บทความ: “น้ำเหมืองเป็นกรด”...ผักตบชวาช่วยได้... ทางเลือกสู่ผลิตภัณฑ์ชุมชน

วัณณิภา ก้วยเจริญพานิชก์ และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

หน่วยปฏิบัติการวิจัย “การจัดการเหมืองสีเขียว” สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

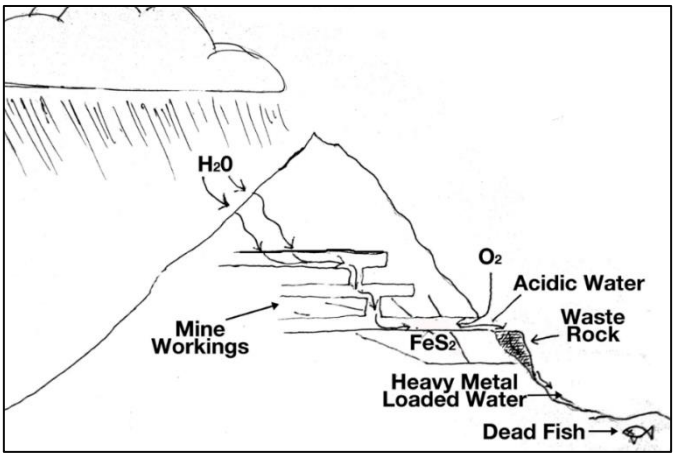
การอ้างอิง: วัณณิภา ก้วยเจริญพานิชก์ และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2563). “น้ำเหมืองเป็นกรด”...ผักตบชวาช่วยได้...ทางเลือกสู่ผลิตภัณฑ์ชุมชน. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 3).

ที่มาของน้ำเหมืองเป็นกรด

เป็นที่ทราบกันดีว่า อุตสาหกรรมเหมืองแร่ในประเทศไทย เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมีบทบาทในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ซึ่งในปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีเหมืองแร่ที่เปิดดำเนินการประมาณ 569 แห่ง โดยมีประทานบัตรที่ยังไม่สิ้นอายุประมาณ 1,030 แปลง (สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) แม้ว่าการทำเหมืองแร่จะเป็นกิจกรรมสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศก็ตาม หากแต่ยังเป็นกิจกรรมที่อาจเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการทำเหมือง (Mining) เป็นกิจกรรมที่ต้องมีการเปิดหน้าดินด้วยการระเบิดหินเพื่อนำสินแร่ที่ได้ไปถลุงเอาแร่ไปใช้ประโยชน์ในการต่อไป ซึ่งวิธีการนี้ย่อมเกิด หินทิ้ง (Waste Rock) และสินแร่ที่ไม่ต้องการเป็นจำนวนมาก ดังเช่นบริเวณเหมืองทองภูทับฟ้า จังหวัดเลย ที่มีอัตราส่วนระหว่างการขุดตักมูลหินดินต่อการผลิตแร่เท่ากับ 2.18 : 1 (Stripping Ratio) จะเห็นว่า ปริมาณของหินทิ้งนั้นมีมากกว่าปริมาณของแร่ที่ต้องการ (อรุบล และคณะ, 2558) ประกอบกับการเกิดปัญหาของการจัดการหินทิ้งอย่างไม่เหมาะสม คือ ภายในหินทิ้งรวมถึงสินแร่จะมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ซึ่งโลหะหนักเหล่านั้นเมื่อฝนตกจะถูกชะละลายให้ออกมาปนเปื้อนสู่ตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ดิน น้ำ และน้ำใต้ดิน เป็นต้น โดยเฉพาะเมื่อโลหะหนักเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้โลหะหนักนั้นสามารถเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร และสามารถสะสมภายในอวัยวะของสิ่งมีชีวิตจนก่อให้เกิดโรคเรื้อรังได้ (Gavrilescu, 2004)

ดังนั้น หากพบว่า หินทิ้งเป็นแร่กลุ่มซัลไฟด์ ที่มีองค์ประกอบของแร่ไพไรต์ (FeS_2) และอาร์เซโนไพไรต์ (Arsenopyrite: FeAsS) เป็นต้น มักก่อให้เกิดปัญหา “น้ำเหมืองเป็นกรด” (Acid Mine Drainage : AMD) หรือ Acid Rock Drainage (ARD) โดยเฉพาะกลุ่มแร่ไพไรต์ ที่พบได้ในพื้นที่ที่มีศักยภาพแหล่งแร่ทองคำ ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ของประเทศ ซึ่งแร่กลุ่มนี้เมื่อสัมผัสกับน้ำ และอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดกรดซัลฟูริก (H_2So_4) จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดกระบวนการน้ำเหมืองเป็นกรด (ดังรูปที่ 1) ซึ่งภาวะกรดนี้จะเป็นตัวเร่งให้เกิดการชะละลายของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบในหินทิ้งออกมา และแพร่กระจายออกสู่ตัวกลางสิ่งแวดล้อมส่งผลให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อม และเกิดผลกระทบในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ของชุมชนเป็นสำคัญ

น้ำเหมืองเป็นกรด หมายถึง น้ำที่ระบายทิ้งออกจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ ซึ่งมีสภาพหรือสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือเป็นกรดจัด และมักจะมีโลหะหนักต่างๆ เป็นองค์ประกอบร่วมด้วย เช่น อะลูมิเนียม สังกะสี สารหนู และแมงกานีส ส่งผลให้กิจกรรมการทำเหมืองแร่มีการเจือปนหรือปนเปื้อน อันเกิดจากองค์ประกอบของแร่ต่างๆ ปริมาณสูงในสิ่งแวดล้อม (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2563) โดยปกติ การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดสามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติอย่างช้าๆ เนื่องจากชั้นดินและหินเกิดการสึกกร่อนหรือผุพังตามธรรมชาติ และเมื่อชั้นดินและหินที่เป็นแร่กลุ่มซัลไฟต์ ที่มีองค์ประกอบของแร่ไพไรต์ได้รับการรบกวน จะทำให้อัตราการเกิดน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือน้ำเหมืองเป็นกรดเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (นุชนาท นาคำ, 2550)



รูปที่ 1 การขุดเจาะเหมืองทำให้แร่กลุ่มซัลไฟต์ที่มีแร่ไพไรต์เป็นองค์ประกอบสัมผัสน้ำ และออกซิเจนก่อให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

ที่มา : Coyote, 2019

ในส่วนของปฏิกิริยาทางเคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่เกิดจากการสึกกร่อนของแร่ที่มีองค์ประกอบของแร่ไพไรต์ (FeS_2) เป็นกลุ่มแร่หลักนั้น ทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด ด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Physical Weathering) เช่น การบดย่อยแร่มีผลทำให้แร่มีขนาดเล็กลง แต่เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของแร่ในการสัมผัสกับน้ำ และอากาศได้มากขึ้น และกระบวนกการสลายตัวทางเคมี (Chemical Weathering) กล่าวคือ เมื่อแร่ไพไรต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแล้ว จะทำให้เกิดสภาวะแหล่งน้ำนั้นเป็นกรดที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ ประกอบกับการตกตะกอนสีเหลืองของ Ferric Hydroxide ($Fe(OH)_3$) ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2 ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำได้รับผลกระทบและอาจตายได้ในไม่ช้า

สำหรับเทคนิคในการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรด สามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ 1) Passive Treatment เป็นเทคนิคการบำบัดด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ใช้พืชมาช่วยในการบำบัดและฟื้นฟู ลดความเป็นกรดโดยไม่ต้องเติมสารเคมี ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และการบำรุงรักษามาก เทคนิคการบำบัดแบบนี้ ได้แก่ ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland), Open Limestone Channel และ

Diversion Well และ 2) Active Treatment เป็นเทคนิคการบำบัดด้วยการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อทำให้น้ำที่เป็นกรดมีความเป็นกลาง วิธีการนี้มีการใช้สารเคมี ได้แก่ หินปูน ปูนขาว โซดาแอช และแอมโมเนีย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เทคนิคการใช้สารเคมีจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ร่วมด้วย และมักมีราคาค่อนข้างแพง

รูปที่ 2 ลำธารที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเหมืองเป็นกรด และเกิดการตกตะกอนสีเหลืองจากเหมือง The Mike Horse Mine complex ไหลไปลงแม่น้ำ Blackfoot ตอนบน

ที่มา : Earthworks, 2017

การบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดด้วย...ผักตบชวา

การบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรด มีวิธีการให้เลือกพิจารณาอยู่หลายวิธี ซึ่งแนวทางเลือกหนึ่ง คือ การบำบัดโดยการใช้พืช (Phytoremediation) เป็นกระบวนการใช้พืชที่มีชีวิตมาบำบัดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติของพืชที่สามารถดูดดึงธาตุอาหาร และสารมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำได้ การบำบัดโดยใช้พืชเป็นวิธีการที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ไม่ยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายต่ำ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดที่ต้องพิจารณา เช่น ชนิดของพืชในแต่ละชนิดจะมีกลไกในการกำจัดสารพิษที่แตกต่างกัน ต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัด รวมถึงประสิทธิภาพของการดูดดึงของพืช และความทนทานต่อสารพิษของพืชแต่ละชนิดด้วย ทั้งนี้ วิธีการที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมในการจัดการน้ำเหมืองเป็นกรด คือ การใช้ระบบการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) เป็นการใช้พืชน้ำหรือพืชลอยน้ำที่ได้มีผลการศึกษาวิจัยว่า เป็นพืชที่มีความสามารถในการดูดดึงสารพิษได้สูง (Hyperaccumulator) เช่น ผักตบชวา กก ธูปฤาษี และกูดหมาก เป็นต้น

ผักตบชวา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichlornia crassipes (Mart.) Solms* และมีชื่อสามัญว่า Water Hyacinth (รูปที่ 3) มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำแอมะซอนในทวีปอเมริกาใต้ มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นที่แตกต่างกัน เช่น ผักปอด ผักโรค ผักอีโยก และผักป่อง เป็นต้น ผักตบชวา เป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำได้ สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ มีดอกสีม่วงอ่อนคล้ายช่อดอกกล้วยไม้ (ก่องกานดา และ นันท์นภัส, 2552) ต้นของผักตบชวาจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

4-10 และสามารถเจริญอยู่ได้ในอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ผักตบชวา จะมีราก ขนาดเล็กเป็นจำนวนมากเพื่อดูดสารอาหารในน้ำ และลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง รากของผักตบชวาจึงมีความสามารถในการกรองที่ละเอียดและดูดซึมสารต่าง ๆ ในน้ำได้ดี และถ้าขึ้นบริเวณน้ำตื้น จะพบว่า ราก สามารถหยั่งยึดติดลงไปในพื้นดินได้ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2562)

รูปที่ 3 ผักตบชวา *Eichlornia crassipes (Mart.) Solms* หรือ Water Hyacinth

ปัจจุบันมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการนำผักตบชวามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น การศึกษาของ Sampanpanish and Tippayasa (2007) ได้วิจัยการสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในผักตบชวา และแว่นแก้ว โดยการปลูกพืชแบบไร้ดิน พบว่า พืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้ดี โดยเฉพาะผักตบชวา โดยพบปริมาณการสะสมโครเมียมสูงในบริเวณรากของพืชทดลอง เอกชา ตนานนท์ชัย (2554) ศึกษาผลของสาร EDTA และ DTPA ต่อการดูดดึงแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินตะกอนด้วยผักตบชวา พบว่า ผักตบชวามีความสามารถในการสะสมแคดเมียมมากที่สุดในส่วนใต้น้ำ (ราก) รองลงมาคือส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) โดยสารคีเลตทั้งสองชนิดมีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมในผักตบชวา และ Yunus and Prihatini (2018) ได้รศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก และแมงกานีสในน้ำเหมืองเป็นกรดโดยใช้ผักตบชวา และเกาลัดน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ หรือระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) พบว่า ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ สามารถเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้จาก 3.20 เป็น 5.31 นอกจากนี้ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ ยังสามารถกำจัดเหล็กได้ 87-95% และกำจัดแมงกานีสได้ 70-79%

ดังนั้น การพิจารณานำผักตบชวามาใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเหมืองเป็นกรด อาจเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำพืชที่ใช้บำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อสร้างรายได้ต่อไป

ผักตบชวา...สู่ผลิตภัณฑ์ชุมชน

ผักตบชวา จัดเป็นวัชพืชที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำในประเทศไทยมายาวนาน ทำให้หน่วยงานทั้งภาครัฐ และภาคประชาชน ได้ร่วมมือกันเพื่อแก้ปัญหาผักตบชวาที่มีปริมาณมาก และหนาแน่นในแม่น้ำลำคลองต่างๆ โดยเฉพาะการนำผักตบชวามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานต่าง ๆ สินค้าแปรรูปส่งต่างประเทศ โดยในแต่ละพื้นที่ได้มีการพัฒนานำไปสู่การทำผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากภูมิปัญญาชาวบ้าน แสดงให้เห็นถึงวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในพื้นที่ นอกจากนี้ ยังได้มีการคิดค้น และศึกษาวิจัยนำผักตบชวาไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเพิ่มทางเลือกในการใช้เชื้อเพลิง โดยเฉพาะการใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน และร้านอาหาร เนื่องจากผักตบชวา มีคุณสมบัติที่ไม่มีควันเวลาเผาไหม้ เผาไหม้ได้นาน และราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ (ณิชชา บูรณสิงห์, 2559) จึงเป็นแนวทางเลือกที่สามารถช่วยลดปัญหาผักตบชวาในแหล่งน้ำ รวมทั้งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผักตบชวาได้อีกด้วย นอกจากนี้ผักตบชวายังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกหลากหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ การนำไปทำปุ๋ยในรูปแบบปุ๋ยแห้ง ปุ๋ยหมัก และทำเป็นวัสดุคลุมดิน เป็นต้น (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐได้มีการดำเนินโครงการ “การนำนวัตกรรมไปจัดการกับวัชพืชและผักตบชวาเพื่อสร้างรายได้ให้ชุมชน” โดยการนำ “เครื่องผลิตปุ๋ยหมัก” ที่พัฒนาแล้วนำไปใช้ในพื้นที่ชุมชนต้นแบบ และได้ถ่ายทอดองค์ความรู้วิธีการใช้เครื่องทำปุ๋ยหมักและดินปลูก ที่ทำจากวัชพืชและผักตบชวาให้แก่ชุมชนในหลายพื้นที่รวมถึงได้คัดเลือกองค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการผักตบชวาที่สามารถดำเนินการได้ในหลายรูปแบบ เช่น การผลิตผ้าทอจากเส้นใย การทำเครื่องจักสาน การทำผลิตภัณฑ์กระดาษสา และการทำฝ้าเพดานซับเสียง เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ความรู้เพื่อให้ชุมชนได้สร้างกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันด้วยนวัตกรรม และนำไปดำเนินเป็นกิจกรรมที่สร้างรายได้ให้กับชุมชนได้อย่างดี มีความเป็นอยู่ของชุมชนในการดำเนินชีวิตภายใต้เศรษฐกิจพอเพียง และสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน (สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, 2562)

สำหรับรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผักตบชวาในปัจจุบันมีการออกแบบให้ทันสมัย มีกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลาย และสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปสู่ตลาดต่างประเทศได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ผ้าผักตบชวาสู่อุตสาหกรรมแฟชั่น การพัฒนาและปรับปรุงผักตบชวาออกมาเป็นเส้นด้ายและผ้าผืน นำมาผลิตเป็นเสื้อผ้าที่มีรูปแบบเรียบง่าย ผสมผสานความทันสมัย ด้วยสมบัติของผักตบชวาที่สวมใส่สบายระบายอากาศได้ดี นั่นคือ “เส้นใยแห่งสายน้ำ” (ชลธิชา ศรีอุบล, 2560) (รูปที่ 4) นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาใช้ทำเป็นรองเท้าจากเส้นใยผักตบชวาได้ (รูปที่ 5) หรือมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานของวิสาหกิจชุมชนแล้ว (รูปที่ 6) ยังมีการพัฒนาเป็นอิฐบล็อกดินประสานในการก่อสร้างอาคารได้ด้วย (รูปที่ 7) เป็นต้น

รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์ “เส้นใยแห่งสายน้ำ” ผักตบชวาสู่ผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า

ที่มา : ชลธิชา ศรีอุบล, 2560

รูปที่ 5 รองเท้าจากเส้นใยผักตบชวา

รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากผักตบชวา

ที่มา : Mata, 2019; วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรคลองวัว, 2563

รูปที่ 7 อิฐบล็อกดินประสานจากผักตบชวา

ที่มา : หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 53 ทหารพัฒนาศรีสะเกษ, 2563

บทสรุป

ดังจะเห็นได้ว่า “น้ำเหมืองเป็นกรด” ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น สารหนู แมงกานีส หากมีการระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม จะส่งผลกระทบต่อทั้งสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมภายนอกได้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสุขภาพอนามัยของชุมชน ดังนั้น จึงควรมีวิธีการป้องกัน และจัดการหินทิ้ง สินแร่ อย่างถูกต้อง เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพื่อไม่ให้เป็นเหตุของการเกิดน้ำแหมืองเป็นกรดได้ แต่หากเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดขึ้นแล้ว วิธีการบำบัดและฟื้นฟูโดยการใช้พืชมาช่วย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการใช้ผักตบชวาในการบำบัดโดยทำหน้าที่ในการดูดดึง และสะสมโลหะหนักไว้ ทั้งนี้ ผักตบชวา ยังเป็นพืชที่มีศักยภาพในการดึงดูดโลหะหนักในน้ำได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ พืชที่ผ่านการบำบัดโลหะหนักแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่หลากหลายได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการยืนยันและลดความกังวลจากผู้บริโภคว่า พืชที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นั้น ควรที่จะต้องมีการวิเคราะห์ และพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ ถึงความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับว่า จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้หรือผู้บริโภคด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2563. การแก้ปัญหาน้ำเหมืองเป็นกรด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=122&articleid=193. [11 เมษายน 2563]

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2545. คู่มือการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนและครบวงจร โดยให้เกิดประโยชน์สูงสุด. จุลสารเพื่อการเผยแพร่กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ.

ก่องกานดา ชยามฤต และนันท์นภัส ภัทรหิรัญไตรสิน. 2552. ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้ เล่มที่ 3. สำนักงานวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม่และพันธุ์พืช. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. สำนักงานวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช.

ชลธิชา ศรีอุบล. 2560. ในหลวงรัชกาลที่ 9 ในความทรงจำ: เส้นใยแห่งสายน้ำ เส้นใยผักตบชวา สู่ผลิตภัณฑ์แฟชั่น. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_36197. [19 เมษายน 2563]

ณิชชา บูรณสิงห์. 2559. เชื้อเพลิงอัดแท่งผลผลิตผักตบชวาขยะวัชพืช. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=45203&filename=house2558_2 [22 เมษายน 2563]

นุชนาท นาคำ. 2550. การตรวจสอบความเป็นกรด – ด่าง ของเปลือกดินชั้นหิน (Acid – Base Accounting: ABA) เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด. พิมพ์ครั้งที่ 1.รายงานวิชาการ ลำดับที่ สอพ. 4/2550. กรมพื้นฐานและการเหมืองแร่: กลุ่มอุตสหกรรมพื้นฐาน 4.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2562. ผักตบชวา. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://th.wikipedia.org/wiki/ผักตบชวา [22 เมษายน 2563]

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรคลองวัว. 2563. แหล่งที่มา : https://www.provincialchamp.com/shop/50. [19 เมษายน 2563]

สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ. 2561. ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579) และแผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ พ.ศ. 2560 – 2561. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. 2562. การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา ภายใต้โครงการจิตอาสาพัฒนาสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชน เฉลิมพระเกียรติ เนื่องในโอกาสมหามงคลพระราชพิธีบรมราชาภิเษก. กรุงเทพฯ.

หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 53 ทหารพัฒนาศรีสะเกษ. 2563. การทำอิฐบล็อกดินประสานจากผักตบชวา. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://afdc-mdu53.rtarf.mi.th/index/index.php/2018-04-28-09-23-27/48-2018-04-28-03-42-40. [19 เมษายน 2563]

อรุบล โชติพงศ์ อนุ กัลลประวิทย์ และจักรพันธุ์ สุทธิรัตน์. “การจัดการของเสียจากการทำเหมืองบริเวณแหล่งแร่ทองคำ” ในหนังสือเหมืองสีเขียวเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, บรรณาธิการ. (ศูนย์เครือข่ายการจัดการสารและของเสียอันตราย สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558) หน้า 335-377.

เอกชา ตนานนท์ชัย. 2554. ผลของอีดีทีเอและดีทีพีเอต่อการกาจัดแคดเมียมในดินปนเปื้อนด้วยผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Coyote, G. 2019. Acid mine drainage turns the #BlueRiver orangish at Breckenridge [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://coyotegulch.blog/2019/04/29/acid-mine-drainage-turns-the-blueriver-orangish-at-breckenridge/ [12 เมษายน 2563]

Earthworks, 2017. Mike Horse Mine. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.flickr.com/photos/earthworks/30152881208 [11 เมษายน 2563]

Gavrilescu, M., 2004. Removal of heavymetals fromthe environment by biosorption. *Engineering in Life Sciences*. 4: 219–232.

Mata CK. 2019. แม่น้ำทั้งสายกด Like สิ่งนี้! รองเท้ารักษ์โลกจากเส้นใยผักตบชวา เปลี่ยนตัวปัญหาเป็นสินค้าสุดว้าว!. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.smethailandclub.com/entrepreneur-4751-id.html [19 เมษายน 2563]

Sampanpanish, P. and Tippayasa, K. 2007. Chromium uptake on speciation and phytotoxicity by hydroponics with aquatic plants. In Proceeding at the 34th Australasian Chemical Engineering Conference (CHEMECA 2007). p. 72.

Yunus R. and Prihatini N.S. 2018. Fe and Mn phytoremediation of acid coal mine drainageusing water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*) on the constructed wetland system. International Journal of Biosciences. 12, 4: 273-282