

การผลิตพลังงานชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบึงประดิษฐ์

Biofuel Production from Napier Grass through Constructed Wetland

วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์¹, ภาวิณี เพ็ชรนก², สุภาพร ขวาคำ²

Wichitra Singhirunnusorn¹, Pawinee Petchnok², Suphapon Khaokam²

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ได้มีแนวคิดในการนำน้ำเสียชุมชนซึ่งมีสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของพืชมาใช้ในการปลูกหญ้าเนเปียร์เพื่อผลิตพลังงานด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ การวิจัยอาศัยน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับการศึกษาดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของการออกแบบระบบการไหลของบึงประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการผลิตชีวมวลของหญ้าเนเปียร์ การศึกษาได้จำลองระบบบึงประดิษฐ์ขนาด 0.5 x 1.5 x 0.8 เมตร พื้นที่ 0.75 ตารางเมตร จำนวน 8 แปลง (รวมแปลงควบคุม) เพื่อศึกษาระบบการไหลของบึงประดิษฐ์ 2 รูปแบบ คือ การไหลของน้ำท่วมผิวชั้นกรอง (Free water surface, FWS) และการไหลของน้ำใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow, HSF) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบที่ 42 ลิตร/วัน ระยะเวลาการกัก 5 วัน ระยะเวลาการเดินระบบรวม 60 วัน ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ทุกๆ 5 วัน พร้อมการเก็บข้อมูลความสูงของต้นหญ้า และจำนวนต้นที่แตกใหม่ ในวันที่ 60 ของการเดินระบบจะทำการตัดหญ้าเนเปียร์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณชีวมวล ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลแบบ HSF มีความสูงเฉลี่ย 214 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับพืชในระบบการไหล FWS ที่มีความสูงเฉลี่ย 103 เซนติเมตร นอกจากนี้ระบบการไหล HSF ยังสามารถทำให้เกิดการแตกหน่อหรือลำต้นใหม่เฉลี่ย 3-4 ต้นต่อกอ จำนวนต้นหญ้าเฉลี่ย 21 ต้นต่อแปลง จากการเติบโตของหญ้าเนเปียร์ในแปลงทดลองทั้งสองระบบ พบว่าระบบ HSF สามารถผลิตมวลชีวภาพ (biomass) รวมของพืชคิดเป็น 12,402 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักสด) หรือ 4,153 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ระบบการไหลแบบ FWS สามารถผลิตมวลชีวภาพได้เพียง 1,394 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักสด) หรือ 654 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักแห้ง) เมื่อคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดจากปริมาณชีวมวลที่ผลิตได้จากระบบพบว่า ระบบ HSF สามารถผลิตมวลชีวภาพได้ถึง 74.36 ตันต่อไร่/ปี คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้ 6,692 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ระบบบำบัดทั้งสองรูปแบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ยกเว้นค่า BOD และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ยังไม่สามารถบำบัดได้ตามเกณฑ์ แต่สามารถบำบัดได้ถึง 80% และ 58% ตามลำดับ

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นสอง หญ้าเนเปียร์ พลังงานทดแทน ระบบบึงประดิษฐ์ การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

Lignocellulosic biomass from grass species has a great potential to become an alternative source to meet the demand on biofuels in the future. This research aims to utilize domestic wastewater from Mahasarakham University to produce high biomass from Napier grass (*Pennisetum purpureum*) through constructed wetland (CW). Two different flow regimes in CW were investigated, namely; Free Water Surface (FWS) and Horizontal Subsurface Flow (HSF). Eight CW plots (each plot dimension: 0.5 x 1.5 x 0.8 m³) were fed with wastewater influent at 42 L/d. providing 5-day hydraulic retention time. During the initial adjusting period (15 days), the plots were fed with the mixture of tap water and wastewater. For the following 45 days, the FWS and HSF were operated with sewage only. Influent and effluents from CWs were sampled in every 5 days and analyzed for BOD, SS, TP, TKN, and NO³⁻. Plant heights and number

¹ ผู้อำนวยการ, ² นิสิต, ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์สหวิทยาการการวิจัยเพื่อความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Director ² Student, Research Assistant, Multidisciplinary Research Center for Environmental Sustainability (MRCES), Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand



of tillers per plant were also recorded every 5 days. After 60 days of operation, Napier grass from each plot was cut and prepared for biomass analysis. The results show that the both CWs with FWS and HSF regimes demonstrate comparable high efficiency in treating wastewater. Except for BOD and TP, effluents discharged from the systems cannot meet the requirements; nevertheless, CWs provide quite high percent BOD and TP removal: 80% and 58%, respectively. In terms of plant growth, CW-HSF shows the higher potential to grow Napier grass compared to CW-FWS. Average plant height in CW-HSF plots is 214 cm. compared to 103 cm. in CW-FWS. The plots with HSF regime can also produce the highest tillers per plant (8 tillers/plants) with overall average 21 tillers /plot. As a result, CW-HSF produces higher biomass yield, approximately 12,402 kg (wet basis)/Rai (1,600 m²) or 4,153 kg (dry biomass)/ Rai. CW-FWS, on the other hand, produces lower yield of biomass 1,394 kg (wet basis)/Rai or 654 kg (dry biomass)/ Rai. From the study, it can be estimated that Napier grass grown in CW-HSF and wastewater reuse could produce 14.5 ton of wet biomass/year, converted to biogas yield of 6,692 m³/Rai/year.

Keywords: Second-generation biofuels, Napier grass, Renewable energy, Constructed wetland, Wastewater treatment.

บทนำ

เชื้อเพลิงชีวภาพกลายเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญในอนาคต ในช่วงแรกพลังงานชีวภาพส่วนใหญ่ผลิตมาจากพืชกลุ่มอาหาร เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น หรือที่รู้จักกันว่าเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นแรก (First-generation biofuel) ต่อมาเริ่มมีความตระหนักถึงประเด็นของผลกระทบต่อปริมาณและราคาพืชอาหารเหล่านี้ ตลอดจนความมั่นคงทางอาหาร จึงได้เกิดความสนใจในเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่สอง (Second-generation biofuel) ซึ่งได้แก่พืชที่ไม่ใช่เป็นอาหาร เศษวัสดุเหลือทิ้ง วัสดุเหลือใช้ทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม^{1,2} ในประเทศไทยได้มีนโยบายสนับสนุนให้มีการส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการผลิตพลังงานชีวภาพ โดยเฉพาะหญ้าเนเปียร์ เนื่องจากเป็นพืชพลังงานที่สามารถหมุนเวียนปลูกขึ้นใหม่ได้ตลอดเวลา หญ้าเนเปียร์สามารถนำมาผลิตพลังงานได้ 2 แนวทางคือ การเผาโดยตรงและการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและเอทานอล

การปลูกหญ้าเนเปียร์ครั้งหนึ่งๆ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 6-7 ปี และให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุดประมาณ 70-80 ตันน้ำหนัสดก/ปี/ไร่³ อย่างไรก็ตามการปลูกหญ้าเนเปียร์ที่ให้ผลผลิตที่สูงจะต้องอาศัยปริมาณน้ำและปุ๋ยที่มีแร่ธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส หากสามารถนำเสียชุมชน ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาใช้ในการเพาะปลูกพืชพลังงาน จะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตรวมทั้งได้ประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสียด้วยอีกทางหนึ่ง

งานวิจัยในครั้งนี้จึงเล็งเห็นประโยชน์ของการนำน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาปลูกพืชพลังงานอย่าง

หญ้าเนเปียร์ การศึกษาได้อาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในการเพาะปลูกหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง 1 โดยใช้ น้ำเสียของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม การวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลด้านการออกแบบระบบการไหลของบึงประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการผลิตชีวมวลของหญ้าเนเปียร์

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะของชีวมวลและการผลิตพลังงาน

สารชีวมวลมีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ต่างกัน ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน เป็นต้น วัสดุชีวมวลจะประกอบด้วยองค์ประกอบของแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันนี้ ทำให้ พลังงานที่ได้จากสารชีวมวลมีความแตกต่างกัน สารชีวมวลในกลุ่มลิกโนเซลลูโลส ที่มีเซลลูโลสและลิกนินจำนวนมากอย่างพืชตะกวดหญ้า พบว่าจะมีศักยภาพในการผลิตพลังงานชีวภาพที่ดี⁴ เซลลูโลสเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในพืช ส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ในพืชชั้นสูงทุกชนิด โดยมีองค์ประกอบสำคัญคือคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสจำนวน 1,000-10,000 โมเลกุลต่อกันเป็นโพลีเมอร์ (polymer)⁴ เฮมิเซลลูโลสพบได้มากเป็นอันดับ 2 รองจากเซลลูโลส จะอยู่ในพืชประมาณ 10-30%⁴ ซึ่งเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนินและเซลลูโลส สำหรับลิกนิน พบได้มากในพืชที่มีอายุมาก โดยจะพบอยู่ตามผนังเซลล์ของพืช และมีอยู่ในพืชประมาณ 5-30%⁴ ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน

ซ็อนและมีความแข็งแรงทางกล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนินจะเป็นองค์ประกอบหลักที่พบโดยทั่วไปในพีช และถือว่าเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพ

นอกจากคาร์บอนที่เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแล้ว กระบวนการดังกล่าวยังต้องการไนโตรเจนเพื่อเป็นธาตุอาหารของจุลินทรีย์ โปรตีนในพีชจึงเป็นแหล่งของไนโตรเจนและกำมะถันที่สำคัญ มีอยู่ประมาณ 1-13% ของน้ำหนักทั้งหมดของพีช⁴ โปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวลและพบว่ามีสัดส่วนน้อยกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินที่ปรากฏอยู่ในพีช

หญ้าเนเปียร์พืชพลังงาน

การวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งศึกษาศักยภาพของการปลูกหญ้าเนเปียร์ พันธุ์ปากช่อง 1 ด้วยน้ำเสียโดยระบบบึงประดิษฐ์หญ้าเนเปียร์สายพันธ์นี้เป็นลูกผสม เกิดจากการผสมข้ามระหว่างหญ้าเนเปียร์ยักษ์และหญ้าไข่มุก³ ลักษณะภายนอกประกอบด้วยลำต้นมีข้อและปล้องชัดเจน ลักษณะลำต้นและทรงต้นตั้งตรง มีใบเกิดสลับข้างกัน มีส่วนกาบใบหุ้มลำต้นไว้ใบและลำต้นอ่อนนุ่มโตเต็มที่สูงประมาณ 5 เมตร รากเป็นระบบรากฝอยแข็งแรง แผ่กระจายออกรอบลำต้นในรัศมีประมาณ 50-100 เซนติเมตร ลึก 30-50 เซนติเมตร เจริญเติบโตเร็ว แตกกอดี ทนแล้ง ปรับตัวได้ดีในดินหลายสภาพ ให้ผลผลิตต่อไร่สูงให้ผลผลิตตลอดทั้งปี มีปริมาณน้ำตาลในใบและลำต้นสูง ทำเป็นหญ้าหมักโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเสริมใดๆ ปลูกครั้งเดียวเก็บเกี่ยวต่อเนื่องได้นาน 6-7 ปี³

ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานนี้จะพิจารณาจากอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids; VS) ทั้งนี้ความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนของพืชพลังงานจะอยู่ที่ 120-500 m³/ton VS ทั้งนี้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่เลือกใช้เท่ากับ 210 m³/ton VS (ซึ่งเป็นค่าการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Single Stage) โดยจะทำการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเฉลี่ย 55% อย่างไรก็ตาม อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อตันสดของหญ้านั้นจะแปรเปลี่ยนตามความชื้นและปริมาณ VS ต่อตันหญ้าสด โดยพบว่าหญ้าที่ทำการตัดสดจะมีค่าความชื้น อยู่ที่ 80%⁴ จากงานวิจัยที่ผ่านพบว่าหญ้านเนเปียร์สด 1 ตัน จะสามารถนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 90 m³

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบึงประดิษฐ์

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกการกำจัดของเสียตามธรรมชาติ

โดยอาศัย ดิน น้ำ พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดของเสียในน้ำ การออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยระบบมีความยืดหยุ่นสูงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระบรทุกต่าง ๆ และสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารต่าง ๆ ได้ดี เนื่องจากระบบมีทั้งกระบวนการกำจัดมลสารในทางกายภาพ เคมี และชีวภาพรวมกันอยู่ ได้แก่ กระบวนการทำให้เกิดตะกอน (Sedimentation) การกรอง (Filtration) การดูดซับกับอนุภาคของดิน (Adsorption) รวมทั้งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดซับของพืชด้วย⁶

หากแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์ตามรูปแบบการไหลของน้ำเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิว (Free Water Surface, FWS) บึงประดิษฐ์แบบ FWS เป็นหนึ่งระบบที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะคล้ายกับบึงธรรมชาติ (Natural Wetlands) อาศัยหลักการของการไหลของน้ำบนผิวดินผานต้นพืชที่ปลูกไว้ภายในระบบ โดยน้ำเสียจะไหลแผ่กระจายไปโดยมีระดับน้ำขังบนผิวชั้นกรองที่ตื้น การกระจายน้ำให้ไหลผ่านระบบบึงประดิษฐ์มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแบบน้ำไหลบนผิวมาก⁶

2. ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรอง (Subsurface Flow System, SFS) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรอง (SFS) จะบำบัดน้ำเสียโดยการไหลของน้ำทั้งแนวราบ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ผ่านวัตถุตัวกลางที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ น้ำเสียจะไหลผ่านพืชที่มีแบคทีเรียยึดเกาะอยู่บริเวณบนผิวของวัตถุตัวกลางและรากพืช บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรอง (SFS) สามารถแบ่งย่อยออกเป็นอีก 2 รูปแบบ คือ

- การไหลตามแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow, HF) การออกแบบโดยทั่วไปประกอบด้วยแปลงที่ปลูกด้วยต้นพืชไหลพื้นน้ำ น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ผ่านตัวกลางที่มีความพรุนเช่น ดิน กรวดหรือทราย น้ำมีการไหลแนวนอน ในช่วงที่น้ำเสียไหลผ่านบริเวณชั้นรากพืช (Rhizophere) จะเป็นส่วนที่มีออกซิเจน และส่วนชั้นดินที่ลึกกว่าชั้นรากพืชจะเป็นส่วนที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน⁶

- การไหลตามแนวตั้ง (Vertical Subsurface Flow, VF) ระบบการไหลในแนวตั้งจะคล้ายกับระบบการไหลในแนวราบ แต่จะแตกต่างกันที่ระบบการไหลในแนวตั้งจะมีการกระจายน้ำเข้าแปลงบึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยต้นพืชไหลพื้นน้ำ การไหลซึมลงชั้นตัวกลางและการให้น้ำแบบครั้งคราว



(Intermittent loading) ซึ่งรูปแบบนี้จะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่ดินได้มากกว่าแบบการไหลตามแนวนอน⁶

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

แปลงทดลอง

การศึกษาได้จำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบประดิษฐ์ขนาด 0.5 x 1.5 x 0.8 เมตร พื้นที่ 0.75 ตารางเมตร จำนวน 8 แปลง (รวมแปลงควบคุม) เพื่อศึกษาระบบการไหลของบึงประดิษฐ์ 2 รูปแบบ คือ การไหลของน้ำท่วมผิวชั้นกรอง (Free water surface, FWS) และการไหลของน้ำใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow, HSF) โดยได้ทำการติดตั้งระบบบริเวณบ่อสูบน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดรวมของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตขามเรียง (Figure 1)



Figure 1 Constructed Wetlands Experimental Plots

แผนการทดลอง

การวิจัยได้จัดทำแปลงระบบจำนวนทั้งหมด 8 แปลง โดยทำการศึกษาระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำเสียแบบ FWS และ HSF รูปแบบละ 3 แปลงซ้ำ (รวม 6 แปลงทดลอง) และแปลงควบคุม 2 แปลงซึ่งอาศัยน้ำประปาในการทดลอง (Figure 2)

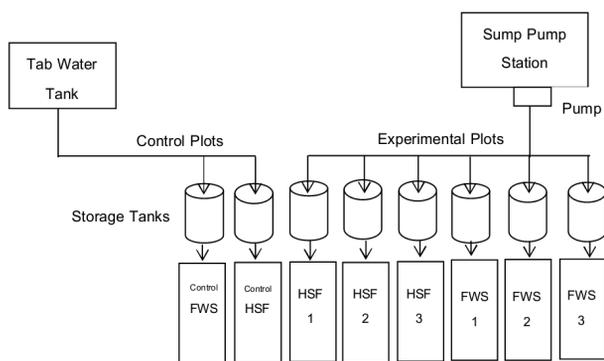


Figure 2 Experimental Scheme

การออกแบบแปลงทดลองระบบบึงประดิษฐ์

การออกแบบชั้นตัวกรองของระบบบึงประดิษฐ์การไหลบนผิวชั้นกรอง (FWS) ประกอบด้วยชั้นล่างของแปลงปูดินปนทราย ความหนา 0.40 เมตร ตามด้วยชั้นหินขนาด 3/4 นิ้ว ความหนา 0.20 เมตร ปรับระดับพื้นแปลงให้ราบเรียบสม่ำเสมอและมีระดับความชัน 1% ของพื้นที่แปลง ปล่อยน้ำเสียเข้าแปลงบนชั้นกรองเพียงจุดเดียวด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว สำหรับท่อรับน้ำออกจากระบบจะใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของแปลงสูงจากระดับผิวชั้นกรอง 5 เซนติเมตร (Figure 3)

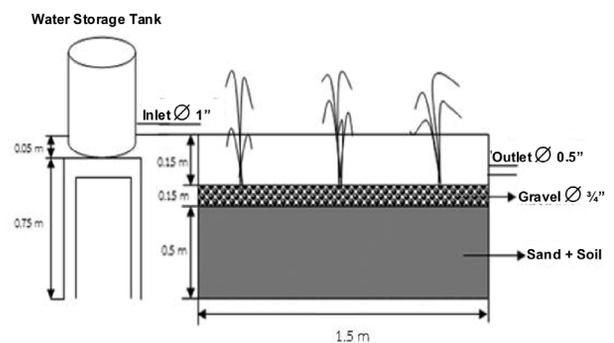


Figure 3 Free water surface, FWS

การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์การไหลใต้ผิวชั้นกรองแนวนอน (HSF) ชั้นตัวกรองประกอบด้วยหินขนาด 3/4 นิ้วใส่ในแปลงทดลองอยู่บริเวณช่วงต้นและท้ายของบ่อทดลองโดยมีความกว้างของชั้นหินด้านละ 0.15 เมตร ส่วนบริเวณที่ทำการปลูกพืชใส่ดินปนทราย โดยมีระดับความสูงของชั้นหินและชั้นดินเท่ากับ 0.7 เมตร ปรับระดับพื้นบ่อให้ราบเรียบสม่ำเสมอ และมีระดับความชัน 1% ของพื้นที่แปลงปล่อยน้ำเสียเข้าแปลงใต้ผิวชั้นกรองทางด้านบนใช้ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว วางใต้ชั้นกรอง ส่วนท่อรับน้ำออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว อยู่ด้านล่างของแปลง

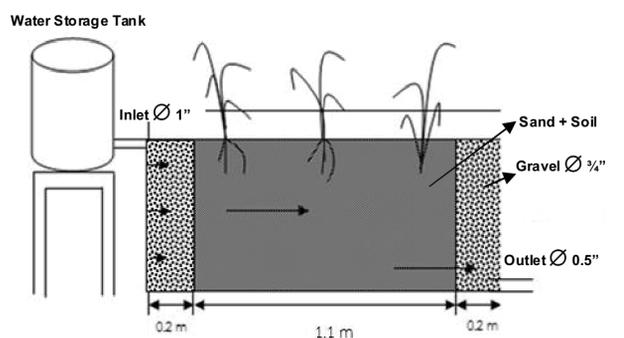


Figure 4 Horizontal Subsurface Flow (HSF)

การเตรียมพืชเพื่อทดลอง

การทดลองใช้หญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่อง 1 โดยได้คัดเลือกก่อนพันธุ์ที่สมบูรณ์นำมาปลูก ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงประมาณ 90-110 วัน โดยตัดส่วนลำต้นหญ้าเนเปียร์ที่เตรียมไว้เป็นท่อนพันธุ์อย่างน้อย 2 ข้อ (ยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร) ทำการเตรียมพืชโดยการเพาะต้นกล้าในถุงดำเป็นเวลา 45 วัน รดหญ้าด้วยน้ำประปาจนกว่ารากจะเกิดประมาณ 4 สัปดาห์ เมื่อหญ้าอายุครบ 1 เดือน ทำการตัดต้นให้มีความสูงที่เท่ากันประมาณ 10 เซนติเมตร ย้ายไปปลูกในแปลงทดลอง

ทำการปลูกหญ้าในแปลงทดลองจำนวน 5 ก่อ/แปลง ระยะห่างของก่อกอ 50 x 50 ซม. ในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ จะรดพืชด้วยน้ำเสียผสมน้ำประปาโดยเพิ่มสัดส่วนของน้ำเสียขึ้นเรื่อยๆ เพื่อเป็นการปรับสภาพพืชจนพืชสามารถเจริญเติบโตได้ เป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นทำการเดินระบบอีก 45 วัน ด้วยน้ำเสียเพียงอย่างเดียว

การสูบน้ำเสียเข้าระบบ

การทดลองจะใช้ปั๊มสูบน้ำเสียอัตโนมัติซึ่งติดตั้งเข้ากับระบบ โดยน้ำเสียจะถูกสูบขึ้นมาจากบ่อรวบรวมน้ำเสียมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ก่อนปล่อยสู่แปลงทดลอง การจ่ายน้ำไปยังแปลงทดลองจะกระทำเป็นช่วง 2 เวลา คือ ช่วงเช้า และช่วงเย็น อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบโดยประมาณ 42 ลิตร/วัน หลังจากเดินระบบอีก 45 วันด้วยน้ำเสียเพียงอย่างเดียว การศึกษาเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์แต่ละแปลงทุกๆ 5 วัน เพื่อวิเคราะห์ค่า BOD, SS, TP, TKN, NO³-N

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชและการผลิตชีวมวล

การศึกษาจะทำการติดตามการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ โดยบันทึกความสูงของหญ้าและการแตกต้นใหม่ (Tiller) นับจำนวนต้นที่แตกออกจากกอเดิม โดยพิจารณาจากต้นที่โผล่พ้นดินและต้นอ่อนที่เจริญเติบโตจากส่วนของตาของลำต้นที่อยู่เหนือดิน ที่มีใบเจริญเติบโตเต็มที่

เมื่อทำการเดินระบบจนครบ 60 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเก็บตัวอย่างหญ้าด้วยการตัดส่วนที่อยู่เหนือจากผิวดิน 10 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปซึ่งหาผลผลิตน้ำหนักสดโดยการชั่งแยกส่วนต้น ใบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำมาซึ่งหาน้ำหนักแห้ง คำนวณหาผลผลิตมวลชีวภาพ (Biomass) ที่ได้รับเป็นกิโลกรัมต่อไร่

ผลการศึกษา

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ด้วยหญ้าเนเปียร์ ที่มีรูปแบบการไหลแบบท่วมบนผิวน้ำกรอง (Free water surface, FWS) และการไหลใต้ผิวน้ำกรองในแนวนอน (Horizontal Subsurface Flow, HSF) พบว่าระบบ HSF มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดีกว่า (84.62% และ 58.33% ตามลำดับ) (Figure 5) ซึ่งสามารถสะท้อนความเหมาะสมของระบบที่เอื้อต่อการนำสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตนี้ไปใช้ โดยสังเกตได้ว่าพืชมีการเจริญเติบโตของใบที่ดี ใบมีลักษณะอวบ น้ำมีสีเขียวตลอดทั้งใบ นอกจากนี้การไหลของน้ำรูปแบบ HSF นี้ ยังเป็นการเติมน้ำแบบครั้งคราว ซึ่งจะช่วยให้ออกซิเจนให้แก่ชั้นตัวกลางได้มากขึ้น และการแพร่ของออกซิเจนผ่านตัวกลางยังจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่หยุดให้น้ำ⁶

ในขณะที่รูปแบบน้ำไหลท่วมบนผิวน้ำกรอง (FWS) มีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย 84.38% และประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท 46.68% สภาพน้ำขังบนผิวน้ำกรองอาจก่อให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่เอื้อต่อกระบวนการ Denitrification จึงทำให้สามารถกำจัดไนเตรทได้ดี

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทั้งสองระบบ พบว่ามีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ค่าพารามิเตอร์น้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้งสองรูปแบบ พบว่ามีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ยกเว้นค่าบีโอดี

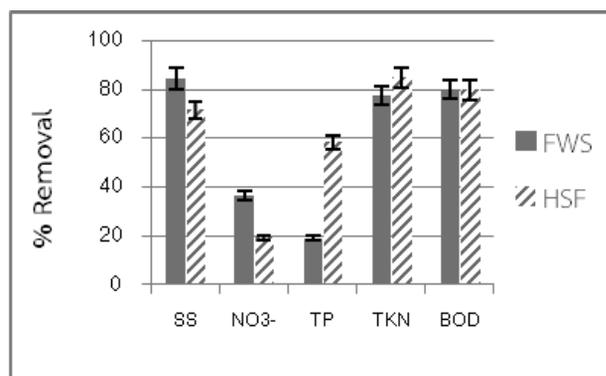


Figure 5 Removal Efficiencies of Different Systems

อิทธิพลของรูปแบบการไหลผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์

ความสูงของพืช

จากการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ด้านความสูงมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการ

ปลูก โดยเฉพาะรูปแบบ HSF มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดี โดยลักษณะทั่วไปของต้นหญ้าเนเปียร์ที่พบมีลักษณะของ ลำต้นตั้งตรงเป็นข้อปล้องสีเขียวอ่อน (ต้นอ่อน) ลำต้นสีแดงๆ ที่โคนต้น (ต้นแก่) การแตกลำต้นใหม่จะแตกออกจากตาข้อ ปล้องใบมีสีเขียวเข้ม ในขณะที่ลักษณะสีใบของรูปแบบ FWS มีสีเขียวและเหลืองอ่อน ลักษณะวิวัฒนาการการเติบโตของ หญ้าในแปลงทดลองแสดงดัง Figure 6 - Figure 8

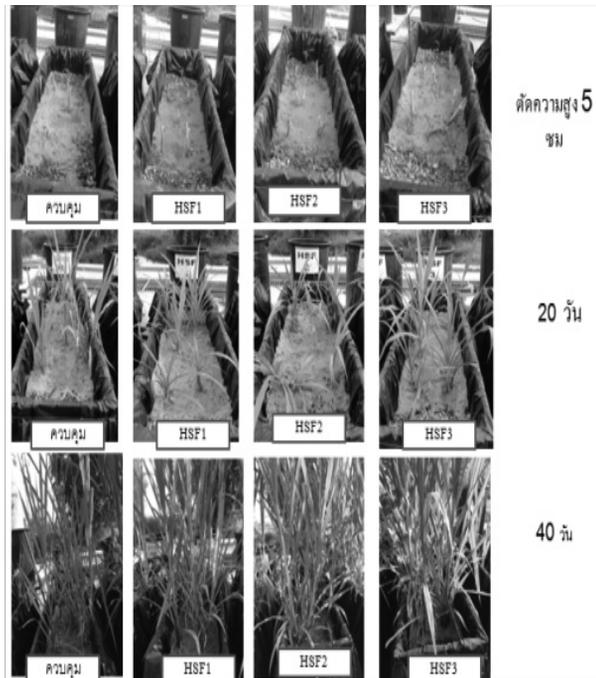


Figure 6 Plant Growths in HSF Systems

การศึกษา พบว่าช่วงระยะเวลา 5-30 วัน มีการเจริญเติบโตของพืชในสองระบบนั้นไม่แตกต่างกันมาก แต่หลังระยะเวลา 30 วัน หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบ HSF มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด มีแนวโน้มความสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้มีความสูงสุดก่อนตัดเฉลี่ยทุกต้น 214 เซนติเมตร (SD=11.10) ในขณะที่พืชในระบบ FWS หลังระยะเวลา 30 วัน มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ช้ามาก ค่อนข้างที่จะคง ความสูงสุดท้ายค่าเฉลี่ย 102.1 เซนติเมตร (SD=4.00) (Figure 9) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าหญ้าเนเปียร์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีสภาวะมีน้ำท่วมขัง จากการศึกษารูปได้ว่าการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่ปลูกในแปลงทั้งสองรูปแบบมีค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นที่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



Figure 8 Napier Grass at 60 Days before Harvested

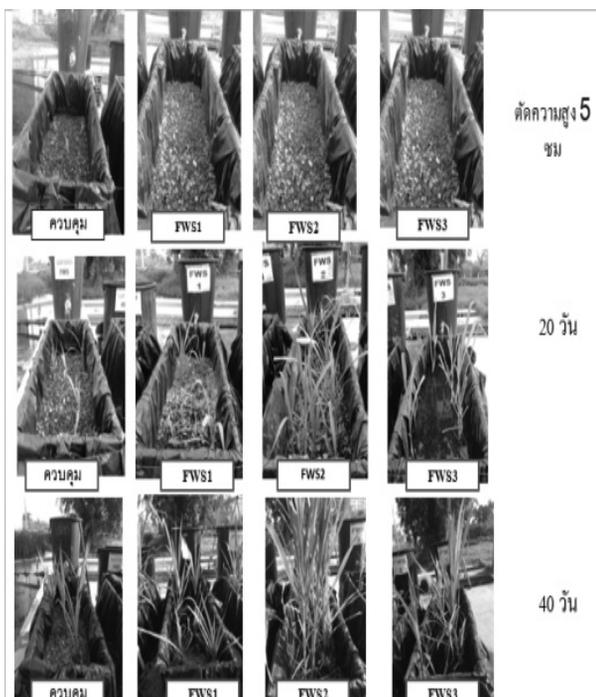


Figure 7 Plant Growths in FWS Systems

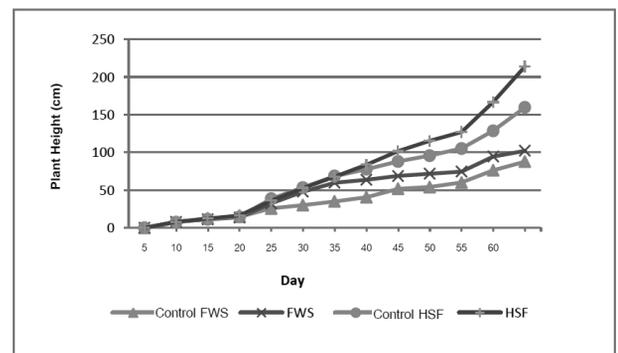


Figure 9 Plant Heights (cm) in Different Systems

Figure 9 แสดงถึงแนวโน้มการเจริญเติบโตของหญ้าเนเปียร์ตลอดระยะเวลา 60 วันของการเดินระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าน้ำเสียมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้า สำหรับระบบ FWS หลังจากระยะเวลาผ่านไป 20 วัน จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความสูงของพืชระหว่างแปลงควบคุมและแปลงทดลอง ในขณะที่ระบบ HSF

ในช่วง 35 วัน ไม่เห็นความแตกต่าง แต่จะเริ่มมีความเปลี่ยนแปลงหลังวันที่ 35 โดยแปลงที่ได้รับน้ำเสีย พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว น้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 20.90 mg/L พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในรูปของไนเตรท (NO_3^-) ที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้หญ้า เนเปียร์ในแปลงทดลอง HSF มีลักษณะใบสีเขียวสด มีลำต้นแข็งแรงและโตเร็ว

ความแตกต่างใหม่

การวิจัยได้ศึกษาการแตกลำต้นใหม่ของหญ้าเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโต Figure 10 เปรียบเทียบจำนวนต้นใหม่ที่แตกออกจากกอเดิม การศึกษาพบว่าในช่วง 5-10 วันแรก การแตกลำต้นใหม่ของทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างกัน หลังจากวันที่ 10 ระบบ HSF มีจำนวนลำต้นที่แตกออกจากกอเดิมเพิ่มขึ้นมากกว่าหญ้าในระบบ FWS โดยในวันที่ 60 ของการเดินระบบพบว่าหญ้าในระบบ HSF มีการแตกกอหรือลำต้นใหม่เฉลี่ย 3-4 ต้นต่อกอ จำนวนลำต้นแตกใหม่เฉลี่ย 21 ต้น/แปลง ในขณะที่ในแปลงระบบ FWS หญ้ามีการแตกกอใหม่ เฉลี่ย 14 ต้น/แปลง

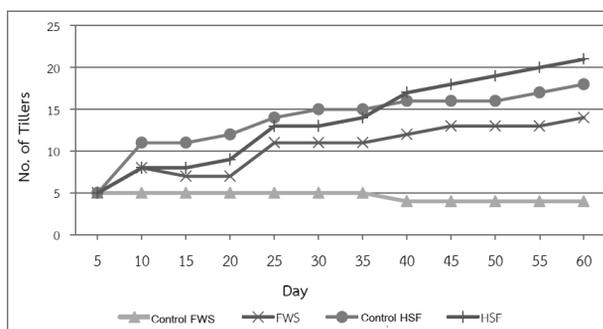


Figure 10 Numbers of Tillers in Different Systems

เมื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างความสูงและจำนวนการแตกกอของหญ้าที่ปลูกในแต่ละระบบ พบว่ารูปแบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (HSF) มีความเหมาะสมในการปลูกหญ้าเนเปียร์มากกว่า ส่งผลหญ้าเติบโตมีความสูงและจำนวนลำต้นใหม่แตกออกจากกอเดิมมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการนำธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์อย่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนในน้ำเสียจะช่วยให้พืชสร้างโปรตีนในการเจริญเติบโต และฟอสฟอรัสช่วยในการแตกกอให้ลำต้นมีลักษณะลำต้นแข็งแรงตั้งตรง เมื่อหญ้าเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

ผลผลิตปริมาณมวลชีวภาพ

การวิจัยพิจารณาผลผลิตมวลชีวภาพ (Biomass) ของหญ้าเนเปียร์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียบึงประดิษฐ์ทั้งสองรูปแบบ โดยได้วิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เพื่อนำไปสู่การประเมินหาศักยภาพในการผลิตพลังงานชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ดังกล่าว

ดังแสดงใน Figure 11 การศึกษาพบว่ารูปแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (HSF) สามารถผลิตชีวมวลน้ำหนักสดได้มากที่สุดประมาณ 12,401.77 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 4,152.88 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ระบบ HSF เป็นระบบที่มีการไหลของน้ำเสียผ่านตลอดทั้งแปลง ทำให้ชั้นผิวดินชุ่มชื้นมีปริมาณน้ำและธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและมวลชีวภาพสะสมที่สูง ในขณะที่ระบบ FWS สามารถผลิตชีวมวลได้ปริมาณ 1,393.77 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักสด) หรือ 654.22 กิโลกรัม/ไร่ (น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ กราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นชัดเจนถึงอิทธิพลของการใช้น้ำเสียในการปลูกหญ้าเนเปียร์ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงควบคุม

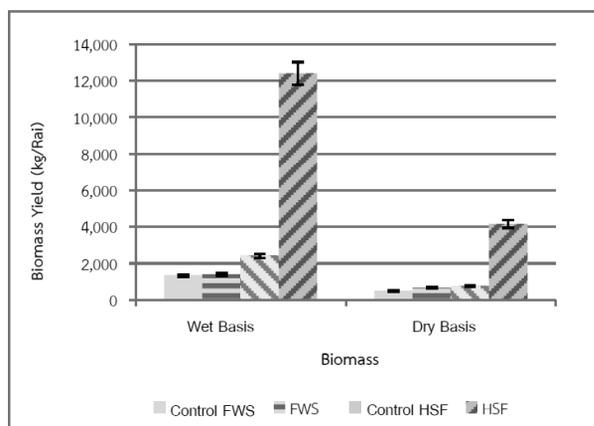


Figure 11 Biomass Yields from Different Systems

ผลผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การศึกษาได้อาศัยข้อมูลการวิเคราะห์หาปริมาณมวลชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ที่ผลิตจากระบบบึงประดิษฐ์ทั้งสองรูปแบบ เพื่อใช้ประมาณการณ์ศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปของก๊าซชีวภาพ สมมุติฐานในการประมาณการจะพิจารณาจากหญ้าเนเปียร์สด ปริมาณ 1 ตัน เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วนำมาผ่านกระบวนการหมักจะเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะสามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 90 ลบ.ม⁷



Table 1 แสดงประมาณการณ์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่จะสามารถผลิตได้จากระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 รูปแบบ

Table 1 Biogas Produced from Napier Grass through Constructed Wetland

CW Flow Regime	Biomass Yield (Wet basis)		Biogas Production m ³ /year
	(kg/Rai)	(Ton/Rai/year)	
Control- FWS	1,323	7.9	714
FWS	1,465	8.8	790
Control- HSF	2,411	14.5	1,301
HSF	12,395	74.4	6,692

ระบบ HSF สามารถให้ผลผลิตมวลชีวภาพน้ำหนักรวมมากที่สุดคือ 74.4 ตัน/ไร่/ปี คิดเป็น 8 เท่าของปริมาณชีวมวลที่ผลิตจากระบบ FWS (8.8 ตัน/ไร่/ปี) โดยพิจารณาที่รอบการเก็บเกี่ยว 6 ครั้ง/ปี ส่งผลให้ระบบ HSF ที่ปลูกหญ้าเนเปียร์สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 6,692 ลบ.ม./ปี หรือคิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 6,860-7,840 ลบ.ม./ไร่/ปี สามารถผลิตเป็นก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed Bio Gas : CBG) ใช้ทดแทนก๊าซ LPG และก๊าซ NGV ได้ประมาณ 3,118 – 3,563 กก./ปี

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาพบว่ารูปแบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์คือ ระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำเสียใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (HSF) ระบบดังกล่าวสามารถผลิตชีวมวลที่มีปริมาณสูงถึง 12,395 กก./ไร่ หากพิจารณาการเพาะปลูกที่ 6 รอบการเก็บเกี่ยว/ปี จะพบว่าระบบ HSF สามารถผลิตชีวมวลสำหรับผลิตพลังงานชีวภาพได้ถึง 74.4 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้เท่ากับ 6,692 ลบ.ม./ไร่/ปี

นอกจากระบบดังกล่าวจะสามารถผลิตชีวมวลปริมาณมากแล้ว ระบบบำบัดน้ำเสียแบบการไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (HSF) นี้ ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ต่ำกว่า รูปแบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรอง (FWS)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ผู้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษา ระดับปริญญาตรี ประจำปีงบประมาณ 2557 ภายใต้โครงการทุนอุดหนุนการวิจัยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนพลังงานทดแทน

เอกสารอ้างอิง

1. IEA, International Energy Agency. (2010) Sustainable production of second-generation biofuels. Potential and perspectives in major economies and developing countries. Information paper; 2010. www.iea.org (Accessed, May, 2015).
2. Dong Liu, Xu Wu and Jie Chang (2012). Constructed wetlands as biofuel production systems. Nature Climate Change, 2, 190-194.
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 กระทรวงพลังงาน ศูนย์บริการข้อมูลโครงการศึกษาวิจัยต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1: 2556.
4. สุธรรม ปทุมสวัสดิ์. (2546). พลังงานหมุนเวียน ตอน พลังงานชีวมวล. พัฒนาเทคนิคศึกษา, 16(48), 1-7.
5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). คู่มือการลงทุนโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน. โครงการศึกษา วิจัย ต้นแบบวิสาหกิจชุมชนพลังงานสีเขียวจากพืชพลังงาน (ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน). พิมพ์ครั้งที่ 1: 2556
6. พันธุ์ชิตา ปิงชัย. (2554). การกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
7. จินดาพร สืบข้าเพชร. (2552). การผลิตเอทานอลจากหญ้าเนเปียร์ลูกผสม โดยใช้ยีสสายพันธุ์ Saccharomyces Cerevisiae [การศึกษาอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. มหาลัยขอนแก่น: สาขา วิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัยขอนแก่น