

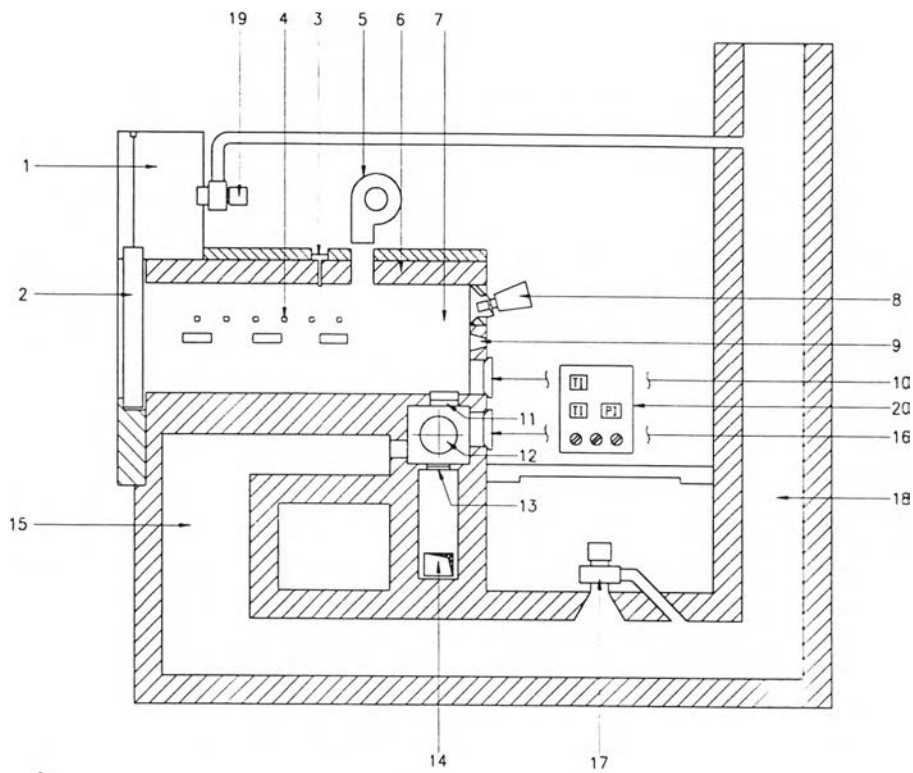


## บทที่ 2 เอกสารข้อมูลพื้นฐาน

### 2.1) หลักการทำงานและองค์ประกอบของเตาเผาที่ใช้ในการอ้างอิง

#### 2.1.1) ส่วนประกอบของเตาเผาที่ใช้ในการศึกษา

เตาเผาที่ใช้อ้างอิงค่าปฏิบัติการ เป็นเตาเผาที่วัดโสมนัสวิหาร กรุงเทพฯ ซึ่งออกแบบผลิตและติดตั้งโดยบริษัท กิจจา เอ็นจิเนียริง จำกัด เป็นเตาเผาชนิดสองหัวเผาใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นเชื้อเพลิง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้ (ดูรูป 2.1.1)



รูป 2.1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเผาชนิดใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ต่อไปนี้จะอธิบายความหมายของส่วนประกอบหมายเลขต่างๆ ในรูป

- 1-2 บานประตูบรรจุโลงศพและช่องสำหรับประตูเลื่อน วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นเหล็ก จะถูกเปิดเพื่อบรรจุโลงศพเมื่อเริ่มทำการเผา จะถูกปิดในขณะที่ทำการเผาเพื่อป้องกันไม่ให้เปลวไฟพุ่งออกสู่นอกเตาและเก็บรักษาความร้อนในขณะที่เผา และจะถูกเปิดอีกครั้งหลังจากเผาเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อทำการเก็บอัฐิ ควบคุมการเปิดปิดด้วยกลไกขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า
- 3 เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นตัววัดอุณหภูมิภายในเตาเพื่อใช้ในการสังเกตและควบคุมการเผาไหม้ มีจุดวัดทั้งหมด 3 จุด คือ 1. ที่ห้องเผาใหญ่ 2. ห้องเผาถลันและควัน 3. ที่ปล่องควันระบายก๊าซร้อน ค่าที่ได้จะแสดงผลที่แผงควบคุมข้างเตาสามารถตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดที่อุปกรณ์ยอมรับได้ให้ตัดระบบการจ่ายน้ำมัน ซึ่งค่าสูงสุดที่ตั้งไว้เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส สำหรับห้องเผาใหญ่และถลันและควันและ 350 องศาเซลเซียสสำหรับปล่องควันระบายก๊าซร้อน
- 4-5 ช่องอัดอากาศเข้าห้องเผาและพัดลมอัดอากาศ ใช้สำหรับอัดอากาศเข้าห้องเผาใหญ่ ห้องเผาถลันและควัน เพื่อควบคุมให้การเผาไหม้ภายในดีขึ้นโดยเพิ่มอัตราอากาศเกินพอสำหรับการเผาไหม้และช่วยระบายความร้อนภายในเตาหลังการเผาไหม้เสร็จสิ้น

ท่ออัดอากาศที่ห้องเผาใหญ่มีทั้งหมด 4 แถว แบ่งเป็น ซ้าย ขวา และตอนหน้า ตอนหลังของห้องเผาใหญ่ แต่ละแถวจะมีรูอัดอากาศทั้งหมด 3 รู และ 2 แถวสำหรับห้องเผาเล็ก ท่ออัดอากาศแต่ละเส้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ  $\frac{3}{4}$  นิ้ว ถูกควบคุมการเปิด-ปิดและปรับอัตราการไหลด้วยวาล์ว ซึ่งต่อกันวาล์วออกสู่อันนอกของเตาเผา ท่ออัดอากาศแต่ละเส้นจะถูกวางไว้ที่ผิวด้านนอกของอิฐทนไฟของห้องเผาใหญ่และถลันและควัน รูของท่ออัดอากาศจะถูกจัดวางตำแหน่งให้พอดีกับรูของอิฐทนไฟ

ท่ออัดอากาศทั้งหมดนี้จะต่อแยกจากท่ออัดอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ซึ่งนำอากาศจากการอัดของพัดลมอัดอากาศ ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ขับ 1.5 กิโลวัตต์ ให้ปริมาณลมประมาณ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่สภาวะปรกติ

- 6-7 ห้องเผาใหญ่และวัสดุทนไฟและความร้อน ใช้สำหรับเผาศพและโลงศพภายในห้องเผาใหญ่ วัสดุที่ใช้ทำเป็นอิฐทนไฟและความร้อน ฐานทำเป็นพื้นราบ ด้านบนจะเป็นทรงโค้งเจาะรูสำหรับช่องอัดอากาศและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในห้องเผาใหญ่ ด้านข้างเรียบและเจาะช่องขนาดประมาณ 1 ก้อนอิฐ จำนวน 3 ช่องทั้ง 2 ข้าง เพื่อดึงอากาศจากภายนอกเตา เพื่อช่วยในเผาไหม้ (Natural Draft) และเจาะรูกลมเพื่อสอดหัวเผาใหญ่เข้าสู่เตาด้านหลังช่วงล่างและฐานของห้องเผาใหญ่จะถูกเจาะให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมเพื่อระบาย

อากาศจากการเผาไหม้ผ่านเข้าสู่ห้องเผาถนและคว้น ช่องนี้จะมีขนาดพอดีกับช่องประตูควบคุมการทำงานของเตา ขนาดห้องเผาใหญ่มีปริมาตรประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร

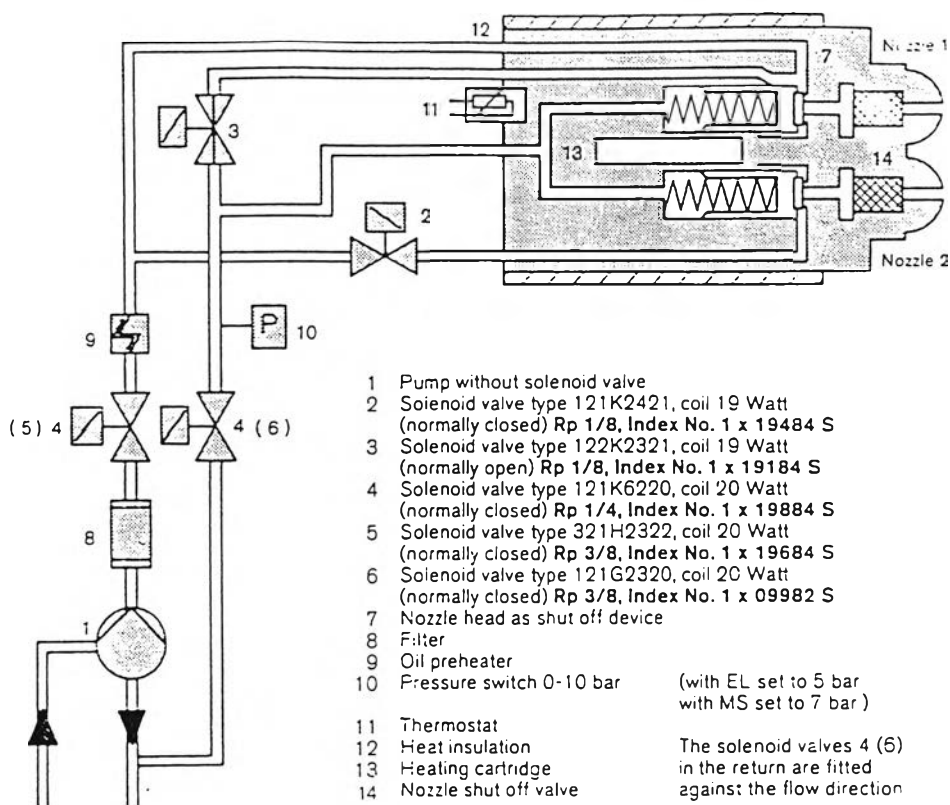
- 8 หัวเผาใหญ่ทำหน้าที่เผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน เปลวไฟจะพุ่งเข้าสู่ห้องเผาใหญ่เพื่อเผาไหม้ศพ หัวเผาที่ใช้เป็นแบบใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงชนิดใช้แรงดันของปั๊มอัดฉีดผ่าน Atomizer ทำให้น้ำมันเป็นละออง ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น หัวเผาใหญ่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

8.1) ชุดปั๊มน้ำมันและหัวฉีด (รูปที่ 2.1.2) ประกอบด้วยปั๊มน้ำมัน ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันน้ำมันอัดผ่านหัวฉีด และชุดควบคุมโซลินอยด์วาล์ว น้ำมันจะถูกอุ้มนำขึ้นถึงอุณหภูมิขั้นต่ำสุดที่กำหนดไว้ด้วยตัวอุ้มน้ำมัน โดยน้ำมันจะถูกอัดผ่านไปยังหัวฉีดแล้วไหลย้อนกลับไปที่ทางเข้าของปั๊มใหม่อีกครั้งผ่านโซลินอยด์ วาล์ว ของสายท่อขากลับ (12) จนกระทั่งน้ำมันไหลอยู่เต็มระบบ หลังจากนั้นโซลินอยด์ วาล์วนี้จะปิดแรงดันน้ำมันจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดประมาณ 12 บาร์ หลังจากช่วงเวลาหนึ่ง โซลินอยด์ วาล์วของอีกสายหนึ่ง (11) จะเปิดขึ้น น้ำมันจะถูกอัดให้ไหลวนอยู่ภายในหัวฉีดนี้ และถูกให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าซึ่งควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ จะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงระหว่าง 60 ถึง 130 องศาเซลเซียส

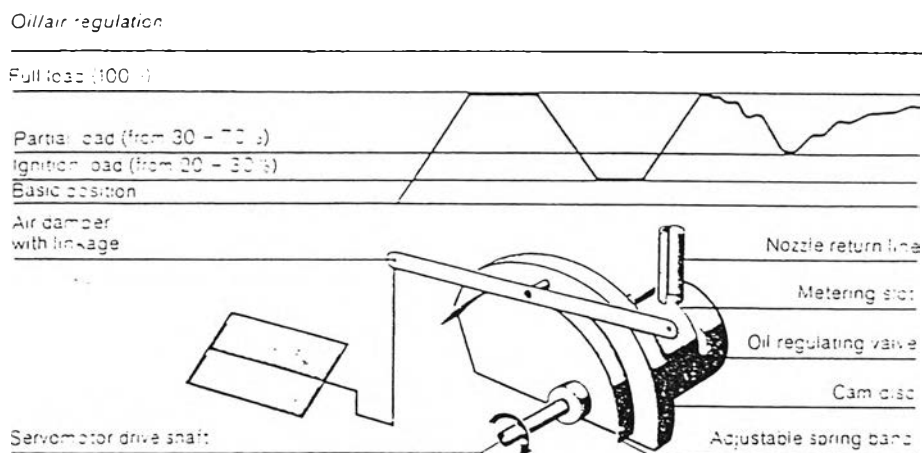
หัวฉีดที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบฉีดเต็มพื้นที่ (full cone) มี 2 ชั้น หัวฉีดแรกจะมีขนาดประมาณ 2/3 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดซึ่งสามารถจ่ายได้ ที่จุดสูงสุดการใช้งาน หัวฉีดที่ 2 จึงเริ่มทำงาน

8.2) พัดลมอัดอากาศ (รูปที่ 2.1.3) ทำหน้าที่อัดอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ เชื้อเพลิงประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ตัวปรับอัตราการไหลของอากาศ ใบพัด และกลไกทางกลซึ่งควบคุมปริมาณอากาศให้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันที่ใช้ให้คงที่ ช่วงอุณหภูมิกภายในจะบังคับตำแหน่งของตัวปรับให้อยู่ในตำแหน่งเตรียมการจุดสันดาปและสัมพันธ์กับปริมาณที่ใช้ ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการสันดาปจะใช้ประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดที่สามารถจ่ายได้ กลไกนี้สามารถปรับแต่งให้ปริมาณอากาศสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้ด้วยกลไกทางกล

- 9-10 บานประตูสำหรับสังเกตการเผาไหม้และควบคุมการทำงานภายในห้องเผาใหญ่ ใช้สังเกตลักษณะของเปลวไฟและการลุกไหม้ภายในห้องเผาใหญ่ โดยเฉพาะช่วงเวลาประมาณ 50-55 นาทีของการเผาและช่วงเวลาหลังนาทีที่ 90 ซึ่งเป็นช่วงที่ศพเริ่มติดไฟและมอด หากการลุกไหม้ไม่ดีหรือไม่ทั่วถึง อาจต้องทำการเช็ยศพและถ่านไหม้ภายในห้องเผาใหญ่ เพื่อให้การเผาไหม้ดีขึ้น



รูปที่ 2.1.2 ชุดปั๊มป่น้ำมันและหัวฉีดของหัวเผา (24)



รูปที่ 2.1.3 พัฒลม้อัดอากาศของหัวเผา (24)

- 11 ลึนเปิด-ปิดระหว่างห้องเผาใหญ่และห้องเผาเล็ก ใช้สำหรับเปิดปิดระหว่างห้องเผาใหญ่และห้องเผาเล็ก
- 12 ห้องเผาเล็ก เป็นห้องที่ทำการเผาไหม้ถ่านหินและควันของอากาศจากห้องเผาใหญ่ ซึ่งอากาศบางส่วนอาจถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรืออากาศช่วงนั้นมีปริมาณของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นมาก เช่นสารประกอบจากซัลเฟอร์, ไนโตรเจน หรือไฮโดรคาร์บอน รวมทั้ง ไขมันบางส่วนจากศพ ซึ่งถูกระเหยและลอยปนอยู่กับอากาศก่อนวิ่งผ่านไปสู่ห้องรวมก๊าซร้อน
- ห้องเผาเล็กมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมอยู่ด้านล่างของช่วงหลังของห้องเผาใหญ่มีปริมาตร 0.1 ถึง 0.2 ลูกบาศก์เมตร อากาศจากห้องเผาใหญ่จะวิ่งเข้าสู่ห้องเผาเล็กจากด้านบนและอากาศเกินพอบางส่วน (Bypass) จากห้องเผาใหญ่จะเข้ามารวมกันจากด้านข้างเข้าสู่ห้องเผาเล็ก ทั้งหมดจะถูกเผาไหม้ด้วยหัวเผาเล็กซึ่งเปลวไฟจะพุ่งตัดตั้งฉากกับอากาศจากห้องเผาใหญ่ ก่อนที่ทั้งหมดจะถูกดูดสู่ห้องรวมก๊าซร้อน
- ส่วนประกอบหลักของหัวเผาเล็กจะคล้ายกับของหัวเผาใหญ่แตกต่างกันที่ขนาดความสามารถในการให้พลังงานจากการเผาไหม้ มอเตอร์ขับเคลื่อนของหัวเผาเล็กจะมีขนาดเท่ากับ 0.09 กิโลวัตต์ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดประมาณ 30% ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ต่อการเผาหนึ่งครั้ง (ตัวเลขสมมติฐาน)
- 13-14 ตะแกรงเหล็กเพื่อแยกเก้าอี้จากกระดูก และบานประตูสำหรับถ่ายเก้าอี้จากนอก จะดึงแยกอนุภาคฝุ่นซึ่งปนอยู่ในอากาศจากห้องเผาใหญ่ด้วยตะแกรงเหล็ก อนุภาคฝุ่นและเก้าอี้กระดูกจะถูกแยกด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงเฉื่อย
- 15 ห้องรวมก๊าซร้อนก่อนถ่ายออกสู่ปล่อง เป็นท่ออากาศทรงสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นเหล็ก อากาศร้อนจากห้องเผาเล็กจะวิ่งลงสู่ด้านล่างเข้าสู่ห้องรวมก๊าซร้อนนี้ ซึ่งห้องรวมก๊าซร้อนจะถูกวางให้วิ่งลงใต้ถนนชั้นล่างของเมรุเผาศพและวิ่งตรงเข้าสู่พัดลมดูดก๊าซร้อน
- 16 บานประตูเก็บกระดูกใช้เพื่อเก็บแยกเก้าอี้กระดูกบางส่วนที่อาจตกค้างอยู่ภายในห้องเผาเล็ก
- 17 พัดลมดูดก๊าซร้อนออกสู่ปล่อง เป็นพัดลมที่ใช้ดูดอากาศร้อนออกจากห้องเผาใหญ่ผ่านไปยังหัวเผาเล็กผ่านห้องรวมก๊าซร้อนก่อนปล่อยออกสู่ปล่องระบายก๊าซร้อน ทำให้ความดันภายในเตาเผามีค่าต่ำกว่าบรรยากาศเล็กน้อย พัดลมที่ใช้มีขนาดของมอเตอร์ประมาณ 1.8 กิโลวัตต์
- 18 ปล่องระบายก๊าซร้อน ประกอบด้วยอิฐทนไฟรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาดที่ยอดของปล่องประมาณ 1 เมตร กว้าง 1 เมตร มีความสูงประมาณ 20 เมตร บริเวณช่วงกลางของปล่องจะมีแผ่นตะแกรงเหล็กเพื่อดักฝุ่นอีกชั้นหนึ่งก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

- 19 พัฒนาระบายความร้อนหน้าเตา ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้เปลวไฟพุ่งออกจากเตาเข้าหาผู้ร่วมพิธีขณะวางดอกไม้จันทร์ และเพื่อระบายความร้อนด้านหน้าเตา เพราะด้านหน้าเตาเป็นช่องเปิดไม่มีอิฐทนไฟเป็นฉนวนหุ้ม
- 20 แผงควบคุมการทำงาน ติดตั้งอยู่ด้านข้างของเตาเผา ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานเปิด-ปิด อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เปิด-ปิดพัดลมต่างๆ เปิด-ปิดการจ่ายน้ำมันสู่หัวเผา เป็นต้น รวมทั้งแสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ และแสดงค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ

### 2.1.2 ) วิธีปฏิบัติการเผาศพด้วยเตาเผาที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

การปฏิบัติการเผาศพด้วยเตาเผาที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 1) **ขั้นเตรียมการ**

จะทำการตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานรวมทั้งสิ่งประกอบอื่น ได้แก่

  - 1.1 ตรวจสอบภายในเตาเผาว่ามีสิ่งแปลกปลอมหรือไม่ ถ้ามีให้กำจัดออกก่อน ประตุนหน้าเตาจะอยู่ในตำแหน่งเปิด
  - 1.2 ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ตู้ควบคุม รวมทั้งกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์ต่างๆ
  - 1.3 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ว่าสามารถใช้งานตามปกติหรือไม่ ได้แก่ พัดลมของหัวเผาใหญ่ , พัดลมของหัวเผาเล็ก (โดยไม่ต้องสันดาปเชื้อเพลิง) , พัดลมหน้าเตาเผา, พัดลมอัดอากาศ , พัดลมระบายแก๊สร้อนสู่ปล่อง และระบบเปิด-ปิดประตุนหน้าเตาเผา
  - 1.4 ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิในห้องเผาใหญ่ , ห้องเผากลิ้งและควัน , ที่ปล่องระบายอากาศร้อน เครื่องมือวัดความดันภายในห้องเผาใหญ่ รวมทั้งตั้งค่าสูงสุดของอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เพื่อตัดการทำงานของหัวเผา (900 องศาเซลเซียส สำหรับห้องเผาใหญ่ และห้องเผากลิ้งและควัน และ 350 องศาเซลเซียสสำหรับปล่องระบายอากาศ)
  - 1.5 ตรวจสอบปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในถังเก็บน้ำมันว่าเพียงพอต่อการปฏิบัติงานหรือไม่
  - 1.6 ตรวจสอบชุดอุปกรณ์ของหัวเผาใหญ่ และหัวเผากลิ้งและควันว่ามีจุดใดเสียหายพร้อมปฏิบัติงานหรือไม่ จากนั้นปิดฝาครอบป้องกันความร้อน แล้วหมุนหัวเผาเข้าสู่ตำแหน่งที่พร้อมปฏิบัติงาน (ปากหัวเผาเข้าสู่ภายในห้องเผา)

1.7 ตรวจสอบตำแหน่งของวาล์วต่างๆ ว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสำหรับช่วงเริ่มปฏิบัติงานหรือไม่ ได้แก่

- วาล์วเปิด-ปิดน้ำมันเข้าสู่หัวเผาใหญ่ทุกตัวควรอยู่ในตำแหน่งเปิด
- วาล์วเปิด-ปิดน้ำมันเข้าสู่หัวเผากลิ้นและควันควรอยู่ในตำแหน่งเปิด
- วาล์วเปิด-ปิดของท่ออัดอากาศควรอยู่ในตำแหน่งปิด

หากอุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ ส่วนประกอบอื่นๆ เกิดขัดข้องหรือไม่พร้อมในการปฏิบัติงานควรจะต้องทำการแก้ไขให้เรียบร้อยเสียก่อนก่อนการปฏิบัติงานจริง

## 2) ขั้นตอนการเผาจริง

- 2.1 ขณะที่กำลังประกอบศาสนกิจ เจ้าหน้าที่จะเตรียมการเผาเพื่อการเผาจริงโดยการเปิดพัดลมระบายความร้อนหน้าเตา ดูดอากาศบริเวณรอบผ่านหน้าเตาและรอบข้างขึ้นสู่ด้านบน รวมทั้งเปิดพัดลมระบายก๊าซร้อนสู่ปล่อง (เพื่อป้องกันไม่ให้เปลวไฟแลบออกจากห้องเผาใหญ่พุ่งเข้าสู่ผู้ร่วมพิธีที่จะวางดอกไม้จันทน์)
- 2.2 หลังจากประกอบศาสนกิจตามประเพณีปฏิบัติเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่จะยกโลงบรรจุศพเข้าสู่ห้องเผาใหญ่ พระภิกษุประกอบพิธีเผาดอกไม้จันทน์ ติดตามด้วยญาติโยมและผู้เข้าร่วมพิธี ระหว่างนั้นจะเปิดพัดลมของหัวเผาลึกและจ่ายน้ำมันจุดสันดาปการเผาไหม้ ซึ่งจะใช้เวลาในช่วงนี้ประมาณ 5 นาที อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นจนถึงประมาณ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส
- 2.3 หลังการวางดอกไม้จันทน์เรียบร้อยแล้ว จึงกดสวิทช์ปิดประตูหน้าของห้องเผาใหญ่
- 2.4 เปิดระบบการทำงานของหัวเผาของเตาเผาใหญ่ หัวเผาใหญ่จะทำงานตามโปรแกรม จุดสันดาปการเผาไหม้เพื่อทำการเผาจริง ระหว่างนั้นอุณหภูมิที่จุดต่างๆ จะเพิ่มสูงขึ้น
- 2.5 สังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก ซึ่งโลงศพที่ทำจากไม้ถูกเผาไหม้ระเหย สารระเหย, ความชื้น องค์ประกอบอื่นออกจากเนื้อไม้ โลงไม้จะค่อยๆ ถูกเผาไหม้กลายเป็นเชื้อเพลิงอีกส่วนหนึ่ง เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงเผาโลง
- 2.6 สังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในช่วงเวลาประมาณนาทีที่ 5 ถึง 50 จะเป็นช่วงที่โลงศพเริ่มแตกออกกลายเป็นถ่านไม้ และเริ่มติดไฟให้พลังงานบางส่วน เปลวไฟจะเริ่มเข้าสู่ตัวศพทำให้น้ำ ไขมันและสารประกอบอื่นๆ ของศพจะถูกระเหยออก ศพจะเริ่มแห้งและพร้อมที่จะลุกติดไฟได้ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงโลงแตก
- 2.7 สังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาประมาณนาทีที่ 50 ถึง 90 จะเป็นช่วงเวลาที่ศพสามารถติดไฟได้และคายพลังงานความร้อน เช่นเดียวกับถ่านไม้จากโลงศพ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันจะควบคุมให้อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงให้

สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ศพจะลุกติดไฟและมอดจนเกือบหมด จะเรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงศพติดไฟ

ในช่วงระหว่างนี้หากได้กลิ่นเหม็นจากเตาเผา จะต้องทำการแก้ไขและควบคุมโดย อาจทำการควบคุมการเปิดพัดลมอัดอากาศเพื่อทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น (ปรับเพิ่มอัตราส่วนอากาศเกินพอ)หรืออาจต้องเปิดช่องควบคุมการทำงานของเตาเพื่อ เชี่ยวศพด้วยเหล็กยาวทำให้การลุกไหม้ของศพ และสิ่งของภายในดีขึ้น

- 2.8 หลังจากนาที่ที่ 90 เปิดพัดลมอัดอากาศเข้าห้องเผาใหญ่และเล็ก เพื่อเติมอากาศเกินพอให้มากขึ้น ทำให้เศษของศพบางส่วนหรือสิ่งอื่นๆ (กระดาษเงินกระดาษทอง ถ้ามมี) ที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ให้ถูกเผาไปให้หมด รวมทั้งเพิ่มอัตราการคายพลังงานของ ถ่านจากไม้มากขึ้นทำให้ถ่านไม้ส่วนที่ติดไฟได้ถูกใช้ให้หมดไป

ขณะเดียวกันให้ปิดการจ่ายน้ำมันและการเผาไหม้ของหัวเผาใหญ่และหัวเผากลิ้น และควนใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของถ่านไม้เพียงอย่างเดียว

ในขณะที่ทำการอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผา ควรต้องมีการควบคุมปริมาณอากาศอัดไม่ให้ มากจนเกินไป ซึ่งทำให้อากาศเกินพอบางส่วนถูกอัดผ่านห้องเผาใหญ่โดยไม่ได้ รับความร้อนอย่างเต็มที่ (Bypass) อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากห้องเผาจะแตกต่างจากอุณหภูมิในห้องเผาค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเป็นผลให้ปัญหาของกลิ่นเหม็น เพราะอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำเกินไป และเวลาสัมผัสของอากาศมีน้อยเกินไป

อุณหภูมิในห้องเผาใหญ่อาจเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจากอุณหภูมิสูงสุดของการเผา เพราะการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนของถ่านไม้และจะค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ หลังจากถึงจุดสูงสุดของอุณหภูมิภายในห้องเผา เพราะปริมาณของถ่าน ไม้ที่ยังติดไฟให้พลังงานได้จะค่อยๆลดลงในช่วงระหว่างนี้ ควรเปิดประตูควบคุม การเผาเพื่อสังเกตการเผาภายในและเปลี่ยนถ่านไม้ภายในเพื่อทำให้มั่นใจว่า ศพทั้งหมดรวมทั้งกระดาษเงินกระดาษทองได้ถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที

- 2.9 หลังนาที่ที่ 120 จะเปิดพัดลมอัดอากาศต่อเนื่องไปอีกประมาณ 2 ชั่วโมง ถึง 2 ชั่วโมงครึ่ง เพื่อเติมอากาศเข้าห้องเผาทำให้ถ่านไม้ภายในมอดหมดรวมทั้งลด อุณหภูมิภายในห้องเผาให้ลดลง จึงปิดพัดลมอัดอากาศ ปล่อยให้อุณหภูมิภายใน ห้องเผาค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งถึงเช้าอีกวันหนึ่ง



### 2.1.3) วิธีการเผาศพด้วยเตาเผาศพ ด้วยน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงแบบประหยัด

การเผาด้วยวิธีนี้จะมีหลักปฏิบัติคล้ายคลึงกับแบบปรกติ แต่จะแตกต่างกันในขั้นตอนบางขั้นตอน คือ ด้วยวิธีนี้จะใช้ประโยชน์ของการลุกไหม้ของถ่านไม้โดยการเพิ่มอัตราการคายพลังงานจากถ่านไม้ให้มากขึ้นโดยการเปิดอากาศอัดจากพัดลมอัดอากาศ ตั้งแต่เริ่มทำการเผาจริง ซึ่งทำให้ประหยัดปริมาณเชื้อเพลิง (จะหยุดจ่ายน้ำมันเมื่อศพเริ่มติดไฟได้เอง ประมาณ นาที่ที่ 50) แต่อาจทำให้การเผาไหม้ภายในเตาไม่สมบูรณ์ อากาศจะถูกอัดผ่านห้องเผาใหญ่ออกไป (Bypass) โดยที่อากาศร้อนนั้นยังรับความร้อนได้ไม่เพียงพอ อุณหภูมิของอากาศร้อนจะแตกต่างกับอุณหภูมิในห้องเผาค่อนข้างมากอาจส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซพิษกลิ่นเหม็นบางส่วนออกมา มากกว่าปรกติ ด้วยวิธีนี้ปริมาณน้ำมันดีเซลต่อการเผา 1 ครั้ง จะเหลือประมาณ 40 ลิตร เทียบกับวิธีปรกติ ซึ่งจะใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลประมาณ 50 ถึง 60 ลิตร ต่อการเผา 1 ครั้ง

ขั้นตอนการเผาในขั้นการเตรียมการ (1.1 ถึง 1.7) รวมทั้งขั้นการเผาจริง ขั้นตอนที่ 2.3 จะเหมือนกับขั้นตอนการเผาแบบปรกติ

- 2.4 เปิดพัดลมของหัวเผาใหญ่พร้อมทั้งจ่ายน้ำมัน จุดสันดาปการเผาไหม้ พร้อมทั้งเปิดพัดลมอัดอากาศ
- 2.7 เมื่อถึงช่วงเวลาที่ประมาณ 50 นาที ศพเริ่มติดไฟ และคายพลังงาน ปิดพัดลมหัวเผาใหญ่และ พัดลมหัวเผากลิ้นและควัน รวมทั้งหยุดการจ่ายน้ำมัน ช่วงระหว่างนี้ จะใช้ประโยชน์จากการลุกไหม้ของถ่านไม้ และศพเอง จากการสังเกตจากการเผาจริง อุณหภูมิในช่วงนี้จะค่อนข้างคงที่
- 2.8 หลังนาที่ที่ 90 จะเปิดประตูควบคุมการเผาไหม้เพื่อสังเกตการเผาไหม้ภายในอีกครั้งว่าศพถูกเผาไหม้ไปทั้งหมดแล้ว และใช้เหล็กยาวเขี่ยถ่านไม้และศพบางส่วนที่อาจยังไม่ถูกเผาไหม้หมดไปอีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิในช่วงนี้อาจเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เพราะการลุกไหม้ของถ่านไม้จะดีขึ้น

ขั้นตอนต่างๆ ส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกับแบบปรกติ ค่าปฏิบัติการที่วัดได้อาจแตกต่างจากการเผาแบบปรกติ เช่น อุณหภูมิของห้องเผากลิ้นและควันอาจต่ำกว่า อุณหภูมิจากการเผาด้วยวิธีปรกติค่อนข้างมาก เพราะจากห้องเผาใหญ่จะถูกอัดผ่านออกจากห้องเผาใหญ่โดยไม่ได้รับความร้อนในช่วงเวลาที่เพียงพอ (Bypass) Resident Time ภายในเตาจะน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้ รวมทั้งอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ปล่อยออกสู่ปล่อง ความดันภายในเตาอาจสูงกว่าแบบปรกติเล็กน้อย เพราะความดันจากแรงดันของอากาศที่อัดเข้าสู่ห้องเผาใหญ่ เป็นต้น

## 2.2) ข้อมูลก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพที่ใช้ในการออกแบบ

เนื่องจากการศึกษาวิจัยลักษณะสมบัติของก๊าซทิ้งจากเตาเผาของประเทศเราก่อนข้างน้อยและอาจไม่สมบูรณ์เพียงพอข้อมูลที่เป็นการสำรวจข้อมูลเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง ดังนั้นในการคำนวณออกแบบจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากหลาย ๆ แห่งประกอบกัน รวมทั้งการตั้งสมมติฐานประกอบ ข้อมูลหลักที่จำเป็นต่อการคำนวณออกแบบได้แก่ อัตราการไหลของก๊าซทิ้ง อุณหภูมิของก๊าซทิ้ง และปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษและสารกลั่นเหม็นในก๊าซทิ้งรวมทั้งปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น

### 1) อุณหภูมิของก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพ

แหล่งข้อมูล : จากการสำรวจจริงที่วัดโสมนัสวิหาร ตารางที่ 2.2.1 ประกอบกับข้อมูลจากนางสาว เมตตา ตรีศิริเนตร (2)

### 2) องค์ประกอบของก๊าซทิ้ง

แหล่งข้อมูล : จากการสำรวจของ Nishida (7) และจากกรมควบคุมมลพิษ (3)

1. องค์ประกอบที่มีความเข้มข้นสูง
  - ไนโตรเจน ( $N_2$ ) = 78 %
  - ออกซิเจน ( $O_2$ ) = 20-21 %
2. องค์ประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำ
  - คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) : 0.01 – 0.02 %
  - น้ำ ( $H_2O$ ) : 0.22 %
  - ไนโตรเจนออกไซด์ (Nox) : 80 ppm (max)
  - ซัลเฟอร์ออกไซด์ (Sox) : 5.8 ppm (max)
  - กรดอะซิติก (Acetic acid) : 24 ppm
  - สารไฮโดรคาร์บอน : 230 ppm (เทียบเท่าโพรเพน)
3. องค์ประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำมาก
  - อะเซตัลดีไฮด์ ( $CH_3CHO$ ) : 0.04 ppm
  - สไตรีน ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) : 0.01 ppm
  - ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) : 0.01 ppm
  - เมทิลเมอร์แคปแทน ( $CH_3SH$ ) : 0.001 ppm
  - ไดเมทิลเมอร์แคปแทน ( $(CH_3)_2S$ ) : 0.0005 ppm
  - แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) : 0.37 ppm
  - ไตรเมทิลเอมีน ( $(CH_3)_3N$ ) : 0.023 ppm

ตารางที่ 2.2.1 ค่าการปฏิบัติการเผาของเมรุเผาศพที่ใช้อ้างอิง

Sampling Place : Wat Sommanus Vihan

Date : Jun.07.1998.

Start Time : 16.22-18.32

Time (min)	Operating Data/Condition									Remarks
	Main Burner Temp ( C )	After Burner Temp ( C )	Stack Temp ( C )	Chamber Press (mmWC)	Main Burner Consum (l)	After Burner Consum (l)	No. of Main Burner Oper	No. of After Burner Oper	Second Blower Operate	
0	74	55	40	-0.15	N/A	N/A	0 (Off)	1 (On)	On	Temp up due to "Dok Mai Chan" burning
5	75	103	46	-0.8	N/A	N/A	0 (Off)	1 (On)	On	
6	94	104	47	-1.31	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	Close Main Chamber Front Door
10	104	104	48	-1.28	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
12	118	103	48	-1.27	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
15	150	102	50	-1.32	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
20	239	113	52	-1	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
25	326	149	53	-0.69	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
30	377	188	53	-0.61	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
35	425	222	55	-0.65	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
40	463	252	56	-0.62	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
45	494	275	57	-0.66	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
50	516	286	57	-0.72	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
55	549	289	58	-0.48	N/A	N/A	1 (On)	1 (On)	On	
60	588	269	57	-0.5	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
65	580	260	57	-0.7	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
70	566	250	56	-0.83	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
75	547	236	56	-0.9	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	Open Sight Chamber, lift up the Body, Wood, Paper to Improve Comb
80	574	232	56	-0.9	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
85	620	223	56	-1.6	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
90	639	215	56	-1.35	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
95	668	213	57	-1.29	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
100	688	214	57	-1.33	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
105	703	212	57	-1.41	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
110	716	215	58	-1.44	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	Short Period Main Burner run to improve Comb
115	722	227	58	-1.12	N/A	N/A	1 (On)	0 (Off)	On	Open Sight Chamber, lift up the Body, Wood, Paper to Improve Comb
120	682	227	58	-0.99	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
125	637	213	58	-1.89	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
130	603	202	57	-2	N/A	N/A	0 (Off)	0 (Off)	On	
135										
140										

Note: Main Burner Motor Power: **0.25 KW, 2850 min<sup>-1</sup>**  
 After Burner Motor Power: **0.09 KW, 2800 min<sup>-1</sup>**  
 Secondary Blower Motor Power: **1.5 KW**  
 Stack Blower Motor Power: **1.8 KW**  
 Front Chamber Blower Motor Power: **1.8 KW**  
 Total Oil Consumption: **40 l**  
 Discharge Air from Sec. Blower Pipe Size is 4" and 1" for each 6 points branch

### 3.) อัตราการไหลของก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพ

แหล่งข้อมูล : จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากของนางสาวเมตตา ตีร์ศิริเนตร

สรุปข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้ในช่วงเวลาต่าง ๆ

#### 1. น้ำมันดีเซล

ปริมาณรวม	40 ถึง 60 l / 2h
ช่วงเริ่มต้น (จุดติดไฟ)	30 %
ช่วงเวลาที่ใช้	0~90 นาที
องค์ประกอบของน้ำมันดีเซล	ตามตาราง 2.2.2

ตารางที่ 2.2.2 องค์ประกอบของน้ำมันดีเซล (5)

Component	Reference Value		Basis	
	Kg	K.mol	Kg/h	K.mol/h
H <sub>2</sub> O	3.6	0.2	0.918	0.051
Carbon	86.4	7.2	22.032	1.836
Hydrogen	8.3	8.3	2.1165	2.1165
Sulfur	0.5	0.02	0.1275	0.0040
Ash	1.2		0.306	
Total	100		25.5	

2.	โลงศพ	
	น้ำหนัก	30 kg
	ช่วงเวลาที่เริ่มติดไฟนาทีที่	5
	ช่วงเวลาที่ใช้หมดนาทีที่	>120
	ช่วง Peak นาทีที่	50
3.	ศพ	
	น้ำหนักรวม	70 kg
	น้ำหนักรวม (ไม่รวม Extracellular water)	46 kg
	น้ำหนักส่วนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้	18.33 kg
	อัตราส่วน C:H	4:7 (mol/mol)
	ช่วงเวลาที่เริ่มติดไฟนาทีที่	40
	ช่วงเวลาที่ใช้หมดนาทีที่	90
	ช่วง Peak นาทีที่	50
	ปริมาณออกซิเจนที่สามารถใช้ในการเผาไหม้	6.3 kg
	องค์ประกอบของร่างกาย	ตามตาราง 2.2.3
	ธาตุในร่างกาย	ตามตาราง 2.2.4

ตารางที่ 2.2.3 องค์ประกอบของร่างกาย (ชายน้ำหนัก 70 กิโลกรัม) (6)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (% wt) ในร่างกาย	ปริมาณ (กิโลกรัม)
น้ำ		
Extracellular	26.0	18.0
Intracellular	34.0	24.0
ไขมัน (Lipid)		
ที่ไม่จำเป็น (ไขมัน)	17.0	12.0
ที่จำเป็น	2.1	1.5
โปรตีน (Protein)	15.0	10.6
แร่ธาตุ (Mineral)	5.5	3.7
รวม	99.4	69.8

ตารางที่ 2.2.4 ธาตุในร่างกาย (ชายน้ำหนัก 70 กิโลกรัม) (6)

แร่ธาตุ	ปริมาณ (% wt) ในร่างกาย	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ออกซิเจน	61	43
คาร์บอน	23	16
ไฮโดรเจน	10	7
ไนโตรเจน	2.6	1.8
แคลเซียม	1.4	1.0
ฟอสฟอรัส	0.83	0.58
ซัลเฟอร์	0.20	0.14
โปรตีน	0.20	0.14
โซเดียม	0.14	0.1
คลอรีน	0.14	0.095
แมกนีเซียม	0.027	0.019
รวม	99.537	69.874

4.) มาตรฐานการป้องกันมลภาวะจากโรงเผาขยะของประเทศญี่ปุ่น (7)

ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการออกแบบระบบบำบัดได้แก่

1. ปริมาณฝุ่น ต้องน้อยกว่า 0.05 g/Nm<sup>3</sup>
2. ปริมาณ SO<sub>x</sub> ให้คำนวณจากค่า K
3. ปริมาณ NO<sub>x</sub> ต้องน้อยกว่า 180 ppm
4. มาตรฐานการป้องกันกลิ่นเหม็น
  - ปริมาณแอมโมเนียต้องน้อยกว่า 2 ppm
  - ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องน้อยกว่า 0.06 ppm
  - ปริมาณเมทิลเมอร์แคปแทน ต้องน้อยกว่า 0.004 ppm
  - ปริมาณเมทิลซัลเฟตต้องน้อยกว่า 0.05 ppm
  - ปริมาณไตรเมทิลเอมีนต้องน้อยกว่า 0.02 ppm

### 2.3) ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Electron Attachment Reactor

แนวคิดของการบำบัดก๊าซมลพิษโดยการเติมอิเล็กตรอนพลังงานต่ำถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Tamon และคณะ (ปี 1989) เมื่ออิเล็กตรอนพลังงานต่ำชนกับโมเลกุลของก๊าซ อิเล็กตรอนบางส่วนถูกจับไว้โดยโมเลกุลของก๊าซนั้นแล้วกลายเป็นอิออนที่มีสภาพเป็นลบ ปรากฏนี้เรียกว่า “ปฏิกิริยาการเติมอิเล็กตรอน (Electron Attachment Reaction)” (Masry 1976) การเติมอิเล็กตรอนนี้ขึ้นอยู่กับพลังงาน, โครงสร้างของโมเลกุลก๊าซและค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตี้ (Electron Affinity) ของโมเลกุลนั้นๆ ด้วย มีความแตกต่างอย่างมากของความน่าจะเป็นในการเติมอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลก๊าซที่แตกต่างกันและทำให้เกิดค่าการเลือกของการผลิตอิออนที่มีสภาพเป็นลบที่แตกต่างกันสูง (Caledonia, 1975, Masry, 1976, 1979).

มลพิษที่ความเข้มข้นต่ำมากๆ สามารถทำให้มีสภาพเป็นลบทางไฟฟ้าได้โดยการเติมอิเล็กตรอน และจะถูกแยกออกจากก๊าซที่เป็นกลางอย่างได้ผลภายใต้สนามไฟฟ้า Tamon และคณะ (1989) ได้สร้างเครื่องแยก 2 ชนิดโดยใช้ทั้ง Photo cathode และตัวจ่ายแบบปล่อย (Glow discharge as electron source) และ รายงานว่าประสิทธิภาพของการกำจัด SF<sub>6</sub> จาก N<sub>2</sub> จะมีค่าสูงที่ความเข้มข้นของ SF<sub>6</sub> ต่ำมาก Tamon และคณะ (1995) ได้ใช้เครื่องมือแบบปล่อยโคโรนา 2 ชนิด ในการกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์, ไอโอดีน และ ออกซิเจน, ไนโตรเจน เขาได้กล่าวถึงกลไกในการกำจัดและได้เสนอแบบจำลอง (Simulation Model) สำหรับการทำนายประสิทธิภาพของการกำจัด, ในเวลาต่อมา Tamon และคณะได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการมีส่วนร่วมของออกซิเจน และ ไออนในการกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์หลายๆ ชนิด Sano และคณะ (1996) ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบปล่อยโคโรนาแบบใหม่ที่มีผนังเครื่องแบบเปียก (Wetted-wall) และมีระบบการเกาะติดที่ผนัง (Deposition type) ในการกำจัดไอโอดีน และเมทิลไอโอดีน ออกจากก๊าซไนโตรเจน Sano (1997) และคณะรายงานว่าการผลิตอิออนลบของสารเคมีอื่นหลายชนิด ระหว่างการกำจัด CH<sub>3</sub>I, C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub> หรือ CH<sub>3</sub>CHO ออกจากอากาศหรือไนโตรเจน ตัวอย่างเช่น การเติมอิเล็กตรอนของ CH<sub>3</sub>CHO อาจทำให้เกิด O<sup>-</sup>, CO<sup>-</sup>, HC<sub>2</sub>O<sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>CH<sup>-</sup> หรือ CH<sub>3</sub><sup>-</sup> หรือ ไอโอดีน อาจจะถูกผลิตจาก CH<sub>3</sub>I หรือ Cl<sup>-</sup> และ F<sup>-</sup> จาก C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub> ในการกำจัด CH<sub>3</sub>I จากอากาศ และ C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub> จาก N<sub>2</sub>, พบอนุภาคสีน้ำตาลเข้มเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดในขณะที่ในการกำจัด CH<sub>3</sub>CHO จากอากาศ จะเกิดชั้นสีน้ำตาลเคลือบที่ผิวของแอโนดการกำจัดก๊าซให้บริสุทธิ์ สรุปลแล้วกลไกการเติมอิเล็กตรอน จะมีหลักการทำงานแตกต่างจากวิธีอื่นในอดีต ซึ่งได้แก่

1. การดูดกลืนก๊าซ (Gas Absorption)
2. การดูดซับก๊าซ (Gas Adsorption)
3. การกลั่น (Distillation)

4. การใช้ระบบทำความเย็น (Cryogenic)

5. การแยกเมมเบรน (Membrane Separation)

วิธีการกำจัดแบบใหม่นี้ จะมีความแตกต่างอย่างชัดเจนก็คือ ความสามารถในการกำจัดมลพิษได้หลายชนิดรวมทั้งก๊าซพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเข้มข้นต่ำมากๆ ขณะที่วิธีแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพต่ำและสิ้นเปลืองพลังงานสูงมากในการกำจัดมลพิษที่ความเข้มข้นต่ำมากๆ เช่นนี้. เนื่องจากองค์ประกอบของก๊าซกลั่นเหม็นจากเตาเผาเศษส่วนมากจะมีค่า Electronegativity สูง ดังนั้นวิธีการเติมอิเล็กตรอนดูเหมือนจะเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซมลพิษ เหล่านั้นภายใต้สนามไฟฟ้า

ส่วนแรกจะศึกษาผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพ การเปลี่ยนโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรอื่นๆ ด้วยหลายตัว เช่น กระแสปล่อยออก (Discharge Current), พลังงานของอิเล็กตรอน (Electron Energy), ความเข้มของสนามพลังไฟฟ้า (Electric field strength), ระยะทางในการเคลื่อนที่ (Migratory distance), เวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Residence time)

ส่วนที่สองทำการศึกษาผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ในด้านของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทด และขนาดอานอด และจำนวนของคาโทดต่อประสิทธิภาพการกำจัดของมลพิษที่เจือจางทั้ง 3 ชนิด การศึกษาขั้นต่อไปซึ่งนอกเหนือขอบข่ายงานนี้คือการศึกษากำจัดก๊าซมลพิษและอนุภาคละเอียดได้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากหลักการพื้นฐานของโคโรนาแบบปล่อย และการตกตะกอน (deposit) บนขั้วอานอดซึ่งหลักการจะคล้ายคลึงกับเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าเชิงสถิตย์ (Electrostatic Precipitator) (White, 1963, Oglesby, and Nichols, 1987, Ogawa, 1984 Loffler 1988)

### 2.3.1) หลักการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ (Principle of Gas Purification)

รูปที่ 2.3.1 แสดงหลักการทำก๊าซให้บริสุทธิ์โดยการกำจัดสารเจือปน (AB) จากก๊าซเฉื่อย ภายใต้เครื่องปฏิกรณ์โคโรนาแบบปล่อย (Tamon และคณะ 1995) วิธีการของเครื่องโคโรนาแบบปล่อยคือ การเติมอิเล็กตรอน พลังงานต่ำเข้าไปอย่างเพียงพอในกระแสของก๊าซมลพิษ เส้นลวดตรงที่อยู่ตรงกลางของเครื่องจะทำหน้าที่เป็นคาโทด และผนังของตัวเครื่องจะทำหน้าที่เป็นขั้วอานอด กระแสไฟฟ้าตรงแรงสูงถูกต่อเข้ากับขั้วคาโทดเพื่อเหนี่ยวนำให้มีการปล่อยโคโรนาในเครื่องปฏิกรณ์ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากขั้วคาโทดจะไปตกยังขั้วอานอดภายใต้สนามไฟฟ้าระหว่างที่อิเล็กตรอนตกลงไปขั้วอานอดนั้นบางส่วนของอิเล็กตรอน จะเลือกชนกับโมเลกุลของก๊าซมลพิษ ทำให้โมเลกุล A มีสภาพเป็นลบเกิดขึ้นแล้วก็ตกไปยังขั้วอานอดเช่นกัน ถ้าหากจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกผลิตขึ้นนั้นมีปริมาณมากเพียงพอที่จะไปชนกับโมเลกุลก๊าซมลพิษได้อย่างเห็นผล อีออนลบของโมเลกุล A ถูกผลิตอย่างสมบูรณ์ เคลื่อนที่ไปเกาะขั้วอานอดเกิดการกำจัดก๊าซมลพิษได้



นอกจากกลไกการกำจัดก๊าซมลพิษโดยการเติมอิเล็กตรอนแล้วกลไกอื่นๆก็อาจเกิดขึ้นได้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดด้วยเช่นกัน เช่นเมื่อไอออนลบที่ถูกผลิตขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์อาจไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลก๊าซชนิดอื่นๆ โดยแรงจากไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) และกลุ่มของก๊าซไอออนลบก็จะถูกผลิตขึ้นและจับตัวเป็นกลุ่มก้อน กลุ่มก้อนของก๊าซนี้จะเคลื่อนที่ไปเกาะขั้วแอโนดซึ่งเป็นกลไกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด กลไกอื่นๆที่อาจเป็นไปได้อีกก็คือปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (Free Radical Reaction) เมื่อมีการเติมอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์นั้นไม่เพียงแต่จะมีไอออนลบเกิดขึ้นยังมีพวกอนุมูลอิสระเกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปอนุมูลอิสระ จะเกิดขึ้นอยู่แล้วบริเวณใกล้ๆ กับผิวของคาโทด เนื่องจากความเข้มสูงของสนามไฟฟ้า

นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับโอโซน ( $O_3$ ) สามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้ภาวะการมีอยู่ร่วมของออกซิเจนอยู่ด้วย โดยที่อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงบริเวณใกล้ขั้วคาโทดชนกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน อนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน และโอโซนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลก๊าซอื่นๆอีก ซึ่งปฏิกิริยาของโอโซนดังกล่าว อาจมีส่วนในการกำจัดก๊าซมลพิษในกระแสก๊าซเสีย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษได้.

### 2.3.2) การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดของมลพิษแต่ละชนิด

ผลการทดลองจากการศึกษาการกำจัดก๊าซมลพิษแต่ละชนิดซึ่งหลายชนิดเป็นองค์ประกอบที่ได้จากการเผาผลาญ อธิพิพลที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพได้แก่

- กระแสปล่อยออก
- แรงดันไฟฟ้า
- อัตราการไหลของก๊าซ
- ความเข้มข้นของมลพิษ
- การมีอยู่ร่วมของก๊าซออกซิเจน และไอน้ำ

#### 1) อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

รูปที่ 2.3.2 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์กำจัดก๊าซมลพิษ, ก๊าซตัวอย่างถูกผสมเข้ากับไนโตรเจน หรือกับก๊าซไนโตรเจน และออกซิเจน หรือกับก๊าซไนโตรเจน และไอน้ำ, และถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์, การผสมออกซิเจน และไอน้ำเข้าไปก็เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลต่อการกำจัดก๊าซมลพิษ

ก๊าซมลพิษที่จะทำการทดสอบได้แก่

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน ( $C_2Cl_3F_3$ )

ไดเมทิล ซัลไฟด์ (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S

คาร์บอนิลซัลไฟด์ (COS)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S)

เมทิลเมอร์แคปแทน (CH<sub>3</sub>SH)

คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS<sub>2</sub>)

ไตรเมทิลเอมีน (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

เมทิลไอโอไดด์ (CH<sub>3</sub>I)

อะซีตัลดีไฮด์ (CH<sub>3</sub>CHO)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. ท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร ยาว 280 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นอาโนด
2. ลวดคาโรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร
3. ระบบดูดซึมก๊าซสำหรับดักจับก๊าซมลพิษที่กำลังจัดไม่หมด
4. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ

ความเข้มข้นของก๊าซขาเข้าจะถูกผสมโดยใช้ก๊าซมาตรฐานเกรดที่ใช้ในการวิเคราะห์ผสมกับก๊าซไนโตรเจน, ความเข้มข้นของซัลเฟอร์และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ทั้งทางขาเข้าและขาออกวิเคราะห์โดยใช้ก๊าซโครมาโตกราฟี (GC) ที่มีตัวตรวจวัดแบบ FPD (Flame Photo metric Detector) หรือแบบ FID (Flame Ionization Detector) ความเข้มข้นของไอน้ำขาเข้าถูกควบคุมโดยการผ่านก๊าซเฉื่อยลงไปในน้ำกลั่นภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอน้ำวิเคราะห์โดยการวัดจุดน้ำค้าง (Hygrometer) ช่วงความเข้มข้นของออกซิเจนคือ 0 ถึง 49 เปอร์เซ็นต์, ไอน้ำที่ 300 ถึง 13,000 ppm. และก๊าซตัวอย่างที่ 0.176 ถึง 400 ppm.

ประสิทธิภาพการกำจัดนิยามโดยสมการ

$$\Psi = \frac{[C_{in} - C_{out}]}{C_{in}} \quad (2.3.1)$$

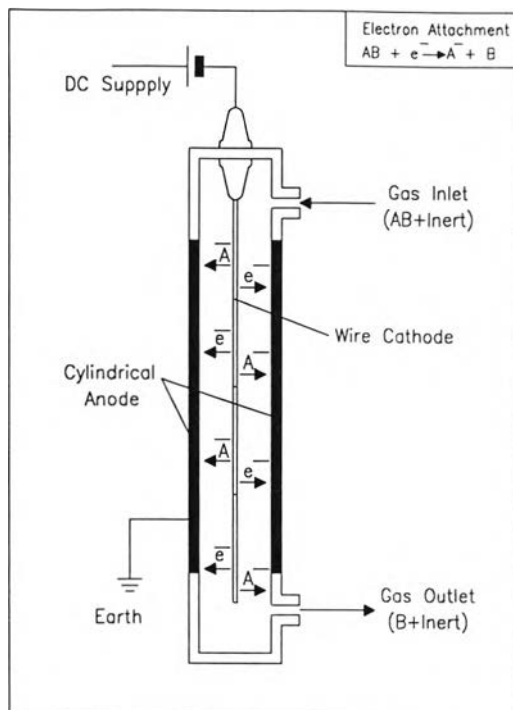
โดย C<sub>in</sub> และ C<sub>out</sub> คือความเข้มข้นของก๊าซมลพิษตัวอย่างทางขาเข้า และออกตามลำดับ ในบางกรณีสมการ 1 อาจไม่เหมาะสม เช่นการกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ ประสิทธิภาพการกำจัดนิยามโดย

$$\Psi^s = \frac{1 - (C_{out} + KC_{sub})}{C_{in}} \quad (2.3.2)$$

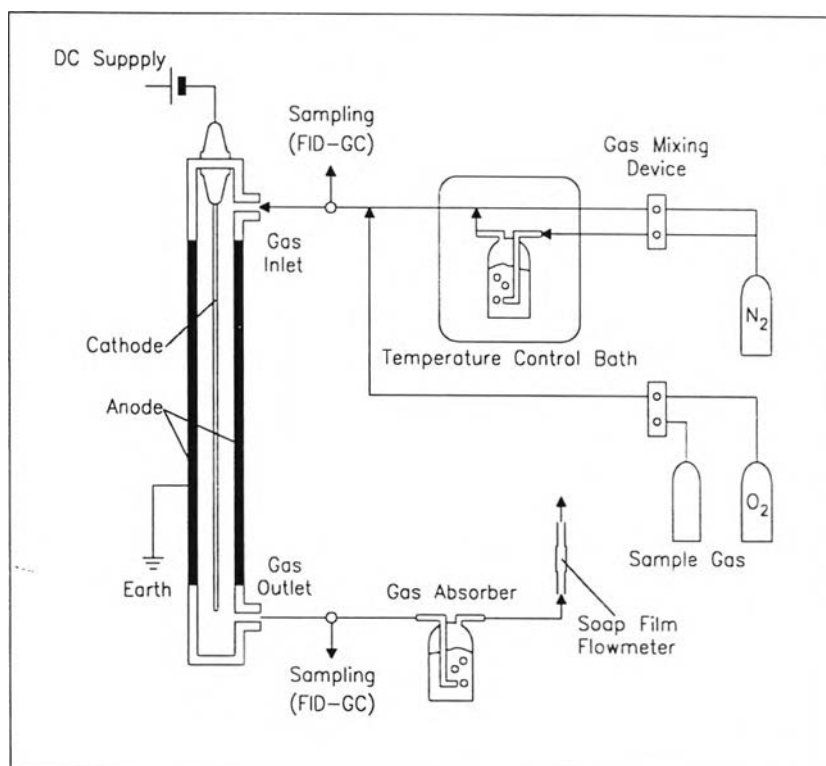
ซึ่ง C<sub>sub</sub> คือ ความเข้มข้นของก๊าซผลพลอยได้จากปฏิกิริยาที่ขาออก

K คือ ปริมาณสารสัมพันธ์ของซัลเฟอร์

ตัวอย่างผลพลอยได้เป็นซัลเฟอร์ K = ½ สำหรับการกำจัด CS<sub>2</sub>



รูปที่ 2.3.1 หลักการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของระบบ Electron Attachment (8)



รูปที่ 2.3.2 ไลอะแกรมของอุปกรณ์กำจัดก๊าซมลพิษด้วย Electron Attachment (8)

## 2) ผลการทดลอง และวิเคราะห์

รูปที่ภาคผนวก ก.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด  $\text{SF}_6$  ออกจากไนโตรเจนที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสปล่อยออก (I) ที่ความเข้มข้นของมลพิษขาเข้าต่างๆ ในการทดลองนี้ใช้ความเร็ว (Space Velocity) SV ประมาณ 18.9 ชม<sup>-1</sup> และความดันบรรยากาศในเครื่องปฏิกรณ์ตลอดการทดลอง พบว่ายิ่งกระแสปล่อยออกมากขึ้นเท่าไรประสิทธิภาพการกำจัดก็เพิ่มขึ้นด้วย เพราะโอกาสในการเติมอิเล็กตรอนให้  $\text{SF}_6$  มีมากขึ้นตามจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เพิ่มขึ้น ได้มีการทดลองกำจัดก๊าซมลพิษชนิดอื่นๆ ในภาวะที่มีการผันแปรกระแสปล่อยออก (I) ของการเติมอิเล็กตรอน ดังตารางที่ภาคผนวก ก.1 ถึง ก.4 แสดงผลการผันแปรกระแสการปล่อยออก (I) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดพบว่า ทุกตารางประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น ตามกระแสการปล่อยออกที่มากขึ้นและ ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นขาเข้าลดลงด้วยดังแสดงในรูปที่ภาคผนวก ก.1 ตัวอย่างเช่นที่ความเข้มข้น 1 ppm. กับ 176 ppb. ประสิทธิภาพของ  $\text{SF}_6$  ประมาณ 99% ถ้าปริมาณอิเล็กตรอนที่เพียงพอเทียบกับปริมาณโมเลกุลของก๊าซที่มีอิเล็กโตรนาเนกาทิวิตี้ที่ส่งเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด

นอกจากนี้ความเร็วต่อการกำจัดดังรูปที่ภาคผนวก ก.2 ของการกำจัด  $\text{SF}_6$  ออกจากก๊าซไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 300 ppm. กับ 1.05 ppm. ที่กระแส 1.2 mA พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเมื่อ SV สูงขึ้น โดยปกติแล้วการเพิ่ม SV จะทำให้ประสิทธิภาพการชนกันระหว่างอิเล็กตรอน และโมเลกุลของก๊าซลดลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ โอกาสในการเติมอิเล็กตรอนลดลงเมื่อ SV สูงขึ้น

ตารางที่ภาคผนวก ก.2 แสดงถึงผลของ SV ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของก๊าซอื่นๆ ซึ่งแนวโน้มจะเหมือนกับของ  $\text{SF}_6$  รูปที่ 2.3.5 แสดงการกำจัด  $\text{CS}_2$  ออกจาก  $\text{N}_2$  และ  $\text{O}_2$  ในช่วงความเข้มข้น 0-49.3% จากรูปพบว่าประสิทธิภาพที่นิยามโดยสมการ (2.3.2) จะดีขึ้นเมื่อมี  $\text{O}_2$  อยู่รวมในกระแสก๊าซด้วยและการมี  $\text{O}_2$  ในปริมาณที่พอเหมาะก็ทำให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงสุดเช่นกัน

ตารางที่ภาคผนวก ก.3 แสดงผลของการมีอยู่ร่วมของ  $\text{O}_2$  ปนอยู่ด้วยต่อประสิทธิภาพการกำจัดของก๊าซชนิดต่างๆ พบว่าก๊าซส่วนใหญ่ที่มี  $\text{O}_2$  อยู่ร่วมจะมีประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ  $\text{O}_2$  มากขึ้น ยกเว้นกรณีของ  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าอิเล็กตรอนไปทำปฏิกิริยากับ  $\text{O}_2$  ที่มีปนอยู่แทน ดังนั้น  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  จึงมีโอกาสในการเติมอิเล็กตรอนในก๊าซ ส่วนผสมของ  $\text{N}_2+\text{O}_2$  น้อยกว่าของ  $\text{N}_2$  อย่างเดียว สาเหตุอื่นที่อาจเป็นไปได้คือ ปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระหรือการเกิดอนุภาคของสารอินทรีย์จะถูกยับยั้งโดยออกซิเจน ผลการกำจัด COS ในภาวะที่มีไอ

หรือการเกิดอนุภาคของสารอินทรีย์จะถูกยับยั้งโดยออกซิเจน ผลการกำจัด COS ในภาวะที่มีไอน้ำแสดงดังรูปที่ภาคผนวก ก.4 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะดีขึ้นเมื่อมีไอน้ำอยู่ในส่วนผสมนั้นด้วย การเกิดกลุ่มของอิเล็กตรอนที่มีสภาพลบในภาวะที่มีไอน้ำสามารถสนับสนุนประสิทธิภาพการกำจัดที่สูงขึ้นได้

ตารางที่ภาคผนวก ก.4 แสดงผลการทดลองของก๊าซอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นแนวเดียวกันคือการมีอยู่ร่วมของไอน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น

รูปที่ภาคผนวก ก.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของ  $\text{SO}_2$  ในภาวะที่มีออกซิเจนอยู่ร่วมประมาณ 5.1% และไอน้ำ 600~6300 ppm และ แสดงผลของภาวะที่มีไอน้ำเพียงอย่างเดียว (400 ppm) ผลคือประสิทธิภาพกำจัดจะมีค่าสูงสุดในช่วงที่ กระแสสูงสุดภายใต้ภาวะที่มี  $\text{O}_2$  ในภาวะที่กระแสต่ำการมี  $\text{H}_2\text{O}$  เพียงพอก็ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มได้เช่นกัน, อย่างไรก็ตามผลของไอน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดถูกละไว้ได้ในภาวะที่มีกระแสสูงๆ ในทางตรงกันข้ามการกำจัด  $\text{CS}_2$  มีแนวโน้มที่ต่างกัน แม้ว่าผลของการมีไอน้ำจะละไว้ในภาวะที่มีกระแสสูงๆ ก็อาจเป็นเพราะมีการเกิด COS

### 3) สรุปผลการทดลอง

ปฏิกิริยาการเติมอิเล็กตรอนสามารถกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่สามารถบำบัดก๊าซพิษ และก๊าซกลิ่นเหม็นได้ เช่น  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{SH}$  และ  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  แม้ว่าผลการทดลองตั้งแต่ตารางที่ภาคผนวก ก.1 ถึง ก.5 จะบ่งบอกได้ไม่ชัดเจนถึงการกำจัดซึ่งอาจพอสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มปริมาณกระแสปล่อยออก หรือโดยการลด Space Velocity ซึ่งทำได้โดยลดปริมาณการไหลของก๊าซ หรือเพิ่มความยาวของเครื่องปฏิกรณ์ หรือการจัดวางเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องกัน นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นที่ยิ่งต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น

นอกจากนั้นการมีอยู่ร่วมของออกซิเจน และไอน้ำในก๊าซตัวอย่างจะมีผลทั้งในแง่เพิ่ม และลดประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษ

#### 2.3.3) ผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด

จากเหตุผลในส่วนที่ 1 ในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพ จำเป็นต้องทำการศึกษารายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อให้ได้แนวทางในการขยายส่วน (Scale-up) จึงต้องทำการศึกษาผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด ก็เพราะว่าการเปลี่ยน

โครงสร้างจะมีผลต่อตัวแปรอื่นๆ เช่นกระแสปล่อยออก, พลังงานของอิเล็กตรอน, ความเข้มของสนามไฟฟ้า, ระยะทางการเคลื่อนที่ และเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์.

### 1) อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

รูปที่ภาคผนวก ก.6 แสดงลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลองผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่ทำการทดลองศึกษา

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทด
- รูปร่างของแอโนด
- จำนวนของคาโทด

การศึกษาได้ทดสอบกับการกำจัด  $\text{CH}_3\text{I}$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$  และ  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  ในส่วนที่ 2 นี้ประสิทธิภาพการกำจัดจะนิยามโดยสมการ 2.3.1 สำหรับการทดลองทั้งหมด

### ก) อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วคาโทด (ขั้วลบ) แบ่งเป็น 2 ตอน

1.1 การกำจัดมลพิษออกจากอากาศแห้ง (20% ออกซิเจน)

1.2 การกำจัดมลพิษออกจากไนโตรเจนแห้ง

และทำการผันแปรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทด, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.26, 1.6 มิลลิเมตร ส่วนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวของเครื่องปฏิกรณ์คือ 38 มิลลิเมตร x 280 มิลลิเมตร

### ข) อิทธิพลของรูปร่างขั้วแอโนด (ขั้วบวก)

รูปร่างของแอโนดที่ใช้ทำการทดลองมี 3 ขนาด โดยทั้ง 3 ขนาดที่มีปริมาตรเท่ากัน

ขนาด	ใหญ่	กลาง	เล็ก
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	70	38	19
ความยาว (มิลลิเมตร)	70	280	1120

สำหรับขนาดของคาโทด สำหรับก๊าซมลพิษ  $\text{CH}_3\text{I}$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  และ  $\text{CH}_3\text{CHO}$  คือ 0.3, 0.3, 0.2 มิลลิเมตรตามลำดับ



ค) อิทธิพลของจำนวน Cathode (ขั้วลบ)

รูปที่ภาคผนวก ก.6 แสดงภาพตัดขวางของอาโนด 2 ชนิด คือที่มีจำนวนคาโทด 1 และ 5 เส้นในอาโนดรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของอาโนดที่ใช้คือ 38 มิลลิเมตรและ 280 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทดคือ 0.3 มิลลิเมตร

2) ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

ก) ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทด

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ความน่าจะเป็นในการเติมอิเล็กตรอนขึ้นกับพลังงานของอิเล็กตรอนและชนิดของก๊าซ พลังงานของอิเล็กตรอนขึ้นกับอัตราส่วนของความเข้มของสนามไฟฟ้า (E) ต่อความดันก๊าซรวม (p) (E/p) อิเล็กตรอนจะถูกเร่งในสนามไฟฟ้า (p) และมีการชนกันเกิดขึ้นระหว่างอิเล็กตรอนด้วยตัวเอง และชนกับโมเลกุลก๊าซก็จะทำให้ความเร็วนั้นลดลง ดังนั้นถ้า E/p มีค่าสูงคือพลังงานของอิเล็กตรอนจะสูงขึ้นด้วยสนามไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชัน กับ r ดังแสดง

$$E = \frac{V}{r \ln(R/R_0)} \quad (2.3.3)$$

จากสมการ 2.3.3 จะพบว่าพลังงานของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเมื่อความต่างศักย์ของโคโรนาเพิ่มขึ้น รูปที่ภาคผนวก ก.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ V ต่อการกำจัด  $\text{CH}_3\text{I}$  จากอากาศพบว่ายิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทดมากขึ้นความต้องการแรงดันไฟฟ้า ที่จะผลิตกระแสเดียวกันจะมากขึ้นด้วย, แนวโน้มนี้จะเหมือนกันถ้าอยู่ภายใต้ภาวะการมีอยู่ร่วมไนโตรเจน และเช่นเดียวกันกับการกำจัด  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  และ  $\text{CH}_3\text{CHO}$  ซึ่งสอดคล้องกับสมการ 2.3.3 ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทดมากขึ้นก็จะทำให้ E เพิ่มขึ้นภายใต้ V คงที่ ค่าสนามไฟฟ้าต่อความดันก๊าซทั้งหมด (E/p)

$$E/p = \frac{R}{R_0} \int_{R_0}^R \frac{(2\pi r)(E/p) dr}{\pi(R^2 - R_0^2)} = \frac{2V}{p(R+R_0)\ln(R/R_0)} \quad (2.3.4)$$

รูปที่ภาคผนวก ก.8 แสดงค่า (E/p) ของการกำจัด  $\text{CH}_3\text{I}$  จากอากาศแห้งซึ่งมีการผันแปร I ที่กระแสปล่อยออกเดียวกันค่าเฉลี่ยของ (E/p) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโทดเพิ่มเพราะการเพิ่ม V ที่ต้องการตามรูปที่ภาคผนวก ก.7 ดังนั้นพลังงานของ อิเล็กตรอนใน

รูปที่ภาคผนวก ก.8 ก็จะมีเพิ่มตามการเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคาโรต รูปที่ภาคผนวก ก.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของ  $\text{CH}_3\text{I}$  จากอากาศแห้งโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น จากรูปที่ภาคผนวก ก.8 และ ก.9 อาจสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของพลังงานของอิเล็กตรอนนั่นเองและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นของคาโรต จะต้องการแรงดันไฟฟ้า มากจะทำให้การใช้พลังงานมากขึ้นด้วยซึ่งแสดงดังรูปที่ภาคผนวก ก.10 ซึ่งแสดงผลประสิทธิภาพการกำจัดของ  $\text{CH}_3\text{I}$  จากอากาศแห้งกับการใช้พลังงาน ซึ่งสรุปได้ว่าที่ระดับการใช้พลังงานเดียวกัน, การเพิ่มขนาดของคาโรตจะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเช่นเดียวกับ รูปที่ภาคผนวก ก.11

รูปที่ภาคผนวก ก.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด  $\text{CH}_3\text{CHO}$  ในสภาวะอากาศแห้ง, ไนโตรเจน จากการเปรียบเทียบในรูปที่ภาคผนวก ก.10 ก.11 และ ก.12 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เพิ่มขึ้นสำหรับ  $\text{CH}_3\text{I}$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$  ในภาวะที่มี  $\text{O}_2$  เนื่องจาก  $\text{O}_3$  ถูกผลิตได้จาก  $\text{O}_2$  ในเครื่องปฏิกรณ์แบบปล่อยโคโรนา ซึ่ง  $\text{O}_3$  เป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น

ข) อิทธิพลของรูปร่างของอาโนด (ขั้วบวก)

รูปที่ภาคผนวก ก.13 ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของ  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  จากอากาศแห้งระหว่างรูปร่างต่างๆ ของอาโนด พบว่าลำดับของประสิทธิภาพการกำจัดคือ ประสิทธิภาพการกำจัดของอาโนดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดมีค่ามากกว่า ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ตามลำดับ

ส่วนรูปที่ภาคผนวก ก.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับ  $P$  ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอาโนดที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ และค่าเฉลี่ยของ  $E/p$  กับ  $I$  สำหรับการกำจัด  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  จากอากาศแห้ง ดังแสดงในรูปภาคผนวก ก.15 และ ก.16 ตามลำดับ จากรูปที่ภาคผนวก ก.15 พบว่าขนาดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใหญ่ขึ้น ความต้องการแรงดันไฟฟ้าจะมากขึ้นตามด้วย การเปรียบเทียบนี้พบว่าพลังงานเฉลี่ยของอิเล็กตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กสุดจะมีค่ามากที่สุด, ขณะที่เครื่องปฏิกรณ์อีก 2 ขนาดต้องการขนาดของพลังงานอิเล็กตรอนพอๆ กัน



จากคำอธิบายข้างต้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะขึ้นอยู่กับพลังงานอิเล็กตรอนมากกว่า เนื่องจากลำดับของประสิทธิภาพการกำจัด กับ  $I$  และ  $(E/p)$  กับ  $I$  แตกต่างกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของอาโนด, ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนด้วยพลังงานอิเล็กตรอน ในความเป็นจริงแล้วรูปแบบไหลของก๊าซข้างในเครื่องปฏิกรณ์จะมีความซับซ้อนมาก, ก๊าซที่เป็นประจุจะเหนี่ยวนำการพาของก๊าซซึ่งเรียกว่า "Wind ion" ลมไอออน หรือ ลมโคโรนา (Wind Corona) เนื่องจากความเร็วของลมเพิ่ม 1.5 ถึง 2.0 m/s (Yabe และคณะ 1978) รายงานว่าก๊าซทั้งหมดจะมีระนาบเป็นแผ่นราบในเครื่องปฏิกรณ์ แม้ว่า superficial Reynolds no. จะอยู่ในช่วง Laminar flow ก็ตาม, อีกนัยคือเครื่องปฏิกรณ์จะมีการไหลแบบ PFR(Plug Flow) ในกรณีที่เครื่องปฏิกรณ์มีขนาดสั้น ซึ่งถือว่าเป็นแบบ CSTR มากกว่าแบบ PFR เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงขณะที่ Conversion มากขึ้น ,สำหรับ PFR จะให้ Conversion ที่สูงกว่า CSTR, ซึ่งการอธิบายนี้จะบอกว่าทำไมอาโนด เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 76 mm จึงมีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าขนาด 38 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง แม้ว่าค่า  $(E/P)$  เฉลี่ยมากกว่า หรือน้อยกว่าหรือเท่ากัน

ข้อสรุปที่สำคัญอีกประการก็คือ เครื่องปฏิกรณ์ควรจะมีรูปร่างยาวและบางซึ่งจะทำให้ความเร็วยิ่งสูง และไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน และความดันตกคร่อมที่มากเกินไป, รวมทั้งการใช้ Power (P) จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ

#### ค) อิทธิพลของจำนวนขั้วลบ (คาโธด)

รูปที่ภาคผนวก ก.17 และ ก.18 เปรียบเทียบผลของจำนวนคาโธด ต่อประสิทธิภาพการกำจัด  $\text{CH}_3\text{CHO}$  จากอากาศเทียบกับ  $I$  และ  $p$  ตามลำดับ พบว่า คาโธด เดียวจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า ชนิดที่มี 5 เส้น

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีคาโธด 5 เส้น, โคโรนาบริเวณตรงกลางจะสูญเสียไปซึ่งหมายความว่าทำให้เกิดช่องว่างของโคโรนาขึ้น (Corona free space) บริเวณรอบๆ คาโธดเส้นกลาง ถ้าหากเกิดช่องว่างอิเล็กตรอน (Electron free-space) ขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ก๊าซที่ผ่านช่องว่างอันนี้ ก็จะไม่มีโอกาสชนกับอิเล็กตรอนได้

นอกจากนี้การกระจายตัวในช่องว่างนี้จะไม่สม่ำเสมอในเครื่องปฏิกรณ์คาโธด 5 เส้นเพราะกระแสส่วนใหญ่ที่เกิดในบริเวณที่ซึ่งใกล้กับขั้วอาโนด ไม่เพียงแต่อิเล็กตรอน free space จะถูกพบในบริเวณช่วงกลางของเครื่องปฏิกรณ์เท่านั้น แต่บริเวณที่มีอิเล็กตรอนสูง (Electron

rich space) จะครอบคลุมบริเวณรอบๆ คาโธดทั้ง 4 และ อาโนดด้านนอกด้วย เพราะฉะนั้น บริเวณที่มีผลต่อการกำจัดในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีคาโธด 5 เส้นนี้จะมีน้อยมาก ซึ่งทำให้ ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำลง

### 3) สรุปผลของโครงสร้าง

ผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อการกำจัด  $\text{CH}_3\text{I}$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  และ  $\text{CH}_3\text{CHO}$  จากการศึกษาทดลองพบว่า คาโธดที่หนากว่าจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ และในส่วนของรูปร่างอาโนดพบว่าเครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าโดยที่ความต้องการพลังงานต่ำกว่า จำนวนคาโธดเดียวจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดดีกว่าชนิดที่ 5 เส้น

#### 2.3.4) สรุปและวิจารณ์ผลของการทดลองทั้งหมด

การศึกษาพื้นฐานต่อผลกระทบสำคัญ ๆ ได้แก่ กระแสการปล่อย, ความเข้มข้นของก๊าซเข้า, ความเร็ว และการมีอยู่ร่วมของออกซิเจน และไอน้ำในบรรยากาศของก๊าซมลพิษแต่ละชนิดซึ่งใช้ทำการทดลอง สามารถกล่าวได้ว่า วิธีการเติม อีเลคตรอนน่าจะเป็นวิธีบำบัดที่ดีสำหรับมลพิษจากการเผาผล

จากผลการทดลองที่ความเร็วของการไหลหรือความเข้มข้นของก๊าซมลพิษที่มากขึ้นจะทำให้ ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำหรือในทางตรงกันข้าม ถ้ากระแสไฟฟ้ายิ่งสูงก็ทำให้ประสิทธิภาพ ยิ่งสูงด้วย และการมีอยู่ร่วมของออกซิเจนและไอน้ำในก๊าซผสมจะมีบทบาทที่สำคัญต่อการ ส่งเสริมและการหน่วงประสิทธิภาพการกำจัด นอกจากนี้ผลของโครงสร้างของเครื่อง ปฏิกรณ์สรุปได้ว่า โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์แบบปล่อยโคโรน่าที่มีความเหมาะสมคือ เครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ และมีคาโธดเดียว

อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาต่อไปถึงการกำจัดในภาวะที่มีก๊าซมลพิษอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งจะเป็นสภาวะที่พบจริงในการเผาผล

## 2.4) ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพด้วย Electron Attachment Reactor

### 2.4.1) หอหล่อเย็นแบบสัมผัสโดยตรง (Direct contact cooler)

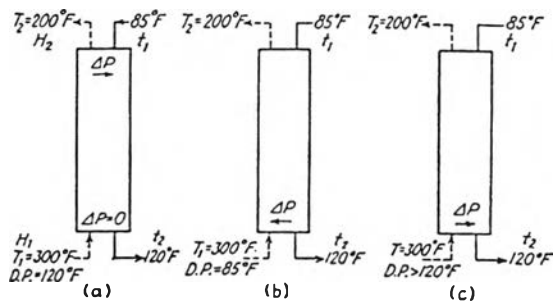
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ลดอุณหภูมิของก๊าซทิ้ง โดยการสัมผัสตรงกับของไหลอีกชนิดหนึ่งซึ่งใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำ การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นภายในระหว่างแพค หรือ ฟิลด์ (Packed or filled) การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดจากความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และหรือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Evaporation heat)

ก๊าซร้อนจะถูกป้อนเข้าหอและสัมผัสโดยตรงกับหยดน้ำภายในแพค เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน วิธีนี้เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ ใช้ทดแทนขนาดของความร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อได้ด้วย ความสูงของแพคเพียงเล็กน้อย แต่อาจไม่นิยมใช้มากนักเพราะอาจเกิดความไม่แน่นอนในการแลกเปลี่ยนความร้อนเช่น อาจเกิดการเดือดของน้ำหรือเกิดฟองขึ้นภายในหอ

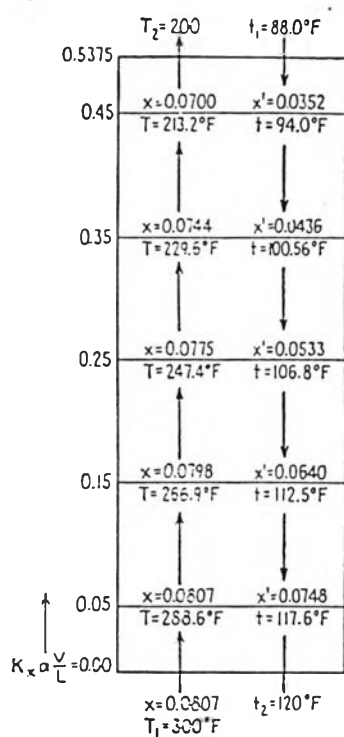
จากรูป 2.4.1 a) น้ำจะถูกป้อนเข้าจากด้านบนที่อุณหภูมิ 85 องศาฟาเรนไฮท์ และออกที่ 120 องศาฟาเรนไฮท์ หากอากาศร้อนถูกป้อนเข้าสู่ที่อุณหภูมิ 300 องศาฟาเรนไฮท์ จุดน้ำค้างที่ 120 องศาฟาเรนไฮท์ และอุณหภูมิขาออก 200 องศาฟาเรนไฮท์ เพราะว่าที่ก้อนหอ อุณหภูมิของก๊าซและน้ำมีค่าเท่ากัน และความดันไอเท่ากัน ดังนั้นที่ก้อนหอจะไม่เกิดการถ่ายเทมวลจากวัฏภาคของน้ำไปยังวัฏภาคของก๊าซ การถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเกิดความแตกต่างของจุดน้ำค้าง และความดันย่อยของก๊าซกับอุณหภูมิขาออกของน้ำ ศักย์ของการถ่ายเทมวลและความร้อนจะเปลี่ยนตามความสูงของแพค ระหว่างแพคจุดน้ำค้างของก๊าซจะสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นความชื้นในก๊าซจะแพร่ไปยังวัฏภาคของน้ำ

จากรูป 2.4.1 b) ในกรณีนี้จุดน้ำค้างของก๊าซเท่ากับ 85 องศาฟาเรนไฮท์ ความดันย่อยของน้ำขาออกจะสูงกว่าของก๊าซ ดังนั้นน้ำจะแพร่สู่วัฏภาคของก๊าซ ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีของหอทำความเย็น เพราะกรณีของหอทำความเย็นอากาศจะถูกถ่ายเทความร้อนจากน้ำทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น และเกิดการเพิ่มความชื้นด้วย

จากรูป 2.4.1 c) ในกรณีนี้จุดน้ำค้างของก๊าซมีค่ามากกว่า 120 องศาฟาเรนไฮท์ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิขาออกของน้ำ ดังนั้นความชื้นจากอากาศจะแพร่จากวัฏภาคก๊าซไปยังวัฏภาคของน้ำ



รูปที่ 2.4.1 อิทธิพลของค่า Dew Point ต่อการถ่ายเทมวล (9)



รูปที่ 2.4.2 ขั้นตอนการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างน้ำกับก๊าซ(9)

### การคำนวณออกแบบ

ในการคำนวณออกแบบของหอสังฆ์ผัดตรงนี้คือ จะต้องหาค่า number of diffusion units โดยการอินทิเกรตสมการ 2.4.1 , 2.4.2 และ 2.4.3 พร้อมกันซึ่งทำได้โดยการ trial and error เพื่อหาคำตอบ ค่าตัวแปรที่ยังไม่ทราบได้แก่ ความชื้นในก๊าซขาออก (เอนทาลปีของก๊าซขาออก) และปริมาณน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น (อัตราส่วน L/G) ซึ่งค่า number of diffusion units เป็นค่าความเร็วของก๊าซที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ คือ 2.29 เมตรต่อวินาที (450 ฟุตต่อนาที) เพราะคำนึงถึงความดันตกคร่อมหอและการไหลของไหลภายในเป็นแบบฟิล์ม ดังนั้นปริมาณของก๊าซที่ไหลผ่านต่อพื้นที่จะเท่ากับ 7323.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (1500 ปอนด์ต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง) หากอัตราการไหลของก๊าซต่อพื้นที่มีค่ามากเกินไปการแลกเปลี่ยนความร้อนอาจไม่ดีพอ หรือถ้าหากน้อยเกินไปทำให้หอมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่เกินความจำเป็น

$$dq_c = ha dV (T-t) = G_c dT \quad (2.4.1)$$

$$dq_d = K_x a dV (X-X') = \lambda dL \quad (2.4.2)$$

$$L dt = G dH \quad (2.4.3)$$

### ขั้นตอนการคำนวณออกแบบ

1) สมมติค่าความชื้นในก๊าซขาออก , X

2) คำนวณค่าเอนทาลปีของก๊าซขาออก , H

$$H_2 = X_2(DP_2) + X_2\lambda_2 + X_2C_{PW}(T_2-DP_2) + C_{PG}T_2 \quad (2.4.4)$$

3) ทำความสมดุลความร้อนของระบบ, q และคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน , L

$$q = G(H_1-H_2) \quad (2.4.5)$$

$$L = q / (t_2-t_1) \quad (2.4.6)$$

4) หากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในแต่ละช่วงของ number of diffusion unit (  $K_x a \Delta V/L$  )

4.1) คำนวณหา haV

$$Le = h/K_x C = (k / \rho k_g C)^{2/3} \quad (2.4.7)$$

$$haV = (K_x a V/L) L \cdot Le \cdot c \quad (2.4.8)$$

4.2) คำนวณความร้อนจากการพาความร้อน , q<sub>c</sub>

$$q_c = haV(T-t) \quad (2.4.9)$$

4.3) คำนวณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซ , ΔT

$$\Delta T = q_c / (C_{PG} * G) \quad (2.4.10)$$

4.4) หาค่าความชื้นอิ่มตัวในก๊าซขาออกที่อุณหภูมิของก๊าซขาออก , X'

4.5) คำนวณหาปริมาณน้ำที่แพร่เข้าหรือออกจากวัฏภาคของก๊าซ

$$\text{Water diffuse} = K_x a V (X - X') \quad (2.4.11)$$

4.6) คำนวณความร้อนจากความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอ ,  $q_d$

$$q_d = K_x a V (X - X') \lambda \quad (2.4.12)$$

4.7) คำนวณค่าความร้อนรวมทั้งหมด ,  $q_c + q_d$

$$q = q_c + q_d \quad (2.4.13)$$

4.8) คำนวณหาอุณหภูมิขาออกของน้ำ ,  $\Delta t$

$$\Delta t = q/L \quad (2.4.14)$$

4.9) ทำการคำนวณขั้นตอน 4.1 ถึง 4.8 ใหม่ของ number of diffusion units ช่วงต่อไป โดยใช้ข้อมูลของช่วงก่อนหน้านั้นในการคำนวณ จนกระทั่งอุณหภูมิขาออกของก๊าซได้ตามที่กำหนด

5) ตรวจสอบว่าปริมาณความชื้นในก๊าซขาออกและปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในหอสัมผัสมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งสมมติฐานไว้ในหัวข้อ 1 ถึง 3 หรือไม่ ถ้าหากไม่ตรงกันจะต้องเริ่มคำนวณใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ใหม่ จนกระทั่งค่าที่ตั้งสมมติฐานไว้กับค่าที่คำนวณได้

6) คำนวณความสูงของแพคได้จากค่ารวมของ number of diffusion units

$$Z = n_d L / K_x a$$

7) คำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหอ

#### 2.4.2) อุปกรณ์ดักจับหยดของเหลว ( Mist Eliminator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับหยดของเหลวออกจากกระแสของก๊าซ เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ ได้แก่ 1) เพื่อลดการสูญเสียสารที่มีค่าจากกระบวนการผลิต 2) เพื่อเพิ่มขนาดความสามารถในการรับปริมาณก๊าซ 3) เพื่อปรับปรุงความบริสุทธิ์ของก๊าซขาออก 4) เพื่อกำจัดสารปนเปื้อน 5) เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์อื่นที่ต่อเนื่องจากกันเนื่องจากหยดของเหลว 6) เพื่อป้องกันมลภาวะทางอากาศ ในกระบวนการผลิตหยดของเหลวในกระแสก๊าซอาจเกิดได้จากกลไกต่าง ๆ ได้แก่ 1) ทางกล 2) การควบแน่น 3) ปฏิกิริยาเคมี ขนาดของเหลวซึ่งเกิดขึ้นทางกลสามารถประมาณได้จากสมการซึ่งให้ความแม่นยำ ในกรณีขนาดของเหลวซึ่งเกิดจากการฉีดหยดของเหลวให้เป็นละอองจะอยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 1000 ไมครอน หรือ 2 ถึง 1000 ไมครอน ในกรณีของหอสัมผัสแบบแพคชนิดของอุปกรณ์ดักจับหยดของเหลว อาจแบ่งได้เป็น 4 ชนิด 1) Vane 2) Cyclone 3) Knitted mesh 4) fiberbeds แบบที่สามเป็นแบบที่สามารถให้ประสิทธิภาพการดักจับค่อนข้างสูงและมีค่าติดตั้งต่ำ ถ้าหากหยดละอองประกอบด้วยอนุภาพของแข็ง

หรือของเหลวที่มีความหนืดหรือมีลักษณะเหนียวจะเลือกใช้แบบที่หนึ่ง หากกระบวนการผลิตที่มีช่วงการทำงานที่สูงมากๆ จะเลือกใช้แบบที่สอง ในขณะที่แบบที่จะใช้ในการดักจับอนุภาคในระดับซับไมครอนได้ดี

หลักการการดักจับหยดของเหลวแบบ Kmitted mesh (demister) เมื่อกระแสก๊าซซึ่งมีหยดของเหลวปนอยู่วิ่งผ่านก๊าซวิ่งผ่าน demister ไปอย่างอิสระในขณะที่หยดของเหลวจะถูกดักจับเนื่องจากแรงเฉื่อยของมันจากการสัมผัสพื้นผิวของเส้นลวด จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งหลุดออกจากพื้นผิว ของ demister โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำมักจะเป็นสแตนเลสสตีลเพราะมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง

ตัวแปรในการออกแบบ (design parameters)

สมการที่ 2.4.15 ใช้ในการคำนวณหาความเร็วของก๊าซที่วิ่งผ่าน demister

$$V = K[(\rho_L - \rho_V)/\rho_V]^{1/2} \quad (2.4.15)$$

โดยที่  $V$  = ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ m/s

$\rho_L$  = ความหนาแน่นของเหลว kg/m<sup>3</sup>

$\rho_V$  = ความหนาแน่นของก๊าซ kg /m<sup>3</sup>

$K$  = ตัวแปรความจุ m/s

ค่าคงที่  $K$  จะแปรผันกับตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความหนืดของของเหลว ความตึงผิว ปริมาณหยดของเหลว ปริมาณของแข็งที่ละลายได้หรือแขวนลอย ค่าความดันในการทำงาน แต่โดยทั่วไปในการใช้คำนวณออกแบบจะใช้ค่า  $K$  เท่ากับ 0.107 m/s เป็นมาตรฐานในการออกแบบประสิทธิภาพการดักจับอยู่ระหว่าง 30 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ ความดันลดถือว่าน้อยมาก (น้อยกว่า 25 mm WC) หรือถ้าหากกระบบเป็นสุญญากาศ ความดันอาจจะลดน้อยกว่า 2 ถึง 3 mmWC

#### 2.4.3) การคำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น

Contact power theory ทฤษฎีจะใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของระบบดักจับอนุภาคแบบเปียกโดยใช้ความสัมพันธ์กับความดันลดของก๊าซภายในหอดักจับและพลังงานที่ใช้ไปในการทำให้ของเหลวกลายเป็นละออง ทฤษฎีนี้จะตั้งสมมติฐานว่าประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นนี้จะขึ้นอยู่กับความดันลดทั้งหมดเท่านั้น , $P_t$  ซึ่งจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ ความดันลดของก๊าซเนื่องจากการวิ่งผ่านหอดักจับนี้ ,  $P_G$  และ ความดันของของเหลวเนื่องจากการทำให้เป็นละออง ,  $P_L$

ค่า number of transfers units นี้ จะขึ้นอยู่กับสมบัติของอนุภาคที่ต้องการดักจับ Semrau (20) ทำการพล็อตกราฟ ล็อก- ล็อก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง number of transfers units กับพลังงานที่ใช้ไปทั้งหมด พบว่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของหอดักจับอนุภาค จากผลการทดลองสามารถเขียน สมการอยู่ในรูป

$$P_G = 0.157 \Delta P' \quad (2.4.16)$$

โดยที่  $P_G =$  พลังงานสัมพัทธ์ของก๊าซ , hp/1000 ACFM  
 $\Delta P' =$  ความดันภายในหอดักจับ , inWC

$$P_L = 0.583 P_L (Q_L'/Q'_G) \quad (2.4.17)$$

$$P_L = \text{พลังงานสัมพัทธ์ของเหลว} \cdot \text{hp} / 1000 \text{ACFM}$$

$$p_L = \text{ความดันของเหลว} , \text{psi}$$

$$Q_L' = \text{อัตราการไหลของเหลว} , \text{gal/min}$$

$$Q_G' = \text{อัตราการไหลของก๊าซ} , \text{ft}^3/\text{min}$$

$$P_T = P_G + P_L \quad (2.4.18)$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสัมพัทธ์กับประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค จะทำให้อยู่ในรูปของ number of transfer unit ซึ่งนิยามได้ว่า

$$N_t = \ln [1/(1-\eta)] \quad (2.4.19)$$

$$N_t = \text{number of transfer units}$$

$$\eta = \text{ประสิทธิภาพการกำจัด}$$

$$N_t = \alpha P_T^\beta \quad (2.4.20)$$

$$\alpha, \beta = \text{พารามิเตอร์แสดงลักษณะขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาค}$$

#### 2.4.4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

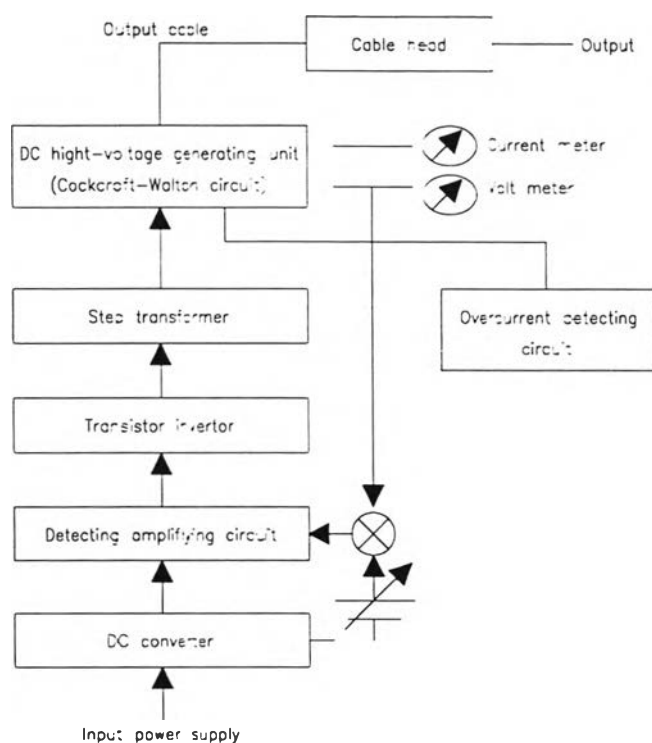
เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นก่อนที่จะจ่ายไปที่ขั้วคาโรตเพื่อปล่อยอิเล็กตรอนพลังงานสูงไปจี้โมเลกุลของก๊าซมลพิษหรือก๊าซกลิ่นเหม็น กระแสไฟฟ้าสลับจากมอเตอร์ไฟฟ้าขององค์การไฟฟ้าจะถูกให้



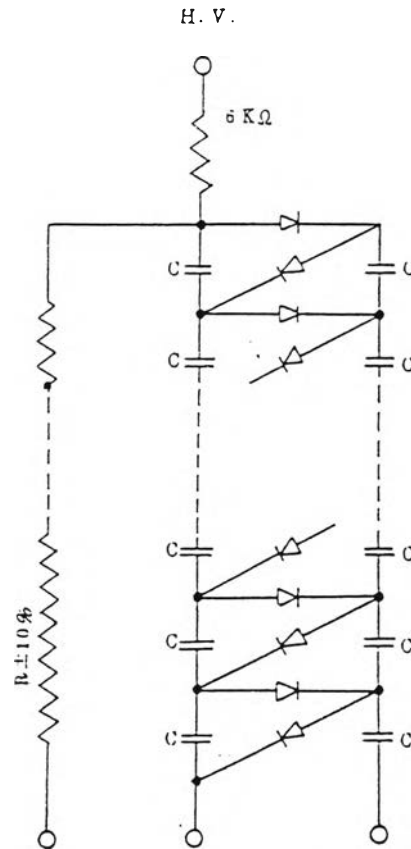
เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรควบคุมแรงดันให้คงที่แบบ SCR สัญญาณที่ใช้ควบคุมเป็นแบบย้อนกลับ จากนั้นจึงเปลี่ยนให้เป็นกระแสสลับอีกครั้งเพื่อปรับให้ความถี่สูงขึ้น เพิ่มแรงดันขึ้นด้วยหม้อแปลงแรงดัน ก่อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสที่แรงดันสูงแต่กระแสต่ำด้วยวงจร Cockcroft-Walton (รูป 2.4.3 และ 2.4.4)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนต่างๆคือ

- 1) เครื่องควบคุมแรงดันให้คงที่แบบ SCR (SCR constant voltage control unit)  
ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ซึ่งจะแปรผันตรงกับแรงดันขาออกที่ต้องการ
- 2) หน่วยจ่ายพลังงานความถี่สูง (High-Frequency power supply unit)  
หน่วยนี้ประกอบด้วย oscillation ทำให้เกิดคลื่นทางไฟฟ้า และเปลี่ยนรูปคลื่นเป็นแบบฟันเลื่อยด้วย integrating circuit และประกอบด้วย saturation amplifier, inverter reference power supply และ detecting amplifying circuit
- 3) หน่วยวงจรป้องกัน (Protection circuit unit)  
วงจรป้องกันกระแสเกินอันเกิดจากการเกิน การลัดวงจร และอื่นๆ
- 4) หน่วยวงจรป้องกัน (Protection circuit unit)  
วงจรป้องกันกระแสเกินอันเกิดจากการเกิน การลัดวงจร และอื่นๆ



รูปที่ 2.4.3 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (29)



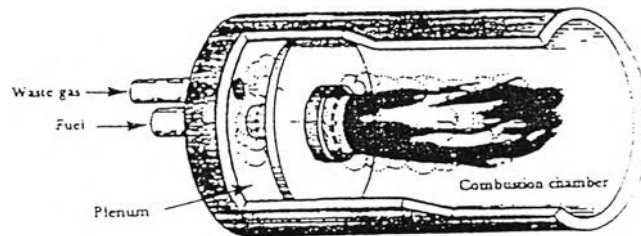
รูปที่ 2.4.4 วงจร Cockcroft-Walton (29)

## 2.5) ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบเตาเผาซ้ำ

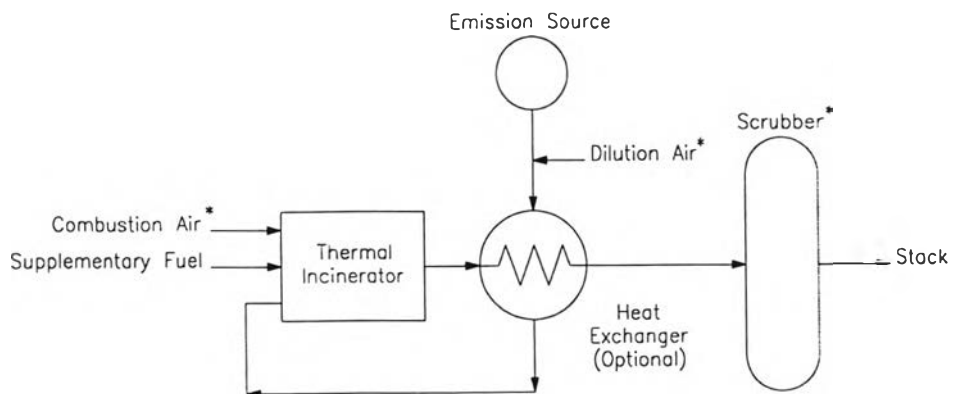
### 2.5.1) ระบบเตาเผาซ้ำ (After Burner)

ระบบเตาเผาซ้ำ (Thermal Oxidizer หรือ After Burner) คือเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารที่สามารถเผาไหม้ได้ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ โดยอุณหภูมิจากเปลวไฟจากกระบวนการเผาไหม้ และเวลาสัมผัสที่ยาวนานเพียงพอ และการผสมที่ดีภายในห้องเผา โดยทั่วไปวัสดุภายในห้องเผาจะใช้อิฐทนไฟ จำนวนหัวเผาที่ใช้อาจมีหนึ่งชุดหรือมากกว่า จากรูป 2.5.1 ก๊าซทิ้งจะถูกป้อนผ่านหัวเผาเกิดกระบวนการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิของก๊าซทิ้งเพิ่มขึ้นถึงจุดที่กำหนด ก๊าซทิ้งจะเคลื่อนที่อยู่ภายในด้วยเวลาสัมผัสที่ยาวนานเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่าการเผาไหม้ของสารมลพิษเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อาจมีการป้อนเชื้อเพลิงและหรืออากาศเกินพอผ่านหัวเผา ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการ ในทางอุตสาหกรรมอาจมีการเพิ่มระบบการนำความร้อนกลับ เนื่องจากก๊าซทิ้งที่ออกจากเตาเผามีอุณหภูมิสูง และมีขนาดปริมาณมากเพียงพอ เพื่อลดต้นทุนของเชื้อเพลิง

เตาเผาเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการควบคุมสารระเหยอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำและทำงานที่อุณหภูมิ 1300 ถึง 2000 องศาฟาเรนไฮต์ เวลาสัมผัสตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 วินาที ขึ้นอยู่กับชนิดสารมลพิษที่ต้องการกำจัด เวลาที่สัมผัสของก๊าซที่อยู่ภายในห้องเผาจะเริ่มนับหลังจากอุณหภูมิของก๊าซภายในเตาเผาขึ้นถึงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่กำหนด การพิจารณาความสามารถของเตาเผาต่อประสิทธิภาพการกำจัด จึงพิจารณาทั้งอุณหภูมิการเผาไหม้และเวลาสัมผัสพร้อมกัน การเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ขึ้น อาจทำให้ความต้องการเวลาสัมผัสลดลงหรือในทางกลับกัน อย่างไรก็ตามการพิจารณาจะให้ความสำคัญต่ออุณหภูมิมากกว่า เช่น การเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้จาก 1200 เป็น 1400 องศาฟาเรนไฮต์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นจาก 50 % เป็น 100 % ที่เวลาสัมผัสเดียวกัน หรือที่อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ 1200 องศาฟาเรนไฮต์ เวลาที่สัมผัสที่ต้องการเป็น 10 เท่าของเวลาสัมผัสที่ใช้สำหรับอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ 1400 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากัน (จากรูป 2.5.3)

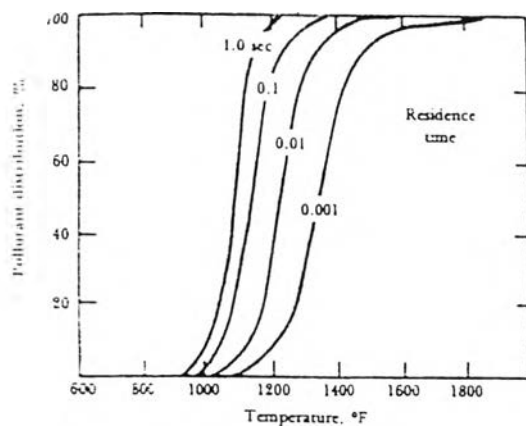


รูปที่ 2.5.1 ลักษณะทั่วไปของเตาเผาซ้ำ (17)



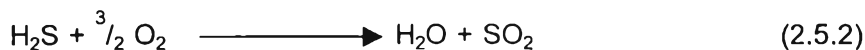
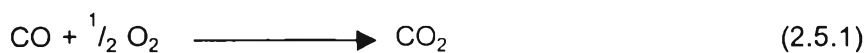
\* Required for specific situations.

รูปที่ 2.5.2 ผังการไหลของเตาเผา (16)



รูปที่ 2.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผาไหม้และเวลาสัมผัส (17)

นอกจากอุณหภูมิการเผาไหม้และเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ปนอยู่ในกระแสของก๊าซซึ่งจะมีผลต่อการพิจารณาการทำงานของเตาเผา ประการแรกหากความเข้มข้นของสารพิษที่สามารถเผาไหม้ได้มีค่าสูง เชื้อเพลิงที่ใช้อาจใช้เฉพาะช่วงเริ่มต้นเท่านั้นหลังจากที่อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นด้วย จนกระทั่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้เอง จึงลดปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงลงที่ค่าหนึ่งซึ่งทำให้แน่ใจว่าปฏิกิริยายังสามารถดำเนินต่อไปได้ ประการที่สองความเข้มข้นของสารมลพิษอาจมีผลต่อการป้อนก๊าซซึ่งจะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดของช่วงที่สามารถติดไฟได้ โดยทั่วไปครึ่งหนึ่งของก๊าซจะถูกป้อนเข้าเพื่อผสมกับเชื้อเพลิงเพื่อปรับอัตราส่วนให้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่สามารถเผาไหม้ได้ ก๊าซที่ส่วนที่เหลือจะถูกป้อนผสมกับก๊าซจากการเผาไหม้เพื่อป้องกันการหล่อเย็นของก๊าซ (Quenching) และต้องคำนึงถึงผลของการผสมว่าเพียงพอหรือไม่ ไม่เช่นนั้นอาจทำให้การเผาไหม้ของก๊าซที่ไม่สมบูรณ์ ก๊าซมลพิษส่วนมากสามารถติดไฟได้เปลี่ยนรูปเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายหรือเป็นอันตรายน้อยกว่า ซึ่งสารประกอบนี้ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ การเผาไหม้จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการควบคุมปริมาณก๊าซมลพิษในอากาศ ตัวอย่างเช่น

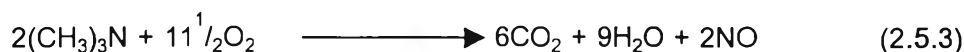


สมการแรกจะเปลี่ยนจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสมการที่สองจะเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นสารพิษ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงและมีกลิ่นเหม็นให้อยู่ในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถึงแม้ว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็ยังเป็นก๊าซอันตรายและมีกลิ่นเหม็นเช่นกัน แต่มีระดับความอันตรายน้อยกว่า ระดับความเข้มข้นต่ำที่สุดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้เท่ากับ 0.0005 ppm และ 0.5 ppm ตามลำดับ ดังนั้นการเผาไหม้เพื่อใช้ในการควบคุมกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ได้ผลโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ

ในกรณีของสารเมอร์แคปแทนซึ่งเป็นสารมีกลิ่นเหม็นซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ การเผาไหม้สารกลิ่นเหม็นนี้ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีความเข้มข้นในระดับที่ต่ำกว่าระดับความสามารถในการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ และไม่มีผลต่อร่างกาย

ในกรณีที่สารไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซสองชนิดหลัง

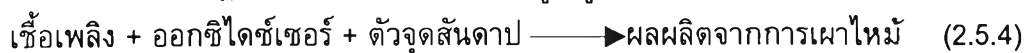
เป็นก๊าซมลพิษที่ต้องทำการควบคุม เช่นสารไตรเมทิลเอมีน เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งมีกลิ่นเหม็นมาก หลังจากผ่านการกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ตามสมการ



บางกรณีการเผาไหม้สารที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรคลอริก ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดซึ่งทำให้เกิดการผุกร่อนทั้งภายในเตาเผาเองหรือบริเวณรอบ ๆ ทำให้เกิดความเสียหาย บางแห่งอาจติดตั้งระบบดักจับก๊าซไฮโดรคลอริกนี้เพื่อป้องกันปัญหา ปัญหาโดยทั่วไปของระบบการเผาไหม้ หรือของเตาเผาคือปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดผลผลิตอื่นขึ้นด้วย เช่น สารอัลดีไฮด์ สารไดออกซิน สารฟูราน ซึ่งอาจเป็นอันตรายมากกว่าก๊าซที่ต้องทำการเผาไหม้เสียอีก ดังนั้นการออกแบบเตาเผาจึงต้องคำนึงถึงจุดนี้ให้มาก ต้องออกแบบให้การเผาไหม้สมบูรณ์ให้มากที่สุดและลดปริมาณสารมลพิษจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ให้เหลือน้อยที่สุด

#### หลักการพื้นฐานของการเผาไหม้

หลักการแรก คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะต้องอยู่ในรูปสมการ



เช่น ก๊าซโพรเพนถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน โดยใช้การจุดสันดาปด้วยไฟฟ้า ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้ผลผลิตคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

หลักการที่สอง คือ ความร้อนจากการเผาไหม้ (heat of combustion)

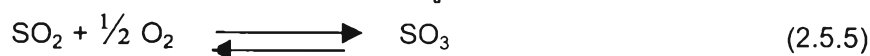
พลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้จะมีสองค่า หนึ่งคือค่าความร้อนรวม (Higher Heating Value) ซึ่งถือว่าผลผลิตไอน้ำจะควบแน่นลงทั้งหมด ซึ่งจะคายพลังงานความร้อนจากการควบแน่น อีกค่าหนึ่งคือค่าความร้อนสุทธิ (Lower Heating Value) ซึ่งถือว่าผลผลิตไอน้ำจะคงอยู่ในรูปของก๊าซโดยไม่มีการควบแน่น ดังนั้นค่าความร้อนรวม จึงมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนสุทธิเสมอ

หลักการที่สาม คือ ช่วงความเข้มข้นซึ่งสามารถติดไฟได้ (Combustible limit)

การที่เชื้อเพลิงจะสามารถเผาติดไฟได้นั้นความเข้มข้นของเชื้อเพลิง จะต้องอยู่ภายในช่วงระหว่างค่าขีดจำกัดบน (Upper Explosive Limit, UEL) และค่าขีดจำกัดล่าง (Lower Explosive Limit, LEL) ค่า UEL และ LEL นี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองเท่านั้น

หลักการที่สี่คือสภาวะสมดุล (Equilibrium)

ไม่มีปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์จะเหลือสารตั้งต้นบางส่วน เช่น



หากในระบบมีก๊าซออกซิเจน 1 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 1500 องศาฟาเรนไฮท์ การเปลี่ยนรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะเป็นประมาณ 50 % ที่จุดสมดุล

โดยทั่วไปผลผลิตจากการเผาไหม้สารมลพิษทางอากาศที่จุดสมดุลมักอยู่ในรูปของผลผลิตตามสมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ Flagan และ Seinfeld Roperievck (14) ได้ทำการคำนวณอุณหภูมิของเปลวไฟอะเดียแบติกและองค์ประกอบของก๊าซจากการเผาไหม้ Fuel oil โดยตั้งสมมุติฐานว่าผลผลิตทั้งหมดคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ตามสมการเผาไหม้สมบูรณ์ และเปรียบเทียบกับที่จุดสมดุล (มีการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน) พบว่า 1) ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟอะเดียแบติกของกรณีที่สองจะน้อยกว่ากรณีแรก 95 เคลวิน 2) ค่าอัตราส่วนของก๊าซจากการคำนวณของ (CO / CO<sub>2</sub>) และ (H<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O) เท่ากับ 0.092 และ 0.018 เทียบกับค่าสมมุติฐานคือ 0 ในกรณีที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งค่านี้คำนวณที่อุณหภูมิ 2261 เคลวิน ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ผลของการเปลี่ยนรูปจะลดลง

หลักการที่ห้า คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (rate of chemical reaction)

การเกิดการเผาไหม้ตามสมการ 2.5.4 ไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใดจะต้องใช้ช่วงเวลาช่วงหนึ่ง หากว่าปฏิกิริยาหยุดก่อนที่การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงหรือสารมลพิษบางส่วนอาจยังคงเหลืออยู่ โดยทั่วไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการกำจัดสารมลพิษจะต้องให้สารมลพิษและอากาศผสมกันที่อุณหภูมิที่สูงเพียงพอ และมีเวลาสัมผัสกันเพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ ในความจำเป็นจริงการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและมีความซับซ้อน จึงใช้สมการอย่างง่ายในการทำนายช่วงเวลาหรืออุณหภูมิในการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ และสมการการเคมีของการเผาไหม้ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาที่แท้จริงเป็นอย่างไร เช่น จากสมการที่ 2.5.1 การเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะไม่เกิดขึ้นถ้าหากไม่มีปริมาณของน้ำแม้เพียงเล็กน้อย อนุมูลอิสระของไฮดรอกซิลซึ่งจะมีอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่เกาะอยู่ อนุมูลอิสระนี้ทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา

จลศาสตร์การเผาไหม้ของก๊าซ (Combustion kinetics of the burning of gases) การเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้จะเกิดในวัฏภาคของก๊าซเท่านั้น ของเหลวหรือของแข็งจะต้องระเหยกายเป็นก๊าซก่อนจึงทำปฏิกิริยาได้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนในรูปสมการ

$$\left( \begin{array}{l} \text{การลดลงของความ} \\ \text{เข้มข้นของ A ต่อเวลา} \end{array} \right) = -dC_A / dt = r = kC_A^n \quad (2.5.6)$$

- โดยที่  $r$  = อัตราการเกิดปฏิกิริยา  
 $k$  = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิแต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น  
 $C_A$  = ความเข้มข้นของ A  
 $n$  = อันดับของปฏิกิริยา

โดยทั่วไปของสมการการเกิดปฏิกิริยาเคมี ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่กับอุณหภูมิสามารถใช้สมการของอาร์เรเนียส

$$k = A \exp(-E / RT) \quad (2.5.7)$$

- โดยที่  $A$  และ  $E$  = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง  
 $R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ  
 $T$  = อุณหภูมิ

ค่าคงที่  $A$  และ  $E$  สามารถหาได้จากการทดลอง และปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งนอกจากนั้นสามารถทำสมการให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้โดยการตั้งสมมติฐานว่าความเข้มข้นของสารระเหยอินทรีย์มีค่าน้อยกว่าของออกซิเจนมาก ๆ ดังนั้นสมการจะลดลงเหลือ

$$\left( \begin{array}{l} \text{การลดของความเข้มข้น} \\ \text{ของสารระเหยอินทรีย์ต่อเวลา} \end{array} \right) = -dC_{VOC} / dt = r = kC_{VOC}C_{O_2} \quad (2.5.8)$$

โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซิเจนมักจะเป็น 21 % โดยปริมาตรและไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเพราะความเข้มข้นของสารระเหยอินทรีย์มีค่าน้อยมากดังนั้น ค่า  $K$  สมการ 2.5.6 จะลดลงเหลือเท่ากับ  $CO_2$

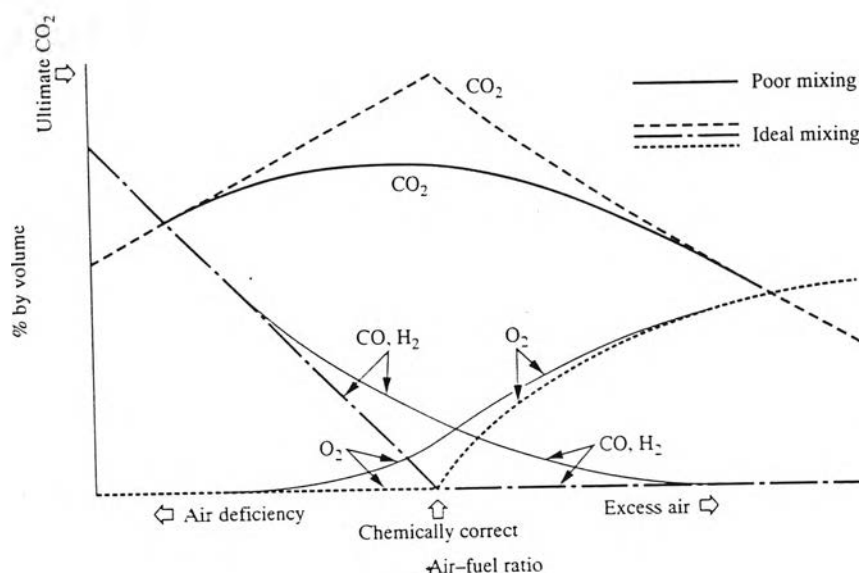
#### การผสมของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ( Mixing in Combustion Reaction)

ในการเผาไหม้หากการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนไม่เหมาะสม การเผาไหม้จะเกิดอย่างไม่สมบูรณ์ถึงแม้ว่าปริมาณอากาศจะมากเกินพอก็ตาม เพราะเชื้อเพลิงบางส่วนจะ



ไม่ได้สัมผัสกับออกซิเจนในช่วงการเผาไหม้ จากรูป 2.5.4 พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ๆ อัตราการเผาไหม้จะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศที่อุณหภูมิต่ำการแพร่โมเลกุลของอากาศเข้าไปในพื้นที่ผิวของคาร์บอนและการแพร่ของโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากพื้นผิวจะเร็วกว่าการเปลี่ยนรูปของมันจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีถือว่าเป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด ที่อุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเร็วมากจนกระทั่งอัตราการใช้ออกซิเจนจะเท่ากับอัตราการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปยังพื้นผิว ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดจะไม่ใช้เกิดจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของโมเลกุลของออกซิเจน

จากรูปที่ 2.5.4 จะแสดงเส้นโค้งสองเส้น เส้นแรกแสดงการผสมที่ดี และอีกเส้นแสดงการผสมที่ไม่ดีที่ปริมาณเกินพอ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจนจะถูกใช้หมดไปทั้งสองกรณี เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น หรือเมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงถูกใช้ไปจนหมดที่ทุกๆ จุดของสารผสม แต่ในความเป็นจริง เช่น เตาเผาในอุตสาหกรรมซึ่งใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิสารในกระบวนการผลิต (ลดอุณหภูมิของก๊าซจากการเผาไหม้ลง) และขนาดจะถูกออกแบบให้เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ (เวลาสัมผัสที่เหมาะสม) ดังนั้นการออกแบบให้เตาเผานี้ลดการสูญเสียเชื้อเพลิงและหลีกเลี่ยงปัญหามลภาวะทางอากาศจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงต้องออกแบบให้เตาเผามีการผสมกับที่ดีเพียงพอ ในทำนองเดียวกันในกระบวนการเผาไหม้



รูปที่ 2.5.4 ผลกระทบของอัตราส่วนของอากาศ-เชื้อเพลิง และคุณภาพการผสม (13)

เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์จะต้องออกแบบให้การผสมของสารอินทรีย์กับออกซิเจนที่ดีเพียงพอ และก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะต้องมีอุณหภูมิสูงเพียงพอให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดอย่างสมบูรณ์ด้วย

## 2.5.2) การคำนวณหา Bulk- Residence- Time

จากทฤษฎีของ Runner (12) การพิจารณาความสามารถของเตาเผาในการกำจัดของเสียจะต้องคำนึงถึง ลักษณะรูปร่างของเตาเผาและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา เพื่อที่จะหาสมการมาอธิบายความสามารถของเตาเผาจะใช้สมมติฐานว่าการไหลของก๊าซภายในเตาเผาเป็นแบบ Plug-flow และไม่มีการผสมของก๊าซในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล อุณหภูมิ องค์ประกอบของก๊าซ ความเร็วของการไหลของก๊าซ จะเท่ากันทุก ๆ จุดตลอดพื้นที่หน้าตัดของเตาเผา

การหา mean residence time โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทางการไหลของก๊าซเท่ากับ

$$t = V/Q \quad (2.5.9)$$

โดยที่  $t$  = mean residence time , sec  
 $V$  = ปริมาตรของเตาเผา, ft<sup>3</sup>  
 $Q$  = อัตราการไหลเชิงปริมาตร , Scfm.

อัตราการไหลจริงจะแปรผันตามอุณหภูมิ

$$Q' = Q \times (T / 460) \quad (2.5.10)$$

โดยที่  $Q'$  = อัตราการไหลจริงเชิงปริมาตร , cfm  
 $T$  = อุณหภูมิของก๊าซ , °R

รวมสมการ 2.5.9 และ 2.5.10 จะได้ว่า

$$t = 27600V / (Q \times t) \quad (2.5.11)$$

แต่การไหลแบบ Plug-flow เป็นการไหลทางอุดมคติ ในความเป็นจริงจะมีการผสมในทิศทางตั้งฉากกับแนวการไหล และก๊าซบางส่วนจะออกจากเตาเผาในช่วงเวลา

ที่สั้นกว่าค่าเฉลี่ยเรียกว่า Fast path residence (  $\tau$  ) และมีค่าประมาณ 0.5 เท่าของค่าเฉลี่ย

จากสมการเบื้องต้นซึ่งเป็นสมการสำหรับการไหลแบบ isothermal แต่ในความเป็นจริงอุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากเตาเผาจะต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นการไหลของก๊าซภายในเตาเผาจึงไม่ใช่ isothermal ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิจะถูกนำมาใช้อธิบายการกระจายตัวของอุณหภูมิของก๊าซภายในเตาเผาเพื่อใช้ในการพิจารณา residence time ของการเผาทำลายของเสียที่กำหนดว่าเพียงพอหรือไม่ อุณหภูมิของก๊าซภายในเตาเผาจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรของระยะทางจากจุดที่อุณหภูมิมีค่าสูงสุด

กำหนดสมการดิฟเฟอเรนเชียลของ differential mean residence time ตลอดปริมาตรย่อยคือ

$$dt = dv / Q' \quad (2.5.12)$$

และกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของเตาเผามีค่าคงที่

$$dV = A dx \quad (2.5.13)$$

จากสมการ 2.5.12 และ 2.5.13 แทนค่าในสมการที่ 2.5.11 จัดรูปใหม่ได้ว่า

$$dt = \left[ \frac{(27600 A)}{(Q \times T)} \right] \times dx \quad (2.5.14)$$

แก้สมการนี้โดยตั้งสมมุติฐานว่า โปรไฟล์ของอุณหภูมิของก๊าซและระยะทางในแนวแกนระหว่างอุณหภูมิสูงสุด กับอุณหภูมิที่ทางออกของเตาเผาเป็นเส้นตรง

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } T_m &= \text{อุณหภูมิสูงสุดของก๊าซภายในเตาเผา, } ^\circ R \\ x_m &= \text{ระยะทางของอุณหภูมิสูงสุด, ft} \\ x_e &= \text{อุณหภูมิของก๊าซที่ทางออกของเตาเผา, } ^\circ R \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของอุณหภูมิ T ที่ระยะ x สามารถเขียนได้ว่า

$$\frac{(T - T_m)}{(X - X_m)} = \frac{(T_e - T_m)}{(X_e - X_m)} \quad (2.5.15)$$

จัดรูปสมการใหม่

$$T = \frac{[(T_m - T_e) \cdot x + (T_e \cdot x_m) - (T_m \cdot x_e)]}{(x_m - x_e)} \quad (2.5.16)$$

แทนค่า T ของสมการ 2.5.16 ในสมการ 2.5.15 และอินทิเกรต

$$(t - t_m) = \left( \frac{27600A}{Q} \right) \times \ln \left( \frac{T}{T_m} \right) \times \frac{(X_m - X_e)}{(T_m - T_e)} \quad (2.5.17)$$

สมมติฐานว่า อุณหภูมิของก๊าซภายในเตาเผาจะเกิดขึ้นที่ระยะใกล้กับทางเข้าเตาเผา มาก ๆ ( $x_m \ll x_e$ ) สามารถนิยามได้ว่า  $t_m = 0$  และ  $A \cdot x_e$  คือปริมาตรของเตาเผา ดังนั้นสามารถลดรูปสมการที่ 2.5.15 ได้เป็น

$$t = \frac{27600 V \times \ln (T/T_m)}{[ Q \times (T_e - T_m) ]} \quad (2.5.18)$$

สมการที่ 2.5.18 เป็นรูปสมการอย่างง่ายสำหรับกำหนด mean residence time ,  $t_m$  ของก๊าซที่อุณหภูมิที่กำหนด T

สมการที่ 2.5.19 เป็นรูปสมการอย่างง่ายสำหรับกำหนด mean residence time,  $t_e$  ของก๊าซที่อุณหภูมิที่ทางออกของเตาเผา  $T_e$

$$t_e = \frac{27600 V \cdot \ln (T_e/T_m)}{[ Q \times (T_e - T_m) ]} \quad (2.5.19)$$

fast path residence time ,  $\tau$  มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ย สามารถเขียนสมการกำหนด fast path residence time ตามสมการที่ 2.5.18

$$\tau = \frac{13800 V \times \ln (T/T_m)}{[ Q \times (T_e - T_m) ]} \quad (2.5.20)$$