หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การผลิตไฟฟ้าจากระบบจัดการน้ำเสีย

ในบทนี้จะกล่าวถึงนิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย ที่มาของน้ำเสีย การเปลี่ยนน้ำเสียเป็นตะกอนน้ำเสีย การหมักตะกอนน้ำเสีย และผลผลิตหลักจากการหมักตะกอนน้ำเสีย คือ ก๊าซหมักซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า และความร้อน รวมถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก ในตอนสุดท้ายของบทจะกล่าวถึงตัวอย่างโครงการผลิตไฟฟ้าจากระบบจัดการน้ำเสียในต่างประเทศเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบ

2.1 นิยามและคำจำกัดความ

ของเสีย หมายถึง ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสาร หรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งกาก ตะกอน หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่อยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ [1]

น้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น[1]

ระบบตะกอนเร่ง(Activated Sludge Systems) หมายถึง วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน(Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชน น้ำเสียการเกษตร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ(Aeration Tank) และถังตกตะกอน(Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ เพื่อให้แบคทีเรียแบบใช้ออกซิเจนในน้ำเสียเจริญเติบโต และย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอน เพื่อให้ตะกอนแยกตัวออกจากน้ำใส และตกตะกอนลงสู่ก้นถังตกตะกอน ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่ เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ และตะกอนอีกส่วนหนึ่งจะเป็นตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ [1]

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจน(Anaerobic Digestion) หมายถึง การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจนเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นอินทรียวัตถุที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น ปราศจากเชื้อโรคและ

เมล็ดวัชพืช ผลจากกระบวนการย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซชนิดหนึ่ง เรียกว่า ก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้[2]

ก๊าซชีวภาพ(Biogas) หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจน ประกอบด้วยก๊าซผสมหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ เป็นต้น [3]

ก๊าซหมัก(Digester gas) หมายถึง ก๊าซชีวภาพชนิดหนึ่งที่เกิดจากการหมักสารอินทรีย์จากของเสีย โดยเกิดกระบวนการย่อยสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจนภายในถังหมัก (Digester)

2.2 ที่มาของน้ำเสีย

แหล่งที่มาของน้ำเสียที่ต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อลดปัญหามลภาวะทางน้ำ ได้แก่ แหล่งที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source) ได้แก่ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (Non-Point Source) ได้แก่ การเกษตร สามารถอธิบายได้ดังนี้[1]

- น้ำเสียชุมชน ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อาศัยอยู่รวมกันเป็นชุมชน เป็นย่านที่อยู่อาศัย และย่านการค้าขาย ในอาณาบริเวณดังกล่าวนี้ ย่อมจะมีน้ำทิ้งจากการอุปโภคและบริโภค เช่น น้ำจากการซักล้างและการทำครัว น้ำจากส้วมที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพตามมาตรฐาน และอยู่ไม่ไกลจากแม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งเช่นนี้จะทำให้เกิดน้ำเน่าเสียได้
- น้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงการทำความสะอาดโรงงาน รวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม องค์ประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง ประเภท และขนาดของโรงงาน
- น้ำเสียเกษตรกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากการเพาะปลูกจะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูง ส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

2.3 การเปลี่ยนน้ำเสียเป็นตะกอนน้ำเสีย

เป็นการดำเนินการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมพอที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรับน้ำเสียนั้นๆ ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสีย มีวิธีการบำบัดน้ำเสียซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ [1]

2.3.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Pretreatment)

เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ และไม่ละลายน้ำออกเสียก่อนที่น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุดตันท่อน้ำเสีย และเพื่อไม่ทำความเสียหายให้แก่เครื่องสูบน้ำและเครื่องจักรส่วนต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย การบำบัดในขั้นนี้ ได้แก่

- การดักด้วยตะแกรง เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่โดยใช้ตะแกรง ได้แก่ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด
- การบดตัด เป็นการลดขนาดหรือปริมาตรของแข็งให้เล็กลง เช่น สิ่งสกปรกที่ลอยมากับน้ำเสีย โดยใช้เครื่องบดตัดให้ละเอียด
- การดักกรวดทราย เป็นการกำจัดกรวดทราย ที่ปะปนมากับน้ำเสียโดยทำให้ตกตะกอนในรางดักกรวดทราย
- การกำจัดไขมันและน้ำมัน น้ำเสียที่มาจากครัว โรงอาหาร ห้องน้ำ ปั๊มน้ำมัน และโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดซึ่งมักจะมีไขมันและน้ำมันปะปนมากับน้ำเสีย สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้โดยการกักน้ำเสียไว้ในบ่อดักไขมันในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้น้ำมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วใช้เครื่องตักหรือกวาดออกจากบ่อ

2.3.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยขบวนการทางชีววิทยา อาศัยการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลาย และทำลายความสกปรกในน้ำเสีย โดยนำน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเข้าไปสู่ถังเติมอากาศเพื่อเติมอากาศให้กับน้ำเสีย จากนั้นแบคทีเรียจะย่อยสลายและกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งปะปนอยู่ในน้ำเสียออก กลายเป็นตะกอนน้ำเสีย จากนั้นน้ำเสียจะถูกสูบต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนตกลงไปที่ก้นถัง ตะกอนในส่วนนี้จะถูกนำไปกำจัดโดยนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือนำไปหมักให้เกิดก๊าซหมักต่อไป น้ำใสส่วนบนของถังตกตะกอนสามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ แต่ถ้าต้องการความสะอาดเหมาะแก่การนำกลับมาใช้ใหม่ควรเข้าสู่การบำบัดขั้นที่สามต่อไป

2.3.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม (Tertiary Treatment)

เป็นขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายที่ต้องการทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์สะอาดสามารถนำกลับมาใช้อุปโภค และบริโภคได้ การบำบัดขั้นนี้เป็นขบวนการเคมีรวมกับฟิสิกส์-เคมี โดยนำน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง มาตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีแยกสารประกอบฟอสเฟตออกด้วยปูนขาว จากนั้นจึงนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วยขบวนทาง ฟิสิกส์–เคมี เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้ว จะได้น้ำสะอาด

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการเปลี่ยนน้ำเสียเป็นตะกอนน้ำเสีย จะเห็นว่า จากการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ขั้นตอน ผลที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย คือ น้ำสะอาดและตะกอนน้ำเสีย น้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ ส่วนตะกอนน้ำเสียสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินในเกษตรกรรม หรือ นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักได้

ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการนำตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียไปใช้ในการหมัก เพื่อทำให้เกิดก๊าซหมัก และนำก๊าซหมักไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และความร้อนต่อไป

2.4 การหมักตะกอนน้ำเสีย

ตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมัก โดยใช้หลักการของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อย่อยสลายตะกอนน้ำเสียภายในถังหมักด้วยปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่ซับซ้อน มีหลายขั้นตอนเกิดขึ้นภายในถังหมัก โดยในแต่ละขั้นตอนอาศัยการทำงานของแบคทีเรียต่างชนิดกัน 3 กลุ่มคือ Fermentative bacteria Acetogenic bacteria และ Methanogen ในที่นี้จะกล่าวโดยสรุปเพียงสั้นๆ รายละเอียดเพิ่มเติมผู้อ่านสามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิง[4] ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาภายในถังหมัก มีดังนี้

1. กระบวนการไฮโดรไลซิส(Hydrolysis) แบคทีเรียที่ผลิตกรดจะปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อละลายสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์บอนไฮเดรต โปรตีน เป็นต้น ให้เป็นสารประกอบที่ไม่ซับซ้อนละลายน้ำได้ และมีขนาดโมเลกุลเล็กลงสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยง่าย เช่น น้ำตาลกลูโคช กรดอะมิโน เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียต่อไป

2. กระบวนการสร้างกรด(Acidogenesis) แบคทีเรียพวกสร้างกรด จะใช้สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ได้จากขั้นที่ 1 เป็นอาหารแล้วเปลี่ยนให้เป็น CO_2 , H_2 และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Acid) เช่น กรดอาซีติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก และกรดฟอร์มิก เป็นต้น

3. กระบวนการอะเซโตเจเนซิส(Acetogenesis) แบคทีเรียพวกอะเซโตเจน จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจากขั้นที่ 2 ให้เป็นอาเซเตด , ฟอร์เมท , H_2 และ CO_2 ซึ่งจะเป็นอาหารของแบคทีเรียขั้นต่อไป

4. กระบวนการสร้างมีเทน(Methanogensis) แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน จะใช้อาหารที่ได้จากขั้นที่ 3 เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน(CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และน้ำ หากแบคทีเรียชนิดนี้มีปริมาณมากเพียงพอและทำงานดี จะได้ก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20-30 และก๊าซอื่นๆ เล็กน้อย เช่น H_2 และ N_2 เป็นต้น แต่หากแบคทีเรียชนิดนี้มีจำนวนน้อยจนไม่สามารถย่อยสลายอาหารได้ทันก็จะเกิดการสะสมตัวของกรดภายในระบบมากขึ้นๆ จนกระทั่งการหมักตะกอนน้ำเสียล้มเหลว

จากขั้นตอนการหมักตะกอนน้ำเสียที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าในแต่ละกระบวนการค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน โดยกลุ่มของแบคทีเรียทำงานในแต่ละกระบวนการแตกต่างกัน ดังนั้นในการเดินระบบหมักตะกอนน้ำเสียควรมีความระมัดระวัง โดยจะต้องควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียให้เหมาะสม หากระบบหมักตะกอนเกิดความเสียหายจะต้องใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงตัวใหม่ได้

2.5 ประโยชน์ของการหมักตะกอนน้ำเสีย

ผลจากกระบวนการย่อยสลายตะกอนน้ำเสียโดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซหมักซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนประกอบสำคัญในก๊าซหมักคือ ก๊าซมีเทน โดยทั่วไปก๊าซหมักมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 เทียบกับอากาศ[5] ก๊าซหมัก 1 ลูกบาศก์เมตร (ที่มีปริมาณก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 60-70 ของปริมาตร) มีค่าพลังงานเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง [6] และมีค่าความร้อนประมาณ 10 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุต-ร้อยละของมีเทน[7] หรือประมาณ 22 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร[8]

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานลม ก๊าซหมักสามารถกักเก็บไว้ได้ อย่างไรก็ตามก๊าซหมักไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยตรงต้องผ่านการกำจัดสารเจือปนและความชื้นเสียก่อน ก๊าซหมักที่ผ่านการกำจัดสารเจือปนแล้วสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซธรรมชาติ หรือโพรเพนได้ เช่น ใช้กับยานพาหนะในการขนส่ง หรือนำมาใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วม เช่น กังหันแก๊ส(Gas Turbine) กังหันแก๊สขนาดเล็ก(Microturbine) เครื่องยนต์สันดาปภายใน(Internal Combustion Engine) และเซลล์เชื้อเพลิง(Fuel Cell) เพื่อผลิตไฟฟ้า และความร้อนใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น ให้ความร้อนกับถังหมักเพื่อลดระยะเวลาการหมัก[8] หรือใช้กับบริเวณใกล้เคียงได้ พลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตสามารถนำไปจำหน่าย ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานได้

ส่วนที่เหลือจากการหมักตะกอนน้ำเสีย เป็นตะกอนที่มีสารอาหารสูงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในเกษตรกรรม เป็นสารปรับปรุงดินหรือทำปุ๋ย ทั้งยังช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่นของแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศบริเวณใกล้เคียง[9] และช่วยลดน้ำหนักและพื้นที่ในการกำจัดตะกอนน้ำเสียต่อไปอีกด้วย

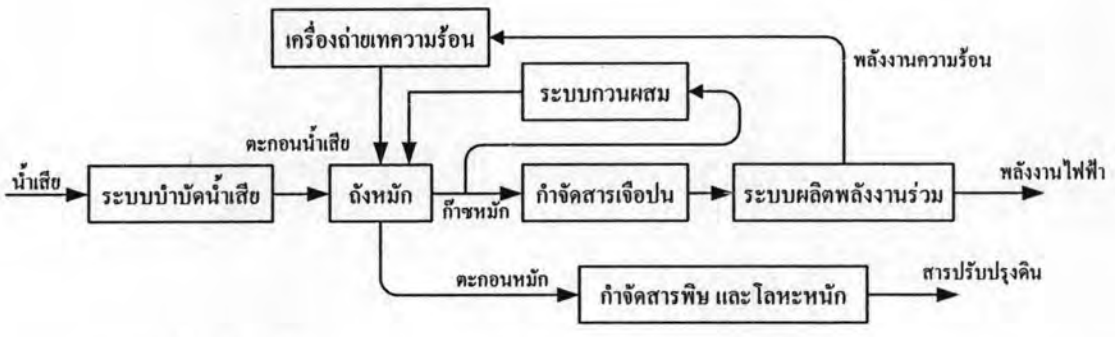
2.6 การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก

ก๊าซหมักสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม(Combined Heat and Power : CHP) โดยใช้เทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก ได้แก่ กังหันแก๊ส กังหันแก๊สขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง ปัจจุบันหลายๆ ประเทศได้นำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก และระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวข้างต้น

2.6.1 องค์ประกอบของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก

ตะกอนน้ำเสียที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักนั้น ได้มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อการเปลี่ยนน้ำเสียเป็นตะกอนน้ำเสีย โดยนำน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม น้ำเสียเกษตรกรรม มาผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ได้ตะกอนน้ำเสียนำไปป้อนให้กับถังหมัก ซึ่งภายในถังหมักเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้ออกซิเจน ผลพลอยได้จากการหมักคือ ก๊าซหมักซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

โดยทั่วไปก๊าซหมักที่เกิดขึ้นภายในถังหมักสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกนำไปใช้ในการกวนผสมเพื่อเร่งปฏิกิริยาการหมัก ทำให้เกิดก๊าซหมักมากขึ้น และส่วนที่สองเป็นก๊าซหมักที่ปลดปล่อยออกจากถังหมักนำไปผ่านการกำจัดสารเจือปน เนื่องจากหากนำก๊าซหมักไปใช้งานโดยตรง น้ำและสารเจือปนที่มีในก๊าซหมักจะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนอุปกรณ์ภายในของเครื่องจักรที่ใช้ก๊าซหมักเป็นเชื้อเพลิง เสียหาย และอายุการใช้งานสั้นลง ก๊าซหมักที่ผ่านการกำจัดสารเจือปนสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า และความร้อนโดยใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) ความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซเสียของระบบผลิตพลังงานร่วมนำไปผลิตพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่องถ่ายเทความร้อน(Heat Exchanger) ให้ความร้อนกับถังหมักเพื่อทำให้กระบวนการย่อยสลายมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ส่วนตะกอนจากการหมักนำไปตากแห้ง กำจัดสารพิษ และโลหะหนักนำไปใช้ในการเกษตรกรรมได้ องค์ประกอบโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมจากก๊าซหมัก แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมจากก๊าซหมัก

2.6.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงานร่วม(Combined Heat and Power : CHP) หรือเรียกอีกชื่อว่า Cogeneration หมายถึง การผลิตพลังงานซึ่งใช้ประโยชน์ได้ในหลายรูปแบบเป็นลำดับ(Sequential) หรือพร้อมๆ กัน(Simultaneous)[10] โดยอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก(Distributed Generation : DG) ติดตั้ง และผลิตกระแสไฟฟ้า จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง พร้อมทั้งพลังงานความร้อน เพื่อนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ การผลิตไฟฟ้าในลักษณะเช่นนี้ จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

โดยทั่วไประบบผลิตพลังงานร่วม ประกอบด้วย เครื่องต้นกำลัง(Prime Mover) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator) เครื่องนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์(Heat Recovery) และการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเข้ากับระบบจ่ายไฟฟ้าหลัก เครื่องต้นกำลังที่สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน ได้แก่ กังหันแก๊ส กังหันแก๊สขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ระบบผลิตพลังงานร่วมมีส่วนที่ดีทั้งในด้านประสิทธิภาพของการใช้พลังงานปฐมภูมิ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้สูงกว่าระบบผลิตพลังงานความร้อน หรือพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว(Separate heat and power : SHP) ปัจจุบันระบบผลิตพลังงานร่วม มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน เช่น น้ำร้อน ไอน้ำความดันต่ำ หรือ อากาศร้อน ใช้ในการอบแห้ง น้ำเย็นใช้ในระบบทำความเย็น ส่วนไอน้ำความดันสูงนำไปใช้ขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกต่อหนึ่ง ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงขึ้น นอกจากนี้ระบบผลิตพลังงานร่วมยังสามารถติดตั้งอยู่ใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้า จึงช่วยลดการซื้อไฟฟ้าจากส่วนกลาง ทั้งยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อีกด้วย

สมการที่ 2.1-2.4 แสดงดัชนีชี้วัดสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานร่วม

$$\text{ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าขาออกของระบบผลิตพลังงานร่วม}}{\text{พลังงานจากเชื้อเพลิงขาเข้าของระบบฯ} - \frac{\text{พลังงานความร้อนจากระบบฯ}}{0.8}} \tag{2.1}$$

$$\text{อัตราความร้อนสุทธิ} = \frac{\text{พลังงานจากเชื้อเพลิงขาเข้าของระบบผลิตพลังงานร่วม} - \text{พลังงานจากเชื้อเพลิงที่ใช้ให้ความร้อนออกเท่ากับความร้อนที่ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ประสิทธิภาพ80\%}}{\text{พลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบผลิตพลังงานร่วม(kWh)}} \tag{2.2}$$

$$\text{ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} + \text{พลังงานความร้อนที่ผลิตได้}}{\text{พลังงานจากเชื้อเพลิงขาเข้าของระบบ}} \tag{2.3}$$

$$\text{อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าขาออกของระบบผลิตพลังงานร่วม}(Btu.)}{\text{พลังงานความร้อนขาออกที่นำไปใช้ประโยชน์}\,(Btu.)} \qquad (2.4)$$

2.7 เทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้ก๊าซหมัก

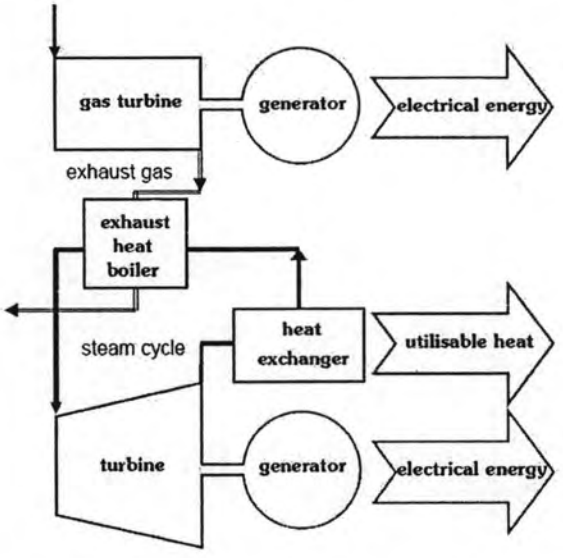
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประเภท และคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ก๊าซหมักเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และความร้อน ระบบผลิตพลังงานร่วมที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่ กังหันแก๊ส กังหันแก๊สขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับ และมีใช้งานอยู่ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ

2.7.1 กังหันแก๊ส

กังหันแก๊สเกิดขึ้นในปี ค.ศ.1900 เริ่มใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปี ค.ศ.1930 มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องแพร่หลายทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา และในหลายประเทศ [10]

ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ เช่น ก๊าซธรรมชาติ(Natural gas) ก๊าซสังเคราะห์(Synthetic gas) ก๊าซขยะ และน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ก่อนนำเชื้อเพลิงมาใช้กับกังหันแก๊สจะต้องผ่านการกำจัดสารเจือปนเช่น เถ้าอัลคาไลน์ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และ ซัลเฟอร์ เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ภายในของกังหันแก๊ส[10]

การทำงานของกังหันแก๊สประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์(Compressor) ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) และกังหันแก๊ส(Turbine) โดยใช้หลักการของวัฏจักรเบย์ตัน(Brayton Cycle) อากาศโดยรอบจะถูกดูดและอัดความดันผ่านคอมเพรสเซอร์ จากนั้นถูกป้อนเข้าไปยังห้องเผาไหม้ เพื่อเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ในกรณีที่ใช้ก๊าซหมักเป็นเชื้อเพลิง ต้องผ่านการอัดความดันสูงผ่านเครื่องอัดก๊าซ(Gas Compressor)[11] ก๊าซร้อนจากห้องเผาไหม้ผ่านไปยังกังหันแก๊ส เกิดการขยายตัวภายในกังหันแก๊ส ขับแกนของกังหันแก๊สที่ต่ออยู่กับคอมเพรสเซอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นก๊าซร้อนจะถูกปล่อยออกจากกังหันแก๊สที่อุณหภูมิประมาณ 400-600 C° นำมาผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำ(Heat Recovery Steam Generator : HRSG) หรือเครื่องถ่ายเทความร้อนทั่วไป ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 ชนิดนี้ นำมาใช้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ยังคงมีเหลืออยู่ในก๊าซร้อนกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไอน้ำความดันสูง และไอน้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อน ตามลำดับ ไอน้ำความดันสูงสามารถนำมาใช้ขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ส่วนไอน้ำความดันต่ำหรือน้ำร้อน และไอน้ำส่วนที่เหลือจากกังหันไอน้ำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง หรือกระบวนการอุตสาหกรรมต่อไปได้ ทั้งนี้การผลิตไอน้ำความดันสูง ไอน้ำความดันต่ำหรือน้ำร้อนขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ปล่อยออกจากกังหันแก๊ส องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สแสดงดังรูปที่ 2.2

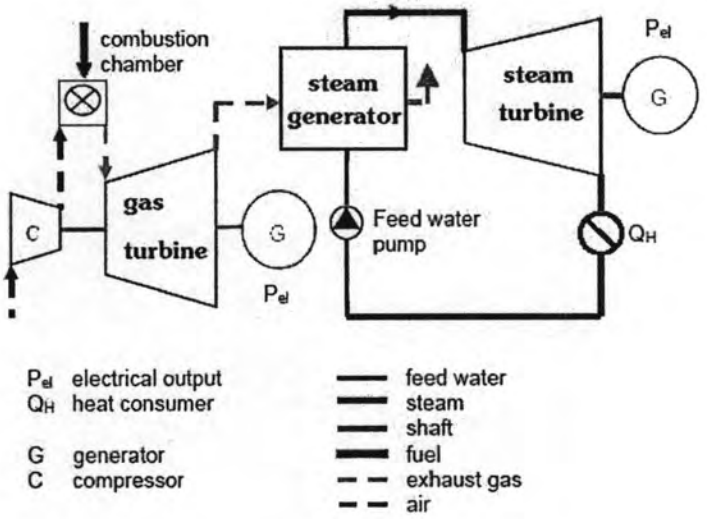


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊ส[12]

ระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก ดังนี้

2.7.1.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยกังหันแก๊สและเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำความดันสูง

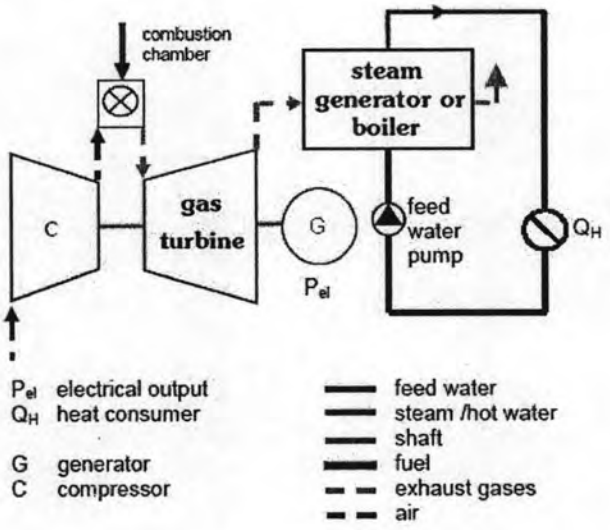
ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดนี้ ได้รวมการทำงานของกังหันแก๊สและกังหันไอน้ำเข้าด้วยกันสามารถนำพลังงานความร้อนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้ถึงประมาณร้อยละ 50 [11] มีหลักการทำงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยก๊าซร้อนจากกังหันแก๊สผ่านไปยังเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำ(HRSG) เพื่อผลิตไอน้ำความดันสูงส่งต่อไปยังกังหันไอน้ำ ไอน้ำความดันสูงเกิดการขยายตัวภายในกังหันไอน้ำขับแกนกังหันไอน้ำซึ่งต่อกับแกนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกชุดหนึ่งผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ไอน้ำส่วนที่เหลือจากกังหันไอน้ำนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ วัฏจักรการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วัฏจักรการทำงานระบบผลิตพลังงานร่วมโดยกังหันแก๊สและเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำความดันสูง[12]

2.7.1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยกังหันแก๊สและเครื่องถ่ายเทความร้อน

มีหลักการทำงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดนี้นำก๊าซร้อนจากกังหันแก๊สแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องถ่ายเทความร้อน เพื่อผลิตไอน้ำความดันต่ำหรือน้ำร้อน วัฏจักรการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วัฏจักรการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยกังหันแก๊สและเครื่องถ่ายเทความร้อน [12]

คุณลักษณะการทำงานของกังหันแก๊ส โดยทั่วไปมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 500 กิโลวัตต์-250 เมกกะวัตต์[10] ทั้งนี้กังหันแก๊สเหมาะที่จะใช้ในการผลิตพลังงานร่วม เพราะพลังงานความร้อน

ที่มีอยู่ในก๊าซที่ถูกปล่อยออกจากห้องเผาไหม้ยังคงมีอุณหภูมิสูงสามารถนำมาใช้ผลิตไอน้ำความดันสูง หรือนำไปใช้ให้ความร้อนในการอบแห้งหรือกระบวนการอุตสาหกรรมโดยตรงได้

ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดตั้งแต่ 1 เมกกะวัตต์-40 เมกกะวัตต์ แสดงดังตารางที่ 2.1 รายละเอียดเพิ่มเติมผู้อ่านสามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิง[10] และหากนำระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สไปใช้กับก๊าซชีวภาพจะมีคุณลักษณะการทำงานเป็นดังตารางที่ 2.2 [13]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊ส

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	1,000-40,000
อัตราความร้อนเชิงไฟฟ้า(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	9,220-15,580
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	21.9-37
ความดันของเชื้อเพลิง(ปอนด์/ตารางนิ้ว)	95-435
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม(ร้อยละ)	68-74
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน	0.48-1
อัตราการใช้ความร้อน(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	4,944-6,673
ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	51-69
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	31,400-71,200
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.168-0.384
ความพร้อมใช้งาน(ร้อยละ)	> 95
ชั่วโมงซ่อมบำรุงทุกๆ (ชั่วโมงใช้งาน)	25,000-50,000

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สเมื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	0.5-30,000
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	21-40
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	16,000-36,000
ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุง(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.16-0.4
การปลดปล่อยมลพิษ(mg/bhp-hr)	NO_x : < 9-50
	CO : < 15-50

เงินลงทุนที่แสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ประกอบด้วย ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วม รวมกับค่าดำเนินการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายระหว่างการก่อสร้าง ส่วนความพร้อมใช้งานของกังหันแก๊สนั้น ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้

ในประเทศสหรัฐอเมริกามีกำลังการผลิตของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สประมาณ 40,000 เมกกะวัตต์ จำนวน 2,000 แห่ง ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและสถานศึกษา[10] พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือขายให้กับการไฟฟ้าได้ การประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมในอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น โรงงานเคมีผลิตไฟฟ้าขนาด 25 เมกกะวัตต์ จ่ายเป็นกำลังไฟฟ้าฐานให้กับโรงงาน ร่วมกับพลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำจากก๊าซร้อนจากกังหันแก๊สผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำ 29 เมกกะวัตต์ หรือในสถานศึกษาผลิตไฟฟ้าขนาด 5 เมกกะวัตต์ ร่วมกับพลังงานความร้อนผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน ในรูปไอน้ำหรือน้ำร้อน 8 เมกกะวัตต์ ที่ความดัน 150-400 ปอนด์/ตารางนิ้ว ส่งผ่านวงจรความร้อน(Thermal loop) ภายใน เป็นต้น

ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊ส มีดังนี้

- มีความเชื่อถือได้สูง
- ปลดปล่อยก๊าซพิษออกสู่บรรยากาศน้อย
- ความร้อนที่ได้มีคุณภาพสูง และไม่จำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อน

ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊ส มีดังนี้

- เชื้อเพลิงต้องมีความดันสูงหรือมีระบบอัดความดัน
- ประสิทธิภาพต่ำที่โหลดต่ำ กำลังไฟฟ้าออกมีค่าตกลงเมื่ออุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้น
- เงินลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วมมีราคาสูง

2.7.2 กังหันแก๊สขนาดเล็ก

กังหันแก๊สขนาดเล็ก(Microturbine) พัฒนามาจากกังหันแก๊สชนิดตัวอัดบรรจุอากาศเทอร์โบ(Turbocharger Turbine) ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมผลิตรถบรรทุกและเครื่องบิน นำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซเพื่อใช้ขับแกนของกังหันแก๊สซึ่งต่ออยู่กับแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็วสูง โดยทั่วไปมีหลักการทำงานคล้ายกับกังหันแก๊สขนาดใหญ่ ดังได้กล่าวมาแล้ว

กังหันแก๊สขนาดเล็กถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก แต่สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดเช่น ก๊าซแอลพีจี(Liquefied Petroleum Gas: LPG) ก๊าซเปรี้ยว(Sour Gas) ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือปน มีสารซัลเฟอร์มากและค่าความร้อนต่ำ ก๊าซเสียอุตสาหกรรม(Industrial Waste Gas) ก๊าซสังเคราะห์จากกระบวนการ

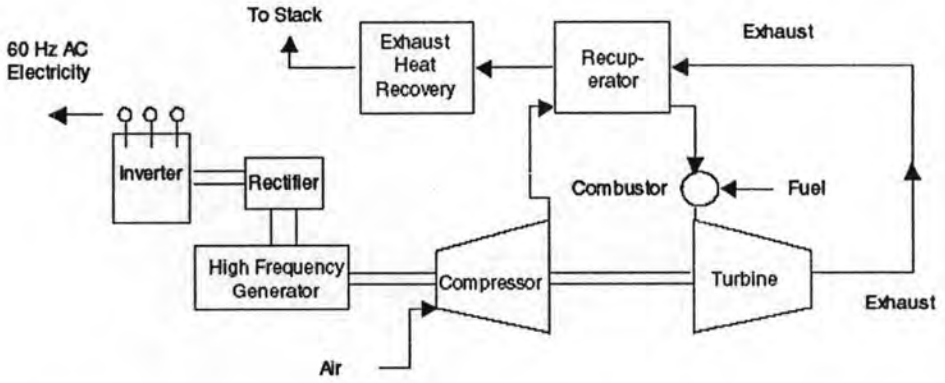
Gasification หรือ Pyrolysis แก๊สโซลีน(Gasoline) และน้ำมันดีเซล(Diesel Fuel) รวมถึงก๊าซชีวภาพด้วย

การทำงานของกังหันแก๊สขนาดเล็ก ใช้หลักการของวัฏจักรเบรตัน โดยอากาศที่ความดันบรรยากาศถูกอัดความดันด้วยแรงเหวี่ยงผ่านเครื่องอัดความดันชนิดใบพัด(Radial Flow Compressor) หรืออาจจะใช้เป็นเครื่องอัดอากาศชนิดเทอร์โบ(Turbo-Compressor) จากนั้นให้ความร้อนโดยเครื่องถ่ายเทความร้อนจากพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซร้อนจากกังหันแก๊สกับอากาศร้อนจากเครื่องถ่ายเทความร้อนผสมกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 600 C^{o}[12] เกิดการขยายตัวภายในกังหันแก๊สขับแกนของกังหันแก๊ส แกนคอมเพรสเซอร์ และแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อกันเป็นแกนเดียว

กังหันแก๊สขนาดเล็กแบบแกนเดียว มีความเร็วรอบประมาณ 60,000 รอบต่อนาที ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงหลายความถี่ พลังงานไฟฟ้าส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านชุดเรียงกระแส จากนั้นเปลี่ยนกลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 หรือ 60 รอบต่อวินาที โดยอินเวอร์เตอร์[10]

ความร้อนจากก๊าซร้อนที่ปล่อยออกจากกังหันแก๊สนำมาใช้ผลิตไอน้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อนนำไปใช้อบแห้ง ระบบทำความเย็นในโรงพยาบาล กิจการซักรีด หรือใช้ในอาคารสูง เป็นต้น

องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก[10]

กังหันแก๊สขนาดเล็ก สามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า หรือติดตั้งแยกอิสระได้ โดยมีระบบควบคุมและระบบป้องกันที่สามารถตรวจสอบ และสั่งการได้จากระยะไกล โดยทั่วไปกังหันแก๊สขนาดเล็กมีขนาด 30-350 กิโลวัตต์ ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็กเป็นดังตารางที่ 2.3 รายละเอียดเพิ่มเติมผู้อ่านสามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิง[10] และหากนำระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก ไปใช้กับก๊าซชีวภาพจะมีคุณลักษณะการทำงานเป็นดังตารางที่ 2.4 [13]

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	30-350
อัตราความร้อนเชิงไฟฟ้า(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	11,766-14,581
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	23.4-29
ความดันของเชื้อเพลิง(ปอนด์/ตารางนิ้ว)	55-135
ความร้อนขาออก(กิโลวัตต์)	64-582
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม(ร้อยละ)	64-77
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน	0.47-0.65
อัตราการใช้ความร้อน(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	4,668-6,952
ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	49-73
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	53,560-100,640
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.4
ความพร้อมใช้งาน(ร้อยละ)	98-99
ชั่วโมงซ่อมบำรุงทุกๆ(ชั่วโมงใช้งาน)	20,000-40,000

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก เมื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	30-400
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	14-30
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	48,000-68,000
ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุง(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.32-0.6
การปลดปล่อยมลพิษ(mg/bhp-hr)	NO_x : 9-50
	CO : 9-50

กังหันแก๊สขนาดเล็กที่มีเครื่องถ่ายเทความร้อนเหมาะสำหรับจ่ายโหลดปานกลาง (Intermediate Duty) หรือ ช่วงที่ราคาขายไฟฟ้าสูงๆ(Price Sensitive Baseload Service) แต่หากไม่มีเครื่องถ่ายเทความร้อนเหมาะกับภาวะฉุกเฉิน สำรอง หรือใช้จ่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้(Peaking Power Operation)

ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก มีดังนี้

- มีความเชื่อถือได้สูง
- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และติดตั้งได้ง่าย ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย
- เหมาะสำหรับใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า สามารถกระทำ และเปลี่ยนแปลงได้ง่าย
- ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง หรือเชื่อมต่อเป็นระบบไฟฟ้าอิสระขนาดเล็ก (Microgrid) ได้
- มีชิ้นส่วนทางกลที่เคลื่อนที่ได้น้อย จึงเกิดความเสียหายยาก
- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง 8,000 ชั่วโมง
- สามารถปรับแต่งค่าของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนขาออกได้ตามต้องการ
- ทำงานเงียบ และไม่มีสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ
- การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และการตรวจซ่อมทั่วไปไม่บ่อยมากนัก
- สามารถควบคุม และสั่งการจากระยะไกลได้
- เครื่องยนต์สะอาด ปลดปล่อย NO_x และก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษในปริมาณต่ำมาก

ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วมจากกังหันแก๊สขนาดเล็ก มีดังนี้

- การใช้งานในปัจจุบันยังไม่แพร่หลาย
- เงินลงทุนในการติดตั้งสูง

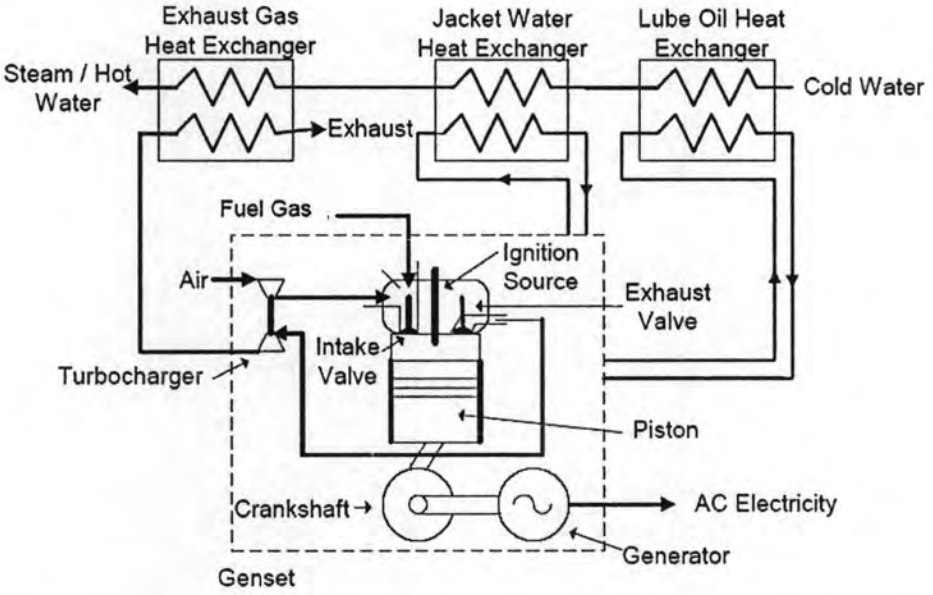
2.7.3 เครื่องยนต์สันดาปภายใน

เครื่องยนต์สันดาปภายใน(Internal Combustion Engine) เป็นเทคโนโลยีที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีใช้งานอยู่ 2 ชนิดหลักๆ คือ ชนิดจุดระเบิดโดยประกายไฟ(Spark Ignition : SI) และชนิดจุดระเบิดโดยการอัด(Compression Ignition : CI) เครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดจุดระเบิดโดยประกายไฟและชนิดจุดระเบิดโดยการอัดถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก หรือ อาจใช้กับเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวจำพวกไฮโดรคาร์บอน อย่างไรก็ดีสามารถปรับใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ ได้หลายชนิด รวมถึงก๊าซชีวภาพ

การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดจุดระเบิดโดยประกายไฟใช้วัฏจักรออตโต้ (Otto Cycle) จุดระเบิดโดยประกายไฟจากหัวเทียนเพื่อการจุดระเบิดเชื้อเพลิงกับอากาศที่ผสมกันภายในกระบอกสูบ ส่วนชนิดจุดระเบิดโดยการอัดใช้วัฏจักรดีเซล(Diesel Cycle) จุดระเบิดโดยการอัด การจุดระเบิดใช้การอัดอากาศเข้าไปในกระบอกสูบให้มีความดันสูงพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ จากนั้นจึงป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ทั้งสองชนิดมีชิ้นส่วนทางกลเหมือนกัน สามารถใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วมได้ โดยใช้ห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกระบอกใน

ปริมาตรปิดที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ตามยาวของทรงกระบอก ลูกสูบทำงานร่วมกับข้อเหวี่ยงแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม เครื่องยนต์ทั้งสองชนิดมีหลักการทำงานเป็น 4 จังหวะ รายละเอียดเพิ่มเติมผู้อ่านสามารถค้นคว้าได้จากเอกสารอ้างอิง[10]

องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน[14]

พลังงานกลจากเครื่องยนต์สันดาปภายในถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งต่อร่วมกับแกนของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับเครื่องถ่ายเทความร้อน จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ประกอบด้วย 3 แหล่ง ได้แก่

- พลังงานความร้อนจากระบบหล่อเย็นห่อหุ้มเครื่องยนต์(Engine Jacket Cooling Water) ถ่ายเทความร้อนออกจากเครื่องยนต์ โดยใช้สารหล่อเย็นไหลหมุนเวียนผ่านชิ้นส่วนห่อหุ้มเครื่องยนต์ กับเครื่องถ่ายเทความร้อนภายนอก
- พลังงานความร้อนจากระบบหล่อลื่น(Lube Oil Cooling Water) ใช้น้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลเวียนอยู่ในระบบหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์ กับเครื่องถ่ายเทความร้อนภายนอก
- พลังงานความร้อนจากก๊าซเสีย(Exhaust Heat Recovery) โดยถ่ายเทความร้อนออกจากก๊าซเสีย โดยใช้เครื่องถ่ายเทความร้อนภายนอกร่วมกับก๊าซเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความร้อนจากทั้งสามแหล่งพลังงานความร้อนข้างต้น สามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำความดันต่ำ น้ำร้อน หรือนำไปใช้งานโดยตรงกับบ้านเรือน อุตสาหกรรมการอบแห้ง โรงพยาบาล และโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูล เป็นต้น

โดยทั่วไปเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์-5 เมกกะวัตต์ ทำงานได้หลายระดับความเร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่ความถี่ใช้งานของแต่ละพื้นที่ เช่น ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต เครื่องยนต์ฯ หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,000 , 1,500 หรือ 3,000 รอบต่อนาที และ ที่ความถี่ 60 เฮิร์ต เครื่องยนต์ฯ หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,200 , 1,800 หรือ 3,600 รอบต่อนาที และหากเป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ใช้เครื่องยนต์ความเร็วรอบ 900 หรือ 720 รอบต่อนาที[10]

ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดจุดระเบิดโดยประกายไฟใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์-5 เมกกะวัตต์ แสดงดังตารางที่ 2.5 [10] และหากนำระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายในไปใช้กับก๊าซชีวภาพจะมีคุณลักษณะการทำงาน เป็นดังตารางที่ 2.6 [13]

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน

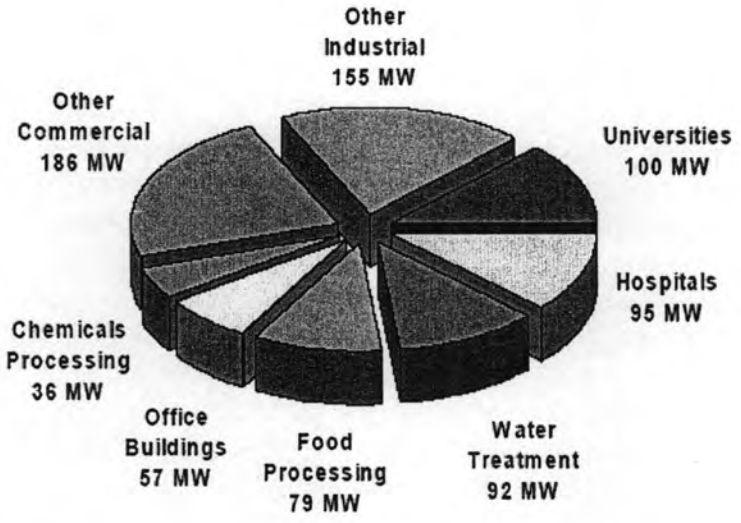
คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	100-5,000
อัตราความร้อนเชิงไฟฟ้า(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	8,758-11,147
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	30.6-39
ความดันของเชื้อเพลิง(ปอนด์/ตารางนิ้ว)	3-65
ความร้อนขาออก(กิโลวัตต์)	167-4,508
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม(ร้อยละ)	74-81
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน	0.6-1.11
อัตราการใช้ความร้อน(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	4,063-4,914
ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	69-84
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	36,800-60,600
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.37-0.73
ความพร้อมใช้งาน(ร้อยละ)	92-97
ชั่วโมงซ่อมบำรุงทุกๆ(ชั่วโมงใช้งาน)	8,000-30,000
อัตราการขัดข้อง(ร้อยละ)	4.7-6.1

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน เมื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	30-6,000
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	30-42
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	28,000-48,000
ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุง(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.3-0.8
การปลดปล่อยมลพิษ(mg/bhp-hr)	NO_x : 0.7-13
	CO : 1-2

การประยุกต์ใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรม การพาณิชย์ และสถาบันการศึกษา เนื่องจากทำงานได้รวดเร็ว ติดตามโหลดได้ดี สามารถนำไปใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง จ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงที่มีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้ รวมทั้งผลิตไอน้ำความดันต่ำ น้ำร้อน หรือใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำ เครื่องอัดอากาศ และระบบทำความเย็นได้เช่นกัน

ในปี 2000 ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้งานเครื่องยนต์สันดาปภายในสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมกว่า 1,055 เครื่อง ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากกว่า 800 เมกกะวัตต์ ขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์-30 เมกกะวัตต์ รูปที่ 2.7 แสดงสัดส่วนการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายในในประเทศสหรัฐอเมริกา ในจำนวนนี้มากกว่าร้อยละ 84 ใช้ในเชิงพาณิชย์และอาคารสถานศึกษา เช่น มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล ภัตตาคาร ซุปเปอร์มาร์เก็ต และ โรงเก็บสินค้าที่ต้องใช้ระบบทำความเย็น



รูปที่ 2.7 สัดส่วนการประยุกต์ใช้งานระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ.2000 [10]

ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีดังนี้

- ทำงานได้หลายระดับความเร็ว
- การทำงานรวดเร็ว(Fast Startup) และมีการติดตามโหลดที่ดีในสภาวะที่มีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดหรือสภาวะฉุกเฉิน สามารถตอบสนองได้ภายในเวลาประมาณ 10 วินาที
- มีความเชื่อถือได้สูง
- ราคาถูก และเงินลงทุนในการติดตั้งต่ำ
- ทำงานได้กับเชื้อเพลิงความดันต่ำ
- สามารถปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าขาออกได้
- ในเวลาทำงานปกติสามารถตรวจซ่อมบำรุงได้ โดยสามารถหยุดเครื่องได้ 1 เครื่อง ในขณะที่เครื่องยนต์อื่นๆ ยังทำงานปกติ
- มีผู้ผลิตจำนวนมาก จึงสามารถรับบริการซ่อมบำรุงได้ง่าย

ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีดังนี้

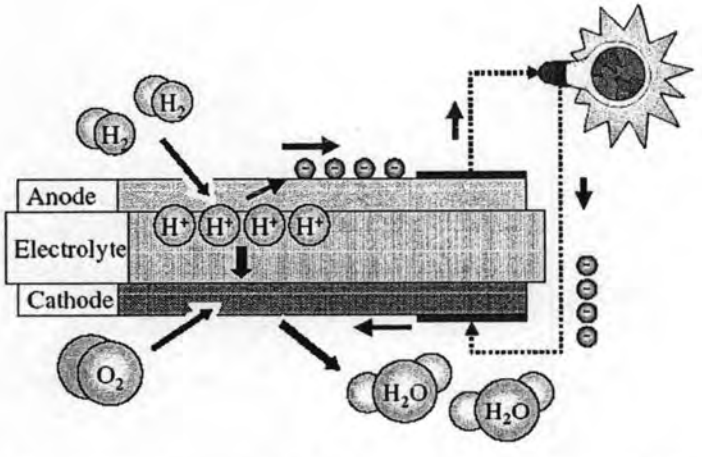
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่นำมาใช้และลักษณะการใช้งาน
- สัญญาณรบกวนความถี่ต่ำมีระดับสูง
- หากเครื่องยนต์สันดาปภายในยังคงทำงานอยู่ ระบบระบายความร้อนและระบบหล่อเย็นยังคงต้องทำงานด้วยเช่นกัน
- อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ต่ำ จึงใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนอุณหภูมิสูง (High Temperature Heat Supply) ไม่ได้

2.7.4 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกโดย Sir William Grove ในปี ค.ศ.1830 แต่ไม่ได้รับความสนใจ และกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้งในปี ค.ศ.1950 เซลล์เชื้อเพลิงมีความแตกต่างในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีของเครื่องต้นกำลังอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีชิ้นส่วนทางกล และไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ มีหลักการทำงานเหมือนกันกับแบตเตอรี่ ซึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง(DC) ผ่านกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าโดยไม่มีการเผาไหม้ แตกต่างกันเพียงเซลล์เชื้อเพลิงใช้พลังงานเคมีของไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถใช้กับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนที่ได้มาจากเชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซแอลพีจี ก๊าซเปรี้ยว ก๊าซเสียอุตสาหกรรม ก๊าซสังเคราะห์ และก๊าซจากถ่านหิน(Coal gas) รวมถึงก๊าซชีวภาพด้วย

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วย แคโทด(Cathode) เป็นอิเล็กโทรดบวก แอโนด(Anode) เป็นอิเล็กโทรดลบ สารอิเล็กโทรไลท์และโหลดภายนอก โดยอิเล็กโทรดแอโนดทำให้อะตอมของไฮโดรเจนกับอิเล็กโทรไลท์กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา และเกิดเส้นทางที่อิเล็กตรอนไหลผ่านไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับวงจรภายนอก ส่วนอิเล็กโทรดแคโทดทำให้อะตอมของออกซิเจนและอิเล็กโทรไลท์กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาของออกซิเจนและเกิดเส้นทางที่อิเล็กตรอนไหลผ่านไปจากโหลดภายนอกเช่นกัน สารอิเล็กโทรไลท์ทำงานเป็นตัวแยกระหว่างออกซิเจน กับไฮโดรเจน เพื่อขัดขวางการผสม และการเผาไหม้โดยตรง โดยไฮโดรเจนป้อนเข้าสู่แอโนด และออกซิเจนป้อนเข้าสู่แคโทด รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง 1 เซลล์



รูปที่ 2.8 กระบวนการทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง 1 เซลล์ [10]

จากรูปที่ 2.8 ภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีสมการปฏิกิริยาดังนี้[10]

สมการปฏิกิริยาของแอโนด

$$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^- \qquad (2.5)$$

โดยอิเล็กตรอนไหลผ่านแอโนดไปยังวงจรไฟฟ้าภายนอก ไฮโดรเจนไอออนไหลผ่านไปยังอิเล็กโทรไลท์ไปยังแคโทดเกิดการรวมตัวของไฮโดรเจน, ออกซิเจน และอิเล็กตรอนทำให้เกิดน้ำ

สมการปฏิกิริยาของแคโทด

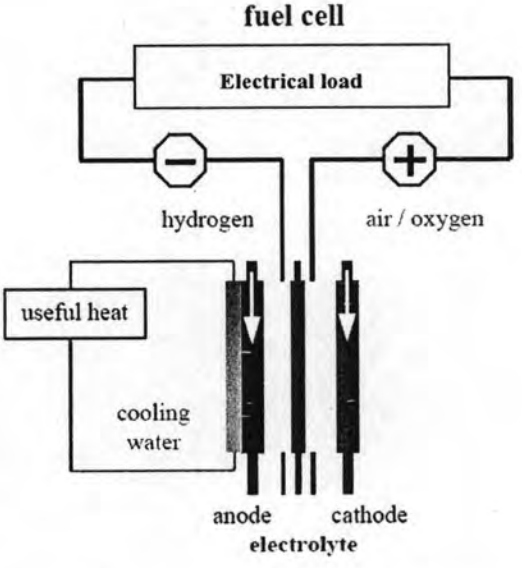
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \qquad (2.6)$$

ปฏิกิริยารวม

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O(Vapor) + energy \qquad (2.7)$$

จากกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าข้างต้น ขั้นสุดท้ายพลังงานเคมีของไฮโดรเจนถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ทั้งนี้พลังงานความร้อนที่ได้จากกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยทั่วไปความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วของเซลล์เชื้อเพลิงประมาณ 0.55-0.8 โวลต์ต่อ 1 เซลล์

องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิง[10]

พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนนำไปติดตั้งเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ต้องเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ เพื่อผลิตไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถควบคุมความถี่ และปรับเพิ่มคุณลักษณะของตัวประกอบกำลังได้ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่มีรูปคลื่นเหมาะสม และมีคุณภาพไฟฟ้าที่ดี

พลังงานความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิง มาจากความร้อนแฝงในน้ำของปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง ความร้อนที่ได้นำไปใช้ผลิตไอน้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ [10]

- Proton Exchange Membrane(PEMFC) พัฒนาโดยองค์การนาซ่า ในปี ค.ศ.1960 ใช้ในยานอวกาศ โดยใช้พอลิเมอร์แข็ง(Solid Polymer) เป็นสารอิเล็กโทรไลท์ ทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200 F°(93 C°) มีความหนาแน่นไฟฟ้า(Power Density) สูง และสามารถปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าขาออกให้ตรงกับความต้องการได้อย่างรวดเร็ว
- Alkaline(AFC) ค้นพบโดย F.T.Bacon ที่เมืองแคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 1940-ค.ศ.1950 ภายหลังองค์การนาซ่า นำมาพัฒนาใช้กับยานอวกาศอพอลโล โดยใช้อัลคาไลน์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารอิเล็กโทรไลท์ มีประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 60 ซึ่งสูงกว่าแบบ PEMFC
- Phosphoric Acid(PAFC) ใช้กรดฟอสฟอริค เป็นสารอิเล็กโทรไลท์ มีการออกแบบและนำเสนอครั้งแรกในช่วงต้นปี ค.ศ.1970 ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 200 C° ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 36 ในปี ค.ศ.1990 มีการใช้งานขนาด 200 กิโลวัตต์ ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น
- Molten Carbonate(MCFC) ใช้ Alkali Metal Carbonate(Li,Na,K) เป็นสารอิเล็กโทรไลท์สถานะของเหลว ทำงานที่อุณหภูมิ 1,100-1,400 F°(650 C°) ใช้เป็นระบบผลิตพลังงานร่วมได้ ประสิทธิภาพรวมประมาณร้อยละ 50
- Solid Oxide(SOFC) ใช้ Solid Nonporous Metal Oxide เป็นสารอิเล็กโทรไลท์ มีการพัฒนาน้อยกว่า MCFC และ PAFC ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 C° มีจุดเด่นคือ ประสิทธิภาพสูง เสถียรภาพการทำงานสูง ความเชื่อถือได้สูง และอุณหภูมิทำงานสูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าร้อยละ 45-60 สามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมได้

โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์-2 เมกกะวัตต์ ทั้งนี้คุณลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เช่น ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า ประสิทธิภาพรวม เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและขนาดกำลังการผลิต ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 2.7 [10] และหากนำระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิงไปใช้กับก๊าซชีวภาพจะมีคุณลักษณะการทำงานเป็นดังตารางที่ 2.8 [13]

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิง

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	10-2,000
อัตราความร้อนเชิงไฟฟ้า(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	7,420-11,370
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	35-46
ความร้อนขาออก(กิโลวัตต์)	13-1,043
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม(ร้อยละ)	65-75
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน	0.92-1.95
อัตราการใช้ความร้อน(บีทียู/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	4,860-6,370
ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	59.5-70.3
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	112,000-220,000
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.92-1.72
ความพร้อมใช้งาน(ร้อยละ)	> 90
ชั่วโมงซ่อมบำรุงทุกๆ(ชั่วโมงใช้งาน)	> 70,000

ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ

คุณลักษณะ	
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	100-3,000
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า(ร้อยละ)	36-50
เงินลงทุน(บาท/กิโลวัตต์)	16,0000-200,000
ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุง(บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.08-0.6
การปลดปล่อยมลพิษ(mg/bhp-hr)	NO_x : < 0.02
	CO : < 0.01

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้งานเป็นระบบผลิตพลังงานร่วมได้หลากหลายลักษณะ ได้แก่

- แหล่งพลังงานไฟฟ้าพิเศษ(Premium Power) โดยมีลักษณะพิเศษ คือปลดปล่อยก๊าซเสีย รวมทั้งมีการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนต่ำ คุณภาพไฟฟ้าดี โดยมีอุปกรณ์ปรับคุณภาพไฟฟ้า(Power Conditioning Equipment) ต่อเชื่อมอยู่ด้วย
- แหล่งพลังงานไฟฟ้าระยะไกล(Remote Power) ในที่ๆ ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง หรือมีค่าใช้จ่ายในการปักเสาพาดสายสูง เซลล์เชื้อเพลิงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ได้
- สนับสนุนระบบไฟฟ้า(Grid Supports) และยืดระยะเวลาในการขยายระบบส่งจ่ายและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นจึงลดค่าใช้จ่ายทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้า
- เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง(Stand-by) ให้กับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า หรือทำงานแยกจากระบบของการไฟฟ้า
- เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานในช่วงที่มีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด หรือทำงานในช่วงกำลังไฟฟ้าฐาน

ปัจจุบันมีการนำเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ 200 กิโลวัตต์ PAFC และ 250 กิโลวัตต์ MCFC มีการใช้งานที่จำกัด เนื่องจากต้นทุนในการติดตั้งค่อนข้างสูงประมาณ $4500-5000/กิโลวัตต์ หรือประมาณ 180,000-200,000 บาท/กิโลวัตต์ [10]

ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิง มีดังนี้

- สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องหากยังมีแหล่งกำเนิดของเชื้อเพลิงอยู่
- เป็นพลังงานสะอาด
- อายุการใช้งาน มากกว่า 70,000 ชั่วโมง
- ทำงานเงียบ และเสียงรบกวนน้อย
- ปลดปล่อยก๊าซพิษน้อย
- ประสิทธิภาพของกระบวนการไม่ขึ้นอยู่กับขนาด และมีประสิทธิภาพสูง
- ง่ายต่อการติดตั้งใช้งาน สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และแยกเป็นส่วนย่อยๆ ได้
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่ำ

ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเซลล์เชื้อเพลิง มีดังนี้

- ปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานแพร่หลายมากนัก เพราะไม่มีข้อพิสูจน์ถึงความทนทาน ประกอบกับเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายสูง ผู้ผลิตน้อย จึงมีความเสี่ยงด้านเทคนิคและเทคโนโลยี

- เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ต้องเป็นไฮโดรเจนบริสุทธิ์
- ใช้เวลาเริ่มทำงานประมาณ 2 ชั่วโมงสำหรับการเริ่มทำงานแบบเย็น(Cold Start)

2.7.5 สรุปการเปรียบเทียบชนิดและคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วม

จากเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซหมัก ทั้ง 4 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถนำมาเปรียบเทียบให้เห็นคุณลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันได้ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วมเมื่อใช้กับก๊าซชีวภาพ

คุณลักษณะ	เครื่องต้นกำลัง			
	กังหันแก๊ส	กังหันแก๊สขนาดเล็ก	เครื่องยนต์สันดาปภายใน	เซลล์เชื้อเพลิง
กำลังการผลิต(กิโลวัตต์)	500-30,000	30-400	30-6,000	100-3,000
เงินลงทุน*(บาท/กิโลวัตต์)	16,000-36,000	48,000-68,000	28,000-48,000	160,000-200,000
ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้า (ร้อยละ)	21-40	14-30	30-42	36-50
ประสิทธิภาพประสิทธิผลเชิงไฟฟ้า**(ร้อยละ)	51-69	49-73	69-84	59.5-70.3
ประสิทธิภาพรวม** (ร้อยละ)	68-74	64-77	74-81	65-75
อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อความร้อน**	0.48-1	0.47-0.63	0.6-1.11	0.92-1.95
ค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุง* (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	0.16-0.4	0.32-0.6	0.3-0.8	0.08-0.6
การปลดปล่อยมลพิษ (mg/bhp-hr)	NO_x : < 9-50 CO : < 15-50	NO_x : 9-50 CO : 9-50	NO_x : 0.7-13 CO : 1-2	NO_x : < 0.02 CO : < 0.01

* คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 1 USD = 40 บาท

** จากคุณลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กับเชื้อเพลิงทั่วไป

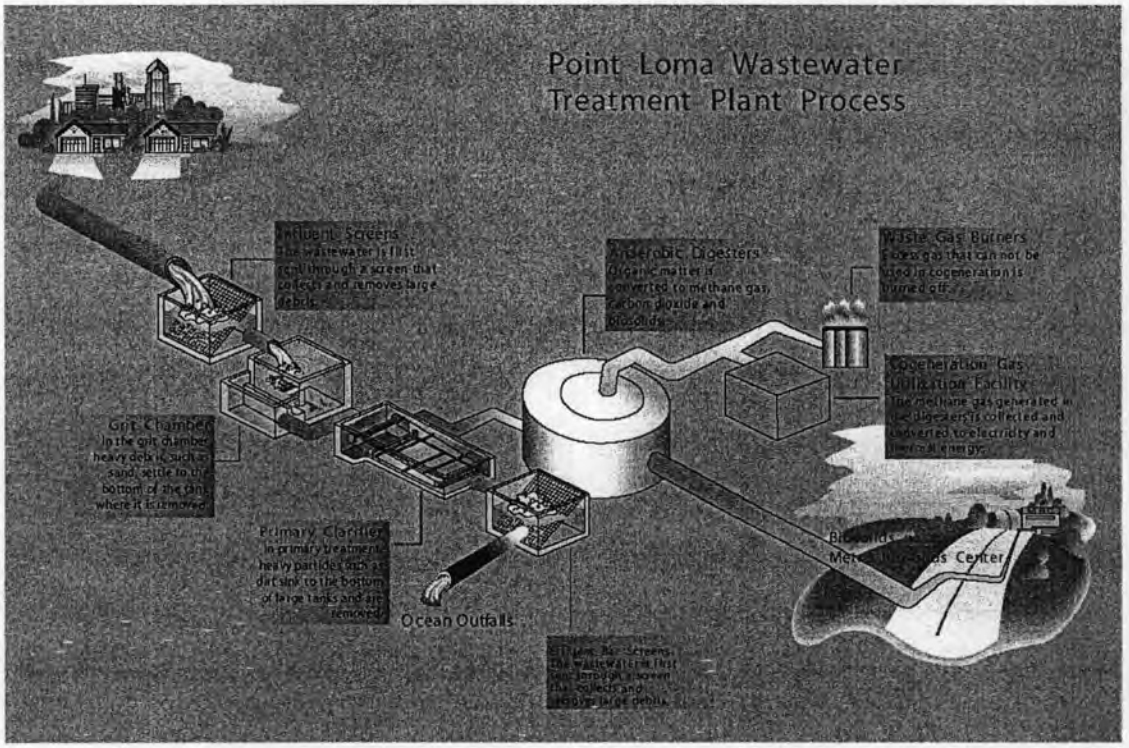
2.8 ตัวอย่างการผลิตไฟฟ้าจากระบบจัดการน้ำเสียในต่างประเทศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการผลิตไฟฟ้าจากระบบจัดการน้ำเสียในต่างประเทศ เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา เป็นต้น

2.8.1 โรงบำบัดน้ำเสีย Point Loma ประเทศสหรัฐอเมริกา[15]

ตั้งอยู่ในเมืองซานดิเอโก้ มลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เริ่มดำเนินการเมื่อปี ค.ศ.1963 สามารถรองรับน้ำเสียจากบ้านเรือน และธุรกิจได้สูงสุด 400 ล้านแกลลอนต่อวัน(946,250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ปัจจุบันมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียเฉลี่ย 240 ล้านแกลลอนต่อวัน(662,375 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) พื้นที่ให้บริการ 450 ตารางไมล์(1,165 ตารางกิโลเมตร) ประชากร 2.2 ล้านคน ทำงานได้ 24 ชั่วโมงต่อวัน และทุกวัน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Point Loma แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Point Loma

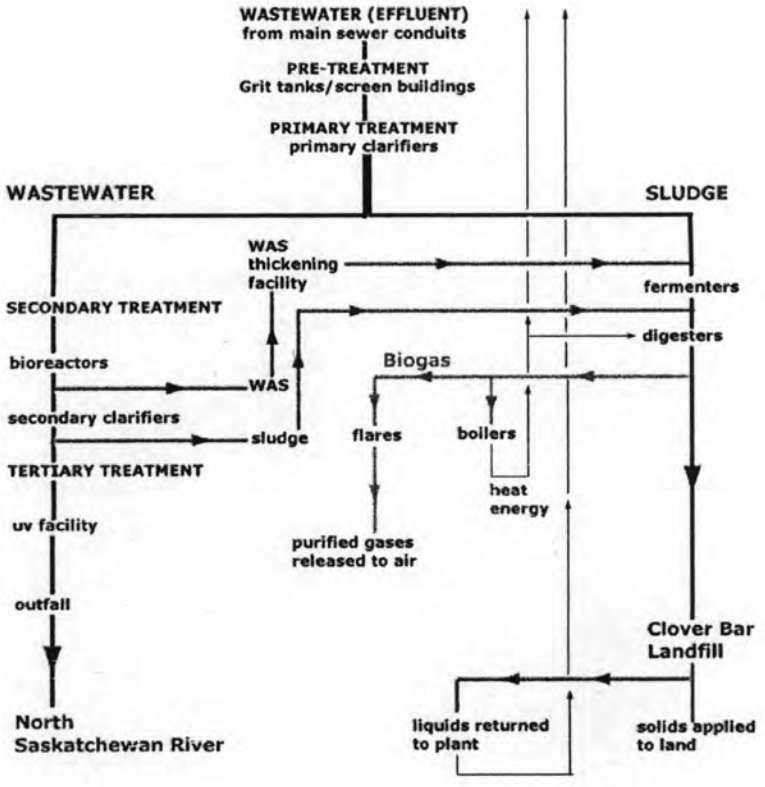
จากรูปที่ 2.10 สถานีสูบน้ำ จำนวน 2 สถานีที่ Harbor Drive สูบน้ำเสีย และมีน้ำเสียส่วนหนึ่งไหลด้วยแรงโน้มถ่วงไปยังโรงบำบัดน้ำเสีย หลังจากน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้ว ตะกอนน้ำเสียจะถูกนำไปป้อนเป็นวัตถุดิบให้กับถังหมัก(Digester) จำนวน 8 ชุด ตะกอนน้ำเสียจะถูกกักเก็บอยู่ในถังหมักเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ก๊าซหมักจากถังหมักจะถูกนำไปใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วม จำนวน 2 ชุด และอีก 1 ชุดผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำ ดังนี้

- เครื่องยนต์สันดาปภายใน 2 ชุด ขนาดกำลังการผลิตชุดละ 2.235 เมกกะวัตต์ ใช้จ่ายไฟฟ้าตามความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงบำบัดน้ำเสีย
- เครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซหมักร้อยละ 80 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 20 ขนาดกำลังการผลิต 1.2 เมกกะวัตต์ โดยใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด(Peaking Generator) ส่วนพลังงานความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วมใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก
- โรงไฟฟ้าพลังน้ำรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ความสูงประมาณ 90 ฟุต(27.43 เมตร) ไหลผ่านท่อไปยังกังหันน้ำ ผลิตไฟฟ้าได้ 1.35 เมกกะวัตต์ จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับบริเวณใกล้เคียงได้ 1,300 หลังคาเรือน พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินขายให้กับการไฟฟ้า

2.8.2 โรงบำบัดน้ำเสีย Gold Bar ประเทศแคนาดา[16-17]

ตั้งอยู่ในเมือง Edmonton มลรัฐ Alberta ประเทศแคนาดา รองรับประชากร 740,000 คน ในพื้นที่บ้านเรือน และย่านธุรกิจของ Edmonton ปัจจุบันมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียสูงสุด 310 ล้านลิตรต่อวัน(310,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ใน 1 ปี สามารถบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 100,000 ล้านลิตร(100 ล้านลูกบาศก์เมตร)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Gold Bar แสดงดังรูปที่ 2.11



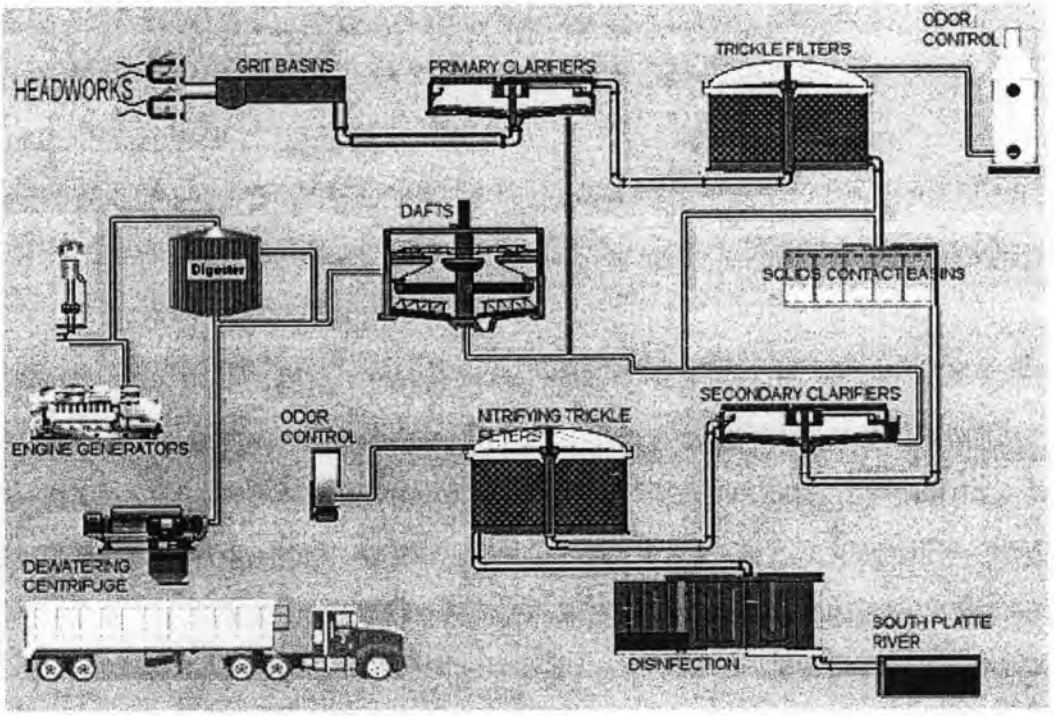
รูปที่ 2.11 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Gold Bar[16]

จากรูปที่ 2.11 น้ำเสียจะถูกสูบโดยสถานีสูบน้ำผ่านท่อรวบรวมน้ำเสียหลักไปยังโรงบำบัดน้ำเสีย หลังจากน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้ว ตะกอนน้ำเสียจะถูกนำไปป้อนเป็นวัตถุดิบให้กับถังหมักที่ 1 จากทั้งหมด 6 ถัง เพื่อย่อยสลายซึ่งใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน ตะกอนจะถูกกวนผสมโดยใช้เครื่องอัดก๊าซ เพื่อเร่งปฏิกิริยาภายในถังหมัก และทำให้เกิดก๊าซหมักมากขึ้น ก๊าซหมักที่ปลดปล่อยออกจากถังหมักจะถูกนำไปใช้ให้ความร้อนกับโรงบำบัดน้ำเสีย และถังหมักพร้อมกับกวนผสมกากตะกอน อย่างไรก็ตามก๊าซหมักส่วนเกินจะถูกเผาไหม้ทิ้ง เพื่อป้องกันการปลดปล่อยกลิ่น และการลุกติดไฟของก๊าซหมักในบรรยากาศ เมื่อปลายปี ค.ศ.2003 โรงบำบัดน้ำเสียแห่งนี้ได้ทดสอบติดตั้งกังหันแก๊สขนาดเล็ก 1 ชุด ขนาดกำลังการผลิต 70 กิโลวัตต์ ใช้ก๊าซหมักเป็นเชื้อเพลิง

2.8.3 โรงบำบัดน้ำเสีย Littleton/Englewood ประเทศสหรัฐอเมริกา[18-19]

ตั้งอยู่ในมลรัฐโคโลราโด สหรัฐอเมริกา เริ่มดำเนินการเมื่อปี ค.ศ.1977 รองรับน้ำเสียจากชุมชนบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และของเสียอุตสาหกรรม ปัจจุบันมีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้เฉลี่ย 26 ล้านแกลลอนต่อวัน(98,410 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) สามารถรองรับน้ำเสียได้สูงสุด 80 ล้านแกลลอนต่อวัน(302,800 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) พื้นที่ให้บริการ 194 ตารางกิโลเมตร

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Littleton/Englewood แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Littleton/Englewood [19]

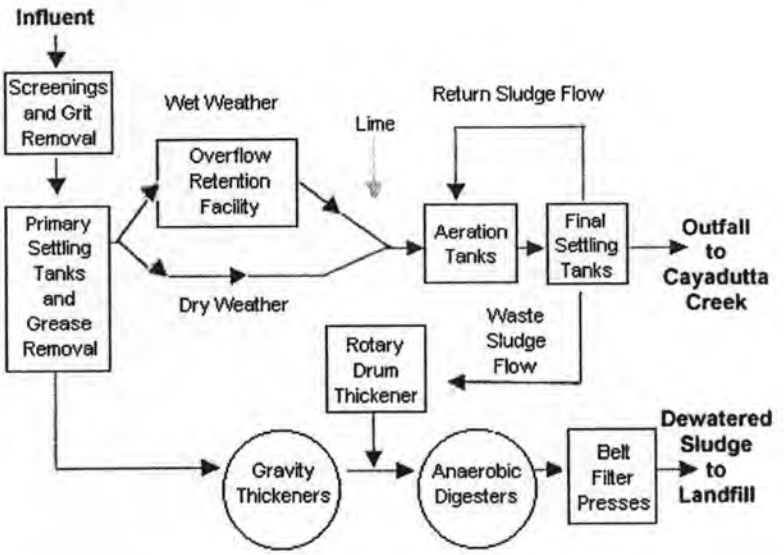
จากรูปที่ 2.12 น้ำเสียจะถูกสูบโดยสถานีสูบน้ำผ่านท่อรวบรวมน้ำเสียหลัก จำนวน 2 ท่อไปยังโรงบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ น้ำเสียจากเมือง Littleton ผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 66 นิ้ว(1.67 เมตร)

และน้ำเสียจากเมือง Englewood ผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 นิ้ว(1.5240 เมตร) หลังจากน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้ว ตะกอนน้ำเสียจะถูกนำไปป้อนเป็นวัตถุดิบให้กับถังหมัก มีจำนวน 4 ถัง แต่ละถังรองรับตะกอนน้ำเสียได้ประมาณ 145,800 ลูกบาศก์ฟุต(3936.6 ลูกบาศก์เมตร) ก๊าซหมักจากถังหมักจะถูกนำไปใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อนโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน V-16 แบบ Naturally Aspirated จำนวน 2 เครื่อง ขนาดกำลังการผลิตเครื่องละ 460 กิโลวัตต์ ตัวประกอบกำลัง 0.8 ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นำไปใช้ภายในโรงบำบัดน้ำเสีย พลังงานความร้อนนำไปใช้โดยผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อน เพื่อให้ความร้อนและรักษาอุณหภูมิของถังหมัก

2.8.4 โรงบำบัดน้ำเสีย Gloversville-Johnstown ประเทศสหรัฐอเมริกา[20-22]

ตั้งอยู่ที่มลรัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนของเมือง Gloversville และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมผลิตกาว อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมหลักอื่นๆ ของเมือง Johnstown ปัจจุบันมีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 13.8 ล้านแกลลอนต่อวัน (52,238 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และรองรับน้ำเสียได้สูงสุด 30 ล้านแกลลอนต่อวัน(113,562 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกปล่อยลงสู่อ่าว Cayadutta

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสีย Gloversville-Johnstown แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กระบวนบำบัดน้ำเสียรวมของโรงบำบัดน้ำเสีย Gloversville-Johnstown [20]

จากรูปที่ 2.13 เริ่มต้นน้ำเสียถูกรวบรวมไปยังอาคารบำบัดน้ำเสีย ผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 42 นิ้ว(1.0668 เมตร) หลังจากน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้ว ตะกอนน้ำเสียจะถูกนำไปป้อนเป็นวัตถุดิบให้กับถังหมัก จำนวน 2 ชุด โดยถังหมักชุดแรก ก๊าซหมักจะถูกนำไปใช้เพื่อให้ความร้อน

กวนผสมตะกอน และใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วม ถังหมักชุดที่สองทำให้ตะกอนเข้มข้นขึ้น โดยตะกอนจากถังหมักชุดที่สองจะถูกผสมกับพอลิเมอร์เพื่อให้ตะกอนจับตัวเป็นก้อนได้มากขึ้น ก่อนส่งต่อไปยังเครื่องรีดตะกอน และนำไปกำจัดต่อไป ก๊าซหมักจากถังหมักประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 60-70 ถูกนำไปใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน จำนวน 2 ชุด ขนาดกำลังการผลิตชุดละ 150 กิโลวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นำไปใช้ภายในโรงบำบัดน้ำเสีย พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ใช้ให้ความร้อนกับถังหมักรวมถึงอาคารบำบัดน้ำเสีย

2.8.5 โรงบำบัดน้ำเสียอื่นๆ ประเทศสหรัฐอเมริกา[23-24]

- โรงบำบัดน้ำเสีย North of the River เมือง Shafter มลรัฐแคลิฟอร์เนีย เริ่มดำเนินการเมื่อเดือนมกราคม ค.ศ.2004 ก๊าซหมักจากถังหมักผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือปนพร้อมกับอัดความดัน นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับกังหันแก๊สขนาดเล็กจำนวน 3 ชุดๆ ละ 30 กิโลวัตต์ ขนาดกำลังการผลิตรวม 90 กิโลวัตต์ โดยใช้ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนที่ได้จากก๊าซร้อนจากกังหันแก๊สใช้รักษาอุณหภูมิของถังหมัก
- โรงบำบัดน้ำเสีย Gresham เมือง Gresham มลรัฐโอเรกอน เริ่มดำเนินการเมื่อเดือนสิงหาคม ค.ศ.2005 ก๊าซหมักจากถังหมักนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ขนาดกำลังการผลิตรวม 400 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนที่ได้ใช้เพื่อให้ความร้อนกับถังหมัก
- โรงบำบัดน้ำเสีย San Luis Obispo เมือง San Luis Obispo มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ก๊าซธรรมชาติ และก๊าซหมักจากถังหมักถูกนำไปใช้ร่วมกันกับกังหันแก๊สขนาดเล็กจำนวน 8 ชุดๆ ละ 30 กิโลวัตต์ ขนาดกำลังการผลิตรวม 240 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนที่ได้นำไปใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก
- โรงบำบัดน้ำเสีย Laguna เมือง Laguna มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ก๊าซหมักจากถังหมักนำไปใช้กับกังหันแก๊สขนาดเล็กขนาดกำลังการผลิต 60 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด และขนาดกำลังการผลิต 30 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด ขนาดกำลังการผลิตรวม 240 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนที่ได้นำไปใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก
- โรงบำบัดน้ำเสีย Santa Maria เมือง Santa Maria มลรัฐแคลิฟอร์เนีย อยู่ระหว่างดำเนินการ ก๊าซหมักจากถังหมักนำไปใช้กับกังหันแก๊สขนาดเล็กจำนวน 4 ชุดๆ ละ 70 กิโลวัตต์ ขนาดกำลังการผลิตรวม 280 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนที่ได้นำไปใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก

- โรงบำบัดน้ำเสีย Palm Springs เมือง Palm Springs มลรัฐแคลิฟอร์เนีย เริ่มดำเนินการเมื่อเดือนมกราคม ค.ศ.2003 ก๊าซหมักจากถังหมักนำไปใช้กับกังหันแก๊สขนาดเล็ก ขนาดกำลังการผลิตรวม 120 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าและความร้อน ความร้อนนำไปใช้ให้ความร้อนกับน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของถังหมัก

นอกจากนี้ ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้งานกังหันแก๊สขนาดเล็ก ติดตั้งมากกว่า 100 ชุด กว่า 20 โครงการ บางโครงการการเดินเครื่องประสบความสำเร็จ และบางโครงการประสบปัญหา โดยมีข้อแนะนำในการเดินเครื่องกังหันแก๊สขนาดเล็กที่สำคัญ คือ ก๊าซชีวภาพควรมีความบริสุทธิ์ และผ่านการอัดความดันโดยเครื่องอัดความดันก่อนนำไปใช้กับกังหันแก๊สขนาดเล็ก ทำให้กังหันแก๊สขนาดเล็กสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เสียหาย ต้องมีการตรวจซ่อมบำรุง 1 เดือนต่อครั้ง โดยช่างผู้ชำนาญในการซ่อมบำรุง และวัสดุที่นำมาทำกังหันแก๊สขนาดเล็ก ควรมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นต้น

จากการศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าจากระบบจัดการน้ำเสียที่นำเสนอข้างต้น เปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้ของระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 4 แห่ง กับระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ผลที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.10

I23087213

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของที่ต่างๆ

คุณลักษณะ	โรงบำบัดน้ำเสีย				
	Point Loma	**Gold Bar**	**Littleton/Englewood**	**Gloversville-Johnstown**	**กรุงเทพมหานคร**
พื้นที่รับผิดชอบ	เมืองซานดิเอโก้ และเมืองใกล้เคียง มลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา	เมือง Edmonton มลรัฐAlberta ประเทศแคนาดา	เมือง Englewood,Littleton และ 20 เขตชุมชนด้านใต้ ของ Denver สหรัฐอเมริกา	เมือง Gloversville และ Johnstown มลรัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ขนาดพื้นที่รับผิดชอบ	1,165 ตร.กม.	ไม่มีข้อมูล	194 ตร.กม.	ไม่มีข้อมูล	191.7 ตร.กม.
จำนวนประชากร	2.2 ล้านคน	700,000 คน	220,000 คน	ไม่มีข้อมูล	2,979,500 คน
ประเภทน้ำเสีย	บ้านเรือน ธุรกิจ และอุตสาหกรรม	ชุมชนและอุตสาหกรรม ประมาณร้อยละ 95 การพาณิชย์ และสถาบันการศึกษา	ชุมชนบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และของเสียอุตสาหกรรม	บ้านเรือน น้ำเสียอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ผลิตกาว สิ่งทอและอุตสาหกรรมอื่นๆ	ชุมชนบ้านเรือน อาคารพาณิชย์
ปริมาณน้ำเสียต่อวัน (ลูกบาศก์เมตร/วัน)	บำบัดได้ 662,375 รองรับได้สูงสุด 946,250	รองรับได้ 310,000 รองรับได้สูงสุด 420,000	บำบัดได้ 98,420 กำลังขยายเฟส 2 เพื่อบำบัดได้สูงสุด 605,664	บำบัดได้ 52,233 รองรับได้สูงสุด 113,550	บำบัดได้ 992,000
ระยะเวลาทำงาน	24 ชั่วโมง/วัน	ไม่มีข้อมูล	24 ชั่วโมง/วัน	24 ชั่วโมง/วัน	24 ชั่วโมง/วัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย	57,720 ลบ.ม./วัน	14-15 ล้านลบ.ม./ปี	ไม่มีข้อมูล	2,695 ลบ.ม./วัน	424 ลบ.ม./วัน
ร้อยละของมีเทน(%)	62-63	65-70	ไม่มีข้อมูล	60-70%	50-70%

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของที่ต่างๆ(ต่อ)

คุณลักษณะ	โรงบำบัดน้ำเสีย				
	Point Loma	**Gold Bar**	**Littleton/Englewood**	**Gloversville-Johnstown**	**กรุงเทพมหานคร**
เทคโนโลยี ขนาดกำลังการผลิต กำลังการผลิตไฟฟ้า และการใช้งาน	- เครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดกำลังการผลิต 4.57 เมกกะวัตต์ ใช้จ่ายพลังงานให้กับโรงบำบัดน้ำเสียตามความต้องการใช้ไฟฟ้า - เครื่องยนต์ดีเซล (เชื้อเพลิงผสมก๊าซหมักร้อยละ 80 และดีเซลร้อยละ 20) ขนาดกำลังการผลิต 1.2 เมกกะวัตต์ ใช้งานจ่ายไฟฟ้าในช่วง Peak Load - ความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วมใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก	- เผาไหม้ทิ้ง กวนตะกอน และให้ความร้อนกับโรงบำบัดน้ำเสีย - เริ่มทดสอบติดตั้ง กังหันแก๊สขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 70 กิโลวัตต์ เมื่อ ค.ศ.2003	- เครื่องยนต์สันดาปภายใน V-16 แบบ Naturally Aspirated ขนาดกำลังการผลิต 2x460 กิโลวัตต์ กำลังการผลิตจริงประมาณ 900 กิโลวัตต์ แต่ละชุดมีค่าแฟคเตอร์กำลัง 0.8 ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที ผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงบำบัดน้ำเสีย - ความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วมใช้ให้ความร้อนกับถังหมัก - ใช้กับหม้อต้มน้ำผลิตความร้อนเป็นน้ำร้อนให้ความร้อนกับถังหมัก	- เครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดกำลังการผลิต 2x150 กิโลวัตต์ ผลิตไฟฟ้าได้ 108,920 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อปี สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงบำบัดน้ำเสียทั้งหมด - ก๊าซชีวภาพใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติ - ความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วมใช้ให้ความร้อนกับถังหมักและอาคารภายในโรงบำบัดน้ำเสีย	- เผาไหม้ทิ้งและกวนผสมตะกอน