

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมและนำเสนอ ดังนี้

1. การเชื่อมโลหะกับงานอุตสาหกรรม
2. ผลกระทบต่อสุขภาพจากการเชื่อมโลหะ
3. การป้องกันอันตรายจากงานเชื่อมและการควบคุม
4. ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ
5. โลหะและการตรวจวัดโลหะหนัก
6. เมทิลโลทัยโอนิน และการตรวจวัด
 - 6.1 Electrophoresis
 - 6.2 Sodium Dodesyl Sulfate –Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS –PAGE)
 - 6.3 Immunoblotting

การเชื่อมโลหะกับงานอุตสาหกรรม

การเชื่อมโลหะเป็นพื้นฐานทางด้านอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะการเชื่อมโลหะเป็นเทคนิคพื้นฐานของงานโลหะ การเชื่อมโลหะนั้นมีการพัฒนาระบบการเชื่อมใหม่ๆ โดยการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องมือเครื่องจักร กระบวนการเชื่อมเป็นการเชื่อมหรือการประสานโลหะให้ติดกัน ซึ่งกรรมวิธีจะใช้ความร้อนและความดัน กรรมวิธีในงานเชื่อมนั้นจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงและอาจมีสะเก็ดไฟ รวมทั้งฝุ่นแก๊สต่าง ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายทั้งต่อผู้เชื่อมและผู้อยู่ใกล้เคียง และการเชื่อมจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้รังสีจากการเชื่อม หรือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสง ความร้อน ฝุ่นโลหะ และ ไอโลหะ ไอของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ โอโซน แต่ในการเชื่อมนั้นมีสิ่งที่จะต้องระมัดระวัง คือ การเชื่อมโลหะที่เคลือบด้วย สังกะสี แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ฟลูออไรด์ ตะกั่ว แมงกานีส หรือ วานาเดียม เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดไอพิษและเป็นสาเหตุของการป่วยด้วยโรคใช้ละอองไอโลหะ (ศิริพร วิวรรธโนภาส, 2545) เพราะในการเชื่อมนั้นจะทำให้ได้รับไอโลหะอย่างน้อย 13 ชนิด (OSHA, 1995)

1. ประวัติการเชื่อมโลหะ และกระบวนการเชื่อมโลหะ

มนุษย์รู้จักการนำโลหะมาใช้งานตั้งแต่ยุคอดีตแล้ว โดยส่วนใหญ่จะใช้บรอนซ์ และเหล็ก มาเผาให้ร้อนและตีให้เป็นรูปแบบต่าง ๆ ต่อมาในยุคกลางช่วงตีเหล็กได้ค้นพบวิธีที่จะทำให้เหล็กมีคุณภาพที่ดีขึ้น แต่หลังจากนั้นได้หยุดการคิดค้นไปขณะหนึ่ง โดยการเชื่อมแก๊สได้เริ่มต้นขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2343 โดย Edmund Davy ชาวอังกฤษได้ค้นพบแก๊สอะเซติลีน (Haward, 1998) ต่อมา พ.ศ. 2429 นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นวิธีการนำแก๊สอะเซติลีนมาใช้งานได้สำเร็จ หลังจากนั้นฟอนเช่ (Fouche) และพิการ์ด (Picard) ได้ค้นพบวิธีการเชื่อมที่ใช้แก๊สอะเซติลีนเพียงอย่างเดียว (วีระ รัตนไชย, 2537) และได้มีผู้พัฒนาให้สามารถนำก๊าซออกซิเจนและอะเซติลีนมาใช้ในการเชื่อม และการตัดโลหะ ด้านการเชื่อมไฟฟ้า Sir Humphry Davy นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ค้นพบเป็นคนแรก ซึ่งพบโดยบังเอิญด้วยการใช้ปลายขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่มีแรงดันสูงมาจ่อไว้ใกล้กันซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่ปลายขั้ว จนสามารถหลอมละลายโลหะได้ (ประภาส เกตุไทย, 2543) หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ ๆ ก็ได้คิดค้นเครื่องเชื่อมและเทคโนโลยีการเชื่อมใหม่ขึ้นมาเรื่อย ๆ

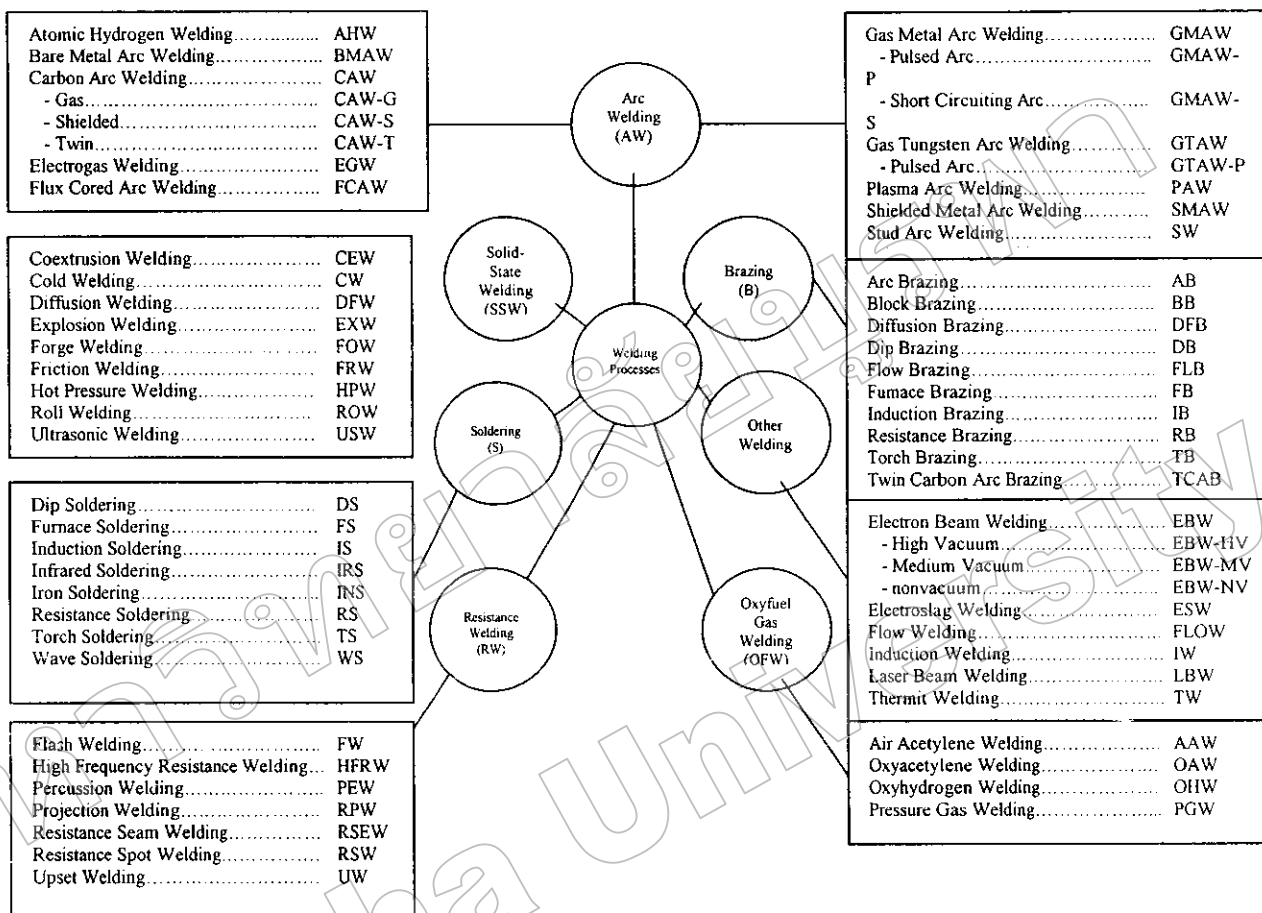
การเชื่อมโลหะ (Welding Process) หมายถึง กระบวนการเชื่อมต่อหรือประสานโลหะให้ติดกันอย่างแข็งแรง และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถกระทำได้หลาย ๆ กรรมวิธีทั้งแบบวิธีการใช้แรงดัน และ กรรมวิธีหลอมละลายซึ่งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม จะต้องเลือกกรรมวิธีให้ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะงานเพื่อให้ได้งานที่สมบูรณ์ประหยัดเวลา ค่าแรงงาน ค่าวัสดุ และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ (Jeffus, 1999) ซึ่งกระบวนการในการเชื่อมนั้นมีอยู่มากมายถึงกว่า 80 ชนิดแสดงไว้ใน ภาพที่ 2

กระบวนการเชื่อมที่มีอยู่มากมายนั้นสามารถ จัดเป็นกลุ่มได้ 2 แบบ คือ การเชื่อมแบบหลอมเหลว (Fusion Welding) และการเชื่อมแบบใช้ แรงอัด (Pressure Welding) (วิทยา ทองขาว, 2521)

1. การเชื่อมแบบหลอมเหลว (Fusion Welding) เป็นการเชื่อมโลหะชิ้นงานหรือโลหะที่นำมาเชื่อมจะในการเชื่อมถูกความร้อนเผาให้หลอมละลายติดกันกับลวดเชื่อม บริเวณหรือจุดที่ต้องการจะต่อเชื่อมซึ่งลวดเชื่อมอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ขึ้นกับลักษณะงานและ การเชื่อมแบบนี้มีอยู่มากมาย เช่น กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding Process: SMAW) และ กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิอะเซติลีน (The Oxy-Acetylene Welding Process: OAW)

2. การเชื่อมแบบใช้แรงอัด (Pressure Welding) ในการเชื่อมแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยความร้อนเช่นกันแต่อุณหภูมิความร้อนจะต่ำกว่าจุดหลอมละลายของโลหะที่นำมาเชื่อมโลหะชิ้นงานจะถูกนำมาเชื่อมด้วยความร้อนและแรงกด

Mass chart of welding



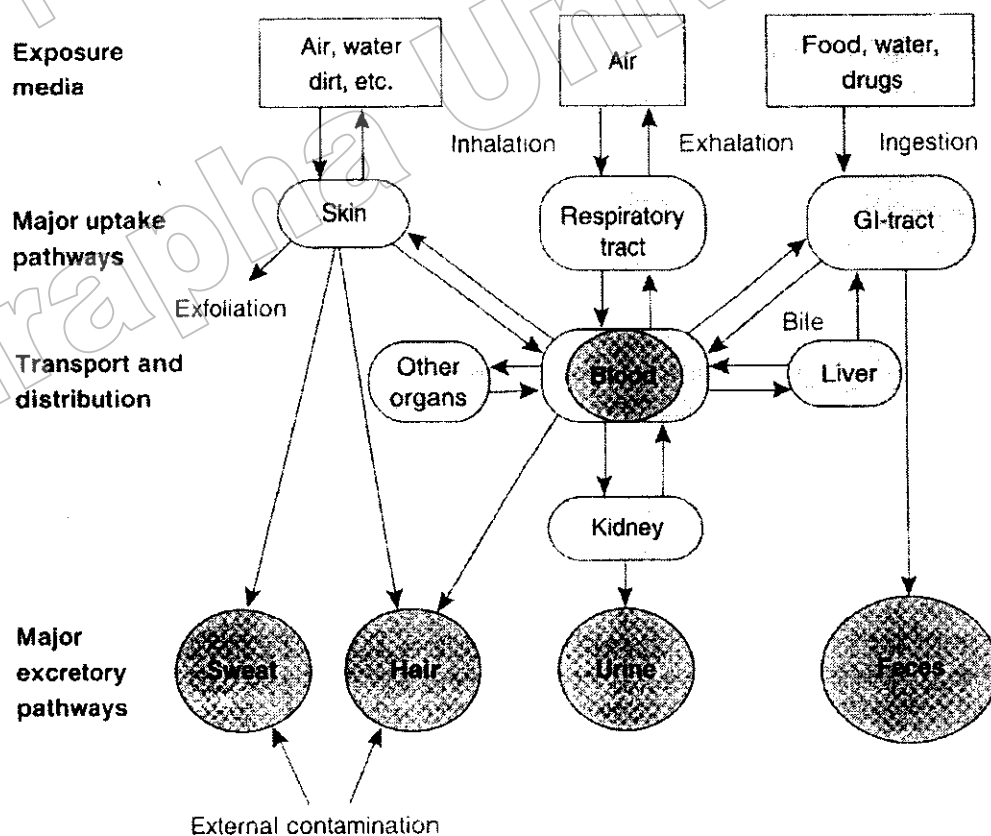
ภาพที่ 2 กระบวนการเชื่อมในแบบต่าง ๆ (ประกาศ เกตุไทย, 2543)

ผลกระทบต่อสุขภาพจากการเชื่อมโลหะ

ในขณะที่ทำการเชื่อม ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีอุณหภูมิความร้อนสูงมาก จะเกิดก๊าซต่าง ๆ หลายชนิด พร้อมทั้งมีควันและละอองอันเนื่องมาจากการถูกเผาไหม้ของโลหะที่ใช้ทำลวดเชื่อม นั้น ๆ รวมทั้งวัสดุที่เคลือบโลหะลวดเชื่อมนั้นด้วย เช่น สี น้ำมัน ตะกั่ว และสังกะสี เป็นต้น ส่วนพวกก๊าซ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ซึ่งเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลตทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและก๊าซอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีพวกควันและผงละอองที่เกิดจากโลหะพวกสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง

แมงกานีส ซีลีเนียม โปรท แคดเมียม และฟลูออรีน ซึ่งเกิดขึ้นมาน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับ วัตถุดิบที่ใช้ในการเชื่อมหรือการตัด กระบวนการผลิต ระยะเวลา และความถี่ในการรับสัมผัสสาร ตำแหน่ง หรือสถานที่ในการปฏิบัติงานรวมทั้ง ระบบการระบายอากาศ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ หากช่างเชื่อมได้รับเข้าไปมาก ๆ จากการหายใจเข้าไปจะไปทำลายสุขภาพ เช่น ทำลายระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร เกิดการระคายเคืองในลำคอ ปวดศีรษะ เป็นไข้และอ่อนเพลีย เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดปัญหาในงานเชื่อม คือ การรับสัมผัสโลหะ เช่น แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ทั้งนี้เพราะโลหะทั้งสามนี้สามารถเข้าสู่ร่างกายและอาจเกิดอันตรายได้ รวมทั้งอาจทำให้เกิดโรคมะเร็งเพิ่มขึ้นได้

โลหะนอกจากเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้งานในด้านอุตสาหกรรมแล้ว ยังเป็นสารเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้คนด้วยจากการสำรวจพบว่าโลหะเป็นพิษส่วนมากจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนและโลหะนั้นจะต้องละลายได้ในกระบวนการทางชีวเคมีธรรมชาติซึ่งสามารถทำให้ดูดซึมเข้าระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้ (เพริศพรรณ คณาธาร, 2520) จากสถานการณ์ของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและสถานประกอบการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสถานประกอบการทางด้านอากาศ และแสดงให้เห็นดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เส้นทางการรับโลหะเข้าสู่ร่างกาย (Klaassen & Amdur, 2001)

1. ปฏิกริยาของการได้รับอนุภาคโลหะเมื่อเข้าสู่ร่างกาย (Biological Reaction)

1.1 โรคปอด เกิดจากปฏิกริยาของร่างกาย ที่มีต่อการสะสมของอนุภาคภายในปอด โรคปอด มีหลายชนิด ได้แก่ การเกิดพังพืดในปอด หลอดลมอักเสบ การบีบแคบของช่องลม และ โรคมะเร็ง การเป็นโรคปอดนั้นจะทำให้การทำงานของปอดลดลง จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับหัวใจ ข้างขวาซึ่งจะส่งเลือดไปเลี้ยงปอดการที่ปอดเป็นอันตราย อาจทำให้เกิดอันตรายต่อหัวใจได้ (พรพิมล กองทิพย์, 2543)

1.2 โรคปอดจากฝุ่น ปอดนั้นเป็นอวัยวะที่มีอนุภาคสะสมอยู่ คนที่มีอายุมากกว่าจะมีการสะสมของอนุภาคภายในปอดสูงกว่าอนุภาคละลายในของเหลวจะละลายในของเหลวเข้าสู่ กระแสเลือดส่วนที่ไม่ละลายนั้น จะทำให้เกิดการระคายเคืองในปอดทำให้ปอดเกิดพังพืดซึ่งเกิดจากการได้รับอนุภาคจำพวก ฝุ่น ฟูม ซึ่งจัดเป็นอนุภาคที่มีอันตรายต่อร่างกาย

1.3 ไข้จากโลหะ เกิดจากการได้รับฟูมของโลหะ เช่น สังกะสี แมงกานีส ทองแดง และโลหะออกไซด์ชนิดอื่น ทำให้เกิดไข้จากโลหะได้เช่นเดียวกันเช่น แมกนีเซียม ทองแดง แคดเมียม โครเมียม เป็นต้น แต่ที่พบได้บ่อยคือ ออกไซด์ของสังกะสีที่ใช้ในงานเชื่อมเหล็กกล้าที่ชุบด้วยสังกะสีเพื่อกันสนิม โดยใช้วิธี Arc Welding ซึ่งใช้ความร้อนสูงกว่า 2,000 องศาเซลเซียส รวมทั้งงานเชื่อมโลหะและงานตัดโลหะอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความร้อนสูง ๆ (มาลินี วงศ์พานิช, 2542)

2. กลไกการทำอันตรายต่อสุขภาพของอนุภาคมลสาร

มาริยา เพ็ญสุตภักขุโยกุล (2542) ได้กล่าวถึงกลไกการทำอันตรายต่อสุขภาพของอนุภาคมลสารไว้ดังนี้

2.1 การอักเสบของถุงลมปอด (Alveolar Inflammation) การคั่งค้างของอนุภาคมลสาร ขนาดเล็กเกิดจากความล้มเหลวของเม็ดเลือดขาวที่จะจับและทำลายอนุภาคมลสารขนาดเล็กจากการทดลองในสัตว์นำไปสู่หลักสมมติฐานว่า อนุภาคมลสารขนาดเล็กและว่องไวต่อการทำปฏิกริยาทางเคมีนั้น จะมีการตอบสนองแบบเดียวกับมนุษย์ ทำให้เกิดการอักเสบของปอด พบการ เปลี่ยนแปลงของโปรตีนในพลาสมาที่จะกลายเป็นไฟบรินและมีจำนวนเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มมากขึ้น

2.2 การจับตัวเป็นลิ่มของโลหิต (Clotting Pathway) เม็ดเลือดขาวที่ถูกกระตุ้น โดย สิ่งเร้าต่าง ๆ นำไปสู่กระบวนการตกตะกอนของเลือดโดยโปรตีนในพลาสมาที่เปลี่ยนไปเป็นไฟบริโนเจน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดที่หลั่งออกมาจากนิวมาโตไซท์ (Pneumatocytes) เนื่องจากการอักเสบของเซลล์ถุงลมปอด มีส่วนส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนของเลือดและเป็นสาเหตุการเกิดอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว

2.3 ความชื้นของพลาสมา (Plasma Viscosity) จากการศึกษาในเยอรมัน (Peter, Doring, Wichmann & Godden, 1995 อ้างถึงใน มารีษา เพ็ญสุตภักขิณกุล, 2542) พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพลาสมากับการเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษในอากาศในกลุ่มผู้หญิงและกลุ่มผู้ชายไม่สูบบุหรี่ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของโลหิตเนื่องมาจากการอักเสบของเซลล์ในถุงลมปอดนำไปสู่ปฏิกิริยาเฉียบพลันทางพยาธิวิทยาที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นในอากาศและอุบัติการณ์การเสียชีวิต

2.4 การกระตุ้นของทางผ่านอากาศในท่อหายใจ (Airway Reactivity) การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นเมื่อตัวรับสัมผัสใน Trachea และ Large Bronchi ถูกกระตุ้น ด้วยสิ่งเร้า เช่น ควันบุหรี่ มลพิษในอากาศ ทำให้เกิดการหลั่งของสารเคมี จากกล้ามเนื้อเรียบของ ทางเดินหายใจที่สำคัญ คือ สารก่อภูมิแพ้และสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบเช่น พลาสด้าแกลนดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลอดลมของผู้ป่วยเป็นโรคหืด จะเกิดการกำเริบได้มากการหดตัวของหลอดลมมีผลให้ทางเดินหายใจลดลง ซึ่งทำให้เกิดแรงต้านทานระหว่างอากาศเข้า ออกการหดตัวของหลอดลมทำให้เกิดการหายใจมีเสียงวี๊ด ในอก ไอ แน่นหน้าอก หายใจลำบาก และอาการรุนแรงขึ้นเมื่อออกกำลังกาย

การป้องกันอันตรายจากงานเชื่อม และการควบคุม

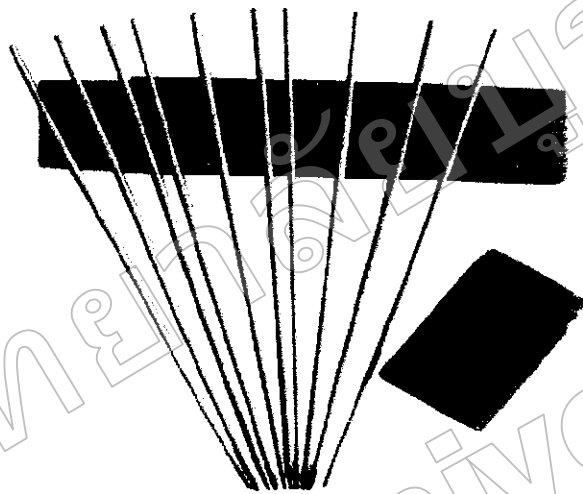
การป้องกันอันตรายจากควันเชื่อมและก๊าซ สามารถป้องกันและกำจัดควันเชื่อมและก๊าซอันตรายได้โดยการหาวิธีกำจัดและป้องกัน

1. ถ้าปฏิบัติการเชื่อมในบริเวณ โรงงานหรือ โรงฝึกงาน ควรมีการระบายอากาศหรือมีระบบการดูดอากาศที่ถูกต้องตลอดทั้ง โดยเฉพาะในที่ซึ่งจำกัดคับแคบ มีเพดานสูงน้อยกว่า 16 ฟุต จะต้องมีระบบระบายอากาศในอัตราที่ไม่น้อยกว่า 2,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และต่อช่างเชื่อม 1 คน



ภาพที่ 4 ระบบระบายอากาศขณะเชื่อม (Industrial Ventilation & Exhaust Systems, 2001-2007)

2. ช่างเชื่อมต้องสวมหน้ากากเชื่อมทุกครั้งก่อนปฏิบัติการเชื่อม และควรมีหน้ากากป้องกันควันพิษและอุปกรณ์ช่วยหายใจสำหรับเชื่อมในสถานที่หรือโลหะที่น่าจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากเป็นพิเศษ เช่น โลหะพวกสังกะสี ทองเหลือง ตะกั่ว หรือแผ่นเหล็กอาบสังกะสี อาบตะกั่ว ซึ่งก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซพิษ และเป็นอันตรายต่อร่างกาย



ภาพที่ 5 ลวดเชื่อมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายขณะทำการเชื่อม (Welding Electrode, 1999-2005)

ความปลอดภัยในการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า

1. ก่อนการเชื่อมทุกครั้ง ช่างเชื่อมจะต้องตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือทุกชิ้นเพื่อความพร้อมในการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. บริเวณที่จะเชื่อมต้องมีการถ่ายเทอากาศที่ดี หรือมีระบบระบายอากาศที่ถูกต้อง
3. การเชื่อมโลหะที่เคลือบสังกะสีจะต้องทำการเชื่อมในที่ที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดี เพราะควันที่เกิดจากสังกะสีที่เคลือบจะเป็นอันตรายต่อช่างเชื่อมอย่างมาก เช่น ทำให้เป็นไข้ แน่นหน้าอก และปวดศีรษะ เป็นต้น
4. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องชนิดก๊าซโซลีน ควรติดตั้งเครื่องเชื่อมไว้ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อป้องกันก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่ถูกขับออกมาจากท่อไอเสีย
5. ในการเชื่อมชิ้นส่วนของงานส่วนใดส่วนหนึ่ง ถ้าประกอบติดกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ควรถอดออกมาก่อนเพื่อหลีกเลี่ยงการบิดงอหรือป้องกันการละลายของโลหะผสมบางอย่างที่มีจุดหลอมตัวต่ำ เมื่อได้รับความร้อน

6. ต้องติดตั้งสวิตช์ไฟกำลัง (Power Disconnect Switch) ไว้ใกล้มือในที่ทำการเชื่อม เพื่อสามารถปิดเครื่องได้ทันทีด้วยความรวดเร็วเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

7. อย่าทำการเชื่อมโลหะบนพื้นหรืออาคารที่ทำด้วยไม้ นอกจากได้ปูพื้นนั้นด้วยแผ่น แอสเบสตอส (Asbestos) หรือทรายรองรับ โลหะร้อน ๆ ไว้ก่อนแล้ว และก่อนการเชื่อมต้องนำวัสดุ ที่ติดไฟง่าย เช่น กระดาษ ไม้ น้ำมัน และเบนซิน ให้พ้นจากบริเวณที่จะทำการเชื่อม

8. สวมแว่นตากระຈกใส (Safety Goggle) ทุกครั้งขณะที่ใช้ค้อนเคาะสแลกที่แนวเชื่อม เมื่อต้องการจะขัดผิวโลหะและผิวรอยเชื่อม ซึ่งช่างเชื่อมต้องแต่งกายให้ถูกต้องรัดกุม สวมอุปกรณ์ ป้องกันอันตรายให้พร้อม ดังภาพ



ภาพที่ 6 การแต่งกายในขณะที่เชื่อมชิ้นงานที่รัดกุมปลอดภัย (PPE Welding, 2007)

9. เมื่อทำการเชื่อมนอกโรงงานหรือเชื่อมใกล้ ๆ บุคคลอื่น ควรมีฉากกันป้องกันไม่ให้ แสงเข้าตาบริเวณผู้อื่นได้ และควรมีฉากกันคกเคลื่อนที่ได้ สำหรับกันลมมารบกวนขณะเชื่อมด้วย

10. อย่าทิ้งอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือ โลหะร้อน ๆ ลงบนบริเวณพื้นโรงงาน เพราะจะทำให้ เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติงาน และอาจเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุแก่ตัวเองและเพื่อนร่วมงานได้ หรืออาจเกิดอัคคีภัยขึ้นได้ โดยเฉพาะโลหะชิ้นงานร้อน ๆ อย่าใช้มือจับ ควรใช้คีม

11. จะต้องติดตั้งเครื่องดับเพลิงไว้ในที่ที่สามารถนำมาใช้ได้สะดวกรวดเร็วเมื่อต้องการ และต้องตรวจสอบอยู่เสมอให้พร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา

12. ภายหลังจากการเชื่อมเสร็จแล้ว ควรปิดสวิตช์กระแสไฟฟ้าทั้งหมด และตรวจสอบความ เรียบร้อยไม่ให้มีสะเก็ดไฟร้อน ๆ คงเหลืออยู่ในบริเวณนั้น

ความปลอดภัยในการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซ

1. สวมแว่นตากรองแสง (Goggles) เสมอก่อนทำการจุดไฟที่ทอรัลเชื่อมปรับเปลวไฟ และทำการเชื่อมแว่นที่ใช้จะต้องเป็นแว่นที่ออกแบบใช้กับการเชื่อมโลหะ โดยเฉพาะมีขนาดนับเบอร์ความเข้มข้นของกระจกสีพอเหมาะกับสายตาของผู้เชื่อม
2. อุปกรณ์การเชื่อมและการตัดด้วยก๊าซ ห้ามใช้สิ่งหล่อลื่นใด ๆ เช่น น้ำมันหรือจาระบี และห้ามไม่ให้ท่อออกซิเจนที่มีก๊าซออกซิเจนบรรจุอยู่ถูกกับน้ำมันหรือจาระบีอย่างเด็ดขาด
3. ก่อนการเชื่อมหรือทำการตัดด้วยก๊าซ จะต้องเตรียมสถานที่โดยการนำเอาวัสดุที่ไวไฟต่าง ๆ ออกให้ห่างจากที่ทำการเชื่อม และจะต้องห่างจากท่อก๊าซทั้งสองด้วย นอกจากนี้ต้องเตรียมป้องกันไม่ให้ประกายไฟหรือเศษโลหะร้อน ๆ หล่นลงไปโดนขาหรือเท้าของผู้เชื่อม หรือไปโดนสายเชื่อมและท่อก๊าซได้
4. ท่อก๊าซควรเก็บไว้ในที่ที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี และควรจัดบริเวณระหว่างท่อก๊าซกับที่ทำการเชื่อมให้สะดวกเรียบร้อยไม่ควรมีสิ่งอื่นกีดขวางเพราะหากเกิดเหตุฉุกเฉินจะได้ไปปิดวาล์วที่ท่อได้ทันทั่วทั้งที่
5. จะต้องติดตั้งเครื่องดับเพลิงไว้ในที่ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้สะดวกรวดเร็ว
6. อย่าจุดหัวทอรัลกับโลหะชิ้นงานร้อน เพราะควันไฟจากการจุดจะทำให้ชิ้นงานนั้นดำไม่เรียบร้อย และไม่ควรใช้ไม้ขีดจุด เพราะจะทำให้ไฟไหม้มือเอาได้ควรใช้ประกายไฟจากที่จุดก๊าซ (Friction Lighter) โดยวิธีจุดที่ถูกต้องให้ปฏิบัติได้
7. อย่าทำการเชื่อมหรือตัดบนอาคารที่มีพื้นเป็นไม้ ถ้าจำเป็นจะต้องหาแผ่นเหล็ก แผ่นแอสเบสตอสหรือทรายรองรับประกายไฟเสียก่อน
8. ขณะทำการเชื่อมอย่าเผลอนำทอรัลซึ่งกำลังติดไฟเข้าไปใกล้ท่อก๊าซเพื่อปรับความดัน เพราะอาจจะเบิดขึ้นได้เมื่อวาล์วก๊าซที่ท่อรั่ว
9. ท่อก๊าซควรวางในตำแหน่งที่ตั้งตรงตลอดเวลาและท่อใดที่ก๊าซหมดควรทำเครื่องหมายหรือเขียนบอกไว้
10. ห้ามปฏิบัติการเชื่อมห่างจากท่อก๊าซน้อยกว่า 5 ฟุต เพราะเป็นระยะอันตราย เปลวไฟเชื่อมอาจทำให้ท่อก๊าซลุกติดไฟและระเบิดได้
11. เมื่อเลิกใช้หัวทอรัลเชื่อมแล้วต้องปิดวาล์วที่ท่อทันที เพื่อไล่ก๊าซที่ค้างอยู่ในสายเชื่อมออก แล้วปิดวาล์วที่ทอรัลเชื่อมให้แน่น เก็บแวนวาล์วในที่ตั้งจัดไว้โดยเฉพาะ อย่าแวนสวามวาล์วบนหัวปรับหรือวาล์วที่ท่อก๊าซ (Cylinder Valve)
12. ขณะทำการเชื่อมเมื่อมีปัญหาใหม่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการเชื่อมหรืออุปกรณ์ในการเชื่อม หรือเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้น ต้องรีบแจ้งให้อาจารย์ผู้ควบคุมหรือผู้ที่รับผิดชอบทราบทันที

ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ

ตัวชี้วัดทางชีวภาพ

วิธีการตรวจสอบสารคัดหลั่งในร่างกายมีมานานแล้วโดยแพทย์และนักวิทยาศาสตร์เป็นผู้ทำการตรวจเพื่อหาสารเคมีหรืออนุพันธ์ของสารเคมี เอนไซม์ หรือสารชีวเคมีอื่น ๆ เพื่อที่จะเข้าใจปฏิกิริยาทางเคมีในระบบชีววิทยา ซึ่งให้ข้อมูลเชื่อมโยงระหว่างการสัมผัสสารเคมีกับปริมาณของสารที่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและผลกระทบที่สัมพันธ์กับกระบวนการประเมินความเสี่ยงในปัจจุบัน การตรวจวัดเหล่านี้นิยมเรียกว่า ตัวชี้วัดชีวภาพ (Biomarker) (พรชัย สติศรีบุญกุล, 2545)

US National Academy of Science ได้ให้คำนิยามตัวชี้วัดทางชีวภาพ เมื่อ ค.ศ. 1989 ในความหมายที่หมายรวมถึงสิ่งที่ได้จากการวัดที่แสดงถึงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างระบบชีววิทยากับสิ่งคุกคามสุขภาพอนามัย ซึ่งอาจเป็นสารเคมี พลังงานทางฟิสิกส์ หรือชีวภาพต่าง ๆ การวัดการตอบสนองอาจจะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระดับเซลล์ หรือเป็นปฏิสัมพันธ์ ระดับ โมเลกุล ตัวชี้วัดทางชีวภาพนั้น แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม

1. ตัวชี้วัดชีวภาพของการสัมผัส (Biomarker of Exposure) เป็นตัวแสดงการสัมผัส บ่งชี้ว่ามีสารแปลกปลอม หรือ อนุพันธ์ หรือ ผลิตภัณฑ์จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารภายนอกกับโมเลกุลเป้าหมายของเซลล์ได้เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งสามารถวัดได้ในสิ่งมีชีวิต เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ ที่ประกอบด้วยปริมาณที่รับสัมผัส (Internal Dose) ขนาดที่ให้ผลทางชีวภาพ (Biologically Effective Dose) และผลทางชีววิทยา ที่ปรากฏในระยะแรก (Early Biologic Effect)

2. ตัวชี้วัดชีวภาพของความไวรับ (Biomarker of Susceptibility) คือ ตัวที่แสดงที่แสดงความสามารถที่มีมาแต่กำเนิด หรือได้รับภายหลัง ที่จะเปลี่ยนแปลงการตอบสนองต่อการสัมผัสสารตัวใดตัวหนึ่งจากภายนอก เป็นตัวชี้วัดชีวภาพที่ช่วยบอกว่าบุคคลมีความไวรับหรือมีความต้านต่อสารนั้นเป็นพิเศษ หรือมีโอกาสเป็นโรคนั้นน้อยกว่า หรือมากกว่าคนอื่นเช่น ผู้ป่วยติดเชื้อเอชไอวีที่มีจำนวนเม็ดเลือดขาว CD₄ มีระยะเข้าสู่เอดส์ได้มากกว่าผู้ที่มีจำนวน CD₄ สูงกว่า เพราะไวรับการติดเชื้อนั้นต่างกัน

3. ตัวชี้วัดชีวภาพที่แสดงผล (Biomarker of Disease หรือ Biomarker of Effect) คือ การเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ทางชีวเคมี สรีรวิทยา พฤติกรรม หรือ การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งขนาดการเปลี่ยนแปลงนี้สัมพันธ์กับการเกิดโรคหรือการเสื่อมโทรมทางสุขภาพหรือสภาวะที่ จะเกิดโรคหรือเป็นตัวชี้วัดชีวภาพที่บ่งชี้ว่าเริ่มมีหรือมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เป็นโรคนั้นแล้ว ประกอบด้วยผลทางชีววิทยาที่ปรากฏในระยะแรกโครงสร้างและหน้าที่แปรเปลี่ยนโรคและการพยากรณ์โรค

การใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ ในงานวิจัยนั้นมีการใช้มานานแล้ว โดยใช้ในการศึกษาโรคติดเชื้อ ปัจจุบันมีการใช้ในการวินิจฉัยโรคและภาวะต่าง ๆ เช่น โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคทางพันธุกรรม โรคพิษจากโลหะหนัก โรคระบบประสาท ความผิดปกติของระบบกระดูก ข้อและกล้ามเนื้อ ฯลฯ รวมถึงมะเร็งชนิดต่าง ๆ ด้วย

โลหะและการตรวจวัดโลหะหนัก

1. โลหะหนัก

ธาตุโลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยทั่วไปเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic Number) ในช่วงที่ 23- 92 อยู่ในคาบที่ 4-7 ตัวอย่าง เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท นิกเกิล โครเมียม โคบอลต์ สังกะสี เหล็ก ทองแดง เป็นต้น โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไลน์ (Alkaline) และแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline Earth) (เกสร ไชยมงคล, 2548) โลหะส่วนใหญ่มีสมบัติทางเคมีแตกต่างกันจึงทำให้โลหะแต่ละชนิดมีความเป็นพิษที่แตกต่างกันซึ่งอาจแบ่งเป็น สารปริมาณน้อย (Trace Element) เป็นสารที่มีความจำเป็นสำหรับชีวิต แต่ถ้าได้รับมากเกินไปจะเป็นอันตรายได้ เพราะทำให้เกิดพิษ ซึ่ง สารปริมาณน้อย ได้แก่ โครเมียม โคบอลต์ ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล ซีลีเนียม และสังกะสี เป็นธาตุที่มีความสำคัญในโครงสร้างโมเลกุลเป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์ และขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) นอกจากนี้ยังมีโลหะที่เป็นพวกสารพิษ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และปรอทส่วนลักษณะของความเป็นพิษจะวัดได้จากอัตราความสัมพันธ์ระหว่างการรับเข้าไปและการตอบสนองทั้งนี้ลักษณะการตอบสนองจะมีด้วยกัน 2 แบบคือ พิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ซึ่งในการเชื่อมโลหะนั้น จะทำให้เกิดฟุ้ง ซึ่งเป็นสารที่มีส่วนประกอบของโลหะ ที่เป็นอันตราย เช่น แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว

2. แคดเมียม

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

แคดเมียม เป็นโลหะหนักในหมู่ VI B มีมวลอะตอม 112.41 จุดหลอมเหลว 320.9 °C จุดเดือด 767 °C ความถ่วงจำเพาะ 8.65 (ที่ 20 °C) มีเนื้ออ่อน สีขาว อมเงิน มีวาเลนซ์ 2 จุด ความดันไอของแคดเมียม มีค่า 1.4 mm ที่ 400 °C และ 16 mm ที่ 500 °C ดังนั้นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเศษเหล็ก และการเผาของเสียจะทำให้ของแคดเมียมออกมาได้ระหว่างกระบวนการและไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) แคดเมียมไม่มีแหล่งในธรรมชาติโดยตรงแต่จะสามารถพบได้จากส่วนเหลือการถลุงแร่สังกะสีปริมาณ 0.1 -5 % ซึ่งปริมาณนั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสี ส่วนใหญ่จะรวมตัวกันกับกำมะถัน ได้เป็น แคดเมียมซัลไฟด์ ที่มีสีเหลือง สามารถสร้าง

สารประกอบอัลคิลไม่ค่อยอยู่ตัวโดยเฉพาะที่มีความชื้น ซึ่งจะไม่ค่อยพบสารประเภทนี้ แต่จะพบแคดเมียมอนินทรีย์ ส่วนเหลือที่ได้จากการถลุงแร่สังกะสี (By – Product) สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตแคดเมียม คือ Zinc – Cadmium Cake และแคดเมียมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ (โยธิน เบญจวง, 2542)

2.2 การผลิตและการนำมาใช้ประโยชน์

การผลิตแคดเมียมนั้นมีมานานมากแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นผลพลอยได้จากการถลุงสังกะสี และบางส่วนยังได้มาจากอุตสาหกรรมถลุงทองแดงและตะกั่ว สำหรับประเทศไทยเรานั้นยังไม่มีการผลิตแคดเมียม แต่มีแคดเมียมจากผลผลิตของโรงงานถลุงสังกะสี จังหวัดตากในรูปของ Cadmium Residue แคดเมียมที่ใช้ในประเทศไทยจึงเป็นแคดเมียมที่ได้จากการนำเข้าส่วนใหญ่ (สมิง เก้าเจริญ, วินัยวานุกูล และจินตนา ศิริวรราชย์, 2541)

2.2.1 ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (Alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น

2.2.1.1 Alloy ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

2.2.1.2 Alloy ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ Alloy ของทองแดง แคดเมียม และ Zirconium ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่าง ๆ ที่มีโวลต์สูง ๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้ มีความแข็งแรงและแรงดึงที่สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงและแคดเมียม (นิภาภรณ์ รอดน้อย, 2537; โยธิน เบญจวง, 2542)

2.2.2 ใช้ผสมกับโลหะอื่นในกิจการเพชรพลอย

2.2.3 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงในการผสมกับโลหะอื่นให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ

2.2.4 ใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้ในส่วนประกอบของ เครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ

2.2.5 ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรม สารประกอบของแคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สีอีนามัล เซรามิก ขาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก

2.2.6 ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิล ซึ่งสามารถนำมาใช้ในแบตเตอรี่ เครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด เป็นต้น

2.2.7 ใช้ในกิจการอื่น ๆ เช่น ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์, ใช้ในกิจการถ่ายรูป

2.3 การแพร่กระจายจากสิ่งแวดล้อม

แคดเมียมสามารถพบทั่วไปในธรรมชาติ อยู่ร่วมกับธาตุสังกะสี ตะกั่ว และคอปเปอร์ ซัลไฟด์ ชั้นเปลือกโลกมีแคดเมียม 0.2 ppm แคดเมียมจะพบมากในวัสดุที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง เช่น น้ำมันดิบและถ่านหิน เป็นต้น (สุวัจน์ ธีธรรต, 2549) นอกจากนี้ยังพบได้ในกิจกรรมอื่น ๆ ดังนี้

2.3.1 จากอุตสาหกรรมการทำเหมือง การหลอม และการถลุง ตะกั่วและสังกะสี ซึ่งจะปล่อยไอ ฟุ้งน้ำเสีย กากตะกอนที่มีแคดเมียมออกมาด้วย

2.3.2 จากของเสียโรงงานประเภทชุบแคดเมียม ซึ่งจะมีโลหะชนิดอื่นปนออกมารวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่น ๆ ด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.3.3 จากการเผาของเสีย การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่น เม็ดสี โลหะเคลือบพลาสติก เศษเหล็ก และปล่อยแคดเมียมในรูป Cadmium Aerosols และ Cadmium Oxide

2.3.4 ปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสเฟตมีแคดเมียมผสมอยู่ประมาณ 2-170 ppm ซึ่งแคดเมียมฟอสเฟตนี้สามารถละลายน้ำได้น้อยจึงสะสมอยู่ในดินได้ แต่ถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียจะทำให้แคดเมียมละลายได้มากขึ้น เพราะแคดเมียมจะรวมตัวกับแอมโมเนียได้อ่อนที่สามารถละลายน้ำได้ (สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

2.3.5 จากกากตะกอนของน้ำทิ้งกากตะกอนของน้ำทิ้งนั้นจะมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง มีรายงานการใช้กากตะกอนน้ำทิ้งนี้มาใช้ประโยชน์โดยทำเป็นปุ๋ย ซึ่งจะทำให้เพิ่มระดับแคดเมียมในดิน และพบว่าพืชบางชนิดนั้น เช่น ข้าวสาลี สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

2.3.6 จากบุหรี่ พบว่าในบุหรี่ 1 มวนจะมีปริมาณแคดเมียม 1-2 μg (Kosanovic & Jekanovic, 2007; WHO, 1992)

2.4 ระดับแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

2.4.1 ในบรรยากาศ

จากการตรวจวัดระดับแคดเมียมในอากาศ พบว่า แคดเมียมในบรรยากาศชนบทนั้นจะมีระดับต่ำกว่าในเขตเมือง คือ ประมาณ 0.0001-0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ดังนั้นจึงน้อยมากเมื่อเทียบจากการรับประทานอาหาร

2.4.2 ในสภาพแวดล้อมการทำงาน

แคดเมียมสำหรับในประเทศไทย มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณใกล้เคียงโรงงานถลุงสังกะสี บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก ในรัศมี ประมาณ 1 กิโลเมตร โดย

การตรวจวัดในรูปฝุ่นตก พบว่ามีปริมาณที่ต่ำมาก ซึ่ง การตรวจวัดของ บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด ทำในปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2530 พบว่าปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในบรรยากาศ 24 ชั่วโมง มีค่าประมาณ $0.007-0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และจากการตรวจวัดของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2529 พบว่า มีปริมาณแคดเมียม $0.0003-0.0033 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานในระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งค่าที่ยอมให้มีได้ คือ $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และความเข้มข้นของฟุ้งแคดเมียมตลอดระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าที่ยอมให้มีได้ $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

2.4.3 ในดินและดินตะกอน

มีการศึกษาในปี พ.ศ. 2543 ที่ทำการศึกษากการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอน ในรอบปี 2542 พบว่าโลหะ แคดเมียม ทองแดง สังกะสี มีปริมาณสูงสุดบริเวณชายฝั่งทะเล อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี ที่ระยะห่าง 5,000 เมตร และลดลงที่ระยะ 3,000 เมตร และ 1,000 เมตร ส่วนปริมาณโลหะตะกั่วพบว่ามีปริมาณสูงสุดที่ อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี ที่ระยะห่าง 1,000 เมตร และลดลงที่ระยะ 5,000 เมตรและ 3,000 เมตร ตามลำดับ (พรรณราย สิทธิวงษ์, 2543)

2.4.4 ในน้ำ

มีการศึกษาของ ในปี พ.ศ. 2520 พบว่าการแพร่กระจายของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ที่สะสมในปลา มีสูงกว่าในแหล่งน้ำ แต่น้อยกว่าในดินตะกอน และปลาที่ศึกษาเป็นปลาน้ำจืด ไม่ใช่ปลาหมึกน้ำจืด ส่วนนกกินปลาจะมีปริมาณโลหะหนักสะสมสูงกว่าในปลา แสดงว่าการสะสมของโลหะหนักมีการถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (เปี่ยมศักดิ์ เบนะเสวต และพิชาญ สว่างวงศ์, 2520)

2.4.5 ในอาหารและน้ำดื่ม

มีรายงานการตรวจวัดระดับแคดเมียมในน้ำบ่อ น้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดตาก เพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค พบว่า เมื่อเดือนมกราคม 2532 โดยสำนักงานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบว่าระดับสูงสุดที่ตรวจวัด คือ $0.18 \mu\text{g}/\text{l}$ ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้มีมาตรฐานน้ำดื่มกำหนดไว้ว่า ระดับที่ยอมให้มีได้ คือ $0.01 \mu\text{g}/\text{l}$ (สมิง เก้าเจริญ และคณะ, 2541)

โดยทั่วไปอาหารที่มาจากบริเวณที่ไม่มีปัญหามลพิษ จะมีแคดเมียมต่ำกว่า 1 ppm ยกเว้นในตับ ไตและสัตว์ทะเล ประเภท หอย กุ้ง ปู จะมีแคดเมียมในระดับสูงกว่านี้ ในปี 2519 มีการตรวจระดับโลหะหนักในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง (ปลา หอย และสัตว์น้ำอื่น ๆ) พบว่ามีระดับแคดเมียมระหว่าง $0.010-0.274 \text{ ppm}$ ซึ่งสูงไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ 0.3 ppm และปี 2529 มีการศึกษาระดับแคดเมียมที่สะสมในสัตว์น้ำประเภทหอยบริเวณอ่าวไทย พบว่ามีแคดเมียม $1.5-26.1 \mu\text{g}/\text{kg Dry Weight}$ ซึ่งเป็นระดับที่สูง (Chewaporn, 1997)

นอกจากนี้มีการศึกษาในการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำซึ่ง
 ทำการศึกษาในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำเพื่อส่งออกบรรจุกระป๋อง 6 ชนิดคือ ปลาทูน่า/ ชาร์ดิน กุ้ง
 ปลาหมึก อาหารทะเลรวมมิตร ปู และหอยบรรจุกระป๋อง และประเภทแช่แข็ง 4 ชนิด คือ ปลาแช่
 แช่แข็ง กุ้งแช่แข็ง ปลาหมึกแช่แข็ง และ อาหารทะเลแช่แข็งรวมมิตร ที่ผลิตในเขตภาคใต้ตอนล่าง
 ในช่วงเดือนตุลาคม 2536 ถึงกันยายน 2537 จำนวน 965 ตัวอย่าง พบว่าปลาหมึกบรรจุกระป๋องและ
 ปลาหมึกแช่แข็งมีปริมาณการสะสมของแคดเมียมสูงกว่าผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำชนิดอื่น คือ มีค่าเฉลี่ย
 0.44 และ 0.62 มก/กก ซึ่งจากการวิจัยนั้นพบว่า ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ทำการส่งออกมีการสะสมของ
 โลหะหนักในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่ประเทศผู้นำเข้าต่าง ๆ กำหนดขึ้น และยังอยู่ใน
 เกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภค (สุชาดา มะแสง, 2540) นอกจากนี้จากการศึกษาการสะสมของโลหะ
 หนักในหมึกในหมึกสายและหมึกกระดองที่เกิดจากท่าเทียบเรือจังหวัด สมุทรปราการ สมุทรสาคร
 ระยอง สงขลา และนครศรีธรรมราช ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2536 ถึงเดือนกันยายน 2536 โลหะ
 หนักที่ศึกษาได้แก่ สารปรอท ตะกั่ว สารหนูและแคดเมียม ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิก
 แอ็บซอร์พชันแบบเฟลม ผลการวิเคราะห์ พบว่า แคดเมียมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.12-0.48 ppm และ
 0.06-0.09 ppm ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ไม่เกินมาตรฐานการส่งออกทั้งในหมึกสายและหมึกกระดอง
 (อัยยา กังสุวรรณ และบัณฑิต อธิพิงษ์, 2540)

2.5 การดูดซึม ขับออก และแพร่กระจายในร่างกาย

2.5.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมของแคดเมียมในร่างกายจะขึ้นอยู่กับ การสูบบุหรี่ และอัตราการดูดซึม
 แคดเมียมผ่านการกิน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตรานี้ คือ ปริมาณเหล็กสะสมในร่างกายโดยเฉลี่ย
 อัตราการดูดซึม ประมาณวันละ 1.6-12.5 μg สำหรับการตรวจพบ ปริมาณแคดเมียมในเลือดนั้น
 สามารถชี้ให้เห็นได้ว่าส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการดูดซึมแคดเมียมในช่วงเวลาไม่กี่เดือนการดูดซึม
 ของแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนั้นมีด้วยกัน 2 ทาง

2.5.1.1 โดยการหายใจเอาอากาศที่มีไอของแคดเมียม หรือสารประกอบของ
 แคดเมียมเข้าไปในร่างกาย โดยร่างกายนั้นจะดูดซึมได้ร้อยละ 20-50 มักพบในกลุ่มของผู้ที่ทำงาน
 เชื่อมหลอมหรือเคลือบด้วยแคดเมียม เนื่องจากการหายใจเข้าไปในระหว่างที่มีการทำงาน
 (โยชิน เบญจวง, 2542)

2.5.1.2 โดยการกินแคดเมียมจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งการดูดซึมจะมี
 ปริมาณร้อยละ 5 - 8 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมด้วย เช่น การดูดซึมจะเพิ่มขึ้นถ้า
 ภาวะแคลเซียม เหล็ก และ โปรตีนในร่างกายต่ำ โดยอาหารที่มีแคลเซียมต่ำจะทำให้มีการสร้าง
 Metallothionein ทำให้มีการวัดแคดเมียมได้สูงขึ้นด้วย (สมิง เก้าเจริญ และคณะ, 2541)

2.5.2 การแพร่กระจาย (Distribution)

แคดเมียมเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงและสามารถสะสมสูงเช่นกัน เนื่องจากมีครึ่งชีวิตมากกว่า 10 ปี การสะสมนั้นจะมากขึ้นตามอายุ ปริมาณครึ่งหนึ่งของแคดเมียมนั้นจะถูกสะสมที่ไต และตับ หลังจากแคดเมียมได้เข้าสู่ร่างกายแล้ว จะถูกขนส่งโดยกระแสเลือด แล้วจะรวมกับเม็ดเลือดแดง และ Albumin ที่ตับนั้นแคดเมียมจะจับกับ Metallothionein และสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อน หลังจากนั้นจะถูกขนส่งไปที่ไต โดยปริมาณครึ่งหนึ่งของแคดเมียมจะถูกเก็บสะสมที่ตับและไตโดยสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางและจะสามารถแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิด และถูกดักจับที่ไต ทำให้ความดันในเลือดสูง เพราะมีบริเวณที่ให้จับกับโลหะ คือ โปรตีนไทโอนิน (Thionein) ที่มีหมู่ Sulfhydryl สูง รวมกัน และเป็นเมทัลโลไทโอนิน Metallothionein (วีราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) นอกจากนี้แคดเมียมยังทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เนื่องจากลดเหล็กที่เซลล์ตับและรบกวนปฏิกิริยาของโลหะอื่นมอร์ริส (Morris, 1973, p. 182 อ้างถึงใน ประกอบศรีจันทร์, 2529) ศึกษาพบว่าปกติแล้วโลหะแคดเมียมมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับโลหะสังกะสีและตะกั่ว โดยโลหะดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อเซลล์เมมเบรนและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไมโทคอนเดรียถึงจะมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปคือการเคลื่อนที่ของโปรตีนเชื่อมโยงภายในเซลล์และภายในไมโทคอนเดรียจะสูงขึ้นอย่างมากเฮวแลนด์ (Howland, 1975 อ้างถึงใน ประกอบศรีจันทร์, 2529) ศึกษาว่าแคดเมียมสามารถเป็นตัวยับยั้งการสร้างพลังงานของเซลล์โดยจะขัดขวางระบบไซโตโครม ระหว่าง ไซโครมบี และซี ในขบวนการอิเล็กตรอนทรานสปอร์ตของไมโทคอนเดรียทำให้การสร้างพลังงานลดลง

2.5.3 การขับถ่าย (Excretion)

แคดเมียมนั้นจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายผ่านทางไตแต่อัตราการขับออกจะน้อยกว่าอัตราการดูดซึม คือประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น จึงมีผลให้เกิดการสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะในไตและตับ นอกจากนี้ปริมาณแคดเมียมในปัสสาวะยังสะท้อนให้เห็นถึง ร่างกายมีปริมาณแคดเมียมที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย นอกจากนี้การขับถ่ายของแคดเมียมยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย และขึ้นกับ Total Body Burden ของแต่ละคนด้วย (สมิง เก้าเจริญ และคณะ, 2541)

2.5.4 ความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Mammalian Toxicity)

แคดเมียมสามารถทำให้เกิดพิษสะสมในมนุษย์ เช่น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดจะสะสมในร่างกายมนุษย์เพิ่มขึ้นตามอายุ และจะถูกขับถ่ายผ่านทางไต (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

2.6 ความเป็นพิษและผลต่อสุขภาพ

2.6.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร

เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปโดยการรับประทาน อาการเริ่มที่จะปรากฏให้เห็นได้ชัด คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องและท้องเสียอย่างรุนแรง ในรายที่เป็นมากอาจเสียชีวิตได้ เนื่องจากการสูญเสียน้ำมากและระบบการทำงานของไตล้ม

ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ

เกิดขึ้นเนื่องจากการสูดหายใจเอา ฝุ่น และฟุ้งของแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมที่มีการเชื่อมโลหะที่มีการใช้ความร้อนสูง แต่ในขณะที่สูดหายใจเข้าไปจะไม่ปรากฏอาการโดยทันที แต่จะเกิดอาการหลังจากที่ได้รับแคดเมียมประมาณ 2-3 ชั่วโมง โดยจะเกิดการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด และระคายเคืองที่จมูก คอ มีอาการไอ ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก และเกิดพังพืดในเนื้อเยื่อปอดจนถึงการเกิดโรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) ซึ่งมักเกิดขึ้นได้ในคนงานที่ทำงานและหายใจได้รับควันจากการเชื่อมที่มีแคดเมียมสูงกว่า 0.1 mg/ลบ.ม.เข้าไปเป็น ระยะเวลาานาน (กรมการแพทย์, 2549)

2.6.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษต่อไต

ถ้าได้รับแคดเมียมเป็นระยะเวลานานแล้ว ไตจะเป็นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบมาก โดยมีอาการแสดงดังนี้ ไตจะขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาจะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักของโมเลกุลต่ำเช่น β_2 -Microglobulin เป็นต้น และยังทำให้การดูดกลับสารตัวอื่นเสียสมดุล และทำให้เกิดนิ่วในไตได้ (สมิง เก้าเจริญ และคณะ, 2541)

ความเป็นพิษต่อกระดูก

ซึ่งจะพบในผู้ป่วยผู้หญิงที่มีอายุ 50 ขึ้นไป โดยมีอาการ ปวดที่เอว ปวดที่ก้นลำเนื้อขา และเจ็บที่กระดูก และกระดูกงอโค้ง เสียรูปและหักได้ และทำให้เกิดอาการกระดูกพรุนด้วย

ความเป็นพิษต่อปอด

ความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย ในกรณีที่ได้รับนาน ๆ จะก่อให้เกิดภาวะ Chronic Bronchitis, Fibrosis of Lower Airways, Alveoli Damage และอาจทำให้เกิด Emphysem

ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์

จะพบเพียงรายงานการวิจัยในสัตว์ว่าแคดเมียมนั้นสามารถทำให้อัตราของสัตว์พ่อแต่สำหรับงานวิจัยในมนุษย์นั้นจะพบว่าไม่มีพิษสาเหตุที่ทำให้สูญเสียลดลงเท่านั้น

ความเป็นพิษต่อระบบหลอดเลือดและระบบหัวใจ

จากรายงานการศึกษาทดลองในสัตว์ (หนู) พบว่าการรับแคดเมียมนั้นจะทำให้เกิด ความดันโลหิตสูงขึ้น แต่สำหรับในคนแล้วสันนิษฐานว่าแคดเมียมจะเข้าทำลายระบบการทำงานของเนื้อไต ทำให้สังกะสีถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ซึ่งเป็นผลทำให้ระบบหลอดเลือดและการทำงานของร่างกายผิดปกติและเกิดโรคตามมาได้

ความเป็นพิษต่อระบบเลือด

ในกรณีผู้ที่ป่วยด้วยโรคฮีโด-อีได้นั้น จะพบว่ามีอาการของโรคโลหิตจาง (สมิง เก่าเจริญ และคณะ, 2541) อาการซีดจากภาวะโลหิตจางชนิด Hypochronic นั้นพบบ่อยในผู้ที่ได้รับ แคดเมียมในระดับสูง ทำให้มีการทำลายของเม็ดเลือดแดงและเกิดจากการขาดธาตุเหล็ก (กรมการ แพทย์, 2549)

3. ทองแดง

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ทองแดง เป็น โลหะหนักหมู่ IB มีมวลอะตอม 63.54 จุดหลอมเหลว 1,083 °C จุดเดือด 2,595 °C ความถ่วงจำเพาะ 8.94 (ที่ 20 °C) เป็นโลหะอ่อนนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี มีวาเลนซ์ 1 และ 2 (วีราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) ทองแดงจะทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ดีกว่า ออกซิเจน เมื่อนำมาเผากับออกซิเจนได้เป็น คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เป็นของแข็งสีดำ ปกติจะ แล้วทองแดงในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของแร่และพบว่าปะปนอยู่กับแร่สังกะสี ทองแดงใน ธรรมชาติ พบในรูปการโคไพไรต์ (Chalcopyrite) คาร์โคไซต์ (Chalcocite) มาลาไคท์ (Malachite) อะซูไรท์ (Azurite) นอกจากนี้สารประกอบทองแดงพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำดิบ ซึ่งชนิดของ ทองแดงที่พบในน้ำจะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง (ฉวนนาฏ สุขสุนทร, 2547)

3.2 การผลิตและการนำมาใช้ประโยชน์

ทองแดงเป็นโลหะที่นิยมนำมาใช้มากในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เม็ดสีในการผลิต เซรามิกและเส้นใย ลวดตัวนำไฟฟ้า สีทา กันตะไคร่น้ำผสมโลหะต่าง ๆ เช่น สังกะสี ดีบุก ทองแดง และเงิน ใช้เป็นส่วนผสมในการทำยาปราบศัตรูพืช ยา กันเชื้อรา ทองแดงจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น ผสีกุนสีใช้ในการกำจัดสาหร่ายและหอยที่อยู่ในแหล่งน้ำ (สุกมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

3.3 การแพร่กระจายจากสิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของทองแดงในสิ่งแวดล้อมมักเกิดขึ้นในรูปของยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าเชื้อรา และจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ ทองแดงที่ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำส่วนใหญ่ จะเกิดจากการถูแร่ การกัดกร่อนทองเหลือง น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (สุกมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) สารกำจัดวัชพืช การเติมเกลือของทองแดงลงในแหล่งน้ำเพื่อควบคุมการ เจริญเติบโตของสาหร่าย (ฉวนนาฏ สุขสุนทร, 2547) และปุ๋ย โดยปุ๋ยที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบ

คือ คอปเปอร์ซัลเฟต ซึ่งสามารถพ่นในดินแก่พืชที่กำลังเจริญทั้งคอปเปอร์ซัลเฟต และคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์เป็นพืชต่อสาหร่ายและแบคทีเรียใช้ในการกำจัดเชื้อรา เรียกว่า ของผสมบอร์โดซ์ซึ่งใช้ในกลุ่มสวนองุ่นเพื่อป้องกันโรค (แนพฟ์ ไบรอัน, 2539)

3.4 ระดับของทองแดงในสิ่งแวดล้อม

3.4.1 ในดินตะกอน

ในดินตะกอนที่มีโลหะสะสมอยู่จะสามารถถ่ายทอดไปยังสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ตามพื้นดิน เช่น หอย และ ปลาหน้าดินบางชนิด และส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งมีรายงานการศึกษาของจากรูรณ สมศิริ และทองสา ราชเดช (2538) ทำการศึกษาในปี 2535 พบว่าโดยเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม กรกฎาคม พฤศจิกายน พบว่าดินตะกอนสะสมทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียมดังนี้ 7.60-37.70, 7.60-37.75 และ 0.24-1.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

3.4.2 ในน้ำและอาหาร

โลหะหนักเมื่อลงสู่ น้ำจะมีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ ละลายในน้ำ และเกาะติดกับอนุภาคซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่จะเป็นอาหารของสัตว์น้ำต่อไป รายงานของกองสิ่งแวดล้อม (2537 อ้างถึงใน ฌวนาฏ สุขสุนทร, 2547) พบว่าปริมาณโลหะในตัวอย่างปลาบริเวณก่อสร้างเขื่อนที่บ้านท่าด่าน จังหวัด นครนายก มีความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีส และ แคดเมียม ไม่เกินมาตรฐานของโลหะหนักในอาหาร

3.5 การดูดซึม ขับออก และแพร่กระจายในร่างกาย

3.5.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมของทองแดงนั้นจะเกิดขึ้นบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กตอนต้น ซึ่งเกิดขึ้นถึงร้อยละ 30 และทองแดงจะถูกขนส่งโดยกระแสโลหิตหลังจากที่รับประทานอาหารแล้ว 15 นาที (เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, 2542; สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2542) แล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจ และเส้นผม ปกติแล้วทองแดงเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นส่วนร่วมในกระบวนการเผาผลาญอาหารช่วยในการสร้างฮีโมโกลบิน การสังเคราะห์เอนไซม์บางชนิด ในผู้ใหญ่ต้องการทองแดงประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อวัน ในร่างกายของคนมีทองแดงประมาณ 100-150 มิลลิกรัม สะสมที่กระดูกและตับ โดยปกติร่างกายจะได้รับทองแดงในอัตราเฉลี่ย 3.2 กรัมต่อวัน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายปริมาณที่รับได้สูงสุดไม่ควรเกิน 100 มิลลิกรัมต่อวัน (วรรณโกศลวิตร, 2542) โดยปกติแล้วเพศหญิงจะมีทองแดงมากกว่าเพศชายเนื่องจากการสะสมของเหล็กในร่างกายที่แตกต่างกัน (สมิข เมลิษา ไคแอน, 2542) การกินอาหารที่มีแคดเมียม และสังกะสีสูงก็จะทำให้ทองแดงสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การได้รับวิตามินซีสูงจะทำให้ได้รับทองแดงลดลงด้วย ทองแดงจะถูกเก็บไว้ในเนื้อเยื่อ หัวใจ และสมองแหล่งที่พบทองแดงในอาหาร เช่น ในหอย

ต่าง ๆ เมล็ดข้าวและเมล็ดพืชต่าง ๆ นมแม่ แต่ในข้าวขัดขาวจะมีปริมาณทองแดงลดลง (ประณีต ผ่องแก้ว, 2539; วรรณัท สุภพิพัฒน์, 2538; สุทิน เกตุแก้ว, 2542) ระดับทองแดงปกติในพลาสมาอยู่ที่ 70-140 ug/dl (Butrimoviz & Purdy, 1997)

3.5.2 การแพร่กระจาย (Distribution)

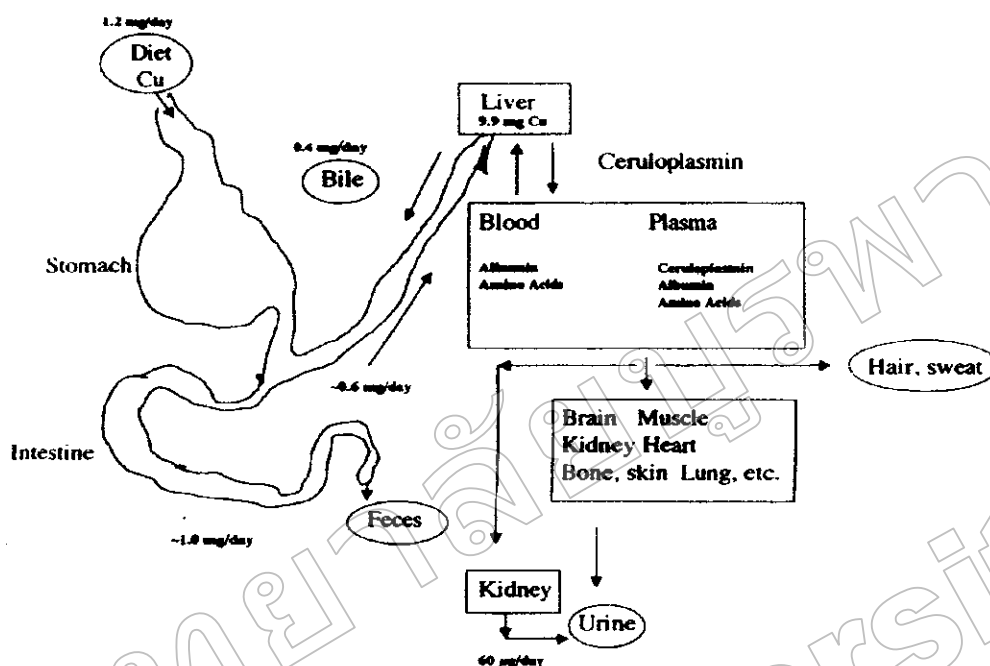
การแพร่กระจายของทองแดงอาศัยกระแสเลือด โดยทองแดงในพลาสมาจะรวมตัวกับเซอรูโลพลาสมีน (Ceruloplasmin) และจะเข้าไปเปลี่ยนเหล็กจากเหล็กเฟอร์รัสไปเป็นเหล็กเฟอร์ริก แล้วรวมตัวกับอะโพทรานเฟอร์ริน (Apo-transferrin) ให้เป็นทรานส์เฟอร์ริน (Transferrin) และทำหน้าที่ขนส่งเหล็กในร่างกาย

3.5.3 การขับออก (Excretion)

การขับออกของทองแดงจะขับออกทางน้ำดีและมีส่วนน้อยที่ขับออกทางปัสสาวะซึ่งสามารถแสดงให้เห็นดังภาพที่ 7

3.6 พิษของทองแดงและผลต่อสุขภาพ

การเกิดพิษของทองแดงนั้นส่วนใหญ่จะไม่ค่อยพบ แต่จะเกิดขึ้นในกรณีที่เป็นโรคทองแดงเข้าไปเกินกว่า 30 เท่าของค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และอาจพบในผู้ที่ป่วยเป็นโรค Wilson's Disease ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของทองแดงในระบบเมตาบอลิซึม แต่ถ้าหากได้รับทองแดงในปริมาณที่มากหรือมีการสะสมทองแดงจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดรวมตัวกับอัลบูมิน และไปสะสมที่ตับเกิดการเปลี่ยนรูปของทองแดงถ้าได้รับในปริมาณมากจะเกิดอาการคลื่นไส้อาเจียนอย่างรุนแรง และอาจอาเจียนเป็นสีน้ำตาลปนเขียวของสารประกอบทองแดงทำให้ผู้ป่วยมีอาการคันตลอดเวลา นอกจากนี้ยังจะเกิดควบคู่กับโลหะโมลิบดีนัม (วีราลีนิ ปริยานุพันธ์, 2542)



ภาพที่ 7 การดูดซึม การแพร่กระจายและการขับออกของทองแดง (Klaassen & Amdur, 2001)

3. สังกะสี

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

สังกะสี เป็นโลหะหนักในหมู่ II B มีมวลอะตอม 65.83 จุดหลอมเหลว 419.4°C จุดเดือด 918°C ความถ่วงจำเพาะ 7.14 (ที่ 20°C) มีวาเลนซ์ 2 มีลักษณะแข็ง เปราะ ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง และในกรดหรือด่างที่ร้อนจัด เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี หากขีดสังกะสีจะพบว่าเป็นโลหะสีขาว เป็นมันวาว แต่จะหมดย่างรวดเร็วกลายเป็นสีเงินอมเทา (นิภากรณ์ รอดน้อย, 2537)

3.2 การผลิตและการนำมาใช้ประโยชน์

ในธรรมชาติจะพบสังกะสีในรูปของแร่สังกะสี เช่น สฟาลเอไรท์ (Sphalerite) (ZnS) เป็นแร่ที่ให้สังกะสี สมิทโซไนท์ (Smitsonite) หรือคาร์ลาไมน์ และวิลไมน์ สามารถพบได้ทั้งในพืช สัตว์และจุลินทรีย์ (McNeely et al., 1979 อ้างถึงใน ฉนวนาฏ สุขสุนทร, 2547) ใช้เป็นส่วนประกอบของรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ กาว ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องเสียงและผสมกับโลหะอื่น ๆ ใช้เป็นอัลลอยด์หรือโลหะผสมกับทองแดง (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2534) นิกเกิล อะลูมิเนียม แมกนีเซียม โลหะผสมที่สำคัญได้แก่ ทองเหลือง

สังกะสีออกไซด์ ใช้ทำสี เล็กเกอร์ และน้ำยาขัดเงา ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกยาง และเครื่องสำอาง ใช้ในทางเภสัชกรรม เช่น ทำยา คาลาไมยโลชั่น

สังกะสีคลอไรด์ ใช้ในงานชุบสังกะสี ใช้ทำน้ำยาคุณภาพเนื้อไม้ ใช้ในการทำ
ถ่านไฟฉาย ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน อุดฟัน และสตัฟฟ์สัตว์

สังกะสีโครเมต ใช้เป็นเม็ดสี แล็กเกอร์ น้ำยาขัดเงา เลื่อน้ำมัน

3.3 การแพร่กระจายจากสิ่งแวดล้อม

3.3.1 ในอากาศ

จากรายงานผลตรวจวัดคุณภาพอากาศริมเส้นทางการจราจรของกรุงเทพมหานคร
ประจำปี พ.ศ. 2542-2543 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ
สิ่งแวดล้อมจำนวน 22 สถานี ตามถนนสายหลัก ๆ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสี
เท่ากับ $73.22, 1.25 \text{ ng/m}^3$ และ $15.33 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ โดยพบว่าถนนสุขุมวิท 1 มีปริมาณ สังกะสีสูงสุด
 $30.32 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (พูนทรัพย์ นรมิตร, 2544)

3.4 การดูดซึมการแพร่กระจาย และการขับออก

โดยปกติแล้วเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต มีบทบาทในการสังเคราะห์
กรดนิวคลีอิกและโปรตีน เอ็นไซม์ในร่างกายกว่า 80 ชนิดมีส่วนประกอบของสังกะสี มีความ
เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันของร่างกาย ป้องกันอนุมูลอิสระ การขาดสังกะสีไม่ค่อยพบในคนปกติ
ยกเว้นในคนที่ติดเหล้า นอกจากนี้การขาดสังกะสีจะทำให้แผลหายช้า แต่ถ้าได้รับสังกะสีจากการ
บริโภคมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการ คลื่นไส้ หายใจอึดอัด ปวดท้อง และถ้าได้รับสังกะสี
ออกไซด์ในปริมาณมาก ๆ จะหนาวสั่น ร่างกายจะมีอุณหภูมิสูงถึง 40°C (วรรณโกศลวิตร, 2542)
มีอาการปวดตามแขน ขา ศีรษะ หูอื้อ อาเจียน บางรายมีอาการเพ้อคลั่ง สังกะสี สามารถเข้าสู่ร่างกาย
ได้ 3 ทาง คือ ทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และ ทางผิวหนัง โดยการเข้าสู่ทางระบบทางเดิน
หายใจ มักอยู่ในรูปสังกะสีออกไซด์ ซึ่งเกิดจากงานเชื่อม บัดกรี โลหะ ตัดโลหะที่เคลือบด้วยสังกะสี
งานหล่อ และหลอมทองแดง เป็นต้น การดูดซึมจะเกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กตอนต้น สังกะสีที่กินเข้าไปจะ
ถูกดูดซึมเข้าไปในเลือดและจับกับพลาสมา โปรตีน (Plasma Protein Metallothionein และ
Albumin) และพบในเม็ดเลือดแดง สังกะสีจะกระจายในเนื้อเยื่อ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลูตามีนอลาย
สังกะสีจะถูกดูดซึมและขับออกในน้ำย่อยของตับอ่อน น้ำดี และ เหงื่อ มีร้อยละ 20 ถูกขับออกใน
รูปของปัสสาวะ อวัยวะเป้าหมายของสังกะสี ได้แก่ ทางเดินอาหาร การสร้างเม็ดเลือด และ กระดูก
(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2534)

3.5 ความเป็นพิษและผลต่อสุขภาพ

โรคจากการแพ้พิษสังกะสีที่พบบ่อยนั้น มีด้วยกัน 3 ประเภท ได้แก่ การแพ้พิษสังกะสี
ออกไซด์ แพ้พิษสังกะสีคลอไรด์ และการแพ้พิษสังกะสีโครเมต (พูนทรัพย์ นรมิตร, 2544)

อาการแพ้สังกะสี ที่พบบ่อย มี 3 ประเภท คือ

3.5.1 การแพ้พิษสังกะสีออกไซด์ หากสัมผัสถูกผิวหนังจะทำให้รู้ไขมันอุดตัน กลายเป็นตุ่มใส ๆ คันมาก อาจเกิดอาการอักเสบ และกลายเป็นหนองได้ หากเข้าสู่ทางเดินหายใจ จะทำให้เกิดอาการแบบไข้หวัดใหญ่ เริ่มด้วย อาการ คลื่นไส้ ปวดศีรษะ ไอ เหนื่อย เหนื่อยออก รู้สึก ถึงรสของโลหะ มักเกิดใน 4-12 ชั่วโมง หลังจากสัมผัส ตามด้วยอาการมีไข้สูง เหนื่อยออก และหนาว สั่น โดยอาการเหล่านี้จะหายเป็นปกติภายใน 1-2 วัน เมื่อเริ่มกลับเข้ามาทำงานก็จะมีอาการอีก แต่ ไม่รุนแรงเท่าการสัมผัสครั้งแรก จึงเรียกชื่อโรคนี้ว่า ไข้วันจันทร์ หรือ ไข้ละอองไอ โลหะ(Metal Fume Fever) (กรมการแพทย์, 2549)

3.5.2 การแพ้พิษสังกะสีคลอไรด์ จะเกิดการระคายเคืองในระบบหายใจได้ทั้ง ระบบหายใจส่วนบน และระบบหายใจส่วนล่าง อาการที่พบ คือ ระคายเคือง ตา จมูก คอ และ ไอมี เสมหะ หายใจลำบาก และคลื่นไส้ อาการที่ตรวจพบ ได้แก่ Stridor, Cyanosis, Crackles, Rhonchi และ Wheeze ผู้ป่วยจะมีอาการรุนแรงจนถึงชนิดปอดอักเสบ หรือ RADS ได้ (กรมการแพทย์, 2549)

3.5.3 การแพ้พิษสังกะสีโครเมต สังกะสีโครเมตนั้นเป็นส่วนหนึ่งของสารก่อ มะเร็ง ซึ่งการรักษาจะทำการรักษาตามอาการยังไม่มี การรักษาเฉพาะ

4. ตะกั่ว

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพทางภาพและเคมี

ตะกั่วเป็นโลหะสีเงินปนเทา อยู่ในหมู่ 4 A ของตารางธาตุ มีน้ำหนักและเลขอะตอม เท่ากับ 207.19 และ 82 ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะ 11.4 จุดเดือด และจุดหลอมเหลวเท่ากับ 2,204 และ 601 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตะกั่วหลอมเหลวง่ายและสามารถทำให้อ่อนและดัด ให้มีรูปร่าง ได้ตามต้องการ กลายเป็นไอที่อุณหภูมิสูง ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้อย่างช้าใน กรดอ่อน ๆ เช่น กรดไนตริกเจือจาง ตะกั่วมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า แต่ตะกั่วในสถานะ 2+ จัดว่าเสถียรที่สุด (ธาริณี ผดุงศักดิ์ชยกุล, 2548)

4.2 การผลิตและการนำมาใช้

ตะกั่วเป็นวัตถุดิบที่ใช้กันอย่างมากมายและแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรม และเป็น โลหะหนัก ที่เป็นปัญหาสำคัญทางด้านอาชีวอนามัย ซึ่งอยู่ในการเฝ้าระวัง ของกระทรวง สาธารณสุขและหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องตะกั่วที่นำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ (ศรีรัตน์ ล้อมพงษ์ และถิรพงษ์ ถิรมนัส, 2543)

4.2.1 สารประกอบอินทรีย์ตะกั่ว เช่น

โลหะตะกั่ว ใช้ผสมในแท่งโลหะผสม หรือ ผงเชื่อมบัดกรีโลหะ และ ออกไซด์ ของตะกั่ว ได้แก่ ตะกั่วโมโนออกไซด์ ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมกับสีทาบ้าน, ตะกั่วออกไซด์ ใช้ทำ

เป็นฉนวนไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถยนต์และ เครื่องจักร, ตะกั่วออกไซด์หรือ ตะกั่วแดง ใช้เป็นสีทา โลหะกันสนิม, สารประกอบของเกลือตะกั่ว จะมีสีต่าง ๆ กัน จึงนิยมใช้เป็นแม่สีหรือสีผสมให้เกิด สี ใช้ในอุตสาหกรรมการทำสี

4.2.2 สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วเตตระเอซิลและตะกั่วเตตระเมทิล

4.3 การแพร่กระจายจากสิ่งแวดล้อม

ตะกั่วเป็นโลหะที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่งตะกั่วถูกใช้ในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสี และ พลาสติก ถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วทิ้งเป็นแหล่งที่มาของตะกั่ว ซึ่ง สามารถแพร่กระจายและสะสมในพืชและสัตว์ (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2545) ใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อ กันสนิมใช้เป็นยาฆ่าแมลงและปราบศัตรูพืช เชรามิก ใช้ทำบล็อกดักตัวพิมพ์ ทำฉนวนป้องกันรังสี รวมทั้งจากการเชื่อมโลหะ การเชื่อมบัดกรีโลหะ ซึ่งในกลุ่มคนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ และการเชื่อมบัดกรีจะถูกคลุกเคล้ากับผงและไอสารตะกั่วตลอดระยะเวลาทำงาน (พรรณี พิเศษ และคณะ, 2539) นอกจากนี้ยังเกิดจากภูเขาไฟระเบิด น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ควัน ตะกั่วที่เป็นมลพิษ จากโรงงานจะอยู่ในรูป PbS , PbO , $PbSO_4$ (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งจากสถานการณ์พิษ ตะกั่ว จากข้อมูลการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ในช่วง 10 ปี พ.ศ.2537-2546 พบว่า โรคพิษตะกั่วมี รายงานสูงขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดในปี พ.ศ. 2544 โดยมีอัตราป่วยเท่ากับ 0.17 ต่อประชากรแสนคน อัตราป่วยเฉลี่ย เท่ากับ 0.08 ต่อ ประชากรแสนคน ในปี พ.ศ. 2546 มีรายงานผู้ป่วย 33 ราย จาก 13 จังหวัด คิดเป็นอัตราป่วย 0.05 ต่อ ประชากรแสนคน ไม่มีรายงานการเสียชีวิต (กรมควบคุมโรค, 2545)

4.4 การดูดซึม ขับออก และแพร่กระจาย

4.4.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมของตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ดังนี้ คือ ทางปาก ประมาณ ร้อยละ 5-10 ของตะกั่วที่เข้าทางปากนั้นจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เด็กนั้นจะสามารถดูดซึมได้ดีกว่า ผู้ใหญ่ประมาณร้อยละ 40 (ศรีรัตน์ ล้อมพงษ์, ธีรพงษ์ ธีรมนัส และอนามัย ธีรวิโรจน์, 2542) โดยทั่วไปแล้วตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายในรูปของตะกั่วออกไซด์ ผ่านทางการหายใจในรูปไอของตะกั่ว แล้วถูกเซลล์ขนในหลอดลมพัดขึ้นมาที่คอ แล้วกลืนลงในทางเดินอาหาร และทางการกินในรูป อนุภาคตะกั่ว เมื่อเข้าสู่ทางเดินอาหารแล้วผ่านไปที่ทางช่องแคลเซียม (Calcium Channels) (วัชรชัย รุจิโรจน์กุล, 2548) นอกจากนี้การดูดซึมยังขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารที่รับประทานเข้าไปด้วย อาหารที่มีส่วนประกอบของแคลเซียม เหล็ก ไนโตรเจน และ โปรตีนมาก จะทำให้การดูดซึม ตะกั่วลดลง (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2545) นอกจากนี้พฤติกรรมรับประทานอาหาร กินขนมใน

เวลางาน และสูบบุหรี่จะเพิ่มการรับสัมผัสตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย (ชยันตร์ธร ปรุหมานนท์ และ ชไมพร ทวีศรี, 2544)

4.4.2 การแพร่กระจาย (Distribution)

สารตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายนั้นในระยะแรกจะไปกับระบบทางเดินโลหิตโดยจับกับเม็ดเลือดแดงแล้วไปที่เซลล์หลังจากนั้นไปที่เซลล์เยื่อหุ้มไตแล้วกระจายกลับไปยังเส้นผม กระดูก และฟัน (พรชัย สิทธิธรรมกุล, 2545)

4.4.3 การขับออก (Excretion)

การขับออกจากร่างกายจะขับออกในปัสสาวะ ประมาณร้อยละ 75-80 โดยจะผ่านกระบวนการกรองที่ไต (Glomerular Filtration) นอกจากนี้ยังสามารถขับออกทางน้ำนม น้ำดี เหงื่อ และอุจจาระ (Goyer & Clarkson, 2001)

4.4.4 ความเป็นพิษและผลต่อสุขภาพ

ตะกั่วเป็นพิษต่อร่างกายโดยตะกั่วจะจับกับ Sulfhydryl Group และกลุ่มไทออล Thiol Group ที่อยู่ในโปรตีน (พรชัย สิทธิธรรมกุล, 2545) ตะกั่วมีผลเสียต่ออวัยวะหลายระบบ ได้แก่ ไต ระบบประสาท การสร้างเม็ดเลือด โดยขัดขวางการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ALAD รวมทั้งรบกวนการสังเคราะห์ฮิโมโกลบิน โดยจับกับหมู่ไทออลในโปรตีน (ธาริณี ผดุงศักดิ์ชัยกุล, 2548) โดยการเกิดพิษจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

การเกิดพิษแบบเฉียบพลัน เกิดจากการได้รับตะกั่วในปริมาณมาก ๆ ส่วนใหญ่มักพบกับเด็ก คนหลอมตะกั่ว เด็กจะมีการปวดท้องรุนแรง อาเจียน ชักเกร็ง และเสียชีวิตได้ง่าย ในผู้ใหญ่มีอาการคอแห้ง กระหายน้ำ และปวดสับสนท้อง อาเจียน ปากมีรสจืด ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีแรง อาจหมดสติได้

การเกิดพิษแบบเรื้อรัง เกิดจากการได้รับตะกั่วในปริมาณน้อย เป็นเวลานาน เช่น ผู้ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับตะกั่ว หรือผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีสารตะกั่วปนเปื้อน มักมีอาการ อ่อนเพลีย ซีด น้ำหนักลด ปวดท้องบ่อย ปวดหัว นอนไม่หลับ อาจพบเส้นดำที่เหงือก มีอาการประสาทเซื่องซึม กระวนกระวาย คลุ้มคลั่ง ความจำเสื่อม กล้ามเนื้ออ่อนแรง ชักหมดสติ และ อาจเสียชีวิตได้ ในเด็กที่มีระดับสารตะกั่วในเลือดสูงกว่า 10 มก/ดล จะเริ่มมีความผิดปกติของเขาวงกตปัญญา ระดับของ IQ จะลดลง สูญเสียความสามารถในการเรียนและการพัฒนาทางสมอง ซึ่งทาง CDC กำหนด ค่ามาตรฐานระดับตะกั่วเด็ก น้อยกว่า 10 มก/ดล ผู้ใหญ่น้อยกว่า 40 มก/ดล (กรมควบคุมโรค, 2545)

5. การตรวจวัดโลหะหนัก

ในสมัยต้น ๆ การวิเคราะห์หาโลหะหนักในเลือดนั้นใช้หลักการของการเทียบสี โดยการนำปฏิกิริยากับ Dithiozone คือ การใช้เลือด ปัสสาวะหรือสารคัดหลั่ง หรือสารจากสิ่งแวดล้อม มา

ทำปฏิกิริยา Acid Oxidation เพื่อไล่สาร Matrix Material จากสิ่งส่งตรวจเหล่านั้น จนได้เป็นเถ้า (Ash) จากนั้นนำมาเติม Cyanide และปรับ pH และขจัดโลหะรบกวนอื่น ๆ ออก แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ Diphenylthiovarbazone แล้วจึงนำค่าไปวัดการดูดกลืนแสง เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนั้น ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ทำเป็นเส้นมาตรฐานไว้ (Bamach, 1942; Cholak, 1964; Rice, 1965) ต่อมาในปี ค.ศ. 1969 ได้มีนักวิทยาศาสตร์ของออสเตรเลีย เป็นผู้เสนอหลักการวิเคราะห์โลหะ โดยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่งในสมัยแรก ได้นำเทคนิคของ Flame มาใช้ประกอบการย่อย (Digestion) สิ่งส่งตรวจนั้น จากนั้นดูดสารผสมที่มีส่วนประกอบ Ionic อยู่ขึ้นไปเผาในเปลวไฟ แล้ววัดค่าแสงที่เปล่งออกมา แต่วิธีการดังกล่าวต้องใช้สิ่งส่งตรวจหรือเลือดประมาณ 10 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการย่อยนานกว่า 8 ชั่วโมง ต่อมาจึงใช้วิธีการสกัดด้วยการใช้ MIBK (Methyl Butyl Ketone) ซึ่งการใช้สารสกัดดังกล่าว ทำให้ความไวของการทดสอบของเครื่องลดลง ทั้งนี้ ในระหว่างการทำงานต้องมีการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ให้มีประสิทธิภาพด้วย (พรณี พิเดช, เพ็ญศรี ภูตระกูล, ศรีสนิธ อินทรมณี และเลอสร สุวรรณทล, 2539)

ในระหว่างปี ค.ศ. 1975 ถึง 1978 (Nise, 1978 อ้างถึงใน พรณี พิเดช และคณะ, 2539) ได้มีการเสนอการใช้เทคนิค Graphite Furnace และ Carbon Rod ในการตรวจวัดระดับตะกั่วในเลือดซึ่งเป็นหลักการของ Flameless ซึ่งในวิธีดังกล่าวได้มีการพัฒนาการใช้ตัวอย่างหรือสิ่งส่งตรวจเพียง 5 ไมโครลิตร ใส่ลงในเครื่องโดยไม่ต้องนำมา Ashing หรือ การ Treat Sample ก่อนแต่อย่างไรก็ตามการใช้ Graphite Furnace ต้องประกอบด้วย สามขั้นตอนหลัก คือ Drying Charring and Atomization ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการตรวจโลหะโดยใช้ AAS เป็นที่ยอมรับสำหรับการวิเคราะห์โลหะต่าง ๆ ไม่เฉพาะแต่ตะกั่วเท่านั้น โดยในปี ค.ศ. 1977 NIOSH ได้บรรจุการตรวจวัดโลหะไว้ในหัวข้อ "General Procedure for Metal" (พรณี พิเดช และคณะ, 2539) ซึ่งการวิเคราะห์ตะกั่วในเลือดควรใช้วิธีการ Flameless AAS ซึ่งพบว่ามีความไวในการวิเคราะห์สูงกว่าของ Flame AAS ใช้ตัวอย่างน้อยกว่าด้วย ซึ่งในบางครั้งต้องทำการแก้ไขโดยใช้วิธี Standard Addition (พรณี พิเดช และคณะ, 2539) วิธีการตรวจวัดตะกั่วโดยใช้ Graphite Furnace เป็นเครื่องมือที่มีความไวสูง แต่มีข้อเสียคือ มีราคาแพง Operation เครื่องต้องมีความ Complicate ต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะและมี Matrix Effect ของเครื่องอยู่หลายอย่าง

6. เมทัลโลทัยโอ닌และการตรวจวัด

เมทัล โลทัย โอ닌 เป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีการจับกับ โลหะเป็น โปรตีนที่มีลักษณะพิเศษคือมีกลุ่มของ Cysteine สูง ประมาณ 30 % ของกรดอะมิโน (Izawa et al., 1998) มีมวลโมเลกุลต่ำคือ ประมาณ 6000-7000 ดาลตัน มีลักษณะของโปรตีนแบบ โพลีเปปไทด์ ซึ่งโปรตีนนี้จะมี ความสามารถในการจับกับ Transition- Metal Ion (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มโลหะคาบที่ 11 และ

12 ของตารางธาตุ (Chan, Huang, Merrifield, Salgado, & Stillman, 2002) ซึ่งสิ่งนี้เองทำให้โปรตีนเมทัลโลทัยโอนินเป็นโปรตีนที่น่าสนใจทั้งในด้านชีวเคมี และการเป็นสารอนินทรีย์ของโปรตีน (Kagi & Schaffer, 1988) เมทัลโลทัยโอนินโปรตีนนั้นถูกค้นพบครั้งแรกโดย Margoshes และ Vallee พบในระหว่างที่ทำการศึกษากายการแยกเยื่อถึงโปรตีนที่จับกับโลหะและทำหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการสะสมของแคลเซียมจากธรรมชาติ ภายใน (Equine Kidney Cortex) เมทัลโลทัยโอนินนั้นสามารถค้นพบได้ทั่วไปทั้งใน สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์พวกปู กุ้ง กิ้ง หรือ สัตว์มีกระดูกสันหลัง และสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีเซลล์เดียว (Chan et al., 2002) และจะพบเมทัลโลทัยโอนินได้ในหลายรูปแบบ ซึ่ง ในปลาจะพบได้ 2 แบบด้วยกัน

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายสปีชีส์ (Specise) จะมีระดับของสังกะสี และทองแดงสูงมากในตับ ซึ่งสิ่งนี้จะสามารถจับกับเมทัลโลทัยโอนินในตัวอ่อน (Fetal) และระดับเมทัลโลทัยโอนินจะสูงเมื่ออยู่ในเนื้อเยื่อที่อยู่ในช่วงที่มีการพัฒนาและเจริญเติบโต ซึ่งนั่นอาจเป็นผลมาจากการที่เมทัลโลทัยโอนินเป็น Cytosolic และ Nuclear Protein ที่ถูกชักจูงให้จับกับ Mono และ Divalent Metal เช่น สังกะสี ทองแดง แคลเซียม และปรอท ถ้าเป็นเมทัลโลทัยโอนินที่อยู่ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จะพบว่ามีจำนวนของ 20 Cysteines และจับกับ 7 Equivalent ของ Bivalent ion เช่น Zn, Cd, Hg, Bi, Sn, Co, Ni, Rc หรือ Tc เมทัลโลทัยโอนินนั้นจะมีสายหลักอยู่ 2 แบบ คือ สาย- α และ- β และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15-20 (Chan et al., 2002) และการที่มีโครงสร้างแบบ กลุ่ม 2 แบบ ซึ่งการที่มีโครงสร้างที่ต่างกันนี้เองทำให้ความสามารถในการจับตัวกับโลหะนั้นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ จะเห็นได้ว่า เมทัลโลทัยโอนินนั้นมีหน้าที่ทางชีวภาพมากมาย ซึ่งหน้าที่สำคัญ คือ การถอนพิษของโลหะ การมีส่วนร่วมในการควบคุมโลหะปริมาณน้อย เมทัลโลทัยโอนินนั้นสามารถแบ่งในระดับพันธุกรรม 4 รูป คือ MT1, MT2, MT3 และ MT4 เป็นโปรตีนที่มีจำนวนของ Cysstein สูง แต่ไม่มีพันธะของ Disulfide Aromatic Amino Acids และฮิสทีดีน (Minami, Ichida, & Kubo, 2002)

เมทัลโลทัยโอนินนั้นสามารถจับกับโลหะได้ และยังเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระในระดับเซลล์อีกด้วย รวมทั้งยังเป็นสารที่รักษาระดับความสมดุลภายในเซลล์ที่มีความจำเป็น ในร่างกายรวมทั้งดูแลด้านการเจริญเติบโตของเซลล์ และการแพร่ (Tapiro & Tew, 2003) ซึ่ง MT1 จะทำหน้าที่เกี่ยวกับดูแลเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาการเมทาบอลิซึมของโลหะซึ่งสามารถค้นพบได้ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสัตว์มีกระดูกสันหลัง ส่วน MT2 จะรับผิดชอบในเรื่องเกี่ยวกับการเจริญเติบโตภายในเซลล์ ส่วน MT3 สามารถแยกมาจากสมองของมนุษย์ และเป็นแบบของ Growth Inhibitory Factor (GHF) ขณะที่ MT4 นั้นสามารถที่จะค้นพบได้ใน Squamous Epithelial Cell

หน้าที่การทำงานของโปรตีนเมทัลโลทัยโอนิน (Tapiro & Tew, 2003; Chan et al., 2002; Deed & Klerks, 1999; Roesijadi, 1994)

1. ทำหน้าที่ขนส่งไอออนของโลหะไปยังโปรตีนอื่น ๆ เช่น Zinc Finger Protein ที่มีความสำคัญกับการจับตัวกันของดีเอ็นเอ (DNA), Regulation Protein

2. ควบคุมความเข้มข้นของไอออนอิสระที่สำคัญ เช่น สังกะสี และทองแดง

3. จัดการเก็บโลหะและทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายออก

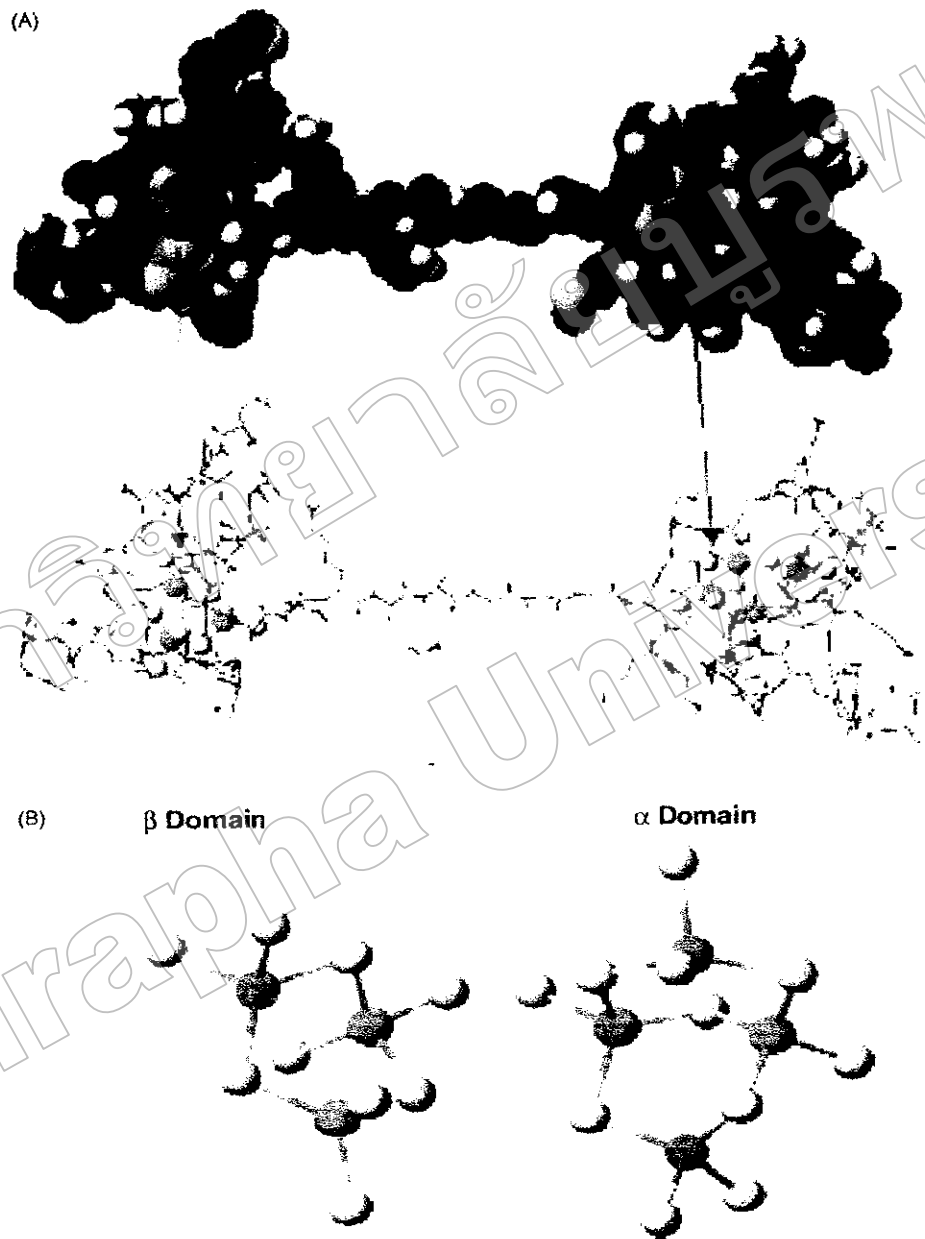
4. ทำหน้าที่เกี่ยวกับการถอนพิษของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม และปรอท

5. จัดการจับโลหะหนักแยกออกจากการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์

6. ป้องกันความเครียดจากหลายกรณี

ซึ่งในปัจจุบันนั้นมีการใช้ เมทัลโลทัยโอนิน เป็นตัวชี้วัดถึง การรับสัมผัสโลหะหนัก ได้ และนอกจากนี้ยังมีการใช้เมทัลโลทัยโอนิน เป็น ตัวชี้วัดการรับสัมผัสโลหะด้วย

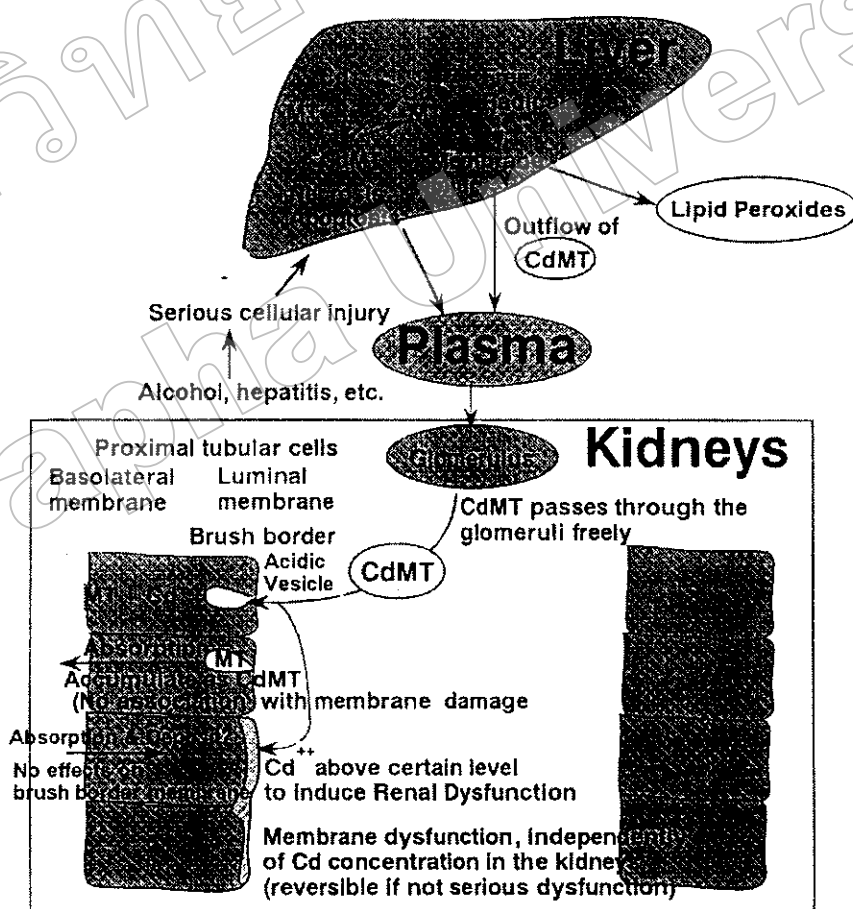
ลักษณะโครงสร้างเมทัลโลทัยโอนิน



ภาพที่ 8 โครงสร้างทลโลทัยโอนิน (Stankovic, Chung, Penkowa, & Stankovic, 2007)

การแสดงออกของโปรตีนเมทัลโลทัยโอนินกับแคดเมียมในเลือดและในปัสสาวะ
เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายแคดเมียมจะถูกส่งไปยังเลือด โดยจับกับเซลล์เม็ดเลือดแดง
และโปรตีนที่มีน้ำหนักสูงในพลาสมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Albumin แล้วกระจายไปยังตับและไต

ในตับแคดเมียมจะชักนำให้เกิดการสังเคราะห์เมทิลโททไฮโอซินแล้วเก็บไว้ในตับในรูปของ Cd-MT Complex และ Cd-MT จะรวมตัวกับอนุภาคลิพิดซึ่งทำให้เมมเบรนเกิดการบาดเจ็บเมื่อบาดเจ็บแล้ว ระดับ Lipid Peroxidase สูงขึ้นนอกจากนี้ Cd-MT จะทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อหรือกลุ่มของ เซลล์ หลังจากนั้น Cd-MT จะถูกขนส่งไปกับพลาสมาและถูกเก็บไว้ใน Lysosome (Goyer & Clarkson, 2001) และพลาสมาจะขนส่งไปยัง Glomerulus และเข้าไปในเซลล์ Proximal Tubular Cell หลังจากนั้นจะเข้าสู่ Basolateral Membrane และ Luminal Membrane และ Cd-MT จะถูกสลาย อย่างช้า ๆ เป็นแคดเมียม และ เมทิลโททไฮโอซิน ซึ่งการดูดซึมของ Cd-MT จะไม่ทำให้ Brush Border ถูกทำลาย และถ้าระดับแคดเมียมในร่างกายสูงก็จะทำให้เกิดพิษ ซึ่งแสดงในภาพที่ 9 การสังเคราะห์เมทิลโททไฮโอซินนั้นจะขึ้นกับการรับสัมผัสโลหะ อนุภาคลิพิด ฮอร์โมน การอักเสบ และภาวะความเครียด ความดันโลหิตสูง (Tapiero & Tew, 2003)



ภาพที่ 9 การแสดงออกของโปรตีนเมทิลโททไฮโอซินกับแคดเมียมในเลือดและในปัสสาวะ

(Nomiyama, Nomiyama & Kameda, 1998)

ต่อมาได้มีผู้ค้นคิดปรับปรุงการทดสอบซึ่งอาศัยหลักการของการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอนติเจนและแอนติบอดีให้มีความไว (Sensitivity) และความจำเพาะ (Specificity) สูงขึ้นโดยการ นำแอนติเจนหรือแอนติบอดีที่ติดฉลาก (Label) ไว้ด้วยสารต่าง ๆ เช่น สารเรืองแสง (Fluorescent Compound) สารกัมมันตภาพรังสี (Radio-Isotope) มาใช้ในการทดสอบเหล่านั้น ถึงแม้การทดสอบ ดังกล่าวจะมีความไวสูง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการในการใช้ มีข้อเสียคือ ต้องใช้เครื่องมือที่มี ราคาแพงในการทดสอบ ด้วยสาเหตุนี้จึงมีผู้พยายามคิดค้นหาสารอื่นซึ่งสามารถจะนำมาใช้เพื่อช่วย ในการตรวจหา ตรวจวัด และศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารที่สนใจ ซึ่ง ได้แก่ เทคนิคการแยกสาร ด้วย กระแสไฟฟ้าอิเล็กโตรโฟรีซิส (Electrophoresis) วิธีการตรวจ แบบอิมมูโนเอนไซม์ Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), Immunoblotting หรือ Western Blotting มาใช้ร่วมกับปฏิกิริยา ในการตรวจวัดเมแทบอลิซึมอินิน

6.1 หลักการของ Electrophoresis

อิเล็กโตรโฟรีซิส เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกและการเตรียมสารเมื่อโครโมเลกุลที่มี ประจุไฟฟ้าให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้ศึกษาคุณสมบัติและพิสูจน์ความบริสุทธิ์ของสารเหล่านั้น หลักการ คือ สารที่มีประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปในสนามที่มีประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลที่มีประจุ (Charge Molecules) ในสนามไฟฟ้า (Electrical Field) โดยเคลื่อนที่ไปยังประจุ ไฟฟ้าที่มีขั้วตรงข้ามกัน ความเร็วของการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลที่ประจุเหล่านี้ในสนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ประจุ รูปร่าง และขนาดของโมเลกุลนั้น โดยโมเลกุลขนาดเล็กมักเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุล ขนาดใหญ่ที่มีขนาดประจุเท่ากัน ๆ เทคนิค Electrophoresis สามารถนำมาใช้แยกสารต่าง ๆ หลาย ชนิด ทั้ง โปรตีน, Nucleic Acid, Peptides, N หรือแม้แต่ไอออน ต่าง ๆ

โดยทั่วไปการแยกสารโดยวิธี Electrophoresis จะทำให้ตัวกลางที่มีรูพรุน (Porous - Matrix) ภายใต้สนามไฟฟ้า สารต่าง ๆ จะวิ่งผ่านตัวกลางด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ตาม คุณสมบัติของสารนั้น เมื่อสิ้นสุดการทำ Electrophoresis สารต่าง ๆ จะอยู่เป็นแถบ (Band) สารที่ สามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางในงาน Electrophoresis ได้แก่ กระดาษ Cellulose Acetate Agarose Starch และ Polyacrylamide สำหรับ Agarose และ Polyacrylamide Gel สามารถเตรียมให้มี รูพรุน ขนาดต่าง ๆ ซึ่ง ทำให้เกิดคุณสมบัติ Size - Selective Sieve ในการแยกสารได้

6.2 Sodium Dodesyl Sulfate –Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS –PAGE)

เป็นเทคนิคการแยกโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ ออกจากกัน ในสนามไฟฟ้า ใน ตัวกลางที่เป็น Polyacrylamide Gel อาศัยหลักการ คือ เมื่อนำโปรตีนมาผสมกับสาร Sodium Dodesyl Sulfate (SDS) ซึ่งเป็น Anionic Detergent หมู่ Dodesyl Sulfate ซึ่งมีประจุลบของ SDS จะเข้าจับกับโปรตีน โดยการจับกันนี้จะจับโดยมีสัดส่วนที่แน่นอน คือ ประมาณ 2 Amino Acid

จับกับ SDS 1 โมเลกุลการเข้าจับของ SDS นี้ทำให้โปรตีนมีประจุเป็นลบโดยประจุลบที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของโปรตีนแต่ละชนิดนี้มีประจุต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อ มีการนำโปรตีนเหล่านี้ไปวิ่งในสนามไฟฟ้า ที่มีตัวกลาง Polyacrylamide Gel ที่มีรูพรุนโปรตีน แต่ละชนิดจะเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังขั้วบวก โดยความเร็วในการเคลื่อนที่จะแปรผันโดยตรง กับขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนนั้น ๆ (อาภัสสรา ชมิคท์, 2537) ปัจจุบันนี้การทำ PAGE มักนิยมใช้สารซักฟอก ที่มีชื่อว่า โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต หรือ SDS ในระบบบัฟเฟอร์ร่วมกับสารที่สลายพันธะไดซัลไฟด์ การทำ PAGE ที่มี SDS เรียกว่า SDS-PAGE เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกหน่วยย่อยของโปรตีนและหามวลโมเลกุลของโปรตีนนั้น SDS เป็นสารซักฟอกแอนไอออนิก ที่มีประจุลบสามารถจับกับสายโซ่โพลีเปปไทด์ ด้วยอัตราส่วนคงที่ คือ 1.4 กรัมต่อโพลีเปปไทด์ 1 กรัม (อาภัสสรา ชมิคท์, 2537)

6.3 Immunoblotting หรือ Western Blotting

เป็นเทคนิคการพิสูจน์ทราบโปรตีนเฉพาะอย่างในโปรตีนผสม โดยสารผสมของโปรตีนจะถูกนำมาแยกโดยกระแสไฟฟ้าจากเทคนิค SDS-PAGE ซึ่งเป็นการแยกสารที่มีขนาดมวลโมเลกุล ที่แตกต่างกันออกจากกัน ได้มีการพัฒนาโดยการนำเทคนิค SDS-PAGE มาร่วมกับปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจน – แอนติบอดี เพื่อศึกษาคุณสมบัติของโปรตีนแอนติเจน วิธีดังกล่าว เรียกว่า Immunoblotting หรือ Western Blotting โดยอาศัยหลักการ คือ นำโปรตีนมาทำ SDS-PAGE จากนั้นถ่ายโปรตีนที่อยู่ ในตำแหน่งต่าง ๆ ใน Polyacrylamide Gel ไปบนแผ่น Nitrocellulose โดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยนำ แผ่น Polyacrylamide Gel มาประกบกับแผ่น Nitrocellulose โดย Polyacrylamide Gel อยู่ทางขั้ว ลบและแผ่น Nitrocellulose อยู่ทางขั้วบวก ภายใน Chamber ที่มี Buffer เฉพาะอยู่เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบในช่วงเวลาที่เหมาะสม โปรตีนใน Polyacrylamide Gel จะวิ่งไป ยังขั้วบวกโดยวิ่งออกจาก เจล ไปเกาะติดแผ่น Nitrocellulose ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดสามารถพิสูจน์โดยการบ่มขึ้นกระดาษไนโตรเซลลูโลสด้วยแอนติบอดีเฉพาะต่อโปรตีนชนิดนั้น ๆ และแอนติบอดีตัวที่สองจะเชื่อมโยงจะเชื่อมกับเอนไซม์ แต่ใช้ซับสเตรทที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เห็นเป็นแถบสีบริเวณที่เป็นโปรตีนที่แอนติบอดีจับอยู่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก และเมทัลโลทัยโอนิน

ในปี ค.ศ. 1997 (Andrez & Kabzinski, 1997) ได้ทำการศึกษาถึงความเข้มข้นของเมทัลโลทัย ในยูรินของมนุษย์ และในพลาสมา ในระดับที่ร่างกายปกติ และหลังจากที่รับสัมผัสโลหะหนัก และแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะในสารคัดหลั่งในร่างกาย และ

เนื้อเยื่อ พบว่า มีความสัมพันธ์แบบสัมประสิทธิ์แบบสหสัมพันธ์ที่ 0.75-0.95 ซึ่งนั่นถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดกับโลหะหนักที่ดี

ในปี ค.ศ. 2001 (Yamada & Koizumi, 2001) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้เมทัลโลทัยโอนิน เอมอาร์เอนเอ เป็นดัชนีชี้วัดการรับสัมผัสแคดเมียม พบว่า เมทัลโลทัยโอนินนั้นจะตอบสนองกับไอออนของโลหะได้หลายชนิด และสามารถนำมาเป็นดัชนีชี้วัดตัวหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า MT- mRNA นั้นเป็นตัวเหนี่ยวนำ CdSO_4 0.1-0.5 ไมโครโมล อย่างแน่นอน จะเห็นได้ว่าระดับแคดเมียมในเลือดที่มนุษย์ได้รับสัมผัสนั้นมีระดับสูงถึง 0.5 ไมโครโมล ซึ่งวิธีนี้จะสามารถนำไปวัดปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงใน Peripheral Blood Lymphocytes ได้

ในปี ค.ศ. 1998 (Kabzinski, 1998) ได้ทำการศึกษาการหาปริมาณของการสัมผัสโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการกำหนดปริมาณการแยกเมทัลโลทัยโอนินจากซีรัมในมนุษย์ โดยนำมาประยุกต์กับ Covalent Affinity Chromatography กับ Thiol-Disulphide Interchange Gel กับ การสกัดด้วย Solid-Phase Extraction จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของเมทัลโลทัยโอนินในสารคัดหลั่ง นั้นสามารถตรวจวัดด้วยวิธีทางอ้อม หลังจากนั้น สามารถนำเมทัลโลทัยโอนินไปวัดปริมาณหาปริมาณของ โลหะหนักโดยวิธีการตรวจวัดด้วยวิธีการโครมาโตกราฟี และวิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถใช้เป็นระดับที่ใช้วิเคราะห์ทางคลินิก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับวิธี โดยอ้อม เป็น 0.69-0.97 นับว่าวิธีการนี้สามารถนำมาวิเคราะห์ทางพิษวิทยาด้วย

ในปี ค.ศ. 2006 Chen, Jin, Huang, Nordberg, and Nordberg (2006) ทำการศึกษาถึงระดับแคดเมียมที่อาจเป็นอันตรายและทำให้ระดับเมทัลโลทัยโอนินเพิ่มขึ้นในปัสสาวะทำการศึกษาในประชากรที่ทำงานในประเทศจีนใน 114 แผนก ในเมือง Zhuzhou ประเทศจีน โดยคนที่ศึกษาทั้งหมดเป็นคนจีนชาย มีอายุระหว่าง 25-55 ปี การเก็บรวบรวมข้อมูลทางสังคม การสูบบุหรี่ การดื่มเหล้า ประวัติการใช้ยา ประวัติการแพ้ยา โดยใช้แบบสอบถาม และเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะแล้วนำมาตรวจด้วย GF-AAS และทำการวัดเมทัลโลทัยโอนินด้วยวิธีการ ELISA โดยการรายงานค่าเป็นรูป ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแคดเมียมในเลือดและแคดเมียมในปัสสาวะพบว่าแคดเมียมในเลือดเท่ากับ $3.46 \mu\text{g/l}$ และ $1.36 \mu\text{g/g Cr}$ ในกลุ่มควบคุม และในกลุ่มสัมผัสค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแคดเมียมในเลือด $9.28 \mu\text{g/l}$ และในปัสสาวะ $3.20 \mu\text{g/g Cr}$ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของปัสสาวะในกลุ่มสัมผัสสูงกว่าในกลุ่มควบคุม เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างเมทัลโลทัยโอนินในปัสสาวะและการรับสัมผัสแคดเมียม พบว่าระดับแคดเมียมในปัสสาวะมากกว่าหรือเท่ากับ $2 \mu\text{g/g Cr}$ และ ระดับแคดเมียมในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับ $5 \mu\text{g/l}$ จะสามารถพบเมทัลโลทัยโอนินได้

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องระดับแคดเมียมในเลือดและปัสสาวะในประชากรทั่วไปและกลุ่มเสี่ยง

ผู้ศึกษา ปีที่รายงาน	ระดับแคดเมียมในเลือด ($\mu\text{g/l}$)	จำนวน (คน)	ระดับแคดเมียมในปัสสาวะ (หน่วย)	หมายเหตุ
(กรมอนามัย, 2523)	$16.1 \pm 0.59 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$	1,000	$15.50 \pm 9.64 \mu\text{g/l}$	ศึกษาในเลือดและปัสสาวะของ กลุ่มคนไทยปกติ
(จินตนา ศิริวรราชย์, สมิง เก้าเจริญ และวินัย วนานุกูล, 2544)	$0.85 \mu\text{g}/\text{dl}$	160	$0.92 \mu\text{g}/\text{g Cr}$	ศึกษาระดับแคดเมียม ในเลือด และปัสสาวะของผู้ที่ไม่ได้ ทำงานสัมผัสกับโลหะ
(สมิง เก้าเจริญ, วินัย วนานุกูล และ จินตนา ศิริวรราชย์, 2541)	$1.04 \mu\text{g}/\text{l}$ (ค่าเฉลี่ยมัธยฐานประชากร)	319	$0.89 \mu\text{g}/\text{g Cr}$	ศึกษาในคนสุขภาพแข็งแรงที่ ไม่ได้ทำงานสัมผัสโลหะ
(เสริมทรัพย์ วรรณะวิกรานต์, วิยะดา แสนศรีมหาชัย และ วนิดา ศิวิมลกุล, 2544)	$0.21 \mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มตำรวจจราจร)	600	-	ศึกษาแคดเมียมในเลือดตำรวจ จราจร
(วิยะดา แสนศรีมหาชัย, เสริมทรัพย์ วรรณะวิกรานต์, วรรณาม โนรมณ์ และ พรณี เฟื่องเจริญ, 2545)	$0.14 \mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มควบคุม) $0.24 \mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มสูบบุหรี่) $0.14 \mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มควบคุม) (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	600	-	ศึกษาแคดเมียมในเลือดของคน ที่สูบบุหรี่
(Sela and Westin, 1992)	$1.6-8.7 \mu\text{g}/\text{l}$	38	$8-30.6 \mu\text{g}/\text{l}$	ศึกษาในคนงานชายและหญิงที่ ทำงานในโรงงาน นิกเกิล แคดเมียม

* Cr = Creatinine

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ผู้ศึกษา ปีที่รายงาน	ระดับแคดเมียมในเลือด ($\mu\text{g/l}$)	จำนวน (คน)	ระดับแคดเมียมในปัสสาวะ (หน่วย)	หมายเหตุ
(Boening, Lowey, & Rosenberg, 1993)	5.52 $\mu\text{g/l}$ (ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต)	37	5.39 $\mu\text{g/g Cr}$ (ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต)	คนงานในอุตสาหกรรม แคดเมียม
(Gan, Tan, & Pinnagoda, 1995)	1.5 $\mu\text{g/l}$ (โรงงานเพชรพลอย) 1.5 $\mu\text{g/l}$ (โรงงานซ่อมเรือ) 30 $\mu\text{g/l}$ (โรงงานผลิตตู้เย็น)	140	-	ศึกษาในโรงงานที่ใช้แคดเมียม ในการผลิต ประเทสสังกะสีไปรี จำนวน 28 แห่ง
(Shalom, Meltzer, Ribak, & Ashkenazi, 1996)	0.097 $\mu\text{g/100 ml}$ (คนสูบบุหรี่) 0.085 $\mu\text{g/100 ml}$ (คนไม่สูบบุหรี่) (ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต)	158	-	ศึกษาในคนที่สูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่
(Ray, Turcotle, Lopointe, & Dewailly, 1997)	5.8 $\mu\text{g/l}$ (กลุ่มสูบบุหรี่) 1.0 $\mu\text{g/l}$ (กลุ่มไม่สูบบุหรี่) (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	270	-	ศึกษาในชายและหญิงที่ไม่ได้ ทำงานสัมผัสกับแคดเมียม
(Hikashigawa et al., 2000)	32.3-65.4 (ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต)	561	2.06-7.52 $\mu\text{g/g Cr}$	ศึกษาในผู้หญิงเอเชีย ได้แก่ กรุงเทพฯ กัวลาลัมเปอร์ มะนิลา จีน ญี่ปุ่น เกาหลี

* Cr = Creatinine

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องระดับทองแดงในเลือดและปัสสาวะในประชากรทั่วไปและกลุ่มเสี่ยง

ผู้ศึกษา ปีที่รายงาน	ระดับทองแดงในเลือด ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	จำนวน (คน)	ระดับทองแดงในปัสสาวะ (หน่วย)	หมายเหตุ
(รังสรรค์ ตังตรงจิต และคณะ, 2003)	102.7 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มน้ำหนักเกิน) 96.6 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มควบคุม) (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	241	-	ศึกษา ทองแดง สังกะสี เซอร์โคเนียม ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ในคนที่น้ำหนักเกิน และอ้วนชาวไทย
(Moreno et al., 1999)	1.07 $\pm$ 0.12 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	82	-	ศึกษาใน whole blood ผู้อาศัยในเมือง Badajoz Spain
(Dona et al., 2006)	115.46 $\pm$ 23.56 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	506	-	ศึกษาในชาวกรีกสุขภาพแข็งแรง

ตารางที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องระดับสังกะสีในเลือดและปัสสาวะในประชากรทั่วไปและกลุ่มเสี่ยง

ผู้ศึกษา ปีที่รายงาน	ระดับสังกะสีในเลือด ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	จำนวน (คน)	ระดับสังกะสีในปัสสาวะ (หน่วย)	หมายเหตุ
(วิยะดา แสนศรีมหาชัย, เสริมทรัพย์ วรระกะวิกกรานต์, วรณิกาม โนรมณ์ และ พรรณี เพ็งจรรณู, 2545)	79.19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (อายุ 21-30 ปี) 80.83 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (อายุ 31-40 ปี) 81.65 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (อายุ 41-50 ปี) 82.98 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (อายุ 51-60 ปี) 76.45 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) 85.58 $\pm$ 16.21 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (กลุ่มคนปกติ) 86.58 $\pm$ 46.97 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (คนไข้มะเร็งก่อนผ่าตัด) 62.70 $\pm$ 52.46 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (หลังผ่าตัด 1 วัน) 82.70 $\pm$ 62.49 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (หลังผ่าตัด 7 วัน)	600	-	ระดับสังกะสีในซีรัมผู้สูงอายุ แบ่งเป็นผู้สูงอายุมากกว่า 50 ปี พบว่าระดับซีรัมจะลดลงใน กลุ่มอายุมากกว่า 60 ปี
(Wichien, 2003)	104.52 $\pm$ 32.47 (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	104	-	เลือดคนปกติ และผู้ป่วยแผนก ศัลยกรรม ร.พ. ศิริราช
(วิยะดา แสนศรีมหาชัย และเสริม ทรัพย์ วรระกะวิกกรานต์, 2549)	96.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$	360	-	ศึกษาระดับธาตุที่จำเป็นใน เลือดคนสุขภาพดี
(บังอร ศรีพานิชกุลชัย, เปรมใจ อารี จิตรานุสรณ์, สุพรรณณี ศรีอัมพร และ กิตติศักดิ์ ศรีพานิชกุลชัย, 2547)	98.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 93.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (มีข้อยกเว้น)	345	-	ระดับสังกะสีในซีรัมประชากร ในขอนแก่น

ตารางที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องระดับตะกั่วในเลือดและปัสสาวะในประชากรทั่วไปและกลุ่มเสี่ยง

ผู้ศึกษา ปีที่รายงาน	ระดับตะกั่วในเลือด ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	จำนวน (คน)	ระดับตะกั่วในปัสสาวะ (หน่วย)	หมายเหตุ
(วิภา คงดี, 2541)	$14.1 \pm 7.0 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ปัสสาวะ) $12.3 \pm 6.4 \mu\text{g}/\text{dl}$ (เรียงพิมพ์) $10.6 \pm 5.4 \mu\text{g}/\text{dl}$ (พ่นสีรถยนต์) $10.1 \pm 4.2 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ซ่อมรถยนต์) $34.5 \pm 17.8 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ซ่อมจักรยานยนต์) $28.3 \pm 17.3 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ช่างต่อเรือ) $6.8 \pm 5.8 \mu\text{g}/\text{dl}$ (คนทั่วไป)	462	-	ระดับสารตะกั่วในเลือดผู้ประกอบอาชีพสัมผัสผู้สตะกั่ว 3 จังหวัดภาคใต้ แบ่งเป็น 6 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม
(สมศักดิ์ ศรีภักดี, 2544)	$48.66 \pm 11.31 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ผลิตแบตเตอรี่) $21.85 \pm 9.87 \mu\text{g}/\text{dl}$ (ซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า) $1.46 \pm 23.64 \mu\text{g}/\text{dl}$ (คนทั่วไป) (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	แบ่งคน เป็น 3 กลุ่ม	-	เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในผู้ปฏิบัติงานซ่อมไฟฟ้า จ.ขอนแก่น
(เลิศชัย เจริญธัญรักษ์, จิราพร เทียวอยู่, จุฬารักษ์ โสตะ, อุไรวรรณ อินทร์ม่วง, จุฬารัตน์ คงมณี และ จงกณี เงินสระคู, 2544)	$5.54 \mu\text{g}/\text{dl}$ กลุ่มควบคุม $7.60 \mu\text{g}/\text{dl}$ กลุ่มช่าง (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต)	600	-	การปนเปื้อนของสารตะกั่วในเลือดของช่างซ่อมหม้อน้ำรถยนต์