พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ รัชกาลที่ 9 ได้พระราชทานรูปแบบและพระราชดำริ
เรื่องการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย โดยการเติมออกซิเจนในน้ำ / ที่มา มูลนิธิชัยพัฒนา www.chaipat.or.th

สืบสานพระราชปณิธาน ในหลวงรัชกาลที่ 9 “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” จากกังหันน้ำชัยพัฒนาสู่การพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดร.เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กังหันน้ำชัยพัฒนา ผลงานสิ่งประดิษฐ์ของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในหลวงรัชกาลที่ 9 ได้รับจดทะเบียนสิทธิบัตร ในพระปรมาภิไธยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ในปี 2536 และ 2544 นอกจากนี้ยังได้รับการยกย่องในระดับนานาชาติ โดยสภานักประดิษฐ์แห่งราชอาณาจักรเบลเยียม ได้ทูลเกล้าถวายถ้วยรางวัล เหรียญรางวัล และประกาศนียบัตร สิ่งประดิษฐ์ประกวดเกี่ยวกับการควบคุมมลพิษและสิ่งแวดล้อม รวม 5 รางวัล ในงาน Brussels Eureka 2000: The 49th World Exhibition of Innovation Research and New Technology ณ กรุงบรัสเซลส์ ประเทศเบลเยี่ยม ในปี 2543 (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2549)

พระราชดำริเกี่ยวกับเครื่องมือบำบัดน้ำเสีย กังหันน้ำชัยพัฒนา “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา”

จากความสนพระราชหฤทัยในปัญหาน้ำเสียของแหล่งน้ำและคลองต่างๆ ในกรุงเทพมหานคร มาอย่างต่อเนื่อง ในปี 2528 จึงมีพระราชดำริให้หน่วยงานต่างๆ ร่วมกันปรับปรุงบึงมักกะสันที่มีน้ำเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็นอยู่กลางเมือง เนื่องจากเป็นที่ทิ้งน้ำเสียและขยะของชุมชนแออัดโดยรอบ ในเบื้องแรก พระองค์ทรงพระราชทานแนวทาง “อธรรมปราบอธรรม” โดยการใช้ผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่ต้องกำจัดทิ้ง มาทำหน้าที่ดูดซับธาตุอาหารและโลหะหนัก ช่วยบำบัดน้ำเสียในบึง และทยอยเก็บเกี่ยวผักตบชวาออกจากบึงทุก 10 สัปดาห์ เพื่อไม่ให้ขึ้นหนาแน่นเกินไป

ต่อมา มีการสร้างทางด่วนมหานคร พาดผ่านบึงมักกะสัน บดบังแสงแดด ทำให้แพลงก์ตอนพืชขาดแหล่งพลังงานแสงในการสังเคราะห์แสงเพื่อช่วยสร้างออกซิเจนให้กับน้ำในบึง จึงมีพระราชดำริให้ใช้เครื่องกลเติมอากาศ เป็นเครื่องมือในการบำบัดน้ำเสีย เป็นที่มาของการออกแบบและพัฒนา กังหันน้ำชัยพัฒนา ถึง 9 แบบ

กังหันน้ำชัยพัฒนาเป็นพระราชดำริหรือวิธีคิดเชิงออกแบบ ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ภูมิพลอดุลเดช รัชกาลที่ 9 ที่ทรงใช้หลัก “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” นั่นคือ ก่อนจะทำอะไรต้องมีความเข้าใจเสียก่อน เข้าใจปัญหา เข้าถึงผู้คนและพื้นที่ ระบุความต้องการได้ จึงหาแนวทางแก้ปัญหา ด้วยวิธีคิดแบบนักวิทยาศาสตร์และคิดสร้างสรรค์นวัตกรรม กำเนิดต้นแบบนวัตกรรม ทดสอบ ทดลอง เพื่อประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เป็นจริงในพื้นที่ นำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของพสกนิกร ให้พึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน (ศูนย์สร้างสรรค์งานออกแบบ, 2559)

สิทธิบัตรการประดิษฐ์

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

สำหรับการประดิษฐ์ตามรายละเอียดการประดิษฐ์ ข้อถือสิทธิ และ

ภาพที่ 1 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ รัชกาลที่ 9 ได้พระราชทานรูปแบบและพระราชดำริเรื่องการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย โดยการเติมออกซิเจนในน้ำ / ที่มา: มูลนิธิชัยพัฒนา www.chaipat.or.th

“เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” ออกซิเจนในน้ำ

น้ำในธรรมชาติจะมีสารอินทรีย์และสารประกอบอื่นๆ เป็นสิ่งเจือปน กลไกบำบัดสิ่งเจือปนตามธรรมชาติ คือ จุลินทรีย์ในธรรมชาติทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ในภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเป็นพลังงาน หรือ aerobic bacteria ก็ทำงานตามปกติเพื่อบำบัดน้ำ แต่ในน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์มากหรือสกปรกมาก ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO, Dissolved Oxygen) ถูกใช้จนลดลงมาก จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน หรือ anaerobic bacteria เข้ามาทำหน้าที่แทน ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้บางพวก ปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือกาซไข่เน่า เป็นผลผลิตออกมา ซึ่งทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆที่อาศัยอยู่ในน้ำ ดังนั้น DO จึงมีความสำคัญในการป้องกันน้ำเน่าเสียมีกลิ่นเหม็น พระราชดำริในการใช้กังหันน้ำชัยพัฒนาเติมออกซิเจนลงในน้ำ เพื่อให้จุลินทรีย์กลุ่ม aerobic ทำงานบำบัดน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงกระบวนการคิดแบบนักวิทยาศาสตร์ ผสานหลักปรัชญา “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” เข้าใจพื้นฐานของปัญหาตามหลักวิทยาศาสตร์ เข้าถึงตัวการที่ก่อปัญหา และพัฒนาเครื่องมือ วิธีการในการแก้ปัญหา

แหล่งที่มาของ DO ที่สำคัญคือ การละลายจากอากาศลงสู่น้ำ และการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ การละลายจากอากาศจะมากหรือน้อยโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ หากมีลมพัดผ่านผิวหน้าน้ำเป็นริ้วคลื่นหรือน้ำมีการไหลก็เป็นการเพิ่มผิวสัมผัสให้ออกซิเจนละลายลงสู่น้ำได้เพิ่มมากขึ้น ส่วนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ สาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และจุลินทรีย์บางกลุ่มนั้น จะผันแปรในรอบวันตามการขึ้นและลงของดวงอาทิตย์ โดย DO จะต่ำสุดในตอนเช้ามืด เพราะในตอนกลางคืนสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำต่างใช้ออกซิเจน โดยไม่มีการเพิ่มเติมจากกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ DO จะค่อยๆ สูงขึ้นในตอนที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและพืชน้ำเริ่มกระบวนการสังเคราะห์แสง DO จะสูงสุดในตอนเย็นก่อนดวงอาทิตย์ตก และลดต่ำลงเรื่อยๆ ในตอนกลางคืนเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป หากไม่มีปรากฏการณ์อื่นมาสอดแทรก ดังนั้นหากพบว่าปลาที่เลี้ยงในบ่อลอยหัวขึ้นมาที่ผิวน้ำเพื่อฮุบเอาอากาศสำหรับการหายใจในตอนเช้ามืด ก็แสดงว่าน้ำในบ่อมีออกซิเจนต่ำในตอนกลางคืนต่อเนื่องมาจนถึงตอนเช้ามืด โดยทั่วไป DO จะลดลงจากการระเหยกลับสู่อากาศ และจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (NRCS, 2011) DO จึงเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีปริมาณสัตว์น้ำหนาแน่นกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรทำความเข้าใจและหมั่นตรวจสอบปริมาณ DO ในบ่อให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำที่เลี้ยง

ออกซิเจนกับการกินอาหารของปลา

การจัดการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้ประสบผลสำเร็จ ให้ได้ผลผลิตตามเป้าหมายคือการจัดการ DO ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ส่งผลให้สัตว์น้ำมีสุขภาพดี โตเร็ว เพราะ DO มีอิทธิพลต่อขบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ในสภาวะ DO ต่ำจะได้ผลผลิตลดลง เพราะสัตว์น้ำกินอาหารน้อยลง โตช้า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่ดี เครียด อ่อนแอ ติดโรคได้ง่ายขึ้น หรืออาจตายเพราะขาดออกซิเจน (NRCS, 2011)

DO มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารและเมแทบอลิซึมของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังการกินอาหาร สัตว์น้ำจะมีความต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น (He และคณะ, 2015) และขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียมากหรือน้อยมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ (Lee, 2015) โดยทั่วไปสัตว์น้ำสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในอาหารที่กินเข้าไปร้อยละ 20-30 ส่วนที่เหลือร้อยละ 75 ถูกขับถ่ายออกมาในรูปของแอมโมเนียสะสมอยู่ในน้ำ (Avinimelech, 2015) ซึ่งกลายเป็นปัญหาสำคัญ เพราะแอมโมเนียเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และเป็นปัจจัยจำกัดความหนาแน่นของสัตว์ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ผลิตได้ (Lee, 2015)

อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟอิงจะเปลี่ยนแอมโมเนีย ไปเป็นไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งไนเตรตมีความเป็นพิษต่ำ ดังนั้น DO จึงมีความสำคัญในการควบคุมความเป็นพิษของแอมโมเนีย (Boye, 2010)

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยแวดล้อมอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อ DO เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ออกซิเจนละลายน้ำได้ลดลง แต่อุณหภูมิสูงทำให้สัตว์น้ำมีอัตราเมแทบอลิซึมสูงขึ้น อัตราการหายใจก็เพิ่มขึ้น ในขณะที่ออกซิเจนในน้ำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูร้อนวันที่ท้องฟ้าปิดมีเมฆมาก ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำในการผลิตออกซิเจนลดลง ส่งผลให้สัตว์น้ำกินอาหารน้อยลง อาหารเหลือกลายเป็นของเสียจมลงพื้นบ่อ ทำให้จุลินทรีย์มีอัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นในการย่อยสลายเศษอาหาร DO ยิ่งลดต่ำลง ดังนั้นในสภาวะ DO ต่ำ ควรลดปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำ (NRCS, 2011)

ภาพที่ 2 กังหันน้ำชัยพัฒนา หรือ เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย มีคุณสมบัติในการถ่ายเทออกซิเจนได้สูงถึง 1.2 กิโลกรัมของออกซิเจน/แรงม้า/ชั่วโมง / ที่มา มูลนิธิชัยพัฒนา, www.chaipat.or.th

ออกซิเจนช่วยเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำ

ผลการศึกษาเลี้ยงปลากดอเมริกัน (Channel catfish) ของมหาวิทยาลัยออเบิร์น สหรัฐอเมริกา พบว่า อัตรารอด ผลผลิต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ จะได้ผลดี เมื่อมีปริมาณ DO ไม่ต่ำกว่า 3 มก/ล

เหตุที่ DO ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพราะ การให้อาหารในช่วง DO ต่ำตอนเช้ามืด แต่ปลากินอาหารน้อย เป็นการสิ้นเปลืองอาหาร อาหารที่เหลือทำให้น้ำเสีย ดังนั้นจึงควรปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสมกับปริมาณ DO กระทรวงเกษตรสหรัฐ แนะนำว่า ปลาจะกินอาหารได้ดี มีการเจริญเติบโตเป็นปกติปริมาณ DO ในบ่อเลี้ยงปลาไม่ควรต่ำกว่า 3 มก/ล (Boyd, 2010)

Fakhri และคณะ (2015) ศึกษาการเลี้ยงกุ้งขาว (Litopenaeus vannamei) ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแบบหนาแน่น ที่จังหวัดชวาตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย โดยเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพน้ำบางประการในบ่อเลี้ยงขนาด 3,500 ตร.ม. ติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ พบว่า บ่อที่มี DO สูง ให้ผลผลิตกุ้งสูงกว่า และขนาดกุ้งที่จับใหญ่กว่า บ่อที่มี DO ต่ำ (ตารางที่ 1)

ในทำนองเดียวกัน Boyd (2010) รายงานผลการทดลองเลี้ยงปลานิลในฟาร์มประเทศฮอนดูรัส เปรียบเทียบอัตรารอดและผลผลิตปลานิล ในบ่อที่ไม่มีเครื่องกลเติมอากาศ กับบ่อที่มีเครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งจะทำงานอัตโนมัติ เมื่อ DO ลดลงเหลือร้อยละ 10 และ 20 ของจุดอิ่มตัว (10% saturation และ 20% saturation) พบว่าบ่อที่มีเครื่องกลเติมอากาศให้ผลผลิตปลานิลสูงกว่า และขนาดปลาโตกว่า บ่อที่ไม่มีเครื่องจักรกลเติมอากาศ (ตาราง 2)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบหนาแน่นสูง ในจังหวัดชวาตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย

ตัวชี้วัด	บ่อ 1	บ่อ 2
ผลผลิตรวม (กก)	6,000	1,650
ขนาดจับ (ก)	17.88	14.36
อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR, %)	10.19	9.34
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO, มก/ล)	8.81	7.17
ไนไตรต์ (มก/ล)	0.666	1.531

ที่มา ดัดแปลงจาก Fakhri และคณะ (2015)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลของ DO ต่อผลผลิตปลานิลในบ่อเลี้ยงที่มีการติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศ

การติดตั้งเครื่องกล	อัตรารอด	ขนาดปลา	ผลผลิต
เติมอากาศ	(%)	(ก)	(กก/10,000 ตร.ม.)
ไม่มีเครื่องกลเติมอากาศ	87	194	3,404
10% saturation	80	229	4,133
20% saturation	91	235	4,269

ที่มา: ดัดแปลงจาก Boyd (2010)

โดยทั่วไปปลานิลจะมีความทนทานต่อการขาดออกซิเจนได้ดีกว่าปลากดอเมริกันและกุ้ง อย่างไรก็ตาม DO ในบ่อเลี้ยงปลานิลก็ไม่ควรต่ำกว่า 1 มก/ล (Boyd, 2010)

ในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผลผลิตสูง จะต้องมีการตรวจวัด DO อย่างสม่ำเสมอในตอนเช้าและเย็น Jensen และคณะ (1989 a) แนะนำหลักในการประเมินค่า DO โดยไม่ต้องตรวจวัดทุกครั้ง ซึ่งหากพบว่า DO ในตอนเช้ามืดสูงกว่า 3 มก/ล และ DO ในตอนเย็น ไม่ต่ำกว่า DO ในตอนเย็นของเมื่อวาน ก็คาดหมายได้ว่า DO ในตอนเช้ามืดของวันพรุ่งนี้ก็จะไม่ต่ำกว่า 3 มก/ล แต่หากพบว่า DO ในตอนเย็นต่ำกว่าเมื่อวาน ก็คาดหมายได้ว่า บ่อปลาจะขาดออกซิเจนในตอนกลางคืน และลดต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงตอนเช้ามืดของวันพรุ่งนี้ DO จะมีค่าต่ำกว่า 3 มก/ล ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องกลเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่บ่อปลาในตอนกลางคืน

ประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศ

ผลการศึกษาและงานวิจัยจำนวนมากยืนยันถึงความสำคัญของ DO ที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเพิ่ม DO ช่วยให้สัตว์น้ำมีอัตรารอด อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ประเภทของเครื่องกลเติมอากาศที่ต่างกันมีประสิทธิภาพการส่งผ่านออกซิเจนลงในน้ำต่างกัน ตาราง 3 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศประเภทต่างๆ

ภาพที่ 3 เครื่องกลเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ (Paddle wheels)
ที่มา : http://www.maofmadan.com/htmls/page_257.aspx?c0=13132&bsp=13125

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศประเภทต่างๆ

ประเภทของเครื่องเติมอากาศ	ประสิทธิภาพการส่งผ่านออกซิเจนลงในน้ำ (ปอนด์/แรงม้า-ชั่วโมง)
เครื่องทำน้ำพุ (Pump sprayer)	2.1
ใบพัดกวนน้ำ (Propeller-aspirator)	2.6
ใบพัดตีน้ำ (Paddle wheels)	3.6
เครื่องสร้างฟองอากาศ (Diffused air)	1.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก NRCS (2011)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเครื่องกลเติมอากาศแบบสร้างฟองอากาศหรืออัดอากาศลงสู่น้ำมีประสิทธิภาพต่ำสุด ทั้งนี้เพราะการส่งผ่านออกซิเจนให้ละลายลงสู่น้ำขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ และระยะเวลาสัมผัส อย่างที่กล่าวข้างต้น ประสิทธิภาพของเครื่องกลเติมอากาศแบบสร้างฟองอากาศจึงขึ้นอยู่กับขนาดของฟองอากาศ และความลึกที่เครื่องสามารถดันฟองอากาศลงสู่น้ำได้ ซึ่งพบว่ายังคงมีประสิทธิภาพต่ำ จากการทดลองใช้เครื่องจักรกลประเภทนี้ในบ่อเลี้ยงปลากดอเมริกัน พบว่าไม่ได้ช่วยให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาในการซ่อมบำรุง ที่เกิดจากหัวอัดอากาศอุดตันจากการสะสมของสาหร่าย (Jensen และคณะ, 1989b)

เครื่องกลเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือแบบใบพัดตีน้ำ เพราะใบพัดตีน้ำสามารถสร้างฝอยน้ำขาดเล็กจำนวนมากขึ้นไปสัมผัสกับอากาศ จึงมีอัตราการส่งผ่านออกซิเจนลงสู่น้ำได้สูงกว่าเครื่องจักรกลประเภทอื่น ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศที่มีอัตราการส่งผ่านออกซิเจนลงสู่น้ำเท่ากับ 2.5 ปอนด์ ออกซิเจน/แรงม้า-ชั่วโมง ก็เพียงพอสำหรับ

บ่อขนาด 4,000 ตร.ม. (Jensen และคณะ, 1989 b) ซึ่งกังหันน้ำชัยพัฒนามีอัตราการส่งผ่านออกซิเจนลงสู่น้ำสูงถึง 1.2 กิโลกรัมออกซิเจน/แรงม้า-ชั่วโมง (มูลนิธิชัยพัฒนา (2549) ซึ่งเท่ากับ 2.69 ปอนด์ ออกซิเจน/แรงม้า-ชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม ในบางสภาวะที่สัตว์น้ำมีความเครียดสูง หรือในน้ำมีปริมาณไนไตรต์ แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์สูง อาจจำเป็นต้องมีการติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผลผลิตสูง

สืบสานพระราชปณิธาน ในหลวงรัชกาลที่ 9 “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา”

จากพระราชปณิธานในการบำบัดทุกข์บำรุงสุขแก่พสกนิกรมาโดยตลอด เพื่อเป็นการน้อมเกล้าน้อมกระหม่อมรำลึกในพระมหากรุณาธิคุณ พสกนิกรจึงควรยึดถือหลักในการทรงงานของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในหลวงรัชกาลที่ 9 “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” ด้วยการศึกษาการงานในหน้าที่และการประกอบสัมมาอาชีพ ด้วยหลักวิทยาศาสตร์ เข้าใจให้ลึกซึ้งถึงแก่นแท้ของงานหรือปัญหา เข้าถึงศาสตร์วิชาการที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ค้นคว้าทดลอง ทดสอบและวิจัย เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ต่อเนื่องและยั่งยืน

MAEJO VISION

เอกสารอ้างอิง

มูลนิธิชัยพัฒนา. (2549). **กังหันน้ำชัยพัฒนา เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา. 16 น.

ศูนย์สร้างสรรค์งานออกแบบ. (2559). จากแนวพระราชดำริ “เข้าใจ เข้าถึง พัฒนา” สู่บทเรียนเพื่อการสืบสานพระราชปณิธาน. **คิด Creative Thailand** 8(3): 32-39.

Avnimelech, Y. (2015). **Biofloc Technology, a Practical Guidebook**. 3rd ed. Baton Rouge, La: World Aquaculture Soc. pp 258.

Boyd, CE. (2010). Dissolved-Oxygen Concentrations In Pond Aquaculture. **Global Aquaculture Advocate** January: 40-41.

Fakhri, M., Budianto, B., Yuniarti, A., Hariati, AM. (2015). Variation in Water Quality at Different Intensive Whiteleg Shrimp, Litopenaeus vannamei, Farms in East Java, Indonesia. **Nature Env and Pollut Tech** 14 (1): 65-70.

He, D., Li, G., Xie, H., Liu, S., Luo, Y., (2015). Effects of Feeding Frequency on the Post-Feeding Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of the Juvenile Snakehead. **Turkish J of Fisheries and Aquat Sci** 15: 293-301.

Jensen, GL., Bankston, JD., Jensen, JW. (1989a). Pond Aeration. **SRAC Publication No. 370**, Southern Regional Aquaculture, Texas Agricultural Extension Center, 4 pp.

Jensen, GL., Bankston, JD., Jensen, JW. (1989b). Pond Aeration, Types and Uses of Aeration Equipment. **SRAC Publication No. 371**, Southern Regional Aquaculture, Texas Agricultural Extension Center, 4 pp.

Lee, J., (2015) Postprandial Ammonia Excretion and Oxygen Consumption Rates in Olive Flounder Paralichthys olivaceus Fed Two Different Feed Types According to Water Temperature. **Fish Aquat Sci** 18(4): 373-378.

NRCS (2011) Aeration of Pond Used in Aquaculture. **Technical Note No.AEN-3**, Natural Resource Conservation Service, United States Department of Agriculture, 15p.