# เสวนาออนไลน์ หัวข้อ

ครั้งที่ 6

## "กรณีศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในระบบก๊าซชีวภาพ"

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อเสริมสร้างความรู้ด้านความปลอดภัยแก่บุคลากรที่ควบคุม/ดูแลระบบก๊าซชีวภาพ
2. เพื่อพัฒนาองค์ความรู้/ความร่วมมือภายในกลุ่มก๊าซชีวภาพทั้งรัฐและเอกชน

เสวนาออนไลน์ผ่าน zoom ฟรี!

วันศุกร์ที่ 25 กันยายน 2563

เวลา 13.30 - 15.30 น.

**บรรยายโดย**

***คุณศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล***

***ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยในโรงงาน***

**ผู้ดำเนินรายการ**

คุณไชยวัฒน์ ผลลาภ

WISDOM ENVIRONMENT

**ลงทะเบียนผ่านอีเมล**

wisdom.envi@gmail.com

กรุณาแจ้งรายละเอียด ดังนี้

ชื่อ-นามสกุล, หน่วยงาน, เบอร์ติดต่อ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่

บริษัท วิสดอม เอ็นไวรอนเมนท์ จำกัด

02-612-9669

# หัวข้อบรรยาย

5. การเกิดอุบัติเหตุจากการผลิต การเก็บและการใช้ก๊าซชีวภาพ

5.1 การเกิดอุบัติเหตุในส่วนลำเลียงก๊าซชีวภาพ

5.2 การเกิดอุบัติเหตุในส่วนใช้ก๊าซชีวภาพ

5.3 การเกิดอุบัติเหตุในส่วนผลิตและเก็บก๊าซชีวภาพ

5.4 การเกิดอุบัติเหตุในขณะซ่อมบำรุง

# 5.1 การเกิดอุบัติเหตุในส่วนลำเลียงก๊าซชีวภาพ

## กรณีศึกษาที่ 1 การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซชีวภาพ

- โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว
- วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2549
- มีผู้บาดเจ็บสาหัสจากการถูกไฟคลอก 3 ราย ต่อมาเสียชีวิต 2 ราย
- ความเสียหายประมาณ 2 ล้านบาท

# Case 1 การระเบิดในห้องสูบส่งก๊าซจากแตกรั่วของข้อต่อรับการขยายตัว ที่ท่อส่งก๊าซชีวภาพ ปัญหาการกัดกร่อนจาก $H_2S$, $CO_2$, $H_2O$

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.สระแก้ว เมื่อ ก.ย.49

การแตกรั่วของข้อต่อรับการขยายตัว (Expansion Joint) ที่ท่อทางออกระหว่าง Blower กับถังดักความชื้น เนื่องจากการผุกร่อน กัดกร่อนจาก $O_2$ , $H_2CO_3$ , $H_2SO_4$ ในก๊าซชีวภาพและการล้าตัวจากการสั่นสะเทือน ซึ่งการรั่วของก๊าซชีวภาพทำให้เกิดการระเบิดในห้องสูบส่งก๊าซ

# การจุดระเบิดของก๊าซชีวภาพ

- **1) ก๊าซที่รั่วไหลมีการสะสมภายในห้องสูบส่งก๊าซ**

  **ก๊าซชีวภาพผสมกับอากาศในห้องมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงติดไฟได้ (LEL กับ UEL)**

- **2) มีแหล่งจุดระเบิด (Ignition Source) ภายในห้องสูบส่งก๊าซ**

  ความผิดพลาดจากการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นแบบไม่ป้องกันการระเบิด

- **3) มีการกระทำที่ผิดพลาด (Human Error)**

  อาจทำให้เกิดประกายไฟ จากการปิด เปิดสวิตช์อุปกรณ์ไฟฟ้า

# 5.2 การเกิดอุบัติเหตุจากการใช้ก๊าซชีวภาพ

ความเสียหายของฝาหน้า
หม้อน้ำมันร้อน

สาเหตุเกิดจากการ Overheat
เนื่องจากใช้ Biogas ที่มี $CH_4$< 55%
โดยไม่ใช้น้ำมันเตาร่วม

# Case 2 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนในขณะจุดเตา

## ปัญหาการกัดกร่อน และการอุดตันของอุปกรณ์ความปลอดภัยจาก $H_2S$, $CO_2$, $H_2O$

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.สระแก้ว เมื่อ ก.ย. 51 มีผู้บาดเจ็บ 2 ราย ความเสียหายประมาณ 3 ล้านบาท

**การระเบิดของห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนที่ใช้ก๊าซชีวภาพ ทำให้ฝาหน้าโก่งงอ มอเตอร์และลูกถ้วยของหัวเผาหลุดร่วง ฝาหลังเปิดเผยอ ท่อน้ำมันร้อนแตกรั่ว มีผู้ได้รับบาดเจ็บ 2 คน ทรัพย์สินเสียหายประมาณ 3 ล้านบาท**

Case 2

# สาเหตุการระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้

- มี Biogas รั่วผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้
- มีเชื้อเพลิงผสมกับอากาศสะสมอยู่ภายในห้องเผาไหม้ในขณะจุดเตา และมีความเข้มข้นระหว่าง Lower Explosive Limit (LEL) กับ Upper Explosive Limit (UEL)
- มีแหล่งจุดไฟ (Ignition Source) เช่น การจุดประกายไฟจาก Electrode หรือเปลวไฟจาก Pilot Burner

Case 2

# สาเหตุการระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

## ปัญหาการกัดกร่อน และการอุดตันของอุปกรณ์ความปลอดภัยจาก $H_2S$, $CO_2$, $H_2O$

- สปริงวาล์วและบ่าวาล์วของ Double Solenoid Valve มีการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวลิค ก้านวาล์วและรูก้านวาล์วสกปรกจนวาล์วค้าง ทำให้ก๊าซรั่วตลอดเวลา
- สปริงกดวาล์วมีการสึกกร่อน ผุกร่อนเป็นรูพรุน และสปริงเคยมีการแตกหักหลายครั้ง ซึ่งทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดการรั่วไหลผ่าน Double Solenoid Valve เข้าสู่ห้องเผาไหม้หลายครั้ง

Valve Proving Systems (VPS) มีการอุดตัน ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการรั่วของก๊าซ เกิดการลัดวงจรโดยยอมให้ Burner ทำงาน ถึงแม้จะมีก๊าซรั่วอย่างรุนแรงเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา เมื่อ Burner มีการจุดประกายไฟ จึงเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ขึ้น

# Case 3 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนขณะเดินเครื่อง

## ปัญหาการอุดตันของอุปกรณ์ความปลอดภัยจาก $H_2S$, $CO_2$, $H_2O$

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อ.เมือง จ.นครราชสีมา เมื่อ 2 พฤษภาคม 2552 ความเสียหาย 2 ล้านบาท ไม่มีผู้บาดเจ็บ

แรงระเบิดภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ฝาหน้าของหม้อน้ำมันหลุดออก

Burner และอุปกรณ์ต่อเนื่องแตกหักชำรุดเสียหาย

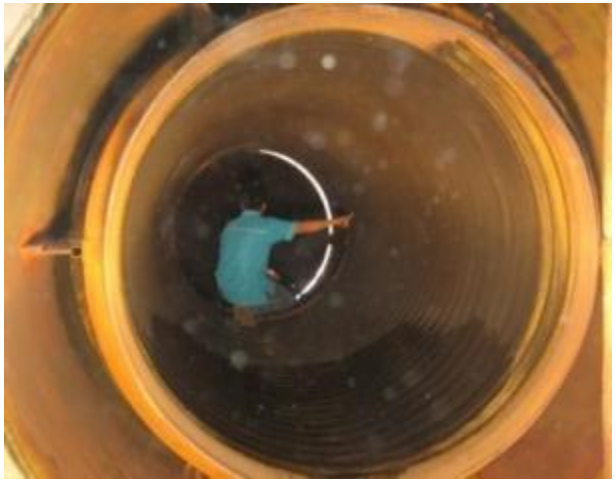
Case 3

- ท่อส่งก๊าซ และ Double Solenoid Valve สกปรกมาก
- Double Solenoid Valve เปิดค้างและก๊าซรั่วเข้าห้องเผาไหม้ตลอดเวลา
- ระบบนิรภัย Valve Proving System ชำรุดอุดตันทำงานลัดวงจร

# Case 4 การระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนในขณะเดินเครื่อง

## ปัญหาจาก $H_2S$, $CO_2$, $H_2O$ ทำให้เกิดน้ำ เมือก ตะกอนท่วมขังในท่อป้อนก๊าซ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จ.นครราชสีมา เมื่อ ธ.ค.52 ความเสียหายประมาณ 1 ล้านบาท ไม่มีผู้บาดเจ็บ



- เปลวไฟดับในขณะที่ Burner กำลังทำงานในตำแหน่ง High Fire (ก๊าซมีน้ำปนมาก)
- ผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อน กดสวิตช์ Burner Reset ใหม่ทันที หลังจากนั้น ~5 วินาที ห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อนก็ระเบิดขึ้น
- แรงระเบิดทำให้ขดท่อน้ำมันที่ผนังหลังเคลื่อนตัวถอยหลัง~30 cm. โดยไม่มีการแตกรั่วของท่อ ฝานิรภัยที่ผนังหลังมีการเปิดระบายความดันออกจากห้องเผาไหม้

Case 4

# สาเหตุที่ทำให้เปลวไฟดับในขณะเดิน High Fire

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

  กรณีนี้ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วย Gas Analyzer ปรากฏว่า เครื่องวิเคราะห์ก๊าซอ่านค่ามีเทนได้ไม่แน่นอน เนื่องจากในก๊าซมีน้ำปนมากและรบกวนการทำงานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

- **ก๊าซชีวภาพมีน้ำปนมาก**

  **ก๊าซที่มีน้ำปนมาก เมื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำแบบทันทีทันใดและขยายตัว~1600 เท่า ทำให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ขาดความต่อเนื่อง เปลวไฟจึงเกิดการกระพือดับ**

  - **ขาดระบบลดความชื้น หรือขาดการดูแลระบบลดความชื้นในก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ จึงมีน้ำปนอยู่ในก๊าซมากเกินไป**
  - **ขาดกระบวนการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ (Purify Biogas) มีสิ่งปนเปื้อนที่ทำให้ก๊าซด้อยคุณภาพ การกำจัด $H_2S$ ขาดประสิทธิภาพ น้ำและก๊าซมีออกซิเจนปน จึงเกิดเมือกและตะกอนมาก**
  - **ระบบระบายน้ำออกจากก๊าซบกพร่อง ติดตั้งวาล์วระบายน้ำเล็กเกินไป ก๊าซที่มีความดันต่ำควรใช้วาล์วระบายขนาดใหญ่**
  - **ขาดการตรวจสอบระบบระบายน้ำออกจากท่อส่งก๊าซหรือ Knock out Drum จึงมีน้ำขังและวาล์วระบายน้ำอุดตัน**

พบคราบตะกรันสะสมรอบท่อส่งก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกิดจากมีน้ำ เมือก ตะกอนค้างท่อ เนื่องจากการอุดตันของ Auto Drain Valve ที่ Knockout Drum

Case 4

พบการอุดตันและการลัดวงจรของ Valve Proving Systems (VPS) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ Burner ทำงานลัดขั้นตอน

# การอุดตันของ Auto Drain VALVE

# สาเหตุที่ทำให้เกิดการระเบิดของ Biogas ในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากเปลวไฟดับในขณะเดิน High Fire

Case 4

- **มีการกระพือดับของเปลวไฟ** **เนื่องจากก๊าซชีวภาพสกปรกและมีน้ำปนมาก**
  มีการอุดตันของวาล์วระบายน้ำอัตโนมัติ (Auto Drain Valve) ที่ท่อส่งก๊าซชีวภาพ
- **มีก๊าซชีวภาพสะสมเต็มห้องเผาไหม้ในขณะเตาดับ** **เนื่องจาก Double Solenoid Valve ยังจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าสู่ห้องเผาไหม้ชั่วขณะ โดยส่วนผสมอยู่ในช่วงการติดไฟและระเบิดได้**

  **ในขณะเตาดับ** Flame Detector ต้องใช้เวลาตรวจสอบการดับของเปลวไฟ ก่อนจะสั่งตัดระบบเชื้อเพลิง จึงยังมีส่วนผสมก๊าซและอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้ปริมาณมาก
- **มีการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้** **เนื่องจากมีความร้อนสูงสะสมที่ปูนทนไฟภายในห้องเผาไหม้ (Ignition Source )**

  การ Reset Burner ใหม่ ของผู้ควบคุมหม้อน้ำมันร้อนหลังเตาดับแบบทันทีทันใด ไม่เกี่ยวข้องกับการระเบิดในครั้งนี้ เนื่องจากระบบความปลอดภัยของ Burner ยังไม่ถึงขั้นตอนการเริ่มทำงานใหม่

# 5.3 การเกิดอุบัติเหตุในส่วนผลิตและเก็บก๊าซชีวภาพ

**กรณีศึกษาที่ 5 การแตกขาดของผ้าใบที่ปิดคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ และการเกิดเปลวเพลิงคลอกโรงงานทั้งหลัง**

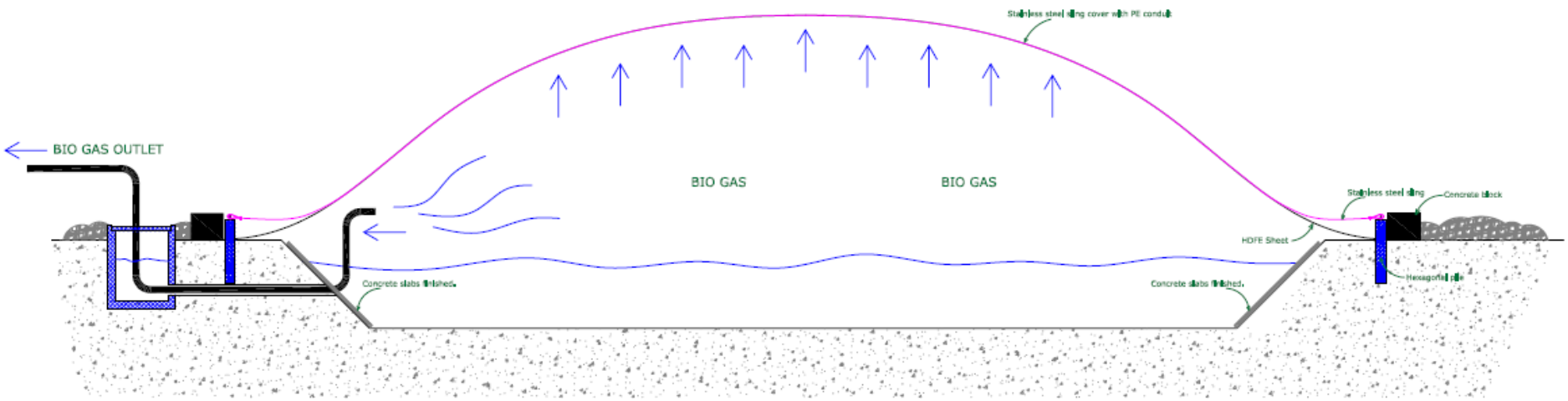
- เหตุเกิดที่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ เมื่อวันที่ 25 ก.พ.2554
- มีผู้บาดเจ็บจากการถูกไฟคลอกทั้งผู้อยู่ภายในและภายนอกอาคารโรงงาน ซึ่งอยู่ใต้ทิศทางลมในระยะประมาณ 200 m. รวม 38 ราย ซึ่งต่อมาได้ทยอยเสียชีวิตหลังจากเกิดเหตุ 21 ศพ
- ความเสียหายทั้งอาคาร เครื่องจักร เช่น มอเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด ตู้เมนสวิตช์ สายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า ท่อน้ำ PVC รถยนต์ ฯลฯ ทรัพย์สินและค่าเสียหายอื่นๆ รวมประมาณ 150 ล้านบาท

# Case 5 กรณีศึกษา ผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (Covered Lagoon) แตกขาดและเกิดเปลวเพลิงจากก๊าซชีวภาพคลอกโรงงาน

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เมื่อ 25.2.54

**รูปบน** สภาพผ้าใบ HDPE คลุมบ่อก๊าซในขณะที่มีก๊าซเต็ม

**รูปล่าง** สภาพบ่อผลิตก๊าซชีวภาพหลังจากผ้าใบแตกขาดจากลมกระโชกทิศทางลมและเปลวไฟที่พัดเข้าสู่โรงงาน




Side view section

# สภาพบ่อเก็บก๊าซด้านต่างๆ และทิศทางลมที่พัดผ่านโรงงาน

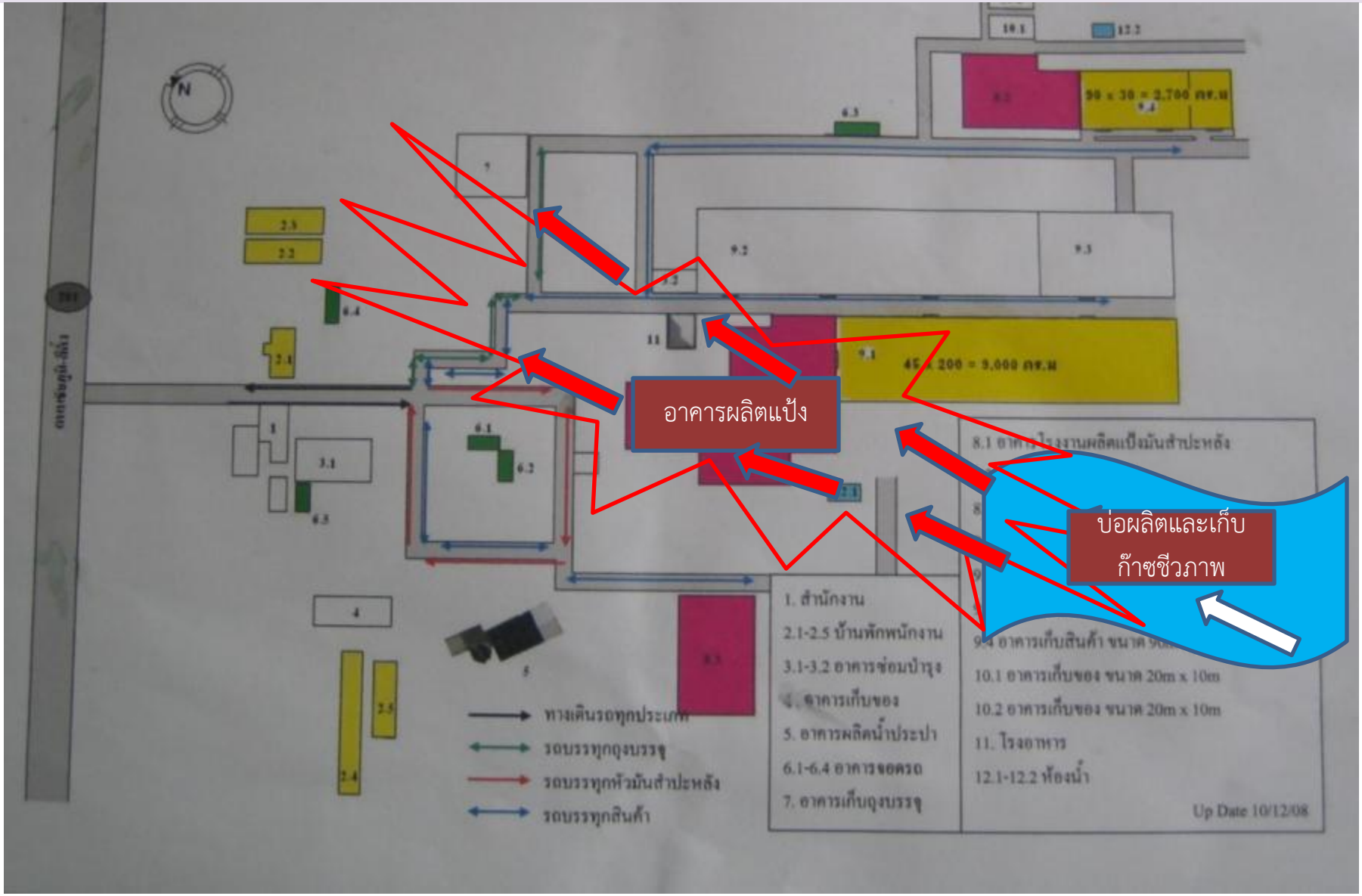
แนวผ้าใบข้างบ่อเก็บก๊าซทั้งสี่ด้านที่ฉีกขาด

# ผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ (Covered Lagoon) แตกขาด และเกิดเปลวเพลิงจากก๊าซชีวภาพคลอกโรงงาน

ด้านหลังอาคารผลิตแป้งมันสำปะหลังตั้งอยู่ใต้ทิศทางลมห่างจากบ่อเก็บก๊าซ 50-60 ม. ห้องน้ำและอาคารผลิตถูกเปลวไฟคลอกทั้งหลัง

# สภาพด้านหลังอาคารผลิตบริเวณห้องบรรจุแป้ง และห้องน้ำที่ถูกไฟคลอก

ทิศทางลมพายุที่พัดพาก๊าซชีวภาพที่แตกรั่วจากบ่อผลิตก๊าซและติดเป็นเปลวไฟคลอกอาคารผลิตแป้งมันทั้งหลัง เปลวไฟทำให้พนักงานในอาคารผลิตแป้งถูกไฟลวก ๓๖ คน และไฟไหม้บริเวณห้องบรรจุแป้ง



# อาคารผลิตแป้งมัน และสภาพภายในโรงงานที่เครื่องจักรอุปกรณ์ถูกไฟคลอก

# สภาพเครื่องจักรในโรงงานที่ถูกไฟคลอก

- สายไฟฟ้าไหม้เกรียมจากเปลวไฟ
- มีผู้ถูกไฟคลอก  รวมทั้งหมด 38 คน
- ในจำนวนนี้ สาหัส 20 คน ( ก.ย.54 เสียชีวิตแล้ว 18 ศพ)

# การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

## ประเด็นปัญหาที่ต้องตรวจสอบและวิเคราะห์

- ❑ การแตกขาดของผ้าใบที่ริมรอยเชื่อมตะเข็บคู่ การฉีกขาดของผ้าใบริมบ่อขนานกับดินที่กลบทับบริเวณท้ายลม 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 ) ได้รับการคำนวณจากตัวแปรที่ครบถ้วน และมีค่า Safety Factor เพียงพอหรือไม่ ?
   - ✓ วัสดุที่ใช้ยึดเหนี่ยวผ้าใบ (เช่น ปริมาณดินที่ใช้กลบทับ , ขนาดและจำนวนเชือกที่ใช้ผูกยึด) วิธีการติดตั้ง ได้รับการออกแบบและคำนวณจากตัวแปรที่ครบถ้วน ถูกต้องหรือไม่ ?
   - ✓ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของผ้าใบในขณะรับความดันก๊าซและรับแรงจากลม ได้มีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปทรง การกระพือหรือสะบัดตัวของผ้าใบ จนเกิดความล้าตัวหรือไม่?

   b) การเสื่อมสภาพของผ้าใบ เกิดได้จากสาเหตุใด?

   - ✓ ความล้าตัวจากการเปลี่ยนรูปทรง การกระพือหรือกระเพื่อมตามแรงลม มีการออกแบบเพื่อควบคุมป้องกัน?
   - ✓ การเสื่อมสภาพของสารป้องกัน UV จากแสงแดด หรือการเปลี่ยนรูปทรง

# การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

2. ก๊าซชีวภาพเบาหรือหนักกว่าอากาศ ? เหตุใดเมื่อบ่อเก็บก๊าซแตก ก๊าซชีวภาพจึงมี การกระจายตัวอยู่ในระดับพื้นดินในระยะ 200 m. ?

- น้ำหนักของก๊าซชีวภาพ เบาหรือหนักกว่าอากาศขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซมีเทน ?

  เมื่อ Biogas มี $CH_4$ 60%, $CO_2$ 35%, Other 5% จะมี Sp.Gr. 0.90

  $CH_4$ 100% จะมี Sp.Gr. 0.55 (เทียบกับอากาศ = 1) (@ 1.013 บาร์ , 15°ซ )

- ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสม จึงมีน้ำหนักเกือบเท่ากับอากาศ ลอยตัวได้ช้า ก๊าซชีวภาพจึงมีการผสมกับกระแสลมและพัดพาอยู่ในระดับพื้นดินได้ไกล

3. แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) รอบบ่อเก็บก๊าซมีอะไรบ้าง ?

- ภายในรัศมี <20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ ประกอบด้วย ระบบไฟส่องสว่างแบบสปอร์ตไลต์ หลอดฟลูออเรสเซน ปลั๊กซ์ไฟ ตู้ควบคุมไฟฟ้า มอเตอร์สูบน้ำเสีย ไฟฟ้าสถิตของผ้าใบจากการเสียดสีกับกระแสลม
- ภายในรัศมี >20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ ประกอบด้วย
  - ในห้องน้ำ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สวิตช์ ปลั๊กซ์ การสูบบุหรี่
  - ในโรงงาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สวิตช์ ปลั๊กซ์ มอเตอร์ พัดลม หม้อน้ำมันร้อน การเชื่อม เลื่อย ตัด ไส ขัด ทุบ เจียร ความร้อนจากการทำงานของเครื่องจักร
  - บนถนน การทำงานของยานพาหนะ

# ผ้าใบคลุมบ่อผลิตและเก็บก๊าซที่แตกขาด บริเวณรอยเชื่อมต่อริมตะเข็บคู่

# การตรวจทดสอบ HDPE Geomembrane Cover

**จากการตรวจทดสอบผ้าใบ** Peel Test และ Tensile Test

**พบว่า** ค่าแรงดึงของผ้าใบ HDPE มีความแตกต่างกันมาก

- ค่า FTear ต่ำสุด 82 N สูงสุด 374 N ส่วนใหญ่ประมาณ 300 N
- ค่า FPeak ต่ำสุด 440 N สูงสุด 544 N ส่วนใหญ่ประมาณ 500 N

**การวิเคราะห์สาเหตุการฉีกขาดของผ้าใบ**

- จากการตรวจทดสอบ ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่แตกต่างกันมาก แสดงว่ามีการ degrade ในบางบริเวณของวัสดุ (อาจเกิดจากการสะบัดตัวจนเกิด Stress Fatigue หรือ ถูกไฟลวก)

**ข้อสันนิษฐาน จุดเริ่มต้นการฉีกขาดของผ้าใบ** เกิดขึ้นที่ขอบรอยเชื่อมที่เป็น lap joint ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าบริเวณที่ติดกัน โดยเมื่อผ้าใบเกิดการสะบัดตัว บริเวณที่อยู่ติดกับส่วน overlap จะขยับตัวมากกว่า ทำให้เกิด Stress Fatigue สูง จนเป็นเหตุให้เกิดการฉีกขาดขึ้น

ผ้าใบที่ฉีกขาดปะทะกับรั้วเหล็กข้างบ่อ รั้วเหล็กที่แตกหักจากแรงปะทะของผ้าใบ

## สภาพดินกดทับผ้าใบบริเวณท้ายลมที่หลุดลอยขึ้นมา

ผ้าใบริมบ่อฉีกขาดยาวตลอดความกว้างของบ่อด้านท้ายลมขนานกับดินที่กดทับ โดยดินที่กลบทับมีการยกตัวยาวตลอดความกว้างบ่อ และด้านยาวท้ายลมฉีกขาดไปถึงจุดที่รอยเชื่อมริมตะเข็บผ้าใบขาด

# แหล่งจุดไฟ (Ignition Source)

- **บริเวณบ่อ อาจเกิดได้จาก**
  - ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต
    - ในขณะลมแรงพัดผ่านผ้าใบ อาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตที่ผ้าใบ เมื่อมีการแตกขาดของตะเข็บผ้าใบ และผ้าใบถูกกระแสลมพัดพาปะทะเสียดสีกับรั้วเหล็ก อาจมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากวัสดุต่างชนิดกัน
  - ประกายไฟจากการกระทบ
    - จากการแตกหักของรั้วเหล็ก หรือเมื่อรั้วเหล็กล้มกระแทกพื้นอย่างรุนแรง
  - ความร้อนจากฟ้าผ่า
  - ไฟไหม้วัชพืช
  - ระบบไฟฟ้าแสงสว่างรอบบ่อที่ไม่ใช่ Explosion Proof

  ต้องจัดให้บริเวณบ่อและพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ควบคุมแหล่งจุดไฟอย่างเข้มงวด กำหนดระยะห่างจากบ่อถึงแหล่งจุดไฟหรือจัดให้มีเครื่องกั้นแยก

# แหล่งจุดไฟ (Ignition Source)

- 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 แจ้งว่ามีการคำนวณความแข็งแรงของผ้าใบ 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

# ลักษณะผ้าใบ และแนวเชื่อมแบบตะเข็บคู่

# ผลการทดสอบผ้าใบที่ฉีกขาด

- ค่าแรงดึงของ HDPE มีความแตกต่างกันมาก
- FTear ต่ำสุด 82 N สูงถึง 396 N ส่วนใหญ่ประมาณ 300 N
- FPeak ต่ำสุด 296 N สูงสุด 648 N ส่วนใหญ่อยู่ประมาณ 500 N
- ค่าสูงสุด และต่ำสุด ต่างกันค่อนข้างมาก แสดงว่ามีการ degrade ในบางบริเวณของวัสดุ
- บริเวณที่ขาดอยู่ที่ขอบของรอยเชื่อมที่เป็น lap joint ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าบริเวณที่ติดกัน เมื่อเกิดการสะบัด บริเวณที่ติดกับส่วน overlap จะเกิดการขยับตัวมากกว่า ทำให้มีโอกาสเกิด fatigue ในบริเวณนี้ค่อนข้างมาก

# การป้องกันอุบัติเหตุไฟไหม้จากก๊าซชีวภาพ

## การป้องกันผ้าใบคลุมบ่อก๊าซขาด

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

## การป้องกันแหล่งจุดไฟรอบบ่อ

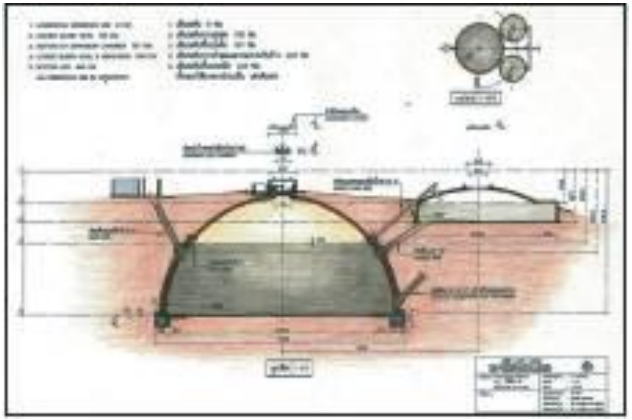
- ภายในรัศมี <20 m รอบบ่อเก็บก๊าซ ระบบไฟฟ้าทุกชนิดต้องเป็นแบบป้องกันการระเบิด (เช่น ไฟส่องสว่างแบบสปอร์ตไลต์ หลอดฟลูออเรสเซน ปลั๊กซ์ไฟ ตู้ควบคุมไฟฟ้า มอเตอร์สูบน้ำเสีย)
- ควบคุมไฟฟ้าสถิต โดยการต่อฝากและการต่อลงดินของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ

# แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ

- ควรออกแบบให้มีการเก็บก๊าซชีวภาพไม่เกิน 5,000 $m^3$
- การเลือกวัสดุสำหรับทำบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ มีดังนี้
  - วัสดุสำหรับเก็บก๊าซชีวภาพ
    - ในกรณีที่เป็นโครงสร้างแข็ง มักจะใช้ถังเหล็กที่มีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อน หรือคอนกรีต
    - สำหรับโครงสร้างอ่อน จะใช้ PVC , HDPE และ Geo-membrane และควรเสริมความแข็งแรง
- การคำนวณความแข็งแรงต้องคิดแรงกระทำจากแรงลมที่แรงที่สุด
- ความสูงของส่วนเก็บก๊าซชีวภาพ
  - หากมีความสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการต้านลมมาก ส่งผลทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุเก็บก๊าซชีวภาพขึ้นได้

# แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในระบบก๊าซชีวภาพ

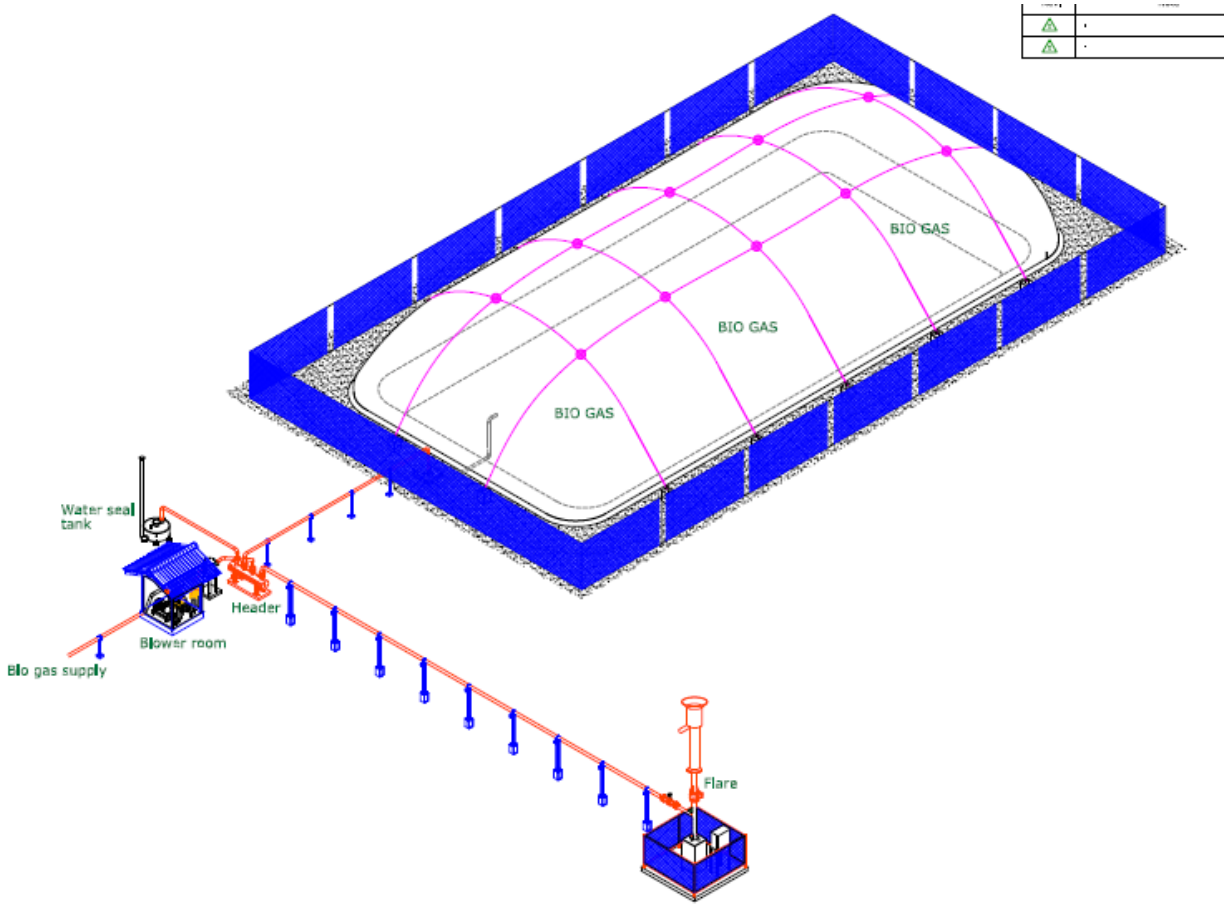
- แรงดันภายในบ่อเก็บก๊าซ
  - ในกรณีที่เป็นโครงสร้างที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปทรง ความดันก๊าซไม่ควรเกิน 60 mbar
  - ส่วนกรณีที่เป็นโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปทรง ความดันก๊าซไม่ควรเกิน 3 mbar



- ช่องว่างระหว่างผิวน้ำในบ่อหมักกับท่อดูดก๊าซ ต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร เพื่อป้องกัน Scum เข้าไปในท่อส่งก๊าซ

# Covered Lagoon ที่เสริมด้วยตาข่ายหรือ Stiffening

บ่อหมักช้าแบบราง


BIO GAS
BIO GAS
BIO GAS
Water seal tank
Header
Blower room
Blo gas supply
Flare

# 5.4 การเกิดอุบัติเหตุในขณะซ่อมบำรุง

## Case 6 การเสียชีวิตของสัตวแพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ฟาร์มหมู จ.ราชบุรี วันที่ 22 ส.ค. 2549

ตัวอย่างบ่อปูนรวมน้ำขี้หมูลึกประมาณ 5 เมตร และผู้เสียชีวิต 5 ศพ

Case 6

# การเสียชีวิตของสัตวแพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ฟาร์มหมู จ.ราชบุรี วันที่ 22 ส.ค. 2549

- สัตวแพทย์และคนงานซ่อมบ่อผลิตแก๊สชีวภาพ เสียชีวิต 5 ศพ ขณะลงไปซ่อมปั๊มดูดน้ำภายในบ่อปูนรวมน้ำขี้หมู ลึกประมาณ 5 เมตร

สาเหตุ

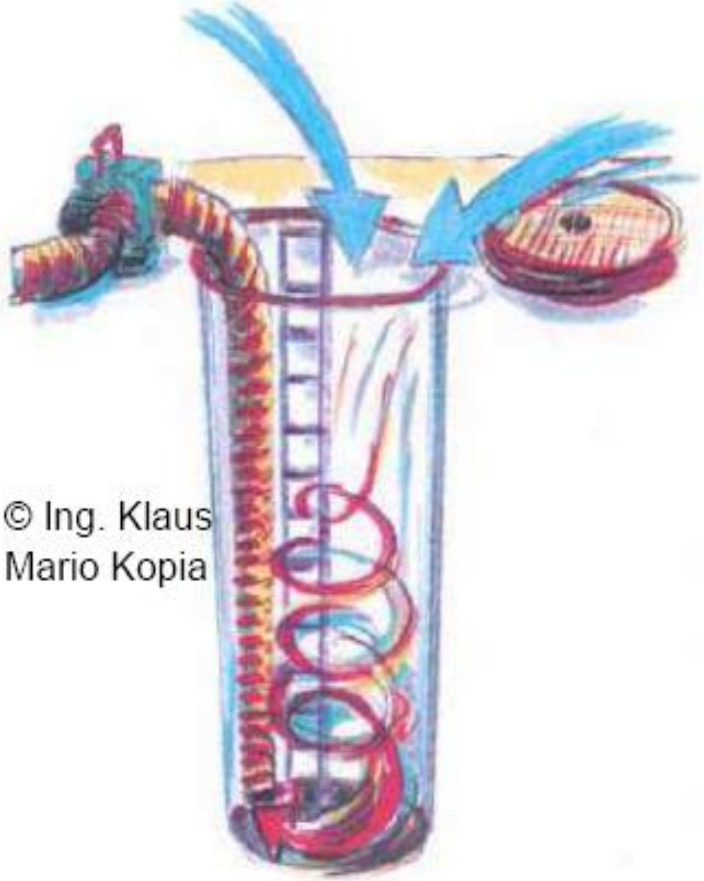
- บ่อรวมน้ำขี้หมูเป็นบ่อลึก เป็นสถานที่อับอากาศและมีความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ เช่น $CH_4$, $CO_2$, $NH_3$, $H_2S$ สูง ซึ่งเป็นก๊าซพิษ และมีปริมาณออกซิเจนต่ำ ผู้ลงไปปฏิบัติงานจึงได้รับอันตรายจากก๊าซพิษและขาดอากาศหายใจ จึงหมดสติและตาย
- ผู้เกี่ยวข้องทุกคนขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงานในสถานที่อับอากาศ

# การเข้าพื้นที่อันตรายหรือพื้นที่อับอากาศ

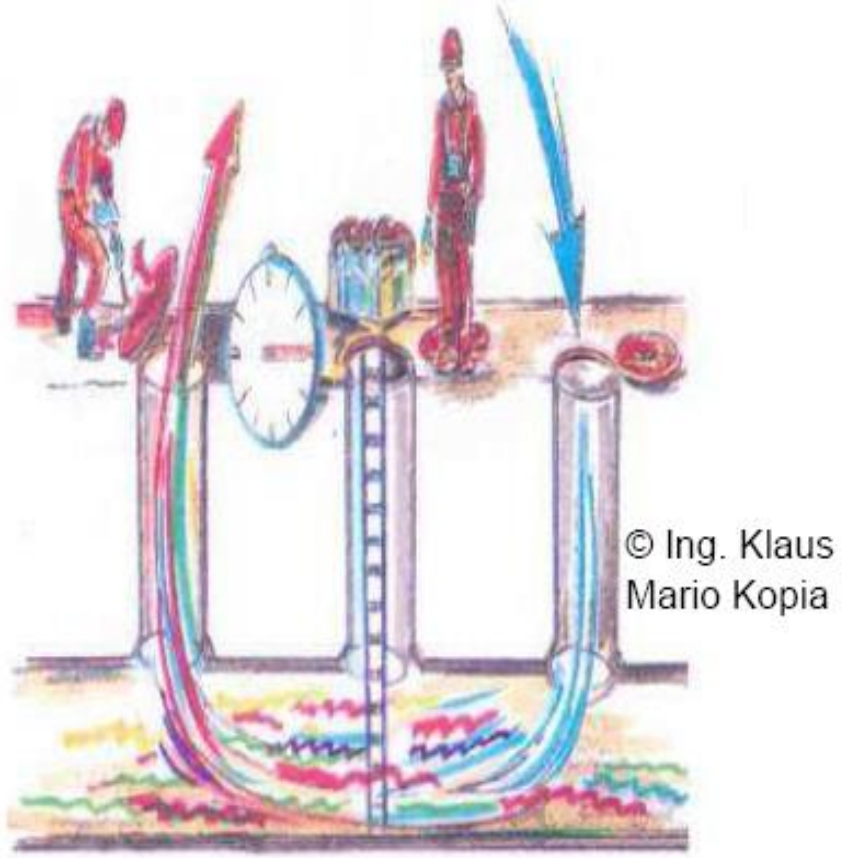
- ต้องมีการอนุญาตให้เข้าพื้นที่อันตราย หรือมีใบอนุญาตทำงาน (WORK PERMIT) ในพื้นที่อับอากาศ
- ต้องมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศก่อนเข้า
- ต้องมีการไล่ก๊าซ และการระบายอากาศตลอดเวลา
- ต้องมีการตรวจวัดก๊าซต่างๆขณะอยู่ในพื้นที่
- ต้องมีผู้ติดตามไปด้วยแบบถาวร
- ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสม

# การระบายอากาศ ก่อนเข้าพื้นที่อับอากาศ

**Measures when Entering e.g. and empty digester**
**Ventilation**

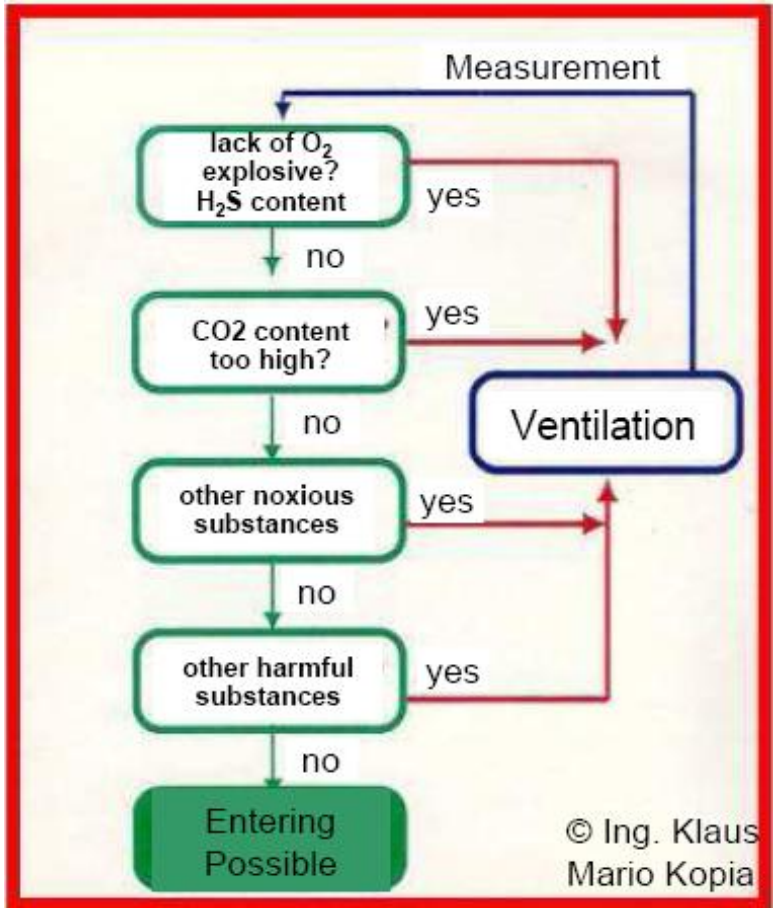



through extraction




through circulation ?

# การตรวจวัดก๊าซออกซิเจนและก๊าซพิษก่อนเข้าพื้นที่อับอากาศ




การเข้าพื้นที่อับอากาศ ออกซิเจนต้องเพียงพอ มีการระบายอากาศตลอดเวลาให้ปราศจากก๊าซพิษ สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และต้องปฏิบัติตามกฎอย่างเคร่งครัด

# ปัญหาการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

# Case 7 ปัญหาไซลอกเซน( Siloxane)ในก๊าซชีวภาพกับการชำรุดสึกหรอของเครื่องยนต์

Siloxane deposits on Jenbacher engine

# Case 8 $H_2S$ กับชำรุดของเครื่องยนต์ จากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

-Polymerization of oil - oil coke deposits

-$H_2S$ กับปัญหาการรวมตัวโมเลกุลเล็กของน้ำมันหล่อลื่นกลายเป็นโมเลกุลใหญ่ที่ข้นเหนียวหรือเสื่อมสภาพเป็นถ่านโค๊ก ทำให้เครื่องฝืดไม่มีกำลังและเกิดการสึกหรอของกระบอกสูบอย่างรุนแรง

Case 8

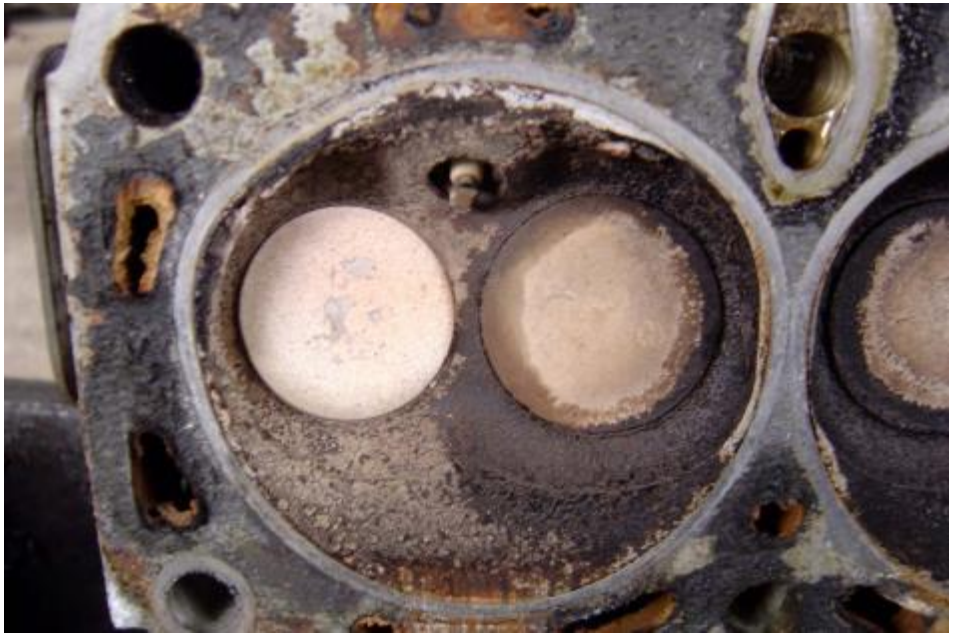
# $H_2S$ กับปัญหาการกัดกร่อนของแบริ่ง

## Corrosion by Sulphur

corrosion
conrod bearing, liner
$H_2S$ approx. 20.000 ppm
oil change interval
exceeded by > 100%

# Case 8 $H_2S$ ในก๊าซชีวภาพ กับปัญหาการกัดกร่อนของเครื่องยนต์

บริเวณห้องเผาไหม้



บริเวณลิ้นไอดี ไอเสีย

บริเวณหัวลูกสูบ

# สรุปปัญหาและสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหาย จากการผลิตและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- **ปัญหาความสกปรกจากก๊าซไข่เน่า $H_2S$ , ความชื้นหรือน้ำ $H_2O$ , โฟม คราบ (Scum) ไซลอกเซน (Siloxane) มากเกินไป**
  - **ปัญหาที่ท่อส่งก๊าซ** การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบส่งก๊าซเนื่องจากการแตกรั่วของข้อต่อรับการขยายตัวที่ท่อส่งก๊าซจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวลิค; การท่วมขังของน้ำ การเกิดเมือกและตะกอนสกปรกในท่อส่งก๊าซ
  - **ปัญหาที่ Burner** การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ในขณะจุดเตา การระเบิดของห้องเผาไหม้ในขณะเดิน High Fire และมีการดับของเปลวไฟ การจุดเตาไม่ติดหรือติดยาก (มีน้ำปนกับก๊าซ มีการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวลิคและการชำรุดอุดตันจากเมือก ตะกอน ความสกปรกต่างๆ ของอุปกรณ์ความปลอดภัยในชุดควบคุมก๊าซ เช่น Valve Proving System , Strainer , Double Solenoid Valve , Pressure Switch , Pressure Gauge , Pressure Regulator , Auto Drain Valve )
  - **ปัญหาเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ** สตาร์ทเครื่องติดยาก น้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพเร็วมาก เกิดตะกรันคราบสกปรกในห้องเผาไหม้ มีการชำรุดสึกหรอของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเร็วมาก เช่น ลูกสูบ แหวน กระบอกสูบ แบริ่ง

# สรุปปัญหาการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหาย จากการผลิตและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- **ปัญหาคุณภาพก๊าซไม่แน่นอน % คาร์บอนไดออกไซด์ $CO_2$ สูงเกินไป, % มีเทน ($CH_4$) ในก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป**
  - **สำหรับ Burner**
    - จุดเตายาก มีโอกาสระเบิดในห้องเผาไหม้สูงในขณะจุดเตา
    - เตาดับในขณะเดิน High Fire และเกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้หรือปล่องไอเสีย
    - ก๊าซเผาไหม้ได้ช้า การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ไอเสียร้อนจัด สูญเสียก๊าซที่ไม่เผาไหม้ออกปล่องมาก
    - มักเกิดความเสียหายจากการ Overheat ที่ฝาหน้า รอบห้องเผาไหม้ และผนังหลัง
    - ก๊าซที่ไม่ใช่มีเทนดูดความร้อนและพาไปทิ้งปล่อง สูญเสียความร้อนออกปล่องสูง เปลืองก๊าซมาก
  - สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
    - สตาร์ทเครื่องติดยาก เร่งเครื่องไม่ขึ้น เครื่องไม่มีแรง
    - การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ก๊าซมีการเผาไหม้ในขณะคายไอเสีย ไอเสียร้อนจัด สิ้นเปลืองก๊าซ
    - วาล์วไอเสียไหม้ อายุใช้งานสั้น แรงอัดในกระบอกสูบรั่วไหล

# สรุปปัญหาการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหาย จากการผลิตและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

**Table 9.3 Toxic effect of hydrogen sulphide (FNR 2006)**

| Concentration (in the air) | Effect |
|---|---|
| 0,03 – 0,15 ppm | Threshold of perception (smell of rotten eggs) |
| 15 – 75 ppm | Irritation of eyes and airways, sickness, vomiting, headaches, absence |
| 150 – 300 ppm (0,015 – 0,03 %) | Paralysis of olfactory nerves |
| > 375 ppm (0,038 %) | Death through poisoning (after several hours) |
| > 750 ppm (0,075 %) | Absence and death through respiratory arrest within 30 to 60 minutes |
| from 1000 ppm (0,1 %) | Fast death through respiratory paralysis within a few minutes |

# สรุปสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุจากการผลิตและการใช้ก๊าซชีวภาพ

- **1. ความบกพร่องด้านวิศวกรรม**

1) ก๊าซชีวภาพมีสิ่งสกปรกหรือมีการปนเปื้อนจาก H2S , CO2 ไอน้ำ คราบ และอื่นๆ

2) การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปริมาณก๊าซชีวภาพ

3) การออกแบบและการติดตั้งระบบดังกล่าวที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

- **2. ความผิดพลาดของบุคลากร (Human Error)**

1) วิศวกรหรือบริษัทที่ปรึกษาขาดองค์ความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัย

2) ผู้ควบคุมการใช้งานขาดความรู้ความเข้าใจในการควบคุมการใช้งาน

3) เจ้าหน้าที่ด้านการส่งเสริมพลังงาน ด้านควบคุมกำกับดูแลโรงงานขาดความรู้

- **3 ความบกพร่องด้านการบริหารจัดการ**

1) ผู้ประกอบกิจการบางราย เน้นการลงทุนที่ต่ำที่สุด

2) ผู้ประกอบกิจการไม่มีกฎระเบียบด้านความปลอดภัย

3) ระบบการบริหารทรัพยากรบุคคลไม่มีประสิทธิภาพ