กรมควบคุมโรค
Department of Disease Control

การศึกษาดัชนีชีวภาพ (แมงกานีส สารหนู ไทโอไซยาเนต) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำ เพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย

นางสาวณราวดี ชินราช (90 %)

นายประหยัด เคนโยธา (5 %)

นางสาวญาณิศา ศรีใส (5 %)

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนางานวิชาการและเป็นลิขสิทธิ์ของ

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

การศึกษาดัชนีชีวภาพ (แมงกานีส สารหนู ไทโอไซยาเนต) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำ เพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารฉบับนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ :

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข
อาคาร 10-11 ชั้น 2 ที่ตั้งเลขที่ 88/21 ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง
จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11000
โทร 02 590 3866 โทรสาร 02 590 3866

ผู้วิจัย : ณราวดี ชินราช ประหยัด เคนโยธา และญาณิศา ศรีใส

ปีงบประมาณ : พ.ศ. 2560

คำนำ

การศึกษาดัชนีชีวภาพ (แมงกานีส สารหนู และไทโอไซยาเนต) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำเพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาที่นำข้อมูลผลการดำเนินงานเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนที่อาศัยในพื้นที่โดยรอบเหมืองแร่ทองคำเขตรอยต่อ 3 จังหวัดได้แก่จังหวัดพิจิตร จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งดำเนินการในปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 และรายงานการศึกษาฯ เล่มนี้ประกอบด้วยที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กรอบแนวคิด วิธีดำเนินการวิจัยหรือระเบียบวิธีวิจัย ผลการศึกษาวิจัย และการสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลรายงานการศึกษาฉบับนี้คณะผู้ทำการศึกษาหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการวางแผนงานและพัฒนาแนวทางการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในเหตุการณ์ลักษณะเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การค้นพบที่สำคัญจากการศึกษานี้จะนำไปสู่การศึกษาถึงสาเหตุของปัญหาเพื่อนำไปสู่มาตรการในการป้องกันและแก้ไขในอนาคต

รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้สำเร็จได้ก็ด้วยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยคณะผู้วิจัยคาดหวังว่ารายงานการฉบับนี้จะเอื้อประโยชน์ต่อหน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้หรือในผู้ที่สนใจในข้อมูลผลการศึกษาวิจัยฉบับนี้ ทั้งนี้ หากข้อมูลรายงานการศึกษาวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใด คณะผู้วิจัยยินดีน้อมรับข้อเสนอแนะจากท่านผู้รู้/ผู้เชี่ยวชาญเพื่อการปรับปรุงในการทำงานและการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไปและขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย

มกราคม พ.ศ.2565

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษาดัชนีชีวภาพ (แมงกานีส สารหนู และไทโอไซยาเนต) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำเพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความร่วมมือของทีมผู้วิจัยโดยเจ้าหน้าที่ทุกท่านในงานเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่ได้ร่วมให้กำลังใจและช่วยเหลือดำเนินงานในส่วนที่เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้ ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยความร่วมมือจากหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญในการให้ข้อเสนอแนะและเป็นที่ปรึกษาร่วมดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ดังนี้

- บุคลากรงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก และสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 3 จังหวัดนครสวรรค์

- บุคลากรและเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ โรงพยาบาลทุกระดับในพื้นที่จังหวัดพิจิตร จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดพิษณุโลก

- บุคลากรและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโดยศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

และทีมแพทย์จากโรงพยาบาลนพรัตนราชธานี กรมการแพทย์ รวมถึงผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานท่านอื่น ๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้ระบุนามไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย

มกราคม พ.ศ.2565

การศึกษาดัชนีชีวภาพ (แมงกานีส สารหนู และไทโอไซยาเนต) ในประชาชนพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำเพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560). ณราวดี ชินราช ประหยัด เคนโยธา และญาณิศา ศรีใส กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

บทคัดย่อ

จากกรณีที่ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำในพื้นที่รอยต่อสามจังหวัดคือพิจิตร พิษณุโลกและเพชรบูรณ์ มีความกังวลในประเด็นผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดจากการสัมผัสโลหะหนักและไซยาไนด์ จากการประกอบกิจการเหมืองแร่ดังกล่าว จึงต้องการให้มีการเฝ้าระวังการสัมผัสด้วยการตรวจค่าดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้แก่ ตรวจหาสารหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะและแมงกานีสในเลือด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับของสารหนู ไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ และปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้อง โดยทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุในช่วง 2 - 88 ปี จำนวน 1,176 ราย ระหว่างวันที่ 16 – 30 สิงหาคม พ.ศ. 2560 พร้อมทั้งสัมภาษณ์ข้อมูลปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้องด้วยแบบสอบถามวิเคราะห์ปริมาณสารหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะด้วยวิธี ICP-MS และ UV-Vis Spectrometry และแมงกานีสในเลือดด้วยวิธี GFAAS ผลการศึกษาพบว่า ระดับของสาหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในพื้นที่ศึกษาสูงกว่าค่าอ้างอิง ค่าเฉลี่ยของสารหนูในประชาชนที่มีอายุเท่ากับหรือต่ำกว่า 20 ปีมีค่าสูงกว่าในประชาชนที่มีอายุมากกว่า 20 ปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (59.87 และ 49.87 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน, p< 0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างในเพศชายและเพศหญิง (51.06 และ 51.29 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) ในผู้ที่สูบบุหรี่และในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ (49.53 และ 52.66 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) และในผู้ที่รับประทานและไม่รับประทานอาหารทะเล (52.61 และ 49.10 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) ค่าเฉลี่ยไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเพศชายและเพศหญิง (12.62 และ 13.38 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) ในผู้ที่มีอายุน้อยกว่าเท่ากับ 20 ปีและผู้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปี (12.74 และ 13.15 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) และในผู้ที่รับประทานและไม่รับประทานอาหารที่อาจมีไซยาไนด์ (12.82 และ 13.43 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่และในผู้ที่สูบบุหรี่ (14.74 และ11.22 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน, p<0.05) ค่าเฉลี่ยของแมงกานีสในเลือดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในเพศหญิงมีค่าสูงกว่าในเพศชาย (8.81 และ 8.10 ไมโครกรัมต่อลิตร, p<0.05) ในผู้ที่มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปีสูงกว่าผู้ที่มีอายุมากกว่า20 ปี (10.84 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 8.08 ไมโครกรัมต่อลิตร, p<0.05) และในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่สูงกว่าผู้ไม่สูบบุหรี่ (8.78 และ 8.23 ไมโครกรัมต่อลิตร, p<0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผู้ที่ดื่มนมวัวและผู้ที่ไม่ดื่มนมวัว (8.72 และ 8.36 ไมโครกรัมต่อลิตร)

สรุปและอภิปรายผล :การค้นพบที่สำคัญในการศึกษานี้คือระดับไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่มีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงมาก ซึ่งสมารถคาดการณ์ในเบื้องต้นได้ว่าเส้นทางการสัมผัสเกิดจากมลพิษทางอากาศโดยพิจารณาจากผลการศึกษาที่พบว่าระดับไทโอไซยาเนตในผู้ที่รับประทานและไม่รับทานอาหารที่อาจมีไซยาไนด์ไม่มีความแตกต่างกันรวมทั้งในน้ำประปาที่ประชาชนใช้ในการอุปโภคบริโภคพบว่าไม่มีการปนเปื้อนไซยาไนด์ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ชัดเจนถึงสาเหตุของการสัมผัสไซยาไนด์จากมลพิษทางอากาศที่แน่นอนเพราะสิ่งนี้อาจเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขในคนไทยทีมีพื้นฐานและลักษณะวิถีชีวิตแบบเดียวกันด้วย

คำสำคัญ : ดัชนีชีวภาพ // เหมืองทองคำ // ความสัมพันธ์ // ปัจจัย

Biomonitoring of arsenic, thiocyanate and manganese in urine and blood of people living near potential gold areas in Thailand (2017) Naravadee Chinnarat, Prayad Kenyota, and Yanisa Srisai**.**
Division of Occupational and Environmental Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health, Thailand

---

Abstract

Background: Since the people in a communities located in the potential gold areas in Thailand are concerned over their health effects of exposure to heavy metals and cyanide and they want the Ministry of Public Health to conduct regularly health surveillance.
Objective: To determine the levels of arsenic and thiocyanate in urine and manganese in blood of people living near potential gold areas.
Method: A biomonitoring study was conducted between 16-31 August,2017 to assess the exposure of 3 chemicals in urine and blood from a representative sample of people aged 2 - 88 years (n= 1,176) in the northern region, Thailand. Arsenic and thiocyanate were measured in urine, manganese was measured in blood using ICP-MS, UV-Vis Spectrometry and GFAAS method.
Results: Urinary arsenic and thiocyanate level were higher than the reference value. The mean concentration of arsenic was significantly high in people under 20 years old than those older than 20 years (59.87 vs. 49.87 µg/g creatinine, $p< 0.01$), but, no a significant difference between male and female (51.06 vs. 51.29 µg/g creatinine $p= 0.918$), between smoker and non-smoker (49.53 vs.52.66 µg/g creatinine $p= 0.154$) and those who eat seafood than those who did not eat seafood (52.61 vs. 49.10 µg/g creatinine, $p=0.119$). Thiocyanate level in urine revealed no a sig different between male and female (12.62 vs. 13.38 µg/g creatinine $p=0.286$), people under 20 years old and older than 20 years (12.74 vs. 13.15 µg/g creatinine $p=0.613$), and those who eat and did not eat food containing cyanide (12.82 vs. 13.43 µg/g creatinine $p= 0.381$) but significantly different between non-smoker and smoker (14.74 vs.11.22 µg/g creatinine $p=0.000$). The mean concentration of blood manganese was significantly higher in female than in male (8.81 vs. 8.10 µg/l, $p<0.01$), people under 20 years old than those more than 20 years (10.84 µg/L vs. 8.08 µg/l, $p<0.01$) and, in non-smokers than smokers (8.78 vs. 8.23 µg/L, $p<0.05$) but no a significant difference between cow's milk drink and did not drink (8.72 vs. 8.36 µg/L $p=0.230$)
Conclusion: The important finding of this study is the urinary thiocyanate in non-smokers were extremely high comparing to reference values. Which can initial estimate that the main route of exposure was air pollution. This conclusion base on the result of this study which indicated that the people who eat and did not eat food containing cyanide have no significance different level of urinary thiocyanate as well as the cyanide level in tap water in the study area was no detected. Therefore, further studies should be done to understand the certain source of air pollution.

Keywords: Potential gold areas, Arsenic, Thiocyanate, Manganese

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 สถานการณ์แหล่งแร่ทองคำ	6
2.2 กระบวนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ	7
2.3 คุณสมบัติและพิษวิทยาของสารหนู	15
2.4 คุณสมบัติและพิษวิทยาของไซยาไนด์	18
2.5 คุณสมบัติและพิษวิทยาของแมงกานีสและปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือด	20
2.6 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย	23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย	
3.1 รูปแบบการศึกษาวิจัย	24
3.2 กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาวิจัย	25
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	25
3.4 การตรวจสอบเครื่องมือ	25
3.5 ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	25
3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางห้องปฏิบัติการ	26

เนื้อหา	หน้า
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	26
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1.คุณลักษณะประชากร	27
4.2. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของสารหนูในปัสสาวะ	28
4.3. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ	30
4.4. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือด	31
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	33
5.2 การอภิปรายผล	33
5.3.ข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์	34
5.4.ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป	34
บรรณานุกรม	35

สารบัญตาราง

เนื้อหา	หน้า
ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต	9
ตารางที่ 2 ข้อมูลการวิเคราะห์สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ	11
ตารางที่ 3 คุณลักษณะประชากร	27
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของสารหนูในปัสสาวะแยกตามเพศ อายุ และปัจจัยการสัมผัส	29
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะแยกตามเพศ อายุ และปัจจัยการสัมผัส	30
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือดแยกตามเพศ อายุ และปัจจัยการสัมผัส	31

สารบัญรูปภาพ

เนื้อหา	หน้า
รูปที่ 1 พื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ทองคำประเทศไทย	7
รูปที่ 2 แสดงแผนผังขั้นตอนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ	9
รูปที่ 3 แสดงพื้นที่การเก็บข้อมูล	24

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำรอยต่อ 3 จังหวัด (พิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลก) ที่มีการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ โดยเปิดกิจการตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 ครอบคลุมพื้นที่รอยต่อ 3 จังหวัด (พิจิตร เพชรบูรณ์ และพิษณุโลก) จำนวน 3 อำเภอ 4 ตำบล 24 หมู่บ้าน และในเวลาต่อมาได้มีการปิดกิจการตามคำสั่งคณะรักษาความสงบแห่งชาติ (คสช.) ที่ 72/2559 ลงวันที่ 13 ธันวาคม 2559 โดยมีประชาชนอาศัยในพื้นที่ดังกล่าวประมาณ 8,449 คน (กระทรวงสาธารณสุข, 2558) ซึ่งในปี พ.ศ.2557 จากที่มีหน่วยงานแห่งหนึ่งได้เข้าดำเนินการตรวจวัดระดับดัชนีชีวภาพในประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว พร้อมได้จัดให้มีการคืนข้อมูลหรือแจ้งผลการตรวจวัดระดับดัชนีชีวภาพแก่ประชาชนและสื่อมวลชนทราบ โดยข้อมูลระดับดัชนีชีวภาพที่หน่วยงานดังกล่าวแจ้งข้อมูลแก่ประชาชนทราบนั้นพบว่าระดับดัชนีชีวภาพที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ สารหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะแมงกานีสในเลือดเลือดเกินค่าอ้างอิง และหน่วยงานดังกล่าวพร้อมด้วยประชาชนในพื้นที่ได้เรียกร้องให้กระทรวงสาธารณสุขต้องดำเนินการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง

การสัมผัสสารหนู แมงกานีสและไซยาไนด์ อาจมาจากหลากหลายสาเหตุในชีวิตประจำวัน โดยสารหนูเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกและพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมในอากาศ น้ำ ดิน และมีความเป็นพิษสูงเมื่ออยู่ในรูปสารหนูอนินทรีย์ (WHO, 2018) จากการสำรวจข้อมูลปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด ในดินพื้นที่เกษตรกรรมทั่วประเทศโดยศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักมีการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรมทั่วประเทศไทย พบปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง < 0.001 - 46.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และได้กำหนดค่าพื้นฐานในดินเกษตรกรรมของสารหนูเท่ากับ 26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน) นอกจากนี้กิจกรรมบางอย่างเช่นการทำเหมืองแร่จะไปรบกวนทำให้สารหนูมีการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมมากขึ้นดังเช่นกรณีการปนเปื้อนสารหนูที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นสาเหตุให้มีการป่วยมะเร็งผิวหนังหรือไข้ดำในปี 2530 จากการสัมผัสสารหนูที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหาร (นิภา มหารัชพงศ์, 2543) การทำเหมืองแร่ดีบุกในพื้นที่ดังกล่าวทำให้สารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสูงมากโดยพบว่าค่าเฉลี่ยของการปนเปื้อนในดินสูงถึง 5,253 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยของสารหนูในตัวอย่างตะกอนดิน 2,168 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยสารหนูในน้ำเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร (อารี สุวรรณมณี , 2534) สถานการณ์การปนเปื้อนสารหนูในดินในพื้นที่ประกอบกิจการเหมือแร่ทองคำในพื้นที่ศึกษานี้พบปริมาณสารหนูในดินบริเวณพื้นที่ทำเหมืองและบ่อกักเก็บกากแร่เท่ากับ 204.9 - 387.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม บริเวณกองหินทิ้งเท่ากับ 35.7 - 99.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมและพื้นที่รอบเหมืองเท่ากับ 4.01 – 12.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณสารหนูในน้ำผิวดินพบ

< 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร สารหนูในน้ำประปาพบ < 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร (ณราวดี ชินราช, 2558) สารหนูจะมีการสะสมในพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวจะมีการดูดซึมสารหนูได้ดีกว่าพืชชนิดอื่นๆ ประเทศญี่ปุ่นจึงกำหนดมาตรฐานสารหนูในดินเพื่อการปลูกข้าวไม่เกิน 15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่พืชชนิดอื่นกำหนดไม่เกิน 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Teaf et al., 2010) นอกจากนี้สารหนูในข้าวส่วนใหญ่เป็นสารหนูชนิดอนินทรีย์และพบปริมาณสารหนูในข้าวกล้องสูงกว่าในข้าวขัดขาว (Lombi et al., 2009) IARC จัดให้สารหนูและสารประกอบของสารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group 1) IARC-1987. (IARC., 1987) การสัมผัสสารหนูในรูปสารหนูอนินทรีย์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงเกิดจากการดื่มน้ำที่ปนเปื้อนสารหนู ส่วนการสัมผัสสารหนูอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษต่ำส่วนใหญ่เกิดจากการรับประทานอาหารทะเล (ATSDR, 2015) การสัมผัสสารหนูอนินทรีย์ในระดับต่ำอย่างต่อเนื่องในเด็กอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระดับเชาวน์ปัญญา (IQ) (WHO, 2018) การสัมผัสสารหนูในปริมาณที่เกิน 3×10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัมต่อวันจะส่งผลให้กระทบต่อหัวใจโดยอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนของหลอดเลือดและส่งผลต่อผิวหนังคือเกิดรอยดำและเคราติน (US. EPA, 2010) ส่วนแมงกานีสโดยธรรมชาติเป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและเราสัมผัสแมงกานีสได้ทั้งจากที่อยู่ในธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ แมงกานีสซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติในดินอยู่ในช่วง 40 - 900 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ความเข้มข้นของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 330 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ATSDR, 2014) สำหรับน้ำดื่มจะมีแมงกานีสอยู่ประมาณ 5 ถึง 25 ไมโครกรัม/ลิตร (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) คนทั่วไปสัมผัสแมงกานีสจากการบริโภคอาหารและน้ำ การหายใจ ทางผิวหนังจากแมงกานีสที่อยู่ในอากาศ น้ำ และดิน ซึ่งเส้นทางการสัมผัสหลักคือจากการบริโภคอาหาร (ATSDT, 2012) ในอาหารโดยทั่วไปจะมีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบเช่นในธัญพืช หอยลาย หอยนางรม หอยแมลงภู่ ถั่วต่างๆ ข้าว ผักกินใบ กาแฟ ชา เครื่องเทศต่างๆ เช่นพริกไทย (U.S. Department of Health & Human Services, 2021) ในนมวัวพบปริมาณแมงกานีสสูงกว่าในนมแม่ ผลการศึกษา พบว่าปริมาณแมงกานีสในนมแม่เฉลี่ยเท่ากับ 9.5 นาโนกรัมต่อกรัม นมวัวเท่ากับ 27 นาโนกรัม/กรัม อาหารสูตรสำหรับทารกเท่ากับ 774 นาโนกรัม/กรัม (Gunshin H et al.,1985) ปริมาณแมงกานีสในอาหารสำหรับผู้ใหญ่ประเมินว่าจะอยู่ระหว่าง 0.9 - 10 มิลลิกรัม/วัน โดยการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยและเพียงพอโดยปริมาณที่กำหนดโดยสภาวิจัยแห่งชาติของสหรัฐอเมริกาคือ 2.3 มิลลิกรัม/วันสำหรับผู้ชาย และ 1.8 มิลลิกรัม/วัน สำหรับผู้หญิง (Greger JL,1998) แมงกานีสเป็นปัจจัยร่วมสำหรับเอนไซม์ หลายชนิด เช่น hydrolases, lyases, glutamine synthetase และ superoxide dismutase (SOD) (Wedler FC, 1984) การได้รับแมงกานีสในปริมาณที่มากเกินไปแบบต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลางที่คล้ายกับโรคพาร์กินสัน (Kissani N et al.,2020) สำหรับไซยาไนด์เป็นสารพิษที่อยู่ในควันบุหรี่ สามารถยับยั้งการทำงานของเอ็มไซด์ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ไซยาไนด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไทโอไซยาเนตโดยไมโตคอนเดรีย (Zil-a-Rubab & Rahman MA, 2006) เราอาจสัมผัสไซยาไนด์ได้โดยการหายใจ การดื่มน้ำ สัมผัสดิน หรือน้ำที่มีไซยาไนด์ หรือรับประทานอาหารที่ประกอบด้วย

ไซยาไนด์ เช่นมันสำปะหลัง ถั่วลิม่า และอัลมอนด์ซึ่งตามธรรมชาติมีระดับไซยาไนด์ต่ำถึงปานกลาง แหล่งอื่นๆการสัมผัสของไซยาไนด์ ได้แก่ การหายใจเอาควันเข้าไปในระหว่างที่เกิดเพลิงไหม้ การอาศัยอยู่ใกล้แหล่งของเสียอันตรายและทำงานในสถานประกอบการที่มีกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โลหะกรรม การทำความสะอาดโลหะการฟอกหนัง การถ่ายรูปและการดับเพลิง (ATSDR, 2002) ผลกระทบต่อสุขภาพหากมีการสัมผัส ไฮโดรเจนไซยาไนด์และเกลือไซยาไนด์โดยการรับประทานเข้าไปเกิน 6.3 x 10^{-4} มิลลิกรัม/กิโลกรัมต่อวัน จะเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์คือลดน้ำหนักของท่อพักอสุจิในหนูเพศผู้ หากสัมผัสโดยการหายใจในระดับที่เกิน 8 x 10^{-4} มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร จะส่งผลกระทบต่อมไร้ท่อคือเพิ่มขนาดของต่อมไทรอยด์ทำให้กระทบต่อการดูดซึมไอโอดีน (US.EPA, 2010) ในการศึกษานี้จะศึกษาการสัมผัสสารหนูโดยใช้ระดับสารหนูในปัสสาวะเนื่องจากความเข้มข้นของสารหนูในปัสสาวะเป็นตัวบ่งชี้การได้รับสารหนูในระยะเวลาไม่นานและปัสสาวะเป็นเส้นทางหลักในการขับถ่ายของสารหนู (National Academy of Sciences, 1999) และใช้ไทโอไซยาเนต (SCN) ในปัสสาวะบ่งชี้การสัมผัสไซยาไนด์เนื่องจากไซยาไนด์ซึ่งถูกแปลงเป็นไทโอไซยาเนตโดยกระบวนการซัลเฟอร์ทรานสเฟอร์เรส (sulfur transferase) ที่สามารถเร่งให้เกิดการสร้างไทโอไซยาเนตจากไซยาไนด์ (Buratti M et al., 1997) และจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสัมผัสทั้งสารหนู ไทโอไซยาเนตและ อาจมีสาเหตุมาจากหลายแหล่งโดยสารหนูอาจมาจากการสัมผัสจากสิ่งแวดล้อมรอบตัว รวมทั้งการกินอาหารทะเล แมงกานีสก็เช่นเดียวกันอาจสัมผัสจากทั้งสิ่งแวดล้อมและในอาหารที่มีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบหรือการสัมผัสไซยาไนด์ก็อาจเกิดจากการสัมผัสควันบุหรี่ควันไฟต่างๆ หรืออารหารที่มีไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบระดับดัชนีชีวภาพในพื้นที่ศึกษากับค่าอ้างอิง

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยของการมีระดับดัชนีชีวภาพที่สูง อันจะนำไปสู่การกำหนดมาตรการในการป้องกันแก้ไขต่อไป

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 ระดับดัชนีชี้วัดชีวภาพของประชาชนในพื้นที่ศึกษาอาจมีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิง

1.3.2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับดัชนีชีวภาพ ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคล (เพศ อายุ) ปัจจัยเกี่ยวกับพฤติกรรม (การสูบบุหรี่) ปัจจัยจากการรับประทานและไม่รับประทาน (อาหารทะเล หน่อไม้ดิ่มนมวัว) มีผลทำให้ระดับของสารหนู ไทโอไซยาเนต และแมงกานีส มีระดับที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

กลุ่มเป้าหมายเป็นประชาชนที่อาศัยในพื้นที่รอบเหมืองทองคำในพื้นที่รอยต่อสามจังหวัดคือ พิจิตร พิษณุโลก เพชรบูรณ์ ที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการ ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพื่อวิเคราะห์ระดับสารหนูและไทโอไซยาเนต เก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ระดับแมงกานีส สัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถามประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป เช่น อายุ เพศ ฯลฯ ข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพ เช่น การสูบบุหรี่ การรับประทานอาหารที่อาจมีผลต่อระดับสารหนู ไทโอไซยาเนตและแมงกานีสในเลือด เปรียบเทียบระดับสารในร่างกายกับค่าอ้างอิง พร้อมทั้งเปรียบเทียบระดับสารในร่างกายกับความแตกต่างระหว่างเพศชายและเพศหญิง ผู้ที่มีอายุเท่ากับหรือต่ำกว่า 20 ปีกับผู้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ผู้ที่สูบและผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ ผู้ที่รับประทานและผู้ที่ไม่รับประทานอาหารทะล ผู้ที่รับประทานและไม่รับประทานอาหารที่อาจมีไซยาไนด์ ผู้ที่ดื่มและผู้ที่ไม่ดื่มนมวัว

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อความชัดเจนในการสื่อความหมายให้ข้อความต่อไปนี้ให้หมายความรวมถึงคำจำกัดความดังกล่าว ดังนี้

ดัชนีชีวภาพ หมายถึง ค่าแสดงถึงระดับสารเคมีในร่างกายมนุษย์จากข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการจากตัวอย่างชีวภาพ โดยสารเคมีดังกล่าวเกิดจากการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายในช่องทางต่าง ๆ ทั้งจากการรับประทาน การหายใจ และการซึมผ่านผิวหนัง

ตัวอย่างชีวภาพ หมายถึง ตัวอย่างปัสสาวะและตัวอย่างเลือด ในการศึกษานี้

ประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ หมายถึง การประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำพื้นที่รอยต่อ 3 จังหวัด (พิจิตร เพชรบูรณ์และพิษณุโลก)

พื้นที่ศักยภาพแร่หมายถึง หมายถึงพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งที่ยังไม่มีการค้นพบทรัพยากรแร่ แต่มีแนวโน้มที่จะมีได้ โดยมีหลักฐานบ่งชี้จากข้อมูลทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์ และหมายรวมถึงพื้นที่ที่มีแร่กระจัดกระจายในหินซึ่งมีนัยสำคัญหรือมีบริเวณพบแร่ในส่วนใดส่วนหนึ่งของพื้นที่นั้น

ประชาชนกลุ่มสัมผัส หมายถึง ประชาชนกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยในพื้นที่รอบสถานที่ประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำรอยต่อ 3 จังหวัด (พิจิตร เพชรบูรณ์และพิษณุโลก)

ค่าอ้างอิง หมายถึงระดับสารเคมีที่หน่วยงานหรือองค์กรประกาศให้เป็นค่าอ้างอิง หรือค่าที่เกิดจาการศึกษาวิจัยและมีการแนะนำให้ใช้เป็นระดับสารเคมีในร่างกายมนุษย์ที่อาจยังไม่ก่อหรือยังไม่ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ หรือเป็นระดับสารเคมีที่จะพบในประชาชนส่วนใหญ่ สำหรับนำมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจตัวอย่างชีวภาพในประชาชนกลุ่มตัวอย่างของการศึกษานี้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบระดับการสัมผัสของประชาชนในพื้นที่ว่ามีค่าต่ำหรือสูงกว่าค่าอ้างอิง

1.6.2 ทราบระดับสารเคมีในตัวอย่างชีวภาพและปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับดัชนีชีวภาพของประชาชนในพื้นที่และปัจจัยทีมีผลต่อระดับสารเคมีดังกล่าว

1.6.3 สามารถนำผลการศึกษาไปกำหนดนโยบายในการเฝ้าระวัง ป้องกัน และแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ต่อไป

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

ในการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดัชนีชีวภาพ (สารหนู ไทโอไซยาเนตแมงกานีส) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำเพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 6 หัวข้อ ได้แก่

2.1 สถานการณ์และกิจกรรมเหมืองแร่ทองคำ

2.2 กระบวนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ

2.3 คุณสมบัติและพิษวิทยาของสารหนู

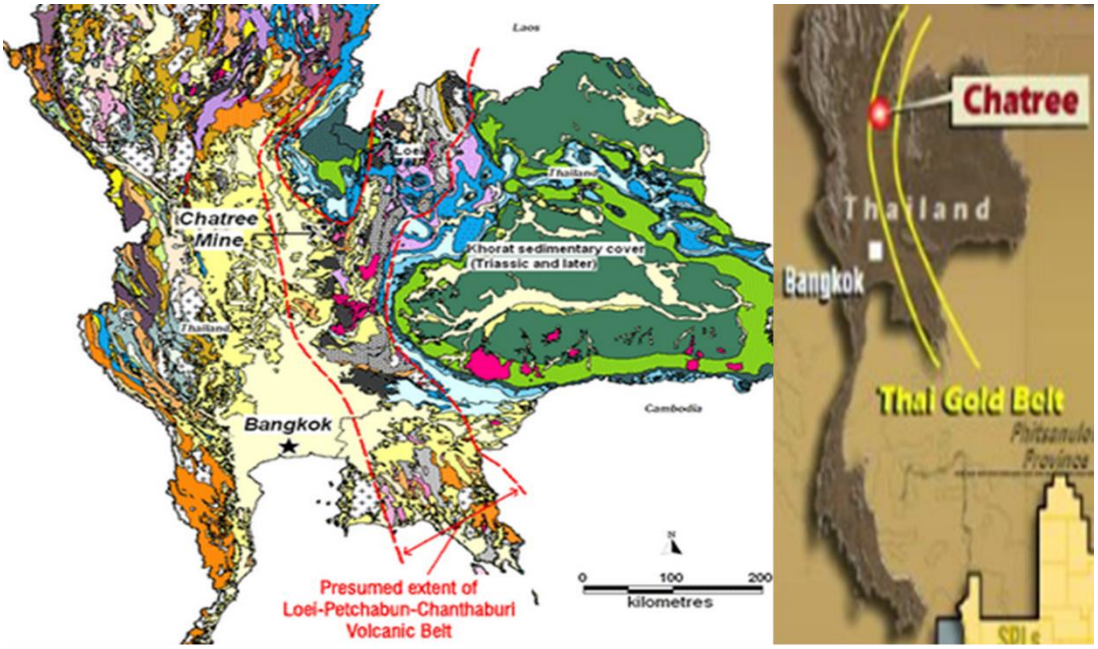
2.4 คุณสมบัติและพิษวิทยาของไซยาไนด์

2.5 คุณสมบัติและพิษวิทยาของแมงกานีสและปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือด

2.6 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

2.1 สถานการณ์แหล่งแร่ทองคำ

แหล่งแร่ทองคำในประเทศไทยสามารถพบได้ทั้งแหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิ (Primary ore) และแหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิ (Secondary ore) แหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิ เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยาทำให้เกิดการสะสมตัวของแร่ทองคำในหินชนิดต่างๆ เช่น หินอัคนี หินชั้น และหินแปร มีทั้งที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า โดยเกิดอยู่ในสายแร่ควอตซ์ แร่ไพไรต์ หรือแร่ซัลไฟต์ ซึ่งสายแร่ควอตซ์ที่มีทองเกิดร่วมด้วยมักจะพบในหินอัคนี แหล่งแร่ทองคำปฐมภูมิในประเทศไทย ได้แก่ แหล่งแร่ทองคำโต๊ะโมะ จังหวัดนราธิวาส แหล่งแร่ทองคำ เขาสามสิบ จังหวัดสระแก้ว แหล่งแร่ทองคำชาตรี จังหวัดพิจิตรและเพชรบูรณ์ แหล่งแร่ทองคำดอยตุง จังหวัดเชียงราย และแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา จังหวัดพิจิตร ส่วนแหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิ เกิดจากการผุพังของหินที่มีแร่ทองคำเป็นส่วนประกอบและถูกพัดพาจากแหล่งต้นกำเนิด ไปสะสมอยู่ตามเชิงเขา ลำห้วย หรือตะกอนในลำน้ำ มีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆ แผ่น หรือเกล็ด (ขนาดเล็ก) แหล่งแร่ทองคำทุติยภูมิ ในประเทศไทย ได้แก่ แหล่งแร่ทองคำป่าน้ำร่อน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แหล่งแร่ทองคำบ้านนาล้อม จังหวัดปราจีนบุรี แหล่งแร่ทองคำบ้านทุ่งฮั้ว จังหวัดลำปาง แหล่งแร่ทองคำดอยตุง จังหวัดเชียงราย และแหล่งแร่ทองคำเขาพนมพา จังหวัดพิจิตร (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558) แหล่งแร่ทองคำที่ถูกสำรวจและพัฒนาจนถึงขั้นเป็นอุตสาหกรรมเหมืองผลิตทองคำแล้ว 2 แหล่ง คือ (1) แหล่งแร่ทองคำชาตรี จังหวัดพิจิตร และ (2) แหล่งแร่ทองคำภูทับฟ้า จังหวัดเลย ซึ่งแหล่งแร่ทองคำชาตรี เป็นแหล่งแร่ ปฐมภูมิ มีแร่ทองเกิดร่วมกับเงิน ในสายแร่ควอตซ์ และคาร์บอเนตในหินภูเขาไฟ สำหรับแหล่งทองคำภูทับฟ้า เป็นแหล่งแร่ปฐมภูมิ โดยมีแร่ทองเกิดร่วมกับแร่เหล็กที่อยู่ในหิน (สสวท, 2555)



รูปที่ 1 พื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ทองคำประเทศไทย

ที่มา : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2558

ในพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำรอยต่อ 3 จังหวัด คือ พิจิตร เพชรบูรณ์และพิษณุโลกเป็นแหล่งแร่ทองคำที่ใหญ่ที่สุดในประเทศที่เรียกว่าแหล่งแร่ชาตรี โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ได้ให้สัมปทานแก่บริษัทเอกชนในแหล่งแร่ชาตรีใต้ จำนวน 5 แปลง ครอบคลุมพื้นที่ 1,400 ไร่ ได้รับประทานบัตรในปี พ.ศ.2543 และหมดอายุในปี พ.ศ.2563 แหล่งแร่ชาตรีเหนือ จำนวน 9 แปลง ครอบคลุมพื้นที่ 2,500 ไร่ ซึ่งเชื่อมต่อพื้นที่จำนวน 3 อำเภอ 4 ตำบล 24 หมู่บ้าน และได้รับประทานบัตรในปี พ.ศ.2551 และหมดอายุในปี พ.ศ.2571 โดยทั่วไปลักษณะทางทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ในพื้นที่ นอกจากทองคำและเงินแล้ว ยังมักจะพบเหล็ก แมงกานีส ไพไรต์ และอาร์ซีโนไพไรต์ (มีธาตุอาร์ซีนิคหรือสารหนูเป็นองค์ประกอบ) เกิดร่วมด้วย จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของบริเวณใกล้เคียงพื้นที่การทำเหมืองของกรมทรัพยากรธรณี ในช่วงปี พ.ศ.2532 - 2537 พบค่าผิดปกติของสารหนู แมงกานีส และเหล็ก ในตะกอนท้องน้ำ รวมถึงพบค่าผิดปกติของสารหนูในตัวอย่างดินและหินอยู่แล้วในพื้นที่ และจากข้อมูลดังกล่าวอาจมีประชาชนที่ได้รับผลกระทบทางสุขภาพ ประมาณ 8,449 คน (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

2.2 กระบวนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ

เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการเหมืองแร่นั้น ควรทำการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้น สำหรับขั้นตอนการทำเหมืองแร่ทองคำประกอบด้วย 2 กิจกรรมหลักคือ (1) การทำเหมือง (2) การแต่งแร่หรือการประกอบโลหกรรม (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558) ดังนี้

(1) การทำเหมือง เป็นกระบวนการเพื่อให้ได้สินแร่ เพื่อป้อนเข้าสู่การประกอบโลหกรรมในลำดับต่อไป ประกอบด้วยกิจกรรม

- งานเจาะรูระเบิด และการระเบิดเพื่อเปิดหน้าเหมือง เพื่อให้ได้ขนาดและปริมาณสินแร่ตามที่ต้องการ มีการใช้วัตถุระเบิดประเภทแอมโมเนียมไนเตรตผสมกับน้ำมันดีเซล หรือใช้วัตถุระเบิดแรงสูง เช่น ไดนาไมต์ เป็นต้น

- การขุดตักและคัดแยกสินแร่และมูลหิน เป็นการขุดตักและคัดแยกตามคุณภาพของสินแร่ โดยแบ่งเป็น 1) การตักสินแร่ทองคำรวมกับสินโลหะมีค่าชนิดอื่น 2) การตักสินแร่คุณภาพต่ำ 3) การตักมูลหิน เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการประกอบโลหกรรมต่อไป

- การลำเลียงสินแร่ (แร่ทองคำ แร่คุณภาพต่ำ มูลหิน) ไปยังโรงประกอบโลหกรรม

(2) การประกอบโลหกรรม

- กระบวนการบดหยาบ (Primary Crushing): สินแร่ที่ได้จะถูกลำเลียงไปยังตะแกรงคัดขนาด โดยสินแร่ที่มีขนาดใหญ่จะค้างบนตะแกรงและเข้าสู่เครื่องบด (Jaw Crusher) เพื่อให้มีขนาดเล็กลง ส่วนสินแร่ขนาดเล็กจะส่งเข้าสู่สายพานลำเลียงไปรวมกับสินแร่บดหยาบที่ผ่านเครื่องบด

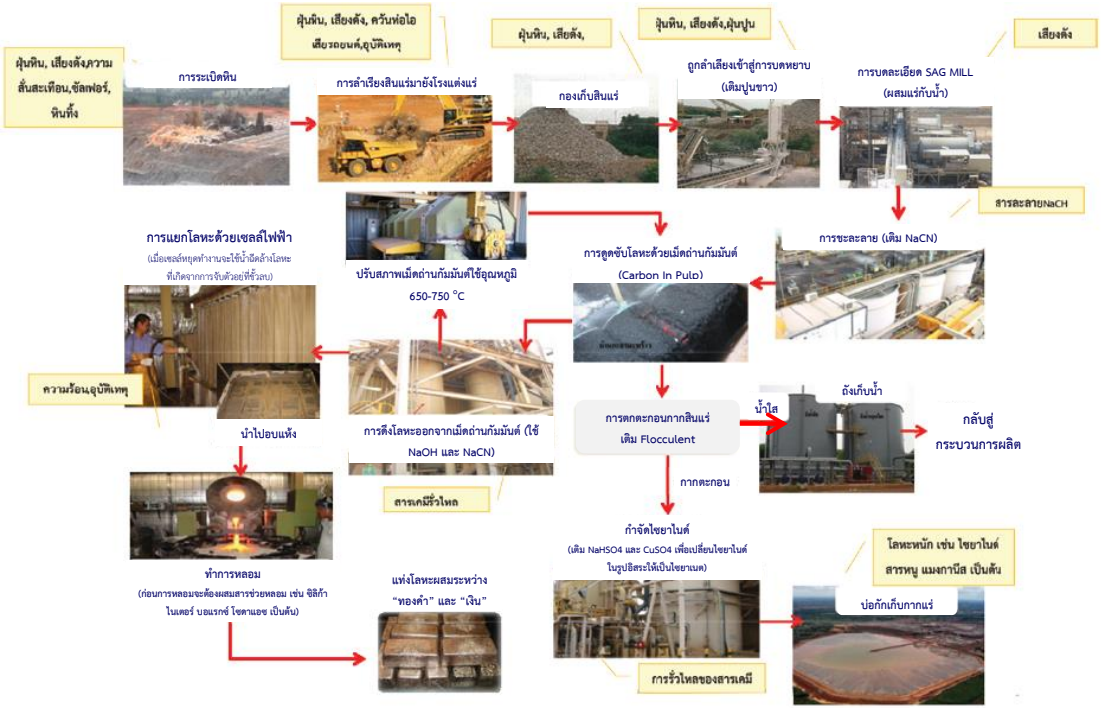
- กระบวนการบดละเอียด (Grinding): สินแร่ที่ผ่านกระบวนการบดหยาบจะถูกลำเลียงด้วยสายพานไปยังเครื่องบดละเอียด (SAG Mill) ระหว่างที่อยู่บนสายพานก็จะเติมปูนขาวเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง และผสมกับน้ำแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องบดละเอียด โดยมีตะแกรงเพื่อคัดแยกขยะและวัสดุแปลกปลอมส่วนที่ผ่านตะแกรงจะปล่อยลงสู่ถังแช่สารไซยาไนด์ ส่วนวัสดุแปลกปลอมที่อยู่บนตะแกรง จะถูกส่งไปรวมกับกากโลหกรรมที่ยุ้งรับกากโลหกรรมและทิ้งลงบ่อกักเก็บกากโลหกรรมต่อไป

- การแยกโลหะทองคำ: การชะล้างทองคำและเงินออกจากสินแร่ ใช้กระบวนการ Cyanidation (มีสมการเคมี ดังนี้ $4Au+8CN+O2+2H2O \rightarrow 4Au(CN)2+4OH$) โดยนำสินแร่แช่ในถังที่มีสารไซยาไนด์เพื่อให้ไซยาไนด์เป็นตัวจับกับโลหะทองคำและเงิน หลังจากนั้นโลหะทองคำและเงินจะถูกแยกออกจากสารละลายไซยาไนด์ด้วยวิธีทางเคมีโดยกระบวนการ Carbon-In-Leach (CIL) คือ เติมถ่านกัมมันต์ลงไปเพื่อดูดซับทองคำและเงินไว้ที่ผิวถ่านกัมมันต์

- การชะล้างทองคำออกจากเม็ดถ่าน (Acid Wash และ Gold Stripping): โดยการเติมสารละลายกรดเกลือเพื่อลอกหรือชะล้างทองคำออกจากเม็ดถ่าน และอีกวิธีคือการชะละล้างทองคำออกจากเม็ดถ่านโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมไซยาไนด์ น้ำชะล้างที่มีทองคำและเงินปนอยู่จะถูกนำไปเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนจะแยกเอาทองคำและเงินออกด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า

- การแยกทองคำและเงินออกจากสารละลายด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า (Electrowinning) โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกปล่อยผ่านแท่งเหล็กแสตนเลสซึ่งเป็นขั้วบวก และผ่านแผ่นฝอยเหล็กภายใน Electrowinning Cell ซึ่งเป็นขั้วลบ โลหะทองคำและเงินจะจับที่ฝอยเหล็กขั้วลบ หลังจากนั้นทองคำและ

เงินจะถูกฉีดล้างออกด้วยน้ำและนำไปเผา แล้วถลุงในเบ้าหลอม ได้เป็นแท่งโลหะผสม และถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ (Refinning) เพื่อให้ได้เป็นโลหะทองคำบริสุทธิ์ 99.99% และโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.95% ต่อไป



รูปที่ 2 แสดงแผนผังขั้นตอนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ

ที่มา : กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558

จากข้อมูลกระบวนการประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น จะมีการใช้สารเคมีเพื่อการสกัดแร่ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	สารเคมีที่ใช้	คุณลักษณะ
การระเบิดหิน	ดินระเบิด (Emulsion)	ระเบิดที่มีประสิทธิภาพสูงชนิดแท่งทนต่อความร้อน
	ปุ๋ยแอมโมเนียไนเตรท	มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดีมากดูดความชื้นง่ายมาก ดินเป็นกรดเมื่อใส่ปุ๋ยชนิดนี้
กระบวนการบดละเอียด	ปูนขาว (Quick Lime)	ลักษณะเป็นผง สีขาวถึงเหลือง ไม่มีกลิ่นใช้เพื่อควบคุมความเป็นด่างสำหรับกระบวนการชะละลาย
กระบวนการชะลายโลหะและกระบวนการดึงโลหะออกจากเม็ดถ่านกัมมันต์	สารโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN)	ลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว กลิ่นเฉพาะตัว
	สารละลายโซดาไฟ (Caustic Soda)	ใช้ในเครื่องชะละลายหัวแร่

กระบวนการผลิต	สารเคมีที่ใช้	คุณลักษณะ
	โซดาไฟ (NaOH)	ลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น ใช้ปรับค่าความเป็นด่างของน้ำให้มีค่ามากกว่า 10.5 ในระหว่างการผสมไซยาไนด์
	สารละลายกรดเกลือ (HCl)	ลักษณะเป็นของเหลว มีสีเหลืองอ่อน กลิ่นฉุน กรดเกลือจะทำหน้าที่กำจัดแคลเซียมออกจากผิวของเม็ดถ่านกัมมันต์
กระบวนการหลอมโลหะ	โซเดียมบอเรตหรือ บอแรกซ์ (Borax)	ลักษณะเป็นผลึก สีขาว เทา หรือเขียวอ่อน ไม่มีกลิ่น ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับเหล็กแร่มลทินอื่นๆ แยกตัวออกมาจากโลหะผสมทองคำและเงิน
	ซิลิกอนไดออกไซด์หรือผงซิลิก้า (Silica Sand : SiO_2)	ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ สีขาว ไม่มีกลิ่น ใช้เพื่อทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับเหล็กและแร่มลทินอื่นๆ แยกตัวออกมาจากโลหะผสมทองคำและเงิน
	โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอซ (Sodium Carbonate or Soda Ash)	ลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ใช้เพื่อทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับเหล็กและแร่มลทินอื่นๆ แยกตัวออกมาจากโลหะผสมทองคำและเงิน
	โซเดียมไนเตรต (Sodium Nitrate)	ลักษณะเป็นผลึกของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น ใช้เพื่อทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับเหล็กและแร่มลทินอื่นๆ แยกตัวออกมาจากโลหะผสมทองคำและเงิน
การแต่งแร่	กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid)	ใช้สำหรับทำความสะอาดตะแกรงต่าง ๆ ในกระบวนการแต่งแร่
	สารช่วยตกตะกอน (Flocculants)	ใช้ในกระบวนการตกตะกอนกากสินแร่เปียก

กระบวนการผลิต	สารเคมีที่ใช้	คุณลักษณะ
	ถ่านกัมมันต์	ลักษณะเป็นถ่านจากกะลามะพร้าว ใช้ในกระบวนการดูดซับโลหะทองคำและเงิน
การกำจัดไซยาไนด์	สารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์ ($NaHSO_3$)	ลักษณะมีกลิ่นซัลเฟอร์ไดออกไซด์อ่อนๆ ใช้พร้อมกับคอปเปอร์ซัลเฟต เพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ในรูปอิสระให้เป็นไซยาเนตซึ่งจะมีความเป็นพิษน้อยลง
	คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$)	ลักษณะเป็นเม็ดของแข็ง สีขาวถึงน้ำตาล ไม่มีกลิ่นใช้พร้อมกับโซเดียมไบซัลไฟท์ เพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ในรูปอิสระให้เป็นไซยาเนตซึ่งจะมีความเป็นพิษน้อยลง
	สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	ลักษณะเป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ใช้เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

ที่มา : แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงกรณีเหมืองแร่ทองคำ (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

และในการดำเนินการเพื่อการเฝ้าระวังสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำนั้น ควรมีการวิเคราะห์สิ่งคุกคามและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้ (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

ตารางที่ 2 ข้อมูลการวิเคราะห์สิ่งคุกคามสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพ

กระบวนการผลิต	สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุภาพ
การระเบิดหิน	ฝุ่นหิน	- ทำให้การทำงานของปอดลดลง หายใจขัด ไอ เจ็บหน้าอก หอบ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย หรือเรียกว่าโรคซิลิโคซีส (Silicosis) ซึ่งเป็นโรคปอดที่ไม่มีทางรักษาให้หายได้และอาจจะเป็นวัณโรคได้
	เสียงดัง	- การทำลายอวัยวะรับการได้ยิน การทำให้เกิดความรำคาญ โรคเครียด หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคร้ายต่างๆ ได้

กระบวนการผลิต	สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุภาพ
	ความสั่นสะเทือน	- ทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า Vibration Sickness ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง และทำให้กล้ามเนื้อกระตุก
การเก็บกองมูลหิน	การรั่วไหลของกรด จากมูลหินที่มีศักยภาพในการก่อฤทธิ์ให้เป็นกรด (Acid Mine Drainage (ADM) หรือ น้ำทิ้งสภาวะกรด)	- เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เมื่อหินทิ้ง(Waste rock) ที่มีแร่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ สัมผัสกับอากาศและน้ำ จะเกิดกรดซัลฟิวริก ซึ่งสามารถชะเอาโลหะหนัก (สารหนู โคบอล ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว เงิน สังกะสี) ที่มีอยู่ในหินทิ้ง ออกสู่ภายนอก
	สารหนู (Arsenic)	- ระคายเคืองทางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา - เป็นสารก่อมะเร็งประเภท A1 ตามบัญชีรายชื่อของ ACGIH และถูกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็งตามบัญชีรายชื่อของ NTP, เป็นประเภท 1 ตามบัญชีรายชื่อของ IARC สารนี้ทำลายตับ ไต ปอด ระบบหายใจ เลือด ก่อให้เกิด เนื้องอก
	ทองแดง (Copper)	- ระคายเคืองจมูก ปาก และตา ทำให้ปวดศีรษะ ปวดท้อง มึนงง อาเจียนและท้องร่วง การได้รับทองแดงปริมาณมากจะทำลายตับและไต - ทำให้โรควิลสัน (Wilson’s Disease)
	แคดเมียม (Cadmium)	อาการเฉียบพลัน - คลื่นไส้ อาเจียนรุนแรง ท้องร่วง - ระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ ไอ เวียนศีรษะอาการเรื้อรัง - ทำลายกระดูก ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรคอิไต อิไต และเป็นสารก่อมะเร็ง
	ตะกั่ว (Lead)	- สารนี้ถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์ในกลุ่ม 2B (IARC) และเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองกลุ่ม A3 (ACGIH)

กระบวนการผลิต	สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุภาพ
		- ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบการย่อยอาหาร ไต โลหิต หัวใจ การเจริญพันธุ์ การพัฒนาการของทารกในครรภ์ - อวัยวะเป้าหมาย คือ ตา กระเพาะอาหารและลำไส้ ระบบประสาทส่วนกลาง ไต เลือด เนื้อเยื่อในเหงือก
	สังกะสี (Zinc)	- ระคายเคืองผิวหนังตา - เมื่อหายใจเข้าไปทำให้มีรสหวาน คอแห้ง ไอ อ่อนเพลีย เป็นไข้ คลื่นไส้ อาเจียน
	แมงกานีส (Manganese)	- อาการเฉียบพลัน: เมื่อหายใจเข้าไป จะมีอาการไข้สูงแน่นหน้าอกและหอบเหนื่อย เกิดโรคไข้ไอโลหะ เจ็บคอ ไอมีเสมหะ - อาการเรื้อรัง: ระบบที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดสำหรับการสัมผัสแบบเรื้อรังคือระบบประสาท สารแมงกานีสจะทำให้เกิดอาการทางสมอง
กระบวนการบดหยาบ (Primary Crushing)	ฝุ่นหิน	- ทำให้การทำงานของปอดลดลง หายใจขัด ไอ เจ็บหน้าอก หอบ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย เราเรียกว่าโรคซิลิโคซีส (Silicosis) ซึ่งเป็นโรคปอดที่ไม่มีทางรักษา ให้หายได้ และอาจจะเป็นวัณโรคได้
กระบวนการบดละเอียด (Grinding)	ปูนขาว	- อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และเยื่อบุจมูกได้ - การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนบน คอ และจมูก
กระบวนการชะละลายโลหะและกระบวนการดึงโลหะออกจากเม็ดถ่านกัมมันต์	สารโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN)	- มีฤทธิ์กัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับเยื่อบุทางเดินหายใจหรือทางเดินอาหาร - ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ และจะเป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง - ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง สารนี้สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางผิวหนังได้ เป็นพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการ

กระบวนการผลิต	สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุภาพ
		ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ ง่วงซึม คลื่นไส้ เป็นลม รบกวนระบบหายใจ หยุดหายใจ หัวใจหยุดเต้น - การสัมผัสเรื้อรังจะทำให้เกิดผื่นคัน ผิวหนังแตก ปวดศีรษะ คลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ และอาจทำให้เกิดภูมิแพ้ได้
	โซดาไฟ (NaOH)	- เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง หากสัมผัสสารติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อ - สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนเนื้อเยื่อ
	สารละลายกรดเกลือ (HCl)	- อันตรายเฉพาะที่ (ผิวหนัง ตา เยื่อบุ) - มีอันตรายต่อผิวหนัง ตา และเยื่อบุ ทำให้ระคายเคืองตาอย่างรุนแรง ปวดแสบและอาจบอดได้
กระบวนการหลอมโลหะ	โซเดียมบอเรตหรือบอแรกซ์ (Borax)	- เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุเมือกและทางเดินหายใจส่วนบน ผิวหนัง ตา - มีรายงานว่าได้รับสารนี้เข้าไปในทารก 5 กรัม อาจถึงเสียชีวิตได้ และ 5-20 กรัม สำหรับผู้ใหญ่ - อวัยวะเป้าหมาย ตา ระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทส่วนกลาง ไต อัณฑะ
	โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอซ (Sodium Carbonate or Soda Ash)	- เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุเมือกและทางเดินหายใจส่วนบน ผิวหนัง ตา - สารนี้มีผลต่ออวัยวะเจริญพันธ์
	โซเดียมไนเตรท (Sodium Nitrate)	- ก่อให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเมือกและทางเดินหายใจ ส่วนบน มีอาการไอ หายใจถี่ เจ็บคอ น้ำมูกไหล - การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังเป็นผื่นแดง บวมและเจ็บปวด - การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเป็นผื่นแดง ตาบวม น้ำตาไหล และเจ็บปวด

กระบวนการผลิต	สิ่งคุกคามต่อสุขภาพ	ผลกระทบต่อสุภาพ
การแต่งแร่	กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid)	- ทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ เนื่องจากสารนี้ เป็นฝุ่นหรืออาจทำให้เกิดฝุ่น เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ตา
การกำจัดไซยาไนด์	สารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์ ($NaHSO_3$)	- เป็นพิษต่อทางเดินหายใจส่วนบน ก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ตา - การได้รับสารติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำลายอวัยวะ
	คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.H_2O$)	- เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา - หากได้รับโดยการกลืนหรือกินเข้าไป ทำให้ท้องร่วง และเป็นแผลในกระเพาะอาหาร คลื่นไส้อาเจียน หมดสติและชักได้
	สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	- สารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนและก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อ ระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา - สารนี้มีผลทำลายฟัน ระบบหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ

ที่มา : แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงกรณีเหมืองแร่ทองคำ (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

2.3 คุณสมบัติและพิษวิทยาของสารหนู

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ในดิน ในหิน ในอากาศ เช่นจากภูเขาไฟระเบิด ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยปกติจะมีสีเหลืองหรือสีเทา สามารถแบ่งประเภทของสารหนูได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดอนินทรีย์ อินทรีย์ และแก๊สอาร์ซีน (Arsine gas) แต่ละชนิดมีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน โดยชนิดที่ทำให้เกิดพิษมากที่สุดคือ สารหนูอนินทรีย์ (พรชนก มนแก้ว,2562) โดยในชีวิตประจำวันมีโอกาสรับสัมผัสสารหนูจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหมืองแร่ดีบุก เหมืองทอง พบการปนเปื้อนของสารหนูในบุหรี่ ยาหม้อ ยาลูกกลอน และยาสมุนไพรโบราณที่ไม่ได้มาตรฐาน น้ำยารักษาเนื้อไม้ ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืชที่ผสมสารหนูเป็นต้น และการปนเปื้อนในธรรมชาติ (ATSDR, 2007)

ทางเข้าสู่ร่างกาย

1. ทางการหายใจ สารหนูที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ aerosol ซึ่งเป็นสารหนูอนินทรีย์ที่สัมผัสเนื่องมาจากการทำงานหรือจากการสูบบุหรี่ ส่วนในโรงงานอุตสาหกรรมอนุภาคของสารหนูมีขนาดค่อนข้างใหญฉะนั้นเมื่อหายใจเข้าไปในระยะแรกสารหนูจะไปตกค้างอยู่ที่ทางเดินหายใจส่วนบน ช่องจมูก คอหอย กล่องเสียง หลอดลม และต่อมาจะถูกดูดซึมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจหรือทางเดินอาหาร ระยะเวลาในการตกค้างและดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการละลายของสารที่หายใจเข้าไป ผู้ที่สูบบุหรี่สามารถสัมผัสกับสารหนูตามธรรมชาติที่อยู่ใน

ยาสูบได้ เนื่องจากพืชยาสูบสามารถดูดซับสารหนูตามธรรมชาติในดินได้ นอกจากนี้ ในอดีตโอกาสที่จะได้รับสารหนูสูงมากเพราะยาสูบมีการใช้สารกำจัดแมลงพวก lead arsenate ด้วย (WHO, 2018)

2. ระบบทางเดินอาหาร สารหนูอนินทรีย์ที่มาจากการรับประทานอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ยาที่มีสารหนู การปนเปื้อนสารหนูในข้าวปริมาณสารหนูในข้าวพบในระดับ 0.1 ถึง 0.4 มก. ของสารหนูอนินทรีย์/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ข้าวมีระดับสารหนูสูงกว่าในธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ ซึ่งมีปริมาณสารหนูรวม (Total Arsenic) ที่อยู่ที่ 0.03 - 0.08 มก./กก. นอกจากนี้ ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ในธัญพืชอื่นๆที่ไม่ใช่ข้าวมีค่าน้อยกว่าในข้าวค่า detection level ปริมาณสารหนูในข้าวแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว สถานที่ปลูก และวิธีการแปรรูป ข้าวกล้องมีปริมาณสารหนูสูงกว่าข้าวขาว กระบวนการในการเตรียมหุงข้าวโดยการล้างน้ำทำให้สารหนูลดลงได้ส่วนหนึ่ง สารหนูอนินทรีย์ส่วนใหญ่เกาะติดอยู่บริเวณเปลือกข้าว โดยความเข้มข้นสารหนูในรำข้าวมีความเข้มข้นสูงกว่าในเมล็ดข้าว 10 ถึง 20 เท่า ดังนั้นความเสี่ยงจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ทำจากรำข้าวเช่นเครื่องดื่มข้าวจึงสูงกว่าที่มาจากข้าวขาว นอกจากนี้ รำข้าวที่มักจะใส่ผลิตภัณฑ์เช่นแครกเกอร์หรือซีเรียลข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหรือใช้โดยตรงเป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (Hojsak I et al., 2015)

3. ผิวหนัง สารหนูสามารถดูดซึมสารหนูอนินทรีย์ผ่านทางผิวหนัง แต่ในคนมีข้อมูลน้อยมาก (ATSDR, 2007)

การขับออกจากร่างกาย

เส้นทางหลักของการขับสารหนูออกจากร่างกายคือทางปัสสาวะโดยผ่านทางไต ประมาณร้อยละ 50 ของสารหนูที่ขับออกมาในปัสสาวะคือ demethylated และร้อยละ 25 คือ monomethylated ซึ่งเป็นสารหนูอนินทรีย์ ส่วนที่เหลือเป็นสารหนูอินทรีย์ สารหนูที่มาจากการรับประทานปลาส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนรูปทางชีวภาพในร่างกาย แต่จะถูกขับออกทางปัสสาวะอย่างรวดเร็วโดยไม่เปลี่ยนแปลงโดยค่าครึ่งชีวิตของสารหนูในปลาที่กินเข้าไปคาดว่าจะน้อยกว่า 20 ชั่วโมง โดยจะมีการกำจัดออกทางปัสสาวะทั้งหมดในเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เนื่องจากสารหนูถูกกำจัดออกจากเลือดอย่างรวดเร็ว ระดับสารหนูในเลือดอาจปกติแม้ว่าระดับสารหนูในปัสสาวะจะมีค่าสูง เส้นทางอื่น ๆ ที่มีความสำคัญในการกำจัดสารหนูอนินทรีย์ ได้แก่ อุจจาระผมและเล็บ การลอกของผิวและเหงื่อ (ATSDR, 2010)

ผลกระทบแบบเฉียบพลัน

อาการที่เกิดทันทีของพิษจากสารหนูหากได้รับในปริมาณมาก ได้แก่ การอาเจียน ปวดท้อง และท้องร่วง ตามมาด้วยอาการชาและรู้สึกเสียวซ่าของแขนขา กล้ามเนื้อเป็นตะคริว และเสียชีวิต ในกรณีที่รุนแรง (WHO, 2018)

ผลกระทบแบบเรื้อรัง

ผู้ป่วยที่ได้รับพิษเรื้อรังจากสารหนูนั้น มักจะสัมผัสจากการทำงานหรือจากสิ่งแวดล้อมโดยมีผลต่อหลายๆระบบคล้ายกับในผู้ป่วยเฉียบพลัน แต่อาการในระบบผิวหนัง ระบบประสาทส่วนปลายจะเด่นชัดกว่า ส่วนอาการทางระบบทางเดินอาหารจะพบน้อยกว่า ระบบประสาทเป็นความผิดปกติที่พบบ่อยใน

ผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารหนูแบบเรื้อรัง โดยจะพบเป็นลักษณะของปลายประสาทอักเสบ และมีอาการสูญเสียความรู้สึกแบบสวมถุงมือถุงเท้า (Glove and stocking anesthesia) ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของแอกซอน (Axonal degeneration) (WHO, 2018)

การก่อให้เกิดมะเร็ง

ผลกระทบลำดับแรกที่จะเกิดขึ้นจากการได้รับสารหนูชนิดอนินทรีย์ในระดับสูงเป็นระยะเวลานานจากการดื่มน้ำและรับทานอาหารที่ปนเปื้อน คือจะทำให้เกิดความผิดปกติของผิวหนังโดยทำให้เกิด hyperpigmentation สลับกับ hypopigmentation ที่บริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้าเรียกว่า raindrop pattern พบลักษณะ การหนาตัวขึ้นของผ่ามือและผ่าเท้า (hyperkeratosis) ในรายที่รุนแรงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ผิวหนัง เกิดมะเร็งผิวหนังชนิด squamous, basal cell และ Bowen disease โดยจะพบได้ทั่วตัวโดยเฉพาะบริเวณที่ไม่โดนแดด ระยะการเกิดมะเร็งผิวหนัง นั้นอาจพบได้หลังจากได้รับพิษจากสารหนูเป็นเวลา 20-40 ปี นอกจากนี้การสัมผัสสารหนูยังอาจก่อให้เกิดมะเร็งปอดและถุงน้ำดี (WHO, 2018)

ผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด

สารหนูทำให้เกิดอันตราย ต่อกล้ามเนื้อหัวใจโดยตรงเกิดภาวะการเต้นของหัวใจมีความผิดปกติ นอกจากนี้จากการที่มีผลต่อหลอดเลือดส่วนปลายทำให้เกิดเนื้อเน่าตายบริเวณปลายเท้า (gangrene foot) เรียกว่า Blackfoot disease ซึ่งเกิดขึ้นในไต้หวันการได้รับสารหนูเชื่อมโยงกับโรคเท้าดำซึ่งเป็นโรคร้ายแรงของหลอดเลือดที่นำไปสู่โรคเนื้อตายเน่า (WHO, 2018)

ผลกระทบของสารหนูต่อเด็ก

มีหลักฐานว่าการสัมผัสสารหนูระยะยาวต่อเนื่อง ในเด็กอาจมีผลกระทบต่อ IQ นอกจากนี้ยังมีหลักฐานที่แสดงว่าการสัมผัสสารหนูในครรภ์และเด็กปฐมวัยอาจเพิ่มอัตราการตายในคนหนุ่มสาวโดยมีความเชื่อมโยงกับการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นในผู้ใหญ่วัยหนุ่มสาวอันเนื่องมาจากโรคมะเร็งหลายชนิด โรคปอด หัวใจวาย และไตวาย การสูดดมหรือกลืนกินสารหนูมีผลหระทบต่อสตรีมีครรภ์หรือทารกในครรภ์ได้ การศึกษาในสัตว์แสดงว่าสารหนูปริมาณมากก่อให้เกิดการเจ็บป่วยในสัตว์ตั้งครรภ์และยังสามารถทำให้น้ำหนักแรกเกิดต่ำ ตัวอ่อนในครรภ์ผิดรูป และเสียชีวิตในครรภ์ สารหนูสามารถผ่านรกและถูกพบในเนื้อเยื่อของทารกในครรภ์ พบสารหนูในระดับต่ำในน้ำนมแม่ (ATSDR, 2007, WHO, 2018)

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ

สามารถตรวจการสัมผัสสารหนูได้ทั้งในเลือด ปัสสาวะและเส้นผม โดยการตรวจหาระดับสารหนูในเลือดเหมาะกับการตรวจหาในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกภายหลังจากรับสัมผัส แต่มีข้อจำกัดคือ ระดับสารหนูในเลือดมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากสารหนูมีการขับออกจากเลือดอย่างรวดเร็ว วิธีการตรวจหาสารหนูในเลือดจึงไม่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ และการตรวจหาระดับสารหนูในปัสสาวะเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่ดีที่สุดสำหรับการรับสัมผัสสารหนูในระยะเวลาไม่นาน ใช้ได้กับผู้ป่วยที่ได้รับพิษเฉียบพลันและเรื้อรัง เนื่องจากระดับสารหนูในปัสสาวะยังให้ผลเป็นบวกได้นาน 1-2 เดือน แต่มีข้อจำกัดคือ สามารถเกิดผลบวกลวง

(False positive) จากอาหารทะเลที่มีการปนเปื้อนสารหนูอินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย ดังนั้นควรงดอาหารกลุ่มนี้อย่างน้อย 72-96 ชั่วโมงก่อนเก็บปัสสาวะส่งตรวจ (พรชนก มนแก้ว, 2562)

2.4 คุณสมบัติและพิษวิทยาของไซยาไนด์

ไซยาไนด์เป็นกลุ่มสารเคมีที่ประกอบด้วยคาร์บอนหนึ่งอะตอมเชื่อมต่อกับไนโตรเจนหนึ่งอะตอมโดยพันธะสาม ($C\equiv N$) ไซยาไนด์เกิดได้ทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น และหลายๆชนิดเป็นพิษที่มีฤทธิ์รุนแรงและออกฤทธิ์เร็ว เช่นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ซึ่งเป็นก๊าซ และเกลือไซยาไนด์คือโซเดียมไซยาไนด์และโพแทสเซียมไซยาไนด์ เป็นตัวอย่างของสารประกอบไซยาไนด์ โดยทั่วไปแบคทีเรีย เชื้อรา และสาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตไซยาไนด์ได้ และไซยาไนด์พบได้ในอาหารและพืชหลายชนิด ได้แก่ อัลมอนด์ ถั่วงอก ถั่วลิมา ถั่วเหลือง ผักโขม หน่อไม้ และมันสำปะหลัง ไซยาไนด์เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยเป็นส่วนหนึ่งของน้ำตาลหรือสารประกอบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ส่วนที่กินได้ของพืช รวมทั้งแป้งมันสำปะหลังที่ทำมาจากหัวมันสำปะหลังมีไซยาไนด์ในปริมาณต่ำ (ATSDR, 2006)

ไซยาไนด์จำนวนมากในดินและน้ำมาจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม แหล่งที่มาที่สำคัญของไซยาไนด์ในน้ำคือของเสียจากกระบวนการทำเหมืองโลหะ อุตสาหกรรมเคมีอินทรีย์ โรงงานหรือผลิตเหล็กและเหล็กกล้า และโรงบำบัดน้ำเสีย แหล่งที่มาอื่นๆของไซยาไนด์ ได้แก่ ไอเสียรถยนต์ อุตสาหกรรมเคมีบางชนิด การเผาไหม้ของของเสียของเทศบาล และการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่มีไซยาไนด์ ไซยาไนด์ในหลุมฝังกลบสามารถปนเปื้อนน้ำใต้ดินได้ สารประกอบไซยาไนด์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมและปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนไซยาไนด์ โซเดียมไซยาไนด์และโพแทสเซียมไซยาไนด์ ไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายอัลมอนด์เล็กน้อยโซเดียมไซยาไนด์และโพแทสเซียมไซยาไนด์เป็นของแข็งสีขาวที่มีรสขมเล็กน้อยกลิ่นคล้ายอัลมอนด์ เกลือไซยาไนด์และไฮโดรเจนไซยาไนด์ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การผลิตสารเคมีอินทรีย์ การล้างภาพถ่าย การผลิตพลาสติก การรมควันฆ่าเชื้อโรคในเรือและกระบวนการทำเหมืองบางอย่าง ไฮโดรเจนไซยาไนด์ยังถูกใช้ในห้องแก๊สเพื่อการประหารชีวิตในสงคราม กระบวนการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ปนเปื้อนด้วยไซยาไนด์จะทำให้เกิดสารประกอบไซยาโนเจนคลอไรด์ (ATSDR, 2006)

การสัมผัสไซยาไนด์

1. การหายใจ ประชาชนทั่วไปอาจสัมผัสไซยาไนด์ โดยการสูดอากาศที่มีสารไซยาไนด์ การสูบบุหรี่และสูดอากาศที่เต็มไปด้วยควันระหว่างเกิดเพลิงไหม้เป็นแหล่งสำคัญของการสัมผัสไซยาไนด์ การหายใจเอาอากาศใกล้แหล่งของเสียอันตรายที่มีไซยาไนด์ (ATSDR, 2006)

2. ระบบทางเดินอาหาร โดยการดื่มน้ำ หรือ การรับประทานอาหารที่มีสารไซยาไนด์ตามธรรมชาติ เช่นมันสำปะหลังถั่วลิมา และอัลมอนด์ เป็นต้น (ATSDR, 2006)

3. ทางผิวหนัง สารประกอบไซยาไนด์สามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวหรือเป็นไอที่มีความเข้มข้นสูงมาก และสามารถเกิดขึ้นได้จากการสัมผัสทางผิวหนังโดยตรงจากการ

อาบน้ำที่ปนเปื้อนและจากการสัมผัส ดิน วัตถุ หรือน้ำที่ปนเปื้อนด้วยมือเปล่า (Office of Environmental Health Hazard Assessment, 2004)

การขับออกจากร่างกาย

เมื่อเข้าสู่ปอดหรือกระเพาะอาหารแล้วไซยาไนด์ก็สามารถเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว ไซยาไนด์บางชนิดถูกเปลี่ยนเป็นไธโอไซยาเนตซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าและขับออกจากร่างกายในปัสสาวะ ไซยาไนด์จำนวนเล็กน้อยในร่างกายจะถูกแปลงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งขับออกจากร่างกายทางลมหายใจ เมื่อสัมผัสกับสารประกอบไซยาไนด์ในระดับต่ำไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายภายใน 24 ชั่วโมงแรกหลังสัมผัสสาร (ATSDR, 2006)

ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ในร่างกายมนุษย์หลังจากดูดซึมไซยาไนด์เข้าไปไทโอไซยาเนตเป็นผลผลิตหลักที่เกิดขึ้นจากไซยาไนด์ที่เข้าสู่ร่างกายในขณะที่ร่างกายพยายามกำจัดไซยาไนด์ออกไป แม้ว่าไธโอไซยาเนตจะมีอันตรายน้อยกว่าไซยาไนด์แต่เป็นที่ทราบดีแล้วว่าส่งผลต่อต่อมไทรอยด์ ทำให้ความสามารถในการผลิตฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ลดลงซึ่งเป็นฮอร์โมนที่จำเป็นสำหรับการทำงานปกติของร่างกาย (ATSDR, 2006)

ในบางประเทศที่รับประทานหัวมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารหลักทำให้ระดับไซยาไนด์ในเลือดของประชาชนเหล่านี้สูง บางคนได้รับผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบประสาทรวมทั้งความอ่อนแรงของนิ้วและนิ้วเท้า เดินลำบาก ตาพร่ามัว และหูหนวก แต่สารเคมีอื่นที่ไม่ใช่ไซยาไนด์ก็อาจมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบเหล่านี้ได้เช่นกัน การสัมผัสไซยาไนด์จากมันสำปะหลังเชื่อมโยงผลกระทบต่อการทำงานและทำให้ต่อมไทรอยด์ขยายตัว เพราะในร่างกายไซยาไนด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไธโอไซยาเนตซึ่งเป็นพิษต่อต่อมไทรอยด์ ยังไม่มีรายงานว่าไซยาไนด์ก่อให้เกิดปัญหาการสืบพันธุ์ในคน แต่มีผลการศึกษาที่กระทบต่อระบบสืบพันธุ์ในหนูที่ดื่มน้ำที่มีโซเดียมไซยาไนด์ (ATSDR, 2006)

ผลกระทบต่อเด็ก

เช่นเดียวกับในผู้ใหญ่ เด็กสามารถสัมผัสกับไซยาไนด์โดยการหายใจ น้ำดื่ม สัมผัสดิน หรือน้ำหรือกินอาหารที่มีไซยาไนด์ การหายใจเอาควันบุหรี่มือสองเป็นแหล่งสำคัญของการได้รับไซยาไนด์สำหรับเด็ก ปริมาณไทโอไซยาเนตในเลือดที่สูงบ่งบอกถึงการสัมผัสไซยาไนด์ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ หากคุณแม่ตั้งครรภ์ได้รับไซยาไนด์ เช่น โดยการสัมผัสกับควันบุหรี่ ทารกในครรภ์จะได้รับทั้งไซยาไนด์และไทโอไซยาเนตผ่านทางรก การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่าไซยาไนด์และไทโอไซยาเนตสามารถเข้าไปอยู่ในน้ำนมและส่งผ่านไปยังลูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และสิ่งนี้อาจเกิดขึ้นในมนุษย์ด้วย ผลกระทบที่มีรายงานในเด็กที่ได้รับสัมผัสจะเหมือนกับที่พบในผู้ใหญ่ที่สัมผัส โดยเด็กที่กินแอปริคอทจำนวนมากซึ่งมีไซยาไนด์โดยธรรมชาติจะทำให้ หายใจเร็ว ความดันโลหิตต่ำ ปวดหัว โคม่า และบางรายเสียชีวิต การสัมผัสไซยาไนด์ยังไม่ได้รับรายงานว่ามีผลกระทบทำให้เกิดความผิดปกติแต่กำเนิด (Birth Defect) อย่างไรก็ตามในประเทศเขตร้อนที่รับประทานมันสำปะหลัง มีเด็กเกิดมาพร้อมกับโรคไทรอยด์เพราะแม่สัมผัสไซยาไนด์และไธโอไซยาเนตระหว่างตั้งครรภ์ (ATSDR, 2006)

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ

สามารถวัดความเข้มข้นของไซยาไนด์ ในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ และวัดในรูปสารแปรรูปของไซยาไนด์คือไทโอไซยาเนตก็สามารถวัดได้ทั้งในเลือดและปัสสาวะ (ATSDR, 2006)

2.5 คุณสมบัติและพิษวิทยาของแมงกานีสและปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือด

แมงกานีสเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและเป็นสารอาหารที่จำเป็น ประกอบด้วยประมาณ 0.1% ของเปลือกโลกเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่สิบสองและเป็นโลหะที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่ห้า แมงกานีสในธรรมชาติจะไม่พบในรูปของธาตุ แต่ส่วนใหญ่พบเป็นสารประกอบของออกไซด์ คาร์บอเนต และซิลิเกตในแร่ธาตุมากกว่า 100 ชนิดที่มีไพโรลูไซต์ (แมงกานีสไดออกไซด์) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมากที่สุด เนื่องจากแมงกานีสเป็นสารอาหารที่จำเป็น ระบบเอนไซม์หลายระบบมีข้อมูลว่าการทำงานจะมีปฏิกิริยากับหรือขึ้นอยู่กับแมงกานีสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือควบคุมการทำงาน ดังนั้น แมงกานีสจึงจำเป็นสำหรับการก่อตัวของกระดูกอ่อนและกระดูกที่สมบูรณ์ การทำงานของวงจรยูเรีย ช่วยบำรุงไมโตคอนเดรียและการผลิตกลูโคส และยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาบาดแผล แมงกานีสมีทั้งในรูปแบบอนินทรีย์และอินทรีย์ เป็นส่วนประกอบสำคัญในเหล็ก มงกานีสอนินทรีย์ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่แห้ง แก้ว และดอกไม้ไฟ ในสารเคมีการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องหนังและสิ่งทอและเป็นปุ๋ย เม็ดสีอนินทรีย์ที่เรียกว่าแมงกานีสไวโอเล็ตมีการใช้งานที่แพร่หลายในเครื่องสำอางและยังพบได้ในสีบางชนิด แมงกานีสอินทรีย์ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อรา สารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิง สารยับยั้งควัน สารป้องกันการกระแทกในน้ำมันเบนซิน และสารสร้างภาพทางการแพทย์ (ATSDR, 2012)

ทางเข้าสู่ร่างกายและการสะสม

1. เส้นทางหลักที่แมงกานีสเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานแมงกานีสที่ปะปนอยู่ในอาหาร คนที่รับทานมังสวิรัติซึ่งอาหารส่วนใหญ่เป็นพวกธัญพืชและคนที่ชอบดื่มชาอาจมีการรับแมงกานีสสูงกว่าคนทั่วไป

2. โดยผ่านทางระบบหายใจ ในอากาศโดยทั่วไปมีแมงกานีสในปริมาณต่ำแต่การหายใจก็เป็นการได้รับแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายได้อีกทางหนึ่ง หรือในคนที่ทำงานในอุตสาหกรรม เช่น เหมืองแร่ โรงงานถ่านไฟฉาย โรงงานทำด่างทับทิม หลอมโลหะก็จะหายใจเอาไอควันของแมงกานีสเข้าไปได้ นอกจากนี้ในคนที่สูบบุหรี่หรือคนที่สูดดมควันบุหรี่โดยทั่วไปจะมีปริมาณแมงกานีสสูงกว่าคนที่ไม่สูบหรือไม่สูดดมควันบุหรี่

3. โดยการผ่านเข้าทางผิวหนังเมื่อมีการสัมผัสกับของเหลวที่มีส่วนประกอบของแมงกานีส

4. การสะสมในร่างกายเมื่อแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายจะเข้าสู่กระแสเลือด สะสมในตับ ไต ลำไส้เล็ก กระดูก ในรกและสมอง แต่แมงกานีสส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระภายใน 2-3 วัน (ATSDR, 2012)

การขับออกจากร่างกาย

การกำจัดแมงกานีสที่มีการดูดซึมเข้าร่างกายส่วนใหญ่จะถูกขับทางน้ำดี (>95%) ดังนั้นแมงกานีสเกือบทั้งหมดจะถูกขับออกจากกร่างกายทางอุจจาระ ซึ่งการขับออกทางอุจาระรวมถึงแมงกานีสส่วนที่ไม่ดูดซึมเข้าร่างกายด้วย แมงกานีสส่วนน้อยจะขับออกทางปัสสาวะและช่องทางอื่นเช่นเหงื่อโดยค่าครึ่งชีวิตของแมงกานีสในปัสสาวะต่ำกว่า 30 ชั่วโมง (Bounds S.VJ., 2009)

ผลกระทบต่อระบบประสาท

มีหลักฐานการศึกษาที่ชัดเจนในคนที่สัมผัสฝุ่นแมงกานีสในเหมืองและโรงงาน ที่หายใจเอาปริมาณแมงกานีสในระดับสูงเข้าไปจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาทอย่างร้ายแรง โรคนี้เรียกว่ากลุ่มอาการ Manganism โดยทั่วไปจะเริ่มด้วยมีความรู้สึกอ่อนเพลีย เซื่องซึม ขณะที่โรคมีการพัฒนาจะมีอาการแสดง (sign) ทางประสาทหลายอย่างชัดเจนขึ้น ถึงแม้ว่าแต่ละบุคคลจะมีอาการไม่เหมือนกันแต่ที่พบรูปแบบเดียวกันคือเดินช้าและเงอะงะ กระทบการพูด หน้าตาดูไม่มีความรู้สึก สั่น อาการอาจมีการทุเลาลงหลังเมื่อหยุดสัมผัส อย่างไรก็ตามในเกือบทุกราย พบว่าอาการ จะคงอยู่หลายปีหลังจากหยุดสัมผัส นอกจากนี้ กลุ่มอาการของโรคทางจิต (ประสาทหลอน โรคทางจิต) จะปรากฏบ่อย แต่ก็มีบางรายอาการเหล่านี้บางครั้งก็ไม่ปรากฏ ขณะที่โรคมีการพัฒนาผู้ป่วยจะมีการกล้ามเนื้อตึงและแข็งอย่างรุนแรงและอาจผิดปกติอย่างถาวร

ระดับที่ยังไม่แสดงอาการผลกระทบทางระบบประสาท (Subclinical) สังเกตพบในการศึกษาในคนงานที่สัมผัสฝุ่นแมงกานีสในระดับต่ำกว่าระดับที่จะสัมพันธ์กับอาการแสดงของกลุ่มอาการ manganism ผลกระทบเหล่านี้ประกอบด้วย ผลการทดสอบการทำงานของระบบประสาทลดลง การทำงานประสานระหว่างตาและมือด้อยลง รวมทั้งเสถียรภาพการทรงตัวแย่ลง ความสามารถของกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการคิดลดลง ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศที่จะก่อให้เกิดผลกระทบเหล่านี้ ที่มีการสัมผัสเรื้อรังในคนงานอยู่ในช่วง 0.07 ถึง 0.97 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

มีการรายงานในหลายการศึกษาในเด็กถึงความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของแมงกานีสในเลือดและผมกับผลกระทบต่อการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ และการพัฒนาประสาทและกระบวนการคิดและเรียนรู้บกพร่อง และมีหลักฐานการสะสมในร่างกายหากมีการสัมผัสในระดับแมงกานีสที่เกินในน้ำดื่ม ($\geq$ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร) อาจทำให้ประสาทบกพร่องในเด็ก รวมทั้งประสิทธิภาพการเรียนลดลง ผลการทดสอบเกี่ยวกับระบบประสาทผิดปกติ เพิ่มพฤติกรรมขัดแย้ง และสมาธิสั้น (ATSDR, 2012)

ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

การสัมผัสกับฝุ่นแมงกานีสจากการหายใจบ่อยครั้งทำให้ปอดอักเสบทั้งในคนและสัตว์ ซึ่งโดยทั่วไปทำให้เพิ่มอัตราการไอ และหลอดลมอักเสบทำให้เกิดการอักเสบเล็กน้อยถึงปานกลางของเนื้อเยื่อปอดพร้อมกับทำให้การทำงานของปอดลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้ทำให้ปอดติดเชื้อง่ายนำไปสู่ปอดอักเสบและปอดบวมในคนงานที่สัมผัสแมงกานีสจากการทำงาน ซึ่งมีปริมาณแมงกานีสในฝุ่นที่ค่อนข้างสูง แต่ก็มีการรายงานว่าในคนที่อยู่ในโรงเรียนที่ตั้งอยู่ใกล้โรงงานผลิตโลหะผสมเหล็กแมงกานีส พบว่ามีการเพิ่มความชุกของผลกระทบของระบบทางเดินหายใจ

ความเสี่ยงในคนทั่วไปที่จะทำให้ปอดอักเสบจากการสัมผัสระดับแมงกานีสที่เจอในสิ่งแวดล้อมทั่วไป คาดว่าค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามควรระวังการสัมผัสแมงกานีสจากฝุ่น จากโรงงาน จากการทำเหมือง จากยานพาหนะ และแหล่งอื่นๆ ผลกระทบต่อปอดเหล่านี้อาจจะไม่เฉพาะสำหรับการสัมผัสแมงกานีสจากฝุ่นเพียงอย่างเดียวแต่อาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆที่หายใจเข้าไปจากฝุ่นด้วย (ATSDR, 2012)

ผลกระทบต่อพัฒนาการ

มีหลักฐานว่าเด็กที่สัมผัสแมงกานีสในปริมาณสูงจากสิ่งแวดล้อมเช่นจากอากาศ น้ำดื่ม อาหาร อาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อระบบประสาท หลายการศึกษาระบุว่าเด็กที่สัมผัสแมงกานีสปริมาณสูงเป็นระยะเวลานาน (เดือนหรือปี) ในที่สุดจะเกิดผลกระทบหนึ่งหรือหลายอาการ ประกอบด้วยความบกพร่องทางสติปัญญา ความจำลดลดลง สมาธิสั้น กระทบต่อการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ก้าวร้าว อย่างไรก็ตามยังไม่ชัดเจนจากการศึกษาเหล่านี้ว่าปัจจัยอย่างอื่นอาจเป็นสิ่งแวดล้อมหรือยีนส์ส่งผลให้เกิดผลกระทบเหล่านี้ร่วมกับแมงกานีสหรือจากแมงกานีสอย่างเดียวทำให้เกิดผลกระทบเหล่านี้ (ATSDR, 2012)

การวินิจฉัยและตรวจทางห้องปฏิบัติการ

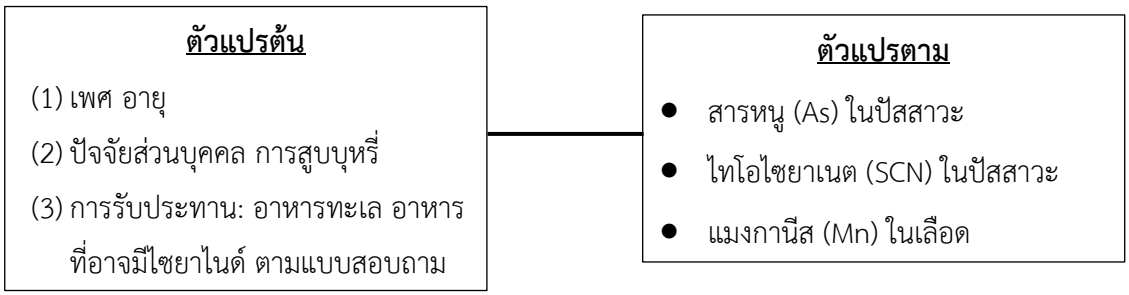
แมงกานีสมีค่าครึ่งชีวิต 10 – 42 วัน ในเลือด และน้อยกว่า 30 ชั่วโมงในปัสสาวะ ค่าครึ่งชีวิตอาจจะเพิ่มขึ้นได้ถ้าแมงกานีสถูกสะสมอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นได้ (Gray JP et.al., 2017) การใช้แมงกานีสในเลือดสำหรับวัดระดับการสัมผัสแมงกานีสจึงมีความเหมาะสม ระดับแมงกานีสในเลือด (Whole Blood) ที่ตรวจพบในคนทั่วไปในอเมริกาอยู่ในช่วง 4-15ไมโครกรัมต่อลิตร (ATSDR, 2012)

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือด

มีผลการศึกษาในภูมิภาคต่างๆทั่วโลกเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือด เช่น การศึกษาในประเทศอิตาลี่ของ Bocca B และคณะ (2011) พบว่าระดับแมงกานีสในเลือดในผู้ใหญ่จำนวน 215 คน มีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตในเพศหญิงสูงกว่าในเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระดับแมงกานีสในเพศชาย 8.01 ไมโครกรัมต่อลิตรในเพศหญิง 9.98 ไมโครกรัม/ลิตร การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Oulhote Y และคณะ (2014) ระหว่างปี 2554 - 2555 จำนวน 7,720 คน อายุระหว่าง 1 - 80 ปี พบว่าค่าเฉลี่ยระดับแมงกานีสในเลือดในเพศหญิงเท่ากับ 10.6 ไมโครกรัม/ลิตรในเพศชายเท่ากับ 9.2 ไมโครกรัม/ลิตร การศึกษาในประเทศญี่ปุ่นของ Hatano S และคณะ (1983) พบปริมาณแมงกานีสในเม็ดเลือดแดง ในเด็ก 165 คน (ชาย 81 คน หญิง 84 คน) ในผู้ใหญ่ 50 คน (ชาย 32 คน หญิง 18 คน) พบว่าในเด็กชาย อายุ 12 - 19 ปี ค่าเฉลี่ยของแมงกานีสเท่ากับ 108. 1 ± 20.2 นาโนกรัม/กรัมฮีโมโกลบิน ซึ่งต่ำกว่าในเพศหญิงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 141.7 ± 25.5 นาโนกรัม/กรัมฮีโมโกลบิน ($p < 0.01$) ส่วนในผู้ใหญ่ ในผู้ชาย 91.5 ± 22.4 นาโนกรัม/กรัมฮีโมโกลบิน ในผู้หญิง 141.2 ± 19.8 นาโนกรัม/กรัมฮีโมโกลบิน ($p < 0.001$) การศึกษาในประเทศเกาหลีใต้ของ Lee JW และคณะ (2008) ระดับแมงกานีสในเลือดในประเทศเกาหลีใต้จำนวน

5,087 คน ในปี 2551 พบว่าค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และค่า 95% (CI) ของแมงกานีสในเลือดในเพศชายเท่ากับ 9.9 (9.5–10.3) ในเพศหญิงเท่ากบ 11.7 (11.3–12.1) และค่า GM ของแมงกานีสในเลือดลดลงเมื่ออายุมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางงสถิติ ($p < 0.05$) การศึกษาในประเทศจีนของ Zhang LLและคณะ(2015) ในกลุ่มอายุ 12 ถึ ง 60 ปี จำนวน 648 คน พบว่าค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของแมงกานีสในเลือดในเพศหญิงสูงกว่าในเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยค่าค่าเฉลี่ยเรขาคณิตและ 95% CI ในเพศหญิงเท่ากับ 12.9 (12.44–13.43) ไมโครกรัม/ลิตร ในเพศชายเท่ากับ 10.1 ไมโครกรัม/ลิตร (9.68–10.43) โดยผลการศึกษาปัจจัยที่ทำให้ระดับแมงกานีสในเลือดในเพศหญิงสูงกว่าเพศชายเช่น การศึกษาการของFinley JW และคณะ (1994) บ่งชี้ว่าการว่าเมื่อบริโภคอาหารอย่างเพียงพอในผู้หญิงอาจดูดซึม Mn ได้มากกว่าผู้ชายอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาของ Tholin K และคณะ (1995) พบว่าปริมาณธาตุเหล็กที่ต่ำในเพศหญิงจะสัมพันธุ์กับการดูดซึมแมงกานีสที่เพิ่มขึ้น การศึกษาของ Ljung K & Vahter M (2007) ระบุว่าระดับแมงกานีสในเลือดในเด็กสูงกว่าในผู้ใหญ่ อาจเกิดจากกลไกควบคุมความสมดุลของการขับแมงกานีสในเด็กยังพัฒนาไม่สมบูรณ์เต็มที่ทำให้เด็กมีโอกาสได้รับแมงกานีสสูงกว่าผู้ใหญ่ การศึกษาของ Dörner K และคณะ (1986) บ่งชี้ว่าเด็กยังมีการดูดซึมแมงกานีสจากระบบทางเดินอาหารได้มากกว่าในผู้ใหญ่ การศึกษาของ Cockell KA และคณะ (2004) และการศึกษาของ Ljung K และคณะ (2011) บ่งชี้ว่าในนมแม่มีปริมาณแมงกานีสต่ำในขณะที่อาหารสำหรับทรากที่ผลิตจากถั่วเหลืองหรือข้าวมีปริมาณแมงกานีสสูง นอกจากนี้การศึกษาของ Oulhote Y และคณะ (2014) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อระดับแมงกานีสในเลือดอีกปัจจัยหนึ่งคือเชื้อชาติโดยพบว่าเชื้อชาติเอเชียมีระดับแมงกานีสในเลือดที่สูงกว่าเชื้อชาติอเมริกาและเชื้อชาติอื่นๆ

2.6 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย



บทที่ 3
ระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย

การศึกษาดัชนีชีวภาพ (สารหนู ไทโอไซยาเนต แมงกานีส) ในประชาชนพื้นที่รอบเหมืองทองคำและความแตกต่างของระดับการสำผัสและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง มีระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย ดังนี้

3.1 รูปแบบการศึกษาวิจัย

(1) ลักษณะการศึกษาวิจัย

เป็นการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross Sectional Study) โดยการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุในช่วง 2 - 88 ปี จำนวน 1,176 ราย ระหว่างวันที่ 16-30 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 พร้อมทั้งสัมภาษณ์ข้อมูลปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้องด้วยแบบสอบถาม

(2) พื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3 แสดงพื้นที่การเก็บข้อมูล

3.2 กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาวิจัย

ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่รอบเขตประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำรอยต่อ 3 จังหวัดพิจิตร เพชรบูรณ์และพิษณุโลก โดยมีเกณฑ์คัดเข้าคือประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวอายุ 2 ปีขึ้นไป ที่ยินยอมเข้าร่วมโครงการโดยสมัครใจ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

(1) แบบสอบถาม ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป เช่น อายุ เพศ ฯลฯ ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพ เช่น การสูบบุหรี่ การรับประทานอาหาร ฯลฯ และส่วนที่ 3 ข้อมูลอาการทางสุขภาพและอื่น ๆ ผ่านการพิจารณาโดยคณะทำงานการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในพื้นที่ประกอบกิจการเหมืองแร่ทองคำ

(2) เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างชีวภาพ ได้แก่ ภาชนะเก็บตัวอย่างปัสสาวะเอนกประสงค์ขนาด 60 มิลลิลิตร หลอดเก็บตัวอย่างปัสสาวะชนิดโพลีเอทธิลีน ขนาด 10 มิลลิลิตร ผ่านการฆ่าเชื้อและแช่ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) 10% แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 - 4 ครั้ง หลอดเก็บตัวอย่างเลือดชนิด EDTA metal-free ขนาด 5 มิลลิลิตร

3.4 การตรวจสอบเครื่องมือ ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องมือแบบสอบถามผ่านการพิจารณาโดยคณะทำงานการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำ และการเก็บตัวอย่างชีวภาพดำเนินการโดยผู้ประกอบวิชาชีพควบคุม

3.5 ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1.การประชุมเพื่อจัดทำและพิจารณาแบบสอบถาม รวมถึงวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.ประชุมชี้แจงแนวทางการดำเนินการเก็บข้อมูลแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่รับทราบ

3.ลงพื้นที่เก็บข้อมูลตามแผนและแนวทางการดำเนินงานที่กำหนด ระหว่างวันที่ 16-31 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 โดยการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามและการเก็บตัวอย่างทางชีวภาพ

การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ทำการสอบถามประชาชนทีละข้อ โดยเจ้าหน้าที่สาธารณสุขที่ได้รับการชี้แจงแนวทางการสอบถามข้อมูล ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติพรรณนา ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์

การเก็บตัวอย่างทางชีวภาพ โดยการการเก็บตัวอย่างปัสสาวะ เก็บแบบ spot urine โดยให้ประชาชนเก็บปัสสาวะด้วยตนเอง (โดยคำแนะนำวิธีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากเจ้าหน้าที่) ใส่ในภาชนะพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร หลังจากนั้นแบ่งตัวอย่างปัสสาวะด้วยไซลิ้งค์ ใส่ในหลอดเซนติฟิวส์และหลอดพลาสติกหลอดละ 10 มิลลิลิตร และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส โดยหลอดเก็บตัวอย่างที่ 1 ส่งตรวจวิเคราะห์หาครีเอตินินท์ในปัสสาวะ ภายใน 24 ชั่วโมงหลังเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างเลือด โดยเก็บตัวอย่างเลือดผ่านเส้นเลือดดำที่แขนโดยนักเทคนิคการแพทย์และพยาบาล

วิชาชีพในพื้นที่ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเก็บตัวอย่างเลือดชนิด EDTA (จุกสีม่วง) ทำการเขย่าเลือดให้ผสมกับสารในหลอดเก็บตัวอย่าง และเก็บในถังเย็นที่อุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส

4.การทำวิเคราะห์ตัวอย่างชีวภาพและลงข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์

5.การประชุมหารือเพื่อชี้แจงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างชีวภาพและการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นแก่คณะทำงานด้านการเฝ้าระวังสุขภาพประชาชนในพื้นที่ศักยภาพแร่ทองคำ

6.ทำการจัดประชุมคืนข้อมูลการตรวจเฝ้าระวังสุชภาพแก่ประชาชนรับทราบ

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางห้องปฏิบัติการ

สำหรับครีเอตินีนในปัสสาวะวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Clinical Chemistry Analyzer ไธโอไซยาเนตในปัสสาวะ ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometry สารหนูในปัสสาวะวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) แมงกานีสในเลือดวิเคราะด้วยเครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าเฉลี่เรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์

2. การเปรียบเทียบระดับดัชนีชีวภาพของพื้นที่ศึกษากับค่าอ้างอิง

3. การวิเคราะห์ข้อมูลหาความความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างปัจจัยต่างๆ

4. วิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารหนูและไธโอไซยาเนตในปัสสาวะและระดับแมงกานีสในเลือด โดยใช้สถิติ t-test และหาความสัมพันธ์ของระดับโลหะหนักและไซยาไนด์กับปัจจัยที่อาจเกี่ยวข้อง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งเป็น

4.1 คุณลักษณะประชากร

4.2 ระดับสารหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะและแมงกานีสในเลือดเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

4.3 ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตและเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของสารหนูในปัสสาวะแยกตามเพศ อายุ

4.4 ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะแยกตามเพศ อายุ

4.5 ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือดแยกตามเพศ อายุ

4.1 คุณลักษณะประชากร

มีผู้เข้าร่วมโครงการ 1,176 รายที่สามารถเก็บตัวอย่างปัสสาวะ สำหรับตรวจวิเคราะห์สารหนูและไทโอไซยาเนต และมีจำนวน 1,169 ราย สามารถเก็บตัวอย่างเลือดสำหรับตรวจแมงกานีสในเลือด มีอายุระหว่าง 2 - 88 ปี โดยคิดเป็นเป็นเพศชาย 463 ราย (39.37%) เพศหญิง 713 ราย (60.63%) มีอายุต่ำกว่า 20 ปี 195 ราย (16.58%) อายุมากกว่า 20 ปี 981 ราย (83.42%) เป็นผู้สูบบุหรี่ 550 ราย (46.89%) ไม่สูบบหรี่ 623 ราย (53.11%) เป็นผู้รับประทานอาหารทะเล 688 ราย (60.39%) ไม่รับประทานอาหารทะเล 453 ราย (39.70%) เป็นผู้รับประทานหน่อไม้ 612 ราย (52.30%) ไม่รับประทานหน่อไม้ ไม่รับประทานหน่อไม้ 559 ราย (47.70%) เป็นผู้ดื่มนมวัว 332 ราย (28.50%) ไม่ดื่มนมวัว 833 ราย (71.50%)

ตารางที่ 3 คุณลักษณะประชากร

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง (ร้อยละ)
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	1,176
เพศ	
ชาย	463 (39.37)
หญิง	713 (60.63)
อายุ	
≤20	195 (16.58)
>20	981 (83.42)

ตารางที่ 3 คุณลักษณะประชากร (ต่อ)

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง (ร้อยละ)
การสูบหรี่	
สูบ	550 (46.89)
ไม่สูบ	623 (53.11)
อาหารทะเล	
รับประทาน	688 (60.39)
ไม่รับประทาน	453 (39.70)
หน่อไม้	
รับประทาน	612 (52.30)
ไม่รับประทาน	559 (47.70)
การดื่มนมวัว	
ดื่ม	332 (28.50)
ไม่ดื่ม	833 (71.50)

4.2. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของสารหนูในปัสสาวะแยกตามเพศ อายุ

ตารางที่ 4 แสดงระดับสารหนูในปัสสาวะที่แตกต่างกันของอายุ เพศ สถานะการสูบบุหรี่ และสถานะการบริโภคอาหารทะเล โดยพบว่าความระดับของสารหนูเฉลี่ยในผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปีสูงกว่าผู้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปีอย่างมีนัยสำคัญ (59.87 และ 49.87 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน, $p< 0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างของระดับสารหนูระหว่างเพศชายและเพศหญิง (51.06 และ 51.29) ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน $p= 0.918$) ในผู้ที่สูบบุหรี่และผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ (49.53 และ52.66 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน $p= 0.154$) ในผู้ที่รับประทานอาหารทะเลและผู้ที่ไม่รับประทานอาหารทะเล (52.61 และ 49.10 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน, $p =0.119$) เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยของสารหนูในปัสสาวะชายและหญิงกับค่าอ้างอิงของคนในภาคเหนือของประเทศไทย ในเพศชายและเพศหญิงเท่ากับ 48.29 และ 58.93 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีนพบว่าพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่า (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข, 2563)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของสารหนูในปัสสาวะ

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง	AM (95%CI)	GM	Percentile				*p* Value
				50th	75th	90th	95th	
ทั้งหมด[(a)]	1176	51.20 (48.32 -53.25)	42.24	41.79	62.16	88.62	117.08	
เพศ								
ชาย	463	51.06(46.68-54.53)	41.28	40.57	62.56	91.04	128.42	0.918
หญิง	713	51.29(47.74-54.07)	42.87	42.71	61.91	86.81	116.1	
อายุ *[(b)]								
≤20	195	59.87 (51.17-61.98)	49.34	48.8	73.36	113.51	150.22	0.001
>20	981	49.87 (46.90-51.56)	40.95	40.8	59.95	83.71	109.69	
การสูบหรี่								
สูบ	550	49.53 (45.31-53.10)	40.10	39.32	56.79	83.79	118.55	0.154
ไม่สูบ	623	52.66 (48.86-55.19)	44.18	44.99	65.76	91.61	116.47	
อาหารทะเล								
รับประทาน	688	52.61 (48.55-55.10)	43.35	42.46	63.6	93.46	123.79	0.119
ไม่รับประทาน	453	49.10 (45.64-53.47)	40.63	40.8	59.4	83.98	107.99	
หน่อไม้								
รับประทาน	612	49.11 (45.75 - 53.48)	41.25	40.40	59.18	81.97	110.33	0.061
ไม่รับประทาน	559	52.89 (48.83 - 55.78)	43.10	42.78	64.8	91.87	115.69	
การดื่มนมวัว								
ดื่ม	332	51.14 (46.87-51.95)	42.26	41.84	64.78	91.81	115.61	0.202
ไม่ดื่ม	833	48.22 (43.69 - 50.95)	40.06	41.15	59.91	85.60	111.75	

หมายเหตุ AM:ค่าเฉลี่ย GM:ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

(a) หมายถึง หน่วยค่าการวิเคราะห์ µg/g creatinine

(b) ใช้ T- test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย * $p < 0.05$

4.3. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะแยกตามเพศอายุ

ตารางที่ 5 แสดงระดับไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ พบว่าระดับไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ ไม่มีความแตกต่างในเพศชายและเพศหญิง (12.62 และ 13.38 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน, p=0.286) ในผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปีและมากกว่า 20 ปี (12.74 เทียบกับ 13.15 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน p=0.613) และในผู้ที่รับประทานและไม่รับประทานอาหารที่มีไซยาไนด์ (12.82 และ 13.43 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน, p= 0.381) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่และผู้ที่สูบบุหรี่ (14.74 และ 11.22 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน, p= 0.000) เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ค่าอ้างอิงคือ 2.5 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน (Curtis D. K., 1995) พบว่าในพื้นที่ศึกษาสูงกว่าค่าอ้างอิง

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง	AM (95%CI)	GM	Percentile				*p* Value
				50th	75th	90th	95th	
ทั้งหมด [(a)]	1176	15.59(14.88-16.29)	9.27	12.60	18.10	22.81	27.20	
เพศ								
ชาย	463	12.62 (14.06-16.12)	9.20	11.30	17.20	23.10	27.78	0.286
หญิง	713	13.38 (14.98-16.92)	9.31	11.60	16.85	24.76	33.09	
อายุ								
≤20	195	12.74 (14.33-15.41)	10.04	11.40	15.70	21.48	24.80	0.613
>20	981	13.15 (15.12-16.88)	9.12	11.50	17.20	24.5	32.9	
การสูบหรี่ *[(b)]								
สูบ	550	11.22 (13.27-14.97)	7.98	10.20	14.70	20.39	26.14	0.000
ไม่สูบ	623	14.74 (15.68-17.81)	10.57	12.50	18.70	26.42	34.54	
หน่อไม้								
รับประทาน	612	12.82 (14.51-16.65)	8.89	10.09	16.27	24.04	30.05	0.381
ไม่รับประทาน	559	13.43 (14.69-16.54)	9.27	11.50	17.00	24.13	31.06	

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ(ต่อ)

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง	AM (95%CI)	GM	Percentile				*p* Value
				50th	75th	90th	95th	
อาหารทะเล								
รับประทาน	688	12.18 (11.37-13.01)	8.73	11.00	16.07	21.20	26.93	0.620
ไม่รับประทาน	453	12.51(11.52- 13.48)	9.11	11.20	16.05	21.00	25.96	
การดื่มนม								
ดื่ม	332	11.78 (10.74 -12.77)	8.82	11.10	15.70	20.88	24.48	0.235
ไม่ดื่ม	833	12.56(11.73-13.30)	8.87	11.10	16.50	21.32	27.08	

หมายเหตุ AM:ค่าเฉลี่ย GM:ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

(a) หมายถึง หน่วยค่าการวิเคราะห์ µg/g creatinine

(b) ใช้ T- test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย * $p < 0.05$

4.4. ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือดแยกตามเพศ อายุ สถานะการสูบบุหรี่และการดื่มนมวัว

ตารางที่ 6 แสดงระดับแมงกานีสในเลือดตามปัจจัยที่แตกต่างกันโดยพบว่าระดับแมงกานีสในเลือดในเพศหญิงสูงกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (8.81 และ 8.10 ไมโครกรัม/ลิตร,$p<0.01$) ในผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปี สูงกว่าผู้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปี (10.84 ไมโครกรัม/ลิตรและ 8.08 ไมโครกรัม/ลิตร, $p<0.01$) และผู้ที่ไม่สูบบุหรี่สูงกว่าในผู้สูบบุหรี่ (8.78 และ 8.23 ไมโครกรัม/ลิตร, $p<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในคนที่ดื่มนมวัวและไม่ดื่มนมวัว (8.72 และ 8.36 ไมโครกรัม/ลิตร, $p=0.230$)

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือด

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง	AM (95%CI)	GM	Percentile				*p* Value
				50th	75th	90th	95th	
ทั้งหมด [(a)]	1169	8.53 (8.29-8.77)	7.50	8.10	10.50	13.30	16.00	
เพศ *[(b)]								
ชาย	459	8.10 (7.75 - 8.45)	7.13	7.70	10.1	13	14.7	0.005
หญิง	710	8.81 (8.49 - 9.13)	7.74	8.30	10.7	13.88	16.5	

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย (AM) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (GM) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ ของแมงกานีสในเลือด(ต่อ)

รายละเอียด	จำนวนตัวอย่าง	AM (95%CI)	GM	Percentile				*p* Value
				50th	75th	90th	95th	
อายุ *(b)								
≤20	192	10.84 (10.20 - 11.48)	9.96	9.95	13.1	16.40	18.40	0.000
>20	977	8.08 (7.83 - 8.33)	7.09	7.70	10.05	12.60	14.70	
การสูบหรี่ *(b)								
สูบ	547	8.23 (7.88 - 8.58)	7.15	7.70	10.20	13.10	16.40	0.025
ไม่สูบ	619	8.78 (8.46 - 9.10)	7.80	8.30	10.80	13.30	15.60	
การดื่มนมวัว								
ดื่ม	317	8.72 (8.20 - 9.24)	7.45	8.20	10.95	14.16	16.71	0.230
ไม่ดื่ม	816	8.36 (8.10 - 8.62)	7.46	8.10	10.20	12.90	14.71	
อาหารทะเล								
รับประทาน	681	8.19 (7.99 - 8.57)	7.10	8.00	10.50	12.61	15.51	0.636
ไม่รับประทาน	449	8.31(8.04 - 8.83)	7.10	8.10	10.62	14.02	17.00	
หน่อไม้								
รับประทาน	607	8.1(7.80 - 8.45)	6.90	7.80	10.20	12.50	16.30	0.120
ไม่รับประทาน	554	8.48 (8.18 - 8.84)	7.30	8.20	10.72	12.80	15.80	

หมายเหตุ AM:ค่าเฉลี่ย GM:ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

(a) หมายถึง หน่วยค่าการวิเคราะห์ µg/g creatinine

(b) ใช้ T- test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย * $p < 0.05$

บทที่ 5 สรุป

สรุปผลการศึกษา อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ระดับสารหนูและไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในพื้นที่ศึกษาสูงกว่าค่าอ้างอิง ระดับไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่มีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงมากซึ่งสามารถคาดการณ์ในเบื้องต้นได้ว่าเส้นทางการสัมผัสเกิดจากมลพิษทางอากาศโดยพิจารณาจากผลการศึกษาที่พบว่าระดับไทโอไซยาเนตในผู้ที่รับประทานและไม่รับทานอาหารที่อาจมีไซยาไนด์ไม่มีความแตกต่างกันรวมทั้งในน้ำประปาที่ประชาชนใช้ในการอุปโภคบริโภคพบว่าไม่มีการปนเปื้อนไซยาไนด์ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ชัดเจนถึงสาเหตุของการสัมผัสไซยาไนด์จากมลพิษทางอากาศที่แน่นอนเพราะสิ่งนี้อาจเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขในคนไทยทีมีพื้นฐานและลักษณะวิถีชีวิตแบบเดียวกันด้วย

5.2 อภิปรายผล

ระดับสารหนูในปัสสาวะ

ค่าเฉลี่ยของสารหนูในปัสสาวะในเพศชายเท่ากับ 50.61 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน ในเพศหญิงเท่ากับ 50.91 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในประชาชนพื้นที่ภาคเหนือพบว่าในพื้นที่ศึกษาค่าเฉลี่ยสารหนูในสูงกว่ากว่าในพื้นที่ภาคเหนือแต่หากเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ซึ่งค่าเฉลี่ยในเพศชายเท่ากับ 91.6 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน ในเพศหญิงเท่ากับ 90.8 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีนพบว่าในพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ามาก ปัจจัยหนึ่งที่อาจมีผลต่อระดับสารหนูในปัสสาวะที่ทำให้พื้นที่ภาคใต้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่ามากคือการรับทานอาหารทะเล (WHO,2018) แต่ในการศึกษานี้พบว่าค่าเฉลี่ยของสารหนูของผู้ที่รับประทานอาหารทะเลสูงกว่าผู้ที่ไม่รับประทานอาหารทะเลเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในผู้ที่รับประทานอาหารทะเลมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 51.83 ไมโครกรัมต่อกรัมครีเอตินีน และผู้ไม่รับประทานอาหารทะเลมีค่าลี่ยเท่ากับ 49.55 ไมโครกรัม/กรัมครีเอตินีน อาจเนื่องมาจากในพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ไม่ติดทะเลการรับประทานอาหารทะเลในที่นี้อาจรับประทานทานเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ มีข้อสังเกตุจากการศึกษานี้ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของสารหนูในผู้ที่มีอายุเท่ากับหรือต่ำกว่า 20 ปีมีระดับสารหนูที่สูงกว่าในผู้ทีมีอายุมากกว่า 20 ปี แต่ค่าอ้างอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นการศึกษาในผู้ที่มีอายุระหว่าง 20 -70 ปีดังนั้นค่าอ้างอิงที่ใช้อาจไม่เหมาะสม

ไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ

โดยทั่วไปปริมาณไทโอไซยาเนตจะสัมพันธ์กับการสูบบุหรี่ (Narkowicz S et al., 2018) แต่ในการศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ของการสูบบุหรี่กับปริมาณไทโอไซยาเนตซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่นข้อมูลที่ตอบในแบบสัมภาษณ์อาจไม่ตรงกับความเป็นจริงทั้งหมด ประกอบกับวิถีชีวิตของคนในพื้นที่ศึกษาถึงแม้ไม่สูบบุหรี่แต่ก็มีการสัมผัสควันไฟจากแหล่งอื่นๆเช่นการเผาพืชผลทางการเกษตรที่มีการเผาทั่วบริเวณ การใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร เป็นต้น

ระดับแมงกานีสในเลือด

การศึกษานี้พบว่าในเพศหญิงมีระดับแมงกานีสสูงกว่าในเพศชาย ในเด็กมีระดับแมงกานีสสูงกว่าในผู้ใหญ่ และมีการศึกษาอื่นๆที่พบว่าระดับแมงกานีสในเลือดในเพศหญิงสูงกว่าเพศชายและในเด็กสูงกว่าในผู้ใหญ่ในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก

5.3.ข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

หากพบว่าสารหนูมีการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหารและประชาชนมีการสัมผัสควรเฝ้าระวังสุขภาพโดยการตรวจร่างกาย หรือเฝ้าระวังสารหนูอนินทรีย์แทนการเฝ้าระวังสารหนูรวมแต่การเฝ้าระวังสารหนูอนินทรีย์มีข้อจำกัดคือค่าใช้จ่ายในการตรวจวิเคราะห์สูง ส่วนการเฝ้าระวังสารหนูรวมนำมาแปลผลในการประเมินการสัมผัสได้ยากเนื่องจากการรับสัมผัสสารหนูอินทีย์มาจากหลายแหล่งในการใช้ชีวิตประจำวันเช่นการรับทานอาหารทะเล กะปิ น้ำปลา เป็นต้น และไม่มีการกำหนดว่าสัมผัสระดับใดถึงจะเกินค่าความปลอดภัยสำหรับประชาชน การเฝ้าระแมงกานีสในเลือดก็ทำนองเดียวกันเนื่องจากแมงกานีสเป็นสารที่จำเป็นและมีอยู่ในร่างกายและมีปัจจัยการสัมผัสที่หลากหลายในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะจากอาหารต่างๆ และไม่ได้มีการกำหนดว่าระดับใดเกินค่าความปลอดภัยในประชาชน ผลการเฝ้าระวังทั้งสารหนูในปัสสาวะและแมงกานีสในเลือด อาจนำมาใช้ในการบ่งชี้หรือแปลผลเชื่อมโยงว่ามีการสัมผัสจากมลพิษสิ่งแวดล้อมไม่ได้ประกอบกับการแปลผลเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงก็อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากในพื้นที่อื่นๆหรือประเทศอื่นๆมีปัจจัยของการสัมผัสที่แตกต่างกัน

การค้นพบที่สำคัญในการศึกานี้คือระดับไทโอไซยาเนตในปัสสาวะในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่มีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงมาก ซึ่งสมารถคาดการในเบื้องต้นได้ว่าเส้นทางการสัมผัสเกิดจากมลพิษทางอากาศโดยพิจารณาจากผลการศึกษาที่พบว่าระดับไทโอไซยาเนตในผู้ที่รับประทานและไม่รับประทานอาหารที่อาจมีไซยาไนด์ไม่มีความแตกต่างกันรวมทั้งในน้ำประปาที่ประชาชนใช้ในการบริโภคมพบว่าไม่มีการปนเปื้อนไซยาไนด์

5.4.ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

กรณีที่พบว่าระดับไทโอไซยาเนตในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ในพื้นที่ศึกษาสูงกว่าค่าอ้างอิงมา ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ชัดเจนถึงสาเหตุของการสัมผัสไซยาไนด์จากมลพิษทางอากาศที่แน่นอนว่าแหล่งของการสัมผัสเกิดจากแหล่งไหนเพื่อจะได้จัดทำมาตรการในการป้องกันและแก้ไขการสัมผัส เพราะสิ่งนี้อาจเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขในคนไทยทีมีพื้นฐานและลักษณะวิถีชีวิตแบบเดียวกัน

บรรณานุกรม

1 กระทรวงสาธารณสุข ก. (2558). เอกสารประกอบการประชุมคณะทำงานตรวจสอบและแก้ไขปัญหาผลกระทบด้านสุขภาพของประชาชนวันที่ 21-22 ธันวาคม 2558. เอกสารนำเสนอ.

2 กรมโรงงานอุตสาหกรรม. การประเมินความเสี่ยงสารเคมี.2557 http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2014/10/how_to_interact_w_chemical_Thai-published-version.p

3 กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค.แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงกรณีเหมืองแร่ทองคำ.255

4 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ความรู้พื้นฐานและพิษวิทยาของแมงกานีส. [อินเตอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://cuir.car.chula.ac.th/dspace/bitstream/123456789/33263/5/Pornthip_dh_ch3.pd

5 ณราวดี ชินราช. สถานการณ์การปนเปื้อนและผลกระทบเหมืองแร่ทองคำ.การประชุมเรื่องผลกระทบสุขภาพจากมลพิษสิ่งแวดล้อม. คณะแพทย์ศาสตร์. โรงพยาบาลรามาธิบดี. 2558. [อินเตอร์เน็ตt]. เข้าถึงได้จาก: https://www.slideshare.net/bankrama/ss-47325263

6 นิภา มหรัชพงศ์. การบำบัดน้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนจากอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2540.

7 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข.ข้อมูลพื้นฐานการศึกษาระดับตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนูในประชากรไทย. 2563. [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: http://nih.dmsc.moph.go.th/login/showimgdetil.php?id=1142

8 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.). (2555). แหล่งทองในประเทศไทย การเกิดแหล่งแร่ทอง และการทำเหมืองแร่ทอง. [อินเทอร์เน็ต]. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2563. สืบค้นจาก http://fieldtrip.ipst.ac.th

9 อารี สุวรรณมณี. การแพร่กระจายของสารหนูในสภาพแวดล้อม อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2534.

10 Agency for toxic substances and diseases registry. Toxicological profile for anganese; potential for human exposure [Internet]. [cited 2021 Jul 15]. 2014. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151-c6.pdf

11 Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) H service. Toxicological Profile for Cyanide. ATSDR's Toxicol Profiles [Internet]. [cited 2020 May 25]. 2002;(July).Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp8.pdf

12 Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) H service. Toxicological Profile for Manganese. ATSDR's Toxicol Profiles [Internet]. [cited 2021 Feb 14]. 2012. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158871/

13 Bocca B, Madeddu R, Asara Y, Tolu P, Marchal JA, Forte G. Assessment of reference ranges for blood Cu, Mn, Se and Zn in a selected Italian population. J Trace Elem Med Biol [Internet]. [cited 2020 Dec 30]. 2011;25(1):19–26. Available from:http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2010.12.004

14 Buratti M, Xaiz D, Caravelli G, Colombi A. Validation of urinary thiocyanate as a biomarker of tobacco smoking. Biomarkers. 1997;2(2):81–5.

15 Cockell KA, Bonacci G, Belonje B. Manganese Content of Soy or Rice Beverages is High in Comparison to Infant Formulas. J Am Coll Nutr. 2004;23(2):124–30.

16 Curtis D. K. Casarett & Doull' s Toxicology, the Basic Science of Poisons (5th) Fifth Edition. Book. 1995;1:997–1006.

17 Dörner K, Dziadzka S, Höhn A, Sievers E, Oldigs H-D, Schulz-Lell G, et al. Longitudinal manganese and copper balances in young infants and preterm infants fed on breast-milk and adapted cow's milkformulas. Br J Nutr. 1989;61(3):559–72

18 Finley JW, Johnson PE, Johnson LAK. Sex affects manganese absorption and retention by humans from a diet adequate in manganese. Am J Clin Nutr. 1994;60(6):949–55.

19 Greger JL. Dietary standards for manganese: overlap between nutritional and toxicological studies. J Nutr. 1998;128(2 Suppl):368S–71S. [PubMed: 9478027] [Internet]. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9478027/

20 Gunshin H, Yoshikawa M, Doudou T, Kato N. Trace elements in human milk, cow's milk, and infant formula. Agric Biol Chem. 1985;49(1):21–6.

21 Hatano S, Nishi Y, Usui T. Erythrocyte manganese concentration in healthy Japanese children, adults, and the elderly, and in cord blood. Am J Clin Nutr. 1983;37(3):457–60.

22 International Agency for Research on Cancer. Summaries & evaluations: Arsenic and arsenic compounds (Group 1) [Internet]. [cited 2021 Jun 9]. Available from: http://www.inchem.org/documents/iarc/suppl7/arsenic.html

23 Kissani N, Naji Y, Mebrouk Y, Chraa M, Ghanima A. Parkinsonism and chronic manganese exposure: Pilot study with clinical, environmental and experimental evidence. Clin Park Relat Disord [Internet]. [cited 2021 Feb 14]. 2020;3:100057. Available from: https://doi.org/10.1016/j.prdoa.2020.100057

24 Lee JW, Lee CK, Moon CS, Choi IJ, Lee KJ, Yi SM, et al. Korea National Survey for Environmental Pollutants in the Human Body 2008: Heavy metals in the blood or urine of the Korean population. Int J Hyg Environ Health [Internet]. [cited 2020 Dec 25]. 2012;215(4):449–57. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.01.002

25 Ljung K, Vahter M. Time to re-evaluate the guideline value for manganese in drinking water? Environ Health Perspect. 2007;115(11):1533–8.

26 Lombi E, Scheckel KG, Pallon J, Carey AM, Zhu YG, Meharg AA. Speciation and distribution of arsenic and localization of nutrients in rice grains. New Phytol. 2009;184(1):193–201. [Internet]. Available from: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es702212p

27 Narkowicz S, Jaszczak E, Polkowska Ż, Kiełbratowska B, Kotłowska A, Namieśnik J. Determination of thiocyanate as a biomarker of tobacco smoke constituents in selected biological materials of human origin. Biomed Chromatogr. 2018;32(3):1–8., Jaszczak E, Polkowska Ż, Kiełbratowska B, Kotłowska A, Namieśnik J. Determination of thiocyanate as a biomarker of tobacco smoke constituents in selected biological materials of human origin. Biomed Chromatogr. 2018;32(3):1–8.

28 National Academy of Sciences. Biomarkers of Arsenic Exposure [Internet]. [cited 2020 Nov 17]. Arsenic in Drinking Water. 1999. 177–186 p. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK230898/

29 Oulhote Y, Mergler D, Bouchard MF. Sex-and age-differences in blood manganese levels in the U.S. general population: National health and nutrition examination survey 2011- 2012. Environ Heal A Glob Access Sci Source. 2014;13(1):1–10.

30 Teaf CM, Covert DJ, Teaf PA, Page E, Starks MJ. Arsenic cleanup criteria for soils in the us and abroad: Comparing guidelines and understanding inconsistencies. Proc Annu Int Conf Soils, Sediments, Water Energy [Internet]. [cited 2021 Apr 16]. 2010;15(June):94–102.

31 Tholin K, Sandström B, Palm R, Hallmans G. Changes in Blood Manganese Levels During Pregnancy in Iron Supplemented and non Supplemented Women. Top Catal. 995;9(1):13–7.

32 US. Department of Health & Human Services. Manganese; Fact Sheet for Health Professionals. 2021. [Internet]. [cited 2021 Mar 5]. Available from: https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-HealthProfessional/

33 US. EPA G organization. Arsenic, Inorganic [Internet]. [cited 2021 Jan 20]. United States Environmental Protection Agency (US.EPA). 2010. Available from: https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=278

34 US.EPA G organization. Cyanide, free [Internet]. [cited 2020 May 29]. United States Environmental Protection Agency (US.EPA). 2010. Available from: https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=31

35 Wedle r FC, Denman RB. Glutamine synthetase: the major Mn (II) enzyme in mammalian brain. [Internet]. [cited 2021 Apr 16]. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-152824-9.50021-6

36 World Health Organization. Arsenic. [Internet]. [cited 2020 Feb 20]. 2018. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic

37 Zhang LL, Lu L, Pan YJ, Ding CG, Xu DY, Huang CF, et al. Baseline blood levels of manganese, lead, cadmium, copper, and zinc in residents of Beijing suburb. Environ Res [Internet]. [cited 2021 Jan 20]. 2015;140(September 2013):10–7. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.03.008

38 Zil-a-Rubab, Rahman MA. Serum thiocyanate levels in smokers, passive smokers and never smokers. J Pak Med Assoc. 2006;56(7):323–6.