



คู่มือนำชม
นิทรรศการและเสวนา

ประเทศไทย เป็นพิษ

Thailand research expo 2013

ระหว่างวันที่ 23 - 27 สิงหาคม 2556

ณ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์
เซ็นทรัลเวิลด์

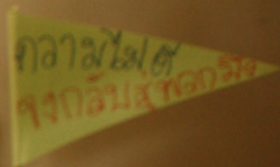


คู่มือนำชม

นิทรรศการและเสวนา

ประเทศไทย

เพื่อนพิช



ดิน น้ำ ไฟ เปื้อนมลพิษ:

ผ่อนคลายวิกฤตด้วยวิศวกรรมฟื้นฟู

เมื่อดิน น้ำ และไฟ ปนเปื้อนมลพิษเสียแล้ว ความหวังที่จะดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรม ที่เอื้อต่อสุขภาพจะเป็นไปได้หรือ สังคมไทยพัฒนาจากสังคมเกษตรกรรมเข้าสู่สังคมอุตสาหกรรม ด้วยพลังแห่งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ล้ำหน้ารวดเร็วกว่าประเทศอื่นๆ ในอาเซียน และไม่แพ้ประเทศใดๆ ในโลก

หากแต่ด้านหนึ่งหลายชุมชน หลายพื้นที่ในประเทศไทยวันนี้พัฒนามาถึงจุดที่คนไม่กล้ารองน้ำฝนดื่ม ไม่อาจจะใช้น้ำในบ่อข้างบ้าน ไม่อาจจะหาปลาในลำห้วย ลำคลอง แม่น้ำ ทะเล พืชผักในธรรมชาติหรือข้าวในนาของชาวนาไม่อาจจะเก็บเกี่ยวมาบริโภคได้ ดินเปื้อนพิษ หรือกระทั่งอากาศที่หายใจเข้าไปเป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีผู้คนเจ็บไข้ได้ป่วยจากมลพิษดังกล่าว เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วเราก็ไม่อาจกล่าวได้ว่าสังคมไทยพัฒนาขึ้นมาแล้วจากอดีต เพราะภาวะวิกฤตสิ่งแวดล้อม สังคม วัฒนธรรม และสุขภาพที่สังคมไทยกำลังเผชิญอยู่เพิ่มมากขึ้นทุกวันในทุกหัวระแหง

นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการผลิตภาคอุตสาหกรรมมากมาย เป็นปัจจัยส่งเสริมเศรษฐกิจของไทย ขณะเดียวกันก็มีกากของเสียหรือสารพิษอันตรายจากการผลิตดังกล่าวทิ้งไว้โดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสม สะท้อนให้เห็นสภาวะ “ไร้ความรับผิดชอบ” ของคนในสังคมนี้ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคนในสังคมเอง เราไม่อาจจะปฏิเสธได้ว่าความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม ได้นำพาสังคมไทยมาสู่เส้นทางนี้ หากยังคงมุ่งมั่นพัฒนาไปอย่างที่เคยเป็นมาไม่ช้าก็เร็วประเทศไทยจะกลายเป็น “ประเทศเปื้อนพิษ”

ชุมชนที่ประสบปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน ในน้ำ และในอากาศทั่วทุกภูมิภาคของไทยกำลังเรียกร้องต้องการเครื่องมือ และกระบวนการในการแก้ไขปัญหาพิษที่พวกเขาเผชิญอยู่ คณะวิจัยจึงได้ดำเนินงานวิจัยแบบบูรณาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การแพทย์ การประเมินความเสี่ยง ระบาดวิทยา อาศัยความร่วมมือจากภาคประชาชน เครื่องมือทางสังคม ตลอดจนเทคนิควิศวกรรมฟื้นฟู เพื่อให้งานวิจัยแบบสหสาขาวิชา สามารถตอบสนองการแก้ปัญหาชุมชนอย่างน้อย 6 พื้นที่ ซึ่งกำลังประสบวิกฤตมลพิษอุตสาหกรรม



บทนำ

กำหนดการเสวนา

หน้า 10 วิศวกรรมทางเลือกเพื่อฟื้นฟูการปนเปื้อนสารตะกั่ว
ในลำห้วยคลิตี้: การประเมินการขุดลอกตะกอนท้องน้ำ
และความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการครอบตะกอน
(In Situ Sediment Capping)

หน้า 24 วิศวกรรมการฟื้นฟูภาคสนามกับการแก้ปัญหาน้ำใต้ดิน
น้ำบ่อต้นปนเปื้อนมลพิษในพื้นที่ เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง

หน้า 37 “อนุภาคแม่เหล็ก: ปกป้องข้าว พืชภัยดิน สู้ภัยแคดเมียม”
วิศวกรรมทางเลือกลดการถ่ายเทแคดเมียมสู่ข้าว กำจัดแคดเมียม
จากดินลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

หน้า 48 การศึกษาและพัฒนากระบวนการเครือข่ายและความรู้
ในการเฝ้าระวัง และตรวจติดตามทางสุขภาพ
ที่ได้รับผลกระทบทางสุขภาพจากเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร

หน้า 56 เทคโนโลยีนวัตกรรมบำบัดรักษามะเร็งในดิน ในน้ำใต้ดินด้วย
“อนุภาคนาโนเหล็กประจุศูนย์” ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ + สวมแม่เหล็กไฟฟ้า
กระแสสลับ ฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสารอันตรายประเภท
สารอินทรีย์ระเหยที่มีน้ำมันหนัก (DNAPL) ได้รวดเร็ว

หน้า 71 ข้อเสนอแนวทาง และมาตรการบำบัดและฟื้นฟูการปนเปื้อนสารพิษ
ในตำบลหนองแวน อำเภอนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา

กำหนดการเสวนา

“ประเทศไทยเปื้อนพิษ”

ในงาน Thailand Research Expo

ระหว่างวันที่ 23 – 27 สิงหาคม

ณ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์
(บูธ C16 ม.นเรศวร)

วันศุกร์ที่ 23 สิงหาคม 2556 เวลา 16.00 - 18.00 น.

“ชุมชนชาวกะเหรี่ยงเปื้อนพิษจากเหมืองแร่ กรณีพิษตะกั่ว บ้านคลิตี้ล่าง
อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี และกรณีพิษแคดเมียม ลุ่มน้ำแม่ตาอ อ.แม่สอด จ.ตาก”

ผู้ร่วมเสวนา

- ญาณพัฒน์ ไพรมีทรัพย์ ชาวบ้านพะเด๊ะ อ.แม่สอด จ.ตาก
- ชลาลัย นาสวนสุวรรณ ชาวบ้านคลิตี้ล่าง อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี
- สุภาภรณ์ มาลัยลอย ผู้จัดการมูลนิธินิติธรรมสิ่งแวดล้อม
- ดร.วิสาข์ สุพรรณไพฑูรย์ ผู้อำนวยการสถานความเป็นเลิศเพื่อความ
ยั่งยืนด้านสุขภาวะ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
ม.นเรศวร
- ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน
และการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

ดำเนินรายการโดย พลินี เสริมสินศิริ

วันเสาร์ที่ 24 สิงหาคม 2556 เวลา 16.00 - 18.00 น.

“ชุมชนหนองแห่นกับการลักลอบทิ้งขยะพิษจากอุตสาหกรรม”

ผู้ร่วมเสวนา

- จร เนาวโอบาส ประธานสภาองค์การบริหารส่วนตำบลหนองแห่น
อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา
- รศ.ดร.นุศราพร เกษสมบูรณ์ คณะเภสัชศาสตร์ ม.ขอนแก่น
- ดร.แฟรดาซ์ มาห์เหม็ด ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- สมพร เพ็งคำ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ
- ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน
และการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

ดำเนินรายการโดย พลินี เสริมสินศิริ

วันอาทิตย์ที่ 25 สิงหาคม 2556 เวลา 16.00 - 18.00 น.

“มาบตาพุดเปื้อนพิษ กับท้องทะเลดำจากน้ำมันรั่ว อ่าวพร้าว

เกาะเสม็ด: การบำบัดฟื้นฟูและรับมือมลพิษ”

ผู้ร่วมเสวนา

- นวลปรางค์ พูลกิจ โรงเรียนมาบตาพุดพันวิทยาคาร
- เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง มูลนิธิบูรณะนิเวศ
- เรืองฤทธิ์ คงเมือง ช่างภาพสารคดีผู้ติดตามถ่ายภาพสถานการณ์น้ำมันรั่ว
ที่อ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จ.ระยอง
- ดร.ทาเคชิ มียาคิตะ (Takashi Miyakita) ผู้อำนวยการศูนย์มินามาทะศึกษา
(Open Research Center for Minamata Studies) มหาวิทยาลัย
คุมาโมโตะกาคอง (Kumamoto Gakuen University) ประเทศญี่ปุ่น

- ดร.แฟรดาซ มาห์ลิม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน และการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

ดำเนินรายการโดย ประพจน์ ภู่อทองคำ

วันจันทร์ที่ 26 สิงหาคม 2556 เวลา 16.00 - 18.00 น.

“ชุมชนเปื้อนพิษจากเหมืองทองคำ”

ผู้ร่วมเสวนา

- ชนัญธิดา ฉากกลาง ชาวบ้านผู้ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ จ.พิจิตร
- วัชรภรณ์ วัฒนขำ นักปฏิบัติการประเมินผลกระทบระดับชุมชน กรณีเหมืองแร่ทองคำ จ.เลย
- ผศ.นพ.ปัตพงษ์ เกษสมบูรณ์ คณะแพทยศาสตร์ ม.ขอนแก่น
- ดร.วิสาข์ สุพรรณไพบุลย์ ผู้อำนวยการสถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาวะ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

ดำเนินรายการโดย ประพจน์ ภู่อทองคำ

หมายเหตุ: เชิญติดตามรับชมเทปบันทึกการเสวนาได้ทาง “รายการเอชไอเอ กับประชาชน ทางสถานีวิทยุและโทรทัศน์สุขภาพแห่งชาติ”

www.healthstation.in.th

วิศวกรรมทางเลือกเพื่อฟื้นฟูการปนเปื้อนสารตะกั่วใน

ลำห้วยคลิตี้

การประเมินการขุดลอกตะกอนท้องน้ำ
และความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการครอบตะกอน
(In Situ Sediment Capping)



© สช./ เรืองฤทธิ์ คงเมือง

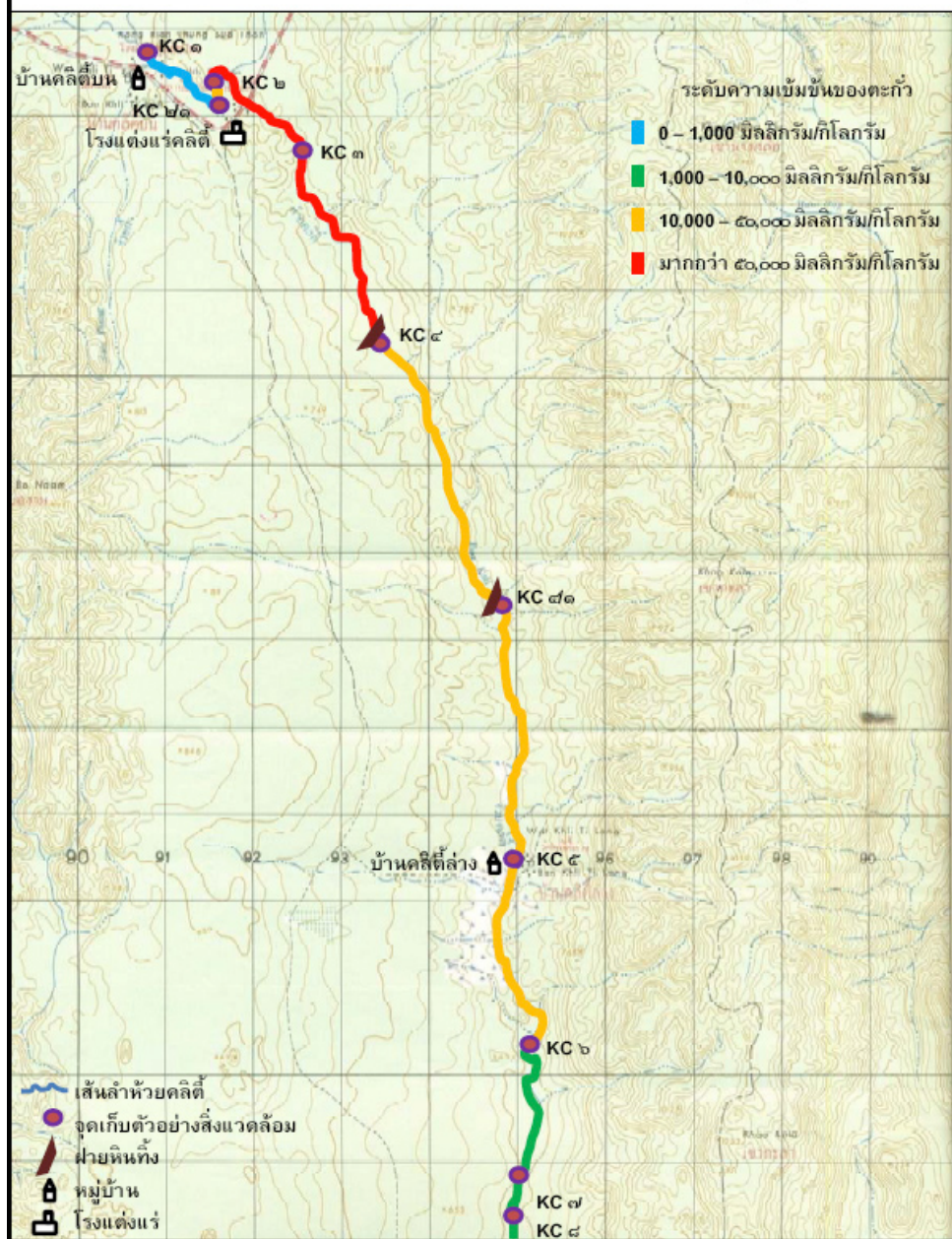
1. มลพิษตะกั่วที่คลิตี้มากเกินกว่าจะคอยธรรมชาติบำบัด

บ้านคลิตี้ล่าง เป็นชุมชนของกลุ่มชาติพันธุ์กะเหรี่ยงเล็กๆ แห่งหนึ่งใน จังหวัดกาญจนบุรี เกิดปัญหาพิษตะกั่วจากเหมืองตะกั่วและโรงแต่งแร่ตะกั่วที่ ตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2510 แล้วปล่อยน้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่วลงห้วยคลิตี้ จนเมื่อปี พ.ศ. 2518 พบน้ำในห้วยเน่าเหม็นรุนแรง ปลาตาย เป็ดซึ่งเป็นสัตว์ที่ชอบเล่นน้ำ หากินสัตว์น้ำในลำห้วยเกิดตายมาก วัวควายตาย และเริ่มมีคนป่วยและเสียชีวิต โดยไม่ทราบสาเหตุ มาจนในปี พ.ศ. 2541 ชาวบ้านคลิตี้ล่างได้เขียนจดหมาย ร้องทุกข์ถึงอธิบดีกรมควบคุมมลพิษ และแจ้งสื่อมวลชนมาตรวจสอบความจริง จนเป็นข่าวตามสื่อทุกแขนง



ภาพที่ 1 - 2: (ภาพที่ 1 - หน้าซ้าย) แผนที่แสดงลำห้วยคิลีพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วจากโรงเตี๊ยมแร่ไหลลงเขื่อนศรีนครินทร์ และ (ภาพที่ 2 - หน้าขวา) ความเข้มข้นของสารตะกั่วในตะกอนลำห้วยคิลีจากการตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ สีแดงคือปนเปื้อนตะกั่วมากใกล้บริเวณโรงเตี๊ยม และเมื่อห่างออกมา สีเหลือง และสีเขียว ก็ปนเปื้อนน้อยลง (ที่มา: “คิลี: สายธารแห่งเวลาสายธารแห่งชีวิต” โครงการนิทรรศการสิ่งแวดล้อม, 2555.)

ระดับความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดินท้องน้ำบริเวณห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี ปี 2554



ในช่วงปีระหว่างปี พ.ศ. 2542 - 2544 ได้มีการตรวจเลือดประชาชนจำนวน 177 คน ทั้งเด็กและผู้ใหญ่พบว่า มี 142 คน มีค่าตะกั่วสูงกว่าค่าเฉลี่ยของคนไทยทั่วไป นอกจากนี้ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2533 - 2537 ที่หมู่บ้านคลิตี้ล่าง ยังพบว่าเป็นช่วงเวลาที่มีน้ำในลำห้วยคลิตี้อยู่ในภาวะเน่าเสีย เปิดไถ่สัตว์น้ำตาย และมีเด็กในหมู่บ้านคลิตี้ล่างเสียชีวิตทั้งหมด 17 คน ด้วยอาการท้องอืด เป็นไข้ หอบอย่างรุนแรง

ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2545 กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) สั่งการให้บริษัท ตะกั่วคอนเซนเตรตส์ (ประเทศไทย) จำกัด ฟื้นฟูลำห้วยโดยการขุดลอกตะกอนปนเปื้อนออกจากลำห้วย บริษัทตะกั่วคอนเซนเตรตส์ระหว่าง KC2 - KC3 ประมาณ 3,753 ตัน แต่กลับพบว่าตะกอนในลำห้วยยังปนเปื้อนตะกั่วสูง แม้ต่อมาบริษัท ตะกั่วสร้างเขื่อนดักตะกอน 2 แห่ง ที่กิโลเมตร 4.5 และกิโลเมตรที่ 8 แต่การ

ปนเปื้อนตะกั่วในตะกอนลำห้วยยังคงมีปริมาณมาก และยังมีผู้ป่วยเพิ่มขึ้น เด็กเสียชีวิตเพิ่มขึ้น และตาบอด เจ้าหน้าที่สาธารณสุขปิดป้ายเตือน “งดบริโภค น้ำและปลาในลำห้วยชั่วคราว”

พ.ศ. 2546 - 2547 ชาวบ้านที่เจ็บป่วยยื่นฟ้องเรียกร้องค่าเสียหายจากบริษัท ตะกั่วคอนเซนเตรตส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กระทำการละเมิดต่อ

สิ่งแวดล้อมจนส่งผลให้พวกเขาป่วยไข้ เสียชีวิต และตัวแทนชาวบ้านยื่นฟ้องศาลปกครองให้หน่วยงานรัฐฟื้นฟูลำห้วยคลิตี้

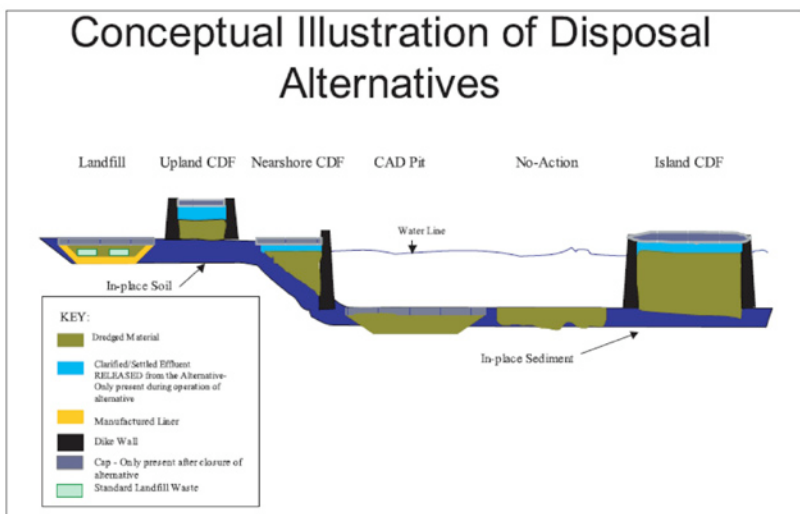
พ.ศ. 2547 - 2551 คพ. อ้างการประชุมผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งสรุปว่า “ไม่ควรทำการสูบหรือขุดตะกอนที่ปนเปื้อนตะกั่วออกเพราะจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายออกไป ควรปล่อยให้ธรรมชาติบำบัดฟื้นฟูตัวเอง”

พ.ศ. 2551 - 2556 ศาลพิพากษาว่าบริษัทตะกั่วฯ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารตะกั่วจนชาวบ้านเสียหาย ให้จ่ายค่ารักษาพยาบาล ค่าเสียความ

**15 ปีที่มีการเคลื่อนไหว
ปัจจุบันชาวบ้านคลิตี้ล่าง
ยังคงเจ็บป่วย ไม่สามารถ
ใช้น้ำจากลำห้วย
หรือหาอาหารจากลำห้วย
ได้อย่างปลอดภัย**

สามารถและโอกาสในการทำงาน ค่าเสื่อมสภาพ ค่าได้รับทุกขเวทนาด้านจิตใจ และสูญเสียอวัยวะ คุณภาพชีวิต เสียโอกาสที่จะพัฒนาอย่างมีศักดิ์ศรี เสียความสามารถที่จะสืบต่อชาติพันธุ์ ขาดประโยชน์ในการใช้น้ำอุปโภคบริโภค ขาดแหล่งอาหาร ขาดประโยชน์ในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากห้วยคลิตี้

ต่อมาศาลปกครองสูงสุด พิพากษาว่ากรมควบคุมมลพิษทำหน้าที่ล่าช้า ทำให้ชาวคลิตี้ต้องอยู่กับลำห้วยปนเปื้อน และตกเป็นเวลานาน ขณะที่ชุมชนมีวิถีชีวิตประจำวันต้องใช้น้ำจากลำห้วย และศาลเห็นว่า คพ. ละเลยหน้าที่ไม่เรียกค่าเสียหายจากบริษัทตะกั่วฯ ศาลสั่งให้ คพ. กำหนดแผนงาน วิธีการ และดำเนินการฟื้นฟู ตรวจสอบและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ดิน พืชผัก และสัตว์น้ำ ในลำห้วยคลิตี้ อีกทั้ง ให้ คพ. จ่ายค่าชดเชยความเสียหายเยียวยาชาวคลิตี้ล่าง



ภาพที่ 3: ภาพแสดงทางเลือกในการฟื้นฟูตะกอนท้องน้ำปนเปื้อนสารอันตราย (1) ธรรมชาติบำบัด (Natural Attenuation หรือ No Action) (2) วิธีการคือการขุดลอกตะกอนปนเปื้อนออก (Sediment Dredging) แล้วนำไปฝังกลบ (CDF) (3) การครอบตะกอนปนเปื้อนไว้ (In Situ Sediment Capping) (ที่มา: "Guidance for In - Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments," Palermo, M., Maynard, S., Miller, J., and Reible, D. 1998. EPA 905 - B96 - 004, Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.)

เวลาผ่านไปกว่า 30 ปี หลังปัญหามลพิษปรากฏ และกว่า 15 ปีที่มีการเคลื่อนไหวตื่นตัวของชุมชนเพื่อเรียกร้องให้เยียวยา ชดเชยความเสียหายต่อชีวิต สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันชาวบ้านคลิตี้ล่างยังคงเจ็บป่วย ไม่สามารถใช้น้ำจากลำห้วย หรือหาอาหารจากลำห้วยได้อย่างปลอดภัย ชาวบ้านและผู้เกี่ยวข้องจึงพยายามแสวงหาทางเลือกในการฟื้นฟูที่เหมาะสม ไม่ปล่อยให้คนคลิตี้ต้องเผชิญชะตากรรม เพราะพิษจากตะกั่วในห้วยคลิตี้นั้นมีมากเกินกว่าที่ธรรมชาติจะบำบัดเองได้

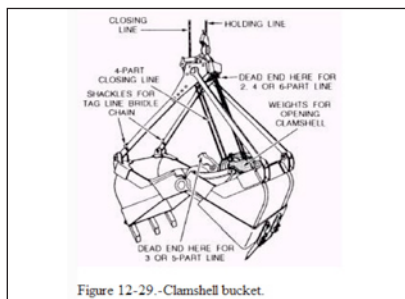
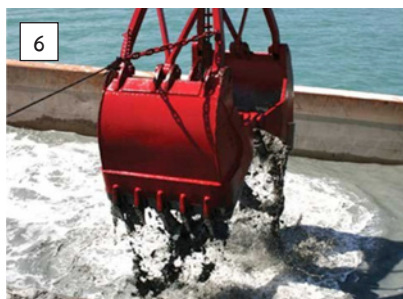
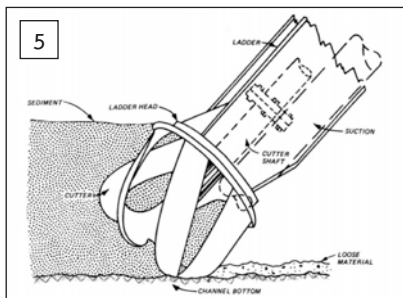
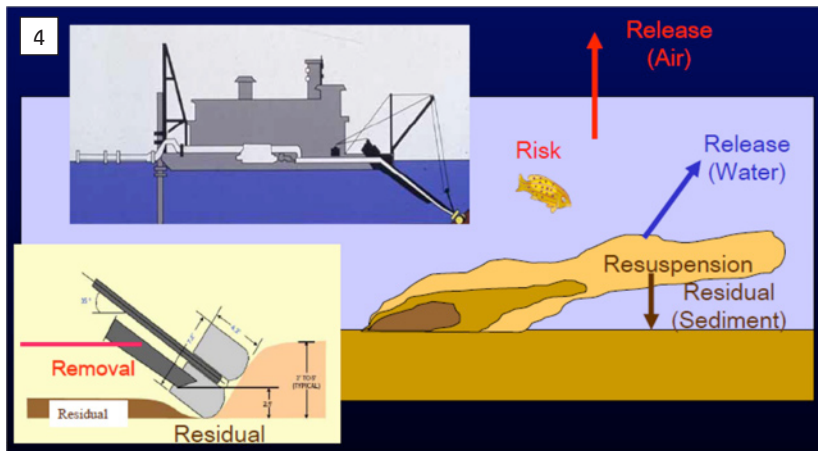
2. วิศวกรรมทางเลือกเพื่อการฟื้นฟูลำห้วยคลิตี้

นอกเหนือจากธรรมชาติบำบัดหรือปล่อยให้โดยไมทำอะไรเลย (Natural Attenuation หรือ No Action) แล้ว การฟื้นฟูตะกอนท้องน้ำปนเปื้อนสารพิษสามารถทำได้อีก 2 วิธีการ คือ การขุดลอกตะกอนปนเปื้อนออก (Sediment Dredging) แล้วนำไปฝังกลบ และครอบตะกอนปนเปื้อนไว้ (In Situ Sediment Capping) แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันซึ่งต้องอาศัยความรู้ด้านวิศวกรรมฟื้นฟูในการประเมินความเหมาะสม

3. วิศวกรรมฟื้นฟูในการประเมินความเหมาะสมของการขุดลอกตะกอนตะกั่วห้วยคลิตี้

“ขุดลอกตะกอนตะกั่วดีหรือไม่?” ข้อดีของการขุดลอกตะกอนคือสามารถย้ายสารพิษออกไปได้ทันที แต่ข้อเสียคือเสี่ยงต่อการฟุ้งกระจาย (Resuspension) ของตะกอนปนเปื้อนสารอันตราย ซึ่งอาจนำมาสู่การแพร่กระจายสารพิษในน้ำ (Release) อันจะส่งผลเสียต่อสุขภาพและระบบนิเวศตามมา ความรู้ด้านวิศวกรรมฟื้นฟูสามารถช่วยประเมินหาแนวทางการขุดลอกตะกอนให้เกิดผลกระทบและความเสี่ยงน้อยที่สุด

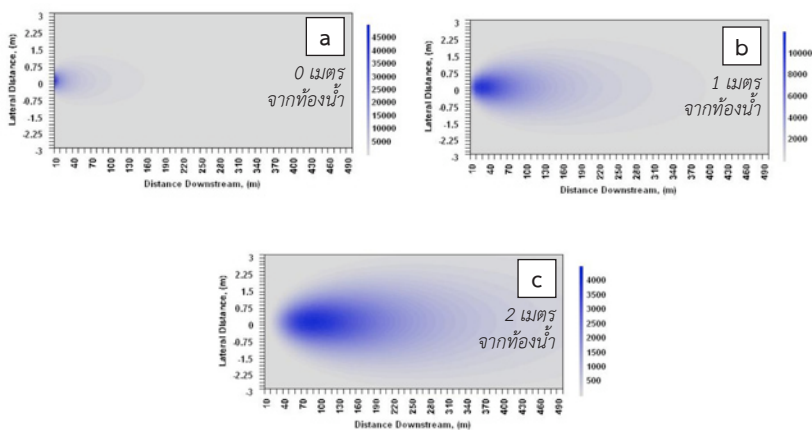
การขุดลอกแล้วตะกอนพิษจะฟุ้งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของลำน้ำ ขนาคะกอน ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีตะกอน ซึ่งเป็นปัจจัยตามธรรมชาติที่ไม่อาจจะควบคุมได้ อีกด้านหนึ่งที่ควบคุมได้คือประเภทอุปกรณ์ขุดลอก และการเดินระบบขุดลอก (ขุดลอกเร็วฟุ้งมาก ขุดลอกช้า



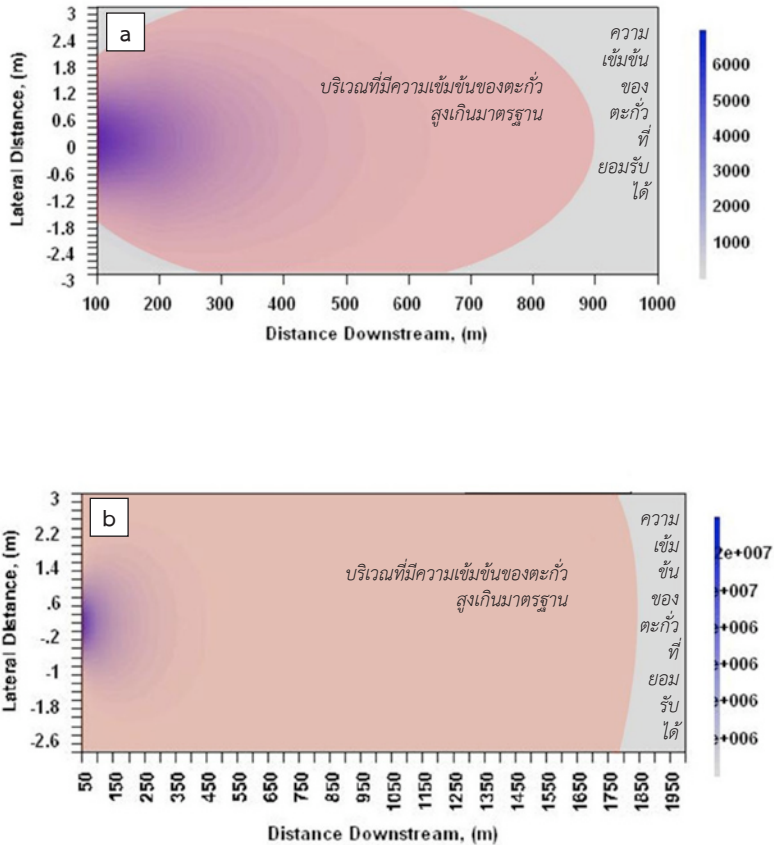
ภาพที่ 4 - 6: (4) การขุดลอกตะกอนท้องน้ำอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนปนเปื้อนตะกั่ว (Resuspension) ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อมนุษย์และระบบนิเวศได้, (5) เครื่องขุดลอกตะกอนท้องน้ำแบบไฮดรอลิก (Hydraulic) ชนิด Cutterhead และ (6) เครื่องขุดลอกตะกอนท้องน้ำแบบ Mechanical Dredging ชนิด Open Clamshell (ที่มา: Palermo, M., Maynard, S., Miller, J., and Reible, D. 1998. "Guidance for In - Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments," EPA 905 - B96 - 004, Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.)

ฟุ้งน้อย) ทั้งนี้จากการประเมินพบว่า ที่อัตราการขุดลอกที่เท่ากัน อุปกรณ์ขุดลอกแบบแมคคานิคอล (Mechanical) ทำให้เกิดการฟุ้งของตะกอนมากกว่าแบบไฮดรอลิก (Hydraulic) มาก เราสามารถใช้การออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อควบคุมการขุดลอกเพื่อจำกัดการฟุ้งกระจายของตะกอนจากการขุดลอกทั้ง 2 แบบได้

การทดลองใช้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพลำห้วยคลิตี้ เช่น ความกว้าง ความลึก อัตราการไหลของน้ำ และคุณลักษณะทางเคมีของลำน้ำและตะกอน เช่น ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วในตะกอน ค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอน ค่าความเป็นกรด - เป็นด่างของน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารตะกั่วในน้ำและตะกอน มาเข้าแบบจำลองทางอุทกวิทยาของลำน้ำร่วมกับการจำลองสภาวะการขุดแบบต่างๆ สามารถทำนายการฟุ้งของตะกอนและสารตะกั่ว



ภาพที่ 7: ผลการจำลองการฟุ้งกระจายของตะกั่วที่ท้องน้ำใน 3 มิติ เมื่อทำการขุดลอกด้วย Cutter head ด้วยอัตราการขุดสูงสุด, (a)การฟุ้งกระจายของตะกั่วที่ระดับความลึก 0 เมตร จากท้องน้ำ, (b) การฟุ้งกระจายของตะกั่วที่ระดับความลึก 1 เมตร จากท้องน้ำ, และ (c) การฟุ้งกระจายของตะกั่วที่ระดับความลึก 2 เมตร จากท้องน้ำ แกนนอนแสดงระยะทางในแนวราบที่ตะกอนฟุ้งกระจายไปที่ระดับความลึกต่างๆ ส่วนแกนตั้งแสดงการฟุ้งกระจายของตะกอนตามความกว้างของลำน้ำ เส้นระดับสีน้ำเงินแสดงปริมาณของตะกอนปนเปื้อนสารตะกั่วที่ฟุ้งในห้วยคลิตี้ในหน่วย มิลลิกรัมของตะกอนปนเปื้อนต่อลิตรของน้ำ (mg/L) ระดับเข้าความเข้มข้นสูง ระดับจากความเข้มข้นต่ำดังแสดงในแท่งบอกระดับด้านข้างของแต่ละรูป



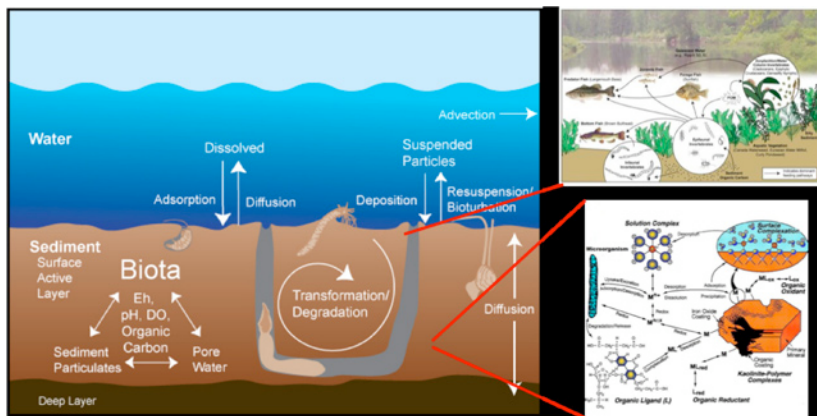
ภาพที่ 8: (a) แผนที่ความเลียงแสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่เกินมาตรฐานน้ำผิวดินที่ระดับความลึก 2 เมตร จากท้องน้ำโดยใช้ Cutterhead ขุดลอก, (b) แผนที่ความเลียงแสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่เกินมาตรฐานน้ำผิวดินที่ระดับความลึก 2 เมตร จากท้องน้ำโดยใช้ Open Clamshell ขุดลอก ส่วนแกนนอนแสดงระยะทางในแนวราบ ที่ตะกอนฟุ้งกระจายไปที่ระดับความลึกต่างๆ ส่วนแกนตั้งแสดงการฟุ้งกระจายของตะกอนตามความกว้างของลำน้ำ พื้นที่สีแดงคือพื้นที่เสี่ยงต่อสุขภาพและระบบนิเวศจากการฟุ้งกระจายของตะกอนเนื่องจากการขุดลอก ในขณะที่พื้นที่สีเทาคือพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการฟุ้งกระจายของตะกอนตะกั่วจากการขุดลอก

แบบ 3 มิติได้ (ภาพที่ 7) และสามารถทำการประเมินแผนที่ความเสี่ยงจากการขุดลอกได้ (ภาพที่ 8) การประเมินดังกล่าวจะช่วยในการวางแผนการจัดการความเสี่ยงจากการฟื้นฟู เช่น ช่วยในการประเมินหาวิธีการขุดลอกที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงน้อยที่สุด และช่วยในการสื่อสารความเสี่ยงกับประชาชนผู้อาศัยลำห้วยคลิตี้ได้อย่างเหมาะสม เช่น สื่อสารกับประชาชนว่าบริเวณใดของลำน้ำที่จะได้รับผลกระทบจากการขุดลอกบ้าง และตะกอนจะฟุ้งนานเท่าใด เมื่อใดจึงจะกลับมาใช้น้ำได้เหมือนเดิม เป็นต้น

4. เทคนิคการครอบตะกอน (In Situ Sediment Capping) ทำได้อย่างไร

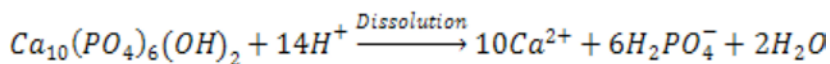
นอกจากการขุดลอกตะกอนปนเปื้อนแล้ว เทคนิคการครอบตะกอนเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถใช้ควบคู่กับการขุดลอกตะกอน เพราะไม่มีเทคนิคใดสามารถขุดลอกตะกอนปนเปื้อนออกได้ทุกเม็ด (ภาพที่ 9) การสร้างชั้นตะกอนเทียมครอบตะกอนปนเปื้อนที่คงค้าง จะสามารถลดการรับสัมผัสสารตะกั่วของทั้งสัตว์น้ำและมนุษย์ด้วยชั้นตะกอนเทียมดูดซับสารตะกั่ว (Active Layer) ซึ่งจะดูดซับตะกั่วละลายน้ำ และชั้นป้องกันการฟุ้งกระจายของตะกอนตะกั่ว (Secondary Layer) โดยมักเป็นชั้นทรายสะอาด ซึ่งสามารถกดทับไม่ให้ตะกอนปนเปื้อนฟุ้งกระจายทำให้สัตว์น้ำสามารถมาสร้างที่อยู่อาศัยใหม่บนชั้นตะกอนเทียมเหล่านี้ได้อย่างปลอดภัย (ภาพที่ 10)

คณะวิจัยได้ทดลองใช้หินฟอสเฟต ก้างปลา และผงเหล็ก เพื่อใช้เป็นชั้นดูดซับตะกั่ว พบว่าสามารถลดการแพร่กระจายของตะกั่วที่ชะละลายจากตะกอนท้องน้ำสู่สัตว์น้ำได้มากกว่า 98% โดยทางเคมีคือกระบวนการรีดักชัน (Reduction) ที่ใช้เหล็กทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสารตะกั่วที่ละลายน้ำ ($Pb^{2+}_{(aq)}$) เป็นตะกั่วของแข็ง ($Pb^0_{(s)}$) และใช้กระบวนการเชิงซ้อนที่พื้นผิว (Surface Complexation) เพื่อช่วยดูดซับตะกั่วออกจากตะกอนอีกชั้นหนึ่ง (แผนภาพที่ 11) ในขณะที่หินฟอสเฟตและก้างปลาจะทำปฏิกิริยาละลายและตกตะกอนใหม่ เพื่อดักจับตะกั่วเป็นตะกั่วฟอสเฟตที่แทบจะไม่ละลายน้ำ (สมการที่ 1 และ 2) จึงสามารถจัดการกับตะกั่วปนเปื้อนที่จะละลายน้ำได้

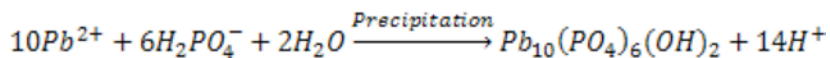


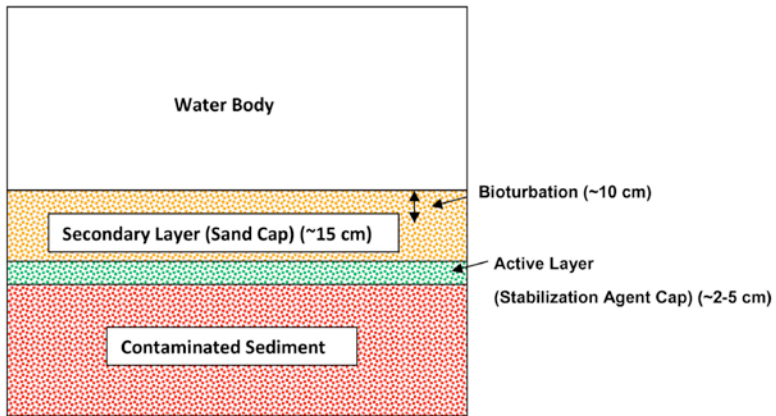
ภาพที่ 9: สารตะกั่วสามารถเกาะติดกับตะกอนท้องน้ำได้ในรูปแบบต่างๆ บังคับทางเคมี ภายภาพ และชีวภาพเป็นตัวควบคุมให้ตะกั่วฟุ้งกระจาย การละลายน้ำ และเข้าถึงสิ่งมีชีวิตและห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ได้ (ภาพปรับปรุงจาก: <http://www.pnas.org/content/96/7/3388/F1.large.jpg>; <http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/fcsap-pascf/docs/img/1-image012-eng.jpg>; http://www.sccwrp.org/images/ResearchAreas/Contaminants/SedimentQualityAssessment/BackgroundSedimentProcesses/BackgroundSedimentProcesses_Figure1.jpg)

สมการที่ 1 กระบวนการละลาย (Dissolution) ของไฮดรอกซีแอพาไทต์ (hydroxylapatite) $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ (ของแข็ง) ได้ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน $(H_2PO_4^-)$ (ละลายน้ำ)



สมการที่ 2 แสดงการตกตะกอนของสารตะกั่วละลายน้ำ $(Pb^{2+}_{(aq)})$ กับ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน $(H_2PO_4^-)$ ได้เป็นตะกั่วฟอสเฟต $(Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ ที่แทบจะไม่ละลายน้ำ





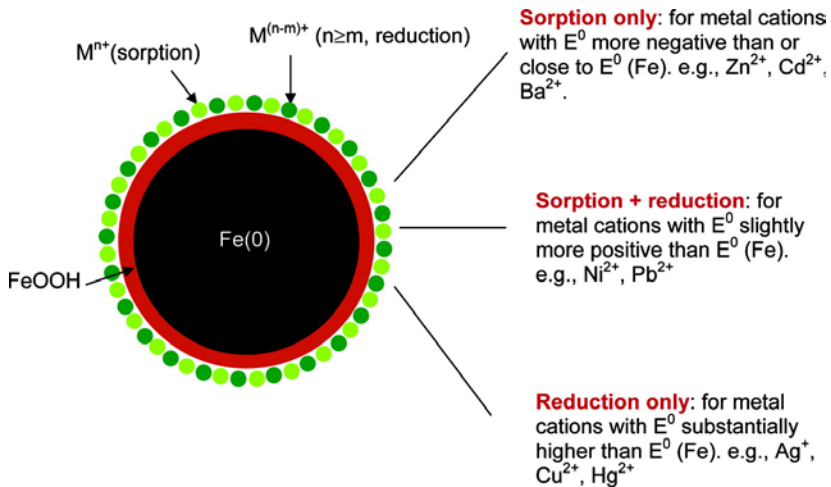
ภาพที่ 10: การใช้เทคนิคการครอบตะกอนและปรากฏการณ์ทางเคมีและกายภาพ
ที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ



ภาพที่ 11: หินฟอสเฟต ก้างปลา และ ผงเหล็ก สามารถใช้เป็นชั้นดูดซับตะกั่ว (Active Layer)
ลดการแพร่กระจายของตะกั่วละลายน้ำจากตะกอนท้องน้ำสู่ได้

ขอขอบคุณ:

- ข้อมูลและตัวอย่างตะกอนจากกรีนพีซ (Greenpeace) และมูลนิธินิติธรรมสิ่งแวดล้อม (Enlaw)
- การสนับสนุนงบประมาณการเดินทางไปเก็บตัวอย่างที่ลำห้วยคลิตี้จากศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ



ภาพที่ 12: พงเหล็กสามารถจับตะกั่วละลายน้ำได้โดยกระบวนการ Reduction และ Surface Complexation (ภาพจาก Li, X. - q.; Zhang, W. - Z. (2007). Sequestration of Metal Cations with Zerovalent Iron Nanoparticles: A Study with High Resolution X - ray Photoelectron Spectroscopy (HR - XPS). J. P)

คณะผู้วิจัย:

อภิชาติ จันทฤทธิ์, จิราภรณ์ สุขอินทร์, ชุตติกาญจน์ พิลลา, ดาลิกา วุฒิรัตน์ และ ธนพล เพ็ญรัตน์ (Corresponding Author: pomphenrat@gmail.com) หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ (IN3R) และสถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ยุพา เอี่ยมบัวหลวง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิสาข์ สุพรรณไพบุลย์ สถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สมพร เพ็งคำ ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

วิศวกรรมการฟื้นฟูภาคสนาม
กับการแก้ปัญหา

น้ำใต้ดิน น้ำบ่อต้น ปนเปื้อนมลพิษ

ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง





© สารส./ เรืองฤทธิ์ ดงเมือง

เนื่องจากปัญหามลพิษในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนชุมชนออกมาเรียกร้องให้เกิดการแก้ปัญหาอย่างเร่งด่วน เริ่มจากปัญหามลพิษทางอากาศจากสารอินทรีย์ระเหย ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ต่อมาพบปัญหาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดินซึ่งประชาชนเป็นจำนวนมากใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคบริโภคจึงเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ (โรคมะเร็ง) เมื่อประชาชนใช้น้ำปนเปื้อนอย่างต่อเนื่อง

ปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่มาบตาพุด และจังหวัดระยองเป็นปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อคนจำนวนมากจนทำให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีมติให้มีการแต่งตั้งคณะอนุกรรมการเฉพาะกิจ เพื่อแก้ไขปัญหาพิษและกำหนดการพัฒนาในพื้นที่จังหวัดระยองขึ้นเมื่อ 11 มกราคม 2550 โดยมีแนวทางการจัดทำแผนปฏิบัติการลดและขจัดมลพิษในพื้นที่จังหวัดระยอง แต่ปฏิบัติการดังกล่าวขาดข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน คณะอนุกรรมการฯ จึงได้มอบหมายให้กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ดำเนินโครงการแก้ไขปัญหาน้ำใต้ดิน น้ำบ่อตื้น ปนเปื้อนมลพิษ

จากนั้นกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้เริ่มโครงการแก้ไขปัญหามลพิษและเสริมสร้างคุณภาพชีวิตในพื้นที่จังหวัดระยองขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2550 และดำเนินงานอย่างต่อเนื่องมาจนปัจจุบัน โดยมีเป้าหมายในการแก้ไขปัญหการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินอย่างเป็นระบบ

ทั้งนี้กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ทำงานวิจัยร่วมกับสถาบันการศึกษา และหน่วยงานราชการ หลายส่วน เช่น ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ม.เชียงใหม่, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์

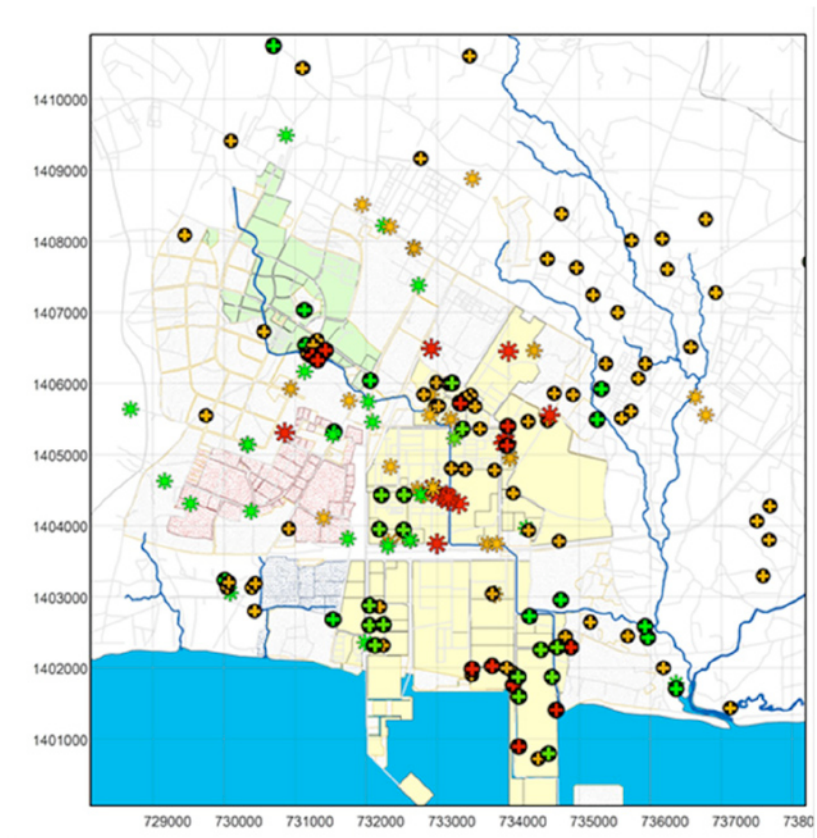
**ปัญหาที่เกิดขึ้น
ในพื้นที่มาบตาพุด
และจังหวัดระยอง
เป็นปัญหามลพิษที่
ส่งผลกระทบต่อคน
จำนวนมาก**

แห่งชาติ สำนักงานนโยบายและแผน
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
กรมควบคุมมลพิษ กรมทรัพยากร
น้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี นิคม
อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และ
ผู้ประกอบการในพื้นที่มาบตาพุดโดย
ใช้งบประมาณระหว่าง พ.ศ. 2550 -
2556 รวมประมาณ 60 ล้านบาท
โดยมีการทำงานและผลการศึกษาเป็น
ลำดับดังนี้

พ.ศ. 2550 - 2552

- ศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยและสารที่เกี่ยวข้องในดิน น้ำใต้ดิน และในอากาศ ทั้งในและนอกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งเป็นการศึกษาแบบสุ่มทั่วพื้นที่ (ภาพที่ 1 - 3) ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่และบางชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่พบมีความสอดคล้องกับสารอินทรีย์ระเหยที่พบในบรรยากาศ

- ตรวจหาพื้นที่ที่มีโอกาสของการเป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดิน อย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งได้ศึกษาทางด้านไอโซโทปของน้ำและสารปนเปื้อน รวมถึงการศึกษาลักษณะของพื้นที่ในเชิงอุทกธรณีวิทยา (ภาพที่ 4) การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทิศทางการไหลของ



ภาพที่ 1: จุดสำรวจและเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย

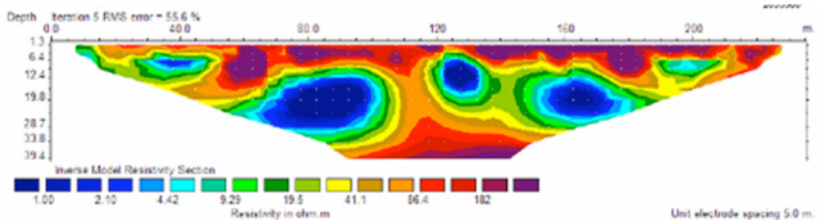
น้ำใต้ดิน (ภาพที่ 5) ซึ่งพบว่าสาเหตุการปนเปื้อนในดินเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมในพื้นที่โรงงาน และสาเหตุการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเกิดจากกิจกรรมในพื้นที่โรงงาน และอาจเกิดจากแพร่กระจายสารปนเปื้อนตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยทั่วไปไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและลงสู่ทะเล



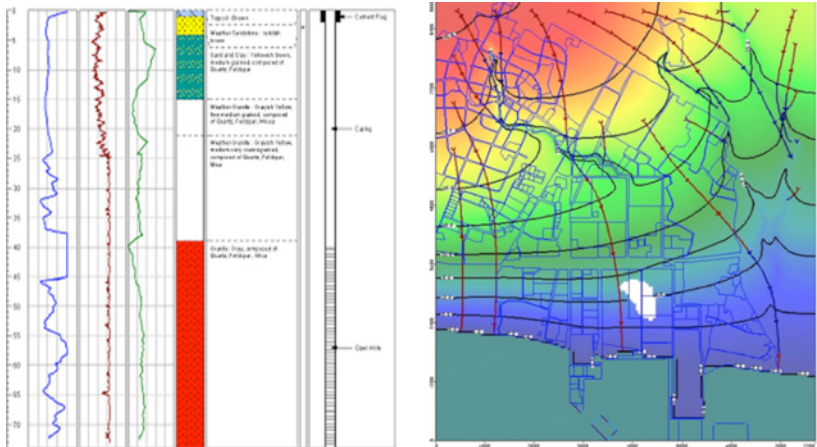
ภาพที่ 2: การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยในน้ำใต้ดิน
โดยถุงเก็บตัวอย่างแบบแพร่ผ่าน (Diffusion Sampler)



ภาพที่ 3: เครื่องแยกสารประกอบแบบก๊าซ (Gas Chromatography)
ต่อพ่วงกับสเปกโตรมิเตอร์มวล (Mass Spectrometry)



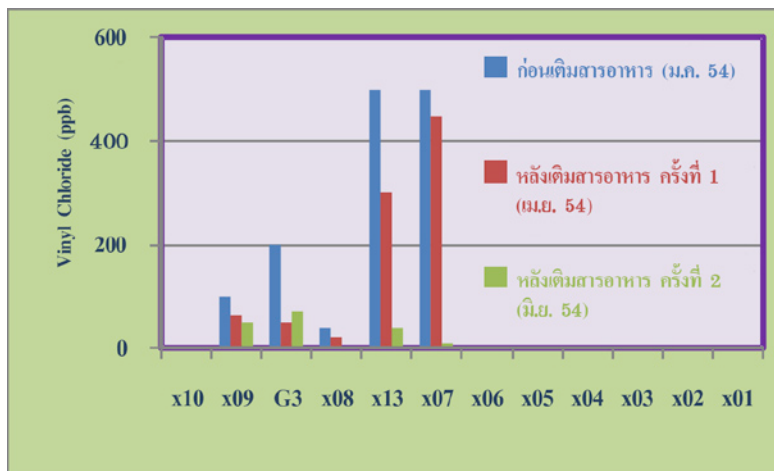
ภาพที่ 4: การสำรวจลักษณะชั้นดินด้วยวิธีความต้านทานทางไฟฟ้า (Electrical Resistivity)



ภาพที่ 5: การแปลผลลักษณะดินจากหลุมเจาะเก็บตัวอย่างดิน และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

พ.ศ. 2553 - 2554

- ติดตั้งระบบฟื้นฟูน้ำใต้ดินแบบใช้จุลชีพ(Bioremediation) เพื่อบำบัดน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds (VOCs)) และประเมินประสิทธิภาพระบบ ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพระบบฟื้นฟูน้ำใต้ดินแบบใช้จุลชีพดังกล่าว พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 95% โดยพบว่าสารไดคลอโรเอทิลีน *cis* - dichloroethylene (*cis* - DCE) และสารไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride (VC)) ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนหลัก มีความเข้มข้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดในบ่อเติมสารอาหารและบ่อสังเกตการณ์บางบ่อในพื้นที่ปนเปื้อนสารดังกล่าว (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6: พื้นที่สาธิตระบบฟื้นฟูน้ำใต้ดินแบบใช้จุลชีพ (Bioremediation) แสดงแนวบ่อเติมสารอาหารและบ่อสังเกตการณ์ของระบบ และผลการสลายสารไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride (VC))

พ.ศ. 2555 - 2556

- มีการศึกษาหลายด้านเพื่อออกแบบและติดตั้งระบบบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) โดยใช้เทคนิคการสกัดไอดิน (Soil Vapor Extraction (SVE)) เช่น การศึกษาคุณสมบัติของดิน การศึกษาคุณสมบัติของสารปนเปื้อน การศึกษาคุณสมบัติของสภาวะแวดล้อม จากข้อมูลการวิเคราะห์ดินทั้งหมด โดยเฉพาะข้อมูลการปนเปื้อน นำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าขอบเขตและศูนย์กลางการปนเปื้อน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบตำแหน่งของหลุมในระบบโครงข่ายตรวจสอบไอดิน (ภาพที่ 7) ข้อมูลข้างต้นใช้ในการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อจำลองลักษณะและทิศทางการไหลของอากาศในดิน ทั้งนี้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดินโดยใช้ระบบสกัดไอดิน (SVE) ในพื้นที่ทดสอบนี้สามารถบำบัดไอสารอินทรีย์ระเหยที่อยู่ในดิน มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 7: อุปกรณ์สำหรับติดตั้งโครงข่ายตรวจสอบไอดินเพื่อตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในดินก่อนและหลังการฟื้นฟูด้วยการสกัดไอดิน



ภาพที่ 8: เครื่องสกัดไอน้ำดิน (Soil Vapor Extraction) เครื่องแรกของประเทศไทย



ภาพที่ 9: การติดตั้งระบบสกัดไอน้ำดินในพื้นที่สาธิตการฟื้นฟู

- ศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ปนเปื้อน ในเขตควบคุมมลพิษ จ.ระยอง โดยได้ฐานข้อมูลพื้นที่ปนเปื้อนที่มีการคำนวณคะแนนการจัดลำดับความอันตรายเพื่อประเมินว่าการปนเปื้อนมีความเสี่ยงอย่างไรเป็นนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม และผู้อาศัยโดยรอบหรือไม่ ตามกรอบแนวทางการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตรายตามหลักวิชาการสากล

- จัดทำระบบฐานข้อมูลเทคนิคในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตราย ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่มีเป้าหมายให้สามารถใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง โดยฐานข้อมูลนี้ครอบคลุมเทคนิคการสอบสวนการปนเปื้อนและการประเมินพื้นที่ปนเปื้อน การประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ปนเปื้อน และแนวทางในการคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน โดยประยุกต์จากฐานข้อมูลของนานาชาติ โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา แล้วนำมาพัฒนาเพิ่มเติมจากเกณฑ์หรือแนวทางที่จัดทำโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อการนำไปปฏิบัติให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ฐานข้อมูลเทคนิคในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตราย ได้นำเสนอใน website “**ฐานข้อมูลเทคนิคในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอันตรายสำหรับประเทศไทย**” (Thailand’s Technical Initiatives and Guidelines for Environmental Remediation and Restoration (URL: ttigerr.org)) เพื่อให้ผู้สนใจสามารถเข้าถึงได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ยังได้เปิดรับข้อคิดเห็นจากผู้สนใจทุกท่าน เพื่อการพัฒนาฐานข้อมูลดังกล่าวให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนาเกณฑ์การจัดการพื้นที่ปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 12: “ฐานข้อมูลเทคนิคในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอันตรายสำหรับประเทศไทย”
(Thailand’s Technical Initiatives and Guidelines for Environmental Remediation
and Restoration (URL: tigerr.org))

สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2554). “รายงานโครงการแก้ไขปัญหามลพิษ
และเสริมสร้างคุณภาพชีวิตในพื้นที่จังหวัดระยอง: โครงการตรวจสอบ
การปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินบริเวณนิคมอุตสาหกรรม
มาบตาพุด”

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2555). “รายงานโครงการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวธรณีเคมีของน้ำใต้ดินในพื้นที่บำบัดพื้นฟู น้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหย เพื่อการประเมินประสิทธิภาพ การบำบัดพื้นฟู”

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2555). “รายงานความก้าวหน้าโครงการจัด ลำดับความสำคัญของพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อการป้องกัน แก้ปัญหา และ การบำบัดพื้นฟูดิน และน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยอง”

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2554). “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษา ความเหมาะสมและติดตั้งระบบบำบัดการย่อยสลาย สารอินทรีย์ระเหย ในน้ำใต้ดินและการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารในชั้นดิน อุ่มน้ำ และไมุ่่มน้ำ. ดำเนินการศึกษาโดยภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่”

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2555). “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษา การออกแบบระบบบำบัดเพื่อลดการปนเปื้อนสาร อินทรีย์ระเหยในดิน โดยระบบ Soil Vapor Extraction” ดำเนินการโดยศูนย์ความเป็นเลิศ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2555). “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวาง ระบบโครงข่ายตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ ระเหยในไอสารในดิน (soilgas monitoring network) โดยชุดเจาะชั้นดิน โดยใช้เครื่อง ชุดเจาะแบบต่อเนื่อง (Geoprobe®) และติดตั้งระบบและทดสอบ ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยในดินโดยใช้ ระบบ Soil Vapor Extraction (SVE)” ดำเนินการศึกษาโดยภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2556). “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำฐานข้อมูลเทคนิคในการฟื้นฟูดินและน้ำ ใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายและประเมินภาวะการคุกคามของสารอันตรายต่อสิ่ง แวดล้อมเพื่อการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนสารอันตรายในน้ำใต้ดิน” ดำเนินการศึกษาโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

คณะผู้วิจัย

แฟรดาซ์ มาห์ลิ้ม (Corresponding Author: mfairda@yahoo.com) พิรพงษ์ สุนทรเดชะ และคณะ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

อรพินท์ เจียรถาวร และคณะ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิรัชญ์ แสนทน และคณะ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธนพล เพ็ญรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ (IN3R) และสถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาวะ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอขอบคุณ

ทุนสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

A person wearing a white long-sleeved shirt, a purple sash, and a striped sarong is working in a rice field. They are wearing a colorful, conical hat with blue, yellow, and green patterns. They are barefoot and holding a tool, possibly a hoe or a similar agricultural implement. The background shows a vast green rice field, a small wooden house on a hill, and distant mountains under a cloudy sky.

อนุภาคแม่เหล็ก: ปกป้องข้าว พืชพันธุ์ถิ่น สู่ภัยแคดเมียม

วิศวกรรมทางเลือกลดการถ่ายเท
แคดเมียมสู่ข้าว กำจัดแคดเมียมจากดิน
ลุ่มน้ำแม่ตาอ อ.แม่สอ จ.ตาก

1. ต้นทางปัญหามลพิษแคดเมียม

ดอยผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นแหล่งต้นน้ำของห้วยแม่ตา ห้วยแม่กุ ซึ่งชาวถิ่นได้พัฒนาระบบเหมืองฝายเพื่อทดน้ำเข้านาปลูกข้าว และพืชอาหารอื่นๆ ซึ่งให้ผลผลิตดี คนถิ่นเชื่อว่าดอยผาแดงเป็นภูผาศักดิ์สิทธิ์ เป็นที่สถิตของวิญญาณเจ้าฟ้าเจ้าฝน พวกเขาจึงเคารพศรัทธามากจนสร้าง “พระธาตุผาแดง” ไว้บนนั้นและเดินเท้าขึ้นดอยเพื่อทำพิธีไหว้พระธาตุเป็นประจำทุกปี

อีกทั้งดอยผาแดงยังเป็นแหล่งแร่สังกะสีที่สมบูรณ์ ซึ่งมีการทำเหมืองแร่สังกะสีของหลายบริษัทต่อเนื่องนานกว่า 40 ปี จนกระทั่งปี พ.ศ. 2541 - 2543 สถาบันการจัดการน้ำนานาชาติ หรือ อินมี (International Water Management Institute - IWMI) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การปนเปื้อนของแคดเมียมในดินบริเวณ ต.พระธาตุผาแดง พบว่าใน 154 ตัวอย่าง มีปริมาณการปนเปื้อนสูงกว่าค่ามาตรฐานของ EU ถึง 1,800 เท่า และพบว่าร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตรวจมีแคดเมียมปนเปื้อนสูงกว่าข้าวซึ่งปลูกในพื้นที่อื่นของไทยถึง 100 เท่า

พ.ศ. 2544 - 2546 สถาบันการจัดการน้ำฯ ขยายพื้นที่ศึกษาลงมาตามลำห้วยแม่ตาใน ต.แม่ตา ก็พบแคดเมียมปนเปื้อนในดินสูงถึง 72 เท่าของค่ามาตรฐาน EU ขณะที่กว่าร้อยละ 80 ของตัวอย่างข้าวมีค่าแคดเมียมสูงกว่าค่ามาตรฐานของญี่ปุ่นและองค์การอาหารและเกษตร (FAO) ซึ่งเป็นปริมาณการปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดโรคไต - อีไต ในประเทศญี่ปุ่น หากบริโภคข้าวติดต่อกันเป็นเวลานาน

ปัญหานี้ถือเป็นปัญหามลพิษที่ร้ายแรง จนทำให้ในปี พ.ศ. 2547 - 2549 รัฐบาลประกาศให้เกษตรกรงดปลูกข้าวและพืชอาหารในพื้นที่ปนเปื้อน และเก็บข้าวค้างยุ้งไปทำลายเพื่อตัดวงจรข้าวปนเปื้อนแคดเมียม จากพื้นที่ปนเปื้อนรวม 13,237 ไร่ ต่อเนื่องรวม 3 ปี ใช้งบประมาณ 218 ล้านบาท อีกทั้งสนับสนุนให้เกษตรกรเปลี่ยนอาชีพ หันไปปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอลแทน

ฝ่ายสาธารณสุขได้ตรวจประเมิน และเฝ้าติดตามสุขภาพ ของผู้ที่สัมผัส แคลเดียมต่อเนื่องในพื้นที่ปนเปื้อนทั้งหมด 7,730 ราย ซึ่งพบว่าร้อยละ 10.9 หรือ 844 ราย เป็นประชากรในพื้นที่เสี่ยงซึ่งมีปริมาณแคลเดียมในร่างกายสูง ปัจจุบัน ในจำนวนนี้ 40 ราย ป่วยด้วยอาการไตวายเรื้อรัง ขณะที่จำนวน 219 ราย ป่วย ด้วยภาวะไตเริ่มเสื่อม นอกจากนี้ยังพบผู้ป่วยกระดูกพรุน อีกทั้งมีแนวโน้มคนป่วย เพิ่มขึ้นจากพิษแคลเดียม

ปัจจุบัน รัฐบาลหยุดจ่ายค่าชดเชยให้เกษตรกร ทำให้มีเกษตรกรกลับมา ปลูกข้าวในพื้นที่ปนเปื้อน จนในปี พ.ศ. 2555 รัฐบาลอนุมัติงบประมาณจำนวน 78 ล้านบาท ช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยเพื่อการผลิตเอทานอลของจังหวัดตาก พร้อมทั้งมีมติ ครม. 11 กันยายน 2555 เสนอให้มีการเวนคืนที่ดินในพื้นที่ปนเปื้อน สารแคลเดียมเพื่อนำที่ดินปนเปื้อนมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นแทนการเพาะปลูก

ปี พ.ศ. 2556 งานวิจัย Meharg et al. (2013). Environ. Sci. Technol. 47, 5613 - 5618 ระบุว่าจากการวัดความเข้มข้นของแคลเดียมในข้าวของ 12 ประเทศ พบว่าไทยมีการปนเปื้อนเป็นอันดับที่ 6 ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพ

คณะนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวร กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ ได้รับฟังความเห็นจากกลุ่มผู้ได้รับ ผลกระทบจากการปนเปื้อนแคลเดียมในที่ดินและข้าว ซึ่งล้วนเป็นชุมชนที่สืบทอด วัฒนธรรมชุมชนชาวนา ปลูกข้าวบริโภคมายาวนาน ดังนั้นการส่งเสริมให้เลิกปลูก ข้าวของรัฐบาลจึงล้มเหลว พวกเขามีข้อเสนอต่อคณะวิจัย ให้มาช่วยทำให้พวกเขา กลับมาปลูกข้าวได้ โดยการฟื้นฟูกำจัดแคลเดียมออกไปดิน

คณะนักวิจัยจึงได้พัฒนาโจทย์วิจัยจากปัญหาดังกล่าวเรื่อง “การประเมิน ความเหมาะสมของการใช้ธนาคารนาโนของเหล็กประจุศูนย์ และผงเหล็กประจุ ศูนย์ในการปรับเสถียรดินและฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแคลเดียมในพื้นที่เพาะปลูก ข้าว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก” โดยมุ่งหมายในการพัฒนานวัตกรรมเพื่อช่วย ให้เกษตรกรในลุ่มน้ำแม่ตาบ สามารถปลูกข้าวเพื่อบริโภคได้อย่างปลอดภัย ช่วยลด ปริมาณการปนเปื้อนแคลเดียมในดินด้วยเทคนิคทางวิศวกรรม ที่สามารถลดการ ถ่ายเทของแคลเดียมสู่ข้าว และกำจัดแคลเดียมออกจากดินให้ได้มากที่สุด

2. แคลเมียมเข้าไปปนเปื้อนในข้าวได้อย่างไร

โดยทั่วไปแคลเมียมจะติดอยู่กับดินและถ่ายเทไปสู่ข้าวได้เมื่อแคลเมียมละลายออกมาจากดิน แล้วรากข้าวก็ดูดซึมเข้าสู่ต้นข้าวซึ่งลำเรียงไปพร้อมกับแร่ธาตุและสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับต้นข้าว เช่น ไอออนของแมงกานีส (Mn^{2+}) ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) เข้าไปสะสมไว้ในเมล็ดข้าว (ภาพที่ 1) อย่างไรก็ตามการดูดซึมแคลเมียมสู่ข้าวได้มาน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการติดอยู่กับดินของแคลเมียม จำแนกตามอัตราการถ่ายเทแคลเมียมจากดินสู่ข้าวซึ่งมีความแตกต่างกันตามลักษณะความแน่นหนาของแคลเมียมในการจับตัวกับดินแบ่งออกได้ 5 แบบ

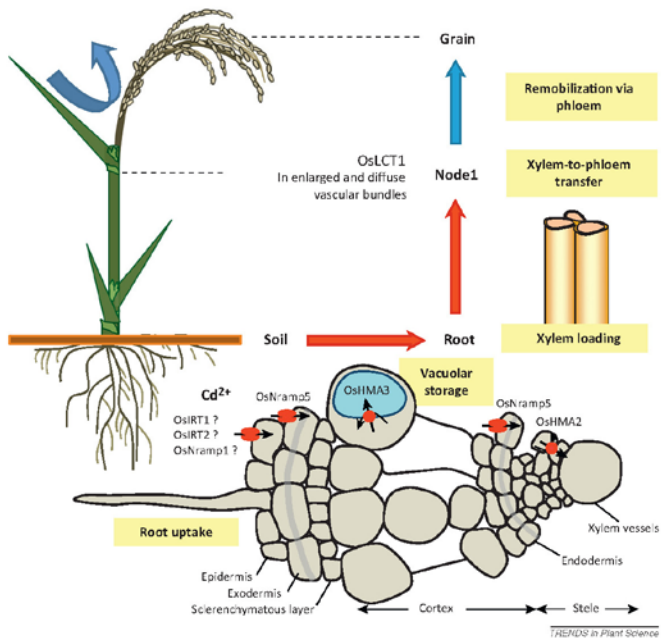
2.1) แคลเมียมที่อยู่ในน้ำตามช่องว่างของดิน (Exchangeable Fraction) เป็นแคลเมียมที่เกาะอยู่กับดินอย่างหลวมๆ สามารถถูกชะละลายออกจากดินได้โดยง่าย

2.2) แคลเมียมที่ตกตะกอนอยู่กับคาร์บอเนตตามธรรมชาติ (Carbonate Fraction) เป็นแคลเมียมที่ชะละลายออกมาได้ง่ายแต่ชะได้ยากกว่าแบบที่อยู่ในช่องว่างของดิน

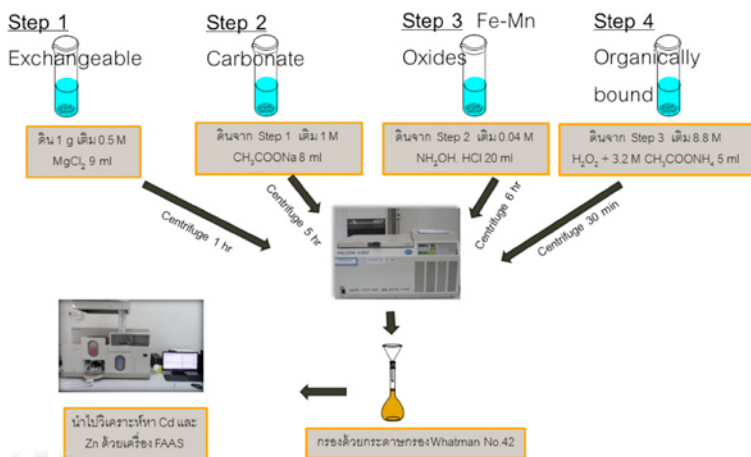
2.3) แคลเมียมที่เกาะติดอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (Fe - Mn Oxide Fraction) เป็นแคลเมียมที่มีความเสถียรหลุดออกมาจากดินได้ยาก จึงมักไม่ค่อยถูกถ่ายเทสู่ข้าว

2.4) แคลเมียมที่เกาะติดกับสารอินทรีย์หรือฮัลไฟด์ (Organic Fraction) มีความเสถียรสูงและหลุดออกมายาก มักไม่ค่อยถ่ายเทสู่ข้าว

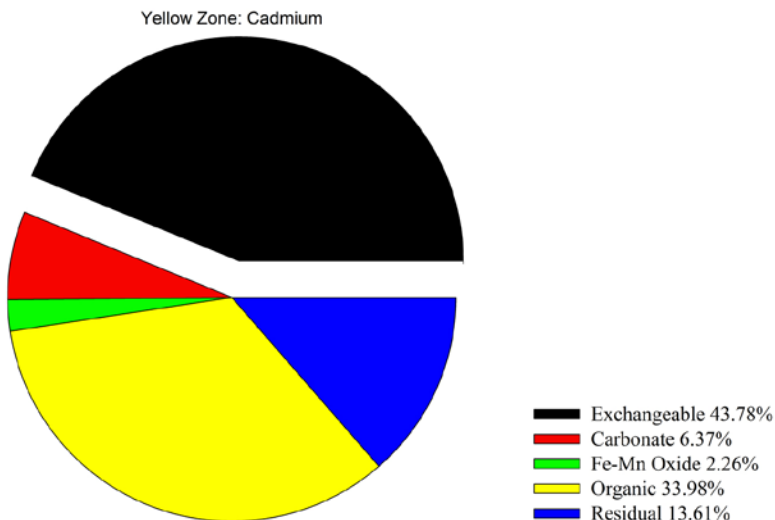
2.5) แคลเมียมที่คงค้างในผลึกแร่ที่มีความเสถียรสูง (Residual Fraction) เป็นแคลเมียมที่คงค้างในดินและละลายออกมายากสุด โอกาสที่จะถ่ายเทสู่ข้าวต่ำมาก



ภาพที่ 1: กลไกการรั่วไหลของแคดเมียมจากดินสู่เมล็ดข้าว



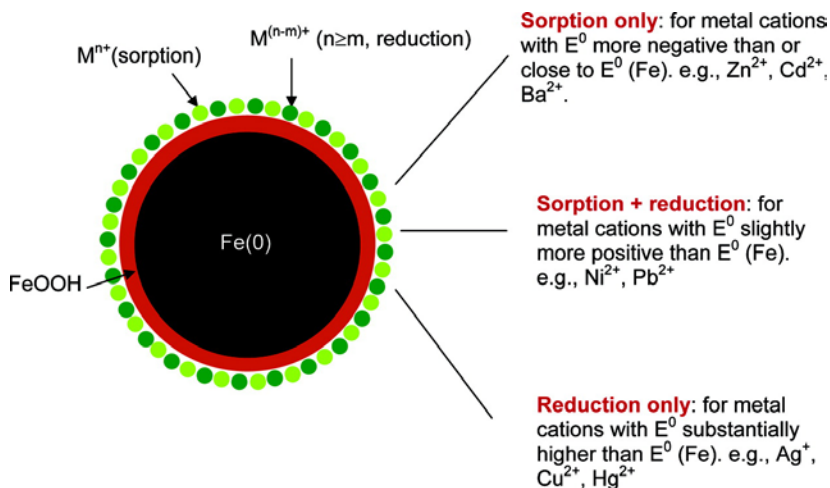
ภาพที่ 2: กระบวนการสกัดแคดเมียมทีละส่วน (Sequential Extraction)



ภาพที่ 3: ร้อยละของแคดเมียมที่ติดอยู่กับดิน 5 แบบ
ดังกล่าวข้างต้นในดินแม่ตาที่ปนเปื้อนแคดเมียม

คณะวิจัยใช้วิธีสกัดทีละส่วน (Sequential Extraction) แล้วประเมินแคดเมียมในดิน ที่ลุ่มน้ำแม่ตาว่ามีความเข้มข้นเท่าใดบ้างใน 5 รูปแบบ โดยใช้สารสกัดที่แรงจากน้อยไปมาก เริ่มสกัดแคดเมียมที่อยู่ในน้ำตามช่องว่างของดิน (Exchangeable Fraction) ถึงแคดเมียมคงค้างในผลึกแร่ที่มีความเสถียรสูง (Residual Fraction) (ภาพที่ 2)

การสกัดดังกล่าวจะใช้ สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ในการสกัดแคดเมียมในดินแบบที่อยู่ในน้ำตามช่องว่างของดิน จากนั้นจึงใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) ในการสกัดแคดเมียมที่ตกตะกอนอยู่กับคาร์บอนตตามธรรมชาติ จากนั้นใช้สารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH \cdot HCl$) ในการสกัดแคดเมียมที่เกาะติดอยู่กับเหล็ก และแมงกานีสออกไซด์ ต่อจากนั้นจึงใช้สารละลายเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และแอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4) ในการสกัดแคดเมียมที่เกาะติดกับสารอินทรีย์ หรือ ซัลไฟด์ ออกมาจากดิน ก่อน



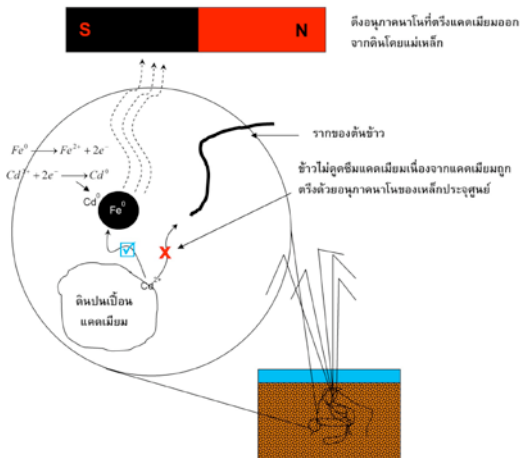
ภาพที่ 4: ผงเหล็กสามารถจับตะกั่วละลายน้ำได้โดยกระบวนการ Reduction และ Surface Complexation (ภาพจาก Li, X. - q.; Zhang, W. - Z. (2007). Sequestration of Metal Cations with Zerovalent Iron Nanoparticles: A Study with High Resolution X-ray Photoelectron Spectroscopy (HR - XPS). J. P)

ทำการย่อยดินด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเกลือ (HCl) เป็นขั้นสุดท้ายเพื่อดึงแคดเมียมที่คงค้างในผลึกแร่ที่มีความเสถียรสูงออกมาจากดิน จากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของแคดเมียมในแต่ละส่วนที่สกัดออกมาโดยเครื่องวัดโลหะหนักแบบ Atomic Absorption Spectroscopy (ภาพที่ 2)

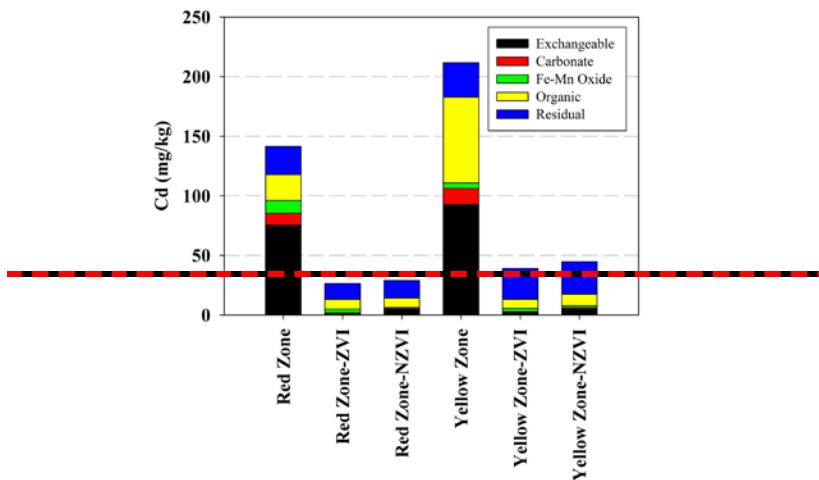
ผลจากการสกัดที่ละส่วนของดินปนเปื้อนแคดเมียมที่แม่ตัวและพบว่าแคดเมียมสามารถแยกออกจากดินสู่ขั้วได้ง่าย เนื่องจากกว่าร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินเป็นแคดเมียมที่ติดกับดินในแบบที่อยู่ในน้ำตามช่องว่างของดิน (Exchangeable) และแคดเมียมที่ตกตะกอนอยู่กับคาร์บอนเนตตามธรรมชาติ (Carbonate) (ดูภาพที่ 3) ทำให้สามารถละลายออกมาได้ง่ายจึงเกิดการปนเปื้อนแคดเมียมในบริเวณกว้าง

3. การทำงานของอนุภาคแม่เหล็ก ในการดักจับแคดเมียม ก่อนจะเข้าสู่ข้าว และเครื่องต้นแบบสำหรับล้างแคดเมียมออกจากดินด้วยแม่เหล็ก (Magnetic - Assisted Soil Washing Prototype)

คณะวิจัยได้เสนอกรอบแนวคิดการใช้อนุภาคเหล็กประจุศูนย์ (Fe^0) (ภาพที่ 4) เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อดักจับแคดเมียมที่ละลายออกมาจากดินก่อนที่จะเข้าสู่รากของข้าวเพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่ปนเปื้อนสามารถปลูกข้าวได้ตามวิถีชีวิตเดิม โดยกลไกการจับแคดเมียมที่แสดงในภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 เมื่อไอออนแคดเมียม (Cd^{2+}) ที่ละลายออกมาจากดินจะทำปฏิกิริยาดูดซับเชิงซ้อนที่พื้นผิวของผงเหล็ก ก่อนที่เหล็กจะถ่ายอิเล็กตรอนให้แก่ไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+}) ที่ละลายน้ำอยู่ และเปลี่ยนไอออนของแคดเมียมที่ละลายน้ำอยู่ให้เป็นของแข็งในรูปของ Cd^0 ซึ่งติดอยู่ที่ผิวของผงเหล็กอย่างเสถียรไม่สามารถหลุดไปสู่ข้าวได้ นอกจากผงเหล็กจะสามารถเป็นสารปรับปรุงดินแล้วผงเหล็กยังสามารถกำจัดแคดเมียมออกจากดินได้โดยใช้แม่เหล็กดึงผงเหล็กที่ดูดซับแคดเมียมออกจากดินได้ จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ดินปนเปื้อนแคดเมียมจริงจากแม่สอดพบว่าผงเหล็กและแม่เหล็กสามารถกำจัดแคดเมียมออกจากดินได้ถึงระดับที่แคดเมียมที่ละลายออกจากดินได้ (สีสำหรับ Exchangeable Fraction และ สีแดงสำหรับ Carbonate Fraction) ที่ยังเหลือคั่งค้างในดินอยู่ในระดับที่สามารถปลูกพืชได้จนไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ (ภาพที่ 6) ด้วยผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่น่าพอใจ คณะวิจัยจึงได้จัดทำต้นแบบเครื่องล้างแคดเมียมออกจากดินด้วยผงเหล็กและแม่เหล็ก (ภาพที่ 7) และสาธิตเทคโนโลยีกับชุมชนแม่แตวที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียม



ภาพที่ 5: การใช้อนุภาคแม่เหล็กดักจับแคดเมียมที่ละลายออกมาจากดินไม่ให้ถ่ายทอดจากดินไปสะสมในข้าว



ภาพที่ 6 : ผงเหล็กประจุศูนย์ (ZVI) และ อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ (NZVI) สามารถกำจัดแคดเมียมที่ละลายออกจากดินได้ สัดส่วนแคดเมียมที่อยู่ในน้ำตามช่องว่างของดิน (Exchangeable Fraction) และ สัดส่วนแคดเมียมที่ตกตะกอนอยู่กับคาร์บอเนตตามธรรมชาติ (Carbonate Fraction) จนถึงระดับที่แคดเมียมละลายได้คงค้างในดินจะไม่สะสมในพืชจนก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ (เส้นประสีแดง)



ภาพที่ 7: นำเสนอต้นแบบ
เครื่องแยกแคะเมี่ยมออกจากดิน
โดยผิงเหล็กและสนามแม่เหล็ก
กับชุมชน

คณะผู้วิจัย

ธนพล เพ็ญรัตน์; Corresponding Author, E - mail; pomphenrat@gmail.com, จิราภรณ์ สุขอินทร์ และ ยุพา เอี่ยมบัวหลวง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ (IN3R), สถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาวะ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิสาข์ สุพรรณไพบูลย์ สถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาวะ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ญาณพัฒน์ ไพรมิทรัพย์ กลุ่มผู้ได้รับผลกระทบจากกรณีพื้นที่เกษตรกรรมเปื้อนแคดเมียม

สมพร เพ็งคำ ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

โครงการสนับสนุนทุนการวิจัยธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร พ.ศ. 2555



การศึกษาและพัฒนากระบวนการเครือข่าย
และความรู้ในการเฝ้าระวัง และตรวจติดตาม
ทางสุขภาพ ที่ได้รับผลกระทบทางสุขภาพจาก

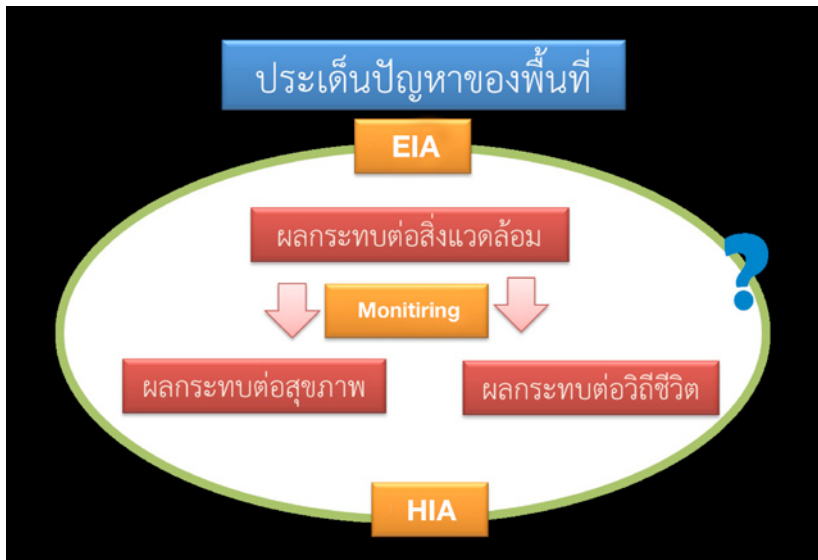
เหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร

ปัญหาและความสำคัญ

จากปัญหาความขัดแย้งระหว่างชุมชนและผู้ประกอบการเหมืองแร่ทองคำ ที่จังหวัดพิจิตร เกิดจากการที่ชาวบ้านไม่เชื่อถือข้อมูลและผลวิเคราะห์ต่างๆ ที่ดำเนินการโดยหน่วยงานภาครัฐหรือผู้ประกอบการเหมือง ซึ่งดำเนินการทำเหมืองแร่มานานกว่าสิบปี ได้ก่อให้เกิดปัญหาสังคม สิ่งแวดล้อม และสุขภาพของชุมชนถึงขั้นที่เรียกว่าได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของชุมชน รวมทั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางสังคมของชุมชนอย่างเห็นได้ชัดเห็นจากคนท้องถิ่นเดิม เริ่มมีการอพยพย้ายถิ่นฐานไปอาศัยอยู่ที่อื่น วัด โรงเรียนในชุมชน ซึ่งเป็นสถาบันสังคมและวัฒนธรรมของชุมชนปัจจุบันกลายเป็นวัดร้าง โรงเรียนร้าง

นอกจากนี้ ยังเกิดข้อสงสัยว่าได้เกิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่รอบๆ เหมือง จากอาการเจ็บป่วยที่ปรากฏให้เห็น หากแต่ไม่ง่ายนักต่อการระบุถึงสาเหตุที่แท้จริง อย่างไรก็ตามหากภาครัฐ ประชาชน และเอกชน สามารถที่จะหาตัวกลางที่ทุกฝ่ายยอมรับ ทำการศึกษาอย่างละเอียดถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นแล้ว ตลอดจนผลกระทบที่อาจจะเกิดหากเหมืองแร่จะยังดำเนินการต่อ

การศึกษาข้อมูลทางวิชาการ ที่ถูกต้อง โปร่งใส ตรงไปตรงมา ไว้เป็นพื้นฐานและนำมาพิจารณาอย่างมีเหตุผล ก็อาจจะช่วยหาทางออก แก้ไขปัญหาผลกระทบ และบรรเทา หรือยุติข้อขัดแย้งลงได้ ดังนั้นการวิจัยจึงไม่ใช่มุ่งผลการวิจัยเท่านั้นหากแต่กระบวนการที่ทุกฝ่ายยอมรับ ทั้งด้านความคิดเห็น และข้อมูลที่สะท้อนปัญหาที่แท้จริงย่อมสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างตรงจุด



ภาพที่ 1: ความสัมพันธ์ของประเด็นปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ
กับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

นอกจากนี้ กระบวนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่รัฐบาลนำมาใช้เพื่อป้องกันและควบคุมผลกระทบทั้งต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพคือ EIA และ HIA นั้น ได้สะท้อนให้เราเห็นในระดับหนึ่งแล้วว่า ยังไม่สามารถเป็นเครื่องมือหรือกระบวนการที่ใช้ในการคุ้มครองคุณภาพสิ่งแวดล้อมผลกระทบต่อสุขภาพจากปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิถีชีวิตของประชาชนที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งในหลายพื้นที่กระบวนการศึกษาผลกระทบดังกล่าวยังได้ก่อให้เกิดข้อขัดแย้งระหว่างชุมชนและผู้ดำเนินโครงการ ทั้งจากกระบวนการของการจัดทำรายงานการศึกษาผลกระทบ และการติดตามตรวจสอบ หลังจากการที่โครงการได้ดำเนินโครงการไปแล้ว (ภาพที่ 1) ในพื้นที่บริเวณชุมชนรอบเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร ก็เกิดปัญหาคานงอนนี้เช่นกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทบทวนเพื่อการปรับรูปแบบของทั้งกระบวนการศึกษาประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้เป็นรูปธรรมอย่างเป็นระบบ เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการแก้ปัญหา

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 2: กรอบแนวคิดในการปัญหาข้อขัดแย้งและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

วัตถุประสงค์

• เพื่อประเมินผลสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเป็นปัจจัยต่อสาเหตุของผลกระทบต่อสุขภาพจากข้อมูลของการตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เสี่ยง และนำไปใช้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อผลกระทบทาง

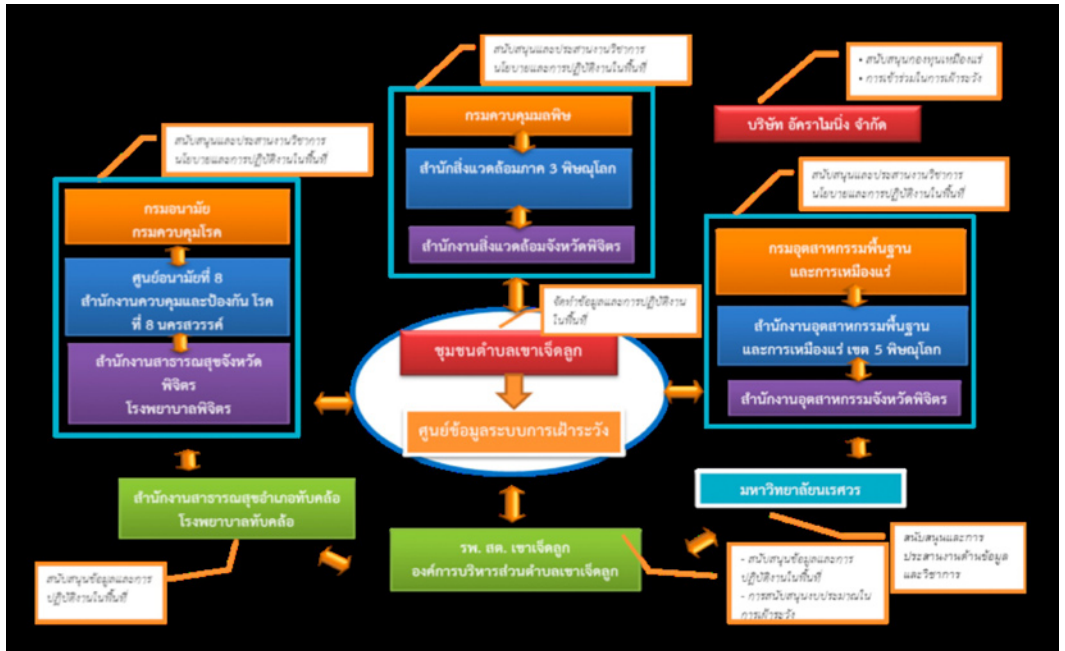
สุขภาพและเพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลกฎหมาย ระเบียบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองแร่ทองคำ

- เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลกฎหมาย ระเบียบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองแร่ที่เป็นอุปสรรคต่อการป้องกันและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากกิจกรรมการทำเหมืองทอง
- เพื่อพัฒนาระบบการและเครือข่ายในการเฝ้าระวังและตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อม และผลกระทบทางสุขภาพ ให้เป็นกระบวนการที่ได้มาของข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้อง โปร่งใสและน่าเชื่อถือ

ผลการศึกษา



ภาพที่ 3: การจัดทำข้อมูลในลักษณะแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ



ภาพที่ 4: แสดงหน่วยงานและบทบาทของเครือข่ายการเฝ้าระวังทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ
กรณีผลกระทบจากเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร

สรุป

ระบบเฝ้าระวังทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบยังขาดฐานข้อมูล (database) ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งกระบวนการของการตรวจสอบติดตามทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจำเป็นที่จะต้องทำให้เกิดการมีส่วนร่วมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เพื่อให้เกิดกระบวนการที่โปร่งใสและเป็นที่ยอมรับและยอมรับในที่สุด

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยและการประยุกต์ใช้งาน

การทำงานในลักษณะเครือข่าย เพื่อก่อให้เกิดระบบเฝ้าระวังทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

คณะนักวิจัย

วิสาข์ สุพรรณไพบุลย์ และ ณัฐธิดา สกุลศักดิ์ คณะวิทยาศาสตร์
การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

พวงรัตน์ ขจิตวิยานุกูล และ จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย สถาบันวิจัย
เพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัย และนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

อาวีระ ภัคมาตร์ และ ปรัชญา ตระกลรัตน์ สำนักสิ่งแวดล้อม
ภาคที่ 3 พิษณุโลก

ไพไลพัทธ์ ชูมาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สมนึก แจ่มจารัส และ บุญช่วย จุลบุตร สำนักงานสาธารณสุข
จังหวัดพิจิตร

กมลรัตน์ สังข์รัตน์ ศูนย์อนามัยที่ 8 นครสวรรค์

สนับสนุนการวิจัยโดย

ชุดโครงการวิจัยเพื่อพัฒนานโยบายและขับเคลื่อนระบบสุขภาพและ
สิ่งแวดล้อม ระยะที่ 2 สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.)



เทคโนโลยีนวัตกรรมบำบัดรักษา
มะเร็งในดินในน้ำใต้ดินด้วย

อนุภาคนาโนเหล็ก ประจุศูนย์

ปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ + สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับ
ฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสารอันตรายประเภท
สารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบกำจัดแหล่ง
กำเนิดสารพิษน้ำมันหนัก (DNAPL) ได้รวดเร็ว

การปนเปื้อนของสารก่อมะเร็ง ในดิน และน้ำใต้ดิน

ปัญหาการปนเปื้อนของสารอันตรายประเภทสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ในดิน และน้ำใต้ดิน เป็นปัญหาใหญ่ที่พบในพื้นที่อุตสาหกรรมทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย (นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง, อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา, นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จ.ลำพูน) สารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น สารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) และสารเตตระคลอโรเอทิลีน (PCE) มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ไม่สามารถผสมรวมกับน้ำได้ (Dense Non - Aqueous Phase Liquid (DNAPL) เพราะมีลักษณะเป็นน้ำมันหนัก ละลายน้ำได้น้อย

สารเหล่านี้ เป็นพิษต่อมนุษย์และระบบนิเวศ แม้จะละลายในน้ำเพียงน้อยนิดก็ตาม และสารเหล่านี้ ยังมีความหนืดต่ำ มีเสถียรภาพทางเคมีสูงไม่สามารถย่อยสลายตัวตามธรรมชาติได้ง่าย ที่สำคัญคือเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงจัดเป็น “สารก่อมะเร็ง” เมื่อหกหรือรั่วไหลลงดิน สามารถซึมผ่านช่องว่างในชั้นดินและซึมลึกไปอยู่ในชั้นของโครงสร้างใต้ดิน และมักถูกกักอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นดินหรือทรายที่มีขนาดต่างกัน(Capillary Trap) ก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนใต้ดินประเภทน้ำมันหนัก (DNAPL) ซึ่งจะค่อยๆ ละลายปล่อยสารพิษปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินแล้วอาจแผ่ขยายขอบเขตการปนเปื้อนออกสู่พื้นที่ภายนอกเป็นวงกว้างอย่างต่อเนื่องยาวนานนับร้อยปี (ภาพที่ 1) นอกจากนี้สารพิษยังถูกดูดซับโดยดินทำให้ดินปนเปื้อน ซึ่งดินที่ปนเปื้อนนี้เองเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนซึ่งจะค่อยๆ ชะละลายปล่อยสารพิษปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินได้ในระยะยาว

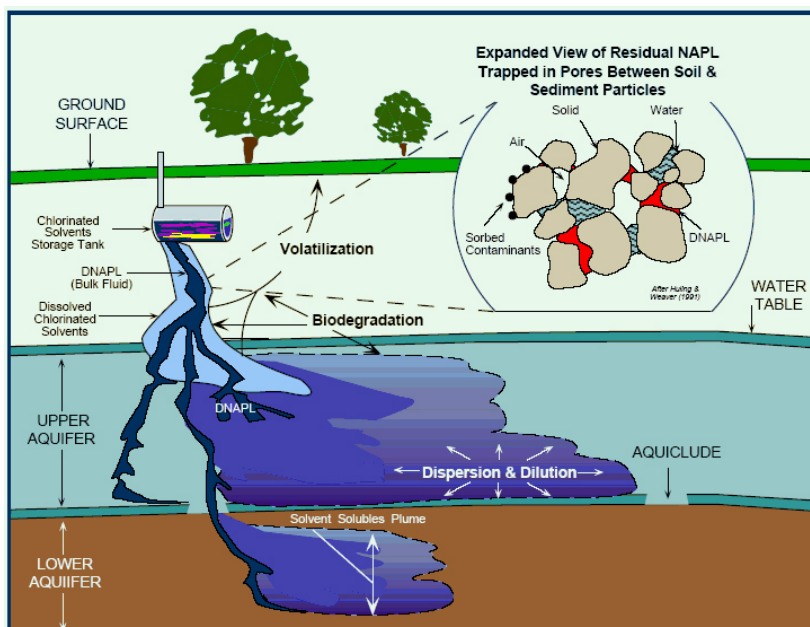
เทคโนโลยีนวัตกรรมฟื้นฟูดิน และน้ำใต้ดิน

เพื่อป้องกันปัญหามลพิษในดินระยะยาว จึงจำเป็นต้องกำจัดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนปฐมภูมิ ของน้ำมันหนัก (DNAPL) ออก รวมทั้งสลายสารพิษที่ถูกดูดซับในดินหรือแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนทุติยภูมิ เพื่อเร่งการฟื้นฟูและการกู้คืนทรัพยากรธรรมชาติที่ปนเปื้อนสารอันตราย และลดความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ อย่างไรก็ตามไม่สามารถกำจัดน้ำมันหนัก ด้วยการสูบออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความสามารถในการละลายได้ต่ำที่อุณหภูมิปกติของน้ำมันหนักและช่องว่างระหว่างชั้นดิน (Capillary Trap) ก็จะกักสารพิษไม่ให้ถูกสูบออกมาได้ ขณะที่สารพิษที่ถูกดูดซับโดยดินจะชะละลายออกมาช้ามาก ทำให้ฟื้นฟูได้ช้า และใช้งบประมาณสูง

สองเทคโนโลยีในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบคือ การใช้ความร้อน (Thermal Remediation) เร่งการละลายของสารพิษเพื่อการสูบออก และการใช้อิออนนาโนของเหล็กประจุศูนย์ (Nanoscale zerovalent iron particles (NZVI)) (2(a)) ทำปฏิกิริยาปลดคลอรีนออก (Dechlorination) เพื่อสลายสารพิษ อย่างไรก็ตามเทคนิคการฟื้นฟูเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคหลายประการ เช่น ไม่สามารถให้ความร้อนที่ DNAPL ได้อย่างเฉพาะเจาะจง และไม่สามารถทำปฏิกิริยาปลดคลอรีนออกในการสลาย DNAPL ได้โดยตรง แต่ต้องรอให้ DNAPL ละลายสูบน้ำก่อนถึงจะทำปฏิกิริยาสลายสารที่พื้นผิวของเหล็กประจุศูนย์ได้

งานวิจัยนี้ เสนอการพัฒนาวัตกรรมการทดสอบเทคโนโลยี ซึ่งรวมจุดเด่นของ 2 เทคโนโลยีข้างต้นไว้ด้วยกันได้ เป็นเทคโนโลยีเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนชนิดใหม่ ถือเป็นงานวิจัยชิ้นแรกของโลก ที่ศึกษาความเป็นไปได้และประเมินประสิทธิภาพของวิธีนี้เทียบกับวิธีดั้งเดิม เทคโนโลยีนวัตกรรมนี้คือการใช้ไอออนนาโนของเหล็กประจุศูนย์ ที่ถูกปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการเร่งการจัดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยประเภท DNAPL โดยแนวคิดการใช้งานประกอบด้วยการส่งไอออน

นาโนของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูกปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ลงไปได้ดินโดยให้ไปเกาะที่ผิวของ NAPL อย่างเฉพาะเจาะจง แล้วตามด้วยการส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับลงไปเพื่อให้อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ (ซึ่งเป็นอนุภาคแม่เหล็ก) สร้างความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาค (ที่ประมาณ 80 - 100°C) โดยความร้อนนี้จะถูกส่งผ่านไปสู่ดิน น้ำใต้ดิน และ DNAPL และช่วยเร่งการกำจัด DNAPL ออกจากดินและน้ำใต้ดินได้ผ่าน 3 ปฏิกิริยาการกำจัดคือ



ภาพที่ 1: การปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินด้วยสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยแหล่งของการปนเปื้อน (Source Zone) ในรูปของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ และไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ง่าย (Dense Non - aqueous Phase Liquid (DNAPL)) และสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบที่ถูกละลายมากับน้ำใต้ดินและเคลื่อนที่ไปถึงผู้ใช้น้ำใต้ดิน (Plume) (ที่มา: Stewart, R. (2008). "Environmental Science in the 21st Century - An Online Textbook.")

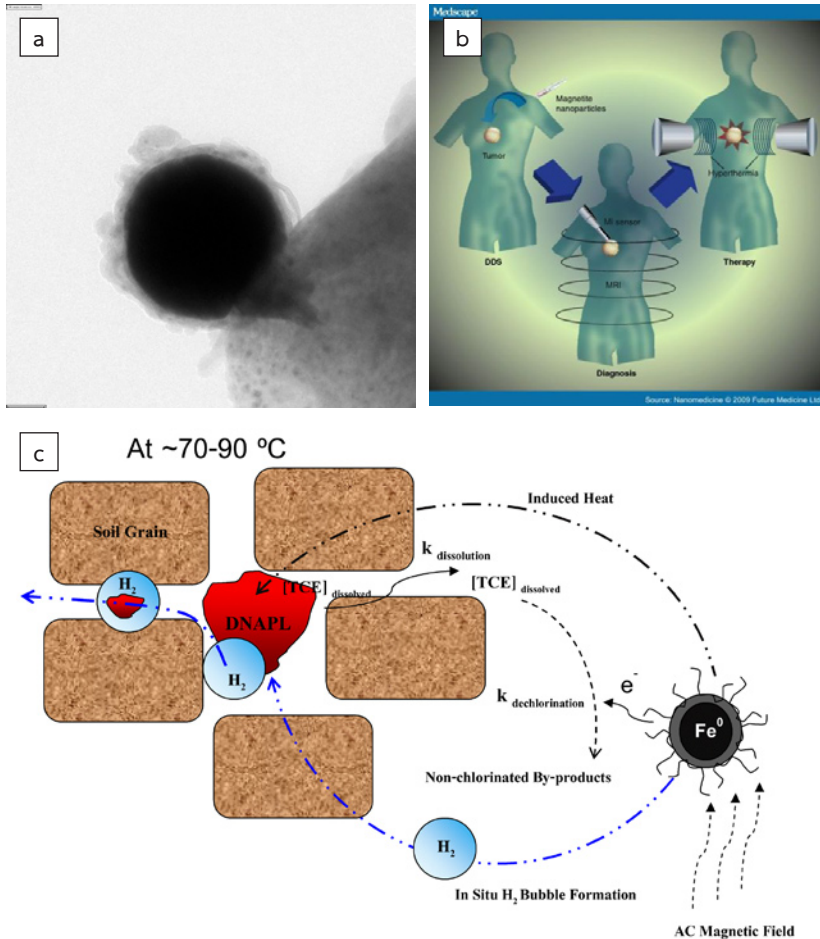
- 1) การเร่งการชะละลายของ DNAPL
- 2) การเร่งการทำปฏิกิริยาการปลดคลอรีนออกจาก DNAPL ที่ละลายมากขึ้นและปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น
- 3) การเร่งการสร้างก๊าซไฮโดรเจนแบบในที่ซึ่งสามารถพา DNAPL ออกจากชั้นดิน (Capillary Trap) ได้อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 2c)

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินความเป็นไปได้ และสถิติการใช้ทั้ง 3 ปรากฏการณ์ในการเร่งการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วย DNAPL แนวคิดนี้เทียบเท่ากับการรักษาโรคมะเร็งแบบใช้ความร้อน (Hyperthermia) ที่ใช้กับผู้ป่วยโรคมะเร็งโดยอนุภาคแม่เหล็กนาโน ซึ่งสามารถสร้างความร้อนเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็งได้ (ภาพที่ 2b) แต่ในที่นี้เราจะใช้ปฏิกิริยาเคมีกายภาพดังกล่าวร่วมกัน ในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารอันตราย อาจจะกล่าวได้ว่าเทคโนโลยี นวัตกรรมนี้พัฒนาขึ้นมาเพื่อ “บำบัด รักษาและเร่งในดิน และน้ำใต้ดิน”

การทดลองเพื่อหายารักษาเร่งในดิน และน้ำใต้ดิน

งานวิจัยนี้ เริ่มด้วยการทดลองใช้โพลีเมอร์หลากหลายชนิด ในการปรับปรุงอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ เพื่อหาโพลีเมอร์ราคาถูกซึ่งสามารถเพิ่มเสถียรภาพทางคอลลอยด์ของอนุภาคแม่เหล็ก โดยไม่ส่งผลเสียต่อการสร้างความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับมากนัก และสามารถพาอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ไปเกาะที่ผิวของ DNAPL ได้อย่างเฉพาะเจาะจง โดยทำการประเมินทั้ง 3 คุณสมบัติในขวดทดลอง ผลการทดลองพบว่า โพลีเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือโพลีสไตรีนซัลโฟเนต (Polystyrenesulfonate (PSS)) ซึ่งถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลองทำปฏิกิริยาละลาย DNAPL ต่อไป

จากนั้นจึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการเร่งการสลาย DNAPL ของ TCE และ PCE โดยการทำปฏิกิริยาการปลดคลอรีนออกโดยใช้ร่วมกับ การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูก

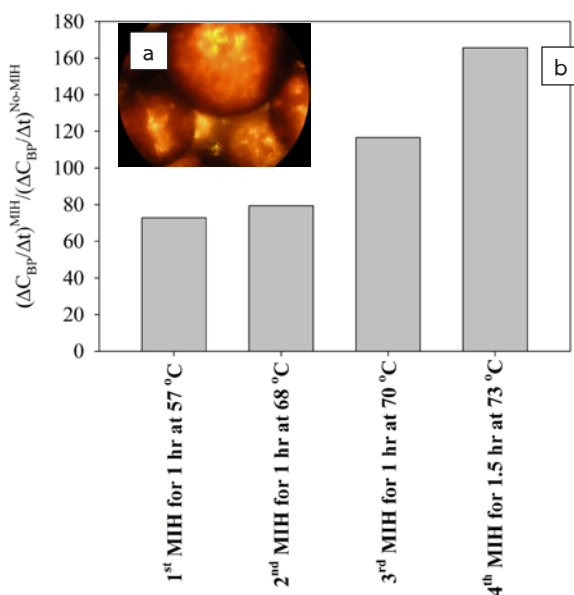


ภาพที่ 2: (a) อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูกปรับปรุงด้วยโพลีเมอร์ (b) การรักษาโรคมะเร็งแบบใช้ความร้อน (Hyperthermia) ที่ใช้กับผู้ป่วยโรคมะเร็งโดยอนุภาคแม่เหล็กนาโนซึ่งสามารถสร้างความร้อนเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็งได้ แนวคิดนี้เทียบเท่ากับ (c) การประยุกต์แนวคิดของงานวิจัยในพื้นที่ปนเปื้อนจริงประกอบด้วยการส่งอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ลงไปได้ดินในบริเวณที่ดินและน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยมลสารจากนั้นก็ ส่งสนามแม่เหล็กกระแสสลับลงไปในชั้นดิน เพื่อก่อให้เกิดความร้อนจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ เพื่อช่วยเร่งการชะละลายของสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบออกจากดิน และเร่งอัตราการละลายสารและการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยรวม

ปรับปรุงด้วย PSS ถูกผสมกับ DNAPL ของ TCE และ PCE เพื่อให้อนุภาคไปเกาะติดที่ผิวของ DNAPL ของ TCE และ PCE (เกิดเป็น Pickering Emulsion) (ภาพที่ 3(a)) ก่อนทำการศึกษาการสลาย TCE และ PCE โดยวัดการก่อกำตัวของสารผลิตภัณฑ์ คือ สารอะเซทิลีน (Acetylene) เอเทน (Ethane) และ เอทีน (Ethene) เมื่อให้อนุภาคนาโนร่วมกับ และ ไม่ใช้ร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสสลับ ก่อนนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาอัตราการเร่งการสลาย DNAPL อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาปลดคลอรีนออกภายใต้การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการศึกษพบว่า การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์เร่งการสลาย DNAPL ได้อย่างรวดเร็ว คือ จะเร็วกว่าการทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับถึงประมาณ 80 - 160 เท่า (ภาพที่ 3b) ยืนยันสมมุติฐานที่ว่า การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ทำให้อัตราการสลาย TCE และ PCE ในสถานะ DNAPL เร็วขึ้นอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ DNAPL ละลายมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นยังทำให้เกิดปฏิกิริยาปลดคลอรีนออกเร็วขึ้นตามกฎของอาร์เรเนียส (Arrhenius Equation)

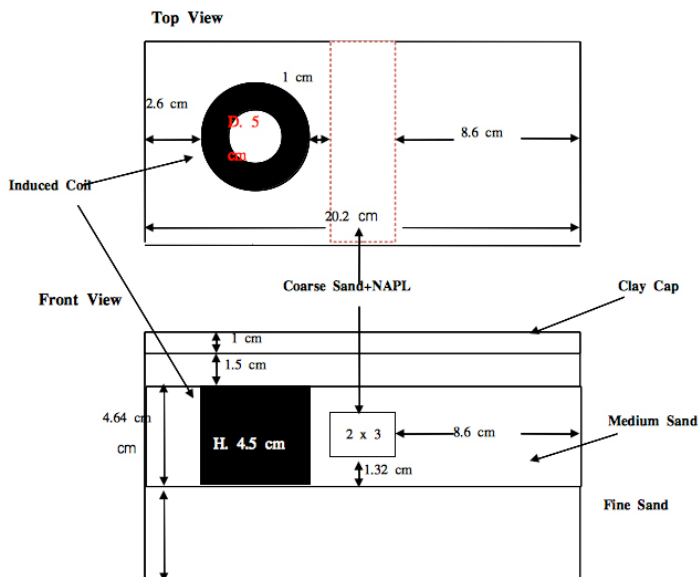
จากนั้นจึงทำการประเมินความเป็นไปได้ในการเร่งการกำจัดแหล่งกำเนิด DNAPL เมื่อให้อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในชุดทดลองแบบไหลต่อเนื่องแบบ 3 มิติ (มีน้ำใต้ดินไหลผ่านชุดทดลองตลอดเวลา) (ภาพที่ 4) ซึ่งใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายมากกว่าการทดลองในชุดทดลองที่กล่าวข้างต้น เพื่อทำการส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับลงไปในพื้นที่ของชุดทดลองจึงทำการฝังขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับลงไปในพื้นที่ เพื่อเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูกส่งลงไปใต้ดินเพื่อทำการกำจัดแหล่งกำเนิด DNAPL การทดลองนี้แสดงให้เห็นบทบาทของก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างแบบในที่ (In Situ Formation) ซึ่งสามารถเร่งการกำจัดแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนประเภท NAPL โดยการพ่นออกโดยก๊าซได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมาก แม้บทบาท

ของก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างแบบในที่มีจะถูกมองข้ามในการทำงานวิจัยก่อนหน้านี้ (และไม่สามารถประเมินได้จากการทดลองภายในขวดทดลองดังกล่าวข้างต้น) งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรก (ของโลก) ซึ่งแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้ สนาแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับในการเหนี่ยวนำความร้อนของอนุภาคนาโนของ เหล็กประจุศูนย์ถูกปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์ เพื่อเร่งการสร้างก๊าซไฮโดรเจนที่ สร้างแบบในที่ โดยใช้ร่วมกับระบบการสูบน้ำใต้ดิน (และก๊าซไฮโดรเจน) ออก



ภาพที่ 3: (a) ไมโครกราฟ ของ Pickering Emulsion ของ PCE โดยใช้ เหล็กศูนย์ที่ถูกปรับปรุงด้วย PSS ที่ความเข้มข้น 1 g/L โปรดสังเกตฟิล์มของอนุภาครอบๆ ผิวสัมผัสของน้ำและ DNAPL (DNAPL - water interface) ซึ่งทำให้เกิด Pickering Emulsion และ (b) อัตราส่วนของการเกิดสารผลิตภัณฑ์ รวมเมื่อใช้อนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสารโพลีเมอร์ร่วมกับการเหนี่ยวนำ ความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการสลาย TCE ที่อยู่ในรูปของ DNAPL ต่ออัตราส่วนของการเกิดสาร ผลิตภัณฑ์รวมเมื่อไม่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า $((\Delta C_{BP}/\Delta t)_{MIH} / (\Delta C_{BP}/\Delta t)_{No-MIH})$ ที่แต่ละรอบการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า อัตราส่วนที่มากกว่า 1 แสดงว่าการ ใช้อนุภาค NZVI ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเร่งการสลายสาร TCE

เพื่อการกำจัดแหล่งกำเนิด DNAPL ออกจากใต้ดิน ซึ่งพบว่าอัตราการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนดังกล่าวสามารถกำจัดแหล่งกำเนิด DNAPL ออกได้อย่างรวดเร็ว จนน่าอัศจรรย์ใจเมื่อเทียบกับการใช้สูบน้ำใต้ดินออก (ที่อุณหภูมิปกติ) หรือการใช้เหล็กประจุศูนย์ในการทำปฏิกิริยาการปลดปล่อยออกเพียงอย่างเดียว (ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันในปัจจุบัน) กล่าวคือสำหรับชุดทดลอง 3 มิติที่มีน้ำใต้ดินไหลเข้าและออกตลอดเวลา (จำลองการฟื้นฟูในชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ) พบว่า หลังการเหนี่ยวนำความร้อนเพียง 502 นาที (ได้อุณหภูมิประมาณ 70 - 84 °C (ตารางที่ 1 แสดงการเหนี่ยวนำความร้อนโดยอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับให้) แหล่งกำเนิด NAPL (ซึ่งแทบจะละลายน้ำไม่ได้เลย) จะถูกพาออกจากชั้นทรายจดหมดโดยก๊าซไฮโดรเจน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4: แบบการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง 3 มิติ สำหรับการทดลองนี้ พร้อมชุดลดเหนี่ยวนำที่ฝังลงไปทราย

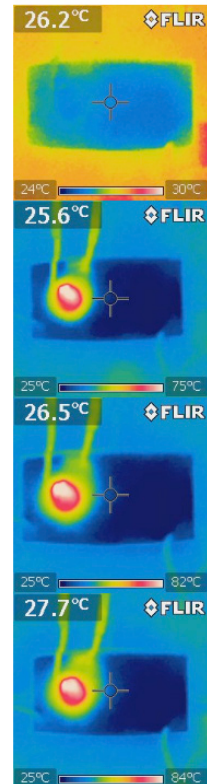
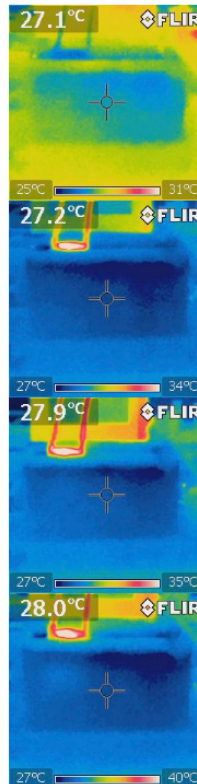
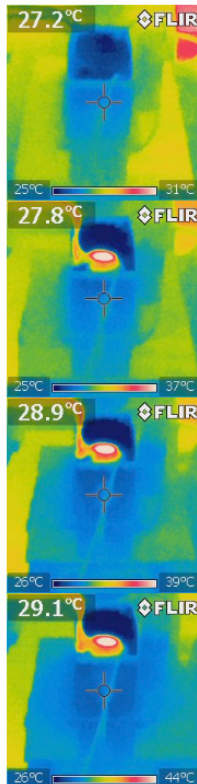
ระยะเวลาที่
จ่ายสนามแม่
เหล็ก (นาทื)

0

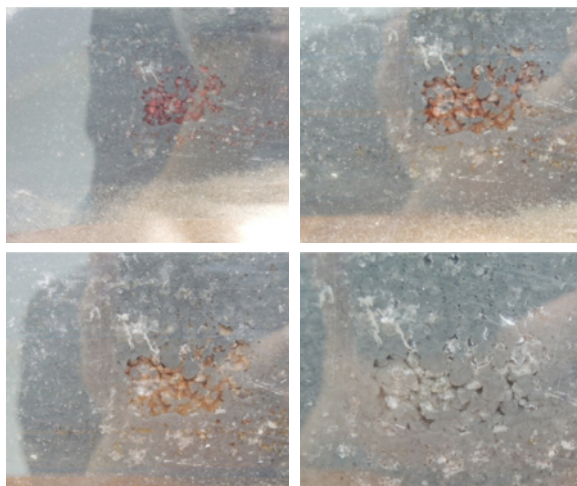
ด้านข้าง

ด้านหน้า

ด้านบน



ตารางที่ 1 ภาพถ่ายความร้อนของชุดทดลองแบบไหลต่อเนื่อง 3 มิติ เมื่อได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสสลับโดยมีอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ภายในชั้นทราย อุ่นอุณหภูมิเพิ่มจาก 28 เป็นสูงสุดที่ 84 °C หลังจากจ่ายสนามแม่เหล็กเป็นเวลา 5 นาทีที่ก่อนที่อุณหภูมิจะลดลงเป็น 72 °C แต่แผ่บริเวณที่ร้อนออกเป็นวงที่กว้างขึ้นจนถึงเวลา 120 นาที



ภาพที่ 5: ภาพถ่ายของแหล่งกำเนิด DNAPL (สีแดง) ที่เวลา (a) 0 นาที, (b) 68 นาที, (c) 104 นาที, และ (d) 502 นาที หลังการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าของอนุภาคนาโนของเหล็กประจุศูนย์ โปรดสังเกตว่า DNAPL ค่อยๆ ถูกกำจัดออกไป (สีแดงจางลงเรื่อยๆ) จนหมดในเวลาประมาณ 502 นาที

นอกจากการกำจัดแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนประเภท DNAPL แล้ว การใช้อุณหภูมิของเหล็กประจุศูนย์ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยโพลีเมอร์ พร้อมด้วยการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 90 kHz และขนาดเท่ากับ 10 A เป็นเวลา 15 นาที (อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงถึง $\sim 85^{\circ}\text{C}$) ยังสามารถเร่งอัตราการปลดปล่อยคลอรีนออกโดยวิธีใหม่นี้เร็วกว่าวิธีปกติที่ไม่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 8 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ Arrhenius ที่ทำนายว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกับการใช้อุณหภูมิของเหล็กประจุศูนย์ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 90 kHz และขนาดเท่ากับ 10 A เป็นเวลา 15 นาที ในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงถึง $\sim 55^{\circ}\text{C}$)

พบว่าอัตราการปลดปล่อยคลอรีนออกโดยวิธีใหม่นี้เร็วกว่าวิธีปกติที่ไม่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 1.4 เท่า แต่ที่สำคัญคือวิธีใช้การเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถดึง TCE ออกมาจากดินเพื่อการสลายโดยปฏิกิริยาปลดปล่อยคลอรีนออกมากกว่าวิธีปกติที่ไม่ใช้การเหนี่ยวนำความร้อนถึง 1.9 เท่า เช่นเดียวกับการสลาย TCE ได้สารผลิตภัณฑ์เป็นสารอะเซทิลีน (Acetylene) เอทเทน (Ethane) และเอทีน (Ethene) ที่ไม่เป็นพิษ

แม้ว่าการทดลองนี้จะประสบความสำเร็จในขั้นต้น เพื่อให้เทคโนโลยีนวัตกรรมนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ควรมีการวิจัยต่อยอดโดยการทดลองในดินจริง สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปรากฏการณ์ และสาธิตการฟื้นฟูด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวในพื้นที่ปนเปื้อนจริงในประเทศไทยต่อไป

สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม

Phenrat et al. (2013) Adsorbed Homopolymer can Deliver Nanoscale Zerovalent Iron Particles to the Oil/Water Interface, to be submitted to Journal of Nanoparticle Research.

Phenrat et al. (2013) Magnetic Induction Heating of Polymer - modified Nanoscale Zerovalent Iron Particles Enhances TCE and PCE Dechlorination Rates, to be submitted to Applied Catalysis B: Environmental.

Phenrat et al. (2013) Hydrogen Gas Formed In situ by Nanoscale Zerovalent Iron Particles Enhances DNAPL Source Flushing and Recovery, to be submitted to Environmental Science Technology.

Phenrat et al. (2013) Magnetic Induction Heating of Nanoscale Zerovalent Iron Particles Enhances NAPL Source Zone Recovery via In Situ Hydrogen Gas Formation, Nano Letter.

Phenrat,T.; Kumloet,I.; Malem,F.; Soontorndecha,P.;Lowry,G.V.; Tilton, R.D. (2013) Electromagnetic Induction Heating of Polymer - Modified Nanoscale Zerovalent Iron (NZVI) Accelerates Remediation of Dense Non - aqueous Phase Liquid (DNAPL) Source Zone via Enhanced Dechlorination and NAPL Dissolution. International Conference on Environmental and Hazardous Substance Management (EHWM 2013), Bangkok, Thailand.

Phenrat, T. (2013) “Reactive Nanoscale Zerovalent Iron for In Situ Groundwater and Soil Remediation: Progress, Challenge, and Opportunity”. Pure and Applied Chemistry International Conference 2013 “Global Chemical Sciences for Green Community” January 23 - 25, 2013, the Tide Resort, Bangsaen Beach, Chon Buri, Thailand.

Phenrat, T. (2012) Integrated Research for Groundwater and Land Restoration. 2012 ProSPER.Net - Scopus Young Scientist Award Symposium. 11 June, 2012, United Nation University, Tokyo, Japan

Phenrat, T., Malem, F., Soontorndecha, P., Ma, R., Lowry. G.V. (2012) Feasibility evaluation of using polymer - modified nanoscale zerovalent iron (NZVI) together with electromagnetic

induction heating to accelerate remediation of groundwater and soil contaminated with volatile chlorinated organic pollutants, the 243rd ACS National Meeting & Exposition, March 25 - 29 2012, San Diego, California.

Phenrat, T., Fagerlund, F., Illangasekare, T., Lowry, G.V., Tilton, R.D. (2012) Polymer - modified Fe₀ nanoparticles target entrapped NAPL in 2D porous media, the 243rd ACS National Meeting & Exposition, March 25 - 29 2012, San Diego, California.

ทิพย์วรรณ ทองบุศย์; ธนพล เพ็ญรัตน์; แฟรดาซ์ มาເລີມ; พีรพงษ์ สุนทรเดชะ (2013) การใช้เหล็กประจุศูนย์ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการเร่งการฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสารไตรคลอโรเอทิลีน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, วันที่ 8 - 10 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมดิเอ็มเพลส เชียงใหม่

ธนพล เพ็ญรัตน์ (2012) “การฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายด้วยวัสดุนาโน และจุลชีพ: ส่งเสริมกัน หรือหักล้างกัน?” 17 ตุลาคม 2555. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อิสราพงษ์ คัมเลิศ, นุชจรี อัมรักษ์, นุสราภรณ์ รูปประดิษฐ์, แฟรดาซ์ มาເລີມ, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, ธนพล เพ็ญรัตน์ (2012). “การใช้อนุภาคแม่เหล็กนาโนร่วมกับการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายประเภทสารอินทรีย์ระเหยโดยการกำจัดแหล่งกำเนิดประเภท Non - aqueous Phase Liquid (NAPL) ออกจากชั้นหินอุ้มน้ำ” การประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4 ขึ้นในระหว่างวันที่ 6 - 7 กันยายน 2555 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์คอนเวนชั่น

ธนพล เพ็ญรัตน์, แพรดาซ์ มาเหลี่ยม, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, อาภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์ (2012). “ความเป็นไปได้ในการเร่งการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบโดยการใช้อุณหภูมิของเหล็กประจุศูนย์ร่วมกับการเหนี่ยวนำความร้อนทางแม่เหล็กไฟฟ้า” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, 9 - 11 พฤษภาคม 2555 ณ โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุตรธานี

คณะผู้วิจัย

อิสราพงษ์ คุ่มเลิศ, ทิพย์วรรณ ทองบุศย์, นุชจรี อัมรัมย์, นุสราภรณ์ ฐปประดิษฐ์ และ ธนพล เพ็ญรัตน์ (Corresponding Author: pomphenrat@gmail.com) หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร

แพรดาซ์ มาเหลี่ยม และ พีรพงษ์ สุนทรเดชะ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนทุนการวิจัยโดย

- ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- ทุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2556
- มูลนิธิโทรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ประจำปี 2554
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (146/2555)
- กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2555



ข้อเสนอแนะทางและ
มาตรการบำบัดและฟื้นฟู

การปนเปื้อนสารพิษ

ในตำบลหนองแห่น อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา

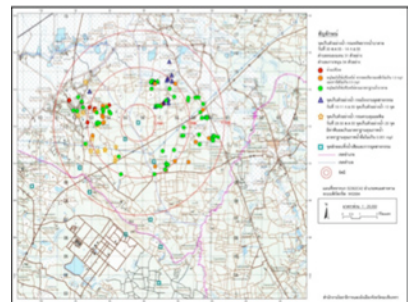
1. ที่มาของปัญหา

สื่อมวลชนรายงานข่าวการลักลอบทิ้งน้ำเสียอุตสาหกรรมปนเปื้อนสารอันตรายในบ่อดินลูกรังขนาด 15 ไร่ (ภาพที่ 1) ชาวชุมชนหนองแห่นล้อมจับรถลักลอบทิ้งน้ำเสียอุตสาหกรรมและคัดค้านการประกันตัว (ภาพที่ 2) ศาลสั่งให้ผู้ลักลอบทิ้งทำการบำบัดน้ำเสียในบ่อ



ภาพที่ 1 - 2: การลักลอบทิ้งน้ำเสียปนเปื้อนสารอันตรายในบ่อดินขนาด 15 ไร่ และชุมชนล้อมจับรถลักลอบทิ้งน้ำเสียอุตสาหกรรมและคัดค้านการประกันตัว

DSI ลงสำรวจพื้นที่ ต.หนองแห่น และ ต.ข้างเคียงพบจุดต้องสงสัยที่จะก่อให้เกิดมลพิษทาง อากาศ และการปนเปื้อนในดิน และน้ำ อีกมากมายหลายจุด นอกเหนือจากบ่อ 15 ไร่ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3: จุดต้องสงสัยที่จะก่อให้เกิดมลพิษทาง อากาศ และการปนเปื้อนในดิน และน้ำ หลายจุด ในตำบลหนองแห่นและบริเวณใกล้เคียง

หน่วยงานภาครัฐด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมหลายหน่วยงานลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นของชาวบ้านพบน้ำบ่อต้นปนเปื้อนสารฟิโนลซึ่งเป็นสารอันตรายและสั่งห้ามใช้ในการบริโภค (ภาพที่ 2) และเบื้องต้นพบชาวบ้านเจ็บป่วยกว่า 800 ราย สอดคล้องกับปรากฏการณ์ลูกหมูตายยกคอก แม่พันธุ์หมูแท้งในหลายฟาร์ม และผลผลิตการเกษตรในพื้นที่ตกต่ำ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4: ผลกระทบจากมลพิษที่หนองแห่นาฟาร์มหมูและไร่ สวน
ผลผลิตตกต่ำ ถึงขั้นเลิกกิจการในบางกรณี

ผู้ลักลอบทิ้งน้ำเสียอุตสาหกรรมจ้างบริษัทมาบำบัดน้ำเสียและฝังกลบบ่อ 15 ไร่ (ภาพที่ 5) ชาวบ้านไม่มั่นใจในความเหมาะสมของกระบวนการบำบัดและการเร่งฝังกลบบ่อ 15 ไร่ และมีความกังวลต่อน้ำบ่อต้นที่ยังคงปนเปื้อนสารอันตราย อีกทั้งน้ำเสียอุตสาหกรรมปนเปื้อนสารฟิโนลที่มีผู้มาลักลอบทิ้งในบ่อของนายมนัส สวัสดิ์ (ภาพที่ 5) นานนับปีก็ยังไม่ได้รับการจัดการ จึงยื่นหนังสือต่อกรม. สัญจร ร้องขอให้สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (สช.) กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สส.) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ (มน.) ลงพื้นที่สำรวจเบื้องต้น และเสนอแนวทางการบำบัดน้ำปนเปื้อน และการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมปนเปื้อนสารอันตราย



ภาพที่: 5 บ่อ 15 ไร่ถูกฝังกลบ หลังทำการ “บำบัด” และสูบน้ำเสียไปทิ้งอีกบ่อหนึ่ง
ในขณะที่น้ำเสียที่ถูกลักลอบทิ้งในบ่อของนายมานัส สวัสดิ์ ยังไม่ได้รับการจัดการ
มานานกว่า 1 ปี และสามารถก่อให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมข้างเคียงได้

ภาศินักวิจัยร่วม สช. สส. คณะวิทยาศาสตร์ มก. และคณะวิศวกรรม
ศาสตร์ มน. ร่วมกับชุมชนหนองแห่นลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง วิเคราะห์สารอันตราย
และศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ทำการศึกษาหาระบบ
บำบัดน้ำบ่อต้น และน้ำเสียลักลอบทิ้งในบ่อนายมานัส สวัสดิ์ และนำเสนอต่อ
สำนักงานเลขาธิการนายกรัฐมนตรี เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้กับ
ประชาชนเพื่อมีมติแก้ปัญหาให้ประชาชน (ภาพที่ 6 - 7)



ภาพที่ 6 - 7: สช. สส. คณะวิทยาศาสตร์ มก. และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มน.
ร่วมกับชุมชนหนองแห่นลงพื้นที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์สารอันตราย
และศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น

2. ผลการสำรวจการแพร่กระจายของสารพิษ และจุดต้องสงสัยเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนเบื้องต้น

ตารางที่ 1: ตารางแสดงตัวอย่างสารพิษที่พบในพื้นที่ ต.หนองแห่น และลักษณะความเป็นพิษ

สารอันตราย	อันตราย
Phenol	อาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ ความบกพร่องทางระบบประสาท มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ มีผลต่อตับ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ทำให้หัวใจล้มเหลว
Bisphenol A	สารที่รบกวนระบบต่อมไร้ท่อ ฮอรโมน มีความเกี่ยวข้องกับมะเร็งเม็ดเลือด มะเร็งเต้านมในมนุษย์
Phthalate	สารที่รบกวนระบบต่อมไร้ท่อ ฮอรโมน เป็นไปได้ในการเป็นสารก่อมะเร็ง อาการหอบหืดในเด็ก ความผิดปกติของปอด มีผลต่อการสร้างกระดูกของหนูที่กำลังเจริญเติบโต จำนวนหนูที่มีชีวิตหลังคลอดลดลง



ภาพที่ 8: แผนที่แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนและสถานการณ์ปนเปื้อน สารอันตรายมากกว่า 15 ชนิด และมีสารพิษมากกว่าแค่ฟีนอล

จากการสำรวจ ต.หนองแห่น เบื้องต้นพบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษไม่ได้มีแค่จุดลักลอบทิ้งน้ำเสียอุตสาหกรรมในบ่อ 15 ไร่ ที่ชาวบ้านล้อมจับเท่านั้น แต่มีจุดลักลอบทิ้งอื่นๆ อันเกิดจากโรงงานกำจัดกากอุตสาหกรรม ไม่ได้จัดการอย่างเหมาะสม อีกมากกว่า 10 แห่ง นอกจากนี้ยังพบสารปนเปื้อนอันตราย (ตารางที่ 1) ในดิน น้ำใต้ดินและน้ำบ่อตื้นหลายชนิด อาทิเช่น สารประกอบฟีนอล (phenol) และอนุพันธ์สารกลุ่มตัวทำละลาย (solvent) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาว และสารที่ใช้ในการผลิตในพอลิเมอร์ (polymer additives) เช่น Bisphenol A และ Phthalate

3. มาตรการเร่งด่วนในการจัดการความเสี่ยงชุมชนหนองแห่น

แหล่งกำเนิดมลพิษ ทำให้เกิดการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ จนชาวชุมชนหนองแห่นไม่สามารถใช้น้ำบ่อตื้นของตนได้ เพื่อมีส่วนร่วมในการผ่อนคลายวิกฤตนี้คณะวิจัยได้เสนอแนวทางในการบำบัดแก้ไข จุดที่มีความเสี่ยงอย่างเร่งด่วน 2 จุด ได้แก่

3.1 การออกแบบติดตั้งระบบบำบัดฟีนอลและสารอินทรีย์อันตรายในน้ำบ่อตื้นเพื่อการอุปโภคบริโภค โดยระบบบำบัดแบบติดตั้งที่จุดใช้น้ำ (Point of Use Treatment) ซึ่งได้ทำการประเมินทางเลือกเทคโนโลยีบำบัดน้ำได้ 4 เทคนิค ได้แก่

เทคนิคที่ 1 ธรรมชาติบำบัดสารฟีนอลและสารอันตรายอื่นๆ โดยการทิ้งไว้ให้ระเหยเอง หรือการใช้เทคนิคสร้างฟองน้ำพาสารฟีนอลระเหยออกไป (Air Stripping)

เทคนิคที่ 2 ธรรมชาติบำบัดโดยการให้จุลชีพย่อยสลาย หรือวิศวกรรมสลายโดยจุลชีพ

เทคนิคที่ 3 การดูดซับโดยใช้ซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเหล็กออกไซด์

เทคนิคที่ 4 การสลายสารฟีนอลและสารอันตรายอื่นๆ ด้วย ออกซิแดนท์ (Oxidants) เช่น โอโซน (Ozone) การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับแสงวิซิเบิล (Visible Light) หรือคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide) โดยสารออกซิแดนท์เหล่านี้ สามารถดึงอิเล็กตรอนออกจากสารฟีนอลและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ เพื่อแปรรูปสารอันตรายเหล่านั้นให้เป็นสารอื่นๆที่ไม่มีพิษ

ทั้งนี้จากการประเมินความเหมาะสมด้านอัตราการผลิตน้ำ ความเป็นไปได้ทางการบำบัด ราคาในการสร้างระบบและเดินระบบ ตลอดจนความยากง่าย (ต่อชาวบ้านหนองแห่น) ในการนำไปใช้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการสลายสารฟีนอลและสารอินทรีย์อันตรายในน้ำบ่อต้นด้วยโอโซน (Oxidant) มีความเหมาะสมที่สุด ส่วนการบำบัดโดยการดูดซับมีความเหมาะสมรองลงมา ดังแสดงในตารางที่ 2

คณะวิจัยฯ จึงเสนอให้มีการติดตั้งระบบการสลายสารฟีนอลและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆด้วยระบบโอโซน (Oxidant) หรือระบบการดูดซับเพื่อบรรเทาความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเป็นการจัดการลดความเสี่ยงเฉพาะหน้า ซึ่งจำเป็นต้องจัดการอย่างเร่งด่วน

3.2 การออกแบบและติดตั้งระบบบำบัดสารฟีนอลในน้ำเสียที่ถูกลักลอบทิ้งในบ่อของนายมานัส สวัสดิ์

หลังได้มีการตรวจวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ลักลอบนำมาทิ้ง พบว่ามีสารฟีนอลปนเปื้อนปริมาณสูงมาก จึงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่อาจทำให้มีการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินบริเวณใกล้เคียงได้

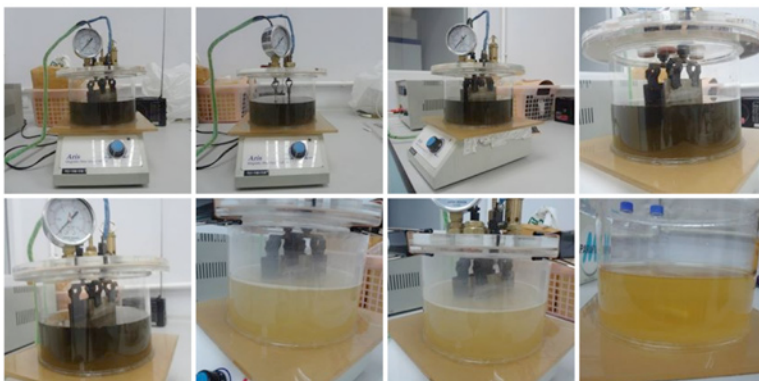
คณะวิจัยได้ทำการทดลองบำบัดสารฟีนอลโดยใช้ระบบออกซิเดชันทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Oxidation) (ซึ่งคือการดึงอิเล็กตรอนออกจากฟีนอลโดยใช้ไฟฟ้า) ร่วมกับระบบรีดักชัน (Reduction) โดยเหล็ก ซึ่งคือการให้อิเล็กตรอนแก่สารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการออกซิเดชันทางไฟฟ้าเคมีข้างต้นอีกครั้งหนึ่ง เรียกรวมว่า วิธีการควบคุมการไหลเวียนของอิเล็กตรอน (Redox Manipulation) (ภาพที่ 10) ซึ่งทำให้ฟีนอลสลายเป็นสารไม่มีพิษเมื่อเสร็จสิ้นทั้ง

2 กระบวนการ จึงสามารถกำจัดฟีนอลได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีสารพิษตกค้างอีกและราคาถูกกว่าวิธีอื่น อีกทั้งระบบนี้สามารถสร้างเป็นเครื่องบำบัดฟีนอลที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ใช้งานจริงได้ คณะวิจัยจึงเสนอให้สร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียลักลอบทิ้งในบ่อนายคุณมานัส สวัสดิ์ โดยเร็วเพื่อลดการรั่วไหลของสารอันตรายสู่สิ่งแวดล้อม

ทางเลือก	อัตราการ ผลิตน้ำ	ความ เป็นไปได้ ทาง เทคนิค	ความยาก ง่ายในการ ใช้	ราคาค่า จัดทำ ระบบ	ราคา ค่าเดิน ระบบ	ความ คิดเห็นของ ผู้ใช้
Air Sparging		●				
วิธีทางชีวภาพ-จุลชีพ	●	●	●	●	●	๕๕๕
การดูดซับ	●	●	●	●	●	๕๕๕
ClO₂	●	●	●	●	●	๕๕๕
O₃	●	●	●	●	●	๕๕๕
Photo-Oxidation	●	●	●	●	●	๕๕๕

- แย่ ไม่ดี แพง
- พอไหว พอใช้ได้ ราคาปานกลาง
- ดี เหมาะสม ราคาไม่แพง

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมในการบำบัดน้ำป่อดั้งของชาวบ้านหนองแห่นที่ปนเปื้อนสารฟีนอลและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ ผลการประเมินแต่ละปัจจัยแสดงด้วยสีแดง เหลือง และเขียว



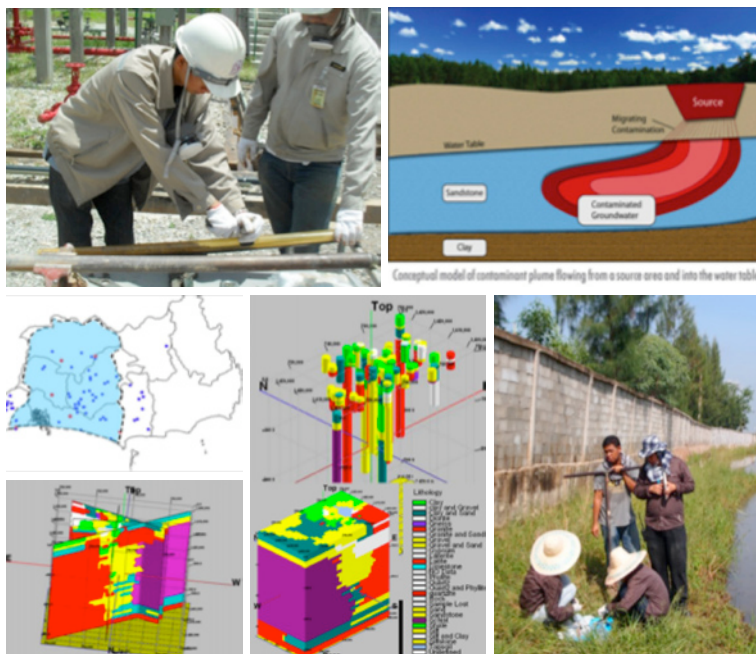
ภาพที่ 9: ไฟฟ้าเคมีสลายสารปนเปื้อนในน้ำลักลอบทิ้งในบ่อนายคุณมานัส สวัสดิ์อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

4.2 ทำแบบจำลองโมโนทัศน์และแบบจำลองทำนายการแพร่กระจายสารอันตรายในปัจจุบันและในอีก 30 ปีข้างหน้า(ภาพที่ 11)

4.3 ทำนายปริมาณสารอันตรายที่แพร่ไปถึงชุมชนต่างๆ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารอันตรายในอนาคตอีก 30 ปีข้างหน้า (ภาพที่ 11)

4.4 ถ้าความเสี่ยงมีอาจยอมรับได้ต้องทำการฟื้นฟูการปนเปื้อนจนความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4.5 ฟื้นฟูพื้นที่โดยอาศัยผลจากการประเมินโดยไม่ต้องรอให้ชาวบ้านได้รับสารพิษในอนาคตจนเจ็บป่วย



ภาพที่ 11: (บนซ้าย) และ (ล่างขวา) แสดงการเก็บตัวอย่างดินรอบๆบริเวณต้องสงสัยว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนสารอันตราย (ล่างซ้าย) แสดงการนำข้อมูลคุณลักษณะของดินมาเข้าแบบจำลองเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองเชิงโมโนทัศน์ของชั้นดิน และ (บนขวา) แสดงตัวอย่างการประเมินสารอันตรายที่แพร่ไปถึงชุมชนต่างๆ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารอันตรายในอนาคตโดยไม่ต้องรอให้ปัญหาเกิดก่อน

คณะผู้วิจัย

แฟรดาซ์ มาเหล็ม, พีรพงษ์ สุนทรเดช และคณะ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สมพร เพ็งคำ และคณะ ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

อรพินท์ เจียรถาวร และคณะ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธนพล เพ็ญรัตน์ (Corresponding Author: pomphenrat@gmail.com), วิสาข์ สุพรรณไพบุลย์ และคณะ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ (IN3R) และสถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอขอบคุณ

ทุนสนับสนุนการเก็บตัวอย่างในพื้นที่และการทำเคมีวิเคราะห์

- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ
- หน่วยวิจัยเชิงบูรณาการด้านการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนและการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



เรียบเรียง	บำเพ็ญ ไชยรักษ์
กองบรรณาธิการ	ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์, สมพร เพ็งคำ, ดร.แฟรดาซ์ มาห์ลิ้ม, ดร.วิสาข์ สุพรรณไพบูลย์, ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ, รศ.ดร.ศรินทิพย์ แทนธานี และ สิริกร ชูแก้ว
รูปเล่ม	ศิริพร พรศิริธิเวช
ภาพประกอบ	สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, ตะวัน พงศ์แพทย์ และ เรืองฤทธิ์ คงเมือง
จัดทำโดย	• ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (สช.) • กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร • สถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร • ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
พิมพ์ที่	ทจก. สหพัฒนไพศาล โทรศัพท์ 0-2432-6173-5, 08-2384-6444 อีเมล ktpnws@gmail.com



จัดทำโดย

ศูนย์ประสานงานการพัฒนากระบะและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ
สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (สช.)

กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

สถานความเป็นเลิศเพื่อความยั่งยืนด้านสุขภาวะสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม