

Inorganic arsenic, Manganese and Cyanide Contamination in Children with Learning Disabilities Living Near an Inactive Mining Industry

Sarun Kunwittaya^{1*}, Nootchanart Ruksee¹, Thirata Khamnong¹,
Kannika Permpoonputtana¹, Vasunun Chumchua¹ and Adisak Plitponkarnpim^{1, 2}

¹*National Institute for Child and Family Development, Mahidol University,
Nakhon Pathom Province, Thailand*

²*Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok, Thailand*

Abstract

The health effects caused by the mining industry are mainly due to heavy metal contamination caused by mining, smelting, surface drainage and waste leachate. These events cause the distribution of chemicals and heavy metals in nearby areas and contaminating the food chain. Based on these data, this research aimed to analyze inorganic arsenic, manganese, cyanide contaminants, and determine inflammation and oxidative stress in children with learning disabilities living near an inactive mining industry. The results showed that urinary inorganic arsenic levels were higher than normal in 1 subject (3.6%), manganese serum levels were higher than normal in 10 (35.7%) and cyanide levels were not above normal. In addition, the level of 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) and C-reactive protein (CRP) were higher than normal in 16 (57.14%) and 3 (10.71%) subjects, respectively. The study showed that children with learning disabilities are contaminated with heavy metals and are at risk for oxidative stress and inflammation. Therefore, monitoring of heavy metal contamination and health effects in vulnerable children who live near the mining industry during the period of operating normally or temporarily suspended will help prevent and mitigate health impacts that may occur.

Keywords: Children, Cyanide, Inorganic arsenic, Learning disabilities, Manganese

*Corresponding author E-mail address: sarun.kun@mahidol.edu

Received: 29 July 2021

Revised: 15 September 2021

Accepted: 5 November 2021

การปนเปื้อนสารอาร์เซนิกอนินทรีย์ แมงกานีส และไซยาไนด์ ในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้อาศัยอยู่ใกล้อุตสาหกรรม เหมืองแร่ที่ไม่ได้ใช้งาน

ศรัล ขุนวิทยา^{1*} นุชนาฏ รักษ์¹ อธิธา ขำนอง¹ กันนิกา เพิ่มพูนพัฒนา¹ วสุนันท์ ชุ่มเชื้อ¹
และ อติศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์^{1, 2}

¹สถาบันแห่งชาติเพื่อการพัฒนาเด็กและครอบครัว มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม

²คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

ผลกระทบต่อสุขภาพซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ส่วนใหญ่จะมาจากการปนเปื้อนโลหะหนักที่เกิดจาก การขุด การถลุงแร่ การระบายน้ำผิวดินและน้ำชะขยะของเสีย เหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลให้เกิดการกระจายของสารเคมีและโลหะหนักในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงและมีการปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารจากข้อมูลดังกล่าวการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารอาร์เซนิกอนินทรีย์ แมงกานีส และไซยาไนด์ ตรวจภาวะการอักเสบ (inflammation) และภาวะ oxidative stress ในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ซึ่งพำนักอาศัยอยู่ใกล้กับพื้นที่อุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่หยุดการดำเนินงานชั่วคราว ผลการวิจัยพบระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ในปัสสาวะสูงกว่าค่าปกติ 1 คน (ร้อยละ 3.6) พบระดับ แมงกานีสในเลือดสูงกว่าปกติ 10 คน (ร้อยละ 35.7) และไม่พบระดับไซยาไนด์สูงกว่าค่าปกติ นอกจากนี้การวิจัยพบระดับ 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) และ C-reactive protein (CRP) มีค่าสูงกว่าปกติ 16 คน (ร้อยละ 57.14) และ 3 คน (ร้อยละ 10.71) ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้แสดงว่าเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้มีการปนเปื้อนโลหะหนักและมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ oxidative stress และภาวะการอักเสบ ดังนั้นการตรวจติดตามการปนเปื้อนโลหะหนักและผลกระทบต่อสุขภาพในเด็กปกติหรือเด็กกลุ่มเปราะบางที่อาศัยอยู่ใกล้พื้นที่เสี่ยงอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ในช่วงเวลาที่กิจการดำเนินงานอยู่ปกติหรือหยุดดำเนินงานชั่วคราว จะช่วยป้องกันและบรรเทาผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้

คำสำคัญ: เด็ก ไซยาไนด์ ภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ แมงกานีส อาร์เซนิกอนินทรีย์

*ผู้รับผิดชอบบทความ E-mail address: sarun.kun@mahidol.edu

รับบทความ: 29 กรกฎาคม 2564

แก้ไขบทความ: 15 กันยายน 2564

รับตีพิมพ์บทความ: 5 พฤศจิกายน 2564

บทนำ

การประกอบอุตสาหกรรมเหมืองแร่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีและโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ อากาศ และปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่มจากห่วงโซ่อาหารในชุมชนรอบเหมืองซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทั้งระยะสั้นและระยะยาวต่อประชากร โดยการปนเปื้อนของสารเคมีและโลหะหนักขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพภูมิศาสตร์ และองค์ประกอบของแร่ธาตุในดินและน้ำที่มีอยู่เดิม วิธีการประกอบกิจการเหมืองแร่ ลักษณะของการประกอบกิจการเหมืองแร่ทั้งแบบเปิดหรือปิด การดูแลจัดการกากแร่และการกำจัดกากของเสีย⁽¹⁻³⁾

กระบวนการทำเหมืองแร่จะเกิดฝุ่น เสียงดัง ความสั่นสะเทือน รวมถึงการรั่วไหลของกรดจากมูลหินที่มีศักยภาพในการก่อฤทธิ์ให้เป็นกรด (acid mine drainage; AMD) หรือน้ำทิ้งสภาวะกรดโลหะหนัก เช่น อาร์เซนิก ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี แมงกานีส และสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต โดยปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพ ได้แก่ การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมเหมืองแร่ โดยแหล่งที่มาของการปนเปื้อนมาจากการขุด การถลุงแร่ การระบายน้ำผิวดินและน้ำชะขยะของเสียจากเหมือง ทำให้เกิดการกระจายของสารเคมีและโลหะหนักในพื้นที่บริเวณใกล้เคียง⁽³⁾

การศึกษาผลกระทบกิจการเหมืองแร่ในประเทศไทย โดยกระทรวงสาธารณสุขพบว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกิจการเหมืองแร่ในรัศมี 12 ตารางกิโลเมตร มีโอกาสเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากการปนเปื้อนโลหะหนักและสารเคมีในกระบวนการผลิต ข้อมูลบ่งชี้ว่าสารอาร์เซนิกและแมงกานีสเป็นปัญหาที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งผู้ที่ได้รับการปนเปื้อนโลหะหนักสูงกว่าค่าปกติ จะมีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งที่ผิวหนัง ไต ปอด ตับ และระบบเลือด อีกทั้งมีความเสี่ยงของ

การเกิดโรคเมแทบอลิก โรคความดันโลหิตสูงและโรคอื่นๆ⁽⁴⁻⁵⁾

การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพเด็กในต่างประเทศพบว่า เด็กมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสสารโลหะหนักมากกว่าผู้ใหญ่ เนื่องจากเด็กเป็นประชากรกลุ่มเปราะบางและร่างกายอยู่ในช่วงพัฒนาการ⁽⁶⁾ นอกจากนี้เด็กชอบที่จะเล่นกลางแจ้งหรือบนพื้นดิน โอกาสที่สารเคมีหรือวัตถุที่เป็นพิษจะปนเปื้อนสู่เด็กจึงมีความเป็นไปได้สูง ดังกรณีศึกษาของ Hwang YH และคณะ ซึ่งได้ศึกษาการปนเปื้อนอาร์เซนิก ในดินของชุมชนใกล้โรงงานถลุงทองแดงในรัฐมอนทานา สหรัฐอเมริกาและพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้นของอาร์เซนิกในดินกับอาร์เซนิกในปัสสาวะของเด็กอายุต่ำกว่า 6 ปี⁽⁷⁾

ผลการวิจัยต่างๆ แสดงว่าการได้รับสัมผัสโลหะหนักปริมาณเล็กน้อย เช่น อาร์เซนิก ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี แมงกานีส สามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxic) ในเด็กได้โดยตรง นอกจากนี้การได้รับอาร์เซนิกเรื้อรังอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดพยาธิสภาพและก่อโรคต่างๆ เช่น เป็นพิษต่อเซลล์สมอง (neurotoxic) ทำให้เกิดภาวะ oxidative stress ชักนำให้เกิดภาวะการอักเสบ (inflammation) มีการทำลายสมองส่วนการเรียนรู้และความทรงจำ เกิดภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ (learning disability) เกิดการทำลายโปรตีนในสมอง (protein degradation) เกิดการสะสม Tau protein จนนำไปสู่การเสื่อมถอยของสมอง (neurodegeneration) และโรคสมองเสื่อม⁽⁷⁻¹¹⁾ นอกจากนี้การศึกษาของ Calderon J และคณะ ในปี พ.ศ. 2544 และ Tsai SY และคณะ ในปี พ.ศ. 2546 พบว่าแมงกานีสเป็นทั้งสารอาหารและสารพิษ หากได้รับในปริมาณมากจะส่งผลให้พยาธิสภาพทางสมองเกิดความผิดปกติทางคลินิก เช่น การสูญเสียความจำ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม อารมณ์

และเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคที่เกิดจากความเสื่อม
ของระบบประสาท^(8 - 11)

สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559 ได้มีการสำรวจการปนเปื้อนโลหะหนักในประชากรวัยเด็กซึ่งอาศัยอยู่ในชุมชนรอบกิจการเหมืองแร่ในเขต 3 จังหวัด ได้แก่ พิจิตร พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ โดยความร่วมมือของกรมควบคุมโรคไม่ติดต่อ กระทรวงสาธารณสุข สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก โรงพยาบาลรามาธิบดี รวมทั้งการสำรวจสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำดิน และอาหาร ผลการศึกษาพบว่าเด็กวัยเรียนอายุ 8 - 13 ปี จำนวน 73 คนจาก 205 คน (ร้อยละ 35.6) ซึ่งอาศัยอยู่ในรัศมีพื้นที่ห่างจากกิจการเหมืองแร่ไม่เกิน 10 กิโลเมตร มีระดับการปนเปื้อนสารออร์เซนิกอนินทรีย์สูงกว่าค่าปกติ (ค่าปกติ < 35 ไมโครกรัมอาร์เซนิกต่อลิตร) นอกจากนี้ยังพบข้อมูลที่น่าสนใจคือ การสำรวจพบเด็กมีความบกพร่องทางการเรียนรู้ 86 คนจาก 212 คน (ร้อยละ 40.6)⁽¹²⁾ ภายหลังกิจการเหมืองแร่ได้หยุดการดำเนินงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ปี สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) โดยความร่วมมือของสถาบันแห่งชาติเพื่อการพัฒนาเด็กและครอบครัว มหาวิทยาลัยมหิดล ได้สำรวจการปนเปื้อนสารออร์เซนิกอนินทรีย์ แมงกานีส และไซยาไนด์ ในเด็กประถมศึกษาปีที่ 4 - 6 ในปี พ.ศ. 2562 ผลการศึกษาพบว่าเด็กประถมศึกษา 199 คน ซึ่งผู้ปกครองยินยอมให้ตรวจสุขภาพและเข้าร่วมโครงการวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร มีระดับออร์เซนิกอนินทรีย์ในปัสสาวะสูงกว่าค่าปกติ (ค่าปกติ < 35 ไมโครกรัมอาร์เซนิกต่อลิตร) ร้อยละ 4.5 มีระดับแมงกานีสในเลือดสูงกว่าค่าปกติ (ค่าปกติ 5 - 15 ไมโครกรัมต่อลิตร) ร้อยละ 41.2 และการสำรวจไม่พบไซยาไนด์ในเลือดสูงกว่าค่าปกติ (ค่าปกติ < 0.5 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิลิตร) การสำรวจดังกล่าวบ่งชี้ว่าการปนเปื้อนสารออร์เซนิกอนินทรีย์มีแนวโน้มลดลงทั้งเด็กชายและเด็กหญิงในทุกระดับชั้นและในทุกโรงเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2559⁽¹³⁾

ข้อมูลทางวิชาการที่ผ่านมาบ่งชี้ว่าโลหะหนักซึ่งปนเปื้อนไปกับห่วงโซ่อาหารและสิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเจ็บป่วยโรคเรื้อรังในเด็กเนื่องจากเด็กอยู่ในช่วงพัฒนาการตามวัย และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า เด็กที่ได้รับสารโลหะหนัก เช่น อาร์เซนิก และแมงกานีส จะพบมีความผิดปกติของกระบวนการเรียนรู้ ความสามารถทางสติปัญญา และกล้ามเนื้อมัดเล็ก^(6 - 11) อย่างไรก็ตามการศึกษาวัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามีทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ยังไม่สามารถบ่งชี้ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในวัยเด็ก ส่วนผลกระทบต่อสุขภาพเชิงลึกในกลุ่มเด็กพิเศษ เช่น เด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ ต่อการได้รับสัมผัสเรื้อรังในประเทศไทยยังคงมีข้อมูลทางวิชาการน้อย

จากข้อมูลวิชาการดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารออร์เซนิกอนินทรีย์ แมงกานีส และไซยาไนด์ ตรวจวิเคราะห์การอักเสบ และภาวะ oxidative stress ในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ซึ่งอาศัยอยู่ใกล้พื้นที่อุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่หยุดการดำเนินงานชั่วคราว โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นความรู้ใหม่และมีประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านสาธารณสุข การศึกษา และสิ่งแวดล้อม ในการเฝ้าระวังสุขภาพและผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นในกลุ่มเด็กเปราะบางในพื้นที่เสี่ยงของกิจการการทำเหมืองแร่ทั้งในภาวะปกติหรือหยุดการดำเนินงานชั่วคราวต่อไป

วิธีการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างของการวิจัยครั้งนี้คือ กลุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจงซึ่งเป็นเด็กบกพร่องทางการ

เรียนรู้ อายุ 9 - 13 ปี 28 ราย ที่ได้รับการประเมินความสามารถทางสติปัญญา (intelligence quotient; IQ) โดยแบบทดสอบ Test of Nonverbal Intelligence Fourth Edition (TONI-4) แล้วพบว่า มีระดับสติปัญญาปกติ ($IQ \geq 90$) หลังจากนั้นได้ประเมินความบกพร่องทางการเรียนรู้ ด้านการอ่าน คำการสะกดคำ ความเข้าใจประโยค และการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ด้วยแบบทดสอบ KUS-SI Rating Scales: ADHD/LD/Autism (PDDs) (Kasetsart University Laboratory School: Center of Educational and Development/Department of Psychiatry, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University) แล้วพบว่าเด็กมีภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้อย่างน้อย 1 ด้าน

1.1 เกณฑ์คัดเข้า

- 1) อยู่ระหว่างเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 - 6 (อายุ 9 - 13 ปี) ซึ่งสามารถวินิจฉัยภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ได้ชัดเจน
- 2) ไม่มีภาวะผิดปกติทางสายตาหรือการได้ยินที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข
- 3) ไม่เคยได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีภาวะบกพร่องทางสติปัญญา (mental retardation)
- 4) ไม่เป็นโรคลมชักที่ต้องรับประทานยาต่อเนื่องเพื่อควบคุมอาการชัก
- 5) เรียนโรงเรียนเดิมที่กำลังศึกษามาอย่างน้อย 3 ปี
- 6) อาศัยอยู่ในอำเภอเดิมในเขตจังหวัด พิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลกอย่างน้อย 3 ปี
- 7) ผู้ปกครองยินยอมให้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร

1.2 เกณฑ์คัดออก

- 1) ผู้ปกครองไม่ยินยอมให้เข้าร่วมงานวิจัย
- 2) รับประทานยาหรืออาหารเสริมที่มีเมกานีสเป็นส่วนประกอบในระยะเวลา 3 เดือนก่อนเข้าร่วมโครงการ

ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระดับเมกานีสในเลือด

3. ไม่อาศัยอยู่ในอำเภอเดิมในเขตจังหวัด พิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลกอย่างน้อย 3 ปี
4. เด็กนักเรียนไม่สามารถประเมินครบถ้วนตามที่การวิจัยกำหนด

2. ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยศึกษาในกลุ่มตัวอย่างเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ จากโรงเรียนวิจัยนำร่องทั้ง 6 โรงเรียน โดยเด็กและครอบครัวที่เข้าร่วมโครงการวิจัยมีสถานะทางเศรษฐกิจใกล้เคียงกันและพำนักอาศัยอยู่ใกล้พื้นที่อุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่หยุดการดำเนินงานชั่วคราวในรัศมี 10 กิโลเมตร อย่างน้อย 3 ปี และอยู่ในจังหวัดพิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลก

3. การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

โครงการวิจัยได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม (MU-CIRB 2019/067.2602) โครงการวิจัยติดต่อประสานงานถึงครอบครัวโรงเรียนวิจัยนำร่องทั้ง 6 โรงเรียนและหน่วยงานราชการของ 3 จังหวัด เพื่อขออนุญาตประชาสัมพันธ์และอธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูลระยะเวลาในการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ผลกระทบจากการร่วมในการวิจัยครั้งนี้ ความเสี่ยงในการตอบแบบสอบถาม การเข้าร่วมการวิจัย การลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ตัดสินใจที่จะทำแบบสอบถามด้วยความสมัครใจ สิทธิของกลุ่มตัวอย่างที่จะยุติการเข้าร่วมได้ตลอดเวลา โดยไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด ข้อมูลการวิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับและแบบสอบถามทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในที่ปลอดภัย ไม่มีการรั่วไหลของข้อมูล และการนำเสนอผลลัพธ์จะเป็นภาพรวมตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยครั้งนี้

4. การตรวจทางห้องปฏิบัติการ

4.1 การตรวจวิเคราะห์อาร์เซนิกอนินทรีย์ ตามคำแนะนำของ The American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย ได้ระบุให้ตรวจสารอาร์เซนิกในปัสสาวะ ในรูปของอาร์เซนิกอนินทรีย์ ได้แก่ อาร์เซนิก (III) อาร์เซนิก (V) และ methylated metabolites ได้แก่ monomethylarsonic acid (MMA) และ dimethylarsinic acid (DMA) ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarkers) สำหรับการสัมผัสปนเปื้อนสารอาร์เซนิก การวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะหลังตื่นนอน (first morning urine) จากกลุ่มตัวอย่างปริมาตร 20 - 50 มิลลิลิตร และเก็บรักษาส่งตรวจที่อุณหภูมิ 2 - 8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง การตรวจวิเคราะห์สารอาร์เซนิกอนินทรีย์ ใช้วิธี inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS)

4.2 การตรวจวิเคราะห์แมงกานีส และไฮยาไนต์ ตามคำแนะนำของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย ได้ระบุให้ตรวจเลือด โดยเก็บตัวอย่างเลือดจากกลุ่มตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร (trace element free tube: EDTA whole blood) และเก็บรักษาส่งตรวจที่อุณหภูมิ 2 - 8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธี inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS)

4.3 การตรวจวิเคราะห์การทำงานของตับ และการทำงานของไต โดยเก็บตัวอย่างเลือดจากกลุ่มตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร (clotted blood) และเก็บรักษาส่งตรวจที่อุณหภูมิ 2 - 8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธี spectrophotometric method

4.4 การตรวจวิเคราะห์ภาวะการอักเสบด้วยการตรวจ C-reactive protein (CRP) โดยเก็บตัวอย่างเลือดจากกลุ่มตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร (clotted blood) และเก็บรักษาส่งตรวจที่อุณหภูมิ 2 - 8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธี spectrophotometric method

4.5 การตรวจวิเคราะห์ภาวะ oxidative stress ด้วยการตรวจวิเคราะห์ 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) โดยเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากกลุ่มตัวอย่างปริมาตร 20 - 50 มิลลิลิตร (first morning urine) และเก็บรักษาส่งตรวจที่อุณหภูมิ 2 - 8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง โดยใช้วิธี liquid chromatography/tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โครงการวิจัยใช้สถิติพรรณนาโดยการนำเสนอผลการวิจัยในรูปข้อความบรรยาย ตาราง ร้อยละ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดย Pearson correlation โดยค่า $p < 0.05$ แสดงถึงระดับการมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลตรวจตัวอย่างปัสสาวะของเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ พบมีระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์สูงกว่าค่าปกติ 1 คน (ร้อยละ 3.6) และระดับปกติ 27 คน (ร้อยละ 96.4) คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:27 (Table 1) นอกจากนี้พบระดับแมงกานีสในเลือดสูงกว่าปกติ 10 คน (ร้อยละ 35.7) และระดับปกติ 18 คน (ร้อยละ 64.3) คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:2 (Table 2) ส่วนผลตรวจไฮยาไนต์พบว่าอยู่ในระดับปกติ 28 คน (ร้อยละ 100.0) (Table 3)

Table 1 Analysis of inorganic arsenic in urine from 28 children with learning disabilities (LD)

Learning disability (LD)	Missing data (n)	n (%)	Inorganic arsenic in urine ($\mu\text{g AS/L}$)*	
			≥ 35 n (%)	< 35 n (%)
-	-	28 (100.0)	1 (3.6)	27 (96.4)

*Reference value of inorganic arsenic in urine = $< 35 \mu\text{g AS /L}$

(Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

Table 2 Analysis of manganese in the blood from 28 children with learning disabilities (LD)

Learning disability (LD)	Missing data (n)	n (%)	Manganese in blood ($\mu\text{g/L}$)*	
			> 15 n (%)	5-15 n (%)
-	-	28 (100.0)	10 (35.7)	18 (64.3)

*Reference value of manganese in the blood = 5 - 15 $\mu\text{g/L}$

(Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

Table 3 Analysis of cyanide in the blood from 28 children with learning disabilities (LD)

Learning disability (LD)	Missing data (n)	n (%)	Cyanide in blood ($\mu\text{g/mL}$)*	
			≥ 0.5 n (%)	< 0.5 n (%)
-	-	28 (100.0)	0 (0.0)	28 (100.0)

*Reference value of cyanide in the blood = $< 0.5 \mu\text{g/mL}$

(Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

ผลตรวจการทำงานของไตและตับ พบระดับ ครีเอตินินสูงกว่าค่าปกติ 1 คน (ร้อยละ 3.57) ระดับ โปรตีนรวมสูงกว่าค่าปกติ 2 คน (ร้อยละ 7.14) ระดับ โกลบูลินสูงกว่าค่าปกติ 3 คน (ร้อยละ 10.71) และ ระดับบิลิรูบินรวม รวมด้วย direct bilirubin สูงกว่า ค่าปกติ 1 คน (ร้อยละ 3.57) ซึ่งแม้พบผลตรวจ ทางห้องปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าปกติแต่เป็นค่าที่สูงกว่า ค่าปกติเล็กน้อยและไม่พบความผิดปกติที่ชัดเจนทาง คลินิก (Table 4) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง

ดัชนีทางชีวภาพ (biomarkers) ต่างๆ ที่บ่งชี้การ ทำงานของไตและตับ กับระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ หรือแมงกานีส ผลการวิจัยไม่พบความสัมพันธ์ทาง สถิติในการศึกษาครั้งนี้ (Pearson correlation; $p > 0.5$)

ผลตรวจภาวะ oxidative stress โดยการ ตรวจ 8-OHdG พบว่ามีระดับที่สูงกว่าค่าปกติ 16 คน (ร้อยละ 57.14) และระดับปกติ 12 คน (ร้อยละ 42.86) คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:1 (Table 5)

Table 4 Analysis of renal function and liver function of 28 children with learning disabilities (LD)

Test	Minimum	Maximum	Mean	SD	Reference intervals*	Units
Total Protein	7.0	8.2	7.5	0.35	6.0-8.0	g/dL
Albumin	4.1	4.8	4.3	0.15	3.8-5.4	g/dL
Globulin	2.7	3.8	3.1	0.33	1.2-3.5	g/dL
Total bilirubin	0.2	2.0	0.5	0.32	0.2-1.2	mg/dL
Direct bilirubin	0.1	0.7	0.2	0.11	0.0-0.5	mg/dL
ALP	131.0	431.0	250.1	74.45	0-500	U/L
AST_SGOT	15.0	33.0	23.1	4.63	5-34	U/L
ALT_SGPT	4.0	47.0	15.5	9.03	0-55	U/L
Creatinine	0.49	0.95	0.64	0.08	0.5-0.8	mg/dL
Blood Urea Nitrogen	0.18	14.20	9.23	2.93	7.0-16.8	mg/dL

*Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Chemistry-Pediatric Reference Ranges, Roche Diagnostics GmbH

Table 5 Analysis of C-reactive protein (CRP) and 8-Hydroxy-2-deoxyguanosine (8-OHdG) of 28 children with learning disabilities (LD)

Test	Minimum	Maximum	Mean	SD	Reference intervals*	Units
C-reactive protein (CRP)	0.07	6.68	1.65	2.03	0.00-5.00*	mg/dL
8-Hydroxy-2-deoxy-guanosine (8-OHdG)	1.69	4.65	2.87	0.80	< 2.59**	nmol/mmol creatinine

*Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Leibniz-Institute for Prevention Research and Epidemiology (BIPS), University of Bremen, Germany

**Referenced by Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand and Neonatal Unit, Liverpool Women's Hospital, Department of Child Health, University of Liverpool, England

เมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 8-OHdG กับระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ หรือแมงกานีส ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติในการศึกษาครั้งนี้ (Pearson correlation; $p > 0.5$)

ผลตรวจภาวะการอักเสบโดยการตรวจ CRP พบมีระดับสูงกว่าค่าปกติ 3 คน (ร้อยละ 10.71) และระดับปกติ 25 คน (ร้อยละ 89.29) คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1:8 (Table 5) เมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์

ระหว่าง CRP กับระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ หรือแมงกานีส การวิจัยไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติในการศึกษาครั้งนี้ (Pearson correlation; $p > 0.5$)

วิจารณ์

หลังจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้หยุดดำเนินงานชั่วคราวเป็นระยะเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2559-2561) ผลการวิจัยตรงติดตามการปนเปื้อนโลหะหนักในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ พบว่ามีระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ในปัสสาวะสูงกว่าค่าปกติร้อยละ 3.6 นอกจากนี้พบแมงกานีสในเลือดสูงกว่าค่าปกติร้อยละ 35.7 ส่วนผลตรวจไซยาไนด์พบว่าอยู่ในระดับปกติ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าการปนเปื้อนโลหะหนักในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ โดยสาเหตุการปนเปื้อนอาจเกิดจากหลายช่องทาง เช่น การสัมผัส การสูดดม และการบริโภค อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือในอาหารและน้ำบริโภค จึงไม่สามารถระบุแหล่งที่มาของการปนเปื้อนได้ จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

การพบสถานการณ์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวัง เพราะการปนเปื้อนอาร์เซนิกอนินทรีย์เรื้อรังและเป็นเวลานานส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อผิวหนัง สีผิวทั้งเกิดจุดสีเข้มหรือจุดด่างขาว โดยจุดด่างขาวจะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 6 เดือนถึง 3 ปี หลังจากนั้นจะเกิดจุดที่ฝ่ามือภายใน 1 ปี และนำไปสู่มะเร็งผิวหนัง การได้รับในปริมาณน้อยแต่เป็นระยะเวลานานจะทำให้ระบบประสาทส่วนปลายถูกทำลาย ประสาทรับความรู้สึกเปลี่ยนแปลง เช่น ชาตามมือและเท้า และรู้สึกเหมือนมีเข็มหรือหนามตำ ส่วนผลการศึกษานี้ยังไม่พบอาการทางคลินิกดังกล่าวในเด็กทุกคน

สารอาร์เซนิกอนินทรีย์สามารถปนเปื้อนสู่คน

ผ่านการสัมผัส การสูดดม และการบริโภค และที่สำคัญสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของรก (placenta) ระบบหลอดเลือด (vascular system) และเซลล์กั้นระหว่างสมองและระบบเลือด (blood brain barrier) ดังนั้นจึงสามารถตรวจพบการสะสมได้ในอวัยวะต่างๆทั่วร่างกาย เช่น เล็บ เส้นผม ผิวหนัง กระดูก ไต ตับ ปอด และสมอง โดยเฉพาะต่อมไธมัสเป็นสมองส่วนที่ตรวจพบการสะสมมากที่สุด⁽¹⁴⁾ อีกทั้งการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาคลินิกพบว่า เด็กที่คลอดจากแม่ที่ได้รับการปนเปื้อนระหว่างตั้งครรภ์และเด็กหรือผู้ใหญ่ที่ได้รับการปนเปื้อนเรื้อรังจะมีความบกพร่องของกระบวนการเรียนรู้และการควบคุมพฤติกรรม^(14 - 15)

กลไกการเกิดพิษของอาร์เซนิกอนินทรีย์มีสาเหตุมาจากภาวะ oxidative stress ซึ่งมีการสร้างสารอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species: ROS) เพิ่มขึ้นกว่าปกติเมื่อได้รับอาร์เซนิกอนินทรีย์แบบเฉียบพลัน หรือการได้รับไม่เกินค่าปกติหรือสูงกว่าปกติเล็กน้อยติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress แบบเรื้อรังและมีการสร้างสารอนุมูลอิสระติดต่อกันเรื้อรัง โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่างๆ ในร่างกาย เช่น ไขมัน (โดยเฉพาะ low density lipoprotein: LDL) โปรตีน และสารพันธุกรรม (ดีเอ็นเอ) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่เกิดขึ้นหมุนเวียน อย่างไรก็ตามร่างกายมีกลไกในการซ่อมแซมโมเลกุลต่างๆ ที่ได้รับผลกระทบจากภาวะ oxidative stress และบางส่วนของโมเลกุลที่ถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระจะแปรสภาพเป็นสารโมเลกุลขนาดเล็กและจะถูกกำจัดออกจากร่างกาย

แมงกานีสเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการทำงานของร่างกายเพราะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ต่อต้านสารอนุมูลอิสระ แมงกานีสช่วยในการเสริมสร้างพัฒนากระดูกและช่วยรักษาบาดแผล เมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสม แต่การได้รับสะสมเป็น

เวลานานจะเกิดพิษต่อระบบประสาท ทำลายสมอง เนื่องจากสมองเป็นอวัยวะที่ไวต่อแอมกานีสมากที่สุด กลไกการเป็นพิษเกิดผ่านกระบวนการ autooxidation of dopamine การกระตุ้นให้เกิดสารอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นของไมโทคอนเดรีย และการลดการทำงานของ antioxidant enzymes ในเซลล์สมอง กลไกการเกิดพิษดังกล่าวจะทำให้เซลล์สมองถูกทำลาย โดยสารอนุมูลอิสระจากภาวะ oxidative stress มีความผิดปกติของสารสื่อประสาท การวิจัยต่างๆ พบว่า สมองส่วน striatum, globus pallidus และ substantia nigra เป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ซึ่งสมองส่วนดังกล่าวมีหน้าที่สำคัญ คือ กระบวนการรู้คิด (cognitive function) กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ความรู้สึก และการเคลื่อนไหว ดังนั้นเด็กที่ได้รับการปนเปื้อนแอมกานีสสูงกว่าค่าปกติเป็นระยะเวลานาน จึงมีความเสี่ยงต่อการเคลื่อนไหวผิดปกติ การควบคุมพฤติกรรม โรคย้ำคิดย้ำทำและโรคบกพร่องทางการเรียนรู้⁽¹⁶⁾

การตรวจเมแทบอลิต์เพื่อป้องกันภาวะ oxidative stress ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสร้างสารอนุมูลอิสระในปริมาณมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้น จนส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของเซลล์ เช่น เข้าทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีลิพิดเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่และเป็นชีวโมเลกุลที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์ เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายจะทำให้เกิดสารพิษชนิดหนึ่งเรียกว่า malondialdehyde (MDA) ซึ่งหากมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในเลือดจะเป็นดัชนีทางชีวภาพที่บ่งชี้ถึงการมีภาวะ oxidative stress ได้ นอกจากนี้สารอนุมูลอิสระจากภาวะ oxidative stress ยังสามารถทำลายสารพันธุกรรมและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอ (DNA mutation) อีกทั้งจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคร้ายต่างๆ ได้ในอนาคต⁽¹⁷⁾

8-OHdG เป็นเมแทบอลิต์ชนิดหนึ่งที่บ่งชี้เมื่อเกิดภาวะ oxidative stress โดยที่สารอนุมูลอิสระ

เข้าทำลายสายดีเอ็นเอทำให้เกิดกระบวนการ hydroxylation (ปฏิกิริยาการเติมหมู่ -OH เข้าไปในโมเลกุลเป็นผลทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร) ในตำแหน่งที่ 8 ของเบสกวีนีนในสายดีเอ็นเอ ในภาวะปกติร่างกายจะมีกระบวนการซ่อมแซมสายดีเอ็นเอที่ผิดปกติโดยการตัดเบสกวีนีนที่ถูกเติมหมู่ -OH (ซึ่งคือ 8-OHdG) ออกไป หลังจากนั้นร่างกายจะมีกลไกการกำจัดเข้าสู่ระบบเลือดและถูกขับออกสู่ระบบทางเดินปัสสาวะ สิ่งที่ต้องตระหนักคือ oxidative hydroxylation ของเบสกวีนีนในตำแหน่งที่ 8 เป็นตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้ง่ายและเป็นสาเหตุของการกลายพันธุ์ (mutagenesis) และการเกิดโรคมะเร็งชนิดต่างๆ (carcinogenesis)⁽¹⁸⁾

ส่วนการตรวจวิเคราะห์ภาวะการอักเสบของร่างกายในปัจจุบันนิยมใช้ C-reactive protein (CRP) เป็นตัวบ่งชี้เนื่องจากเมื่อเกิดการอักเสบขึ้นในร่างกาย เซลล์ที่ถูกทำลายอย่างผิดปกติ (necrotic cell) จากสารภายในร่างกาย เช่น อนุมูลอิสระที่เพิ่มสูงผิดปกติ หรือสารภายนอกในร่างกาย เช่น โลหะหนัก สารพิษ คิวโนนพิษ หรือถูกแรงกระทำที่รุนแรง เช่น ตี กระแทก จะทำให้เซลล์ถูกทำลาย มีการฉีกขาด และปล่อยสารเหนียวนำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวและเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายมารวมอยู่ในตำแหน่งที่มีการอักเสบ เซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันจะหลั่งสารไซโตไคนส์ เช่น interleukin-1beta (IL-1β) interleukin-6 (IL-6) และ tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือเก็บกินเซลล์ที่ถูกทำลาย กลไกการตอบสนองนี้จะส่งผลให้เกิดอาการบวม น้ำหรือมีอาการไข้จากการอักเสบ ที่สำคัญไซโตไคนส์ต่างๆ จะไปกระตุ้นการสร้าง CRP จากตับ โดยพบว่าระดับของ CRP จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 6 - 10 ชั่วโมงและเพิ่มสูงสุดใน 24 - 72 ชั่วโมงก่อนลดลงสู่ภาวะปกติในเวลา 1 สัปดาห์ (ค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของ CRP คือ 18 ชั่วโมง) และจะมีค่า

เพิ่มสูงขึ้นอีกเมื่อมีเซลล์ถูกทำลายผิดปกติหรือมีการอักเสบเกิดขึ้น⁽¹⁹⁾

ผลการตรวจระดับ 8-OHdG ในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ 28 คน พบจำนวนเด็กที่มีค่าสูงกว่าปกติร้อยละ 57.14 หรือคิดเป็นครึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่า 8-OHdG กับอาร์เซนิกอนินทรีย์ หรือแมงกานีส และเมื่อวิเคราะห์ระดับ 8-OHdG ในเด็กทั้ง 28 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ 2.84 ± 0.8 นาโนโมลต่อมิลลิโมลครีเอตินีนซึ่งสูงกว่าค่าปกติเพียงเล็กน้อย (Table 5) อีกทั้งผลตรวจการทำงานของไตและตับไม่พบความผิดปกติที่ชัดเจนทางคลินิก (Table 4) ถึงแม้ว่าการวิจัยจะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการปนเปื้อนของโลหะหนักกับภาวะ oxidative stress แต่การที่เด็กบกพร่องทางการเรียนรู้มีระดับ 8-OHdG สูงกว่าค่าปกติในจำนวนสูงถึงร้อยละ 57.14 จึงเป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวังและควรติดตามผลที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพในอนาคต ผลการศึกษานี้คาดการณ์ได้ว่า เด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ซึ่งพักอาศัยอยู่ใกล้พื้นที่อุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่หุขุดการดำเนินงานชั่วคราวมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ oxidative stress และอาจส่งผลต่อสุขภาพในระยะสั้นและระยะยาว

ผลการตรวจ CRP ในเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ 28 คน พบจำนวนเด็กที่มีระดับ CRP สูงกว่าค่าปกติร้อยละ 10.71 หรือคิดเป็นหนึ่งในแปดของกลุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่า CRP กับระดับอาร์เซนิกอนินทรีย์ หรือแมงกานีส และเมื่อวิเคราะห์ระดับ CRP ในเด็กทั้ง 28 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ 1.65 ± 2.03 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งอยู่ในค่าปกติ (Table 5) ถึงแม้การวิจัยจะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการปนเปื้อนโลหะหนักกับภาวะการอักเสบ แต่การที่เด็กบกพร่องทางการเรียนรู้มีระดับ CRP สูงกว่าค่าปกติ

จำนวนร้อยละ 10.71 เป็นสิ่งที่ควรเฝ้าระวังและควรติดตามผลที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพเช่นเดียวกัน

จากข้อมูลทางวิชาการที่ได้กล่าวมาและผลการศึกษาครั้งนี้แสดงว่าการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในระยะเฉียบพลันและในระยะยาวจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายจะสามารถเข้าไปสะสมตามอวัยวะและชักนำให้เกิดพยาธิสภาพต่างๆ ได้ โดยเฉพาะการกระตุ้นให้เกิดภาวะ oxidative stress ภายในเซลล์ของอวัยวะนั้นๆ ในภาวะ oxidative stress จะมีการสร้างสารอนุมูลอิสระในปริมาณที่ไม่สมดุลกับสารต้านอนุมูลอิสระ โดยระดับอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นจะทำลายโมเลกุลสำคัญ เช่น ไขมัน โปรตีน หรือสารพันธุกรรม และถ้ากลไกดังกล่าวเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดภาวะการอักเสบ และส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับปอดของอวัยวะต่างๆ จากการมีโลหะหนักเข้าไปสะสม ซึ่งสมองเป็นอวัยวะที่มีความเสี่ยงมากที่สุด และข้อมูลทางวิชาการพบว่า ต่อมไธสมองซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนต่างๆ สำหรับควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย การเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ การสร้างฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต ควบคุมการทำงานของต่อมไทรอยด์และกระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์เป็นตำแหน่งที่พบการสะสมของโลหะหนักมากที่สุด⁽²⁰⁾

นอกจากนี้ การวิจัยพบข้อมูลจากการทำกิจกรรมกลุ่มและการสัมภาษณ์จากคณะครูและครอบครัวของเด็กกลุ่มตัวอย่าง โดยข้อมูลจากโรงเรียนพบว่าเด็กนักเรียนที่พบปัจจัยเสี่ยงในการเรียน เช่น อ่านหนังสือไม่คล่อง อ่านไม่ออก สะกดคำไม่ได้ เขียนหนังสือผิดๆ ถูกๆ หรือคิดคำนวณตัวเลขไม่ได้ มีความสัมพันธ์กับภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการเรียนถือเป็นทักษะพื้นฐานของการดำเนินชีวิต หากไม่ได้รับความช่วยเหลือที่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อตัวเด็กทั้งด้านการเรียน อารมณ์ และการเข้าสังคม โดยจะพบว่า

การเริ่มต้นสิ่งแวดล้อมใหม่ๆ ทางการเรียนรู้ทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งอาจต้องออกจากโรงเรียนและเข้าไปเสี่ยงกับกิจกรรมและพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม เช่น ติดเกม ติดสารเสพติด หนีเรียน ก้าวร้าว และไม่ดูแลสุขภาพอนามัยตนเอง โดยปัจจัยเหล่านี้ โดยเฉพาะการไม่ดูแลสุขภาพอนามัยตนเองอาจส่งผลต่อการปนเปื้อนสารโลหะหนักในกลุ่มเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้

จากข้อมูลครอบครัวพบว่า อาชีพของผู้ปกครองมีความสัมพันธ์กับภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยส่วนใหญ่ผู้ปกครองประกอบอาชีพรับจ้างชั่วคราว ร้อยละ 47.2 รองลงมาคืออาชีพรับจ้างประจำ ร้อยละ 32.6 และอาชีพอื่นๆ ร้อยละ 20.2 ข้อมูลด้านอาชีพของผู้ปกครองสะท้อนถึงความมั่นคงทางรายได้ของครอบครัวต่อเดือน โดยพบว่าผู้ปกครองในกลุ่มเด็กนักเรียนที่ไม่มีภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ จะมีรายได้ครัวเรือนเฉลี่ยมากกว่า 10,000 บาทต่อเดือน ในขณะที่ผู้ปกครองของกลุ่มเด็กภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้จะมีรายได้ต่ำกว่า 10,000 บาทต่อเดือน

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าอาชีพของผู้ปกครองมีส่วนสำคัญต่อองค์ประกอบทางเศรษฐกิจของครอบครัว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้และการปนเปื้อนสารเคมีหรือโลหะหนักในเด็กในพื้นที่เสี่ยงได้ อาชีพของผู้ปกครองเป็นเศรษฐกิจที่สำคัญของครอบครัว ซึ่งจากการศึกษาของ สมถักษ์ และคณะ (พ.ศ. 2558) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูแลเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ ได้แก่ อายุ เพศ การศึกษา ความสัมพันธ์กับผู้ดูแล ฐานะทางเศรษฐกิจ (อาชีพ) และวัฒนธรรม โดยผู้ดูแลเด็กหรือผู้ปกครองจะมีความเสี่ยงต่อผลกระทบด้านอารมณ์ คือ มีความเครียดสูง รู้สึกกดดัน ขัดแย้งกับตนเองและสมาชิกในครอบครัว มีความเสี่ยงต่อผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม คือ ภาระค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลที่เพิ่มมากขึ้น

บางครั้งผู้ดูแลหรือผู้ปกครองต้องขาดรายได้ เพราะต้องมาดูแลลูกที่ป่วย ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจส่งผลให้การเลี้ยงดูเด็กภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เด็กจึงมีความเสี่ยงต่อการพัฒนาการที่ไม่สมวัยและมีสุขอนามัยที่ไม่สมบูรณ์⁽²¹⁾

ดังนั้น การเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่เสี่ยงอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในกลุ่มเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้และการตรวจทางสุขภาพเชิงลึกเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ เพราะเด็กกลุ่มนี้เปราะบางและอาจเกิดพยาธิสภาพจากการเจ็บป่วยได้สูง นั่นเป็นเพราะเด็กกลุ่มนี้มีความความบกพร่องในการรับรู้ข้อมูลและการนำข้อมูลไปใช้ในด้าน การฟัง พูด อ่าน เขียน และคำนวณ (ไม่ใช่ความบกพร่องทางสติปัญญา) ดังนั้น ความสามารถในการเข้าใจรับรู้การป้องกันตนเองจากสิ่งแวดล้อมจะต่ำกว่าเด็กปกติ หรือมีโอกาสได้รับความเสี่ยงจากสิ่งอันตราย เช่น สารเคมี โลหะหนักค่อนข้างสูง ดังนั้นการให้การช่วยเหลือด้านสาธารณสุข การศึกษา การสร้างความเข้าใจกับครอบครัวในพื้นที่เสี่ยงอุตสาหกรรม จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้เด็กกลุ่มนี้มีสุขภาพที่ดีและดำเนินชีวิตได้ด้วยตนเอง

สรุป

โครงการวิจัยแสดงข้อมูลการปนเปื้อนโลหะหนัก อาร์เซนิกอนินทรีย์และแมงกานีส สูงกว่าค่าปกติในกลุ่มเด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ในพื้นที่เสี่ยงอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่หยุดการดำเนินงานชั่วคราว ผลการตรวจสุขภาพเชิงลึกพบตัวชี้วัดทางห้องปฏิบัติการที่บ่งชี้ถึงภาวะ oxidative stress และภาวะการอักเสบ ได้แก่ 8-OHdG และ CRP สูงกว่าค่าปกติเช่นกัน ดังนั้นการเฝ้าระวังและติดตามผลการตรวจสุขภาพทางห้องปฏิบัติการจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สาธารณสุข การศึกษา และสิ่งแวดล้อม

จะช่วยระวังป้องกันผลกระทบทางสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นกับเด็กปกติหรือกลุ่มเด็กเปราะบาง เช่น เด็กบกพร่องทางการเรียนรู้ ที่อาศัยอยู่ใกล้กับพื้นที่เสี่ยงทางอุตสาหกรรม

การวิจัยครั้งนี้พบข้อมูลสำคัญทางครอบครัว โดยพบว่าอาชีพผู้ปกครองมีส่วนสำคัญต่อเศรษฐกิจของครอบครัว และอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะบกพร่องทางการเรียนรู้ในเด็กและเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารเคมีหรือโลหะหนักในพื้นที่ได้ การเข้าไปสร้างงาน ช่วยเหลือหรือเยียวยาในด้านการประกอบอาชีพของประชากรในพื้นที่อุตสาหกรรมเสี่ยงจากภาครัฐและเอกชนในระหว่างอุตสาหกรรมหยุดชั่วคราว จะเป็นการช่วยเหลือด้านรายได้ของครอบครัวในพื้นที่ได้อีกทางหนึ่ง

ดังนั้นการจัดการและลดปัจจัยเสี่ยงด้านการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมต่างๆ จากการทำอุตสาหกรรมที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะการจัดทำแนวทางหรือคู่มือการเฝ้าระวังสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในพื้นที่เสี่ยงอุตสาหกรรมให้กับประชาชน ได้มีความรู้ และสามารถนำมาใช้ในการดำเนินการเฝ้าระวัง เตือนภัย และสื่อสารสาธารณะ ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาในพื้นที่ จะสามารถช่วยจัดการและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพในพื้นที่เสี่ยงได้อีกทางหนึ่งและสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์อนามัยและสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (พ.ศ. 2560-2564) กระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยขอขอบพระคุณผู้มีอุปการะทุกท่าน ได้แก่ ผู้ปกครอง คณะครูโรงเรียนวิจัยนาร่องทั้ง 6 โรงเรียน และหน่วยงานราชการและเอกชนในจังหวัดพิจิตร พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ จึงเป็นผล

ให้โครงการวิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามเป้าประสงค์ และท้ายสุดโครงการวิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง

1. Chen P, Culbreth M, Aschner M. Exposure, epidemiology, and mechanism of the environmental toxicant manganese. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016, 23: 13802-10.
2. Changul C, Sutthirat C, Padmanahban G, Tongcumpou C. Chemical characteristics and acid drainage assessment of mine tailings from Akara Gold mine in Thailand. *Environ Earth Sci* 2010, 60: 1583-95.
3. Adriano DC, Wenzel WW, Vangronsveld J, Bolan NS. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma* 2004, 122: 121-42.
4. Bureau of Epidemiology, Ministry of Public Health (Thailand). Annual Epidemiological Surveillance Report 2010 ISSN 0857-6521.
5. Williams M, Todd GD, Roney N, *et al.* Toxicological Profile [monograph on the Internet]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); 2009 [cited 2021 Jul 14]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153665/>
6. Hines R, Sargent D, Autrup H, *et al.* Approaches for Assessing Risks to Sensitive Populations: Lessons Learned from Evaluating Risks in the Pediatric Population. *Toxicol Sci* 2010; 113: 4-26.

7. Hwang YH, Bornschein RL, Grote J, Menrath W, Roda S. Environmental arsenic exposure of children around a former copper smelter site. *Env Res* 1997; 72: 72-81.
8. Bellinger DC, Adams H. Environmental pollutant exposures and children's cognitive development. In: Sternberg RJ, Grigorenko EL, editors. *Environmental effects on cognitive abilities*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates 2001: 157-88.
9. Calderon J, Navarro ME, Jimenez-Capdeville ME, *et al*. Exposure to arsenic and lead and neuropsychological development in Mexican children. *Environ Res* 2001, 85: 69-76.
10. Tsai SY, Chou HY, The HW, Chen CM, Chen CJ. The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the neurobehavioral development in adolescence. *Neurotoxicology* 2003, 24: 747-53.
11. Claudia Escudero-Lourdes. Toxicity mechanisms of arsenic that are shared with neurodegenerative diseases and cognitive impairment: Role of oxidative stress and inflammatory responses. *Neurotoxicology* 2016, 53: 223-35.
12. Child Safety Promotion and Injury Prevention Research Center, Department of Pediatric, Ramathibodi Hospital. Summary of health assessment results of children living in communities around the gold mines of Phetchabun, Phitsanulok and Phichit provinces. Mahidol University, Thailand 2009. (In Thai)
13. Hsri.or.th [homepage on the Internet]. Health System Research Institute (HSRI); 2020-01-20 [cited 2021 Jul 21]. Available from: <https://kb.hsri.or.th/dspace/handle/11228/5316?locale-attribute=th>
14. Christina R. Tyler, Andrea M. Allan. The Effects of Arsenic Exposure on Neurological and Cognitive Dysfunction in Human and Rodent Studies: A Review. *Curr Envir Health Rpt* 2014; 1: 132-47.
15. Vahter M. Effects of arsenic on maternal and fetal health. *Annu Rev Nutr* 2009; 29: 381-99.
16. Silvia Zoni, Roberto G Lucchini. Manganese exposure: cognitive, motor and behavioral effects on children: a review of recent findings. *Curr Opin Pediatr* 2013; 25: 255-60.
17. Kuyfénhoefen JP, Brownlee M, Malaise WJ. Oxidative stress and diabetes mellitus Pathogenesis of long-term complications. *Eur J Intern Med* 1999; 10: 9-19.
18. Valavanidis A, Vlachogianni T, Fiotakis C. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG): A critical biomarker of oxidative stress and carcinogenesis. *J Environ Sci Health* 2009; 27: 120-39.
19. Nicola R. Sproston, Jason J. Ashworth. Role of C-Reactive Protein at Sites of inflammation and infection. *Front Immunol* 2018; 9: 754.
20. Monisha J, Tenzin T, Naresh A, Blessy M, Krishnamurthy B. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol* 2014; 7: 60-72.
21. Somluk K, Manyat R, Panida S. The effect of a holistic health care program on the caring behaviors of caregivers of children with learning disability. *J Psychiatr Nur Ment Health* 2018; 32: 1-12. (In Thai)