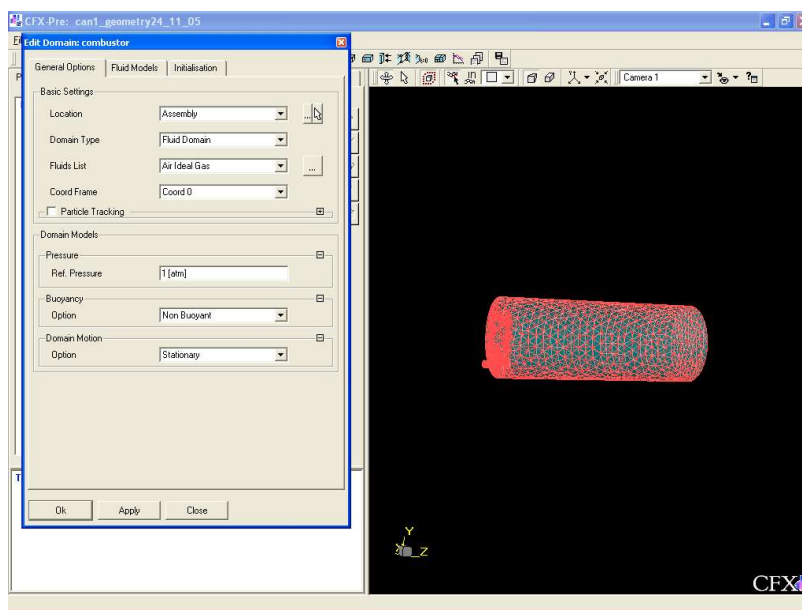


ภาพผนวกที่ 9 เลือกชนิดปฏิกิริยา

6. สร้างโดเมนของรูปแบบการจำลอง โดยไปที่ create domain แล้วตั้งชื่อโดเมนพร้อมทั้งกำหนดคุณสมบัติของโดเมน

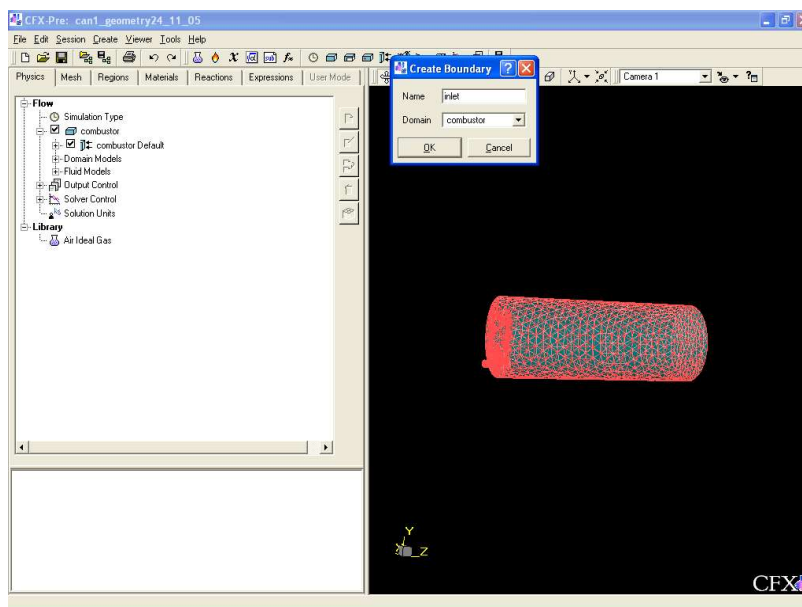


ภาพผนวกที่ 10 สร้างโดเมน

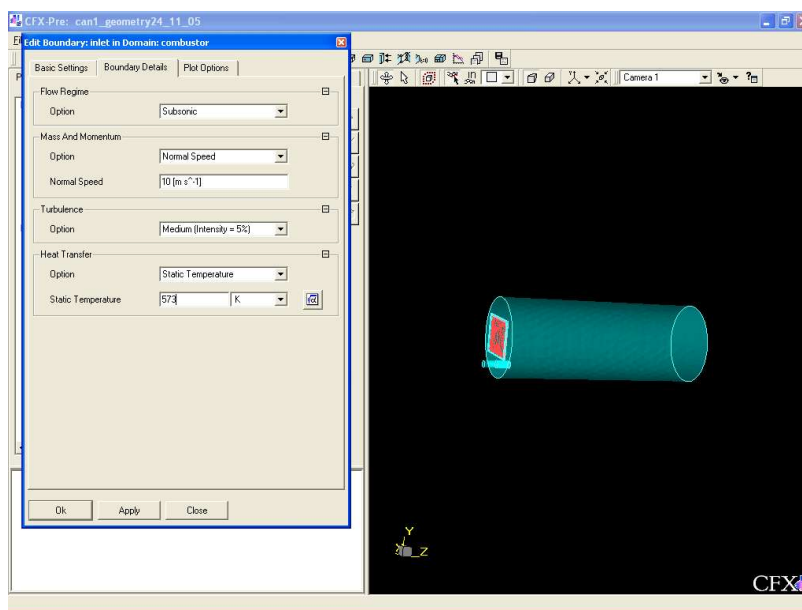


ภาพผนวกที่ 11 การกำหนดคุณสมบัติให้โดเมน

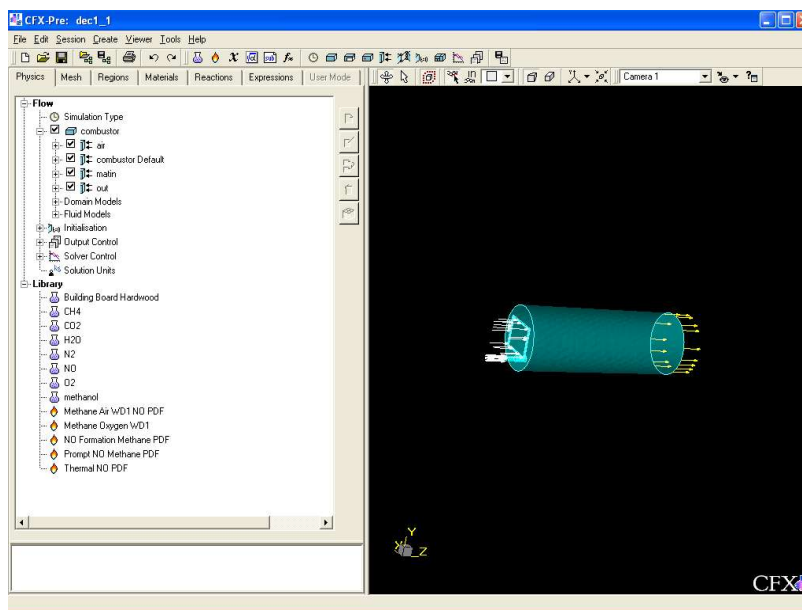
7. Create Boundary Conditions โดยกำหนด Boundary Conditions Name คุณสมบัติ และตำแหน่ง



ภาพผนวกที่ 12 สร้างเงื่อนไขขอบเขต

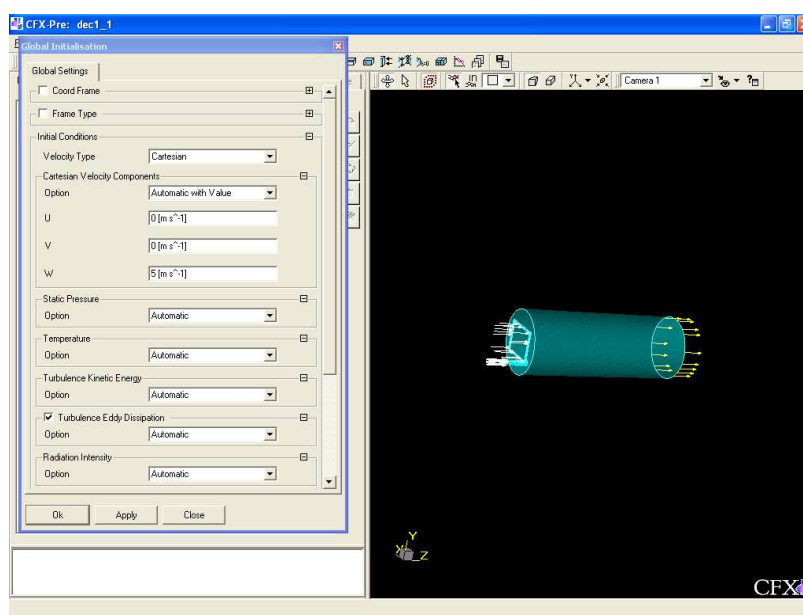


ภาพผนวกที่ 13 การกำหนดคุณสมบัติให้ Boundary Conditions



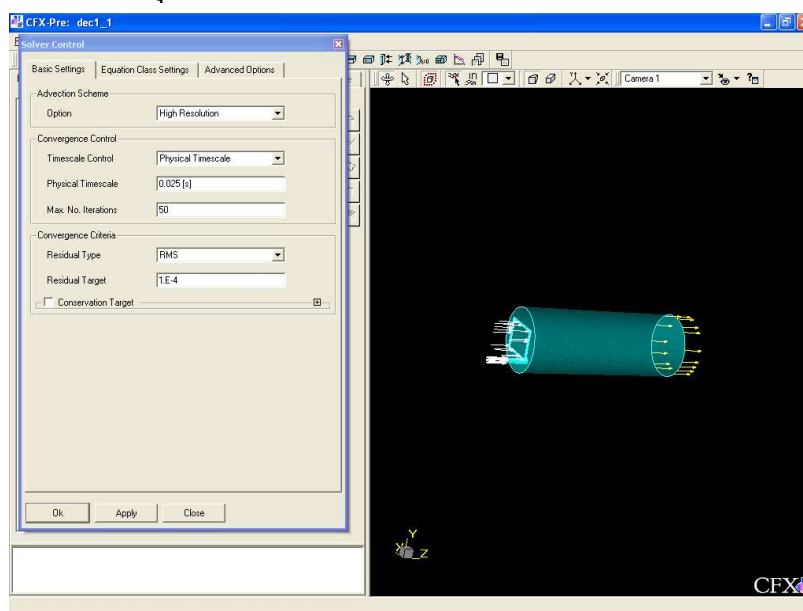
ภาพผนวกที่ 14 การกำหนดตำแหน่งและทิศทาง

8. ตั้งค่าเริ่มต้นในการคำนวณ



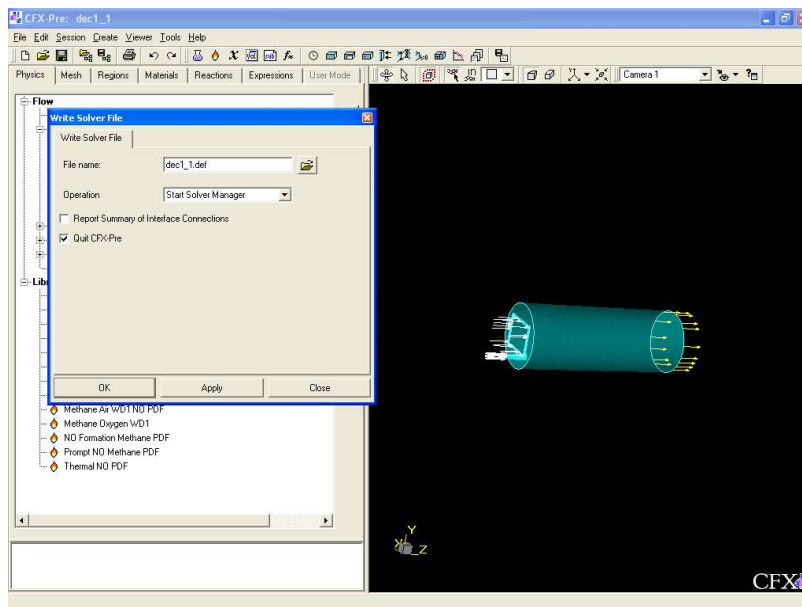
ภาพผนวกที่ 15 การตั้งค่าเริ่มต้น

9. ตั้งค่าควบคุมการคำนวณ และลักษณะของผลลัพธ์

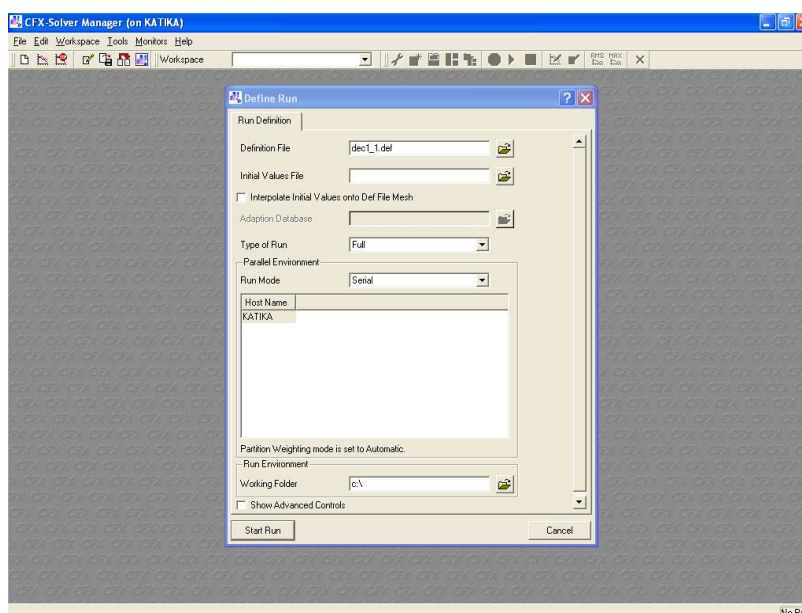


ภาพผนวกที่ 16 การตั้งค่าการคำนวณ

10. ตั้งค่าตำแหน่งที่จะทำการเก็บผลลัพธ์ แล้วเริ่มให้โปรแกรมคำนวณ โปรแกรม CFX-Solver จะปรากฏขึ้นมา ให้ start run ได้ทันที

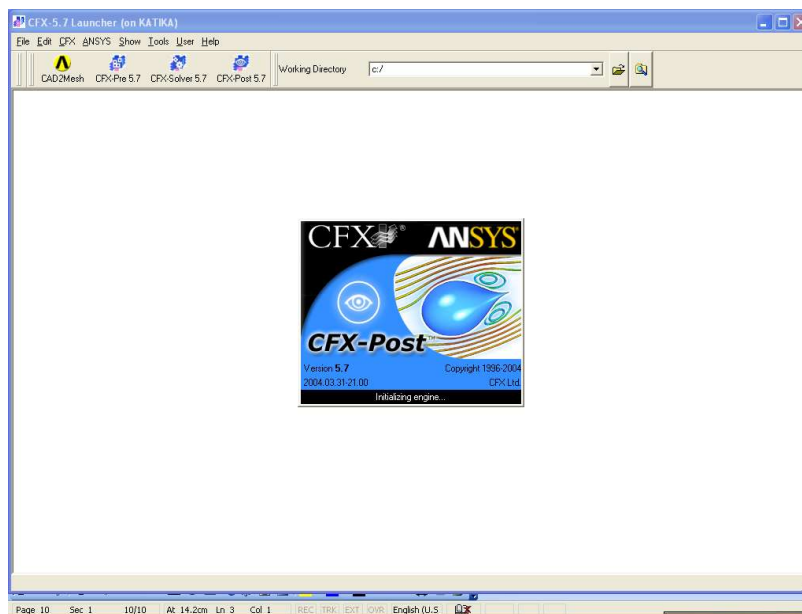


ภาพผนวกที่ 17 การสร้างแฟ้มการคำนวณ

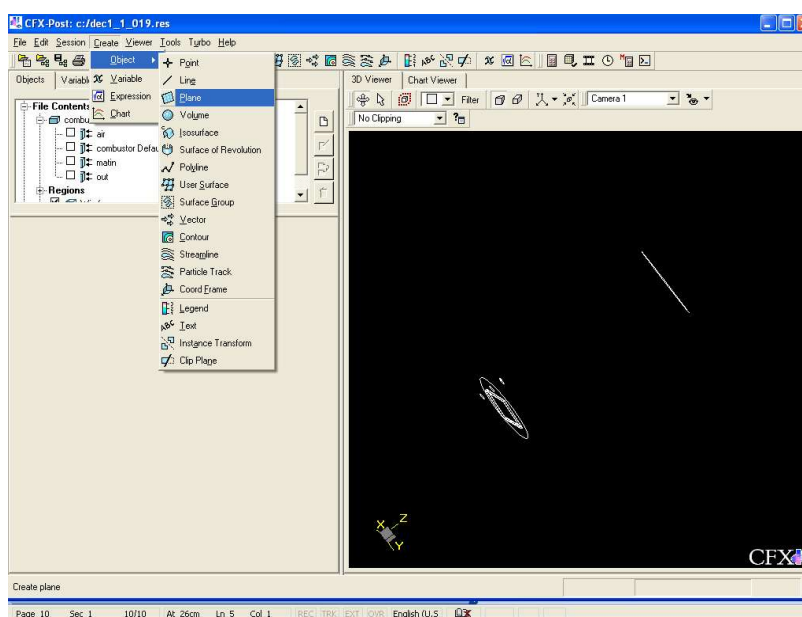


ภาพผนวกที่ 18 เริ่มการคำนวณ

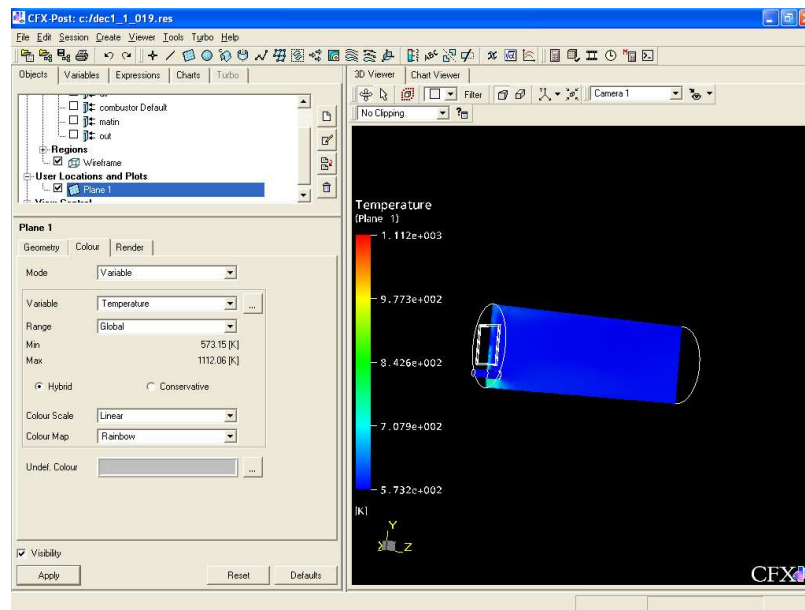
11. หลังจากทำโปรแกรมทำการคำนวณเสร็จสิ้น โปรแกรม CFX-Post จะแสดงขึ้นมา และมีผลลัพธ์ให้เห็น เพื่อการเห็นที่ชัดเจน จึงควรสร้าง Plane ขึ้นมาเพื่อดูลักษณะการไหลและค่าของพารามิเตอร์ต่างๆที่โปรแกรมคำนวณได้



ภาพผนวกที่ 19 หน้าต่างโปรแกรม CFX-Post



ภาพผนวกที่ 20 การสร้าง Plane เพื่อดูผลของการไหล



ภาพผนวกที่ ง 21 แสดงผลของอุณหภูมิ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นางสาวกติกา สระมณีอินทร์

เกิดวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2522

สถานที่เกิด อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

ประวัติการศึกษา วท.บ.(สาธารณสุขศาสตร์), เกียรตินิยมอันดับ 2 มหาวิทยาลัยมหิดล (พ.ศ. 2543)

ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกร

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ