



เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ

หัวข้อ การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) ด้านอาชีวอนามัย ตอนที่ ๕ กรณีศึกษา: การประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพและดัชนีการสัมผัสแบบสะสม

เรียบเรียงโดย ดร.วิสันติ เลหาอุดมโชค
นักวิชาการแรงงานชำนาญการ
สำนักความปลอดภัยแรงงาน

จากบทความตอนที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงหลักการเกี่ยวกับการประเมินการสัมผัสทางสิ่งแวดล้อม การประเมินการสัมผัสทางชีวภาพ รวมถึงการประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ (Biomarkers) และคำนวณค่าดัชนีการสัมผัสแบบสะสม (Cumulative Exposure Index; CEI) โดยบทความฉบับนี้ จะขอเสนอกรณีศึกษาเกี่ยวกับการเรื่องดังกล่าว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ผู้เขียนได้เคยดำเนินการเพื่อประเมินการสัมผัสสารโลหะ (แมงกานีส สังกะสี เหล็ก ทองแดง โครเมียม) และผลกระทบต่อระบบประสาท ในกลุ่มผู้ปฏิบัติงานเชื่อม ณ สถานประกอบการแห่งหนึ่งในรัฐแมสซาชูเซตต์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มปัญหาสุขภาพแบบเรื้อรัง โดยเฉพาะผลกระทบต่อระบบประสาท สมอง และกล้ามเนื้อ ที่เกิดจากการสัมผัสสารแมงกานีสในระดับต่ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในส่วนของการประเมินการสัมผัส นอกจากจะใช้วิธีการทางสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังพบว่ามีการใช้ตัวอย่างทางชีวภาพคือ เลือดและปัสสาวะด้วย ซึ่งตัวอย่างเหล่านี้สามารถใช้ชี้วัดการสัมผัสที่เพิ่งเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาไม่นาน ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้เพื่อชี้วัดการสัมผัสในระยะยาว ยังไม่มีการศึกษายืนยันเป็นที่แน่ชัด กอรปกับกระแสด้านสิทธิมนุษยชนในปัจจุบัน การเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อจากร่างกายมนุษย์ จะมุ่งเน้นใช้วิธีการที่ไม่ละเมิดต่อร่างกายหรือก่อให้เกิดความเจ็บปวด (Non-invasive Method) เช่น ใช้เส้นผมหรือเล็บ เป็นต้น

การศึกษาวิจัยในส่วนที่จะนำเสนอนี้ ได้มุ่งเน้นประเมินการสัมผัสแมงกานีสโดยใช้เล็บเท้า ซึ่งมีการใช้สำหรับประเมินการสัมผัสสารหนูและซิลิเนียม และคาดว่าจะสามารถชี้วัดการสัมผัสแมงกานีสสะสมในระยะยาวได้ ส่วนเล็บมือและเส้นผม มีหลักฐานทางวิชาการที่ชี้แนะว่าอาจมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากการปนเปื้อนจากภายนอก (External Contamination) หรือการสัมผัสโดยตรง จึงไม่ได้มุ่งเน้นในการศึกษานี้

วิธีการศึกษาและการประเมินการสัมผัส

การประเมินการสัมผัสในงานอาชีวอนามัย วิธีการที่มักมีส่วนเกี่ยวข้องและถือเป็นองค์ประกอบสำคัญคือการตรวจวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมการทำงาน โดยการวิจัยเรื่องนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมจากบริเวณการหายใจ (Breathing Zone) ของผู้ปฏิบัติงานตลอดกะ ตามประเภทงานเชื่อมรูปแบบต่างๆ ที่มีและวิเคราะห์ปริมาณการสัมผัสแมงกานีส ด้วยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometry จากนั้นนำผลที่ได้ ร่วมกับข้อมูลการปฏิบัติงานและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มาคำนวณดัชนีชี้วัดระดับการสัมผัสแบบสะสม (Cumulative Exposure Index; CEI) โดยใช้ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ดังกล่าว

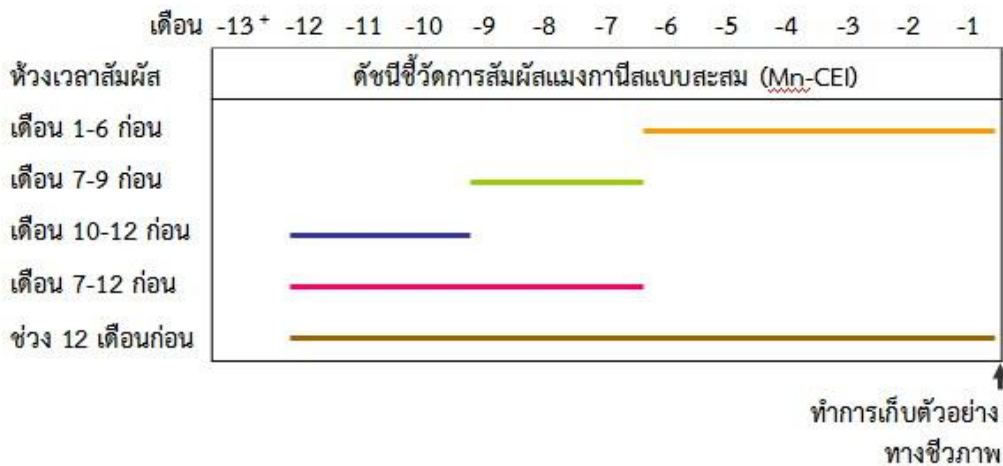


สำนักความปลอดภัยแรงงาน

อาคารกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ส่วนแยกตลิ่งชัน 22/22 ก.บรมราชชนนี
แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170 โทร.0 2448 8338 WWW.oshthai.org

การใช้ดัชนีชี้วัดระดับการสัมผัสแบบสะสม เป็นวิธีการประเมินการสัมผัสทางอ้อมที่อาจนำมาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงระบาดวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการสัมผัสสารหนึ่งๆ สะสมอย่างต่อเนื่อง หรือกรณีที่ต้องมีการประเมินการสัมผัสแบบย้อนหลัง (Retrospective Exposure Assessment) ซึ่งเทคนิควิธีการประเมินนี้ อาศัยหลักแบบจำลองที่ออกแบบโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจประเมินทางสิ่งแวดล้อม ร่วมกับการใช้แบบสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะข้อมูลการปฏิบัติงานในช่วงเวลาที่ต้องการจะประเมินอย่างละเอียด รวมถึงรูปแบบการใช้ชีวิต การรับประทานอาหาร ฯลฯ กล่าวได้ว่าค่าดัชนีชี้วัดการสัมผัสแบบสะสม เป็นตัวเลขที่ประมาณจากประวัติการสัมผัสสารหนึ่งๆ (Exposure Profile) ของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ในห้วงระยะเวลา (Exposure Window) ที่ต้องการประเมิน เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผู้ปฏิบัติงาน หรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์รูปแบบต่างๆ

จากข้อมูลต่างๆ ข้างต้น ได้ทำการคำนวณค่าดัชนีชี้วัดการสัมผัสแมงกานีสแบบสะสม โดยจำแนกตามห้วงเวลาการสัมผัสที่ทำการศึกษา ได้แก่ ช่วงเดือน 1-6, 7-9, 10-12, 7-12 และ 1-12 ก่อนวันที่ทำการเก็บตัวอย่างทางชีวภาพ ดังแสดงในแผนภาพ



สำหรับการคำนวณดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินการสัมผัสแมงกานีสในการศึกษานี้ ได้พิจารณาผลจากการใช้อุปกรณ์ปกป้องระบบหายใจส่วนบุคคลร่วมด้วย โดยนำค่าระดับการปกป้อง (Assigned Protection Factor; APF) ของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ผู้ปฏิบัติงานมีการสวมใส่ เข้ามาเกี่ยวข้องในสมการคำนวณ ดังนี้

$$CEI_{wi} = (Conc_i \times Time_{wi}) \left[\left(\frac{\%respirator_{wij}}{APF_j / 2} \right) + \left(\frac{\%respirator_{wij}}{APF_j / 2} \right) + \dots \right]$$

- โดยที่ CEI_{wi} = ดัชนีชี้วัดระดับการสัมผัสสำหรับงานหนึ่งๆ ที่มีการปฏิบัติ
- $Conc_i$ = ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร ในการปฏิบัติงานนั้นๆ
- $Time_{wi}$ = ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการปฏิบัติงานนั้นๆ
- $\%respirator_{wij}$ = %การใช้อุปกรณ์ปกป้องการหายใจแต่ละชนิด
- APF_{wji} = ค่าระดับการปกป้องของอุปกรณ์แต่ละชนิด



สำนักความปลอดภัยแรงงาน

อาคารกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ส่วนแยกตลิ่งชัน 22/22 ก.บรมราชชนนี
แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170 โทร.0 2448 8338 WWW.OSHTHAI.ORG

ซึ่งจะมีการคำนวณค่า CEI_{wi} ของแต่ละงานที่มีการปฏิบัติ แล้วนำมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าดัชนีการสัมผัสทั้งหมด (CEI_w) ในห้วงเวลาที่ต้องการประเมิน ดังสมการ

$$CEI_w (mg/m^3-hr) = CEI_{w1} + CEI_{w2} + CEI_{w3} + \dots + CEI_{wn}$$

นอกจากการเก็บตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมแล้ว การศึกษาวิจัยเรื่องนี้ ยังได้เก็บตัวอย่างทางชีวภาพ อันได้แก่ ตัวอย่างเลือดและปัสสาวะ ก่อนเริ่มปฏิบัติงานและหลังเลิกงาน รวมทั้งตัวอย่างเล็บมือ เล็บเท้า และเส้นผม โดยตัวอย่างทางชีวภาพเหล่านี้ นำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณของแมงกานีสและโลหะอื่นๆ ทางห้องปฏิบัติการด้วย Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) จากนั้น จึงทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (โดยใช้ Spearman's/Pearson's correlations) ระหว่างระดับแมงกานีสในเล็บเท้า กับค่าดัชนีชี้วัดการสัมผัสแมงกานีสแบบสะสม และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสแมงกานีสตลอดระยะเวลาหนึ่งกะ กับการเปลี่ยนแปลงระดับค่าแมงกานีสในเลือดและปัสสาวะ รวมทั้งค่าสหสัมพันธ์ระหว่างระดับแมงกานีสในตัวชี้วัดต่างชีวภาพต่างๆ

ผลการศึกษา วิพากษ์ และข้อสรุป

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทางชีวภาพทางห้องปฏิบัติการ พบว่ามีระดับปริมาณแมงกานีสดังนี้

- ในเล็บเท้า: 0.05 - 10.41 $\mu\text{g/g}$ (ค่ามัธยฐาน = 80 $\mu\text{g/g}$)
- ในเลือด: 15.29 - 28.61 ng/ml (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต = 18.88 ng/ml)
- ในปัสสาวะ: 0.45 - 3.02 ng/ml (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต = 1.50 ng/ml)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระดับค่าแมงกานีสในเล็บเท้ากับดัชนีชี้วัดการสัมผัสแมงกานีสแบบสะสม (หลังควบคุมอายุและค่าประมาณของแมงกานีสที่บริโภค) รวม 3 กลุ่มห้วงเวลาการสัมผัส ซึ่งครอบคลุมการสัมผัสในช่วงเดือนที่ 7-12 ก่อนการเก็บตัวอย่างเล็บเท้า ดังนี้

- เดือน 7-9 ก่อนหน้า: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.39
ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p-value) = 0.02
- เดือน 10-12 ก่อนหน้า: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.32
ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p-value) = 0.03
- เดือน 7-12 ก่อนหน้า: ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.32
ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p-value) = 0.03

ซึ่งห้วงระยะเวลาดังกล่าวสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของเล็บเท้า ซึ่งใช้ระยะเวลาในการงอกจากฐานเล็บถึงปลายเล็บ เฉลี่ย 9 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่าผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับรายงานจากการศึกษาอื่นในกลุ่มตัวอย่างที่สัมผัสซิลิเนียม และพบความสัมพันธ์กับระดับซิลิเนียมในเล็บเท้าในห้วงเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ไม่พบว่าระดับค่าแมงกานีสในเล็บเท้ามีความสัมพันธ์กับระดับค่าแมงกานีสในเลือดและปัสสาวะ เนื่องจากชี้วัดห้วงเวลาการสัมผัสที่ต่างกัน และไม่พบว่าระดับค่าแมงกานีสในเลือดและปัสสาวะก่อนและหลังเลิกงาน มีความสัมพันธ์กับระดับค่าแมงกานีสที่สัมผัสจากการปฏิบัติงานในช่วงขณะนั้น ทั้งนี้ อาจอธิบายได้จากการที่สารแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อร่างกาย ใช้ระยะเวลานานกว่าที่ตรวจพบได้ในระยะเวลาหนึ่งกะ



สำนักความปลอดภัยแรงงาน

อาคารกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ส่วนแยกตลิ่งชัน 22/22 ก.บรมราชชนนี
แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170 โทร.0 2448 8338 www.oshthai.org

โดยสรุป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเล็บเท้าสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ สำหรับการสัมผัสแมงกานีสในห้วงระยะเวลาเดือนที่ 7-12 ก่อนทำการเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่มีรูปแบบการสัมผัสสารที่คงที่ อาจสามารถใช้เล็บเท้าเป็นตัวชี้วัดการสัมผัสในห้วงเวลาอื่นๆ ด้วย ถือได้ว่าเป็นตัวชี้วัดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินการสัมผัสในการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา และเนื่องระดับค่าแมงกานีสในตัวอย่างเลือดและตัวอย่างปัสสาวะมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทางชีวภาพทั้งสองใช้ชี้วัดการสัมผัสที่เกิดขึ้นในห้วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการสัมผัสในช่วงเวลา ก่อนการเก็บตัวอย่างไม่นานนัก

แหล่งทุนสนับสนุน

งานศึกษาวิจัยเรื่องนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณดำเนินการจากสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งสหรัฐอเมริกา (NIOSH)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nieuwenhuijsen, MJ. **Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology.** Oxford University Press, 2003.
- [2] Smith, TJ. **Concepts in Environmental and Occupational Exposure Assessment.** A Presentation for EH296 Course, Harvard University, 2007.
- [3] Laohaudomchok, W, et al. **Toenail, Blood and Urine as Biomarkers of Manganese Exposure.** *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2011; 53(5), 506-510.