

# กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพ (Biogas) และคุณภาพก๊าซชีวภาพกับความปลอดภัยในการทำงาน

งานวิศวกรรมแห่งชาติ ปี 2554 วันที่ 24-26 มีนาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมไบเทค



**ศุภวัฒน์ ธาดาจรมงคล**

วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

0 2202 4222, 08 1311 9195

email; supawat.thada@yahoo.co.th



**กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพ (Biogas)  
และคุณภาพก๊าซชีวภาพกับความปลอดภัยในการใช้งาน**

งานวิศวกรรมแห่งชาติ ปี 2554 วันที่ 24-26 มีนาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมไบเทค

**กรณีศึกษาที่ 1 การแตกรั่วของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล้างก๊าซ**

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49

**กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน**

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51

**กรณีศึกษาที่ 3 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน**

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อ 2.5.52

**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน**

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52

**กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพ (Biogas)**  
**และคุณภาพก๊าซชีวภาพกับความปลอดภัยในการใช้งาน**

งานวิศวกรรมแห่งชาติ ปี 2554 วันที่ 24-26 มีนาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมไบเทค

**กรณีศึกษาที่ 5 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน**

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.กาฬสินธุ์ เมื่อ 16.6.52

**กรณีศึกษาที่ 6 การเสียชีวิตของสัตว์แพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ**

ฟาร์มหมูหนองบัวฟาร์มโคเจนเนอเรชั่น จ.ราชบุรี วันที่ 22 ส.ค. 2549

**กรณีศึกษาที่ 7 ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรระเบิด**

วิทยาลัยการอาชีพเถิน จ.ลำปาง

**กรณีศึกษาที่ 8 ก๊าซชีวภาพระเบิดโรงเรียนบ้านหนองสโมง**

อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา วันที่ 11 มี.ค. 2553

**กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพ (Biogas)  
และคุณภาพก๊าซชีวภาพกับความปลอดภัยในการใช้งาน**

งานวิศวกรรมแห่งชาติ ปี 2554 วันที่ 24-26 มีนาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมไบเทค

**กรณีศึกษาที่ 9 ฝาไบโกลุ่มบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (Covered Lagoon) แตกขาด**

**และเกิดเพลิงไหม้จากก๊าซชีวภาพคลอกโรงงาน**

**โรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย จ.ชัยภูมิ เมื่อ 25.2.54**

**คุณภาพก๊าซชีวภาพกับความปลอดภัยในการใช้งาน**

- ปัญหาจากการผลิต การจัดเก็บและการใช้ก๊าซชีวภาพ
- การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน
- มาตรการป้องกันอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกร้าวของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล่งก๊าซ

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.

บ่อผลิตและเก็บก๊าซแบบผ้าใบคลุม (Covered Lagoon) ขนาด 80 x 220 m. (2 บ่อ)

## ปัญหาที่พบ

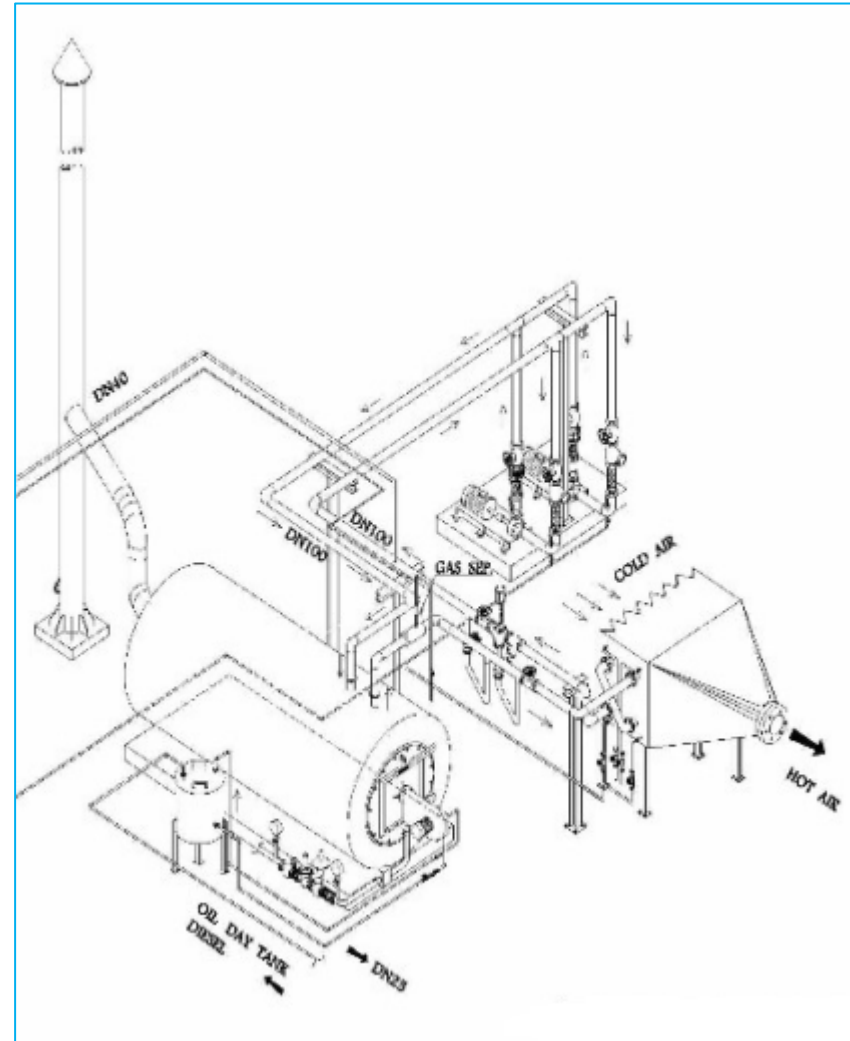
- ขอบผ้าใบ ยึดโยงด้วยเชือกไนล่อน ซึ่ลด้วยน้ำ มีรอยฉีกขาดและมีก๊าซรั่วไหลโดยทั่วไป
- มีวัชพืชที่อาจติดไฟได้ง่ายขึ้นชิดขอบบ่อ
- ภาพล่างขวามือ มีการระบายก๊าซส่วนเกินทิ้งโดยวิธีเปิดชายผ้าใบข้างบ่อ ยาว~1 .0 m.



# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกตัวของก๊าซชีวภาพในห้องอบแห้งก๊าซ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.

- ฝ่ายผลิตพบว่าลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแป้งมีอุณหภูมิต่ำมาก จนอบแป้งไม่แห้ง
- หัวหน้าและช่างจากฝ่ายผลิต 3 คน ตรวจสอบว่าน้ำมันร้อนจากหม้อน้ำมันร้อนมีอุณหภูมิต่ำเกินไป โดย Burner ที่ใช้ Biogas ร่วมกับน้ำมันเตาได้ดับลง เนื่องจากแรงดันก๊าซชีวภาพไม่เพียงพอ





# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกรั่วของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล่งก๊าซ

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.



- ช่วงทั้ง 3 คนพากันเดินมาตรวจสอบที่ห้องสูบล่งก๊าซ (Gas Station) ซึ่งผนังห้องเป็นคอนกรีตทึบทุกด้าน มีช่องระบายอากาศด้านบนติดหลังคา
- มีการรั่วไหลของ Biogas ที่ท่อส่งก๊าซอย่างรุนแรงในห้องสูบล่งก๊าซ ขณะที่ช่วงทั้ง 3 คน เข้าไปในห้อง ก๊าซที่รั่วไหลได้เกิดการจุดระเบิดขึ้น เปลวไฟได้ลวกช่วงทั้ง 3 คน บาดเจ็บสาหัส และต่อมาเสียชีวิต 2 ราย ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 100,000.-บาท
- จุดที่ก๊าซชีวภาพรั่วไหล เกิดขึ้นที่ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion Joint) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ท่อทางออกของ Blower สูบล่งก๊าซ

จุดที่ก๊าซแตกรั่ว  
อยู่ที่ข้อต่อ  
รับการขยายตัว

**กรณีศึกษาที่ 1 การแตกรั่วของก๊าซชีวภาพในห้องสูบลมส่งก๊าซ**  
โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.



**สภาพข้อต่อการขยายตัวที่แตกรั่ว**

- ข้อต่อการขยายตัว (Expansion Joint) ทำด้วยโลหะ 4 นิ้ว ติดตั้งที่ท่อทางออก ระหว่าง Blower กับถังดักความชื้น ตัว Blower และมอเตอร์ติดตั้งบนแท่นยึดแข็งโดยไม่มีระบบป้องกันการสั่นสะเทือน



# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกร้าวของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.



## สภาพข้อต่อรับการขยายตัวที่แตกร้าว

- ข้อต่อรับการขยายตัวมีการแตกร้าวในส่วนที่เป็นลอน จุดที่แตกเป็นโลหะหนา~1 มม. ยาวครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวง
- ผิวโลหะด้านในของข้อต่อรับการขยายตัว มีการกร่อนพูนมาก

# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกร้าวของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล่งก๊าซ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.

## สาเหตุที่ทำให้ข้อต่อการขยายตัวแตกร้าว

- การเลือกใช้และติดตั้งข้อต่อการขยายตัวที่ไม่เหมาะสมกับงาน

เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งไม่มีการขยายหรือหดตัวของท่อส่งก๊าซ แต่มีการสั่นสะเทือนจาก Blower ซึ่งติดตั้งบนแท่นยึดแข็ง โดยไม่มีระบบป้องกันการสั่นสะเทือน

- การล้าตัวของข้อต่อการขยายตัว

ข้อต่อมีการสับคั่วในจังหวะหยุดและจังหวะสตาร์ทของ Blower ทำให้เกิดแรงคัคตัวซ้ำๆ

- การผุกร่อนและการกัดกร่อนจาก  $O_2$ ,  $H_2CO_3$ ,  $H_2SO_4$  ในก๊าซชีวภาพ

ภายในข้อต่อการขยายตัว ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  $CO_2$  และไฮโดรเจนซัลไฟด์  $H_2S$  ใน Biogas รวมตัวกับน้ำหรือความชื้น  $H_2O$

# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกรั่วของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล่งก๊าซ

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.



## อะไร? ที่เป็นแหล่งจุดระเบิด (Ignition Source)

- อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดเป็นแบบไม่ป้องกันการระเบิด เช่นมอเตอร์ ปลั๊ก สวิตช์ หลอดไฟ และอุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม
- สวิตช์มอเตอร์ของ Blower บนแผงสวิตช์ อยู่ห่างจากจุดที่แก๊สรั่ว~1.20 ม.

# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกตัวของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.

ก๊าซที่รั่วเกิดการจุดระเบิดได้อย่างไร?

- ห้องสูบส่งก๊าซมีสภาพอับอากาศ

ผนังห้องเป็นคอนกรีตทึบทุกด้าน มีคอนกรีตโปร่งใกล้หลังคาและมีหลังคาโค้งครอบปิดอาคาร การระบายอากาศในห้องสูบส่งก๊าซไม่เพียงพอ ก๊าซที่รั่วจึงสะสมในห้อง

- ความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศในห้อง อยู่ระหว่าง LEL กับ UEL

- มีแหล่งจุดระเบิด (Ignition Source) ภายในห้องสูบส่งก๊าซ

อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด เช่นหลอดไฟแสงสว่าง สวิตช์ ปลั๊กซ์ มอเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม เป็นชนิดไม่ป้องกันหรือไม่ทนต่อการระเบิด มีการจุดระเบิดโดยประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากพนักงานเปิดไฟแสงสว่างในห้อง Gas Station หรืออาจปิด-เปิดสวิตช์มอเตอร์ของ Blower บนแผงสวิตช์ซึ่งอยู่ห่างจากจุดที่ก๊าซรั่ว~1.20 ม. เมื่อได้กลิ่นหรือพบเห็นการรั่วของก๊าซชีวภาพ

# กรณีศึกษาที่ 1 การแตกรั่วของก๊าซชีวภาพในห้องสูบล้างก๊าซ

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.สระแก้ว เมื่อ 27.9.49 เวลา 4.30-5.00 น.

## ข้อแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข

1. ควรติดตั้งข้อต่ออ่อน (Flexible joint) ที่ต่อทางเข้าและออกของปั๊มก๊าซชีวภาพ แทนการใช้ข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion joint)
2. ควรติดตั้งวัสดุกันการสั่นสะเทือนที่ฐานแท่นรองรับปั๊มก๊าซชีวภาพ
3. ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas Detector) พร้อมสัญญาณเตือนการรั่วไหล ของ ก๊าซชีวภาพ
4. อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่ใช้ในห้องควบคุมต้องเป็นชนิดกันระเบิด
5. ควรมี Water Seal Tank เป็นชุดควบคุมความดันก๊าซชีวภาพเกินกำหนดจากบ่อก๊าซพร้อม ต่อท่อออกไปเผาที่ปล่อง (Flare Ignition)
6. ติดตั้งเครื่องควบคุมความดันก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้งาน
7. ตู้ควบคุมไฟฟ้าต้องติดตั้งห่างจากปั๊มก๊าซชีวภาพไม่น้อยกว่า 5 เมตร
8. ห้องควบคุมและสูบล้างก๊าซชีวภาพ ควรมีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.



สภาพหม้อน้ำร้อน ภายหลังจากการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- สภาพด้านหน้าและด้านหลัง หม้อน้ำร้อนที่เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ ฝาหน้า โกงงอ มอเตอร์และลูกถ้วยของหัวเผาหลุดร่วง ฝาหลังเปิดเผย ท่อน้ำร้อนแตกรั่ว
- มีผู้ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย 2 คน ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 3 ล้านบาท

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### เหตุการณ์ก่อนการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

- มีการดับเตาหม้อน้ำมันร้อน ~12.00 น. และเริ่มจุดเตาใหม่ เวลา~13.30 น. แต่ Burner ไม่ทำงาน จึงจุดเตาไม่ได้
- ช่างผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อนและช่างไฟฟ้า ได้ตรวจสอบและพยายามซ่อมแซมระบบ วาล์วจ่ายก๊าซและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหัวเผา เพื่อให้จุดเตาได้
- เวลา ~14.00 น. ในขณะที่เปิดสวิตซ์หัวเผาเพื่อจุดเตา หัวเผามีการทำงาน โดยพัลลวมมีการ Pre Purge ตามลำดับ เมื่อพัลลวมหรือลมลงและหัวเทียนจุดประกายไฟในห้องเผาไหม้ ก็เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น (Furnace Explosion)
- แรงระเบิดทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันร้อนและคอลล์น้ำมันฝาหลังชำรุด หัวเผาหลุดร่วง ขดท่อน้ำมันที่ฝาหลังยึดตัวและแตกร้าว และมีน้ำมันถ่ายเทความร้อนรั่วไหล

## **กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

การสอบสวนและการวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ พิจารณาจาก

- องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้
- ลักษณะของหัวเผา เชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องและการควบคุมการเผาไหม้
- ลำดับการทำงานของหัวเผาตามมาตรฐานความปลอดภัย
- ลำดับการทำงานของหัวเผาในขณะเกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้
- หลักฐานการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้
- องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

## **กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

การสอบสวนและการวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- **องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้**
  - ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงผสมกับอากาศ ต้องอยู่ระหว่าง **Lower Explosive Limit (LEL)** กับ **Upper Explosive Limit (UEL)**
  - ต้องมี **Ignition Source** เช่น การจุดประกายไฟจาก **Electrode** หรือ จากเปลวไฟของ **Pilot Burner**
  - ห้องเผาไหม้ เป็นห้องอับอากาศ (**Confine Space**)

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### การสอบสวนและการวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

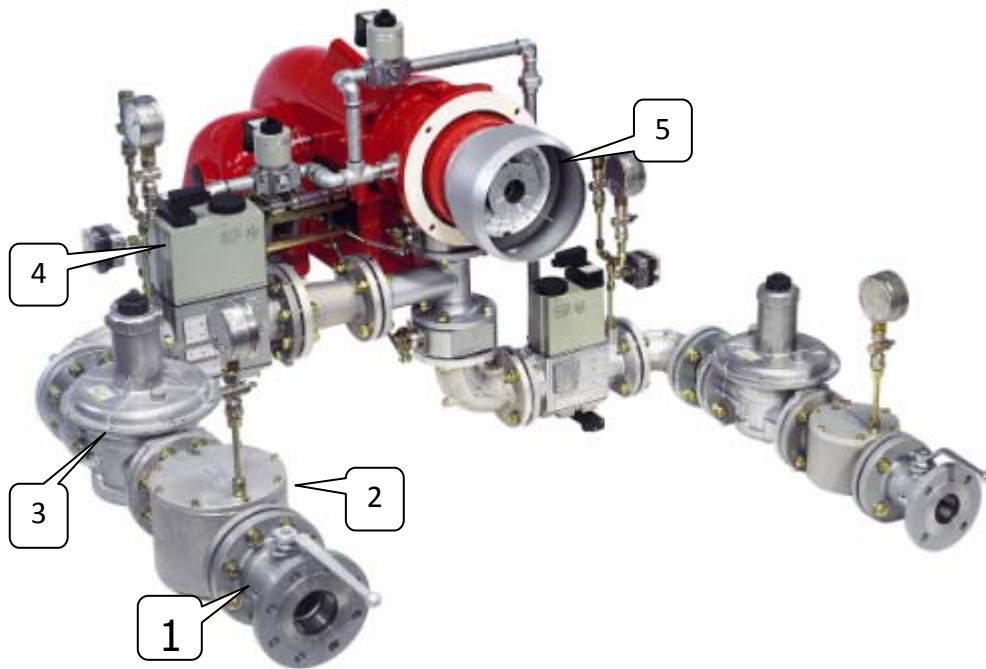
- ลักษณะของหัวเผา เชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องและการควบคุมการเผาไหม้
  - หัวเผาเป็นแบบ Rotary Cup ผลิตจากประเทศเยอรมัน และเป็น Combination Burner
  - จุดเตาโดยใช้ Electrode จุด LPG ให้ไฟติดเป็น Pilot Burner ก่อน เนื่องจากน้ำมันเตาและ Biogas จะติดไฟยากในบางสถานะ เมื่อ LPG ติดไฟแล้ว จึงป้อนน้ำมันเตาหรือ Biogas เข้าสู่เปลวไฟ
  - การควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นระบบเร่งหรือเชื้อเพลิงและอากาศตามภาระการใช้งาน (Modulating Control)



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### ลักษณะของหัวเผาและการควบคุมการเผาไหม้



รูปตัวอย่างอุปกรณ์ควบคุมก๊าซก่อนเข้าหัวเผา

1 Stop Valve    2 Strainer    3 Pressure Regulator    4 Double Solenoid Valve    5. Burner

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### ลำดับการทำงานของหัวเผาตามมาตรฐานความปลอดภัย

- เมื่อสวิตช์ต่อวงจร ระบบนิรภัย Valve Proving Systems (VPS) จะตรวจสอบว่า Double Solenoid Valve (DSV) มีการรั่วของ Biogas ผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้หรือไม่ ถ้า VPS ไม่พบการรั่วไหลของก๊าซที่ DSV หัวเผาจะเริ่มทำงานตามลำดับ
- Flame Detector จะตรวจสอบความมืดทันที ถ้าห้องเผาไหม้มืดจะเปิดพัดลมเป่าอากาศผ่านห้องเผาไหม้ (Pre purge) ~1-1.5 นาที เพื่อขจัดก๊าซเชื้อเพลิงออกจากห้องเผาไหม้ ถ้าพบความสว่าง จะตัดระบบการทำงานทันที
- เมื่อการ Pre purge ครบตามเวลาที่กำหนด
  - กระบังลมจะค่อยๆหรือลง เพื่อลดปริมาณลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ให้ต่ำสุด
  - หัวเทียนจะเริ่มจุดประกายไฟ Solenoid Valve ของ LPG จะเปิด LPG เข้า Pilot Burner เพื่อจุดนำให้เกิดเปลวไฟ
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ LPG ที่ Pilot Burner ถ้าไม่ติดไฟภายใน ~ 3-5 sec. จะแสดงด้วยสัญญาณเตือนภัยพร้อมตัดระบบการทำงานของหัวเผาทั้งหมด
  - เมื่อ Pilot Burner ติดไฟและเปลวไฟเป็นปกติ Double Solenoid Valve จะเปิด Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้
  - Flame Detector จะตรวจสอบการติดไฟของ Biogas ถ้าไม่ติดไฟภายใน ~3 -5 sec. หัวเผาจะหยุดระบบการทำงานทั้งหมด แต่ถ้าติดไฟ หัวเผาจะทำงานต่อเนื่องไป

ระบบการทำงานของหัวเผาทั้งหมด

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแปงมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### ลำดับการทำงานของหัวเผาในขณะเกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้

- ก่อนวันที่จะมีการระเบิดของห้องเผาไหม้ หัวเผามีปัญหาไม่ทำงาน โดยระบบนิรภัย VPS ได้ส่งสัญญาณเตือนภัยแสดงการรั่วของก๊าซชีวภาพผ่าน DSV หลังจากการซ่อมโดยช่างของโรงงาน หัวเผาสามารถกลับมาทำงานได้
- มีการติดเตาหม้อต้มน้ำมันและใช้งานต่อเนื่องถึงเที่ยงของวันที่เกิดอุบัติเหตุ มีการดับเตาระหว่างเที่ยงถึงประมาณบ่ายโมงครึ่ง
- บ่ายโมงครึ่ง ผู้ควบคุมหม้อต้มน้ำมันได้เริ่มจุดเตาใหม่ แต่จุดเตาไม่ติด พนักงานได้พยายามจุดเตาอยู่หลายครั้ง
- บ่าย 2 โมง ในขณะที่กำลังจุดเตา โดยพัคลมมีการไล่อากาศ (Pre Purge) ครบตามกำหนดเวลา ขณะนั้นมีพนักงานที่เกี่ยวข้องยืนดูอยู่บริเวณหน้าหัวเผา พบว่าหัวเทียนมีการจุดประกายไฟ และในขณะนั้น ก็ได้เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### หลักฐานการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- Biogas มีความดันจาก Blower ~270-350 mbar ปริมาณการใช้ ~500-600 m<sup>3</sup>/hr เมื่อผ่าน Regulator Valve ก่อนเข้าหัวเผา จะปรับลดความดันเหลือ ~150-230 mbar ขนาดท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve 100 และ 50 mm. เชื้อเพลิงนี้มีโอกาสรั่วไหลสูง เนื่องจากอยู่ในรูปของก๊าซที่มีความดันและปริมาณสูง จึงอาจสะสมในห้องเผาไหม้ได้และมีโอกาสระเบิดได้ทั้งก่อนและหลังการ Pre Purge
- การใช้เชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำมันร้อนเครื่องนี้ ปกติสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่าง น้ำมันเตา กับ Biogas พร้อมกัน หรือเลือกใช้เชื้อเพลิงใดเชื้อเพลิงหนึ่งเพียงอย่างเดียว
- **หลักฐานที่ปรากฏ** ในวันที่เกิดอุบัติเหตุโรงงานเลือกใช้เฉพาะ Biogas เพียงอย่างเดียว โดยตรวจพิสูจน์ได้จาก Burner Control ที่ติดตั้งอยู่ใน Control Panel ซึ่ง Sequence ของชุด Biogas ได้หยุดอยู่ที่ตำแหน่ง Pilot Burner กำลังจุด LPG (การเกิดอุบัติเหตุ ทำให้ Burner หลุดออกจากฝาหน้า และระบบไฟฟ้าขาดวงจร)

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer

- ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ระหว่าง 55-66 % เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อน
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) 27-45 % เป็นก๊าซเฉื่อย
- ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 2200-3300 ppm. (~0.3 %) เป็นก๊าซพิษ
- มีไนโตรเจน ( $\text{N}_2$  เป็นก๊าซเฉื่อย) ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และความชื้นหรือไอน้ำอิ่มตัวรวมอยู่ด้วย

Time :	14:57:04
Date :	03.10.2008
T1	31.4 °C
T2	32.9 °C
Pd	1.55hPa
Pa	1001.3 hPa
O2	0.1 %
H2S	2693 PPM
	0.3 %
CO2	292500 PPM
	29.3 %
CH4	655800 PPM
	65.6 %

CH <sub>4</sub>	65.6 %	Pd	0.02 hPa
CO <sub>2</sub>	29.0 %	T1	27.6 °C
O <sub>2</sub>	0.0 %	53%	31°
H <sub>2</sub> S	2572 ppm	Time	16:25:57



# กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

## Ternary (three component) diagram, atmospheric

For the explosion area methane / air / CO<sub>2</sub>- N<sub>2</sub> - mixture

Acc. to Tabasaran / Rettenberger (UBA – Forschungsbericht 12/1982, Nr. 10302207 Teil1)

DAS – IB GmbH / Biogas - & LFG - Technology

Flintbeker Str. 55

D 24113 Kiel

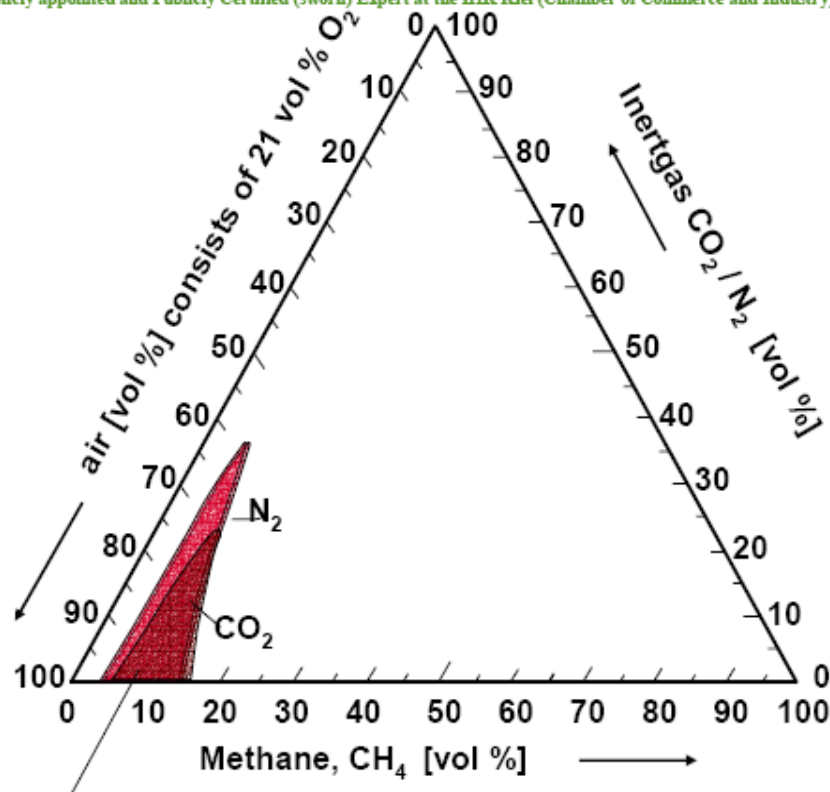
Phone & Fax # 49 / 431 / 683814 [www.das-ib.de](http://www.das-ib.de) [info@das-ib.de](mailto:info@das-ib.de)

Biogas, sewage gas and landfill gas technology:

\*Consultation, planning, projecting

\*Training of operating personnel

\*Expert services (among other things in accordance with § 29a BImSchG (Federal Immission Control Act) and a publicly appointed and Publicly Certified (sworn) Expert at the IHK Kiel (Chamber of Commerce and Industry)



## คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (Biogas)

- Autoignition temperature : 595 °C
- Flammability limits in air (STP conditions) : 5.0-15.0 vol. %
- ช่วงการลุกไหม้ ; จะไม่ลุกไหม้หรือเปลวไฟดับเมื่อ CH<sub>4</sub> ในบรรยากาศ < 5 % (Lower Explosive Limit), CH<sub>4</sub> ในบรรยากาศ > 15 % (Upper Explosive Limit)
- Specific Hazards ; Exposure to fire may cause containers to rupture/explode.
- Max. ignition velocity , Biogas (60% CH<sub>4</sub>, 38% CO<sub>2</sub>, 2% Other); 0.25 m/s
- General Behavior : Risk of corrosion by gas contained impurities (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) in presence of moisture.

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### คุณภาพของก๊าซชีวภาพตามมาตรฐานการใช้งานของยุโรป

#### Requirements to remove gaseous components depending on the biogas utilisation

Application	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Gas heater (boiler)	< 1000 ppm	no	no
Kitchen stove	yes	no	no
Stationary engine (CHP)	< 1'000 ppm	no	no condensation
Vehicle fuel	yes	recommended	yes
Natural gas grid	yes	yes	yes

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับ อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### อุปกรณ์ควบคุมก๊าซที่ใช้กับหัวเผา

- Double Solenoid Valve  
ขนาด DN 100 เป็นวาล์วไฟฟ้า สำหรับ  
ปิด-เปิดก๊าซชีวภาพเข้าสู่หัวเผาแบบ  
อัตโนมัติ ผลิตตามมาตรฐานเยอรมัน-ยุโรป
- Valve Proving Systems เป็นระบบ  
นิรภัยทำหน้าที่ตรวจสอบการรั่วของก๊าซ  
ผ่านวาล์ว
- ข้อกำหนดใช้งาน ใช้ได้กับก๊าซแห้งที่มี  
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่เกิน 0.1% (ไม่เกิน  
1000 ppm.) โดยปริมาตร

### Double Solenoid Valve และ Valve Proving Systems



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.



### ระบบความปลอดภัยของหัวเผา

#### Valve Proving Systems

เป็นอุปกรณ์นิรภัยตามมาตรฐานเยอรมัน-ยุโรป ติดตั้งควบคู่กับ Double Solenoid Valve สำหรับตรวจสอบการรั่วของก๊าซชีวภาพผ่าน Double Solenoid Valve

- เมื่อหัวเผาเริ่มทำงาน ถ้ามีการรั่วของก๊าซผ่านวาล์ว จะแสดงด้วยสัญญาณเตือนภัย ไฟสีแดง พร้อมตัดระบบการทำงานของ หัวเผาทั้งหมด
- Application for Biogas with Hydrogen Sulphide <math><0.1 \text{ vol. } \% \text{ dry}</math>

## **กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

สาเหตุที่ทำให้ Biogas รั่วผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้

- Biogas อาจรั่วผ่าน Double Solenoid Valve ในกรณีต่อไปนี้
  - หน้าวาล์วและบ่าวาล์วสกปรก
  - หน้าวาล์วหรือบ่าวาล์วชำรุด
  - สปริงกควาล์วสึกกร่อน แตกหัก
  - ก้านวาล์วและรูสกปรก ทำให้ค้างัน หรือติดตายในตำแหน่งวาล์วเปิด
  - ผู้เกี่ยวข้อง มีการลัดวงจร ไฟฟ้าในตำแหน่งให้วาล์วเปิด



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

- สภาพของ Double Solenoid Valve จากการถอดชิ้นส่วนออกตรวจสอบ พบว่าสปริงวาล์วและป๊าววาล์วของ Double Solenoid Valve มีการกัดกร่อนจากกรด โดยมีลักษณะการกัดกร่อนเป็นรูพรุน (Pitting)

ประวัติการชำรุด สปริงกวาล์วมีการสึกกร่อน ผุกร่อนเป็นรูพรุน และเคยมีการแตกหักบ่อยครั้ง ซึ่งทำให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนติดเตาไม่ได้หลายครั้ง



**กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

**ลักษณะของวาล์วและการทำงานปกติของ Double Solenoid Valve**



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### สภาพก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างกับปัญหาการรั่วไหล



สภาพก้านวาล์วและรูก้านวาล์วตัวล่างสกปรกมาก มีเมือก ตะกอนสะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว ทำให้ฝืดและขัดตัว ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรกค้ำยัน เป็นเหตุให้วาล์วเปิดค้างหรือปิดไม่สนิท ทำให้ Biogas รั่วไหลอย่างรุนแรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

- เมื่อ Biogas รั่วไหลผ่าน Double Solenoid Valve อย่างรุนแรง  
เหตุใด Valve Proving Systems จึงไม่ตัดระบบการทำงานของหัวเผา?



Valve Proving Systems มีการชำรุด รุสส่งก๊าซเพื่ออัดทดสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve มีการ  
อุดตัน ระบบนิรภัยจึงล้มเหลว โดยต่อวงจรให้ Burner ทำงานโดยตรงตลอดเวลา

## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแปงมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.



- จากการทดลองต่อวงจรให้ Valve Proving Systems (VPS) ทำงาน พบว่าการอุดตันหรือติดตายของรูส่งก๊าซนี้ ทำให้ปั๊มก๊าซใน VPS ทำงานและหยุดทันที ซึ่งแสดงว่า เกิดความดันย้อนกลับ  $\sim 20$  mbar เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ Double Solenoid Valve หลังจากนั้นภายใน  $\sim 10$  sec. จะปรากฏไฟสีเหลืองหรือผ่านการทดสอบ และระบบนิรภัย VPS จะต่อวงจรของหัวเผา ให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป

## **กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### สรุปสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

- 1. มี Bio Gas ที่ความดัน~150-230 mbar (Capacity ~500 m<sup>3</sup>/hr) รั่วไหลอย่างมาก ผ่าน Double Solenoid Valve ขนาด DN 100 mm. เข้าสู่ห้องเผาไหม้ตลอดเวลา โดยมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง Lower Explosive Limit ; LEL กับ Upper Explosive Limit ;UEL คือ 5-15.0 vol.%**

การรั่วของ Double Solenoid Valve เกิดจากก้านวาล์วและรูก้านวาล์วชุดล่างสกปรกมาก มีเมือกและตะกอนสะสมอยู่ในรูก้านวาล์ว จนทำให้ก้านวาล์วถูกตะกอนสกปรกค้ำยัน วาล์วจึงเปิดค้าง และเป็นสาเหตุให้ Biogas รั่วไหลอย่างมากเข้าสู่ห้องเผาไหม้ตลอดเวลา



## กรณีศึกษาที่ 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### สรุปสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

2. มีการชำรุดของระบบนิรภัย Valve Proving Systems (VPS) ซึ่งเป็นระบบนิรภัยสำหรับตรวจสอบการรั่วของ Double Solenoid Valve ทำให้มีการต่อวงจรให้หัวเผาทำงานได้ตลอดเวลา แม้จะมีการรั่วของ Biogas เข้าสู่ห้องเผาไหม้

การชำรุดของ VPS เกิดขึ้นจาก Solenoid Valve ของ VPS ติดตาย ทำให้การปิด-เปิดของรูลิ้นด้านอัดเกิดการติดตายและอุดตัน ส่งผลให้เมื่อปั๊มก๊าซใน VPS เริ่มทำงานเพื่ออัดความดันทดสอบการรั่วของวาล์ว จะเกิดความดันย้อนกลับทันที  $\sim 20$  mbar ซึ่งทำให้ปั๊มหยุดทำงานทันที เสมือนไม่มีการรั่วของก๊าซที่ Double Solenoid Valve ระบบนิรภัยนี้จึงล้มเหลว ซึ่งหลังจากนั้นภายใน  $\sim 10$  sec. จะปรากฏไฟสีเขียวหรือแสดงผลผ่านการทดสอบ และต่อวงจรของหัวเผาให้สามารถทำงานต่อเนื่องไป

## **กรณีศึกษาที่ 2** การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว เมื่อ 24.9.51 เวลา 14.00 น.

### สรุปสาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

3. ในขณะที่ว่าดั่วจ่ายก๊าซรั่วอย่างมากจนมีความเข้มข้นของมีเทนในอากาศอยู่ระหว่าง LEL กับ UEL คือ 5-15.0 vol.% , VPS ลัดวงจร ยอมให้หัวเผาทำงาน จนมีการจุดประกายไฟ และจุด LPG เป็นเปลวไฟที่ Pilot Burner จึงทำให้เกิด การติดไฟและการระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้

**Biogas มีความเร็วในการติดไฟ (Flame Velocity or Ignition Velocity)**

**~25-30 cm./sec. และมีคุณสมบัติความเป็นอันตรายเฉพาะ Specific Hazards : Exposure to fire may cause containers to rupture/explode จึงทำให้เกิดการระเบิดของห้องเผาไหม้ขึ้น**

### กรณีศึกษาที่ 3 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อ 2.5.52



แรงระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันหลุดออก  
Burner และอุปกรณ์ต่อเนื่องแตกหักชำรุดเสียหาย

# กรณีศึกษาที่ 3 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อ 2.5.52





ท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve สกปรกมาก ทำให้วาล์วค้างและก๊าซรั่วไหลผ่านเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา ความสกปรกทำให้ Valve Proving System เกิดการชำรุดอุดตัน ส่งผลให้ระบบนิรภัยของหัวเผาล้มเหลว หัวเผาจึงทำงานแบบลัดวงจร





**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน**  
**โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52**



- การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน เกิดขึ้นในขณะที่ Burner กำลังทำงานในตำแหน่ง High Fire แล้วเกิดการดับของเปลวไฟ
- เมื่อ Burner ดับ ผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อน ได้กดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ทันที หลังจากนั้น ~5 วินาที ห้องเผาไหม้ก็ระเบิดขึ้น
- แรงระเบิดทำให้ชุดท่อน้ำมันที่ผนังหลังเคลื่อนตัวถอยหลัง ~30 cm. โดยไม่มีการแตกรั่วของท่อ ฝานิรภัยที่ผนังหลังมีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้

**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52**

**การสอบสวนเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการระเบิดของห้องเผาไหม้**

**ข้อมูลจากการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ พบว่า**

- วาล์วปิดเปิดก๊าซ Double Solenoid Valve ทั้งสองชุดมีการรั่วไหลเล็กน้อย**
- Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตันและลัดวงจรทั้งสองชุด**
- ภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพ มีคราบตะกอนและตะกอนสกปรกสะสมอยู่มาก**

**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52**



**การตรวจสอบสภาพวาล์วปิดเปิดก๊าซ Double Solenoid Valve ทั้งสองชุด  
พบว่าการรั่วไหลเล็กน้อย**

**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52**



**การตรวจทดสอบการทำงานของ Valve Proving Systems (VPS) พบมีการอุดตันและ  
ลัดวงจรทั้งสองชุด การอุดตันของ VPS ทำให้ Burner ทำงานลัดชั้นตอน กรณีนี้ถ้า  
Double Solenoid Valve รั่ว จะมีการระเบิดในห้องเผาไหม้ในขณะที่จุดเตา**



**กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52**



สภาพภายในท่อส่งก๊าซชีวภาพ มีคราบตะกอนและตะกอนสกปรกสะสมอยู่รอบท่อ ลักษณะการจับตัวของคราบตะกอนรอบท่อ แสดงว่าในท่อส่งก๊าซมีน้ำท่วมขัง จากการตรวจสอบ Knock out Drum พบว่ามีน้ำ ตะกอนสกปรกและเมือกเหนียวสะสมอยู่เต็ม และมีการอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Auto Drain Valve)



# กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52

## การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เปลวไฟดับในขณะเดิน High Fire

- ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพเปลี่ยนแปลงมาก จนส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเข้าใกล้ LEL หรือ UEL ทำให้ความเร็วในการลุกไหม้ (Flame Velocity) ช้าลง จนติดไฟไม่ทัน

กรณีนี้ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ปรากฏว่า เครื่องวิเคราะห์ก๊าซอ่านค่ามีเทนได้ไม่แน่นอน เนื่องจากในก๊าซมีน้ำปนมากและรบกวนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

- ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก

ก๊าซที่มีน้ำปนมาก เมื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำแบบทันทีทันใดและขยายตัว~1600 เท่า ทำให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ขาดความต่อเนื่อง เปลวไฟจึงมีการกระพือดับ

- ขาดระบบหรือขาดการดูแลระบบการลดความชื้นในก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ จึงมีน้ำปนอยู่ในก๊าซมาก
- ขาดกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ (Purify Biogas) มีสิ่งปนเปื้อนที่ทำให้ก๊าซด้อยคุณภาพ การกำจัด H<sub>2</sub>S ขาดประสิทธิภาพ นำมีออกซิเจนปน จึงเกิดเมือกและตะกอนมาก
- ระบบระบายน้ำออกจากก๊าซบกพร่อง ติดตั้งวาล์วระบายน้ำเล็กเกินไป ก๊าซความดันต่ำควรใช้วาล์วระบายขนาดใหญ่
- ขาดการตรวจสอบระบบระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซหรือ Knock out Drum จึงมีน้ำขังและวาล์วระบายอุดตัน

## กรณีศึกษาที่ 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เมื่อ 10.12.52

### สาเหตุที่ทำให้เกิดการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้

การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ เกิดขึ้นในขณะที่เดินเครื่องที่ High Fire แล้วเปลวไฟดับ  
สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ สามารถวิเคราะห์ได้ตามลำดับดังนี้

- มีการกระพือดับของเปลวไฟ **เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก**
- มีก๊าซชีวภาพสะสมเต็มห้องเผาไหม้ในขณะที่เตาดับ **เนื่องจาก Double Solenoid Valve ยังจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าสู่ห้องเผาไหม้ชั่วคราว**

ในขณะที่เตาดับ Flame Detector ต้องใช้เวลาตรวจสอบการดับของเปลวไฟ ก่อนจะสั่งตัดระบบ  
เชื้อเพลิง จึงยังมีก๊าซป้อนเข้าห้องเผาไหม้ปริมาณมาก

- มีการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ **เนื่องจากมีความร้อนสูง (Ignition Source) สะสมที่ปูน  
ทนไฟภายในห้องเผาไหม้**

การ Reset Burner ใหม่ ของผู้ควบคุมหม้อน้ำร้อนหลังเตาดับแบบทันทีทันใด ไม่เกี่ยวข้อง  
กับการระเบิดในครั้งนี้ เนื่องจากระบบความปลอดภัยของ Burner ยังไม่ถึงขั้นตอนการเริ่ม

## กรณีศึกษาที่ 5 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำร้อน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.กาฬสินธุ์ เมื่อ 16.6.52 เวลา 21.30 น.

- มีการระเบิดภายในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำร้อน แรงระเบิดทำให้ฝาด้านหน้าของหม้อน้ำร้อนพร้อมหัวเผาหลุดร่วงลงในระยะ ~ 1 ม.
- มีผู้ได้รับบาดเจ็บจากเศษวัสดุและเขม่ารวม 4 ราย
  - เป็นพนักงานของโรงแป้งมัน 2 ราย
  - เป็นพนักงานของบริษัทผู้รับเหมาติดตั้งหม้อน้ำร้อน 2 ราย
- ทรัพย์สินเสียหาย 1-3 แสนบาท

หมายเหตุ ข้อมูลนี้ ได้จากการสอบสวนเบื้องต้น โดยเจ้าหน้าที่ในจังหวัดกาฬสินธุ์

## กรณีศึกษาที่ 6 การเสียชีวิตของสัตว์แพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ ฟาร์มหมูหนองบัวฟาร์ม โครเจนเนอร์ชั่น จ.ราชบุรี วันที่ 22 ส.ค. 2549

- สัตว์แพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ เสียชีวิต 5 ศพ ขณะลงไปซ่อมบ่อคูดน้ำภายในบ่อปุ๋ยมรวมน้ำจี้หมู ลึกประมาณ 5 เมตร

### สาเหตุ

- เนื่องจากภายในบ่อรวมน้ำจี้หมูเป็นบ่อลึก เป็นสถานที่อับอากาศและมีความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ เช่น  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  สูงมาก ทำให้มีปริมาณออกซิเจนลดต่ำและมีก๊าซพิษปนอยู่ เมื่อผู้ลงไปปฏิบัติงานขาดอากาศหายใจ จึงหมดสติและตาย
- ผู้เกี่ยวข้องทุกคนขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงานในสถานที่อับอากาศอย่างปลอดภัย และการเข้าช่วยเหลือผู้หมดสติไม่ถูกต้อง

กรณีศึกษาที่ 6 8 สรุปจากคู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์,  
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, มิถุนายน 2553

กรณีศึกษาที่ 6 การเสียชีวิตของสัตว์แพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ  
ฟาร์มหมูหนองบัวฟาร์มโคเจนเนอเรชั่น ราชบุรี



ตัวอย่างบ่อปุ๋นรวมน้ำจืดหมูลึกประมาณ 5 เมตร และผู้เสียชีวิต 5 ศพ



# กรณีศึกษาที่ 7 ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรระเบิด

## นักเรียนวิทยาลัยการอาชีพเถิน จ.ลำปาง

### การเกิดอุบัติเหตุ

- เกิดอุบัติเหตุ นักเรียนจากวิทยาลัยการอาชีพเถิน ได้ทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร แล้วเกิดระเบิด เหตุเกิดขณะกำลังทดลองที่บ่อก๊าซ ภายในหมู่บ้านเหล่า ต. ล้อมแรด อ.เถิน
- แรงระเบิดส่งผลให้นักเรียนได้รับบาดเจ็บ 3 คน ถูกนำส่งรักษาตัว รพ.เถิน

### ข้อสันนิษฐาน

- อาจมีการจุดประกายไฟในขณะที่มีการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพออกมาพบกับอากาศ หรือมีการเปิดให้อากาศเข้าไปผสมกับก๊าซชีวภาพในถังหมักน้ำเสีย
- ขาดอุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับ (Flame Arrester) ในท่อจ่ายก๊าซ และก๊าซในบ่อมีความดันต่ำเกินไป

## กรณีศึกษาที่ 8 ก๊าซชีวภาพระเบิดโรงเรียนบ้านหนองสโมง อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา วันที่ 11 มี.ค. 2553

- สภ.อุดมทรัพย์ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา ได้รับแจ้งเกิดเหตุระเบิด มีผู้เสียชีวิตที่ รร.บ้านหนองสโมง ต.อุดมทรัพย์
- ที่เกิดเหตุพบศพผู้เสียชีวิตนอนหงายใบหน้าแหลกเหลว แขนซ้ายหัก หมุนเป็นเกลียว เป็น ผอ.โรงเรียนบ้านหนองสโมง อายุ 50 ปี

### จากการสอบสวน ได้ความว่า

- คุณครู(ผู้ตาย) ได้พาเด็กนักเรียนชั้น ป.4 ป.5 และ ป.6 ฝึกเรียนรู้การทำ ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ เพื่อนำไปจัดนิทรรศการการเรียนรู้ที่สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา

# กรณีศึกษาที่ 8 ก๊าซชีวภาพระเบิดขณะทำการทดลอง โรงเรียนบ้านหนองสโมง อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา



- คุณครูได้พยายามจุดไฟจากถังแก๊ส แต่จุดไม่ติด จึงลองจุดใหม่โดยกันให้นักเรียนถอยห่างออกไป จากนั้นคุณครูได้ยื่นคร่อมถังแก๊สชีวภาพ ขณะจุดถังแก๊สได้เกิดระเบิดขึ้นเสียงดังสนั่นหวั่นไหว ทำให้ร่างของคุณครูกระเด็นลอยละลือชนเพดานหลังคาอาคารก่อนตกลงบนพื้นอย่างแรง ทำให้เสียชีวิตทันที
- เด็กนักเรียนปลอดภัย แรงระเบิดยังทำให้ถังแก๊สที่ทำจากวัสดุไฟเบอร์กระเด็นออกไปนอกอาคารเรียนไกลกว่า 30 เมตร.

# กรณีศึกษาที่ 9 ผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (Covered Lagoon) แตกขาด

## และเกิดเปลวเพลิงจากก๊าซชีวภาพคลอกโรงงาน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.ชัยภูมิ เมื่อ 25.2.54 เวลา~16.10 น.



รูปบน สภาพผ้าใบ HDPE  
คลุมบ่อก๊าซในขณะที่มีก๊าซ  
เต็ม

รูปล่าง สภาพบ่อผลิตก๊าซ  
ชีวภาพหลังจากผ้าใบแตกขาด  
จากลมกระโชก ทิศทางลม  
และเปลวไฟที่พัดเข้าสู่โรงงาน







สภาพบ่อเก็บก๊าซด้านต่างๆ  
และทิศทางลมที่พัดผ่านโรงงาน





# สภาพบ่อเก็บก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon ที่ผ้าใบคลุมบ่อแตกขาด



# กรณีศึกษาที่ 9 ผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (Covered Lagoon) แตกขาด และเกิดเปลวเพลิงจากก๊าซชีวภาพคลอกโรงงาน



ด้านหลังอาคารผลิตเป็งมันสำปะหลังตั้งอยู่ใต้ทิศทางลมห่างจากบ่อเก็บก๊าซ 50-60 ม. ห้องน้ำและอาคารผลิตถูกเปลวไฟคลอกทั้งหลัง

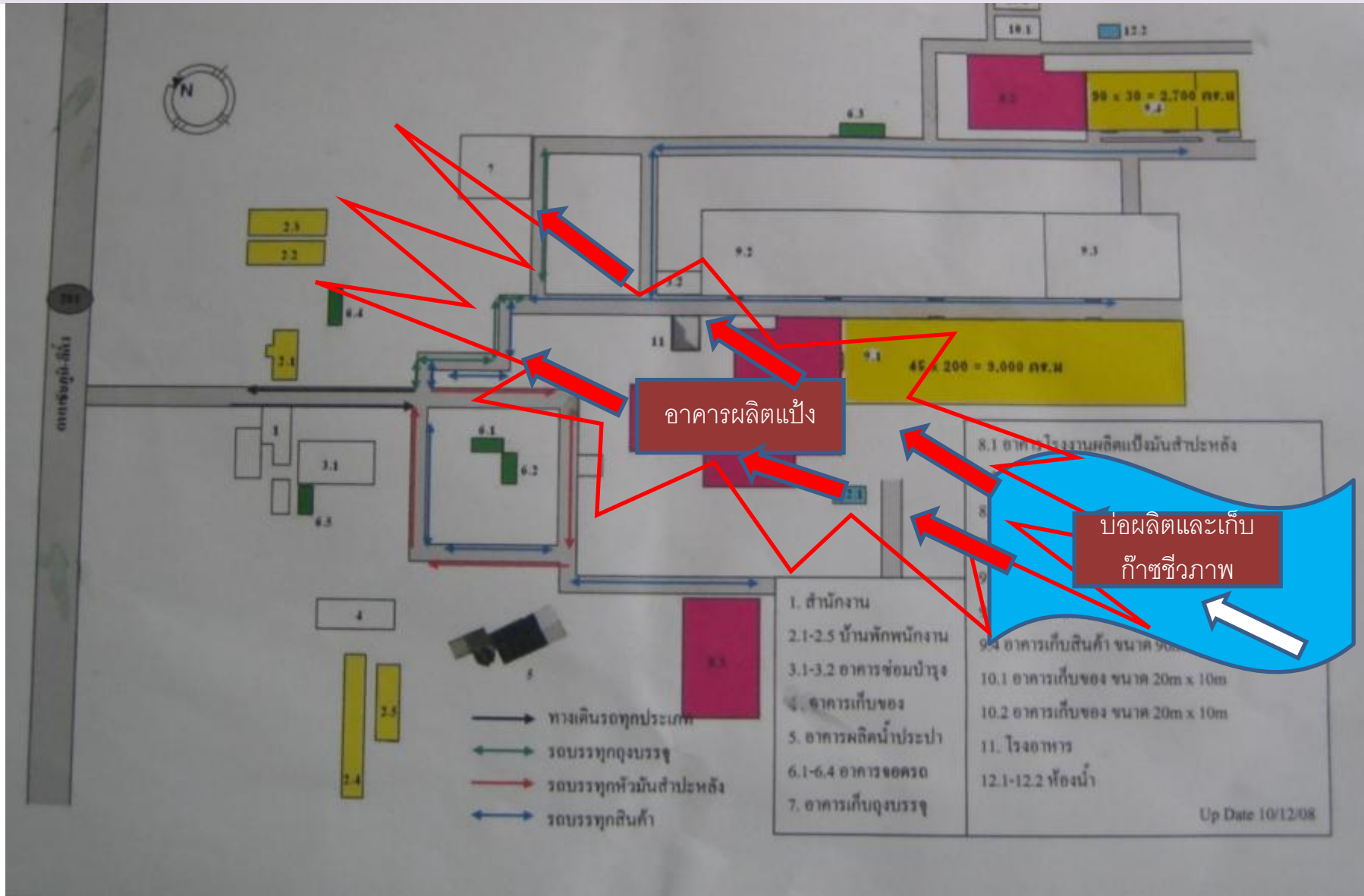


สภาพด้านหลังอาคารผลิตบริเวณห้องบรรจุแป้ง และห้องน้ำที่ถูกไฟคลอก





แผนผังโรงงาน ที่ศทางลมพายุที่พัดพาก๊าซชีวภาพที่แตกรั่วจากบ่อผลิตก๊าซและติดเป็นเปลวไฟคลอกอาคารผลิตแ餅มันทั้งหลาย เปลวไฟทำให้พนักงานในอาคารผลิตแ餅ถูกไฟลวก ๓๖ คน และไฟไหม้บริเวณห้องบรรจุแ餅



# อาคารผลิตแป้งมัน และสภาพภายในโรงงานที่เครื่องจักรอุปกรณ์ถูกไฟคลอก





# เครื่องจักรในโรงงานที่มีประกายไฟ

- สภาพสายไฟฟ้าที่ไหม้เกรียมจากเปลวไฟ



สภาพภายในอาคารทุกพื้นที่ ถูกไฟคลอกทิ้งหลัง







ด้านหน้าโรงงานซึ่งอยู่ใต้ทิศทางลมห่างจากบ่อก๊าซ 150-200 m. ต้นไม้ถูกไฟคลอก และมีพนักงานถูกไฟคลอกบาดเจ็บสาหัสและเสียชีวิตหลาย

ผ้าใบคลุมบ่อก๊าซที่แตกขาด  
บริเวณรอยเชื่อมต่อริมตะเข็บคู่



แนวตะเข็บผ้าใบ  
ฉีกขาด  
ยาว 120 ม.

ตะเข็บผ้าใบฉีกขาดริมรอยเชื่อมต่อของ  
ตะเข็บคู่



แนว  
ตะเข็บ  
ผ้าใบฉีก  
ขาด  
ยาว 120  
ม.







ผ้าใบที่ฉีกขาดปะทะกับรั้วเหล็กข้างบ่อ รั้วเหล็กที่แตกหักจากแรงปะทะของ  
ผ้าใบ และสภาพดินกดทับผ้าใบบริเวณท้ายลมที่หลุดลอยขึ้นมา







ผ้าใบฉีกขาดยาวต่อเนื่องตลอดความกว้างของบ่อด้านท้ายลมขนานกับดินที่กดทับ โดยดินที่กดทับมีการยกตัวยาวตลอดความกว้างบ่อ และด้านยาวท้ายลมฉีกขาดไปถึงจุดที่รอยเชื่อมริมตะเข็บผ้าใบขาด



# การสอบสวนและวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

## ประเด็นปัญหาที่ต้องตรวจสอบและวิเคราะห์

- ❑ การแตกขาดของผ้าใบที่ริมรอยเชื่อมตะเข็บคู่ การฉีกขาดของผ้าใบริมบ่อขนานกับดินที่กลบทับ บริเวณท้ายลม การยกตัวของดินที่กลบทับผ้าใบบริเวณท้ายลม แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) ภายในรัศมี <20 m และ >20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ

### 1. บ่อเก็บก๊าซชีวภาพแบบใช้ผ้าใบคลุม (Covered Lagoon) มีความแข็งแรงเพียงพอหรือไม่?

#### a) มีการออกแบบบ่อเก็บก๊าซแบบ Covered Lagoon อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมหรือไม่?

- ✓ ความแข็งแรงของโครงสร้างรับความดันก๊าซและการต้านทานแรงลมของผ้าใบ (Tensile Strength , Tear Strength , Vortex) ได้รับการคำนวณจากตัวแปรที่ครบถ้วน และมีค่า Safety Factor เพียงพอหรือไม่ ?
- ✓ วัสดุที่ใช้ยึดเหนี่ยวผ้าใบ (เช่น ปริมาณดินที่ใช้กลบทับ , ขนาดและจำนวนเชือกที่ใช้ผูกยึด) วิธีการติดตั้ง ได้รับการออกแบบและคำนวณจากตัวแปรที่ครบถ้วน ถูกต้องหรือไม่ ?
- ✓ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของผ้าใบในขณะรับความดันก๊าซและรับแรงจากลม ได้มีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปทรง การกระพือหรือสะบัดตัวของผ้าใบ จนเกิดความล้าตัวหรือไม่?

#### b) การเสื่อมสภาพของผ้าใบ เกิดได้จากสาเหตุใด?

- ✓ ความล้าตัวจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรง การกระพือหรือกระพือตามแรงลม มีการออกแบบเพื่อควบคุมป้องกัน?
- ✓ การเสื่อมสภาพของสารป้องกัน UV จากแสงแดด หรือการเปลี่ยนแปลงรูปทรง

# การสอบสวนและวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

ประเด็นปัญหาที่ต้องตรวจสอบและวิเคราะห์

2. ก๊าซชีวภาพเบาหรือหนักกว่าอากาศ ? เหตุใดเมื่อบ่อเก็บก๊าซแตก ก๊าซชีวภาพจึงมีการกระจายตัวอยู่ในระดับพื้นดินในระยะ 200 m. ?

○ น้ำหนักของก๊าซชีวภาพ เบาหรือหนักกว่าอากาศขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซมีเทน ?

○ จากการคำนวณน้ำหนักโมเลกุล สมมติให้ความดันคงที่ ณ อุณหภูมิ 25 °C

เมื่อ Biogas มี CH<sub>4</sub> 50%, CO<sub>2</sub> 45%, Other 5% จะเบากว่าอากาศ 27 %

เมื่อ Biogas มี CH<sub>4</sub> 55%, CO<sub>2</sub> 40%, Other 5% จะเบากว่าอากาศ 29 %

เมื่อ Biogas มี CH<sub>4</sub> 60%, CO<sub>2</sub> 35%, Other 5% จะเบากว่าอากาศ 31 %

○ ก๊าซชีวภาพเบากว่าอากาศ กระแสลมแรงและความกดอากาศสูงในขณะฝนตก มีผลทำให้ก๊าซชีวภาพไม่ลอยตัวขึ้นสูง แต่ผสมกับกระแสลมในระดับพื้นดิน ?

# การสอบสวนและวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

ประเด็นปัญหาที่ต้องตรวจสอบและวิเคราะห์

## 3. แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) รอบบ่อเก็บก๊าซมีอะไรบ้าง ?

- ภายในรัศมี <20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ ประกอบด้วย ระบบไฟส่องสว่างแบบสปอร์ตไลท์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ปลั๊กไฟ ตู้ควบคุมไฟฟ้า มอเตอร์สูบน้ำเสีย ไฟฟ้าสถิตของผ้าใบจากการเสียดสีกับกระแสม
- ภายในรัศมี >20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ ประกอบด้วย
  - ในห้องนำ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สวิตช์ ปลั๊ก การสูบบุหรี่
  - ในโรงงาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สวิตช์ ปลั๊ก มอเตอร์ พัดลม หม้อน้ำร้อน การเชื่อม เลื่อย ตัด ไซ ขัด ทูบ เจียร ความร้อนจากการทำงานของเครื่องจักร
  - บนถนน การทำงานของยานพาหนะ

# แหล่งจุดไฟมาจากไหน ?

- บริเวณบ่อ อาจเกิดได้จาก

- ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต

- ในขณะที่ลมแรงพัดผ่านผ้าใบ อาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตที่ผ้าใบ เมื่อมีการแตกขาดของตะเข็บผ้าใบ และผ้าใบถูกระแสลมพัดพาปะทะเสียดสีกับรั้วเหล็ก อาจมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากวัสดุต่างชนิดกัน

- ประกายไฟจากการกระทบ

- จากการแตกหักของรั้วเหล็ก หรือเมื่อรั้วเหล็กล้มกระทบพื้นอย่างรุนแรง

- ความร้อนจากฟ้าผ่า

- ไฟไหม้วัชพืช

- ระบบไฟฟ้าแสงสว่างรอบบ่อที่ไม่ใช่ Explosion Proof

ต้องจัดให้บริเวณบ่อและพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ควบคุมแหล่งจุดไฟอย่างเข้มงวด กำหนดระยะห่างจากบ่อถึงแหล่งจุดไฟหรือจัดให้มีเครื่องกั้นแยก



# แหล่งจุดไฟมาจากไหน ?

- ในอาคารผลิตแป้งมันสำปะหลัง
  - ประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่นมอเตอร์ ปลั๊ก สวิตช์ ฯลฯ
  - ประกายไฟหรือเปลวไฟ เช่น การเชื่อม การตัด การเจียร การไส การกระทบกระแทก หัวเผาของหม้อน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน ความร้อนจากปล่องหม้อน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน
  - ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิตต่างๆ
  - ความร้อนจากการเสียดสีในขณะเครื่องจักรทำงาน
  - อื่นๆ
- นอกอาคาร
  - การสูบบหรี่
  - ประกายไฟจากยานพาหนะ
  - อื่นๆ

ต้องจัดให้บริเวณบ่อและพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ควบคุมแหล่งจุดไฟอย่างเข้มงวด กำหนดระยะห่างจากบ่อถึงแหล่งจุดไฟ หรือจัดให้มีเครื่องกั้นแยก

## ความแข็งแรงของบ่อเก็บก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon เพียงพอหรือไม่ ?

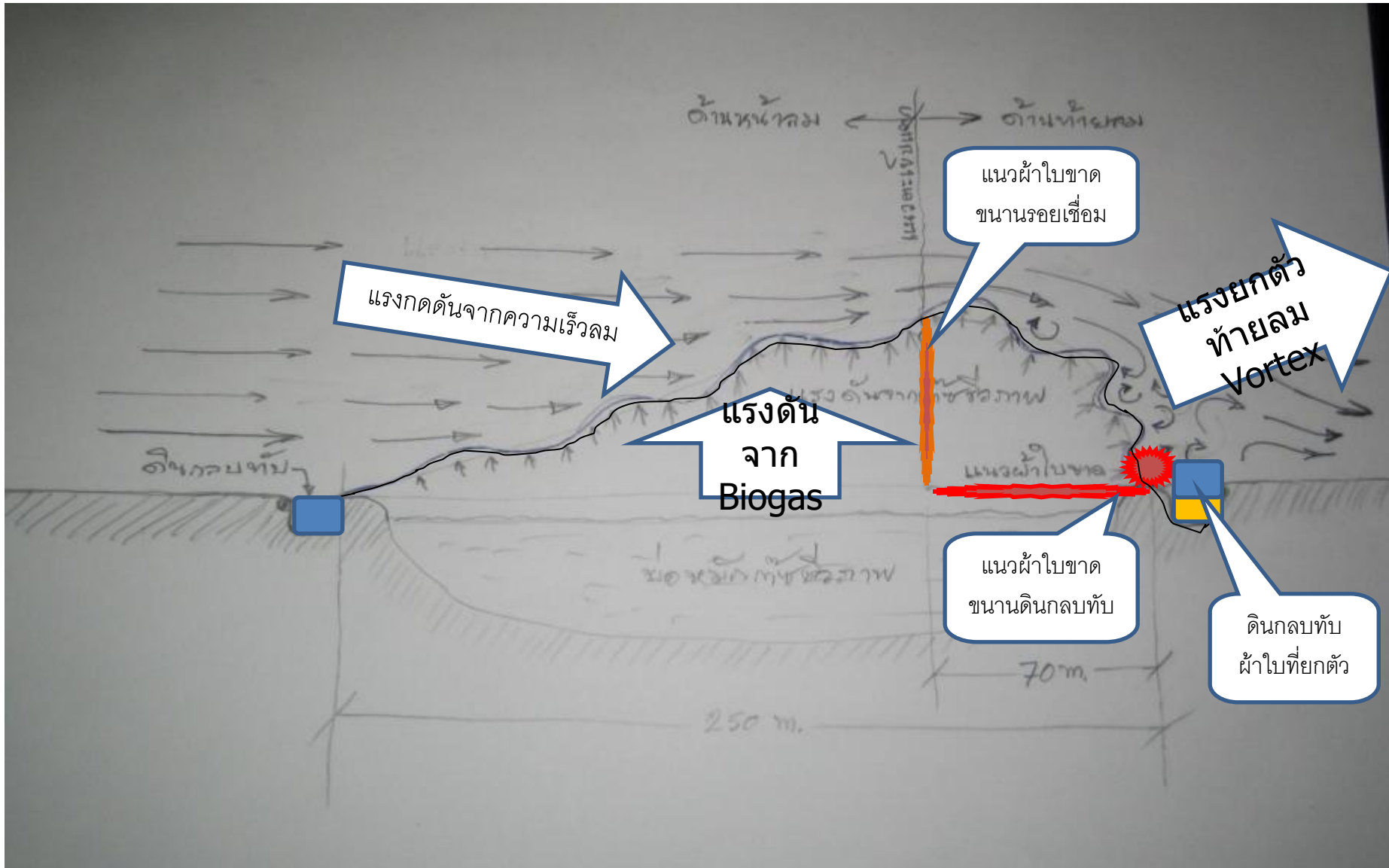
### การออกแบบบ่อเก็บก๊าซแบบ Covered Lagoon ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ?

- การออกแบบและรับรองแบบ** การก่อสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ มีวิศวกร 2 ราย เป็นผู้ออกแบบและรับรองความปลอดภัย คือ วิศวกรโยธา และวิศวกรเครื่องกล
  - จากการตรวจสอบแบบ** ไม่พบรายการคำนวณใดๆ ของวิศวกรเครื่องกล
  - จากการสอบถามวิศวกรเครื่องกลผู้ออกแบบและรับรองความปลอดภัย** อ้างว่ามีการคำนวณความแข็งแรงของผ้าใบ โดยคิดจากความดันของก๊าซชีวภาพสูงสุดภายในบ่อเก็บ ประมาณ 2 mbar ขนาดของบ่อจะเล็กหรือใหญ่ ไม่น่าจะมีผลต่อความแข็งแรง โดยทั่วไปจะเลือกใช้ผ้าใบแบบ HDPE หนา 1.5 mm. ปิดคลุมบ่อ
- ความเห็น การออกแบบตามหลักวิศวกรรม** ต้องคิดแรงต่างๆที่กระทำต่อผ้าใบ จากตัวแปรให้ครบทุกตัว เช่น ขนาดของบ่อ ความดันจากก๊าซ (Static Pressure) ความดันจากแรงลม (Dynamic Pressure) แรงยกตัวจากความเร็วลมต่อผ้าใบด้านท้ายลม (Vortex) และมีค่า Safety Factor ที่เหมาะสม แรงกระทำต่อผ้าใบที่ต้องพิจารณา คือ
- Tensile Strength (Strength at Break , Strength at Yield , Elongation Break , Elongation Yield)
  - Tear Resistance

# Specification ของผ้าใบ HDPE หนา 1.5 mm ที่ใช้คลุมบ่อเก็บก๊าซ

Property	Test Method	HDPE					
Thickness, mm	ASTM D5199	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
- Lowest individual of 10 values		0.45	0.68	0.90	1.35	1.80	2.25
Density, g/cc (min.)	ASTM D1505 / D792	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Melt Flow Index, g/10 min. (max.)	ASTM D1238. 2.16 kg @190°C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tensile Properties (min.avg.)	ASTM D638 Type IV						
1.Strength at Break, kN/mm	Dumbbell at 2 ipm	18	27	36	54	72	90
2.Strength at Yield, kN/mm		12	15	20	31	40	49
3.Elongation Break, %		800	800	800	800	800	800
4.Elongation Yield, %		18	18	18	18	18	18
Tear Resistance, N (min.avg.)	ASTM D1004	77	116	158	228	302	379
Dimensional Stability, % change max. (Each Direction)	ASTM D1204 100°C 1 hour	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2
Puncture Resistance, N (min.avg.)	ASTM D4833	242	363	490	684	845	957
Stress Crack Resistance, hr	ASTM D5397 (App.)	400	400	400	400	400	400
Carbon Black Content, % (range)	ASTM D1603	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
Carbon Black Dispersion	ASTM D5596	Note <sup>2</sup>	Note <sup>2</sup>	Note <sup>2</sup>	Note <sup>2</sup>	Note <sup>2</sup>	Note <sup>2</sup>
Oxidative Induction Time (OIT)							
Standard OIT, minutes (min. avg.)	ASTM D3895, 200°C, O <sub>2</sub> 1 atm	100	100	100	100	100	100
Oven Aging at 85°C	ASTM D5721						
Standard OIT, % retained after 90 day (min.avg.)	ASTM D3895	55	55	55	55	55	55
UV Resistance <sup>2</sup>							
High Pressure OIT, % retained after 1600 hours (min.avg.) <sup>4</sup>	ASTM D5885	80	80	80	80	80	80
Friction Angle with Soil (Silty Clay), δ (100 x 100mm.)	-	15°	15°	15°	15°	15°	15°
Friction Angle with Geotextile, δ (100x100mm.)	-	11°	11°	11°	11°	11°	11°

ภาพจำลองแรงต่างๆที่กระทำต่อผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซ การแตกขาดของรอยเชื่อมริมตะเข็บคู่ การฉีกขาดของผ้าใบริมบ่อขนานกับดินกลบทับ และการยกตัวของดินที่กลบทับผ้าใบด้านท้ายลม



## การแตกขาดของรอยเชื่อมริมตะเข็บคู่ และการฉีกขาดของผ้าใบริมบ่อขนานกับดินกลบทับ

- ปัญหาที่ต้องพิสูจน์และมีการแก้ไข ป้องกัน
  - การเสื่อมสภาพของผ้าใบ (Degrade)
    - ผ้าใบไม่ทนต่อความร้อนของแสงแดด (ใช้มา 3 ปี สเปก 10 ปี ?) การกำหนดสเปกของผ้าใบถูกต้อง ?
    - สารเคลือบผ้าใบป้องกัน UV เสื่อมสภาพจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงตลอดเวลาจากกระแสม
    - ความล้า (Fatigue) ของผ้าใบจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงตลอดเวลาจากกระแสม
    - การใช้งานที่ความดัน Over Pressure
  - ความสมบูรณ์ของการเชื่อมต่อผ้าใบ (ขาดฉิครอยเชื่อมตลอดแนว)  
การตรวจสอบประสิทธิภาพ ควรมีข้อกำหนดอย่างไร ?
  - การคำนวณแรงยกตัวของผ้าใบท้ายลมจากความเร็วลม



# ลักษณะผ้าใบ และแนวเชื่อมแบบตะเข็บคู่



# การป้องกันอุบัติเหตุไฟฟ้าไหม้จากก๊าซชีวภาพ

## การป้องกันผ้าใบคลุมบ่อก๊าซขาด

- ต้องมีการคำนวณความแข็งแรงของผ้าใบ โดยมีการคำนวณแรงดันและแรงยกตัวจากความเร็วลม และกำหนดให้มี Safety Factor อย่างเพียงพอ
- เลือกผ้าใบที่มีความแข็งแรงและทนต่อแสงแดดเมืองไทยเพียงพอ
- ต้องมีการเสริมความแข็งแรงของผ้าใบ และจำกัดการเคลื่อนไหวของโครงสร้างผ้าใบไม่ให้กระเพื่อมหรือสะบัดจนถึงจุดฉีกขาด ?
- กำหนดระยะห่างของต้นไม้หรือโครงสร้างของแข็งใดๆที่อาจล้มหรือปลิวกระทบผ้าใบ

## การป้องกันแหล่งจุดไฟรอบบ่อ

- ภายในรัศมี <math>< 20\text{ m}</math> รอบบ่อเก็บก๊าซ ระบบไฟฟ้าทุกชนิดต้องเป็นแบบป้องกันการระเบิด (เช่น ไฟส่องสว่างแบบสปอร์ตไลท์ หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ ปลั๊กไฟ ตู้ควบคุมไฟฟ้า มอเตอร์สูบน้ำเสีย)
- ควบคุมไฟฟ้าสถิต โดยการต่อฝากและการต่อลงดินของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ

## บ่อเก็บก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon มีความแข็งแรงเพียงพอหรือไม่?

มีการออกแบบบ่อเก็บก๊าซแบบ Covered Lagoon อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมหรือไม่?

ข้อมูลและการคำนวณเบื้องต้น

- ขนาดบ่อ ก x ย 120\*250 m. ผ้าใบสูง 6 m. ผ้าใบหนา 1.5 mm ใช้งานความดันสูงสุด 2 mbar
- จำนวนแบบง่ายๆ (ยังไม่มี Safety Factor) ได้ พท.บ่อ 30,000 m<sup>2</sup>, แรงยกผ้าใบจากความดันก๊าซ 600 t, แรงดันจากลม 100 t, ความยาวผ้าใบรอบบ่อ 740 m , แรงดึงของผ้าใบ 0.94 t/m , หรือ 63 kg/cm<sup>2</sup>
- HDPE รับแรงดึงของผ้าใบ 0.94 t/m ค่านี้ Safety Factor=1 ?
- ดินที่กลบทับผ้าใบมีการเคลื่อนตัวโดยรอบบ่อบริเวณท้ายลม ดินที่กลบทับ ลึก 1.0-1.2 m กว้าง 1.0-1.2 m น้ำหนักของดินกลบทับรับแรงดึงของผ้าใบเพียงพอ ?

วิเคราะห์

# มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับ Biogas ตามหลักการ ๓ E

## ๑. Engineering Control

- กำหนดมาตรฐานโครงสร้างบ่อปฏิกรณ์ บ่อเก็บก๊าซทุกแบบให้มีความมั่นคงแข็งแรง มีความปลอดภัย ทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสงแดด (UV) แรงดันน้ำ แรงดันก๊าซ แรงลม
- กำหนดขนาดบ่อเก็บก๊าซ ความดันสูงสุด และปริมาณการเก็บก๊าซสูงสุดต่อบ่อ(ตามชนิดบ่อเก็บก๊าซ)
- การออกแบบ การคำนวณ และการติดตั้งบ่อปฏิกรณ์ บ่อเก็บก๊าซ ต้องมีวิศวกรรับรองความปลอดภัยตามประเภทของงานด้านวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมเครื่องกล
- ติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยต่าง ๆ อย่างเพียงพอ เช่น
  - (๑) Gas detector ตรวจจับการรั่วไหลรอบบ่อ
  - (๒) ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซหรือสุญญากาศของบ่อเก็บก๊าซ
  - (๓) ติดตั้ง O<sub>2</sub> Sensor บริเวณท่อดูดหรือส่งก๊าซ เพื่อป้องกันอันตรายเมื่อมีอากาศปน

# มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับ Biogas ตามหลักการ ๓ E

## ๑. Engineering Control

- ควบคุม Ignition Source ให้ห่างจากบ่อเก็บก๊าซ
- กำหนด โชนที่จะสร้างบ่อเก็บก๊าซต้องห่างจากอาคาร ชุมชน (ตามชนิดบ่อเก็บก๊าซ) หรือมีระบบกั้นแยกอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
- อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานกับก๊าซชีวภาพต้องเป็นแบบ Explosion Proof ระบบไฟฟ้าในโรงงานที่มีการผลิต เก็บและใช้ก๊าซชีวภาพ ต้องมีวิศวกรไฟฟ้าเป็นผู้รับรองความปลอดภัย



# มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับ Biogas ตามหลักการ ๓ E

## ๒. Education

- กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำคู่มือความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ Biogas เรียบร้อยแล้ว
- จะดำเนินการเผยแพร่ความรู้ด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับ Biogas โดยดำเนินการจัดฝึกอบรมแก่ ผู้ประกอบการ ผู้ออกแบบ วิศวกร Operator และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ทั่วทุกภูมิภาคโดยเร็ว

## ๓. Enforcement

- กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำร่างกฎหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย Biogas เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะจัดให้มีการเผยแพร่และจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นจากผู้เกี่ยวข้อง เพื่อปรับแก้ให้สมบูรณ์ในเชิงวิศวกรรม เหมาะสมกับเทคโนโลยี สภาพเศรษฐกิจและสังคมไทย ต่อไป

# คู่มือความปลอดภัยจากการผลิตและใช้ BIOGAS

คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต  
การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas)  
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

คู่มือฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ



สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย  
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

โทรศัพท์ 0-2202-4222  
www.diw.go.th

คู่มือการใช้สารชีวภาพ (Bio) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม  
และการใช้สารชีวภาพ (Bio) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม



**คู่มือ**

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ  
การผลิต การควบคุมคุณภาพ  
และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย  
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



## คู่มือความปลอดภัยจากการผลิตและใช้ BIOGAS

- **สถานการณ์การผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพในประเทศไทย**
- **ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ**

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ , กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
- **คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ**

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ , คุณสมบัติก๊าซชีวภาพ

  - **เทคโนโลยีการออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ**

การจำแนกประเภทและเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ , แนวทางการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม
- **การเริ่มต้นระบบและเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน**

ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) , ช่วงเดินระบบ (Operation)
- **การเก็บก๊าซ การลำเลียง และอุปกรณ์ความปลอดภัย**

การเก็บก๊าซชีวภาพ , ระบบท่อก๊าซ , การเลือกใช้วาล์วสำหรับก๊าซชีวภาพ , ระบบเพิ่มความดันหรือส่งก๊าซชีวภาพ , อุปกรณ์ความปลอดภัยในระบบผลิตก๊าซชีวภาพระบบเผาก๊าซทิ้ง (Flare system) , การควบคุมการทำงานของระบบส่งก๊าซชีวภาพ

## คู่มือความปลอดภัยจากการผลิตและใช้ BIOGAS

- การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

การพิจารณาเพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ , การกำจัดความชื้น , การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) , การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ , การกำจัดไซลอกเซน (Siloxane)

- การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

การคำนวณการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ , ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas Train) , การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงาน , ระบบเผาก๊าซทิ้ง (Gas Flare), การบำรุงรักษา , ปัญหาจากการใช้งานก๊าซชีวภาพ , กรณีศึกษาการระเบิดจากการใช้งานของก๊าซชีวภาพ

- ความปลอดภัยในระบบก๊าซชีวภาพ

ความเสี่ยงจากการระเบิดและไฟไหม้ , การเดินสายไฟฟ้าบริเวณพื้นที่อันตราย , การต่อฝากและการต่อลงดิน , ระบบป้องกันฟ้าผ่า , มาตรการควบคุมในการลดความเสี่ยงจากเพลิงไหม้ ความเป็นพิษของก๊าซและสถานที่อับอากาศ , การปฐมพยาบาล , ตัวอย่างแบบฟอร์มต่างๆ , ป้ายเตือนความปลอดภัย

# ปัญหาจากการผลิต การจัดเก็บและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- ปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซ
  - ปัญหาเมื่อก๊าซเหลือเก็บ ต้องเผาทิ้งที่ Flare ที่มีการออกแบบอย่างถูกต้อง
  - ปัญหาเมื่อก๊าซไม่เพียงพอ ต้องระวังการเกิดสูญญากาศในบ่อเก็บก๊าซ ซึ่งอาจมีอากาศผสมไปกับก๊าซ มีโอกาสเกิดการระเบิดหรือเกิดอัคคีภัยง่าย
- ปัญหาจากคุณภาพก๊าซมีการเปลี่ยนแปลง
  - %CH<sub>4</sub> ถ้าเปลี่ยนแปลงมาก มีโอกาสเปลวไฟดับและเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้
- ปัญหาจากสิ่งปนเปื้อนของก๊าซ เช่น CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O, อื่นๆ
  - จะทำให้เกิดการกัดกร่อน การสกปรกอุดตันจากเมือก ตะกอน การรั่วของวาล์วจ่ายก๊าซ การเกิด ความลึ้มเหลวของอุปกรณ์ความปลอดภัย **เกิดการดับและระเบิดในห้องเผาไหม้**
- ปัญหาจากการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง
- ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เมื่อมีการซ่อมบำรุง บ่อผลิต ท่อ หรืออุปกรณ์ฯ



## ปัญหาจากการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

ปัญหา ฮวเผาไม่ทำงาน (ไม่มีการ *Prepurge*)

ปัญหา ฮวเผาทำงาน (มีการ *Prepurge*) แต่จุดเตาไม่ติด

ปัญหา จุดเตาไม่ติด แต่เกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ขณะจุดเตา

ปัญหา จุดเตาติด แต่เดินได้ชั่วขณะแล้วดับ

ปัญหา จุดเตาติด แต่เปลวไฟกรัฟือ

ปัญหา จุดเตาติด แต่แรงไฟไม่ขึ้น

ปัญหา เปลวไฟชบ ขณะเดินเครื่องที่ *High Fire*

ปัญหา ขณะเดินเครื่องที่ *High Fire* เปลวไฟชบ แต่เกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้

ปัญหา ฮวเผาทำงาน แต่  $CO$  สูง ,  $O_2$  สูง แต่อุณหภูมิปล่องสูงมาก

ปัญหา ในกรณีที่ฮวเผาทำงาน มีการระเบิดที่ปล่องไอเสีย

## การวิเคราะห์หาสาเหตุ ปัญหาจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ

### ปัญหาชวเผาไม่ทำงาน (ไม่มีการ *Prepurge*)

- ปริมาณก๊าซไม่เพียงพอ ความดันที่ท่อส่งก๊าซต่ำเกินไป
- *Valve Proving System* ตรวจพบการรั่วไหลของ *Double Solenoid Valve*
- ความดันไอน้ำสูงถึงค่าที่ตั้งไว้, *Pressure switch* ไม่ต่อวงจรการทำงานของชวเผา หรือ
- อุณหภูมิน้ำชนร้อนสูงถึงค่าที่ตั้งไว้, *Temperature switch* ไม่ต่อวงจรการทำงานของชวเผา

### ปัญหาชวเผาทำงาน (มีการ *Prepurge*) แต่จุดเตาไม่ติด

- ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป
- ก๊าซชีวภาพมีความชื้นสูง หรือมีน้ำปนมาก
- ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ ต่ำกว่า *LEL* หรือสูงกว่า *UEL*
- รูจ่ายก๊าซที่ชวเผาสกปรก อุดตัน
- ไม่มีประกายไฟ หรือขาด *Ignition Source*
- *Flame Detector* ตรวจพบการติดไฟ หรือแสงสว่างในห้องเผาไหม้

## การวิเคราะห์หาสาเหตุ ปัญหาจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ

### จุดเตาติด แต่เดินได้ชั่วคราวแล้วดับ

- ปริมาณก๊าซลดลงมาก ความชื้นจาก *Blower* ที่ท่อส่งก๊าซลดลงมากจนต่ำเกินไป *Blower* ส่งก๊าซไม่ชน
- ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป ก๊าซชีวภาพติดไฟได้เมื่อ *Pilot Burner* ทำงาน แต่ไม่สามารถติดไฟต่อเนื่องเมื่อเปลวไฟที่ *Pilot Burner* ดับลง
- ปริมาณมีเทนเปลี่ยนแปลงมากเกินไป ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพชบอากาศ ต่ำกว่า *LEL* หรือสูงกว่า *UEL*
- ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพต่ำ มีเทนต่ำ ความชื้นสูง ทำให้ความเร็วในการติดไฟลดลงจนติดไฟไม่ชนเมื่อเดินเครื่องที่ *High Fire*

### ปัญหา จุดเตาติด แต่เปลวไฟกร๊พื้อ

- ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก น้ำที่ถูกเปลวไฟจรั้เปิดหว ทำให้เกิดช่องโหว่ของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงชบอากาศ

## การวิเคราะห์หาสาเหตุ ปัญหาจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ

### ปัญหา เปลวไฟดับ ขณะเดินเครื่องที่ *High Fire*

- ค่ามีเทนในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป ก๊าซชีวภาพติดไฟได้เมื่อ *Pilot Burner* ทำงาน แต่ไม่สามารถติดไฟต่อเนื่องเมื่อเปลวไฟที่ *Pilot Burner* ดับลง
- ปริมาณมีเทนเปลี่ยนแปลงมากเกินไป ส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศ ต่ำกว่า *LEL* หรือสูงกว่า *UEL*
- ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพต่ำ มีเทนต่ำ ความชื้นสูง ทำให้ความเร็วในการติดไฟลดลงจนติดไฟไม่ชนขณะเดินเครื่องที่ *High Fire*



## การวิเคราะห์หาสาเหตุ ปัญหาจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ

### ปัญหา จุดเตาไม่ติด แล้เกิดการรับเปิดในห้องเผาไหม้ขณจุดเตา

- VPS ไม่ทำงานจากการชำรุดอุดตัน และยอมให้หัวเผาทำงานลัดชั้นตอนความปลอดภัย โดยเฉพาะเมื่อมีก๊าซรั่วผ่าน DSV หรือห้องเผาไหม้ยังร้อนแดงแต่ยอมให้พัดลมทำงานเติมอากาศให้เชื้อเพลิงที่สะสมภายในห้องเผาไหม้
- พนักงานทำให้เกิดการลัดวงจรของ VPS เมื่อจุดเตาไม่ได้ เนื่องจากมีก๊าซชีวภาพรั่วไหลผ่าน DSV เข้าสู่ห้องเผาไหม้

## ปัญหาการใช้ Biogas ที่ไม่มีการขจัด $H_2S$ , $CO_2$ และความชื้น

การใช้ Biogas ที่ไม่มีการขจัด  $H_2S$  ,  $CO_2$  และความชื้น พบว่าทำให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่

- เกิดการชำรุดของอุปกรณ์ควบคุมก๊าซต่างๆ จากกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก และกรดคาร์บอนิกอย่างรุนแรง สูญเสียก๊าซเชื้อเพลิงจากการรั่วไหล เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย และการระเบิดของเชื้อเพลิง และทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง
- ในขณะที่ความเข้มข้นของ  $CH_4$  ต่ำ และ  $CO_2$  สูง Flame Velocity ของ Biogas จะลดลง ทำให้ติดไฟยาก เปลวไฟจะยาวขึ้น การเผาไหม้ที่ High Fire จะแรงไฟไม่ได้ และมีความเสี่ยงสูงจากเปลวไฟดับ เนื่องจาก Biogas ติดไฟไม่ทัน เกิดก๊าซ CO ซึ่งเป็นมลภาวะสูงขึ้นไป และอาจเกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion ในขณะใช้งาน ซึ่งทำให้เกิดอันตรายและความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

## ปัญหาการใช้ Biogas ที่ไม่มีการขจัด $H_2S$ , $CO_2$ และความชื้น

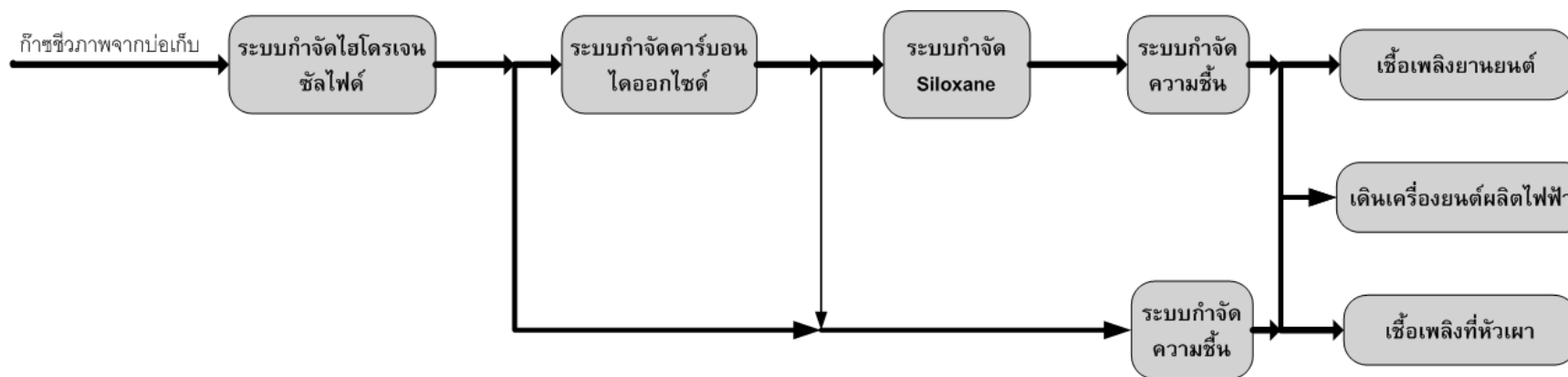
- ความเข้มข้นของ  $CH_4$  จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยผกผันกับ  $CO_2$  ทำให้การปรับแต่ง และควบคุม การเผาไหม้แบบอัตโนมัติขาดความเสถียร ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีความแปรปรวนสูง และบางครั้งทำให้เกิดส่วนผสมที่บางหรือหนาเกินกว่าจะติดไฟได้ ทำให้ เปลวไฟดับและอาจเกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion ในขณะที่ใช้งาน
- ในขณะที่ Biogas มี  $CH_4$  ต่ำ และ  $CO_2$  สูง ยังต้องใช้อากาศส่วนเกินสูง เพื่อให้เกิดการ เผาไหม้ที่ สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนทางปล่องสูงมาก โดยความร้อนจะติดพาไป กับ  $CO_2$  และอากาศส่วนเกิน อุณหภูมิปล่องจะสูงผิดปกติตลอดเวลา ทำให้ประสิทธิภาพด้าน พลังงานความร้อนต่ำ ล้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก
- น้ำที่ปนมากับ Biogas จะพาสังสกรกติดมา ทำให้เกิดเมือก ตะกอน ซึ่งมีผลต่อการชำรุดอุดตัน ของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง เช่น
  - การอุดตันของ VPS ทำให้ระบบความปลอดภัยของ Burner ล้มเหลว มีการทำงานแบบลัดวงจร
  - การอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Mechanical Trap) ซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบท่อส่งก๊าซ ทำให้มีน้ำขัง อยู่ในระบบท่อส่งก๊าซ กีดขวางการไหลของก๊าซ และมีน้ำเข้าสู่ Burner ทำให้เปลวไฟกระพือหรือดับ และ เกิดก๊าซตกค้างในห้องเผาไหม้ เป็นเหตุให้เกิด Back Fire หรือ Furnace Explosion

# การป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรม

## มาตรการป้องกันที่ผู้ประกอบการโรงงาน ควรดำเนินการ

- ควรติดตั้งอุปกรณ์ขจัด  $H_2S$  ,  $CO_2$  และความชื้น ออกจาก Biogas ก่อนป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมก๊าซ และหัวเผา และภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ขจัด  $H_2S$  ,  $CO_2$  และความชื้น ต้องควบคุมให้มีการใช้งาน การตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ดังกล่าว ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานตลอดเวลา
- ควรจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพ Biogas ที่นำมาใช้งาน ให้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของ อุปกรณ์ควบคุมก๊าซ หรือเป็นไปตามมาตรฐานสากล ตลอดเวลา
- ควรจัดให้มีการฝึกอบรมพนักงาน ให้มีความรู้เกี่ยวกับ Biogas การใช้และการป้องกันอันตรายในการใช้ หัวเผา การใช้งาน และการตรวจสอบบำรุงรักษาหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อให้ ประหยัด ปลอดภัย และไร้มลภาวะ
- กรณีที่ไม่ได้ขจัด  $CO_2$  ออกจาก Biogas ในการใช้งาน ควรใช้เชื้อเพลิงร่วมกันระหว่างน้ำมันเตากับ Biogas ตลอดเวลา เพื่อป้องกันหัวเผาดับและเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ เมื่อ  $CH_4$  ต่ำ และ  $CO_2$  สูง
- ควรติดตั้งฝานิรภัย (Access Door) บริเวณห้องเผาไหม้ของหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน เพื่อระบายก๊าซความดันสูงออกจากห้องเผาไหม้ เมื่อมีการระเบิดของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ



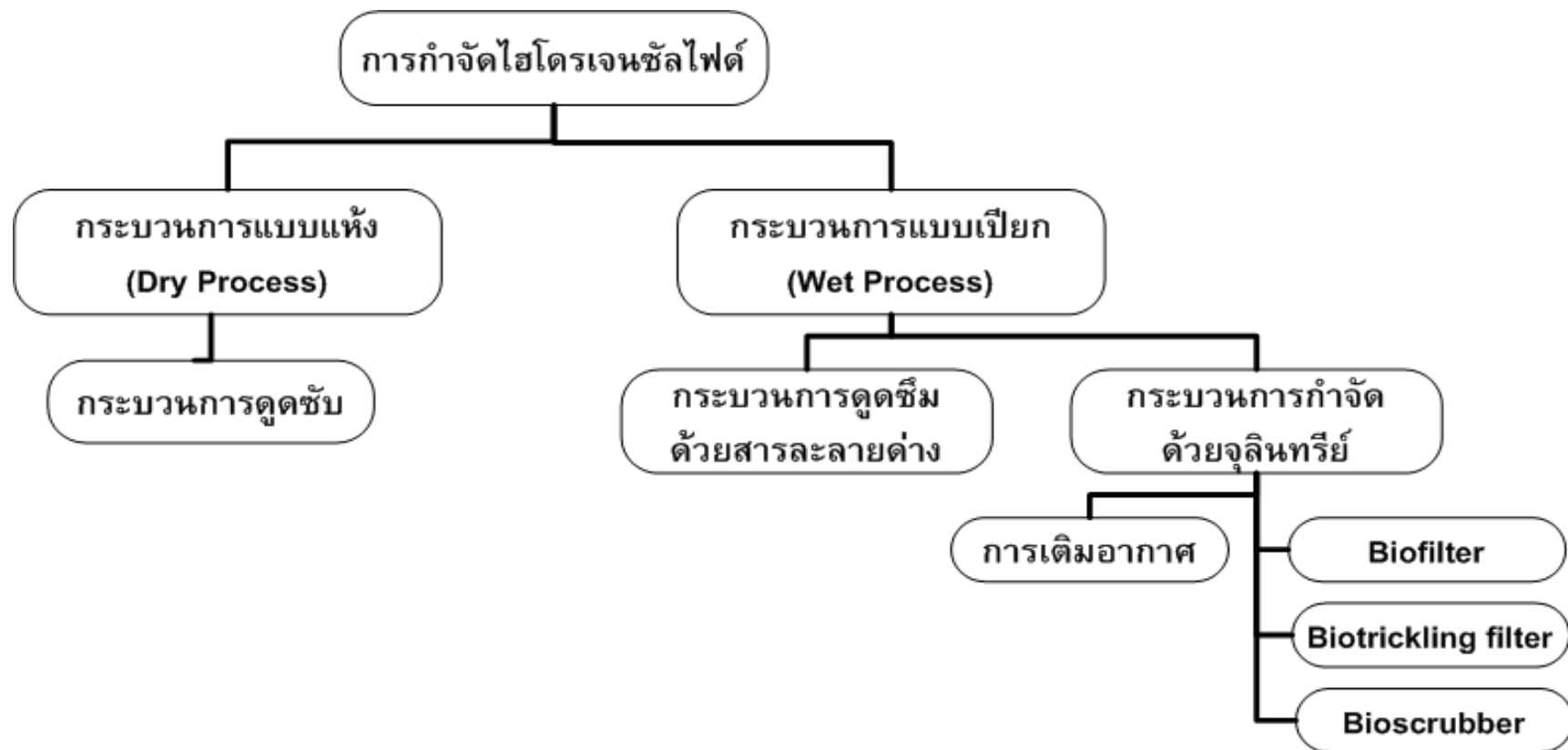
## การกำจัดความชื้นโดยใช้หลักการลดอุณหภูมิของก๊าซ

- การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับน้ำเย็น (Chiller) ผลิตน้ำเย็นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10-12° โดยให้มีการลดอุณหภูมิก๊าซชีวภาพให้อยู่ที่ 10-15°ซ.
- การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น



# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

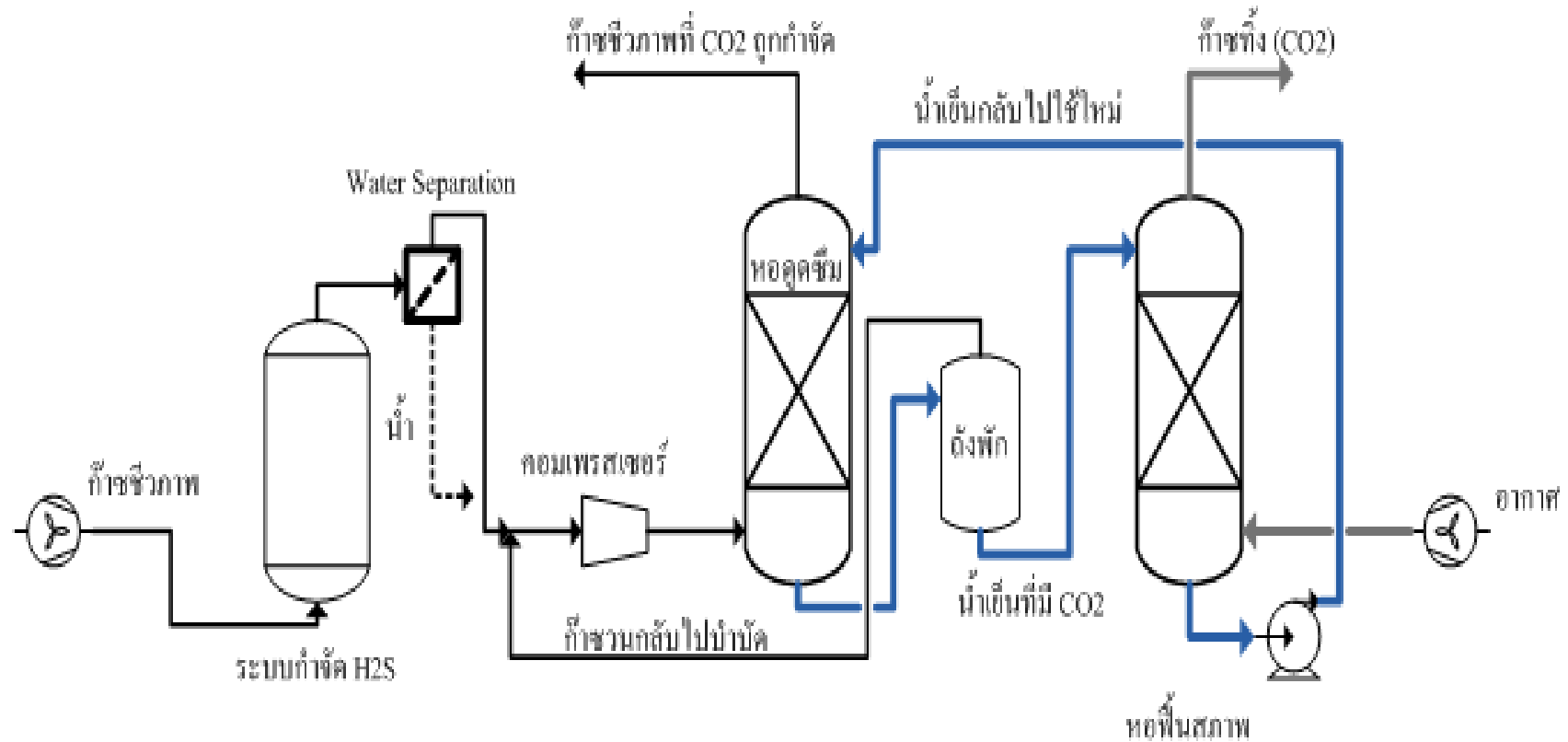
## การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S)



# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

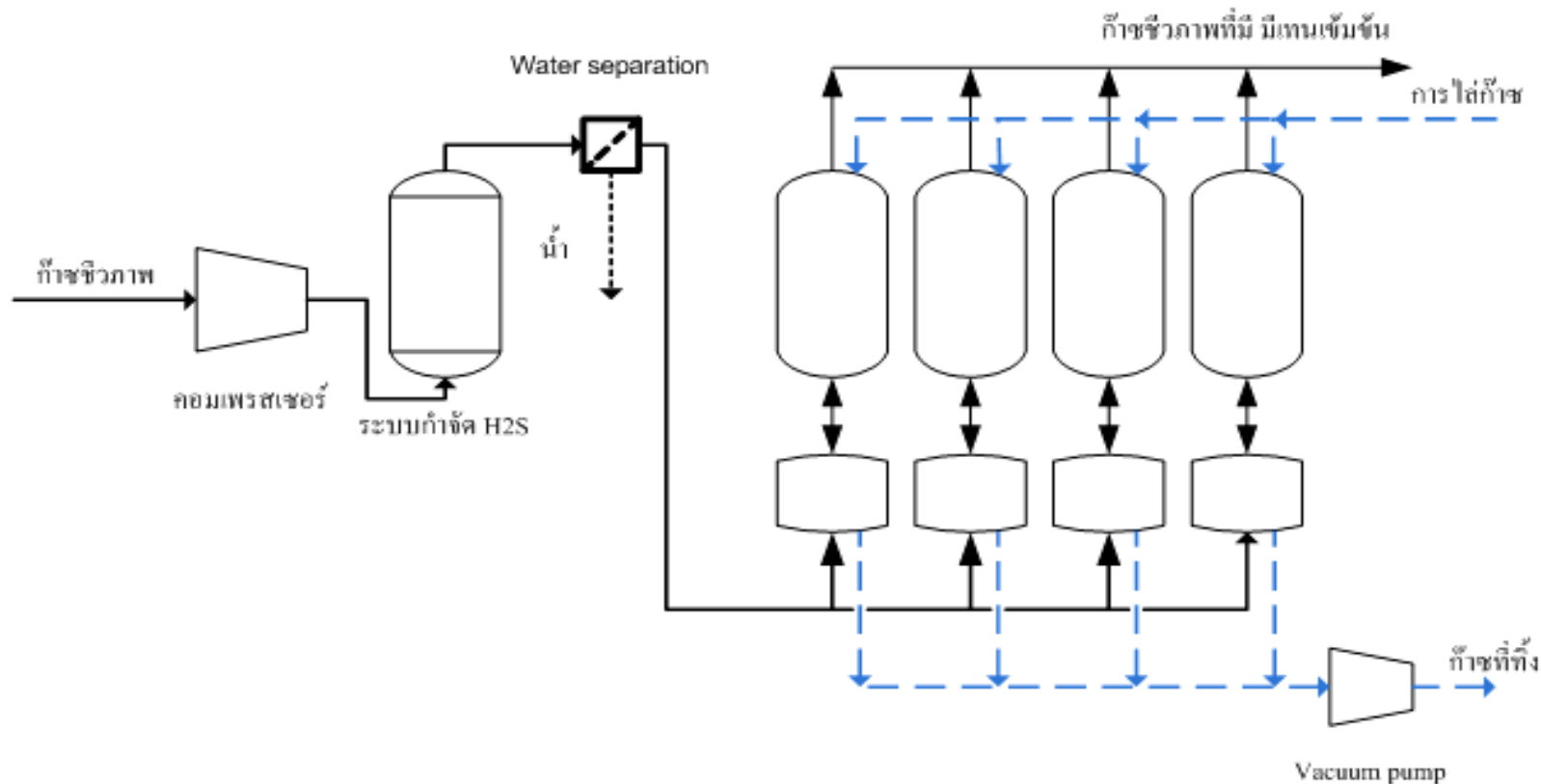
- Water Scrubber Technology



# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

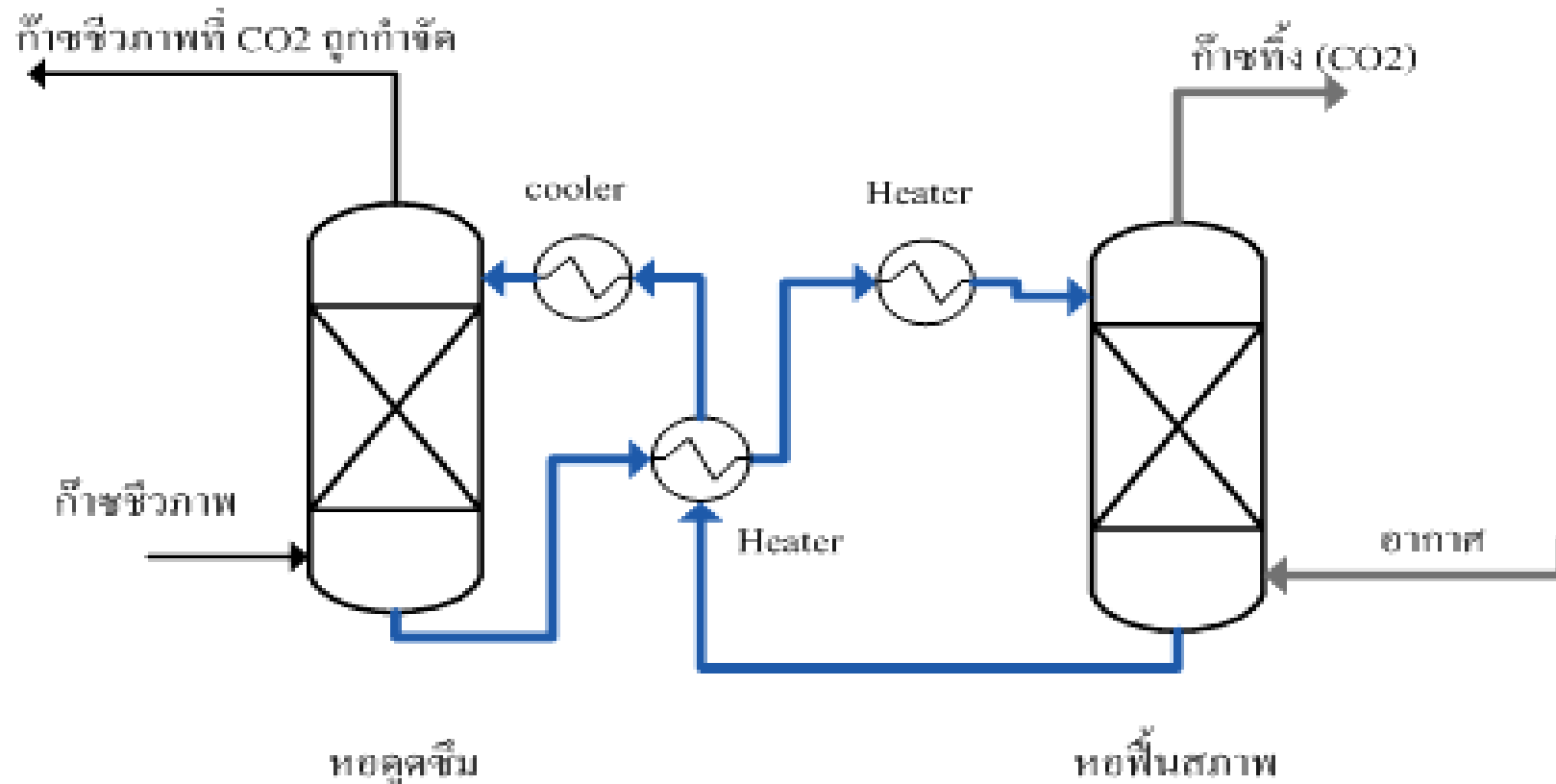
- Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology



# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

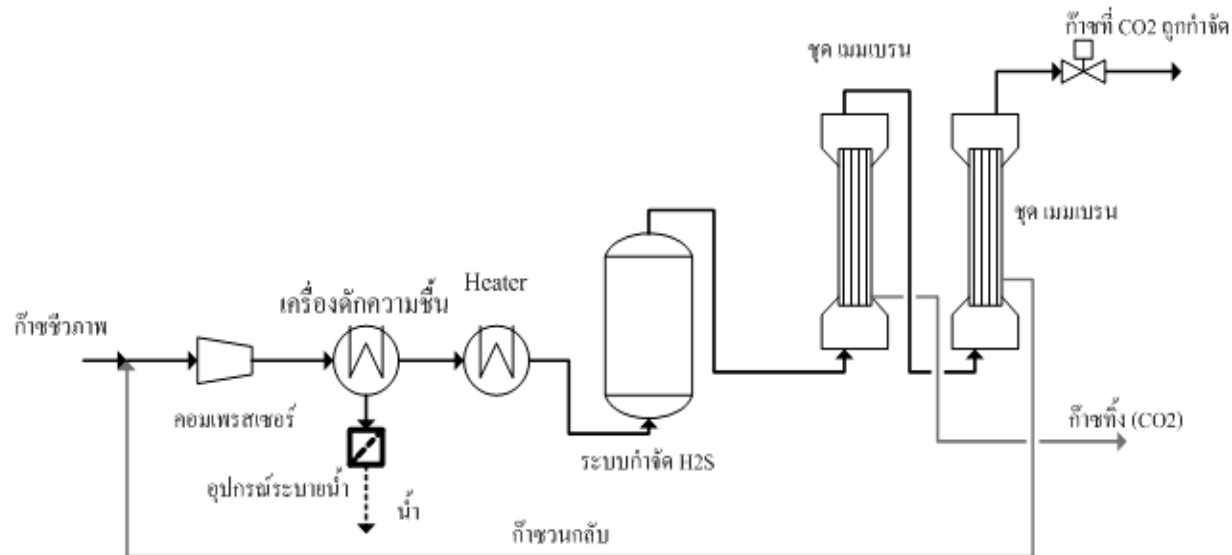
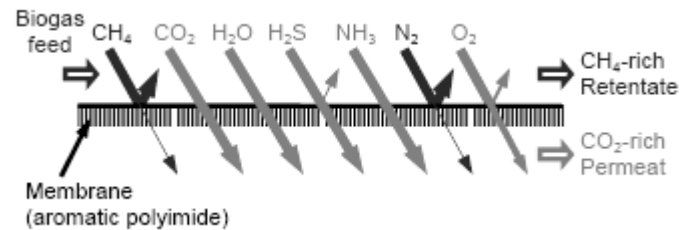
- Chemical Adsorption Technology



# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

## การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

- Membrane Separation Technology





# การปรับปรุงและควบคุมคุณภาพก๊าซชีวภาพ

## การกำจัดซิลอกเซน(Siloxane)

