บทที่ 5

บทวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ ได้ต้นแบบจำลองพลวัตระบบสำหรับการติดตามตรวจสอบการกำจัดไนโตรเจนของบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ เพื่อทดสอบใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการกำจัดไนโตรเจนของบ่อบำบัด ฯ ที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสิ่งแวดล้อม โดยคาดว่าแบบจำลองนี้จะสามารถใช้ร่วมในการติดตามตรวจสอบ เพื่อช่วยเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงการทำงานของบ่อบำบัด ซึ่งจากผลการศึกษามีข้อสังเกตที่สามารถอภิปรายได้ ดังนี้

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

การพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการกำจัดไนโตรเจนเพื่อสร้างแบบจำลอง ต้องการตัวแปรที่มีสมการ ค่าเชิงตัวเลขของสัดส่วนหรือความเข้มข้นในบ่อบำบัด หรือในสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มาจากหลายแหล่ง ทั้งจากทฤษฎีที่ใช้พัฒนาโครงสร้างเริ่มต้นของแบบจำลองเพื่อให้ครอบคลุมตัวแปร ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน และข้อมูลการศึกษาในพื้นที่จริง เพื่อปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง แบบจำลองที่ได้จึงมีลักษณะการคำนวณจากหลายสมการร่วมกับการตั้งสมมติฐานเพื่อการประมาณค่าตัวแปรบางส่วนในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากขาดข้อมูลเชิงตัวเลขในพื้นที่ศึกษาที่เพียงพอต่อโครงสร้างแบบจำลองที่พัฒนามาจากข้อมูลเอกสาร ตำราทางทฤษฎี ดังจะเห็นๆได้จากรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เทศบาลนครหาดใหญ่, 2545 พบว่ามีการตรวจวัดค่าไนโตรเจนในรูปของ NO_3-N เพียงรูปเดียว ส่วนในรายงานโครงการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้พืชน้ำร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียชุมชน กรณีศึกษา : เทศบาลนครหาดใหญ่ (ธนิยา, 2545) พบว่ามีการตรวจวัดค่าไนโตรเจนรูป TKN (Org N และ NH_4^+-N & NH_3-N) และเป็นการศึกษาในบ่อจำลอง หรือแม้แต่ข้อมูลจากการศึกษาในพื้นที่โดยตรง ดังกรณีงานวิจัยของ Kanabkaew, 2003 ที่ศึกษาการลดลงของไนโตรเจนในบ่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้พืชน้ำ โดยมีกรณีศึกษาในพื้นที่บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ ของเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งการศึกษาเน้นไปที่ความสามารถของพืชลอยน้ำในการบำบัดไนโตรเจน แต่ในความเป็นจริงมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องมากกว่านั้น

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยในปีการศึกษาเดียวกันกับของ Kanabkaew ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจน ซึ่งพัฒนาโครงสร้างและความสัมพันธ์ ต้องเพิ่มองค์ประกอบ/ตัวแปรในแบบจำลอง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Roberts, 2001 ที่ตัวแปรและค่าในแบบจำลองมาจากความสัมพันธ์ทางกายภาพ ชีวภาพและเคมีจากข้อมูลทางทฤษฎี ดังนั้นแบบจำลองไนโตรเจนที่พัฒนาขึ้นก่อนทดสอบค่าจริงจึงครอบคลุมข้อมูลทางทฤษฎีที่สามารถวิจัยเอกสารเชิงตัวเลขได้ ทำให้ความสามารถของการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพของบ่อในแบบจำลองสามารถจำแนกได้หลายวิธี (เท่าที่มีกล่าวถึงทางทฤษฎี) ซึ่งรายละเอียดในแง่ของการจัดการทั้งระบบที่ครอบคลุมตัวแปร จะดีกว่าการพิจารณาในงานวิจัยของ Kanabkaew แต่ทั้งนี้ผลจากงานวิจัยของ Kanabkaew สามารถนำมาเพิ่มเติมในแบบจำลอง ได้แก่ สัดส่วนการกำจัดไนโตรเจนโดยพืชลอยน้ำ เป็นต้น ทำให้ให้แบบจำลองในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษามากขึ้น

5.2 โครงสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างแบบจำลองพลวัตระบบที่ศึกษาความสัมพันธ์ทางชีวเคมีของ Randall L. Roberts, 2001 เป็นแบบอย่างในการพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างแบบจำลองจึงตัวแปรเชิงปริมาณต่าง ๆ ของไนโตรเจนแต่ละรูปที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงในลักษณะการเปลี่ยนรูปสอดคล้องกับตัวแปรเชิงปริมาณ ในภาพประกอบ 16 ในงานวิจัยของ Roberts ที่เป็นการศึกษา ethene รูปต่าง ๆ โดยเชื่อมจาก ethene รูป PCE เปลี่ยนรูปอย่างต่อเนื่องจนอยู่ในรูป ethene นอกจากนี้ในแบบจำลองของ Roberts ยังคำนึงถึงแบบจำลองย่อยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แบบจำลองของชีวมวลต่าง ๆ (เช่น hydrogentrophic biomass และ dechlorination biomass เป็นต้น) ซึ่งหากเปรียบเทียบกับแบบจำลองไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ เช่นเดียวกับแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ และแบบจำลองของไนโตรเจนบางส่วนที่มีความสำคัญเป็นรอง โดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองไนโตรเจนในระบบหลัก เช่น แบบจำลองของ fermentation และแบบจำลองกายภาพของบึงประดิษฐ์ เป็นต้น

แม้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีตัวแปรเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันอย่างซับซ้อน ซึ่งอาจทำให้เข้าใจได้ยาก แต่การที่โครงสร้างแบบจำลองมีตัวแปรที่ครอบคลุมในทางทฤษฎีของไนโตรเจนและตัวแปร ปัจจัยในพื้นที่ ส่งผลให้สามารถสังเกตและทำความเข้าใจได้ครอบคลุมปัจจัยมากกว่าโครงสร้างทั่วไป ท่อตัดทอนองค์ประกอบให้ง่าย

5.3 การทดสอบสมมติฐานและทดสอบด้วยข้อมูลจริง

5.3.1 ผลจากการทดสอบสมมติฐาน

ผลจากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ โดยที่หากความสัมพันธ์ใดมีข้อมูลในรูปสมการ และค่าในรายละเอียดรองรับตัวแปร ปัจจัยที่ค่อนข้างครอบคลุม จะส่งผลให้เส้นกราฟที่พิจารณานั้น มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงสอดคล้องตามสมมติฐานทั้งในทฤษฎี และค่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถแสดงผลได้สอดคล้องกับสมมติฐาน ภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลที่นำมาใช้ มีความน่าเชื่อถือและแบบจำลองผ่านการทดสอบและปรับแก้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พยายามปรับแก้แบบจำลองให้สอดคล้อง และครอบคลุมสมมติฐานในระดับหนึ่ง ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้จริงในพื้นที่ ซึ่งในอนาคตจะได้มีการปรับปรุงในรายละเอียดปลีกย่อยอีกครั้งหนึ่ง จากงานวิจัยในอนาคตที่อาจมาพัฒนาต่อจากงานวิจัยนี้

อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ในแบบจำลองบางส่วนที่ขาดข้อมูลเชิงสมการรองรับ ก็ยังมีมีข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นช่วงค่า ซึ่งนำมาพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชัน IF THEN ELSE และฟังก์ชัน maximum และ minimum ที่เป็นชุดคำสั่งในโปรแกรม Vensim สร้างเป็นฟังก์ชันเงื่อนไขทำให้ผลที่ได้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในช่วงค่าดังกล่าว ได้อย่างสอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎี (เช่น แนวโน้มในภาพประกอบภาคผนวก ฉ 1-3)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ในแบบจำลองได้พัฒนาลึกไปถึงสมมติฐานที่นอกเหนือจากที่กล่าวถึงทางทฤษฎี แต่เป็นปัจจัยที่มีการกล่าวถึงในเอกสาร ตำรา และงานวิจัยบางเล่ม เช่น ความสัมพันธ์ของพืชต่อปฏิกิริยา denitrification ความสัมพันธ์ของความชื้นในตะกอนต่อพื้นที่ตะกอนที่มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการออกซิเจน และความสัมพันธ์ของพืชต่อโอกาสที่ Org N จากตะกอนลอยตัวขึ้นสู่ชั้นน้ำ ที่งานวิจัยนี้ได้พิจารณาไว้ในโครงสร้างแบบจำลองของงานวิจัยนี้แล้วทั้งสิ้น จากการทดสอบสมมติฐานเหล่านี้ พบว่าแบบจำลองสามารถส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทุกกรณีสอดคล้องกับสมมติฐาน แต่ความสัมพันธ์เหล่านี้ไม่ได้นำไปใช้ในการพิจารณาในขั้นการทดสอบข้อมูลจริงและจำลองสถานการณ์ ทั้งนี้เนื่องจากขาดข้อมูลเชิงตัวเลขจริงในค่าดังกล่าวที่จะแทนค่าตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลจุดนี้สามารถขยายหรือพัฒนาเพิ่มเติมเป็นงานวิจัย ซึ่งค่าที่ได้จะนำมาปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้ แบบจำลองที่นำมาใช้ในการติดตามตรวจสอบ และวางแผนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.3.2 ผลจากการทดสอบด้วยข้อมูลจริง

ผลการทดสอบข้อมูลจริงเริ่มต้น พบว่ารูปกราฟไม่เป็นไปตามรูปแบบแนวโน้มตามข้อมูลจริง จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้โดยการเพิ่ม – ลดอิทธิพลของความสัมพันธ์บางกลุ่มจากค่าทางทฤษฎี ซึ่งการปรับแก้ใช้วิธีการลองผิดลองถูกโดยการทดลองแทนค่าระดับต่าง ๆ ในตัวแปรที่มีการกล่าวถึงทางทฤษฎีแต่ขาดข้อมูลเชิงตัวเลขรองรับ จนได้ผลที่มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลจริง ทำให้เชื่อมั่นได้ระดับหนึ่งว่า ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีระดับหนึ่ง

5.4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว และการสร้างสถานการณ์จำลอง

ผลของการทดสอบความอ่อนไหว ทำให้เราทราบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน พบว่าตัวแปรกลุ่มที่เข้าสู่บ่อ ได้แก่ ไนโตรเจนรูป Org, NH_4^+, NO_2^- และ NO_3^- สาหร่าย และ pH ส่วนตัวแปรกลุ่มที่เกิดขึ้นในบ่อ ได้แก่ สาหร่ายและพืชลอยน้ำ เหล่านี้เป็นตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูง ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นอาจช่วยย้ำความสำคัญของตัวแปรดังกล่าว ให้เราตระหนักถึงความสำคัญ และหาวิธีการจัดการ ซึ่งเมื่อนำตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงมาสร้างเป็นสถานการณ์จำลองทั้ง 2 สถานการณ์ จะช่วยให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรไนโตรเจนต่าง ๆ ได้ชัดเจนขึ้น ตลอดจนทราบถึงผลการจัดการได้เมื่อสร้างสถานการณ์ที่เป็นการจัดการดังเช่นในสถานการณ์จำลองที่ 2 ซึ่งอธิบายได้ว่า ปัญหาค่า SS ที่สูงในน้ำออกจากระบบบำบัด มีแนวทางแก้ไขอย่างหนึ่ง คือการจัดการกับพืชลอยน้ำที่ตายลงในบ่อ โดยการลอกขึ้นจากบ่อ และอีกส่วนหนึ่งที่อาจมาจากสาหร่ายที่เจริญเติบโตดี จัดการได้โดยปลูกพืชลอยน้ำคลุมเต็มบ่อ ซึ่งจะทำให้สาหร่ายไม่สามารถเติบโตได้ และพืชลอยน้ำที่เต็มบ่ออาจเพิ่มความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนให้เพิ่มสูงขึ้น

5.5 เปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองกับผลของงานวิจัยอื่น ๆ

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ เปรียบได้กับเครื่องมือที่ได้พยายามรวมความสัมพันธ์ทั้งหมดของการกำจัดไนโตรเจนที่กล่าวถึงทั้งในทฤษฎี และปรับแก้ให้สอดคล้องกับปัจจัยที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำของเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยคาดว่าจะสามารถใช้ร่วมกับการติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพของบ่อได้ ซึ่งรูปแบบการติดตามตรวจสอบโดยทั่วไปที่ทางเทศบาลนครหาดใหญ่ปฏิบัติอยู่ คือ การตรวจวัดคุณภาพน้ำเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้ทราบค่า ณ เวลาที่เก็บ แต่อาจไม่เห็นผลของความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันใน

ภาพรวมจากปัจจัยต่าง ๆ โดยค่าไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลงอาจเป็นผลมาจากตัวแปรอื่น ๆ หรือปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวแปรอื่น ๆ อาจมีสาเหตุมาจากไนโตรเจน แต่การใช้แบบจำลองนี้ในการสร้างสถานการณ์จำลอง จะสามารถแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ เช่น ค่าไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสาหร่าย (ความสัมพันธ์ของภาพประกอบ 49 (หน้า 106) กับ 53 (หน้า 108)) และค่าของตัวแปรพืชที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (ความสัมพันธ์ของภาพประกอบ 61 (หน้า 115) กับ 57 และ 58 (หน้า 113)) เป็นต้น

โดยภาพรวมจากการพัฒนาเชื่อว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้ควบคู่ไปกับการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ของทางเทศบาลได้ในระดับหนึ่ง เพราะครอบคลุมตัวแปรทางทฤษฎีของการจัดการไนโตรเจนทุกรูป และปรับแก้ให้สอดคล้องกับพื้นที่แล้ว แต่ในอนาคตอาจต้องมีการปรับปรุงในบางตัวแปรตามที่ได้กล่าวไป โดยใช้ได้ทั้งการแทนค่าแล้วศึกษาผลการเปลี่ยนแปลง หรืออาจใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่สนใจ ซึ่งข้อมูลจากการติดตามตรวจสอบของทางเทศบาลหากมีการเก็บอย่างต่อเนื่องในระยะยาว และครอบคลุมตัวแปรที่ต้องตรวจวัดค่าในแบบจำลอง ข้อมูลชุดนี้สามารถนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลที่ดีในการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองได้ รวมไปถึงข้อมูลในลักษณะผลของงานวิจัยของ Kanabkaew เป็นข้อมูลทางทฤษฎีที่ตรงกับความต้องการของแบบจำลอง หากมีการศึกษาที่ครอบคลุมกว่านี้ (สัดส่วนของไนโตรเจนที่ลดลงด้วยกระบวนการอื่น ๆ นอกจากการตกตะกอน ถูกกำจัดในรูปก๊าซ และปล่อยออกจากบ่อ) จะช่วยให้แบบจำลองได้ข้อมูลที่มีการศึกษารายละเอียดของการกำจัดไนโตรเจนจากพื้นที่จริงทั้งหมด ซึ่งไม่ต้องผ่านสมมติฐานจากทฤษฎี หรือค่าจากการวิจัยในพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งจะช่วยให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์มากขึ้น