

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในสถานการณ์ของโลกปัจจุบัน ความเจริญก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งได้ก่อให้เกิดปัญหาหามลพิษสิ่งแวดล้อมต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะปัญหาหามลพิษจากโลหะหนัก (heavy metals) ซึ่งแนวโน้มของการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีปริมาณสูงขึ้น เป็นผลให้มนุษย์และสัตว์ต้องเสี่ยงต่อการได้รับพิษภัยจากโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในระดับความเข้มข้นเกินกว่าสภาพความเป็นไปตามธรรมชาติมากยิ่งขึ้น หากปริมาณการสะสมนี้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานแล้ว จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคได้ดังเช่น กรณีการเกิดโรคมินามาตะและโรคอิไต-อิไตในคนญี่ปุ่นที่บริโภคปลาซึ่งมีปริมาณการสะสมของปรอทและแคดเมียมในระดับสูง เป็นต้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษของภาคใต้ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและเศรษฐกิจของชุมชน ที่พบได้บ่อย คือ ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษอันเกิดจากกากของเสียอันตรายจากการทำเหมืองแร่ดีบุก เช่น ปัญหาพิษตะกั่วเรื้อรังที่คั่นของแม่น้ำปัตตานี จังหวัดยะลา ปัญหาพิษสารหนูเรื้อรังที่อำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากมีโลหะพิษปนเปื้อนในสายแร่ดีบุก พลวงและซุลเฟรม เมื่อมีการทำเหมืองแร่ดีบุกที่มีการจัดการสิ่งแวดล้อมไม่ดี ทำให้โลหะพิษกระจายสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน ในแหล่งน้ำดื่มน้ำใช้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย

แม่น้ำตาปี-พุมดวง เป็นแม่น้ำสายสำคัญสายหนึ่งในภาคใต้ ประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำแห่งนี้ได้ใช้น้ำจากแม่น้ำตาปี-พุมดวงในการอุปโภคบริโภค ในบริเวณปากแม่น้ำตาปี-พุมดวงยังเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลเพื่อจำหน่าย โดยมีฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น หอยนางรม หอยแมลงภู่ กุ้งกุลาดำ ปลากระพง เป็นต้น

จากการเฝ้าระวังทางด้านสิ่งแวดล้อม ในระหว่างปี 2527-2531 กระทรวงสาธารณสุขได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณปากแม่น้ำสำคัญ 22 สาย ที่มีการปล่อยโลหะหนักลงสู่อ่าวไทยและนำความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของแต่ละแม่น้ำในช่วงเวลาเดียวกันมาคำนวณหาปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ถูกปล่อยลงสู่อ่าวไทยในแต่ละปี พบว่าปริมาณเฉลี่ยของตะกั่วและแคดเมียมที่มีการปล่อยจากแม่น้ำตาปี-พุมดวง มีค่าสูงสุด รายละเอียดแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณของตะกั่วและแคดเมียมที่มีการปล่อยจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ลงสู่อ่าวไทย

ปริมาณตะกั่ว (ตัน/ปี)		ปริมาณแคดเมียม (ตัน/ปี)	
แม่น้ำตาปี-พุมดวง	566.3	แม่น้ำตาปี-พุมดวง	90
แม่น้ำแม่กลอง	405.3	แม่น้ำเจ้าพระยา	41.3
แม่น้ำเจ้าพระยา	393.4	แม่น้ำโกลก	31.4
แม่น้ำปัตตานี	265.4	แม่น้ำบางปะกง	27.3
แม่น้ำบางปะกง	219.8		

ที่มา : นิตยา มหาผลและคณะ (2532)

นอกจากนี้จากการเฝ้าระวังโดยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำตาปี-พุมดวงของศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 11 และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าปริมาณตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี ส่วนปริมาณแคดเมียมมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงต่ำไม่มากนัก รายละเอียดแสดงในตาราง 2 และ 3

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำตาปี-พุมดวง พ.ศ. 2542-2544

พารามิเตอร์	2542	2543	2544
pH	6.5-7.5	6.6-7.5	6.5-7.2
Lead (mg/L)	0.008-0.03	0.05-0.09	0.09-0.15
Cadmium (mg/L)	0.003	0.004-0.006	0.004-0.009

ที่มา : ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อม เขต 11 จังหวัดสุราษฎร์ธานี (2542-2544)

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำตาปี-พุมดวง พ.ศ. 2540-2543

พารามิเตอร์	2540	2541	2542	2543
Temperature (C°)	27-28.4	26-27.8	27.2	25.7-27.4
pH	6.3-8.0	6.04-6.62	6.7	6.52
Lead (mg/L)	0.004-0.008	<0.0001-0.009	<0.001	0.001-0.92
Cadmium (mg/L)	<0.0005-0.0067	<0.0005-0.001	N/A	<0.0005-0.0046

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (2540-2543)

N/A = ไม่ได้ตรวจ

เนื่องจากโลหะหนักสามารถเคลื่อนย้ายระหว่างสภาวะ (phase) ได้ กล่าวคือ อาจอยู่ในสภาวะที่เป็นสารละลาย สภาวะที่เป็นสารแขวนลอยและสภาวะที่เป็นตะกอนท้องน้ำ (Elder, J.F., 1988) ในสภาวะที่เป็นตะกอนท้องน้ำโลหะหนักบางรูปแบบก็สามารถดูดซับกับตะกอนอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ บางรูปแบบสามารถถูกดูดซับเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้น้ำได้ ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในตะกอนดินควรรวมการศึกษาว่าตะกั่วและแคดเมียมเหล่านั้นอยู่ในรูปแบบใดด้วยเพื่อบอกความสามารถในการแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิต (bioavailability) ได้ และอาจจะบอกแหล่งที่มาของโลหะหนักนั้นได้ด้วย แหล่งที่มาของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมอาจมาจากแหล่งที่แน่นอน (point source) เช่น กากของเสียจากอุตสาหกรรม (industrial discharge) การทำเหมืองแร่ (mining activities) ดินหรือหินที่มีโลหะหนักสูงผิดปกติ (geochemical origin) หรืออาจมาจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะกระจาย (non-point source) โลหะหนักบริเวณใกล้ๆ กับ point source ที่เป็นแหล่งแร่จะอยู่ในรูปของ residual form กล่าวคือ ยังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เนื่องจากเพิ่งถูกเคลื่อนย้ายจากแหล่งกำเนิดใหม่ๆ ถ้าในน้ำมีคาร์บอนเนตมาก โลหะหนักโดยเฉพาะตะกั่วจะอยู่ในรูปของ carbonate form เมื่อตะกอนเคลื่อนย้ายไกลออกไปจากแหล่งกำเนิด รูปแบบจะเปลี่ยนไปเป็น iron and manganese oxide , organic form และ ionic form ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะทางเคมีของน้ำในแม่น้ำ ส่วนโลหะหนักจากชุมชน อุตสาหกรรมและการเกษตร จะอยู่ในรูปของ organic form และ exchangeable ion form โลหะหนักจาก non-point source จะอยู่ในรูปของ exchangeable ion form เป็นส่วนมากและอาจอยู่ในรูปของ organic form ได้ ถ้ามีสารอินทรีย์มากพอในสิ่งแวดล้อมนั้น

การศึกษาเพื่อหารูปแบบทางเคมีของโลหะหนักทำได้โดยวิธีการสกัดตัวอย่างแบบแยกลำดับส่วน (sequential extraction) (Tessier, Campbell and Bisson, 1979: 844-850; Clevenger, 1990: 241-252 และ Lim, 1983) และวิเคราะห์หาปริมาณของแต่ละส่วนด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี แบบกราไฟต์ เฟอ์เนส (graphite furnace atomic absorption spectroscopy, GFAAS) ซึ่งจะทำให้ทราบสัดส่วนของรูปแบบทางเคมีต่างๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและจัดการป้องกันแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพต่อไป

การตรวจเอกสาร

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ สาเหตุที่เกิดโดยธรรมชาติ(natural)ประการหนึ่ง อีกประการหนึ่งเกิดจากการกระทำของมนุษย์(anthropogenic) สาเหตุที่เกิดโดยธรรมชาตินั้นคือการกัดเซาะ การชะล้างพังทลายของเปลือกโลกที่มีแร่ธาตุของโลหะหนักปนอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปโลหะหนักจะอยู่ในสภาวะที่สมดุล ส่วนสาเหตุจากการกระทำของมนุษย์นั้นมาจากการนำโลหะหนักมาใช้ประโยชน์และเกิดการเสียสมดุลทางธรรมชาติจนเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม การทำเหมืองแร่ทำให้โลหะหนักที่อยู่ในสมดุลธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป (Elder, 1988: 3) เช่น ผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ-ยูเรเนียม ในแอฟริกา พบโลหะหนักปนเปื้อนหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น (Wittman et al., 1977: 543-546) การทำเหมืองแร่ตะกั่ว ที่ปล่อยของเสียลงสู่ทะเลสาบบริติส โคลัมเบีย (British Columbia) ทำให้ปริมาณโลหะหนักเพิ่มขึ้นมากมาตลอดช่วงระยะเวลา 18 ปีของการดำเนินกิจการทำเหมืองส่งผลให้เฟอริไฟตอน (periphyton) และไฟโตแพลงตอน (phytoplankton) ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้การทำเหมืองแร่ดังกล่าวยังลดความหลากหลายทางชีวภาพ (species diversity) ลงด้วย (Austin, Deniseger and Clark, 229-308) การทำเหมืองแร่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีของโลหะหนักและการปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำทำให้สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงของพีเอช และการเพิ่มของสารอินทรีย์ พบว่าการเพิ่มของสารอินทรีย์และโลหะหนักจากเหมืองแร่เก่าทำให้โลหะหนักที่ท้ายน้ำสูงขึ้น (Elder, 1988)

สำหรับในภาคใต้ของประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาปริมาณโลหะหนักและรูปแบบทางเคมีของโลหะหนักในตะกอนธารน้ำจากการทำเหมืองแร่ตะกั่วที่จังหวัดพัทลุง (อารมณห์ ชาวาลิต, 2534) ในตะกอนลุ่มน้ำปากพนังจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดนครศรีธรรมราช (วรพิณ วิทยวราวัฒน์, 2537)และในตะกอนธารน้ำแม่น้ำปัตตานีจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในจังหวัดยะลา (สุรพล อารีย์กุล และ กัลยาณี คุปตานนท์, 2536 และ เดโซ ตูเทพ, 2537)

ผลการศึกษาที่จังหวัดพัทลุง พบว่ารูปแบบทางเคมีของตะกั่วและแคดเมียมส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่(residual form)ซึ่งเป็นรูปแบบทางเคมีที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เกิดการสะสมในระบบนิเวศน์จนก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่นเดียวกับผลการศึกษาในลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ารูปแบบทางเคมีของตะกั่วที่มีปริมาณมากที่สุดคือรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่(residual form) ส่วนแคดเมียมมีปริมาณมากที่สุดในรูปแบบที่สามารถดูดซับกับคาร์บอเนต (carbonate form) และรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่ (residual form) ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ในแม่น้ำปัตตานีในจังหวัดยะลา พบว่า รูปแบบทางเคมีของตะกั่วในตะกอนของโรงกรองประปาเทศบาลเมืองปัตตานีและโรงกรองประปาเทศบาลเมืองยะลา มีมากที่สุดในรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่(residual form) ค่าตะกั่วที่วัดได้จากตะกอนโรงกรองประปาเทศบาลเมืองยะลา มีค่ามากกว่าปริมาณตะกั่วในตะกอนโรงกรองประปาเทศบาลเมืองปัตตานี รองลงมาคือรูปแบบที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (iron and manganese oxide form) รูปแบบที่อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ได้ (organic form) รูปแบบที่สามารถดูดซับกับคาร์บอเนต (carbonate form) และรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (exchangeable form) ตามลำดับ ส่วนแคดเมียมพบมากที่สุดในรูปแบบที่สามารถดูดซับกับคาร์บอเนต(carbonate form) โดยปริมาณที่วัดได้จากโรงกรองประปาเทศบาลเมืองยะลามีค่าใกล้เคียงกับปริมาณที่วัดได้จากโรงกรองประปาเทศบาลเมืองปัตตานี รองลงมาคือรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่(residual form) รูปแบบที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (iron and manganese oxide form) รูปแบบที่อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ (organic form) และรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ การพบตะกั่วมากที่สุดในรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่ บ่งชี้ได้ว่าแหล่งที่มาของตะกั่วน่าจะเกี่ยวกับแหล่งแร่ที่ต้นน้ำ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมไม่รุนแรง

Teraoka, H. and Nakashima, S. (1990) ได้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนแขวนลอยของโรงกรองประปาจำนวน 5 สถานีที่ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำในประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ leaching techniques ในการศึกษา รูปแบบทางเคมีของโลหะหนัก พบปริมาณแคดเมียมในรูปแบบที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (iron and manganese oxide form) ร้อยละ 61 ในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (exchangeable form) ร้อยละ 28 และรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่ (residual form) ระหว่าง 0.029-0.044 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งทั้ง 5 สถานีเก็บตัวอย่างมีปริมาณใกล้เคียงกัน ในส่วนของตะกั่วพบในรูปแบบที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ร้อยละ 74-92 ทั้ง 5 สถานี ส่วนรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่ (residual form) มีน้อยระหว่าง 4.9-9.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องให้ความสนใจและเฝ้าระวังติดตาม เพราะรูปแบบทางเคมีดังกล่าวสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย

น้ำในมหาสมุทรโดยทั่วไปมีแคดเมียมอยู่ระหว่าง 0.02-0.12 ไมโครกรัม/ลิตร การปนเปื้อนแคดเมียมพบทั้งในน้ำ สารแขวนลอย ตะกอนดินและสิ่งมีชีวิตในน้ำ บริเวณแหล่งอุตสาหกรรม การประมง และการท่องเที่ยว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับของเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนและมูลฝอยต่างๆ พบว่าแคดเมียมมีความเข้มข้นสูงบริเวณพื้นผิวของตะกอนดินซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Bruland, et al., 1979: 233)

สุชาติ ทิมกุล(2527) ได้ทำการสำรวจคุณภาพน้ำแม่น้ำตาปี-พุมดวง บริเวณที่มีชุมชนใหญ่ตั้งอยู่ 2 ชุมชน คือ เทศบาลเมืองสุราษฎร์ธานี และเทศบาลตำบลท่าข้าม นอกจากชุมชนทั้งสองแล้ว ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่อยู่อย่างหนาแน่นมากกว่าบริเวณอื่นๆ ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ประกอบกับลำน้ำช่วงนี้ ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล (Estuary reach) ตลอดปี โดยลักษณะทางอุทกศาสตร์แล้วลำน้ำช่วงนี้จะได้รับผลกระทบจากปัญหามลภาวะทางน้ำ อันเกิดจากน้ำทิ้งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมและพื้นที่เกษตรกรรมตอนบนรุนแรงที่สุด เพราะเป็นช่วงลำน้ำที่มีการสะสมของมลสารได้มาก ผลการศึกษาพบว่าตะกั่วมีการแพร่กระจายตลอดช่วงลำน้ำที่สำรวจ ในช่วงฤดูฝนพบว่าในขณะน้ำขึ้นตะกั่วมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในขณะน้ำลง แต่ช่วงปลายฤดูฝนพบว่าค่าตะกั่วในขณะน้ำลงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในขณะน้ำขึ้น ความเข้มข้นของตะกั่วที่ตรวจพบในช่วงปลายฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยทั้งน้ำขึ้นและน้ำลง 0.091 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยทั้งน้ำขึ้นและน้ำลง 0.225 ไมโครกรัม/ลิตร และในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยทั้งน้ำขึ้นน้ำลง 0.294 ไมโครกรัม/ลิตร

การติดตามคุณภาพน้ำในแม่น้ำตาปี - พุมดวงยังคงดำเนินการอยู่เป็นประจำทุกปี เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนัก แต่การศึกษารูปแบบทางเคมีของโลหะหนักมีความสำคัญเพราะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตและอาจบอกถึงแหล่งที่มาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนเหล่านั้นได้

1. รูปแบบทางเคมีของโลหะหนัก (Metal Speciation)

Metal speciation หมายถึง การกระจายของธาตุหรือสารประกอบใด ๆ ไปอยู่ในสภาวะทางเคมีต่าง ๆ เช่น สารละลาย สารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบอนินทรีย์โดยความเข้มข้นของธาตุ หรือสารประกอบที่กระจายออกไปทั้งหมด (species concentration) มีค่าเท่ากับความเข้มข้นรวมของธาตุนั้น (bulk concentration) (Salomons et al., 1988)

1.1. รูปแบบทางเคมีของโลหะในดินตะกอน (Metal Speciation in Sediment)

การศึกษา speciation ของโลหะในตะกอนธาธาธาได้มีการจำแนกเป็น 5 รูปแบบ กลุ่มที่ 1 รูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (Exchangeable form)

รูปแบบทางเคมีของโลหะกลุ่มนี้จะดูดซับกับดิน(clay) เป็นการเปลี่ยนไอออนทางกระบวนการเคมี ประจุลบใน clay จะจับกับประจุบวกของโลหะ ค่าประจุลบใน clay ขึ้นกับความเข้มข้นใน H^+ ในดิน โดยทั่วไปค่าประจุลบจะต่ำในดินกรดและสูงในสภาพที่มีความเป็นเบส จะทำให้ประจุลบเป็นกลางเมื่อมีประจุบวกของโลหะในสารละลาย และประจุบวกของโลหะหนึ่งจะถูก

แทนที่โดยประจุบวกของโลหะชนิดอื่นที่มี ionic potential สูงกว่า นั่นคือการเปลี่ยนแปลงของ ionic potential และ pH ของน้ำ จะมีผลต่อการ adsorb-absorb บนผิว clay

กลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ดูดซับอยู่กับคาร์บอเนต (Carbonate form)

โลหะในกลุ่มนี้จะอยู่ในตะกอนของคาร์บอเนต เช่น ตะกั่วคาร์บอเนต($PbCO_3$) และสังกะสีคาร์บอเนต ($ZnCO_3$) การเปลี่ยนแปลงของโลหะจะขึ้นกับค่า pH ของน้ำในดิน ตามสมการข้างล่าง



Me = a divalent metal

ปฏิกิริยาจะเกิดไปทางขวามือเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายของโลหะเพิ่มขึ้น

กลุ่มที่ 3 รูปแบบที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ (Iron and manganese oxide form)

โลหะที่ดูดซับกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ โดยที่ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีของโลหะในแหล่งน้ำมาก เนื่องจากพื้นผิวของเหล็กและแมงกานีสมีความสามารถในการดูดซับสูง อิทธิพลของพื้นผิวของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะมาก (Jenne, 1968) และพบว่าแมงกานีสออกไซด์มีประจุเป็นลบในสภาพน้ำที่ทิ้งไป เหล็กเป็นได้ทั้งบวกและลบ จึงดูดซับโลหะที่มีประจุบวกได้ (Stumm and Morgan, 1981) และพบว่าทองแดง โครเมียม โคบอลต์และนิกเกิล ถูกจับโดยเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณทั้งหมดของแม่น้ำอเมซอนและแม่น้ำยูคอน (Gibbs, 1973: 71-73)

กลุ่มที่ 4 รูปแบบที่อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ได้ (Organic form)

Trace metals อยู่ในสถานะสารอินทรีย์ได้หลายรูป สารอินทรีย์มีประจุลบคล้ายกับ clay minerals ประจุลบขึ้นอยู่ค่า pH ถ้าสถานะความเป็นกรดมาก H^+ จะเกาะตัวกับสารอินทรีย์ได้ดี และจะให้ประจุบวกตัวอื่นมาแทนที่ได้ยาก ในสถานะของน้ำทั่วไปสารอินทรีย์สามารถสลายตัวได้ภายใต้สภาวะ oxidizing จึงทำให้โลหะอยู่ในรูปของสารละลายได้

กลุ่มที่ 5 รูปแบบที่เป็นองค์ประกอบภายในผลึกแร่ (Residual form)

โลหะในรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบในผลึกแร่จะเป็นแร่ปฐมภูมิที่เป็นสารประกอบเหมือนกับแหล่งกำเนิด โดยที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีใด ๆ เช่น ตะกั่ว และสังกะสี อยู่ในรูป PbS และ ZnS แคลเซียมอาจจะเป็นของแข็ง(solid solution) ในผลึกแร่ (Zn, Cd) S สารหนูอาจอยู่ในรูป FeAsS เป็นต้น

1.2. การแยกตัวของโลหะในสถานะที่แตกต่างกัน (Partitioning of Metals among Different Phases)

การแยกตัว(Partitioning) หมายถึง กระบวนการที่ถูกกระทำโดยสารละลายหรือสารอื่น ๆ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายระหว่างสถานะ

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม สถานะต่างๆเปลี่ยนแปลงไป จุลินทรีย์ก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของโลหะ สถานะที่ละลายได้ (soluble phase) จะเกิดขึ้นภายใต้ค่าความเป็นกรดสูงและค่า Eh ต่ำ มีตะกอนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ดำ แต่มีสารละลายสารอินทรีย์สูงถ้าค่าความเป็นกรดลดลง ปริมาณอนุภาคเพิ่มขึ้น และระบบมีพลังงานพอที่จะทำให้เกิดการแขวนลอย การเปลี่ยนสถานะของโลหะจะเคลื่อนไปทางสถานะที่แขวนลอยได้ (suspended phase) ถ้าค่าความเป็นกรดลดลง ค่า Eh สูง และมีสารอินทรีย์ในตะกอนท้องน้ำ จะทำให้โลหะหนักไม่ละลาย และอยู่ในรูปของตะกอน(bottom sediment phase) หากปริมาณจุลินทรีย์(plankton และ nekton)สูง จุลินทรีย์จะทำให้โลหะอยู่ในสารละลายและสารแขวนลอยได้ แต่ถ้ามีสัตว์หน้าดิน (benthos) มาก จะทำให้เกิดตะกอนท้องน้ำ (bottom sediment) สูง

โลหะในสถานะสารละลาย จะเกิดสมดุลในขณะที่สภาพการละลายของโลหะมีความสัมพันธ์กับ ligand ปัจจัยที่ควบคุมสถานะนี้ คือ ความเป็นกรด-เบส Eh และอุณหภูมิ สภาวะของสารละลายเช่น อีออนอิสระ ซึ่งอยู่ในรูปที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ด้วย(hydrated form)

สูตรทั่วไป $M(H_2O)_nX^{n+}$; M = โลหะ, n = ionic charge

โลหะในสถานะตะกอนแขวนลอย จะเกิดร่วมกับสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือสิ่งมีชีวิตในน้ำ กลไกที่เกิดขึ้นในสถานะนี้ได้แก่ adsorption หรือการดูดซับที่ผิวของอนุภาคของแข็งที่จะเกิดการดึงดูระหว่างผิวของอนุภาคและอีออนที่ละลายในน้ำเป็นกลไกที่เกิดขึ้นกลับไปกลับมาได้(adsorption และ desorption) สำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำจะดูดเข้าสู่เซลล์

โลหะในสถานะตะกอนท้องน้ำ จะเกิดร่วมกับอนุภาคของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ กลไกการเกิดกับโลหะมีทั้ง adsorption และ desorption อนุภาคของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อาจอยู่ในรูปของสารแขวนลอย แต่โดยที่พืชและสัตว์หน้าดินมีชนิดและปริมาณมากกว่าผิวดิน ด้วยความหนาแน่นที่สูงจึงทำให้ตกตะกอนได้

1.3. อิทธิพลของสภาวะทางเคมี (Speciation) ของโลหะหนักต่อการเกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อม

การศึกษารูปแบบทางเคมีของโลหะหนัก(form of metal species)ในสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญมากกว่าการศึกษาความเข้มข้นของโลหะ(total concentration) เนื่องจากรูปแบบทางเคมี(chemical forms)ของโลหะหนักมีอิทธิพลต่อการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน (Sadler et al., 1985 ; Morrison et al.,1989) รูปแบบทางเคมีของโลหะหนักที่อยู่ในดินตะกอนและในน้ำทำให้เกิด

มลภาวะต่อสิ่งมีชีวิตแตกต่างกัน การทรานรูปร่างแบบทางเคมีของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมสามารถทำนายความสามารถของโลหะหนักที่เข้าไปปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตได้ (bioavailability) (Clevenger, 1990) การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์กลับกับความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างโลหะหนักและอนุภาค (metal-particulate binding) ในตะกอนดิน Jenne and Luoma (1977) พบว่าความแข็งแรงของการยึดเกาะของโลหะหนัก (bonding strength of metal) ในรูปแบบทางเคมีที่ต่างกันสามารถแยกออกจากกันได้โดยการแยกลำดับส่วน (sequential extraction technique) สารละลายในแต่ละส่วนที่แยกออกมาจากวิธีนี้บอกให้ทราบรูปแบบที่แตกต่างของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและความแตกต่างในการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต (Calmano and Forstner, 1983)

1.4 Eh. (Redox potential หรือ oxidation-reduction potential)

หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของอิเล็กตรอนของโลหะ มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของโลหะหนักเป็นอย่างมาก เพราะธาตุหลายชนิดมีวาเลนซ์มากกว่าหนึ่งตัวหรืออยู่ในรูปของ oxidation และธาตุในสารละลายหรือของแข็งจะเปลี่ยน oxidation state ไปอยู่อีกรูปหนึ่งเมื่อสภาวะเปลี่ยนแปลง เช่น เหล็กในแร่และในน้ำเป็น Fe^{2+} และ Fe^{3+} และ เป็นโลหะในรูป Fe การวัดความเข้มข้นของอิเล็กตรอนของโลหะ นิยมวัดกันในรูปของค่า Eh (โวลต์) โดยให้ค่า Eh สูงเป็นระบบ oxidizing และค่า Eh ต่ำเป็นระบบ reducing

pH หมายถึง ปริมาณค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในสารละลาย โลหะส่วนใหญ่จะละลายในสภาวะที่เป็นกรด และสามารถตกตะกอนในรูปของออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์โดยค่า pH ที่ทำให้ตกตะกอนมีค่าอยู่ในช่วงของความเป็นกลางของน้ำขึ้นไป ($pH > 7$)

เนื่องจากค่า Eh และ pH มีความสำคัญต่อการละลายของโลหะ ในการพิจารณาถึงความสามารถในการละลายหรือสถานะของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จึงใช้ค่า Eh และ pH พิจารณา

2. ข้อมูลของพื้นที่บริเวณที่ศึกษา

จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันออกของภาคใต้ของประเทศไทย ติดฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ $8^{\circ} 19'$ และ $9^{\circ} 48'$ เหนือ และเส้นลองจิจูดที่ $98^{\circ} 27'$ และ $99^{\circ} 48'$ ตะวันออก ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 645 กิโลเมตร มีขนาดพื้นที่มากที่สุดคือ 12,892 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 8 ล้านไร่ มีเนื้อที่มากเป็นอันดับ 10 ของประเทศ และมีพื้นที่มากที่สุดภายในภาคใต้ ประมาณร้อยละ 18.23

ทิศเหนือ	ติดต่อกับจังหวัดชุมพรและอ่าวไทย
ทิศใต้	ติดต่อกับจังหวัดนครศรีธรรมราชและกระบี่
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับจังหวัดพังงาและระนอง
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับอ่าวไทยและนครศรีธรรมราช

2.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ประกอบด้วยที่ราบถึงลูกคลื่นลอนน้อยละ 33.2 ของพื้นที่จังหวัด พื้นที่ลอนชันร้อยละ 37.3 และเนินเขาถึงภูเขาร้อยละ 29.5 นอกจากนี้ยังมีพื้นที่น้ำทะเลในรัศมีวงรอบระหว่างพื้นที่ชายฝั่งหมู่เกาะต่าง ๆ เป็นเนื้อที่ประมาณครึ่งหนึ่งของจังหวัด ส่วนผืนแผ่นดินใหญ่มีรูปร่างคล้ายกะทะหงายลาดเอียงจากด้านตะวันตกไปทางทิศตะวันออก และจากด้านตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศเหนือ ก่อให้เกิดลุ่มน้ำตาปี-พุมดวงซึ่งเป็นพื้นที่ราบระหว่างเทือกเขานครศรีธรรมราชและเทือกเขาภูเก็ต ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 13,200 ตารางกิโลเมตรรวมพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและบางส่วนของจังหวัดนครศรีธรรมราชและกระบี่ แม่น้ำสายสำคัญในลุ่มน้ำตาปี-พุมดวง คือ แม่น้ำตาปี-พุมดวง

แม่น้ำตาปีมีต้นกำเนิดจากเทือกเขานครศรีธรรมราชในเขตอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ไหลขึ้นไปทางทิศเหนือผ่านอำเภอต่างๆ ในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสุราษฎร์ธานี แล้วไหลลงมาทางทิศตะวันออก ลงสู่อ่าวบ้านดอน อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ความยาวของแม่น้ำตลอดสาย 232 กิโลเมตร ส่วนคลองพุมดวงมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูเก็ต ในเขตอำเภอคีรีรัฐนิคมและอำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ไหลผ่านอำเภอต่างๆ ไปบรรจบกับแม่น้ำตาปี ที่อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความยาวตลอดลำน้ำรวม 120 กิโลเมตร (แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2530-2534:1)

2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีสภาพแบบมรสุมเขตร้อน เป็นบริเวณพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย โดยมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 2.0 มิลลิเมตรต่อวัน ข้อมูลปี 2542 รายงานว่ามีปริมาณฝนตกเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 2,163 มิลลิเมตร มีจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ย 183 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28.4 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 83 (ข้อมูลเฉลี่ยของจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราชและกระบี่)(กรมอุตุนิยม, 2543) ฤดูกาลของจังหวัดสุราษฎร์ธานีแบ่งได้เป็น 2 ฤดูกาล คือ

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม เป็นระยะเวลา 9 เดือน โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ฝนที่ตกลงมาเนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุม

ตะวันออกเฉียงใต้ และช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ฝนที่ตกลงมาเนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ในช่วงนี้ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลง จะมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดมาแทนที่ ทำให้อากาศร้อนและอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยและมีฝนตกบ้างไม่มากนัก

2.3 ลักษณะสมุทรศาสตร์

แบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ คือ

2.3.1 การขึ้นลงของน้ำทะเล

จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นแบบวันละครั้งหรือน้ำเดียว (diurnal tide) ระดับน้ำทะเลขึ้นลงซึ่งวัดที่เกาะปราบ โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ปี 2522 ระดับน้ำขึ้นสูงสุด + 1.89 เมตร ระดับน้ำลงต่ำสุด -2.30 เมตร น้ำขึ้นเฉลี่ย +0.60 เมตร น้ำลงเฉลี่ย -0.40 เมตร ความแตกต่างของระดับน้ำ 1.01 เมตร

2.3.2 กระแสน้ำ (current)

เกิดการขึ้นลงของน้ำทะเล (tidal current) และที่เกิดจากลม (drift current) กระแสน้ำที่เกิดจากการขึ้นลงของน้ำทะเลในชายฝั่งของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ขณะน้ำขึ้นทิศทางของกระแสน้ำจะอยู่ในแนวทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และจะเปลี่ยนเป็นแนวทิศใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่น้ำลงความเร็วของกระแสน้ำที่เกิดจากการขึ้นลงของน้ำทะเลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ประมาณ 2.04 กม./ชม.

2.3.3 ลมและคลื่น

พื้นที่ดินชายฝั่งทะเลของจังหวัดสุราษฎร์ธานี อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน ความเร็วจะอยู่ในช่วง 4.3-6.2 กม./ชม. (ความเร็วลมต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน และความเร็วลมสูงสุดในเดือนธันวาคมและมกราคม) และอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ความเร็วลมจะอยู่ในช่วง 7.2 -3.8 กม./ชม. (ความเร็วลมต่ำสุดในเดือนตุลาคมและความเร็วลมสูงสุดในเดือนมิถุนายน) และจากการคำนวณความเร็วลมประมาณว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่นจะมีความสูงประมาณ 0.32 เมตร ในพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

2.3.4 การตกตะกอน

บริเวณชายฝั่งทะเล มี 2 รูปแบบ คือ การตกตะกอน บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเกิดจากกระแสน้ำ ลำน้ำต่าง ๆ พัดพามาทับถม บริเวณปากแม่น้ำต่าง ๆ เช่น ปากน้ำตาปี เป็นเหตุให้ชายฝั่งตื้นเขิน ก่อให้เกิดพื้นที่ชายเลนตามแนวชายฝั่งทะเล และอีกประการหนึ่งคือ การตกตะกอนเนื่องจากกระแส

น้ำทะเล เกิดจากตะกอนในประเภทแรกถูกกระแสน้ำพัดพาไปไกล ทำให้เกิดการตกตะกอนในพื้นที่ชายฝั่งทะเลรวมทั้งตะกอนทรายที่กระแสน้ำพัดพามา ตกทับถมกันจนเป็นแหลมยื่นไปในทะเล สำหรับจังหวัดสุราษฎร์ธานีจะพบในลักษณะหาดเลน ซึ่งเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงหอยแครงและหอยนางรม

2.4 ประชากร

ประชากรที่อาศัยในพื้นที่ลุ่มน้ำตาปี-พุมดวง ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพการเกษตร อันได้แก่ การทำนา การปลูกไม้ผล การเลี้ยงสัตว์ การประมง มีการทำสวนยางพารามากเป็นอันดับหนึ่ง และปาล์มน้ำมันเป็นอันดับสองรองลงมา สำหรับการท่าเหมืองแร่ แหล่งแร่จะกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ของจังหวัด แร่ที่สำคัญ คือ แหล่งแร่โคโลไมต์ หินอุตสาหกรรม ยิปซัม นอกจากนี้พบวนิยมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การเลี้ยงกุ้งทะเล การเพาะเลี้ยงหอยแครง หอยนางรม ตลอดจนการเลี้ยงปลาในกระชัง

2.5 สภาพเศรษฐกิจและสังคมทั่วไป

จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นจังหวัดที่มีขนาดพื้นที่มากที่สุดในภาคใต้ ทรัพยากรธรรมชาติมีความหลากหลายและอุดมสมบูรณ์ กล่าวคือ เป็นแหล่งวัตถุดิบในด้านการเกษตร เช่น ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ไม้ผล ในด้านการประมง มีสัตว์น้ำ มีแหล่งทำการประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เป็นแหล่งท่องเที่ยว รวมทั้งเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของทรัพยากรแร่และเชื้อเพลิงธรรมชาติ พบว่ามูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมสูงเป็นอันดับสามของภาคใต้ ส่วนมูลค่าผลิตภัณฑ์เฉลี่ยต่อคน หรือรายได้ต่อคน มากเป็นอันดับหกของจังหวัดในภาคใต้ มูลค่ารวมด้านเกษตรกรรมสูงสุด รองลงมา คือ การค้าส่งและค้าปลีก และการบริการ

2.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการสำรวจการใช้ที่ดินบริเวณลุ่มแม่น้ำตาปี-พุมดวง โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเมื่อปี 2533 โดยกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า พื้นที่ป่าดิบชื้นสูงสุด (3,742.81 ตารางกิโลเมตร) และรองลงมาคือ พื้นที่สวนยางพารา (2,817.48 ตารางกิโลเมตร) และป่าดิบชื้น (1,748 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ สมรรถนะที่ดินที่มีศักยภาพเพื่อการเกษตรประมาณร้อยละ 67.2 ของพื้นที่ (5,137,499 ไร่) และพบว่าพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมและเป็นพื้นที่ชนบท ทุ่งหญ้าและไม้พุ่มจะมีพื้นที่ร้อยละ 52 รองลงมาคือป่าไม้ร้อยละ 30 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 15

2.7 การท่าเหมืองแร่และแต่งแร่

จากข้อมูล ปี 2544 พบว่าในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีบริเวณที่มีการท่าเหมืองแร่กระจายอยู่เกือบทั้งจังหวัด เนื้อที่ประมาณ 9,956 ไร่ ในเขตอำเภอพระแสง อำเภอเคียนซา อำเภอพุนพิน และอำเภอคีรีรัฐนิคม มีประทานบัตรเหมืองแร่ประมาณ 14 แปลง โดยจะเป็นแร่ดินขาว โคโลไมต์

โคโลไมต์และหินอุตสาหกรรม แร่ยิปซัม แร่ยิปซัมและแอนไฮไดรต์ แร่หินอุตสาหกรรม ส่วนในเขตต้นน้ำของแม่น้ำตาปีจากข้อมูลปี 2544 มีการทำแร่ยิปซัมและซูลเฟรมในเขตอำเภอถ้ำพรพรรณและอำเภอทุ่งใหญ่และมีเหมืองแร่เก่าในเขตอำเภอพิปูน หมู่ 2 ตำบลกระทูน (ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำปัจจุบัน) มีการทำเหมืองแร่ดีบุก ได้หยุดทำการในปี 2503 และอำเภอฉวาง ตำบลไม้เรียง(ที่เขาศูนย์) มีการทำเหมืองแร่ซูลเฟลม ได้หยุดทำการในปี 2518 โดยเหมืองแร่เก่าทั้งสองแห่งใช้แรงงานคนขุดเจาะไปตามสายแร่ที่ปรากฏให้เห็น (ฝ่ายทรัพยากรธรณี สำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดสุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช, 2544)

3. ความรู้ทั่วไปของตะกั่วและแคดเมียม

3.1 ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่ว(lead) เป็นโลหะหนักที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จัดอยู่ในหมู่ที่ IV B ของตารางธาตุหมู่เดียวกับ คาร์บอน ซิลิกอน เจอร์มาเนียมและดีบุก ใช้สัญลักษณ์ทางเคมีว่า Pb น้ำหนักอะตอม 207.19 เลขอะตอม 82 ความถ่วงจำเพาะ 11.40 จุดเดือด 1,749 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 327.50 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชัน 0, +2 และ +4 มีสีเทาปนขาว เนื้อโลหะมีลักษณะสีอ่อนสามารถทุบ รีด ดึง หรือดัดแปลงเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อน ละลายได้ในกรดไนตริก และกรดกำมะถันเข้มข้น สามารถผสมกับโลหะต่างๆ เป็นโลหะผสม (alloys) ได้หลายชนิด (กองตรวจโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2527 ; Tsuchiya, 1986 ; ธิติรัตน์ รุจิรวรรณ, 2538) สารประกอบของตะกั่วแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ตะกั่วอนินทรีย์ (Inorganic lead) อยู่ในรูปเกลือและออกไซด์ เช่น ตะกั่วคาร์บอเนต (lead carbonate) ตะกั่วโครเมต (lead chromate) ตะกั่วออกไซด์ (lead oxide)
2. ตะกั่วอินทรีย์ (Organic lead) เช่น ตะกั่วเตตระเอทิล (tetraethyl lead) และตะกั่วเตตระเมทิล (tetramethyl lead) ซึ่งใช้ในผสมในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วค่อนข้างจะมีพิษมากกว่าตะกั่วอนินทรีย์

ตะกั่วที่เป็นธาตุอิสระในธรรมชาติมีน้อยมากส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่ เช่น แร่กาลินา(galena) แร่เซอร์สไซด์(cerussite) และแร่แองกลิไซด์(anglesite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

ประโยชน์จากตะกั่วแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

1. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วเตตระเอทิล (tetraethyl lead; $Pb(C_2H_5)_4$) หรือ TEL และตะกั่วเตตระเมทิล (tetramethyl lead ; $Pb(CH_3)_4$) หรือ TEL ใช้ผลิตน้ำมัน (petroleum industry) ใช้เป็นสารออกเทน (octane number) และใช้เป็นสารกันน็อก (anti-knock) หรือเป็นสารป้องกันการ

กระตุกของเครื่องยนต์และตะกั่วเนฟทาลเลต (lead naphthallate) นำมาใช้ในการทำสีให้แห้ง ซึ่งเวลาทำงานสารตัวนี้แพร่กระจายไปในสิ่งแวดล้อมมากกว่าตะกั่วอินทรีย์ (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2531)

2. ตะกั่วอินทรีย์ ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากกว่าตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

- ตะกั่วโมนอกไซด์ (lead monoxide; PbO) ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน

- ตะกั่วไดออกไซด์ (lead dioxide; PbO_2) ใช้ทำเป็นขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่รถยนต์และเครื่องจักร

- ตะกั่วออกไซด์ (lead oxide; Pb_3O_4) หรือตะกั่วแดง ใช้เป็นสีโลหะเพื่อกันสนิม หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าสีสำหรับโป้รถยนต์

- ตะกั่วโครเมต (lead chromate; $PbCrO_4$) หรือตะกั่วเหลือง ใช้ผลิตสี ใช้ทำสีเหลืองสำหรับผสมในสีน้ำมัน สีพิมพ์ ผงฝุ่นสีเหลือง หมึกพิมพ์

- ตะกั่วซัลเฟต (lead sulfate, $PbSO_4$) ตะกั่วคาร์บอเนต (lead carbonate; $PbCO_3$) ตะกั่วขาว ใช้ผลิตสี ผลิตภาชนะเครื่องเคลือบ ผลิตยาง ผลิตพลาสติก PVC ซึ่งใช้เป็นตัว Stabilizer

- ตะกั่วอะซิเตต (lead acetate; $Pb(CH_3COO)_2$) ใช้กับเครื่องสำอางค์ ครีมนิ้วนุ่มและใช้ในอุตสาหกรรมเคมี

- ตะกั่วซิลิเกต (lead silicate; $PbSiO_3$) ใช้กับกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิก เพื่อให้เกิดความเงางามและมีผิวเรียบ

- ตะกั่วอาร์ซีไนต์ (lead arsenite; $Pb(AsO)_2$) ตะกั่วอาร์ซีเนต (lead arsenate; $Pb_3(AsO_4)_2$) ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช

- ตะกั่วไนเตรต (lead nitrate; $Pb(NO_3)_2$) ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง แหล่งที่มาและการปนเปื้อนของตะกั่ว

1. ตะกั่วเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด

2. จากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้ประโยชน์จากตะกั่ว เช่น จากการถลุงแร่ ซึ่งมีฝุ่นตะกั่วออกมา จากควันและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตะกั่ว ได้แก่ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ สี ยาง เครื่องประดับสตรี ภาชนะเครื่องเคลือบ เซรามิก พลาสติก PVC อุตสาหกรรมหล่อตัวพิมพ์ อุตสาหกรรมเคมี ชุบโลหะ เชื่อมบัดกรี โรงงานซ่อมประกอบวิทยุ โทรทัศน์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่เก่า และโรงงานซ่อมแบตเตอรี่ เป็นต้น จากการปล่อยไอเสียรถยนต์ออกสู่อากาศ จากยาสูบ โดยจะมีตะกั่วประกอบอยู่ประมาณ 3-12 ไมโครกรัมต่อบุหรี่ 1 มวน ซึ่งประมาณร้อยละ 2 เท่านั้นที่จะแพร่กระจายออกมากับควันจากการสูบบุหรี่ และสามารถหายใจเข้าใจเข้าไปประมาณ 1.2-4.8 ไมโครกรัมต่อบุหรี่ 20 มวน (Tsuchiya, 1986) ดังนั้นระดับตะกั่วในสิ่งแวดล้อมจึงมีการเปลี่ยนแปลงสูง เนื่องจากตะกั่วจะมีการสะสมใน

ธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้ประโยชน์ดังที่กล่าวมาตะกั่ว (WHO, 1979)

พืช ดูดซับตะกั่วโดยผ่านทางบรรยากาศและทางราก (Seiler and Sigel, 1988) ค่าเฉลี่ยที่มนุษย์ได้รับตะกั่วในแต่ละวัน ทางอากาศประมาณ 80 ไมโครกรัมต่อวัน และจากการดื่มน้ำประมาณ 40 ไมโครกรัมต่อวัน (UNEP, 1991)

ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of Exposure)

ตะกั่วจัดเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งมีปรากฏในธรรมชาติทั้งใน ดิน น้ำ อากาศ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และในอาหาร ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทางคือ

1. ทางเดินหายใจ โดยการหายใจ(inhalation) เอาอากาศที่มีฝุ่นผง ละออง และไอระเหยของสารประกอบตะกั่วเข้าไป
2. ทางระบบทางเดินอาหาร โดยการรับประทานอาหาร(digestion) หรือดื่มน้ำหรือดื่มเครื่องดื่มที่มีสารตะกั่วเจือปนอยู่ และในกลุ่มเด็กที่รู้เท่าไม่ถึงการณ์ เช่น เอาของเล่นเข้าปาก กินสี เศษสีตามพื้น หรือเกิดจากอุบัติเหตุ
3. ทางผิวหนัง โดยการดูดซึมผ่านผิวหนังเข้าไป จากการสัมผัสกับตะกั่วหรือสารประกอบตะกั่ว ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วบางชนิด เช่น tetraethyl lead, tetramethyl lead ที่ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซินสามารถละลายไขมันซึมผ่านทางผิวหนังได้ หรือกรณีที่มีบาดแผลที่ผิวหนังหรือรอยถลอก และ lead naphthalate ซึ่งเป็นตัว drier, lead stearate ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี

พิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics)

การดูดซึม (Absorption) ปกติตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายอย่างช้า ๆ แบ่งออกเป็น 3 ทาง

1. ระบบทางเดินหายใจ ร้อยละ 35-50 ของตะกั่วที่หายใจเข้าไป จะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดโดยวิธี Phagocytosis ทางปอด ซึ่งปริมาณตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายขึ้นอยู่กับอนุภาคของตะกั่ว และอัตราการหายใจ การหายใจเอาอากาศที่มีไอหรืออนุภาคของตะกั่ว 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเพิ่มปริมาณของตะกั่วได้ 1-2 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ตะกั่วจะถูกดูดซึมได้ทุกส่วนของระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่รูจมูกถึงปลายสุดของถุงลมเล็ก ๆ ของปอด ซึ่งขนาดของสารตะกั่วนั้นต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน และถ้ามีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สูงในส่วนลึกของปอดจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางปอดได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในท้องถนนหรือโรงงานจึงมีส่วนเร่งการดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ปอดได้เช่นเดียวกัน (รุ่งเดช สุขถาวร, 2539; Prasad, 1978)

2. ระบบทางเดินอาหาร ตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหาร ไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารละลายหรือไม่ละลาย เช่น ตะกอนของตะกั่วซัลเฟต ตะกั่วซัลไฟด์ เมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหารที่มีกรดไฮโดรคลอริก (HCL) อยู่ ทำให้ตะกั่วละลายได้มากขึ้น แม้จะเป็นโลหะตะกั่วซึ่งแข็ง ก็จะกลายเป็นเกลือตะกั่วคลอไรด์ซึ่งละลายน้ำได้ดี ตะกั่วที่ละลายส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม (duodenum) ประมาณร้อยละ 5-10 ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางอุจจาระ ซึ่งในภาวะที่ท้องร่วงหรือได้รับอาหารที่ขาดแคลเซียม เหล็ก และทองแดงหรือมีสารฟอสเฟตต่ำจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมได้ดีขึ้น (Prasad, 1978)

3. ระบบผิวหนัง พวกตะกั่วอินทรีย์ เช่น ตะกั่วไตรอะซิเตตจากไอเสียของรถยนต์จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้ง่าย เนื่องจากตะกั่วอินทรีย์สามารถละลายในไขมันได้ดี ส่วนตะกั่วอนินทรีย์จะไม่สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้ ถ้าผิวหนังมีบาดแผลหรือรอยถลอกและสัมผัสกับตะกั่วโอกาส และปริมาณของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย(รุ่งเดช สุขถาวร, 2539)

การแพร่กระจาย (Distribution) และการสะสม (Accumulation)

เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้ว ก็จะกระจายอยู่ในร่างกายและสะสมไว้ในร่างกาย ตะกั่วที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงกระบวนการ phase I ได้ (คือปฏิกิริยา oxidation, reduction และ hydrolysis) แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้กระบวนการเมตาบอลิซึม phase II (biosynthesis) และจับกับ glucuronic acid หรือ sulfate (USEPA, 1986) และส่วนประกอบอัลคิลของตะกั่วจะถูก oxidation ในตับ (Gerson, 1990) ตะกั่วที่มนุษย์หายใจเข้าไปจะถูกสะสมค้างอยู่ในปอด ร้อยละ 35 ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายโดยการกินอาหาร ดื่มน้ำ เครื่องดื่ม จะถูกดูดซึมสะสมในร่างกาย ร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วทั้งหมด ซึ่งตะกั่วที่ถูกดูดซึมจากลำไส้แล้วจะถูกพาผ่านทางเส้นเลือดดำ (portal vein) เข้าสู่ตับ บางส่วนจะถูกขับออกทางน้ำดี และทางอุจจาระ ถ้าหากเข้าไปในปอด ตะกั่วจะเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรง กระแสไหลเวียนเลือดจะพาตะกั่ววนเวียนไปมาทั่วร่างกายใช้เวลาประมาณ 14 นาที และกระจายอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ อย่างทั่วถึง ตับและไตเป็นอวัยวะที่เก็บตะกั่วไว้มากที่สุด แต่ต่อมาระดับตะกั่วในเนื้อเยื่อนิ่มอ่อนนิ่ม (soft tissue) ทั้งหมดจะค่อยลดลงแล้วเคลื่อนไปตามกระแสเลือดไปเกาะสะสมที่กระดูกในสภาพของเกลือที่ละลายยาก เช่น ตะกั่วฟอสเฟต กระดูกจะมีตะกั่วสะสมเพิ่มขึ้นทีละน้อยและฝังตัวอยู่ในกระดูกชนิดแข็งหนาเป็นเวลานาน โดยไม่แสดงผลเสียหายต่อร่างกายแต่อย่างใด และปรากฏว่าปริมาณของตะกั่วในกระดูกจะเพิ่มขึ้นตามอายุขัยของคน คือ ร้อยละ 90 รองลงมาคือ อยู่ในเลือด ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ร้อยละ 95 ที่เหลืออยู่ในพลาสมา (plasma) นอกจากนี้ยังสะสมอยู่ในเนื้อเยื่ออื่น ๆ อีก เช่น สมอง ผนังหลอดเลือดเอออร์ตา (aorta) รั้งไข เส้นผมและเล็บ สำหรับค่าครึ่งชีวิตของตะกั่วในเลือดนั้นอยู่ในช่วงประมาณ 2-4 สัปดาห์ และพบว่า ตะกั่วในเลือดของแม่สามารถส่งผ่านทางรก

(placenta) (รุ่งเดช สุขถาวร, 2539; Rabinowitz et al., 1976) และในกระดูจะมีระยะยาวนาน 10-30 ปี นอกจากนี้ตะกั่วสามารถสะสมในฟัน เนื้อเยื่ออ่อน เช่น สมอง ไต ปอด ตับ หัวใจและม้าม โดยปริมาณตะกั่วในเลือดมีปริมาณมากขึ้นอยู่กับระยะเวลา อัตรา และระดับการรับตะกั่วเข้าไป (Barry, 1975)

การขับถ่าย (Excretion)

ตะกั่วที่ถูกดูดซึมในร่างกายนั้น ร้อยละ 76 จะถูกขับออกทางปัสสาวะ โดยกระบวนการกรองของไต (glomerular filtration) ร้อยละ 16 จะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระ และร้อยละ 8 จะถูกขับออกทางนม เล็บ เหนือ นอกจากนี้ยังถูกขับถ่ายออกมากับน้ำนมอีกด้วย ซึ่งวันหนึ่งร่างกายสามารถขับสารตะกั่วออกจากร่างกายได้ประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น (ATSDR, 1991; ATSDR, 1993)

ความเป็นพิษ (Toxicity)

ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน(acute toxicity) ซึ่งมักจะเกิดจากสารตะกั่วอนินทรีย์ อาการต่างๆ ไปที่พบคือ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ระบายน้ำ มีรสหวานในปากหรือคล้ายกับอมโลหะในปาก ปวดศีรษะ ปวดท้องอย่างรุนแรง บางกรณีมีอาการท้องร่วงหรือบางครั้งท้องผูก ปวดบริเวณรอบสะดือ อุจจาระมีสีดำ ปัสสาวะอาจจะน้อย อ่อนเพลีย เป็นลมสิ้นสติ บางรายอาจมีอาการทางสมองด้วย และอาจเสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน (นูจริย์ เพชรรัตน์, 2537; นิพนธ์ พวงวรินทร์ และ สมชัย บวรกิตติ, 2536)

ความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) ซึ่งมักเกิดจากตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

1. ผลต่อระบบการสร้างเม็ดเลือด พิษตะกั่วทำให้เกิดโรคโลหิตจาง โดยรบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์ heme หลายชนิด ทำให้ hemoglobin ลดลง

2. ผลต่อระบบประสาท ตะกั่วมีพิษทำลายระบบประสาทที่มีหน้าที่จดจำ เรียนรู้และการรับความรู้สึก อาการแสดงที่เกิดขึ้นได้แก่ ทำให้เกิดอาการเฉื่อยชา เมื่อยล้าง่าย อัมพาต ข้อมือ-ข้อเท้าตึง วิงเวียนศีรษะ กล้ามเนื้อทำงานไม่สัมพันธ์กันทำให้หกล้มง่าย ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ หงุดหงิด ตกใจง่าย มึนงง ตามมาด้วยอาการชัก เป็นอัมพาตและอาจหมดสติ อาการที่พบมากที่สุดคือ อาเจียน กรณีที่มีอาการนานๆ อาจกลายเป็นใบ้หรือตาบอด เพราะประสาทที่รับความรู้สึกทางหูและตาเสื่อมเลวลง

3. ผลต่อไต ทำให้เนื้อไตแข็ง (nephrosclerosis) มีเนื้อเยื่อพังผืดเหนียวระหว่างเนื้อเยื่อของไต ทำให้กระบวนการกรองของไต (glomerular filtration) ลดลง และเกิดอาการของไตวาย

(renal failure) เนื่องจากตะกั่วจะทำให้มีการขับกรดอะมิโน น้ำตาลและฟอสเฟตออกมากับปัสสาวะมากผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจาก ตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ภายในไต ทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ

4. มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อได้รับพิษตะกั่ว จะทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรงเนื่องจากลำไส้หดเกร็งหรือบีบรัดตัว(intestinal spasm)อุจจาระมีเลือดปน

5. พบตะกั่วบริเวณเหงือก (lead line) ทั้งนี้เพราะว่า ตะกั่วที่ถูกขับออกมาทางน้ำลายจะทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียที่บริเวณเหงือก ทำให้เกิดตะกั่วซัลไฟด์ ซึ่งจะมีลักษณะสีน้ำเงิน-ดำตามทางเดินของเส้นเลือด

6. ผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อีออนตะกั่วชนิด Pb^{++} รวมตัวได้ดีกับเยื่อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดชนิด phosphatidyl choline แต่ตะกั่วอินทรีย์ไม่เกิดปฏิกิริยานี้ ตะกั่วทำให้ความเปราะบางโดยแรงดันออสโมติกของเม็ดเลือดแดงลดลง แต่กลับเพิ่มความเปราะบางโดยแรงดันสะท้อนให้มากขึ้น เม็ดเลือดแดงที่อายุน้อยเมื่อเกิดขึ้นใหม่ในไขกระดูก จะถูกทำลายด้วยสารตะกั่วได้ง่ายกว่าเม็ดเลือดแดงแก่ที่อยู่ในกระแสเลือด แต่ตะกั่วก็มีผลทำให้อายุของเม็ดเลือดแดงในกระแสเลือดสั้นลงกว่าปกติคือน้อยกว่า 120 วัน นอกจากนี้ ตะกั่วสามารถรวมตัวกับเอนไซม์ชนิด Na^+/K^+ ATPase บนเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์นี้ จึงไม่มีการสลายตัวของสารพลังสูง ATP เลย ทำให้การเก็บ K^+ เข้าเซลล์เป็นไปไม่ได้ ขณะเดียวกัน K^+ ในเซลล์ก็รั่วออกมาข้างนอก นอกจากนี้พบว่า ตะกั่วอาจรวมกับโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง แล้วอาจผ่านเข้าไปรวมกับฮีโมโกลบินได้ด้วย

7. ทำให้เกิดการเสื่อมของระบบสืบพันธุ์ การตกไข่ของสตรีผิดปกติ มีความผิดปกติของประจำเดือน จำนวนเชื้ออสุจิน้อย อ่อนแอและมีลักษณะผิดปกติ

8. ผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดพบว่าผู้ที่สัมผัสกับตะกั่วมากจะทำให้ความดันเลือดสูง

9. ผลต่อกระดูก โดยเฉพาะที่ส่วนปลายของกระดูกยาว (long bone) เมื่อเอกซเรย์ดูจะพบรอยหนาที่ขี้ของตะกั่วฟอสเฟต

10. ผลต่อสารพันธุกรรม โดยตะกั่วจะรบกวนการทำงานทางชีวเคมีของ DNA และ RNA คือตะกั่วสามารถจับตัวกับหมู่ -OH ของฟอสเฟตในกรดนิวคลีอิกได้อย่างหนาแน่น ทำให้อิเล็กตรอนถูกดึงเอาไว้ที่อะตอมออกซิเจน และฟอสฟอรัสมีประจุเป็นบวกมากขึ้น และทำให้ ester bond ระหว่างหมู่ฟอสเฟตกับ -OH ของน้ำตาลเพนโทสถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย มีผลเสียหายต่อ t-RNA คือทำให้โมเลกุล t-RNA ถูกตัดค้อยให้เล็กลงหรือเปลี่ยน conformation จนไม่สามารถจะพา

กรดอะมิโนให้เกาะรวมกันที่ไรโบโซมและถือว่าเป็นสารตะกั่วเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่งในสัตว์

ตาราง 4 ระดับตะกั่วในเลือดและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใหญ่

ระดับตะกั่วในเลือด ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	ผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใหญ่
15-20	มีผลยับยั้งเอนไซม์ ALAD
25	ระดับ ZPP (zinc protoporphyrin) สูงขึ้น
40	ระดับ urine coproporphyrin สูงขึ้น
	มีอาการผิดปกติของระบบประสาทส่วนปลาย
	ไตทำงานผิดปกติ
	ทำให้เกิดอาการเป็นหมันได้
50	ระบบการสร้างฮีโมโกลบินผิดปกติ
60	มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรงแบบ colic pain
70	พบภาวะโลหิตจาง
80	พบ basophilic stippling
	พบอาการทางสมองโดยมีภาวะของเยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็ก
100	พบอาการทางสมองโดยมีภาวะของเยื่อหุ้มสมองอักเสบในผู้ใหญ่

ที่มา : ดัดแปลงจาก Nuttal, 1995 : 120

มาตรฐานความปลอดภัยในสิ่งแวดล้อมและในสภาพการทำงาน

1. ในอากาศ

- ความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศบริเวณที่พักอาศัย (ambient air) ไม่ควรเกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ (กองตรวจโรงงาน, 2527)

- ความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศบริเวณที่ทำงานสำหรับคนงานที่ทำงานตลอด 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ไม่ควรเกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ (เฮเลน อารมย์ดี, 2532)

2. น้ำทิ้ง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2522) ห้ามมิให้ระบายน้ำทิ้งที่มีค่าตะกั่วมากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรออกจากโรงงาน (กองตรวจโรงงาน, 2527)
3. ในน้ำดื่ม ปริมาณตะกั่วไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร(กองตรวจโรงงาน, 2527)
4. ภาชนะใส่อาหาร เครื่องเคลือบดินเผาหรือเครื่องเคลือบที่ใช้ในการบรรจุอาหารเพื่อบริโภคทุกชนิดที่มีตะกั่วละลายออกมาได้ต้องไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อความจุ 1 ลิตร (กองตรวจโรงงาน, 2527)
5. อาหาร อาหารที่บรรจุในภาชนะปิดมิดชิด ซึ่งเป็นอาหารควบคุมของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2502) ต้องมีมาตรฐานโดยคำนวณน้ำหนักของตะกั่วในอาหารได้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กองตรวจโรงงาน, 2527)
6. ค่าปกติของความเข้มข้นของตะกั่วในดิน ไม่ควรเกิน 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Taylor and Mc Lennan, 1981)

ระดับปกติของตะกั่วในร่างกาย

Levy และ Wegman (1995) รายงานว่า ระดับปกติของตะกั่วในเลือด มีค่าไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร WHO (1980) กำหนดค่ามาตรฐาน ตะกั่วในเลือดของคนงานผู้ชายที่ต้องทำงานสัมผัสกับตะกั่ว มีค่าไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร และค่ามาตรฐานตะกั่วในเลือดของผู้หญิงและเด็ก มีค่าไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร

3.2 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียม (Cadmium) เป็นธาตุจำพวกโลหะหนักจัดอยู่ในหมู่ II B ของตารางธาตุ เช่นเดียวกับสังกะสีและปรอท ใช้สัญลักษณ์ทางเคมีว่า Cd น้ำหนักอะตอม 112.4 เลขอะตอม 48 ความถ่วงจำเพาะ 8.65 จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชัน +2 มีสีเงินปนขาวเนื้อโลหะมีลักษณะอ่อนและดัดง่ายทนทานต่อการกัดกร่อนไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (nitric acid) ในรูปของโลหะจะไม่เผาไหม้ แต่จะเผาไหม้ได้ในรูปของผง หรือแป้ง และทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับสารออกซิไดซ์อย่างแก่ ธาตุกำมะถัน ธาตุซัลเฟอร์ และธาตุเทลลูเรียม (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2532)

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่นๆ โดยทั่วไปจะพบในรูปของซัลไฟด์ (CdS) และมักเกิดร่วมกับสินแร่สังกะสี ทั้งนี้เพราะธาตุทั้งสองชนิดมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์คล้ายคลึงกัน

ประโยชน์จากแคดเมียม

แคดเมียมสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น

1. ใช้ผสมร่วมกับโลหะนิกเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้
2. ใช้ทำโลหะเจือ ให้สีเขียวแวววาว โลหะเจือ Cd-Au นิยมใช้เป็นโลหะประดับ สามารถต่อต้านการเปลี่ยนเป็นสีดำอย่างดี จึงนิยมใช้ทำภาชนะเครื่องคั้ม เช่น ขันน้ำ เป็นต้น
3. ใช้ผสมสีบางชนิด
5. ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ
4. ใช้ผสมในน้ำมันเครื่อง ยาง และพลาสติก
6. ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) สำหรับพลาสติกบางชนิด
7. ใช้ผสมกับปรอทในการอุดฟัน
8. ใช้ในกิจการอื่น ๆ เช่น ใช้ทำกระป๋องโลหะบางชนิด ใช้ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้ผลิตเซมิคอนดักเตอร์(ทบวงมหาวิทยาลัย 2524 : 402-403)

แหล่งที่มาและการปนเปื้อนของแคดเมียม

1. แคดเมียม (cadmium)เกิดขึ้นทั้งโดยธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ การผุพังตามธรรมชาติของดินหรือหินที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ และจากกิจกรรมของแบคทีเรียที่ต้องการกำมะถัน (cadmium sulfate) และแคดเมียมคลอไรด์ (cadmium chloride) (Dunnick and Fowler, 1988)

2. จากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีการใช้ประโยชน์จากแคดเมียม ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ (เช่น การเชื่อมโลหะ การเคลือบ การทำอัลลอย) โรงงานถลุงแร่สังกะสีและตะกั่ว โรงงานผลิตผงสังกะสี โรงงานชุบแคดเมียม โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า อุตสาหกรรมสีและแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ นอกจากนี้ของเสียจากอุตสาหกรรมเหล่านี้แล้ว แคดเมียมยังถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการเผาขยะจำพวกพลาสติก จากการเผาถ่านหิน การสูบบุหรี่ การทำเหมืองและหมักพืชมั ยางรถยนต์ที่สึกกร่อนซึ่งจะมีแคดเมียมอยู่ประมาณ 20-90 มิลลิกรัมต่อลิตร ยาน้ำแมลง ยากำจัดศัตรูพืชและปุ๋ยฟอสเฟต จะมีแคดเมียมอยู่ประมาณ 2-170 มิลลิกรัมต่อลิตร กากตะกอนน้ำทิ้ง การสึกกร่อนของสังกะสี แคดเมียมพบในอากาศ น้ำ ดินและในอาหาร ในเขตพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมจะพบแคดเมียมออกไซด์ในอากาศ (cadmium fume) (NRCC, 1979) โดยมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าประมาณร้อยละ 50-90 ของอนุภาคแขวนลอยของแคดเมียม(มีขนาด 10 ไมโครเมตร) และสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในสภาวะอากาศที่แห้งและชื้น (Elinder, 1985)

ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of Exposure)

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทาง

1. ทางเดินหายใจ จากการสูดหายใจอากาศที่มีฝุ่น ผง ละอองของแคดเมียม หรือสารประกอบแคดเมียมเข้าไป และจากการสูบบุหรี่ คนงานที่ทำงานในสถานที่ที่มีการใช้แคดเมียมเป็นส่วนผสม เช่น ช่างเชื่อมโลหะ ช่างทาสีอาคาร ช่างพันสีรถยนต์ จะมีโอกาสสูดหายใจเอาละอองของแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้นหากมีการสูบบุหรี่ในระหว่างการปฏิบัติงาน เนื่องจากปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในบุหรี่ (บุญจง ขาวสิทธิวิงษ์, 2538)

2. ทางเดินอาหาร โดยการกลืนกินอนุภาคของแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารหรือดื่มน้ำที่มีแคดเมียม แคดเมียมเจือปน การดื่มน้ำที่มีแคดเมียมละลายอยู่จะดูดซึมเข้าผนังลำไส้ได้ง่ายกว่าแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในอาหาร

3. ทางผิวหนัง แคดเมียมสามารถซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้ ถ้ามีบาดแผลหรือรอยถลอก (ศรีนชา ศรีสุวรรณ, 2539)

พิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics)

การดูดซึม (Absorption)

1. ระบบทางเดินหายใจ แคดเมียมถูกดูดผ่านชั้นผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อปอดเป็นทางหลักคือ สูงถึงร้อยละ 50 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค (particle size) และความสามารถในการละลายน้ำได้ (solubility) ของสารประกอบแคดเมียม นอกจากนี้การสูบบุหรี่ก็มีผลต่อการดูดซึมแคดเมียมโดยแคดเมียมในบุหรี่สามารถหายใจเข้าไปได้ ร้อยละ 10 (Goyer, 1986)

2. ระบบทางเดินอาหาร แคดเมียมถูกดูดซึมทางระบบทางเดินอาหาร โดยซึมผ่านเซลล์เยื่อทางเดินอาหารโดยวิธี Simple diffusion แต่ซึมผ่านได้ไม่ดี คือ ได้เพียง ร้อยละ 5 เท่านั้น เพศหญิงจะสามารถดูดซึมได้มากกว่าเพศชาย เนื่องจากสภาพการขาดธาตุเหล็ก ซึ่งแคดเมียมมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกับธาตุเหล็กจึงสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เพิ่มมากขึ้นในภาวะขาดธาตุเหล็ก ดังนั้นเพศหญิงจึงเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงกว่าเพศชาย (Franzblau, 1994; สารโรจน์ ศิริตันสนีย์กุล, 2540)

แคดเมียมที่ร่างกายรับเข้าไปครั้งหนึ่งจะไปสะสมที่ตับและไตด้วยการจับกับโปรตีน metallothionein แคดเมียมจับกับเม็ดเลือดแดงและอัลบิวมินได้ดี ทารกในครรภ์มักมีแคดเมียมต่ำเพราะรกสามารถสร้าง metallothionein ให้จับกับแคดเมียมได้ แคดเมียมอาจสะสมในไตโดยไม่ก่อให้เกิดพิษใด ๆ ได้ เพราะมันสามารถเหนี่ยวนำให้เกิด metallothionein ได้ metallothionein เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับโปรตีน แต่ถ้ามี metallothionein มากเกินไปก็จะทำให้เป็นพิษได้เช่นกันและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไตจะเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างถาวร

3. ระบบผิวหนัง แคลเซียมถูกดูดซึมผ่านเข้าสู่ทางผิวหนังได้น้อย (Lauwerys and Hoet, 1993; Franzblau, 1994)

การแพร่กระจาย (Distribution)

แคลเซียมที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ปอดหรือทางเดินอาหาร จะซึมผ่านเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจับกับ albumin แพร่กระจายไปสู่ไต ดับ ดับอ่อน ต่อมาถูกหมัก กระดูกและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่ไตและดับ แคลเซียมจะรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ส่วน cortex มากกว่าส่วน medulla โดยแคลเซียมจะอยู่ในสภาพของ metallothionein และจะมีการสะสมของแคลเซียมที่ดับและไต ร้อยละ 50 สำหรับในเลือด ร้อยละ 70 แคลเซียมจะอยู่ในเม็ดเลือดแดง (Lauwerys and Hoet, 1993; Nordberg, 1972) นอกจากนี้แคลเซียมสามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ พืชน้ำ และข้าวได้ จึงถ่ายทอดมาตามห่วงโซ่อาหารจนเกิดเป็นพิษต่อมนุษย์ในเวลาต่อมา

การขับถ่าย (Excretion)

แคลเซียมถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะเป็นหลัก รองลงมาคือ ทางอุจจาระ ปริมาณแคลเซียมในปัสสาวะจะสะท้อนถึงปริมาณแคลเซียมในร่างกาย นอกจากนี้แคลเซียมสามารถขับออกทางน้ำดี น้อยลงในกระเพาะอาหารและลำไส้ น้ำลาย เส้นผม และเล็บ อย่างไรก็ตาม แคลเซียมที่เข้าสู่ร่างกายแล้วประมาณ ร้อยละ 10 เท่านั้นที่ถูกขับออกจากร่างกาย (Lauwerys and Hoet, 1993)

ความเป็นพิษ (Toxicity)

ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (acute toxicity)

1. ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ ผู้ได้รับไอของแคลเซียมเข้าทางเดินหายใจอย่างมาก จะปรากฏอาการภายใน 2-3 ชั่วโมง หรือภายใน 24 ชั่วโมง ผู้ป่วยจะรู้สึกกระคายเคืองที่จมูกและคอ ไอ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เหงื่อออกมาก อ่อนเพลีย หนาวสั่น เป็นไข้ เจ็บหน้าอก อาจเกิดการหายใจขัดเนื่องจากน้ำท่วมปอด ผู้ได้รับอันตรายอย่างรุนแรงอาจถึงตายได้ประมาณร้อยละ 15 ส่วนผู้ที่รอดตายต้องใช้เวลาฟื้นตัวนานกว่าจะเป็นปกติ (บุญจง ขวาศิทธิวิทย์, 2538)

2. ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคลเซียมปนเปื้อน ผู้ได้รับจะรู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ถ้าเป็นมากจะมีอาการอื่นตามมาใน 2 ลักษณะคือ อาจเกิดอาการช็อค เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมากและทำให้ตายได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรืออีกลักษณะหนึ่ง คือระบบการทำงานของไตและตับล้มเหลว และอาจตายได้ภายใน 1-2 สัปดาห์ (ศรันยา ศรีสุวรรณ, 2539)

ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (chronic toxicity)

1. ความเป็นพิษต่อเอ็นไซม์ เกิดจากแคดเมียมไปแทนที่สังกะสีในเอ็นไซม์บางชนิดในร่างกายหรือรวมตัวกับหมู่ซัลไฟไฮไดรลในเอ็นไซม์ของเซลล์ต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถทำงานตามปกติ

2. ความเป็นพิษต่อไต เป็นอวัยวะที่ได้รับอันตรายจากพิษแคดเมียมอย่างรุนแรง เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียโปรตีน กลูโคส และกรดอะมิโนออกมากับปัสสาวะ ทำให้ความดันโลหิตสูง ชัก นำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจขยายใหญ่ขึ้น เส้นเลือดฝอยแข็งตัวและหัวใจวาย มีรายงานว่ากลุ่มผู้หญิงสูงอายุชาวญี่ปุ่นที่บริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมจนเกิดโรคพิษของแคดเมียมที่เรียกว่า “โรคอิไต-อิไต” (Itai-Itai disease) มีปริมาณแคดเมียมสะสมอยู่ในไตมากถึง 100-300 ไมโครกรัมต่อกรัมของเนื้อไต (น้ำหนักเปียก) (Franzblau, 1994)

3. ความเป็นพิษต่อกระดูก แคดเมียมก่อให้เกิดอาการของโรคกระดูกผุ (osteoporosis) หรือโรคกระดูกอ่อน (osteomalacia) คือ กระดูกจะพรุน งอโค้งง่าย ทำให้กระดูกเสียรูปทรง รูปร่างผิดปกติและหักง่าย มีอาการปวดที่เอว ปวดกล้ามเนื้อขา และเจ็บที่กระดูก นอกจากนี้ปริมาณแคลเซียมในกระดูกน้อยลงด้วย เนื่องจากแคลเซียมถูกทำลาย (decalcification) และถูกขับออกทางปัสสาวะ ผู้ป่วยมีอาการกินไม่ได้ นอนไม่หลับ เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย หดแรงแและเสียชีวิตในที่สุด (วิทยา อยู่สุข, 2527)

4. ความเป็นพิษต่อ ปอด ตับ หัวใจ และอวัยวะอื่น ๆ แคดเมียมกระจายไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ทำให้เกิดอาการบวมโดยไม่ทราบกลไกการออกฤทธิ์แท้จริง นอกจากนี้ทำให้เกิดโรค Metal fume fever (MFF) ซึ่งเป็นโรคที่เกิดขึ้นต่อร่างกายทั่ว ๆ ไป เมื่อสูดหายใจเอาไอระเหยของแคดเมียม โรคปวดข้อและกล้ามเนื้อของช่างเชื่อมโลหะ และช่างทาสีฟันสี (Franzblau, 1994)

ตาราง 5 แสดงระดับความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อร่างกาย

ปริมาณแคดเมียมที่ได้รับ (มิลลิกรัม)	อาการที่เกิดขึ้น
3-90	เกิดอาการอาเจียน แต่ไม่มีผลถึงตาย
15	เกิดอาการอาเจียน
10-325	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350-3500	ปริมาณที่อาจทำให้ถึงตายได้
1530-8900	ปริมาณที่ทำให้ตายได้

ที่มา : ฝ่ายจัดการสารพิษ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2532 : 36)

มาตรฐานความปลอดภัยในสิ่งแวดล้อมและในสภาพการทำงาน

ค่ามาตรฐานความปลอดภัยในสิ่งแวดล้อมและสภาพการทำงาน กำหนดให้มีปริมาณของแคดเมียมและสารประกอบแคดเมียมในลักษณะของฝุ่นมีค่าเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของอากาศ และในรูปของละอองมีค่าเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร (ชมภูศักดิ์ พูลเกษ, 2527)

ระดับปกติของแคดเมียมในร่างกาย

WHO (1981) กำหนดค่ามาตรฐานระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในปัสสาวะของคนที่ทำงานสัมผัสกับแคดเมียม มีค่าไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อกรัมของ creatinine และ กำหนดค่ามาตรฐานระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในปัสสาวะของคนปกติ มีค่าไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อกรัมของ Creatinine สำหรับในเลือดนั้น Harrington และ Gill (1992) รายงานว่า ระดับของแคดเมียมในเลือด มีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร

ค่าปกติของปริมาณแคดเมียมในดิน 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Turekian and Wedepohl, 1961)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นรวมของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำดิบและตะกอนโคลน (sludge) จากโรงกรองประปาที่ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำตาปี-พุมดวง
2. เพื่อวิเคราะห์รูปแบบทางเคมี (form of metal species) ของตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในตะกอนโคลนของโรงกรองประปาที่ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำตาปี-พุมดวง