

2019-10-01

บทความ: การประยุกต์ใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าบำบัดและฟื้นฟูชั้นดินปนเปื้อนโลหะหนัก

กฤษฎิ์ วาณิชสวัสดิ์วิชัย

ชินวัตร สัมพันธ์พานิช

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/cuej>



Part of the [Environmental Sciences Commons](#)

Recommended Citation

วาณิชสวัสดิ์วิชัย, กฤษฎิ์ and สัมพันธ์พานิช, ชินวัตร (2019) "บทความ: การประยุกต์ใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าบำบัดและฟื้นฟูชั้นดินปนเปื้อนโลหะหนัก," *Environmental Journal*: Vol. 23: Iss. 4, Article 3.

Available at: <https://digital.car.chula.ac.th/cuej/vol23/iss4/3>

This Article is brought to you for free and open access by the Chulalongkorn Journal Online (CUJO) at Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Environmental Journal by an authorized editor of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

บทความ: การประยุกต์ใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าบำบัดและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

กฤษฎี วานิชสวัสดิ์วิชัย และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

หน่วยปฏิบัติการวิจัย “การจัดการเหมืองสีเขียว”

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การอ้างอิง: กฤษฎี วานิชสวัสดิ์วิชัย และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2562). การประยุกต์ใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าบำบัดและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 23 (ฉบับที่ 4).

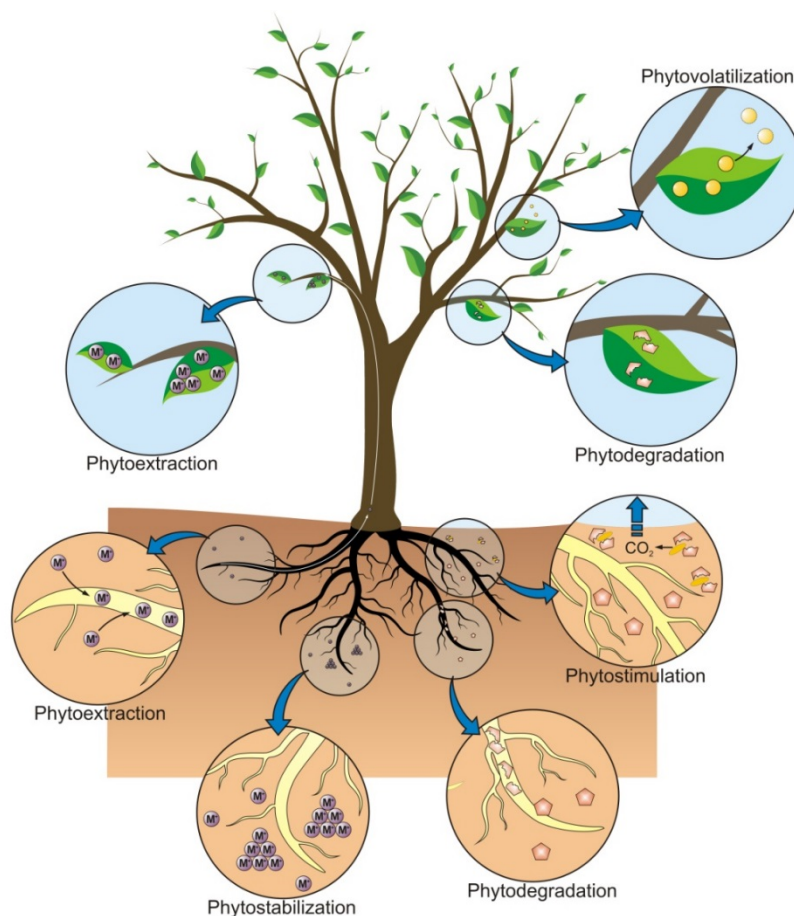
ปัญหาสิ่งแวดล้อม

คำว่าสิ่งแวดล้อมถือได้ว่าเป็นคำที่มีความหมายอย่างกว้างขึ้นอยู่กับนิยามของแต่ละบุคคล แต่ถ้ามองให้ถึงแก่นแท้ของคำว่าสิ่งแวดล้อมนั้น หมายถึง ทรัพยากรธรรมชาติที่เปรียบได้ดังสิ่งหล่อเลี้ยงสิ่งมีชีวิตในโลกใบนี้ หรือเป็นที่ ๆ มนุษย์เรียกว่า “บ้าน” จากอดีตจนถึงปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติมีแนวโน้มเสื่อมโทรมและถูกทำลายเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันสิ่งแวดล้อมทางวัฒนธรรมที่มนุษย์ได้สร้างขึ้นมาแทนที่ สาเหตุหลักมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและระบบเศรษฐกิจที่ควบคู่ไปกับการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก อีกทั้งยังถูกค่านิยมของสังคมที่บีบบังคับให้ต้องแข่งขันกันในการดำรงชีวิตจนส่งผลให้สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติเสื่อมโทรมลงอย่างเห็นได้ชัด

สำหรับประเทศไทยนั้นความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่ง คือ การปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ตะกอนท้องน้ำ และกากโลหะกรรมที่ถูกกักเก็บไว้ในบ่อกักเก็บกากแร่จากการทำเหมืองแร่ ปัจจุบันพบการปนเปื้อนสารหนูบริเวณตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช การปนเปื้อนสารตะกั่วในลำห้วยคลิตี้ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี การปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตาบ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และการปนเปื้อนตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีที่นิคมอุตสาหกรรมลำพูน อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) จากปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวมักส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของคนในชุมชน ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นมีหลากหลายวิธีที่ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แต่สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการแก้ไขปัญหการปนเปื้อนในบทความนี้ มีความสนใจในการนำแนวคิดของการใช้พืชที่มีชีวิต (Green plants) มาบำบัดและฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน หรือที่เรารู้จักกันดี คือ เทคโนโลยีการใช้พืช (Phytoremediation) โดยนำมาใช้ร่วมกับอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีชื่อว่า จลนศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic)

เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)

เทคโนโลยีการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (Phytoremediation) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้พืชในการบำบัด และฟื้นฟูพื้นที่ ๆ ปนเปื้อนสารมลพิษต่าง ๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ในการบำบัด รวมทั้งยังกำจัดสารมลพิษที่อยู่ในรูปต่าง ๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในดิน น้ำ และอากาศได้ สิ่งสำคัญของการใช้เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืช คือ การเลือกชนิดของพืชให้เหมาะสมกับการบำบัดสารมลพิษในบริเวณที่มีการปนเปื้อนนั่น นอกจากนี้ยังต้องมีความเข้าใจพฤติกรรมของสารมลพิษที่จะทำการบำบัดรวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืชจึงเป็นแนวทางเลือกอีกหนึ่งวิธี สำหรับใช้ในการบำบัดสารมลพิษ โดยการพึ่งพาสิ่งที่มีอยู่แล้วในสิ่งแวดล้อม ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัด โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีที่มีต้นทุนที่สูงและเป็นสาเหตุของการทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้สารเคมี วิธีชะล้างดิน และการตัดหรือขุดลอกหน้าดินไปกำจัดนอกพื้นที่ เป็นต้น ประเภทของเทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืชมีหลายประเภท (พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 2558) ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามกลไกของพืชที่ใช้ในการกำจัดสารพิษต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 1



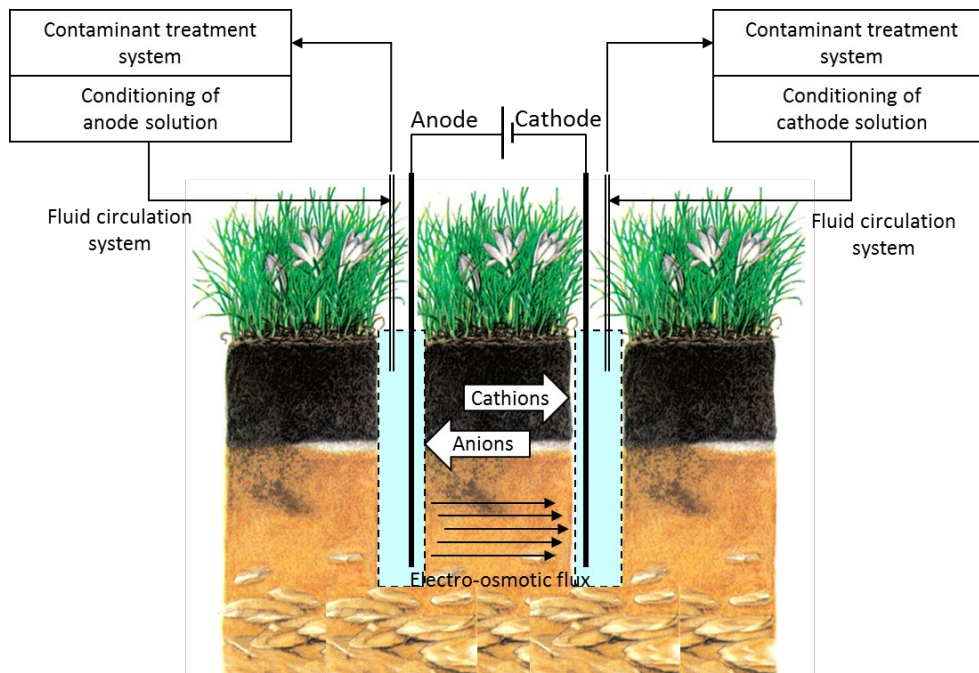
รูปที่ 1 กระบวนการการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation)

ที่มา: Favas และคณะ (2014)

การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วยพืชสามารถจำแนกได้เป็นหลายประเภทตามกระบวนการกำจัดสารมลพิษที่เกิดขึ้นภายนอกและภายในของพืช โดยประเภทของกระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกของพืชแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ 1) การตรึงสารมลพิษด้วยพืช (Phytostabilization) เป็นการลดและจำกัดการเคลื่อนย้ายของสารมลพิษในพื้นที่ปนเปื้อน โดยการตรึงสารมลพิษไว้บริเวณรากพืช และ 2) การย่อยสลายสารมลพิษด้วยรากพืช (Rhizodegradation) เป็นการสลายตัวของสารมลพิษด้วยจุลินทรีย์บริเวณรอบ ๆ รากพืช ส่วนประเภทของกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในพืชแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการ ได้แก่ 1) การย่อยสลายสารมลพิษด้วยพืช (Phytodegradation) เป็นการดูดซับสารมลพิษเข้าไปในพืชและย่อยสลายด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึมจากเอนไซม์ต่าง ๆ 2) การทำให้สารมลพิษระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) เป็นการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีของสารมลพิษภายในพืชและระเหยกลายเป็นไอทางปากใบออกสู่บรรยากาศ 3) การกรองสารมลพิษด้วยรากพืช (Rhizofiltration) เป็นการกรองและดูดซับสารมลพิษเข้าไปสะสมไว้เฉพาะบริเวณรากพืช และ 4) การสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) เป็นการดูดซับ เคลื่อนย้ายสารมลพิษ และสะสมในบริเวณราก ต้น และใบ โดยพืชที่สะสมจะเป็นกลุ่มไฮเพอร์แอคคิวมิเลเตอร์ (Hyperaccumulator) ดังนั้นงานวิจัยที่ต้องการให้มีการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงได้มีการนำเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้ามากระตุ้นใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการบำบัดด้วยพืช โดยกระบวนการของพืชที่นำมาใช้ร่วมส่วนใหญ่มักเป็นกระบวนการสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถกำจัดสารมลพิษออกจากพื้นที่ ๆ ปนเปื้อนได้อย่างถาวร อีกทั้งยังสอดคล้องและต่อเนื่องหลังจากใช้การบำบัดโดยจลนศาสตร์ไฟฟ้าแล้ว

เทคโนโลยีการบำบัดโดยจลนศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic remediation)

การบำบัดโดยวิธีจลนศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic treatment) เป็นเทคนิคที่มีการประยุกต์และปรับปรุงมาใช้ในการบำบัดโลหะหนักจากดิน และน้ำใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ใช้กระแสไฟฟ้าทำให้น้ำ ไอออน และอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในน้ำระหว่างอนุภาคดินหรือระหว่างเม็ดดินเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า หลังจากนั้นก็จะถูกนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไป ซึ่งเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้านี้มีความเหมาะสมกับดินที่มีอนุภาคละเอียดอย่างดินเหนียว อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของวิธีนี้มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ได้แก่ รูปแบบของโลหะหนักที่ปนเปื้อน ซึ่งต้องอยู่ในสภาพที่ละลายอยู่ในน้ำ รวมทั้งองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินแต่ละชนิด จากที่กล่าวมานั้นสามารถขยายความให้ละเอียดยิ่งขึ้นคือ จลนศาสตร์ไฟฟ้าสามารถทำให้โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายและมีประจุไม่ว่าจะบวกหรือลบเคลื่อนที่ผ่านเนื้อดินโดยน้ำระหว่างอนุภาคดินได้ โดยใช้วิธีการวางขั้วไฟฟ้า (Electrodes) ลงในดินและทำการให้กระแสไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งจะเกิดการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านอนุภาคดินบริเวณระหว่างขั้วไฟฟ้านั้น และทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักที่ปนเปื้อนไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีชนิดของประจุตรงข้ามกัน ดังรูปที่ 2 เทคนิคการบำบัดนี้สามารถทำได้โดยไม่ต้องทำการขุดดินขึ้นมาบำบัด (ex-situ)

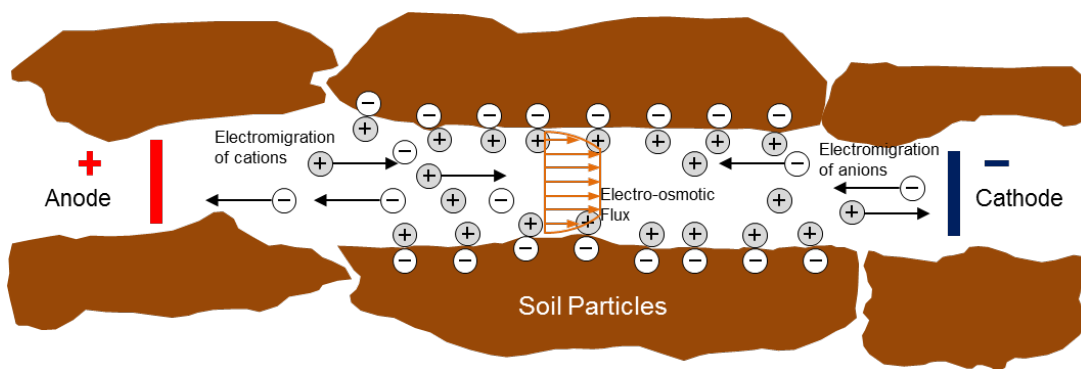


รูปที่ 2 การบำบัดดินด้วยกระบวนการบำบัดโดยจลนศาสตร์ไฟฟ้า

ที่มา: Cameselle และคณะ (2013)

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยจลนศาสตร์ไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วย 2 กลไกหลัก ได้แก่ 1) อิเล็กโตรออสโมซิส (Electroosmosis) และ 2) อิเล็กโตรไมเกรชัน (Electromigration) ด้วยรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) อิเล็กโตรออสโมซิส (Electroosmosis) คือ การเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาคดินโดยแรงจากสนามไฟฟ้า ซึ่งกลไกนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อน้ำในช่องว่างขนาดเล็กระหว่างอนุภาคดินที่มีประจุลบบนพื้นผิว เมื่อเกิดการสัมผัสกับน้ำ ส่งผลให้เกิดการจัดเรียงตัวของไอออน เรียกว่า อิเล็กทริกดับเบิลเลเยอร์ (Electric double layer) ทำให้เกิดการสมดุลของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด หรือกล่าวได้ว่าเมื่อพื้นผิวของอนุภาคดินที่มีประจุลบ ไอออนบวกที่อยู่ในน้ำจะถูกแรงยึดเหนี่ยวให้เข้ามาอยู่บริเวณผิวอนุภาคดิน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงลักษณะของอิเล็กทริกดับเบิลเลเยอร์ (Electric double layer)

ที่มา: Cameselle และคณะ (2013)

- 2) อิเล็กโตรไมเกรชัน (Electromigration) คือ การเคลื่อนตัวของไอออนต่าง ๆ ในน้ำ โดยไอออนของสารที่มีประจุเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้าม (รูปที่ 3) กล่าวได้ว่า โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลาย ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบหรือขั้วแคโทด (Cathode) ในขณะที่โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลาย ไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกหรือขั้วแอโนด (Anode) (Acar and Alshawabkeh, 1993)

เทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้ากับการนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการใช้พืช

การใช้เทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้าร่วมกับเทคโนโลยีการใช้พืชนั้น มักจะเป็นการใช้ประโยชน์ที่แสดงถึงประสิทธิผลของการสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) เป็นส่วนใหญ่ เพราะเนื่องจากการบำบัดที่สามารถกำจัดสารมลพิษออกไปจากพื้นที่ที่ปนเปื้อนแบบถาวร ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการบำบัดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในช่วงเริ่มแรกของงานวิจัยด้านการบำบัดพื้นที่ที่ปนเปื้อนนั้นมักจะนิยมใช้เทคนิคการบำบัดด้วยจลนศาสตร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น Senneset และ Strout (1998) ได้ทำการศึกษาการบำบัดดินที่ปนเปื้อนทองแดง โครเมียม และสารหนู และการศึกษาของ Pamukcu และ Huang (2001) ซึ่งศึกษาการจำลองการปนเปื้อนสารหนูในดินเหนียว และทราย และทำการทดสอบการบำบัดในห้องปฏิบัติการ จากที่กล่าวมานั้นในยุคเริ่มแรกของงานวิจัยด้านนี้จะมุ่งเน้นในด้านการใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับชนิดของดินและโลหะหนักที่ปนเปื้อนในพื้นที่และตำแหน่งหรือรูปแบบการวางขั้วอิเล็กโทรดเป็นหลัก โดยมีจุดมุ่งหมายในการจำกัดขอบเขตของการปนเปื้อนมากกว่าการกำจัดสารมลพิษออกจากพื้นที่ หรือในบางกรณีที่เป็นพื้นที่ที่ปนเปื้อนไม่กว้างมากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำก็จะมีการใช้เทคนิคอื่น ๆ เช่น การล้างดินเข้ามากำจัดสารมลพิษด้วย เป็นต้น

ในช่วงที่สองของการพัฒนางานวิจัยด้านนี้ได้มีการนำเทคนิคจลนศาสตร์ไฟฟ้ามาใช้ในการใช้พืชบำบัด ตัวอย่างเช่น Bi และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของไฟฟ้าต่อการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) ที่ปลูกไว้ในสารละลายที่มีและไม่มีสารปนเปื้อนของแคดเมียม และให้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่มีค่าความต่างศักย์ต่างกัน นอกจากนี้ Cang และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาการปลูกผักกาดสีน้ำตาล (Indian mustard) ร่วมกับการใช้จลนศาสตร์ไฟฟ้าในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี โดยทำการทดลองการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชและประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะออกจากดินที่ปนเปื้อน

จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่าช่วงเวลานี้จะเป็นการทดลองการบำบัดที่มีการให้กระแสไฟฟ้าร่วมกับการใช้พืชเป็นหลัก ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไรบ้าง เช่น ในส่วนของกระแสไฟฟ้านั้นจะมีการเปรียบเทียบระหว่างไฟฟ้ากระแสตรง (DC) กับกระแสสลับ (AC) โดยผลที่ได้ก็จะมีผลแตกต่างกันไป กล่าวคือ ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) นั้นจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสารมลพิษไปสะสมในพื้นที่ที่ต้องการในปริมาณที่มากกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่จะมีลักษณะของสนามไฟฟ้าสลับขั้วไปมา ไม่ได้มีทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้าทิศทางเดียวแบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แต่อย่างไรก็ตามในด้านมวล

ชีวภาพของพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แต่งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ โดยพิจารณาจากปัจจัยในการทดลองต่าง ๆ รวมถึงความอันตรายของไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่มีมากกว่าไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ด้วย นอกจากนี้ในด้านของชนิดพืชที่ใช้ส่วนใหญ่ก็จะใช้พืชอายุสั้นที่โตเร็ว ขยายพันธุ์และดูแลรักษาง่าย มีมวลชีวภาพและความสามารถในการดูดซับสารมลพิษที่สูงเป็นหลัก (พันธ์วัศ สัมพันธ์พานิช, 2558)

ในช่วงสุดท้ายจนถึงปัจจุบันได้มีการเติมสารเคมีลงไปในพื้นที่ที่ปนเปื้อน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอีกทางหนึ่ง ตัวอย่างเช่น Tahmasbian และ Sinegani (2015) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วโดยใช้พืชร่วมกับจุลนาศาสตร์ไฟฟ้าและสารคีเลเตอร์ (Chelators) สำหรับขั้นตอนการทดลองใช้ดินที่ปนเปื้อนบริเวณรอบเหมืองโดยนำมาเติมสารคีเลเตอร์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ กรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติก (Ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA) มูลสัตว์ปีก (Poultry manure extract; PME) และมูลวัว (Cow manure extract; CME) ดังนั้นส่วนของงานวิจัยในช่วงนี้จึงเป็นการลงลึกไปทางด้านโครงสร้างและปฏิกิริยาเคมีของสารคีเลเตอร์ที่จำเพาะเจาะจงต่อชนิดของสารมลพิษมากกว่า

บทสรุป

การแก้ไขปัญหาพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักนั้นมีหลากหลายแนวทาง ซึ่งแต่ละแนวทางมีจุดประสงค์เดียวกัน คือ มุ่งเน้นการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนให้สะอาด ลดหรือปราศจากการปนเปื้อนและตกค้างจากสารพิษ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นการนำเทคโนโลยีการสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) ร่วมกับเทคนิคจุลนาศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic) มาใช้ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนร่วมกันจะสามารถให้ผลลัพธ์ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางอื่น ๆ เนื่องจากวิธีการสกัดสารมลพิษด้วยพืช ถือได้ว่าเป็นวิธีที่ใช้ธรรมชาติบำบัดธรรมชาติ ซึ่งจะเป็นการกำจัดสารมลพิษอย่างถาวร อีกทั้งยังใช้ต้นทุนในการดำเนินการที่ต่ำ แต่การใช้พืชเพียงอย่างเดียวจะมีข้อเสียในด้านการใช้ระยะเวลาที่นานในการบำบัดแต่ละครั้ง ซึ่งประเด็นนี้ส่งผลให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาพื้นที่ปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบันได้ทัน ทำให้ต้องนำเทคนิคจุลนาศาสตร์ไฟฟ้าที่มีจุดเด่นในด้านการกำจัดและลดขอบเขตการปนเปื้อนมาสู่บริเวณที่ต้องการได้ในระยะเวลาอันสั้น อีกทั้งกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่เหมาะสมที่พืชได้รับจะไปกระตุ้นกลไกภายในพืชส่งผลให้มีการดูดซับสารมลพิษไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ดีกว่าการใช้พืชเพียงอย่างเดียว

จากที่กล่าวมานั้น แม้ว่าเทคนิคจุลนาศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic) จะมีต้นทุนที่สูงในการบำบัด แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีกระบวนการสกัดสารมลพิษด้วยพืช (Phytoextraction) ที่สามารถกำจัดสารมลพิษในปริมาณมากออกจากพื้นที่ปนเปื้อนอย่างถาวรด้วยระยะเวลาที่สั้นลง ทำให้การนำสองเทคนิคนี้มาใช้ร่วมกันจึงเป็นวิธีการที่ให้ผลลัพธ์คุ้มค่าต่อต้นทุนที่เกิดขึ้น ทั้งยังเป็นการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อพื้นที่ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. เทคโนโลยีการบำบัดด้วยพืช (Phytoremediation). ส่วนน้ำเสียอุตสาหกรรม.
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- พันธุ์ศ สัมพันธ์พานิช. 2558. การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร :
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Acar, Y.B., and Alshawabkeh, A.N. 1993. Principles of electrokinetic remediation.
Environmental Science and Technology, 27, 2638-2647.
- Bi, R., Schlaak, M., Siefert, E., Lord, R., and Connolly, H. 2010. Alternating current electrical field effects on lettuce (*Lactuca sativa*) growing in hydroponic culture with and without cadmium contamination. *Journal of applied electrochemistry*, 40(6), 1217-1223.
- Cameselle, C., Gouveia, S., Akretche, D.E., and Belhadj, B. 2013. Advances in electrokinetic remediation for the removal of organic contaminants in soils. *Organic Pollutants Monitoring Risk and Treatment*, 209-229.
- Cang, L., Wang, Q.Y., Zhou, D.M., and Xu, H. 2011. Effects of electrokinetic-assisted phytoremediation of a multiple-metal contaminated soil on soil metal bioavailability and uptake by indian mustard. *Separation and Purification Technology*, 79, 246-253.
- Favas, P.J.C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., and Paul, M.S. 2014. Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, 485-517.
- Pamukcu, S., and Huang, C.P. 2001. In situ remediation of contaminated soils by electrokinetic processes. In 'Hazardous and Radioactive Waste Treatment Technologies Handbook'. CRC Press: Florida.
- Senneset, K.G., and Strout, J.M. 1998. Applicability of electrokinetic remediation to Norwegian soils: a model study. In 'Contaminated and derelict land: the proceedings of GREEN 2: the second international symposium on geotechnics related to the environment held in Krakow, Poland. Thomas Telford: London
- Tahmasbian, I., and Safari Sinegani, A.A. 2015. Improving the efficiency of phytoremediation using electrically charged plant and chelating agents. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 2479-2486.