

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกินประมาณ 200 ถึง 400 กิโลกรัมต่อการผลิตกระดาษ 1 ตัน (Balwaik & Raut, 2012; Turner et al., 2022) และกากตะกอนแห้งประมาณ 40 ถึง 50 กิโลกรัมต่อตันกระดาษ (Mahmood & Elliott, 2006; Jele et al., 2022) กากตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วยกากตะกอนปฐมภูมิ (Primary Sludge: PS) ประมาณ 70% และกากตะกอนทุติยภูมิ (Secondary Sludge: SS) ประมาณร้อยละ 30 โดยกากตะกอน PS เกิดจากกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีการลอย (Dissolved Air Flotation: DAF) หรือการตกตะกอนขั้นต้น (Primary Sedimentation) ซึ่งกากตะกอน PS ส่วนหนึ่งสามารถนำกลับมาใช้ในการผลิตกระดาษที่เป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ เช่น กระดาษแข็ง ลัง เป็นต้น แต่ยังคงเหลือเป็นกากตะกอนส่วนเกินที่ต้องทิ้งออกจากระบบค่อนข้างสูง และกากตะกอน SS เกิดจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Sedimentation) ในระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge: AS)

สำหรับการจัดการกากตะกอนส่วนเกินทั้งสองประเภท มักนิยมผสมรวมกันก่อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดน้ำออกจากกากตะกอน เพื่อช่วยลดปริมาตรก่อนนำไปฝังกลบ อย่างไรก็ตาม การฝังกลบอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของมลพิษต่อดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการฟื้นฟูและแก้ไขปัญหา ดังนั้น จึงมีแนวทางในการนำกากตะกอนส่วนเกินมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน หรือการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง โดยการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนส่วนเกิน แม้จะเป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจค่อนข้างต่ำ ในขณะที่การผลิตเชื้อเพลิงจากกากตะกอนสามารถเพิ่มมูลค่าให้ของเสียและสร้างรายได้ให้กับอุตสาหกรรมได้มากกว่า ทั้งนี้ การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตพลังงานหมุนเวียนมีอยู่สองแนวทางหลัก ได้แก่ การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse-derived Fuel: RDF) และ การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production) โดยกระบวนการผลิต RDF แม้สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้ทันที แต่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงในการกำจัดความชื้นออกจากกากตะกอน และยังมีความเสี่ยงด้านการปล่อยมลพิษทางอากาศ ขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพอาจใช้เวลานานกว่าในการผลิตพลังงาน แต่สามารถให้พลังงานรวมที่สูงกว่า หากมีการปรับปรุงการเดินระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นคาร์บอนเครดิต

เพื่อลดเขยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกระดาษรีไซเคิลแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมกระดาษแบบครบวงจร ทั้งต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ พบว่า มีกากตะกอนที่เป็นภาระในการกำจัด ประกอบด้วย กากตะกอน PS ส่วนเกินต่อวันเฉลี่ยสูงถึง 1,275 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (m^3/day) หรือ 27.5 เมตริกตันตะกอนแห้งต่อวัน (tons-dry sludge/day) และกากตะกอน SS ส่วนเกินต่อวันเฉลี่ยประมาณ 1,570 m^3/day หรือ 33.83 tons-dry sludge/day คิดเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของแข็งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียสูงถึงร้อยละ 35.6 ที่ไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ดังนั้น กากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมกระดาษ จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐเกี่ยวกับผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่ายหรือผู้รับผิดชอบ (Polluter Pays Principle: PPP; ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2566)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของกากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมกระดาษที่ผ่านมาพบว่า กากตะกอนส่วนเกินทั้งกากตะกอน PS และกากตะกอน SS มีความชื้นในช่วงร้อยละ 53 ถึง 77 (Simão et al., 2018) โดยกากตะกอน PS จะมีลักษณะเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ประกอบไปด้วย ลิกนินร้อยละ 5.7 เซลลูโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 32 ถึง 81 และเฮมิเซลลูโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 6.5 ถึง 12 (Simão et al., 2018; Lopes et al., 2018) และมีความชื้นทั้งหมด (Total Solids: TS) อยู่ในช่วงร้อยละ 32 ถึง 80 เป็นค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Total Volatile Solids: TVS) อยู่ในช่วงร้อยละ 32 ถึง 58 เป็นเถ้า (Ash) ประมาณร้อยละ 55 มีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) ประมาณ 64,300 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) (Lopes et al., 2018; Chakraborty et al., 2019) และมีธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ โดยกากตะกอน PS มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ประมาณ 32:1 ถึง 930:1 (Kaur et al., 2020) ซึ่งสูงกว่าค่าเหมาะสมในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ 20 ถึง 30 (Veluchamy, 2018) อย่างมาก หากค่า C/N ratio สูงเกินไปไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อคาร์บอนที่เหลือในสารตั้งต้นของวัตถุดิบและส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดได้ต่ำ ส่วนในกากตะกอน SS พบธาตุสารอาหารสูง โดยมีไนโตรเจนส่วนใหญ่ พบว่ามีค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) ประมาณ 560 mg/L (Kinnunen et al., 2015) และค่า C/N ratio อยู่ในช่วง 9:1 ถึง 86.21 ต่อ 1 (Lopes et al., 2018; Kaur et al., 2020; Turner et al., 2022) มีค่า COD ประมาณ 11,000 mg/L (Chakraborty et al., 2019) ซึ่งจากการเก็บข้อมูลของโรงงานกระดาษรีไซเคิล พบว่า มีค่า C/N ratio ของกากตะกอน PS และกากตะกอน SS ประมาณ 277 ต่อ 1 และ 7.3 ต่อ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหลายงานวิจัยข้างต้น และ

จากการศึกษาของ Lopes et al. (2018) ได้ทำการผสมกากตะกอน PS และกากตะกอน SS ทำให้ค่า C/N ratio หลังผสมลดลงเป็น 31 ต่อ 1 นอกจากนี้ กากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล ยังมีค่า pH อยู่ในช่วง 8.19 ถึง 8.25 ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตดีเยื่อและกระดาษที่มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเคลือบกระดาษ เช่น CaCO_3 ส่งผลให้มีค่าเป็นด่างอ่อน ๆ ดังนั้นอาจต้องมีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ 6.8 ถึง 7.4 (Veluchamy, 2018)

กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion: AD) ประกอบด้วยกลไกทางชีวเคมีที่ซับซ้อน ประกอบด้วย ไฮโดรไลซิส อะซิโดเจเนซิส อะซิโตเจเนซิส และเมทาโนเจเนซิส ซึ่งแต่ละขั้นตอนถูกควบคุมโดยกลุ่มจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม ซึ่งมีความไวต่อลักษณะของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน และในระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Co-digestion: AnCoD) นั้น สารตั้งต้นแต่ละชนิดจะช่วยเสริมคุณสมบัติกัน ทำให้กระบวนการทางชีวเคมีแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าการใช้สารตั้งต้นชนิดเดียว โดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบกากตะกอน PS ร่วมกับกากตะกอน SS พบว่า มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณมีเทนอย่างมีนัยสำคัญในหลายงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากสร้างสมดุลระหว่างประมาณสารอินทรีย์และธาตุอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่า กากตะกอน PS และกากตะกอน SS ที่สัดส่วนผสมกากตะกอน PS ต่อ กากตะกอน SS (PS:SS) ที่ 2 ต่อ 3 ให้ผลผลิตเป็น 150 ถึง 170 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมค่า TVS ที่ป้อน ($\text{ml CH}_4/\text{g VS}_{\text{fed}}$) ซึ่งสูงกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพของการย่อยสลายกากตะกอน PS เพียงเดียว โดยพบค่าอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 248 $\text{ml CH}_4/\text{g VS}_{\text{fed}}$ (Veluchamy & Kalamdhad, 2017; Bokhary et al., 2021; Lopes et al., 2018; Bayr & Rintala, 2012) และศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการย่อยสลายกากตะกอน SS เพียงเดียว พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 47 ถึง 61 $\text{ml CH}_4/\text{g VS}_{\text{fed}}$ (Lin et al., 2011) อีกทั้งจากการศึกษาของ Bayr & Rintala (2012) ยังพบว่า AnCoD ให้ผลผลิตมากกว่าการย่อยสลายกากตะกอน SS เพียงเดียวร้อยละ 59 และการศึกษาของ Sun et al. (2022) พบว่าที่สัดส่วนผสมกากตะกอน PS:SS ที่ 1:3 ให้ผลผลิตเป็น 75 $\text{ml CH}_4/\text{g TSS}_{\text{fed}}$ ซึ่งมากกว่าการย่อยสลายร่วมของกากตะกอนที่สัดส่วนผสม 1:0 3:1 1:1 และ 0:1 ซึ่งอยู่ในช่วง 60 ถึง 74 $\text{ml CH}_4/\text{g TSS}_{\text{fed}}$

การวิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ในกระบวนการ AD ยังเผยให้เห็นบทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายของเสียที่มีลิแกโนเซลลูโลสสูง โดยในกระบวนการไฮโดรไลซิส นั้น แบคทีเรีย (*Bacteroides* และ *Bifidobacterium*) และเอนไซม์ (เซลลูเลส, ไซลาเนส) สามารถย่อยสลายเซลลูโลสเป็นกลูโคสและสารมัธยันตร์ (Intermediate) เช่น กรดฟอร์มิก (formic acid), กรดเลวูลินิก (levulinic acid) และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (hydroxymethylfurfural) เป็นต้น ภายใต้ปฏิกิริยาจลนศาสตร์อันดับหนึ่ง (Scano et al., 2021; Ugwu et al., 2022; Devi et al.,

2022) ในกระบวนการอะซิโตเจเนซิส แบคทีเรียหมักกรด (*Micrococcus* และ *Streptococcus*) สามารถย่อยสลายสารตั้งต้นเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids: VFA) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ในสภาวะที่มีค่า pH ประมาณ 5 (Ivanchenko et al., 2021; Bolzonella et al., 2020) ในกระบวนการอะซิโตเจเนซิสแบคทีเรีย *Syntrophomonas* จะเปลี่ยน VFA เป็นอะซิเตตและ H_2 ด้วยเอนไซม์ hydrogenase (Yaashikaa et al., 2022) สุดท้ายในกระบวนการเมทาโนเจเนซิส แบคทีเรีย *Methanosarcina* และ *Methanobacteria* ใช้เส้นทาง acetoclastic/hydrogenotrophic เปลี่ยนอะซิเตตและ CO_2/H_2 เป็น CH_4 โดยต้องการสารอาหารหลัก (Macronutrients) เช่น คาร์บอน กำมะถัน และฟอสฟอรัส รวมถึงสารอาหารรอง (Micronutrients) ได้แก่ นิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก และโมลิบดีนัม ฯลฯ เพื่อการเจริญเติบโตและเร่งปฏิกิริยาการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งกระบวนการ AD แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบขั้นตอนเดียว (single-stage system) ระบบหลายขั้นตอน (multi-stage system) และระบบต่อเนื่อง (continuous system) โดยระบบขั้นตอนเดียวอาศัยความสมดุลของจุลินทรีย์หลากหลายกลุ่มในถังรวมกัน แต่มีความเสี่ยงต่อการสะสมสารยับยั้ง อย่างไรก็ตาม ระบบหลายขั้นตอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพผ่านการแยกขั้นตอน และส่งเสริมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างจุลินทรีย์โดยตรง (Direct Interspecies Electron Transfer: DIET) ระหว่าง *Syntrophomonas-Methanosarcina* ส่วนระบบต่อเนื่องช่วยรักษาเสถียรภาพชุมชนจุลินทรีย์ (*Ruminiclostridium* และ *Caldicoprobacter*) (Gálvez-Martos et al., 2021)

นอกจากนี้ กากตะกอนจากอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล โดยเฉพาะกากตะกอน PS และ กากตะกอน SS เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี AnCoD และระบบถังกวนผสมแบบสองขั้นตอน (Two-stage Continuous Stirred Tank Reactor: Two-stage CSTR) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของกระบวนการได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามยังคงมีช่องว่างของงานวิจัยในด้านสัดส่วนผสมกากตะกอน PS:SS ที่เหมาะสม จลนพลศาสตร์ของกระบวนการ และการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อขยายสู่ระดับอุตสาหกรรม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าของเสียและพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากกากตะกอนส่วนเกินด้วยระบบ AnCoD ในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิลร่วมกับระบบ Two-stage CSTR เพื่อป้องกันสารอินทรีย์เกิดการจมน้ำและเพิ่มโอกาสสัมผัสกับเซลล์จุลินทรีย์ได้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพและอายุตะกอน (Sludge Retention Time: SRT) ในระบบ AnCoD งานวิจัยนี้จึงมีองค์ประกอบหลักในการศึกษา 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การประเมินผลของสัดส่วน PS:SS ต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (2) การทดสอบศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนทางชีวเคมี (Biochemical Methane Potential: BMP) และการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ (3) การเดินระบบ Two-stage CSTR เพื่อประเมินประสิทธิภาพและเสถียรภาพ

การทำงาน และ (4) การประเมินศักยภาพการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรมทั้งด้านเทคโนโลยีและ เศรษฐศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิต ก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนปฐมภูมิร่วมกับกากตะกอนทุติยภูมิจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม กระดาษรีไซเคิล

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบถังกวนสมบูรณ์แบบสองขั้นตอนในการเป็นถังปฏิกรณ์สำหรับ ผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากกากตะกอนปฐมภูมิร่วมกับ กากตะกอนทุติยภูมิจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล

1.2.3 เพื่อประเมินศักยภาพการเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิลผ่านการประเมินการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรม ในด้านเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อประเมินศักยภาพของระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ ออกซิเจน (Anaerobic Co-digestion: AnCoD) ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการผสมกากตะกอนปฐมภูมิ (Primary Sludge: PS) และกากตะกอนทุติยภูมิ (Secondary Sludge: SS) ที่ได้จากระบบบำบัด น้ำเสียของอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล โดยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบถังกวนสมบูรณ์แบบสองขั้นตอน (Two-stage Continuous Stirred Tank Reactor: Two-stage CSTR) ให้เป็นถังปฏิกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ในการผลิตก๊าซชีวภาพจาก AnCoD ทั้งนี้ ขอบเขตของการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย: การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอน- ส่วนเกินในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิลด้วยระบบ AnCoD ดำเนินการภายในอาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 แหล่งที่มาของกากตะกอนที่ใช้ในการศึกษา: กากตะกอน PS และกากตะกอน SS ที่ใช้ในการศึกษาระบบ AnCoD และ Two-stage CSTR ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากระบบบำบัด น้ำเสียของโรงงานกระดาษรีไซเคิลแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.3.2.1 กากตะกอน PS คือ กากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากถังตกตะกอนขั้นต้นของ ระบบบำบัดน้ำเสีย

1.3.2.2 กากตะกอน SS คือ กากตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge (AS)

1.3.3 การศึกษาศักยภาพของระบบ AnCoD ในการผลิตก๊าซชีวภาพ: การประเมิน ศักยภาพของระบบ AnCoD ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอน PS และกากตะกอน SS ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล ดำเนินการผ่านชุดทดลองแบบกะ (Batch Test Reactor) โดยทำการแปรเปลี่ยนสัดส่วนผสมกากตะกอน PS:SS ซึ่งใช้พารามิเตอร์หลัก ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ศักยภาพในการเกิดก๊าซมีเทนทางชีวเคมี (Biochemical methane potential: BMP) ค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์ (Biokinetics) และสัดส่วนซีโอดี (COD fractions) เพื่ออธิบายความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

1.3.4 การพัฒนาระบบ Two-stage CSTR ให้เป็นถึงปฏิกรณ์สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจาก ระบบ AnCoD ดำเนินการโดยใช้ชุดทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีพารามิเตอร์หลัก ในการวัดผลประกอบด้วยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ สมดุลมวล สารอาหาร (คาร์บอน, ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส) และการวิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์

1.3.5 การประเมินศักยภาพการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรมทั้งด้านเทคโนโลยีและ เศรษฐศาสตร์ มีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากระดับห้องปฏิบัติการจากการทดลองร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิ ย้อนหลังของโรงงาน 1 ปี (2566) ได้แก่ สมดุลอินทรีย์คาร์บอนในระบบบำบัดน้ำเสีย สมดุลพลังงาน ของโรงงาน และยังมีเปรียบเทียบการใช้พลังงานหมุนเวียนจากเชื้อเพลิงจากกากตะกอนส่วนเกิน ในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล 2 สถานการณ์ ได้แก่ (1) การผลิตเชื้อเพลิงขยะ และ (2) การผลิต เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปสู่ประเมินความเป็นไปได้เชิงเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1.4.1 การเพิ่มสัดส่วนของกากตะกอนทุติยภูมิในส่วนผสมกากตะกอนส่วนเกินส่งผลให้ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น

1.4.2 ระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนโดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ เป็นถึงปฏิกรณ์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม กระดาษรีไซเคิลได้มากกว่าระบบย่อยสลายร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียว

1.4.3 การนำกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิล กลับมาใช้ผลิตเป็นพลังงานหมุนเวียนมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีเพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพจาก กากตะกอนที่มีองค์ประกอบของเส้นใยสูง

1.5.2 เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของเสียประเภทกากตะกอนส่วนเกิน โดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้เป็นพลังงานทดแทนให้กับอุตสาหกรรมกระดาษรีไซเคิลและ อุตสาหกรรมใกล้เคียง