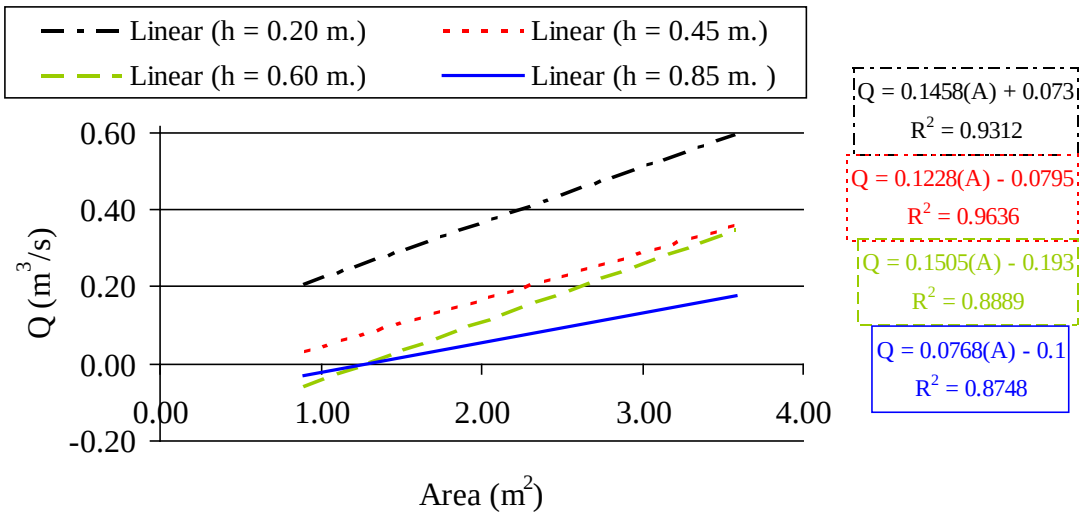
บทที่ 4

ผลการศึกษา

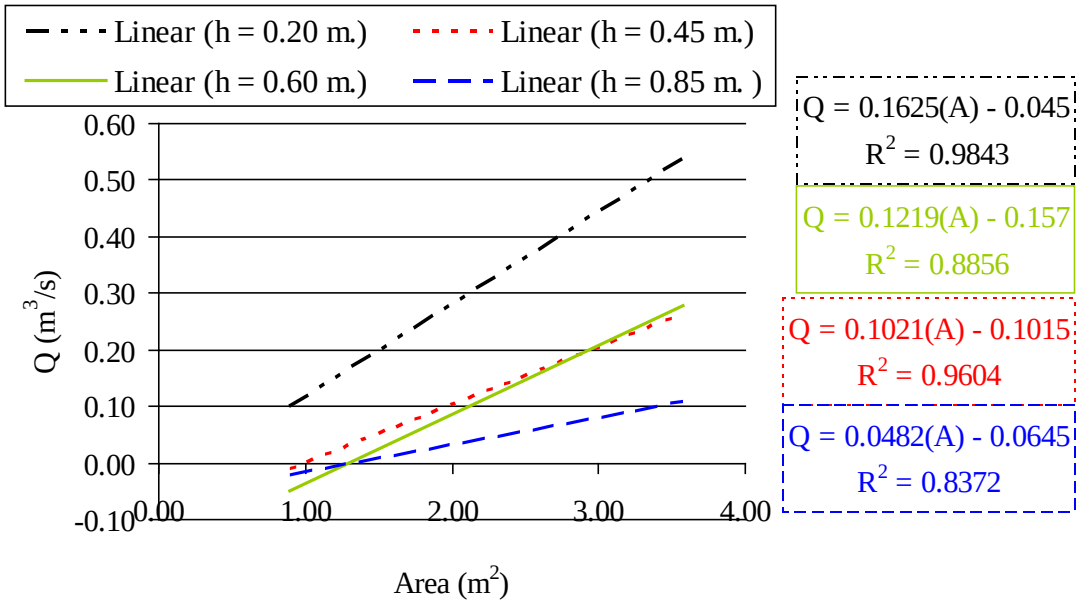
4.1 การประเมินศักยภาพของกังหันลมแกนตั้งที่ทำจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพของกังหันลมแกนตั้งซึ่งทำจากเศษวัสดุเหลือทิ้งหรือถังขยะพลาสติก การศึกษาจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบกังหันลม (A) กับอัตราการสูบน้ำ (Q) จากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำ และเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (v) กับอัตราการสูบน้ำ (Q) นอกจากนี้การศึกษายังได้หาความสัมพันธ์ของระยะดูด (h) กับอัตราการสูบน้ำ (Q) ด้วยการปรับระดับระยะดูดน้ำคือ h4 = 0.85 m., h3 = 0.60 m., h2 = 0.45 m., h1 = 0.20 m. ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง A (m^2) กับ Q (m^3/s) ด้วยการปรับขนาดของใบกังหันลมจาก A1 = 0.895 m^2, A2 = 1.790 m^2, A3 = 2.685 m^2, และ A4 = 3.580 m^2 ตามลำดับ พบว่า กังหันลมแกนตั้งสามารถสูบน้ำได้มากขึ้นตามขนาดของใบกังหันลมที่เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 4.1 นั่นคืออัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของใบกังหันดังสมการ Q = 0.1458 (A) + 0.073 ด้วย R^2 = 0.9312, Q = 0.1228 (A) - 0.0795 ด้วย R^2 = 0.9636, Q = 0.1505 (A) - 0.193 ด้วย R^2 = 0.8889 และ Q = 0.0768 (A) - 0.1 ด้วย R^2 = 0.8748 ที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมเท่ากับ 2.893 m/s และระยะดูดน้ำแปรเปลี่ยนจาก 0.20 m, 0.45 m, 0.60 m และ 0.85 m ตามลำดับ



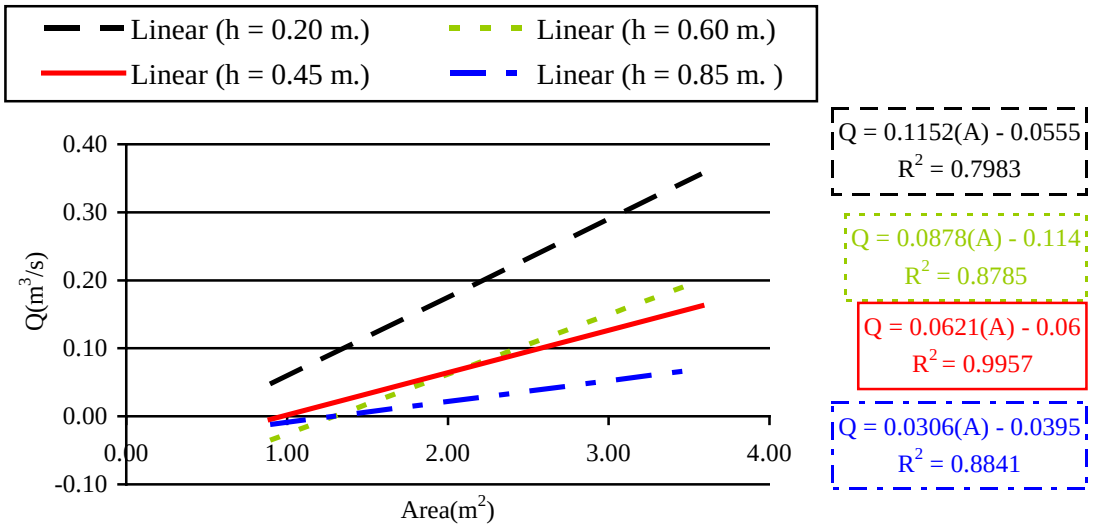
ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบกังหันลมแกนตั้งกับอัตราการสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำที่ระยะดูดต่างๆ ด้วยความเร็วลม 2.893 m/s

นอกจากนี้ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของใบกังหันดังสมการ Q = 0.1625 (A) - 0.045 ด้วย R^2 = 0.9843, Q = 0.1021 (A) - 0.1015 ด้วย R^2 = 0.9604, Q = 0.1219 (A) - 0.157 ด้วย R^2 = 0.8856 และ Q = 0.0482 (A) - 0.0645 ด้วย R^2 = 0.8372 ที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมเท่ากับ 2.573 m/s และระยะดูดน้ำปรับเปลี่ยนจาก 0.20 m, 0.45 m, 0.60 m และ 0.85 m ตามลำดับดังภาพประกอบ 4.2 นั่นคืออัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งจะแปรผกผันกับระยะดูดน้ำของกังหัน



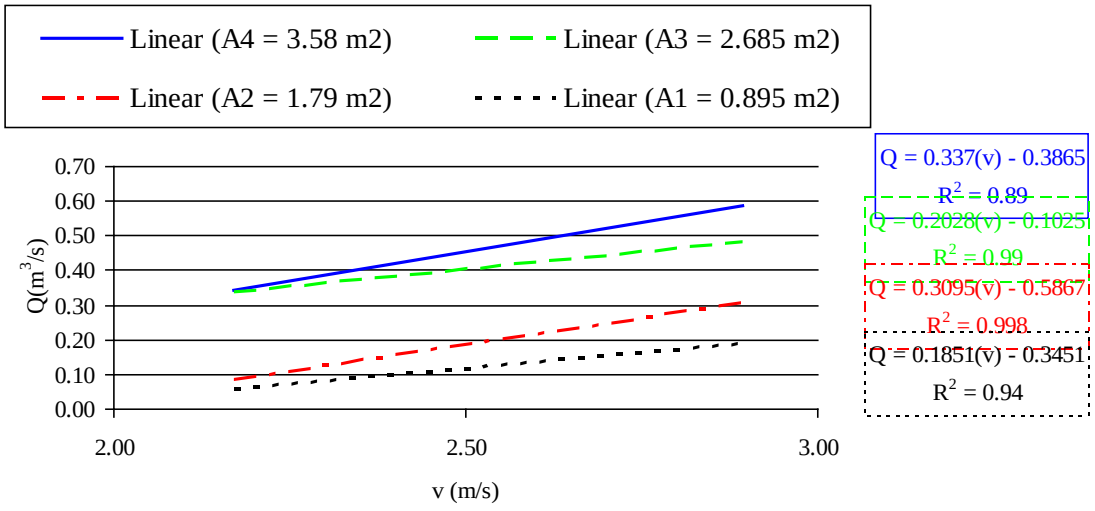
ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบกังหันลมแกนตั้งกับอัตราการสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำที่ระยะดูดต่างๆ ด้วยความเร็วลม 2.573 m/s

อัตราการสูบน้ำจะเป็นสัดส่วนหรือแปรผันตรงกับขนาดของใบกังหันลมแกนตั้งดังสมการ Q = 0.1152 (A) - 0.0555 ด้วย R^2 = 0.7983, Q = 0.0621 (A) - 0.06 ด้วย R^2 = 0.9957, Q = 0.0878 (A) - 0.114 ด้วย R^2 = 0.8785 และ Q = 0.0306 (A) - 0.0395 ด้วย R^2 = 0.8841 ที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมเท่ากับ 2.170 m/s และระยะดูดน้ำปรับเปลี่ยนจาก 0.20 m, 0.45 m, 0.60 m และ 0.85 m ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4.3. ซึ่งนั่นแสดงว่าอัตราการสูบน้ำจะเป็นสัดส่วนผกผันหรือแปรผกผันกับระยะดูดน้ำ นั่นคือยิ่งระยะดูดน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ได้จากการสูบน้ำก็จะลดลงในเวลาที่เท่ากัน



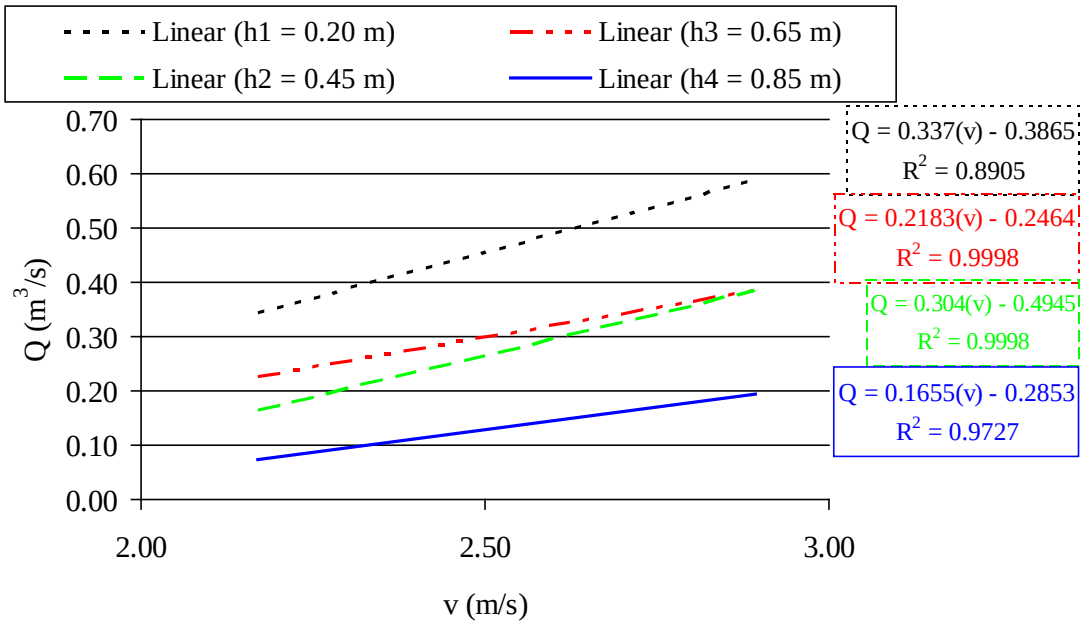
ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบกังหันลมแกนตั้งกับอัตราการสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำที่ระยะดูดต่างๆ ด้วยความเร็วลม 2.170 m/s

นอกจากนี้ผลการศึกษายังได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง v (m/s) กับ Q (m^3/s) ซึ่งความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งที่ทำการศึกษานี้ ดังสมการ Q = 0.337 (v) – 0.3865 ด้วย R^2 = 0.89, Q = 0.2028 (v) – 0.1025 ด้วย R^2 = 0.99, Q = 0.3095 (v) – 0.5867 ด้วย R^2 = 0.998 และ Q = 0.1851 (v) – 0.3451 ด้วย R^2 = 0.94 ด้วยการปรับขนาดของใบกังหันลมจาก 3.58 m^2, 2.685 m^2, 1.79 m^2 และ 0.895 m^2 ตามลำดับ ด้วยระยะดูดน้ำต่ำสุดที่ระยะดูด 0.20 m ดังภาพประกอบ 4.4.



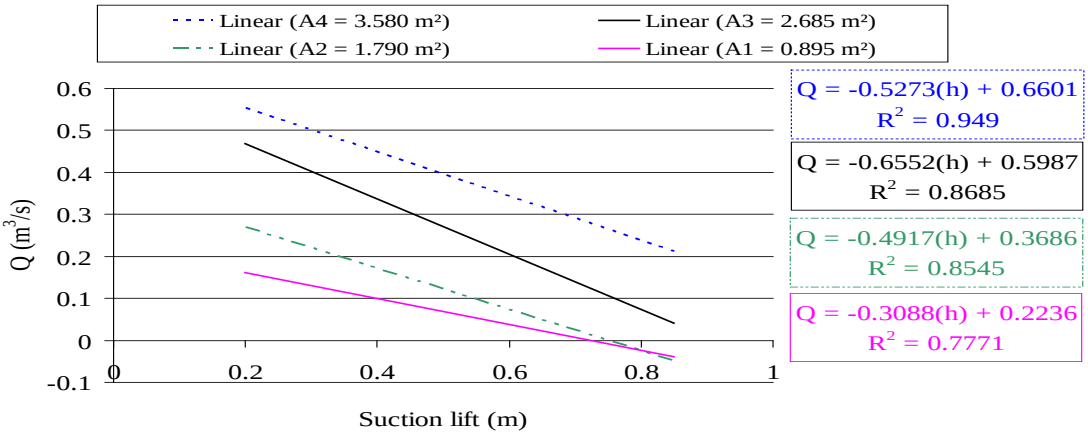
ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอัตราการสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำที่ขนาดต่างๆของใบกังหันลมด้วยระยะดูดน้ำต่ำสุด 0.20 เมตร

นั่นคือผลการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการสูบน้ำ, ความเร็วลม, ขนาดของใบกังหันและระยะดูดน้ำ แสดงว่าอัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งที่ทำการศึกษานี้จะแปรผันตรงกับขนาดของใบกังหันลมและความเร็วลม ซึ่งผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง v (m/s) และ Q (m^3/s) พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมจะมีผลโดยตรงทำให้อัตราการสูบน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วยดังสมการ Q = 0.337 (v) – 0.3865 ที่ R^2 = 0.8905, Q = 0.304 (v) – 0.4945 ที่ R^2 = 0.9998, Q = 0.2183 (v) – 0.2464 ที่ R^2 = 0.9998 และ Q = 0.1655 (v) – 0.2853 ที่ R^2 = 0.9727 ด้วยระยะดูดน้ำ 0.20 m, 0.45 m, 0.60 m และ 0.85 m ตามลำดับ ที่ขนาดของใบกังหันลมแกนตั้งสูงสุดเท่ากับ 3.58 m^2 ดังภาพประกอบ 4.5 ในขณะที่อัตราการสูบน้ำจะแปรผกผันระยะดูดน้ำ



ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอัตราการสูบน้ำจากบ่อน้ำตื้นหรือถังเก็บน้ำที่ระยะดูดต่างๆด้วยขนาดของใบกังหันลมสูงสุด 3.58 ตารางเมตร

ความสัมพันธ์ของ h (m) และ Q (m^3/s) พบว่าเมื่อปรับขนาดของใบกังหันลมเพิ่มขึ้นจาก A1 = 0.895 m^2, A2 = 1.790 m^2, A3 = 2.685 m^2 และ A4 = 3.580 m^2 ตามลำดับ อัตราการสูบน้ำของกังหันลมแกนตั้งจะแปรผกผันกับระยะดูดน้ำแต่จะแปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของขนาดใบกังหันลมดังสมการ Q = -0.5273 (h) + 0.6601 ด้วย R^2 = 0.949, Q = -0.6552 (h) + 0.5987 ด้วย R^2 = 0.8685, Q = -0.4917 (h) + 0.3686 ด้วย R^2 = 0.8545 และ Q = -0.3088 (h) + 0.2236 ด้วย R^2 = 0.7771 ที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วลม 2.893 m/s และการปรับเปลี่ยนระยะดูดน้ำจาก 0.20 m, 0.45 m, 0.60 m และ 0.85 m ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะดูดน้ำ (h) กับอัตราการสูบน้ำ (Q) ด้วยขนาดต่างๆของใบกังหันลม ที่ความเร็วลม 2.893 m/s

งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการจัดการน้ำด้วยกังหันลมแกนตั้ง โดยผลการศึกษาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบน้ำของกังหันกับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการปลูกพืชต่อไร่ต่อวันของพืช 3 ชนิดคือ อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ปริมาณของน้ำที่ต้องใช้ในการปลูกอ้อย, มันสำปะหลัง และข้าวโพดเท่ากับ 4.299, 6.776 และ 4.346 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของอัตราการสูบน้ำ (Q: m^3/s) และปริมาณการใช้น้ำในการปลูกพืช (V: ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อไร่)

การปลูกพืช	ข้าวโพด	มันสำปะหลัง	อ้อย
ผลผลิตสูงสุด (กิโลกรัม/ไร่)	1,000	5,000	14,500
สัมประสิทธิ์ของการใช้น้ำ (Kc)	0.93	1.45	0.92
รอบเวลาในการปลูกพืช (วัน)	49	330	330
อัตราการใช้น้ำ (ETp: ลูกบาศก์เมตร/วัน/ไร่)	4.346	6.776	4.299
ปริมาณการใช้น้ำต่อรอบของการปลูก (ลูกบาศก์เมตร/รอบ/ไร่)	212.95	2,236.0305	1,418.723

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำของพืชไร่ทั่วไป (ETp) = 4.673 ลูกบาศก์เมตร/วัน/ไร่

- ค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำของอ้อย, มันสำปะหลัง และข้าวโพด (ETp) = 4.659 ลูกบาศก์เมตร/วัน/ไร่

นอกจากนี้งานวิจัยชิ้นนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้กังหันลมแกนตั้งเทียบกับต้นทุนของการสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบปกติ โดยมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาจากต้นทุนของการก่อสร้างและพลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยของปริมาตรน้ำซึ่งถูกสูบด้วยเครื่องสูบน้ำ โดยทั่วไปต้นทุนของการสูบน้ำแบบปกติคือเครื่องสูบน้ำและน้ำมันหรือไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ ผลของการศึกษาพบว่าอัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 14.24% ต่อปี, อัตราส่วนผลประโยชน์ที่ได้รับต่อเงินลงทุน (B/C ratio) เท่ากับ 2.42 และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.36 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้กังหันลมแกนตั้งกับต้นทุนในการสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบปกติ

มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์	ศักยภาพของกังหันลมแกนตั้ง
อัตราผลตอบแทน (IRR)	14.24% ต่อปี
สัดส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C ratio)	2.42
ระยะเวลาคืนทุน	2.36 ปี

หมายเหตุ ต้นทุนรวมทั้งหมดของการผลิตกังหันลมแกนตั้ง 20,031 บาทต่อชุด
การประหยัดค่าไฟฟ้าในการสูบน้ำ 8,496 บาทต่อปี
ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้กังหันลม 9,696 บาทต่อปี
ค่าเสื่อมราคา 4,006.20 บาทต่อปี

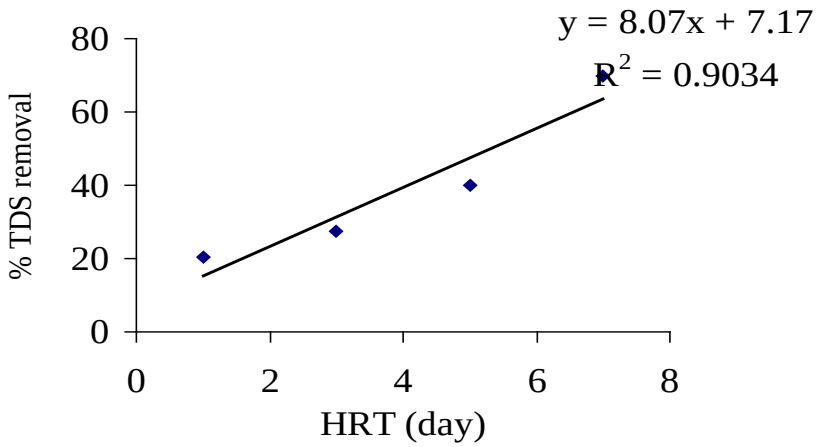
4.2 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

องค์ประกอบหลักของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาคือโปรตีนและไขมัน, สารอาหาร และปริมาณมลพิษอื่นๆ โดยคุณลักษณะของน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาที่ทำการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ, pH, TKN, TP, TK, TS, SS, TDS, COD, DO ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าระบบที่ทางน้ำเข้า และไหลออกจากระบบที่ทางน้ำออกของระบบการปลูกพืช พารามิเตอร์ทั้งหลายจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาที่ทำการศึกษาดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งบ่อปลายังมีความหนาแน่นของปลาไม่มากและปลายังมีอายุน้อยขนาดเล็ก น้ำจากบ่อปลาจึงยังไม่สกปรกมาก

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลา

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิ	ºC	28.42±0.67
pH	-	8.0±0.4
TKN	mg/L	75.0±4.43
TP	mg/L	11.5±0.69
TK	mg/L	75.5±4.69
TS	mg/L	457.5±17.49
SS	mg/L	104.25±30.09
VSS	mg/L	100±27.08
TDS	mg/L	348.25±28.72
DO	mg/L	6.0±0.4
COD	mg/L	100.07±9.67

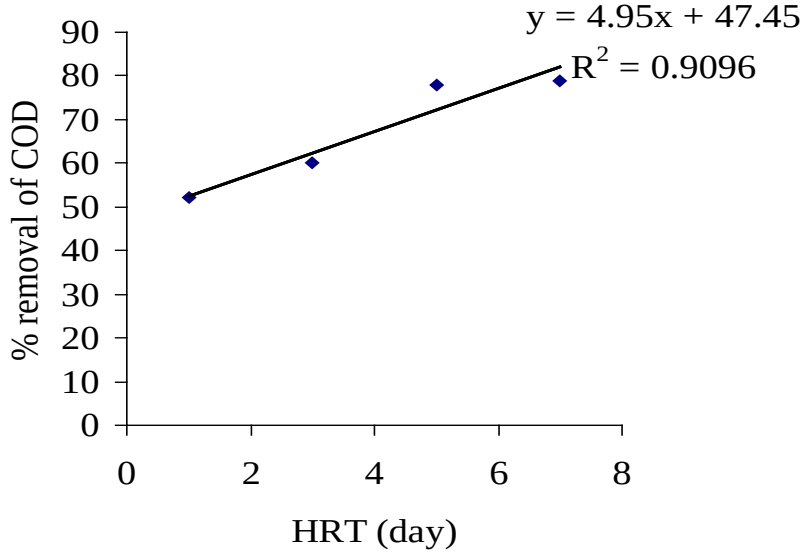
น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาจะถูกบำบัดด้วยระบบของการปลูกพืชที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRTs) 1, 3, 5 และ 7 วัน ผลการศึกษาแสดงประสิทธิภาพของการกำจัดของแข็งละลายน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 4.7 ซึ่งของแข็งละลายน้ำเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งทั้งหมด ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณสารอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่ของแข็งแขวนลอยเป็นสาเหตุของความขุ่นในน้ำ และมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ



ภาพประกอบ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของน้ำที่ออกจากระบบพบว่าค่า pH ของอยู่ในช่วง 7.33-8.0 โดยมีอุณหภูมิ 27ºC-29ºC ซึ่งช่วงของ pH และอุณหภูมิดังกล่าวมีผลกระทบเล็กน้อยต่อระบบของการปลูกพืช แม้ว่า pH ในช่วง 5.5-6.5 จะมีประโยชน์สำหรับพืชในการดูดซับสารอาหารมากกว่า หรืออีกนัยหนึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำเสียที่วัดได้นี้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับที่สามารถใช้งานสำหรับการปลูกพืชได้

ผลการศึกษายังพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่ระยะเวลาเก็บกัก 1, 3, 5 และ 7 วันมีค่าเท่ากับ 52% - 79% ดังภาพประกอบ 4.8 โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด แต่สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 5 วันไม่มาก และประสิทธิภาพการกำจัด COD ก็จะลดลงตามระยะเวลาเก็บกักที่ลดลงที่ 3 วัน และ 1 วัน ตามลำดับ ในการศึกษานี้ยังพบอีกว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ระยะเวลาเก็บกัก 1 วันเพราะการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบพร้อมกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอัตราการไหลของน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเป็นปัจจัยจำกัดหลักสำหรับการออกแบบระบบเพื่อบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา Gloger *et al.* (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบการกำจัด COD ของการปลูกพืชแบบไร้ดิน พบว่ากะหล่ำปลีสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาได้ โดยสามารถกำจัด COD ได้มากกว่า 54% ซึ่งการกำจัด COD ของระบบการปลูกพืชไร้ดินขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพืช

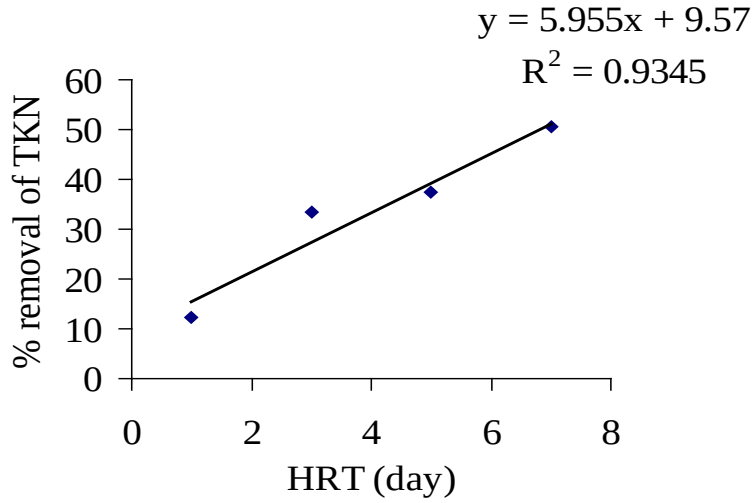


ภาพประกอบ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

น้ำเสียจากการเลี้ยงปลาสามารถนำมาใช้ในการปลูกพืชโดยจะเป็นแหล่งของไนเตรทที่เป็นสารอาหารสำคัญของพืช ไนเตรทเกิดจากการที่ไนตริฟลายอิง แบคทีเรียเปลี่ยนแอมโมเนียในน้ำเสียซึ่งเกิดจากการขับถ่ายของปลาให้กลายเป็นไนไตรท์ และออกซิไดส์ ไนไตรท์ซึ่งมีพิษให้กลายเป็นไนเตรทซึ่งไม่มีพิษ ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนหลักๆในน้ำเสียของบ่อปลาคือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน 80.5±3.2% และที่เหลือจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนชนิดไนไตรท์ สารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ในน้ำเข้าระบบจะถูกตรวจพบในทุกระยะเวลาเก็บกัก และมันสามารถถูกตรวจพบได้ที่ทางน้ำออกของระบบโดยมีค่าเท่ากับ 36±6.1%. ผลการศึกษาแสดงว่าพืชสามารถดูดซับแอมโมเนียจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลาได้บ้าง ซึ่งสารอินทรีย์ไนโตรเจนเกือบทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลาจะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากแบคทีเรียและปฏิกิริยา ไฮโดรไรซิส ดังสมการปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

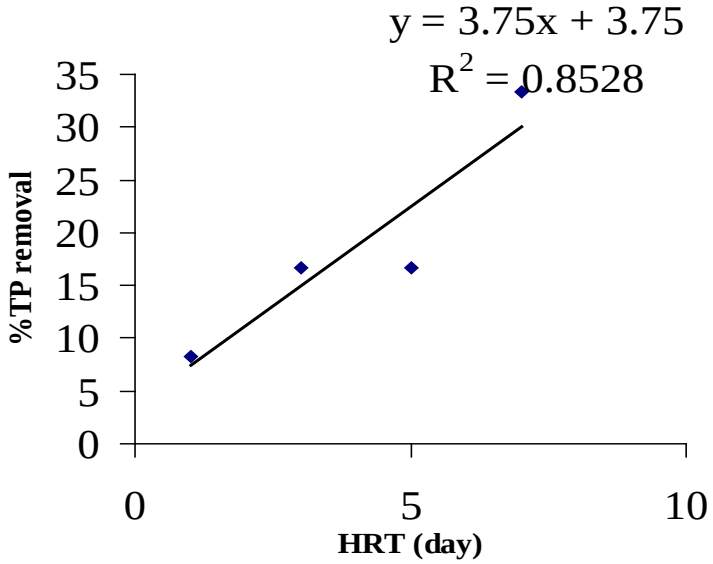
สารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลา+แบคทีเรีย⟶แอมโมเนีย (NH_3)

ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกัก 1, 3, 5 และ 7 วันมีค่าอยู่ในช่วง 12.23%-50.56% ดังภาพประกอบ 4.9 ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน และลดลงที่ 5 วัน, 3 วัน และ 1 วันตามลำดับ Gloger *et al.* (1995) อธิบายว่าการลดลงของแอมโมเนีย อิออน (NH^+_4) เกิดจากทั้งสาเหตุที่พืชนำไปใช้ประโยชน์และกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้



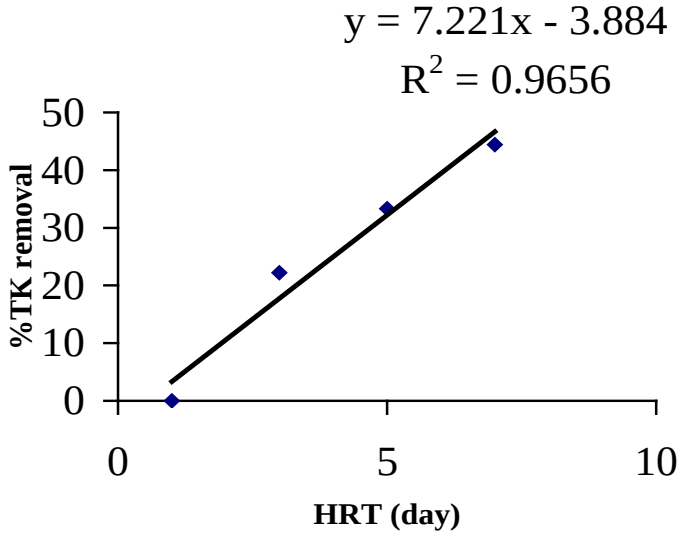
ภาพประกอบ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาจะมีฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสารอาหารของพืช โยจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า น้ำเสียซึ่งถูกปล่อยทิ้งที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบจะเป็นสาเหตุของการเจริญเติบโตของสาหร่ายในปริมาณที่สามารถสร้างปัญหาต่อการเลี้ยงปลา น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาประกอบด้วยออโทร-ฟอสเฟต และอินทรีย์-ฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 50-60% และ 30-40% ตามลำดับ (Metcalf and eddy, 1991). ผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกัก 1, 3, 5 และ 7 วัน อยู่ในช่วง 8.33%-33.33% ดังภาพประกอบ 4.10



ภาพประกอบ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

ความเข้มข้นของโปรแตสเซียมจะลดลงตามระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชและสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับชนิดและปริมาณของพืชที่ทำการปลูก ประมาณ 0- 44.44% ของโปรแตสเซียมในน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาสามารถถูกกำจัดออกจากระบบได้ ดังภาพประกอบ 4.11. Mant *et al.* (2003) พบว่า 24.9% ของโปรแตสเซียมถูกกำจัดออกจากน้ำได้โดยการนำไปรดน้ำปลูกพืชไร้ดิน ผลการศึกษาพบว่าการที่สามารถกำจัดโปรแตสเซียมออกจากน้ำได้ แสดงว่าพืชได้นำโปรแตสเซียมไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งโปรแตสเซียมเป็นสารอาหารหรือเป็นปุ๋ยที่พืชทุกชนิดต้องการ

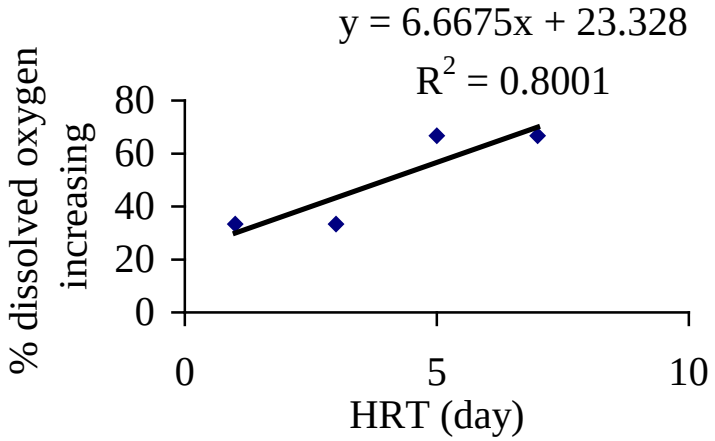


ภาพประกอบ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรแตสเซียมทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

การปลูกพืชมีความจำเป็นที่ต้องใส่ปุ๋ยเพื่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างสมบูรณ์และให้ได้ผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ใช้สารเคมีหรือปุ๋ยเคมี เนื่องจากต้องการลดต้นทุนในการปลูกพืชให้กับเกษตรกร และเพื่อการมีสุขภาพที่ดีของผู้บริโภคในการได้บริโภคพืชผักที่ปราศจากสารเคมีหรือที่เรียกว่าพืช ผัก อินทรีย์ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงได้เลือกใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารที่พืชต้องการจากน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งปลาในบ่อถูกเลี้ยงด้วยมูลไก่ โดยเฉพาะสารอาหารกลุ่ม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียม ซึ่งเป็นสารอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตและการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ น้ำเสียจากการเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูกพืช โดยจะเห็นได้จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ว่า พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ใกล้เคียงกับการปลูกพืชแบบปกติที่ใส่ปุ๋ยเคมี หรือใส่ปุ๋ยคอก และยังพบได้อีกว่า พืชสามารถนำสารอาหารโดยเฉพาะสารอาหารของพืชกลุ่ม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียม ที่มีอยู่ในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลามาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ดังภาพประกอบ 4.9-4.11 ซึ่งสารอาหารของพืชกลุ่มดังกล่าวได้ลดลงหรือถูกกำจัดออกจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่ ผลลัพธ์ของการศึกษานี้แสดงให้ทราบได้ว่าพืชในระบบการเพาะปลูกที่ทำการวิจัยนี้สามารถสกัดหรือดึงสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ได้ ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ยังแสดงให้ทราบได้อีกว่าสารอาหารกลุ่มโปรแตสเซียมลดลงหรือถูกกำจัดออกจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลาด้วยมูลไก่มากที่สุด ซึ่งมากกว่าสารอาหารกลุ่มไนโตรเจนและกลุ่มฟอสฟอรัส ที่ทำการศึกษาและสารอาหารกลุ่มไนโตรเจนสามารถถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาดังกล่าวได้มากกว่าสารอาหารกลุ่มฟอสฟอรัส ตามลำดับ ซึ่งการกำจัด

สารอาหารทั้งหลายดังกล่าวออกจากน้ำเสียของบ่อเลี้ยงปลาสามารถสังเกตได้จากความชันของกราฟที่แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารทั้ง 3 กลุ่ม มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มมากขึ้น หรือนั่นคือการแปรผันตรงไปในทางเดียวกัน

ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ยังแสดงให้ทราบได้อีกว่า พืชในระบบการเพาะปลูกของการศึกษาวิจัยนี้สามารถบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาที่ปลาถูกเลี้ยงด้วยมูลไก่ได้ โดยจะเห็นได้จากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียที่ผ่านออกจากระบบการปลูกพืชที่ทำการศึกษามีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 4.12



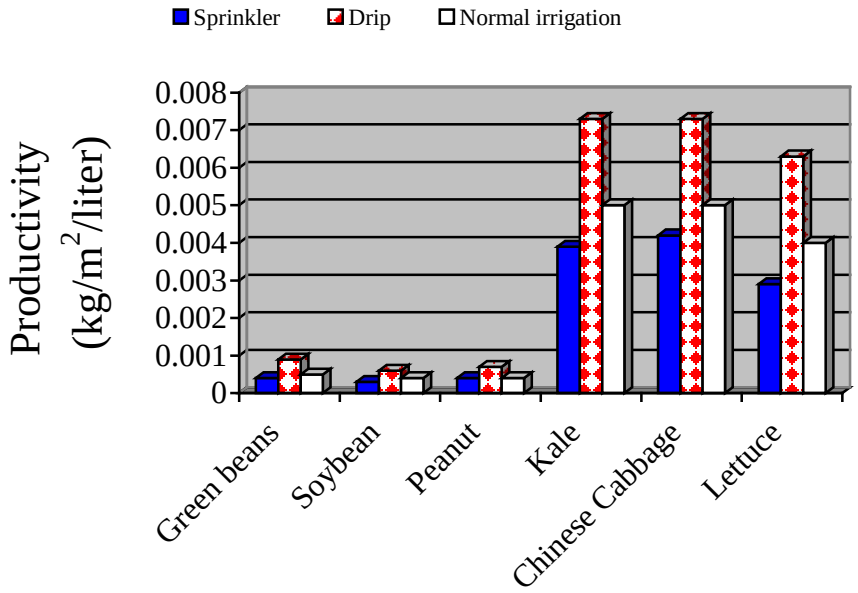
ภาพประกอบ 4.12 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายน้ำ ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ

Ghaly *et al.* (2005)กล่าวว่าพืชสามารถกำจัดสารมลพิษทั้งหลายในน้ำเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยความสามารถของพืชในการกำจัดของแข็งทั้งหมด, COD, NO_3–N, NO_2–N, ฟอสเฟต และโปรแตสเซียมอยู่ในช่วง 54.7%-91.0%, 56.0%-91.5%, 82.9%- 98.1%, 95.9%-99.5%, 54.5%-93.6% และ 99.6%-99.8% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่ว่าระบบการปลูกพืชที่ทำการศึกษาสามารถบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาได้ ระบบการปลูกพืชนี้มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียและสามารถหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับคืนสู่บ่อเลี้ยงปลาได้ เพื่อการประหยัดน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาได้อีกด้วย ซึ่ง Pettersen (1987) กล่าวว่า การผสมผสานระบบการปลูกพืชร่วมกับระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถช่วยสนับสนุนวัตถุประสงค์ในการเพิ่มผลผลิต ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและลดปัญหามลพิษซึ่งส่งผลเสียต่อการเลี้ยงปลาโดยตรง อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน อันเกิดจากการใช้สารเคมีในการทำการเกษตร

4.3 การประยุกต์ใช้กังหันลมแกนตั้งเข้ากับระบบการปลูกพืช ด้วยการเปรียบเทียบการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานน้ำหยด กับระบบชลประทานแบบพ่นน้ำฝอย ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับระบบการส่งน้ำด้วยกังหันลมแกนตั้ง

การศึกษานี้แสดงระบบการปลูกพืชบนเนื้อที่ 10 ตารางเมตรต่อชั้น จำนวน 4 ชั้นในแนวดิ่งลักษณะคอนโด เพื่อประหยัดเนื้อที่ดินในแนวราบ ผลการศึกษาพบว่า ระบบชลประทานน้ำหยดและพ่นน้ำฝอยไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผิดปกติของการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดที่ทำการศึกษาทั้งขนาดและความสูงของลำต้น เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากการปลูกพืชต่อพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกโดยใช้ปริมาณน้ำเท่ากัน ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบการให้น้ำแบบปกติสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลการทำเกษตรกรรมของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ผลการศึกษานี้แสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากการปลูกพืชต่อพื้นที่ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ ดังแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ และภาพประกอบ 4.13

$$\frac{vegetable \quad production(kg)}{area(m^2) \quad \times \quad water \quad usin g(liter)}$$



ภาพประกอบ 4.13 ผลผลิตของการปลูกพืชต่อพื้นที่ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ (กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อลิตร)

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงผลผลิตของการปลูกพืชต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และ การใช้น้ำเพื่อการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานน้ำหยดและพ่นน้ำฝอย (ลิตรต่อกิโลกรัมต่อตารางเมตร) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ. ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานน้ำหยดและพ่นน้ำฝอย มีค่าน้อยกว่าจากการปลูกพืชแบบปกติ ในช่วงแรกที่น้ำจากบ่อปลาที่ถูกเลี้ยงด้วยมูลไก่ยังมีความสกปรกไม่มาก และไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มเติม จึงทำให้พืชได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ ในขณะที่การปลูกพืชแบบปกติใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณเต็มที่ในการปลูก และนอกจากนี้เนื่องจากการศึกษานี้ทำการปลูกพืชเป็นแนวตั้งในลักษณะคอนโด จึงทำให้มีพืชบางส่วนไม่ได้รับแสงแดดเท่าที่ควรจะเป็น ซึ่งพืชที่อยู่ในแปลงปลูกแนวตั้งนี้จะได้รับแสงแดดในช่วงเวลาที่น้อยกว่าการปลูกบนพื้นราบแบบปกติ โดยพืชในคอนโดจะได้รับแสงเพียงแค่ช่วงเช้าและช่วงบ่ายตอนที่แสงสามารถสาดทแยงลอดเข้ามาระหว่างชั้นของคอนโดได้เท่านั้น ข้อดีของการปลูกพืช ผักโดยไม่ใช้สารเคมีคือทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการปลูกพืชและเป็นทางเลือกหนึ่งของการปลูกพืชในชุมชนกึ่งเมืองกึ่งชนบท ตารางที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาของผลผลิตของการปลูกพืชต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ในขณะที่ ตารางที่ 4.5 แสดงการใช้น้ำเพื่อการปลูกพืชต่อพื้นที่ต่อผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ด้วยระบบชลประทานน้ำหยดและพ่นน้ำฝอย (ลิตรต่อกิโลกรัมต่อตารางเมตร) ซึ่งสามารถแสดงถึงความสามารถของการจัดการน้ำ ตามความต้องการผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวพืชที่ปลูก

ตารางที่ 4.4 ผลผลิตของการปลูกพืชต่อพื้นที่ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

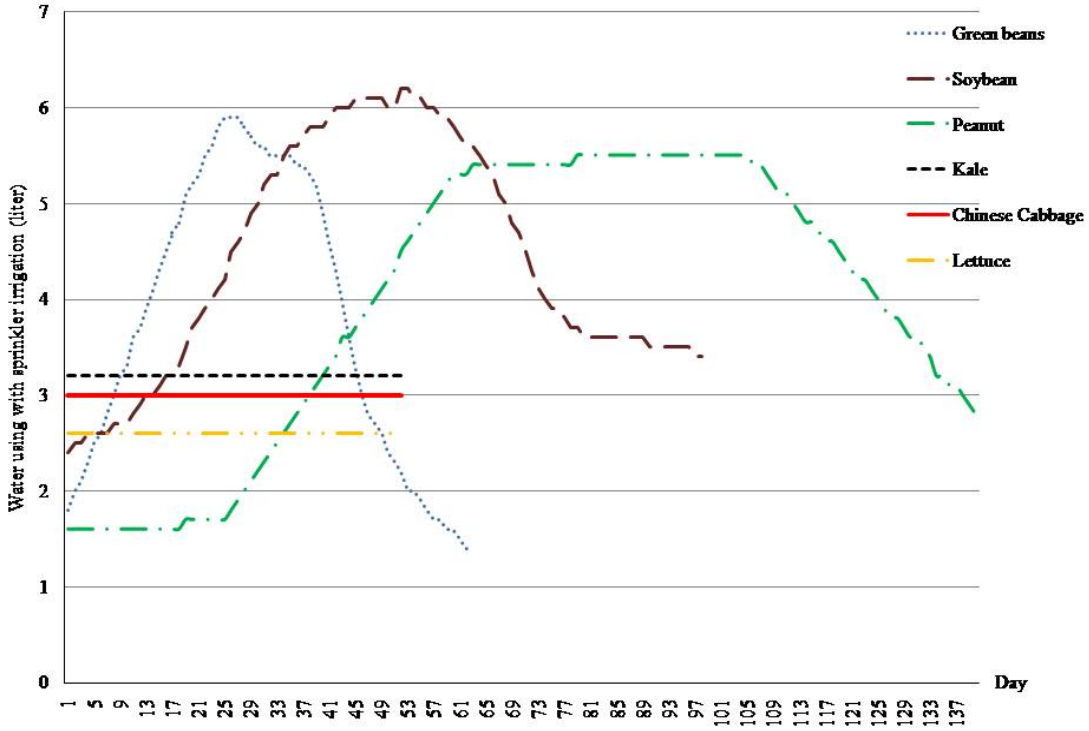
พืช ผัก	ผลผลิตของการปลูกพืชต่อพื้นที่ $\left(kg/m^2\right)$	
	ระบบชลประทานพ่นน้ำฝอย	ระบบชลประทานน้ำหยด
ถั่วเขียว	0.10	0.11
ถั่วเหลือง	0.12	0.13
ถั่วลิสง	0.17	0.20
ผักกาดหอม	0.60	0.70
ผักกวางตุ้ง	0.65	0.70
ผักคะน้า	0.45	0.65

ตารางที่ 4.5 การใช้น้ำเพื่อการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานน้ำหยดและพ่นน้ำฝอย

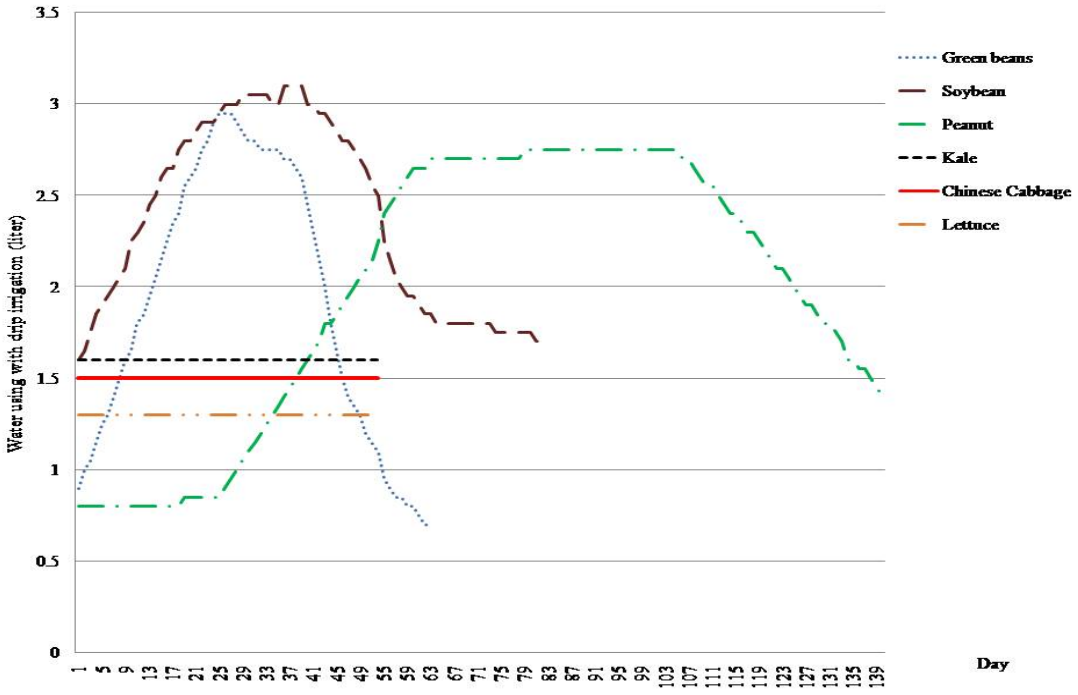
พืช ผัก	ปริมาณน้ำใช้ต่อผลผลิตพืชที่เก็บเกี่ยวได้ต่อพื้นที่ $\left(liter/kg. \cdot m^2\right)$		
	ระบบชลประทาน พ่นน้ำฝอย	ระบบชลประทาน น้ำหยด	ระบบชลประทาน แบบปกติ*
ถั่วเขียว	2360.00	1075.91	1786.41
ถั่วเหลือง	3611.67	1669.23	2667.07
ถั่วลิสง	3264.68	1387.24	2336.40
ผักกาดหอม	255.00	137.14	204.80
ผักกวางตุ้ง	235.38	137.14	204.80
ผักคะน้า	341.33	160.00	245.76

หมายเหตุ * ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากระบบชลประทานแบบปกติ ซึ่งถูกวิเคราะห์จากการทำการเกษตรของเกษตรกรจังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

ผลการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างระบบชลประทานน้ำหยดและระบบชลประทานแบบพ่นน้ำฝอยพบว่าระบบชลประทานน้ำหยดมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำที่ดีกว่า ใช้ความดันน้ำน้อย ให้ผลผลิตสูง ประหยัดน้ำ, แรงงาน และเวลาในการให้น้ำแก่พืช เมื่อทำการเปรียบเทียบที่การปลูกพืชชนิดเดียวกัน พื้นที่ปลูกเท่ากันและปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากันพบว่าระบบชลประทานน้ำหยดให้ผลผลิตพืชที่เก็บเกี่ยวได้มากกว่าการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานแบบพ่นน้ำฝอย เนื่องจากพืชจะได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอและตรงไปที่รากพืช ในลักษณะของวงกลมล้อมรอบรากของพืช โดยไม่สูญเสียไปที่อื่นเลย ข้อแนะนำจากการศึกษาครั้งนี้ของการใช้ระบบชลประทานน้ำหยดคือจะต้องคอยดูแลรักษา ให้ความใส่ใจเกี่ยวกับการอุดตันของหัวหยดน้ำ ระบบชลประทานน้ำหยดนี้สามารถใช้ได้กับพืชหลายชนิดและใช้ได้กับดินเกือบทุกพื้นที่ของประเทศไทย ภาพประกอบ 4.14 และภาพประกอบ 4.15 แสดงอัตราการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานพ่นน้ำฝอยและระบบชลประทานน้ำหยด ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.14 ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานพ่นน้ำฝอย



ภาพประกอบ 4.15 ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชด้วยระบบชลประทานน้ำหยด

4.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปลูกพืช ด้วยระบบชลประทานน้ำหยดที่เชื่อมต่อกับการสูบน้ำเข้าระบบรดน้ำโดยกังหันลมแกนตั้ง

การศึกษาเพื่อประเมินปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชและผลผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพืชที่ปลูกในการศึกษาด้วยระบบชลประทานน้ำหยดและระบบชลประทานแบบพ่นน้ำฝอย ที่เชื่อมต่อกับการสูบน้ำเข้าระบบรดน้ำโดยกังหันลมแกนตั้ง ผลการศึกษาพบว่าการใช้น้ำของระบบชลประทานน้ำหยดมีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตของพืชจากการเก็บเกี่ยวสูงกว่า ระบบชลประทานแบบพ่นน้ำฝอย ด้วยการใช้น้ำในการปลูกพืชที่ปริมาณเท่ากัน ดังนั้นจึงได้นำเพียงระบบชลประทานน้ำหยดที่เชื่อมต่อกับการสูบน้ำเข้าระบบรดน้ำพืชที่ปลูกโดยกังหันลมแกนตั้งเท่านั้น ที่นำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรายได้และค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนและผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ผลของการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่ามากกว่า 1.0 และมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 2 ปี บนการประเมินที่คำนึงถึงปัจจัยความเสี่ยงของการดำเนินโครงการและคิดค่าเสื่อมราคาที่ 1 ปี ซึ่ง อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่ามากกว่า 1.0 แสดงว่าระบบชลประทานน้ำหยดแบบที่เชื่อมต่อกับกังหันลมที่ทำการศึกษานี้มีผลประโยชน์ที่ได้รับเมื่อประเมินในรูปของเม็ดเงินทั้งหมดมีค่ามากกว่าต้นทุนรวมที่ใช้ไปในการสร้างและเดินระบบ ดังนั้นด้วยดัชนีนี้ จึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน นอกจากนี้ผลการศึกษายังได้แสดงถึงอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) เท่ากับ 23.28% ในปีแรกที่ทำโครงการ ถ้าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารไทยอยู่ที่ 18.00% เมื่อวันที่ทำการสำรวจ จากธนาคารกรุงไทย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอัตราดอกเบี้ยเงินกู้กับอัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุนและดำเนินโครงการจะพบว่าระบบชลประทานน้ำหยดแบบที่เชื่อมต่อกับกังหันลมที่ทำการศึกษานี้มีอัตราผลตอบแทนในการลงทุนของปีแรกสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารถึง 5.28% ดังนั้นโครงการนี้จึงมีความเป็นไปได้และมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

ต้นทุนคงที่ (บาท)	ต้นทุนผันแปร (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	รายได้ (บาท/ปี)	ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (PI)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
1,000	1,500	2,500	7,710	3.08	0.32

หมายเหตุ ค่าเสื่อมราคาประเมินที่ 1 ปี