

Changes in White Blood Cell Count Due to Formaldehyde Exposure in the Grinding Wheel Manufacturing Process among Workers in a Factory in Thailand

*Punnarin Pattanasiritavin, B.Sc.**

*Arroon Ketsakorn, Ph.D.***

*Chaweewon Boonsuyar, M.S.P.H.****

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate changes in white blood cell count- (WBC) WBC count among workers in a grinding wheel manufacturing plant in Thailand who had a documented history of formaldehyde exposure in production processes.

Methods: A total of 146 workers with complete health surveillance records from 2013 and 2023 were included in the analysis. Data were analyzed using descriptive statistics, Wilcoxon Signed Rank Test and the Generalized Estimating Equation (GEE) method.

Results: The findings indicated that the mean white blood cell count in 2023 was significantly higher than that in 2013 ($p < 0.05$). This increase was observed despite workplace formaldehyde concentrations remaining within the legally permissible exposure limits. The elevated levels suggested a potential long-term cumulative effect of formaldehyde exposure on hematological parameters.

Conclusion: The results underscore the necessity for continuous health surveillance systems for workers exposed to formaldehyde and support the promotion of further research into additional hematological and biological markers to assess long-term health effects in a more comprehensively.

Keywords: formaldehyde; white blood cells; occupational health; chemical exposure; grinding wheel manufacturing

*Faculty of Public Health, Thammasat University

Received: June 26, 2025; Revised: November 29, 2025; Accepted: December 24, 2025

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเม็ดเลือดขาวจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ ในกระบวนการผลิตหินเจียรของพนักงานในโรงงานแห่งหนึ่งในประเทศไทย

ปยุตต์รินทร์ พัฒนศิริธาวิน, วทบ.*

อารุญ เกตุสาคร, ปร.ด.**

ฉวีวรรณ บุญสุยา, พบ.ม.***

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณเม็ดเลือดขาวในกลุ่มพนักงานที่ได้รับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในโรงงานผลิตหินเจียร โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566

วิธีการศึกษา: ศึกษาจากกลุ่มพนักงานจำนวน 146 คน ที่มีข้อมูลการตรวจสุขภาพครบถ้วนในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วย สถิติเชิงพรรณนา Wulcoxon Signed Rank Test, และวิธีสมการการประมาณค่าทั่วไป Generalized Estimating Equation (GEE) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์เม็ดเลือดขาว

ผลการศึกษา: ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดขาวของพนักงานในปี พ.ศ. 2566 สูงกว่าปี พ.ศ. 2556 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งที่ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานที่ทำงานยังคงอยู่ภายในเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวอาจสะท้อนถึงความเป็นไปได้ของผลกระทบสะสมจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในระยะยาวต่อระบบโลหิต

สรุป: จากผลการศึกษาดังกล่าว ควรมีการจัดระบบเฝ้าระวังสุขภาพแรงงาน ที่มีความเสี่ยงจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์อย่างต่อเนื่องและควรส่งเสริมการศึกษาตัวชี้วัดทางชีวภาพอื่น ๆ เพื่อประเมินผลกระทบในระบบโลหิตในระยะยาวอย่างครอบคลุมและเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ฟอร์มาลดีไฮด์; เม็ดเลือดขาว; สุขภาพแรงงาน; การสัมผัสสารเคมี; การผลิตหินเจียร

*คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ได้รับต้นฉบับ: 26 มิถุนายน 2568; แก้ไขบทความ: 29 พฤศจิกายน 2568; รับลงตีพิมพ์: 24 ธันวาคม 2568

บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น อุตสาหกรรมกาว เรซิน สิ่งทอ กระดาษและการถนอมเนื้อเยื่อทางการแพทย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อและเป็นตัวประสานเรซินที่ดี⁽¹⁾ อย่างไรก็ตาม ฟอร์มาลดีไฮด์ได้รับการจัดประเภทว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (group 1 carcinogen International Agency for Research on Cancer: IARC) ซึ่งมีหลักฐานยืนยันถึงความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งโพรงจมูกและมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด myeloid leukemia⁽²⁾

ในการผลิตหินเจียร มีการนำเรซินฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์มาใช้เป็นวัสดุประสานสำหรับการขึ้นรูปหินขัด เมื่อเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อนไอของฟอร์มาลดีไฮด์จะระเหยออกสู่บรรยากาศภายในโรงงาน ทำให้พนักงานในบริเวณการผลิตมีความเสี่ยงต่อการสัมผัส แม้ว่าระดับของสารดังกล่าวในสถานที่ทำงานจะอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยงานควบคุมกำหนด เช่น Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)⁽³⁻⁴⁾ แต่การสัมผัสต่อเนื่องในระดับต่ำอาจก่อให้เกิดผลกระทบสะสมต่อสุขภาพในระยะยาว

เม็ดเลือดขาว (white blood cells: WBC) เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพที่สำคัญต่อการประเมินภาวะการอักเสบ การติดเชื้อและภาวะเครียดออกซิเดชันในร่างกาย การเปลี่ยนแปลงของจำนวนเม็ดเลือดขาวโดยเฉพาะเมื่อเกิดในช่วง

ระยะเวลาที่ยาวนาน อาจบ่งชี้ถึงความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกันหรือระบบโลหิต⁽⁵⁾ การศึกษาในสัตว์ทดลองและมนุษย์จำนวนมากรายงานว่า ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความเสียหายต่อ DNA และกระตุ้นการอักเสบเรื้อรังผ่านกลไกการเกิด reactive oxygen species ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์เม็ดเลือด⁽⁶⁻⁷⁾

มีงานวิจัยที่ให้ข้อมูลเชิงประจักษ์ว่าการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในระดับอาชีพสามารถส่งผลกระทบต่อระบบโลหิตและภูมิคุ้มกันได้ อย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่าง เช่น Zhang และคณะรายงานว่าคนงานที่สัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในโรงงานผลิตเรซินมีจำนวนเม็ดเลือดขาวลดลง รวมถึงพบความเสียหายของ DNA ในเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือด (hematopoietic progenitor cells)⁽⁷⁾ นอกจากนี้ มีการศึกษาวิเคราะห์ meta-analysis พบว่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวสูงขึ้นในกลุ่มที่สัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ โดยไม่จำเป็นต้องมีระดับความเข้มข้นของสารเกินค่ามาตรฐาน⁽⁸⁾

อย่างไรก็ตาม ผลกระทบทางโลหิตไม่ได้แสดงออกในรูปแบบของความรุนแรงของโรคเสมอไป แต่อาจเริ่มจากความผิดปกติของค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตที่ตรวจพบได้ในระยะแรก เช่น ค่าปริมาณเม็ดเลือดขาวผิดปกติหรือความแปรปรวนของสัดส่วนระหว่าง neutrophil/lymphocyte ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับภาวะอักเสบเรื้อรัง⁽⁹⁾

ในประเทศไทย แม้จะมีการเฝ้าระวังระดับฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งโดยกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน แต่ยังพบว่าการศึกษาที่เน้นผล

กระทบต่อพารามิเตอร์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะด้านโลหิตวิทยา ยังมีจำนวนจำกัด งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นด้านผลเฉียบพลัน เช่น การระคายเคืองตา ผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ⁽¹⁰⁾

ช่องว่างขององค์ความรู้ดังกล่าว นำมาสู่ความจำเป็นในการศึกษาผลกระทบของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อค่าพารามิเตอร์โลหิตในบริบทของประเทศไทย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารนี้อย่างต่อเนื่อง เช่น โรงงานผลิตหินเจียรซึ่งมีลักษณะการทำงานในระบบปิด การระบายอากาศจำกัดหรือมีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่และพนักงานมีระยะเวลาการทำงานที่ยาวนาน

ด้วยเหตุนี้ การเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทางโลหิต โดยเฉพาะค่าปริมาณเม็ดเลือดขาวในกลุ่มแรงงานที่สัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์จึงเป็นแนวทางสำคัญในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว การติดตามแนวโน้มของค่าดังกล่าวตลอดช่วงเวลาหลายปีอาจช่วยระบุความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสในระดับต่ำอย่างต่อเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ แม้สารจะอยู่ในระดับที่ไม่เกินมาตรฐานก็ตาม

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบติดตามกลุ่มไปข้างหน้า (Prospective cohort study) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวในพนักงานโรงงานผลิตหินเจียรที่มีประวัติสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ โดยอาศัยข้อมูลสุขภาพจากปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 ผลที่ได้สามารถนำมาสนับสนุนการพัฒนามาตรการเฝ้าระวังสุขภาพแรงงานและเสริมสร้าง

องค์ความรู้ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของประเทศไทยและนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงนโยบายด้านการเฝ้าระวังสุขภาพแรงงาน ตลอดจนเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกันที่มีประสิทธิภาพในระดับสถานประกอบการต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ติดตามโดยใช้ข้อมูลจากระบบตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานโรงงานผลิตหินเจียรแห่งหนึ่งในประเทศไทย จำนวน 323 คน คัดเลือกเฉพาะพนักงานที่มีประวัติการทำงานในตำแหน่งที่มีโอกาสสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์อย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิตมีผลการตรวจสุขภาพในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 ครบถ้วน และมีข้อมูลครบถ้วนได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 146 คนโดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (ไม่เกิน 0.75 ppm) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลผลตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน โดยเฉพาะค่าปริมาณเม็ดเลือดขาว (White Blood Cell, WBC) ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง การสูบบุหรี่และโรคประจำตัว
- 2) ข้อมูลสภาพแวดล้อมในการทำงาน ได้แก่ ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศและลักษณะการระบายอากาศจากการตรวจวัดในพื้นที่ทำงาน ได้แก่ แผนกผลิตเรซิน แผนกอบชิ้นงานและแผนกบรรจุภัณฑ์
- 3) มาตรการป้องกันอันตรายจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์

สถิติที่ใช้

สถิติที่ใช้ประกอบด้วยการใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะทางประชากรและค่าพารามิเตอร์ด้านสุขภาพสภาพแวดล้อมในการทำงาน และมาตรการการป้องกันการสัมผัสฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับสถิติเชิงอนุมานใช้ Paired t-test ใช้การวิเคราะห์แบบสมการประมาณค่าทั่วไป (generalized estimating equations: GEE) เพื่อหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวในช่วงเวลา 10 ปี (ปี พ.ศ. 2556 -2566) โดยในขั้นต้นได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณเม็ดเลือดขาว และคัดเลือกเฉพาะตัวแปรที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.30 เข้าสู่แบบจำลองการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย

การพิทักษ์สิทธิและจริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์) รหัสโครงการวิจัย 67PU059 เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2567

ผลการศึกษา

การวิจัยนี้วิเคราะห์และนำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

1. คุณลักษณะของพนักงานโรงงานผลิตหินเจียร

พนักงานโรงงานผลิตหินเจียรจำนวน 146 คน ส่วนใหญ่ ร้อยละ 87.7 เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 40.23 ปี (S.D. = 7.11) โดยมีอายุน้อยที่สุด 23 ปี และมากที่สุด 55 ปี พนักงานร้อยละ 42.5 มีอายุ 40-49 ปี รองลงมา ร้อยละ 39.0 มีอายุ 30-39 ปี ขณะที่ช่วงอายุ 50-59 ปี และ 20-29 ปี พบร้อยละ 11.0 และ 7.5 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาดัชนีมวลกาย (body mass index: BMI) พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.00 (S.D. = 22.21) โดยกลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 39.0 จัดอยู่ในระดับโรคอ้วนระดับ 1 (BMI 25.0 – 29.9) รองลงมา ร้อยละ 30.1 มีน้ำหนักปกติ (BMI 18.5 – 22.9) และร้อยละ 13.7 มีภาวะน้ำหนักเกิน (BMI 23.0 – 24.9) ส่วนกลุ่มที่มีภาวะอ้วนระดับ 2 และ 3 พบร้อยละ 12.3 และ 2.1 ตามลำดับ ด้านพฤติกรรมการสูบบุหรี่ในปัจจุบัน พบว่าพนักงานส่วนใหญ่ ร้อยละ 86.3 ไม่เคยสูบบุหรี่ ขณะที่ร้อยละ 11.6 เคยสูบบุหรี่ มีพนักงานเพียงร้อยละ 2.1 ที่สูบบุหรี่เป็นครั้งคราว

สำหรับโรคประจำตัว พบว่าร้อยละ 77.4 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 22.6 มีโรคประจำตัวสะท้อนให้เห็นว่าพนักงานส่วนใหญ่มีสุขภาพพื้นฐานอยู่ในเกณฑ์ปกติ อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่มีโรคประจำตัวยังคงเป็นสัดส่วนที่ควรให้ความสำคัญในการติดตามสุขภาพและพิจารณาการควบคุมปัจจัยเสี่ยงในการทำงาน ดังตาราง 1

ตาราง 1 คุณลักษณะของพนักงานโรงงานผลิตหินเจียร 146 คน

	คุณลักษณะส่วนบุคคล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	128	87.7
	หญิง	18	12.3
อายุ (ปี)	20-29	11	7.5
	30-39	57	39.0
	40-49	62	42.5
	50-59	16	11.0
	Mean = 40.23, S.D. = 7.11, Min = 23, Max = 55		
ดัชนีมวลกาย	น้ำหนักน้อย (< 18.5)	2	1.4
	น้ำหนักปกติ (18.5 – 22.9)	44	30.1
	น้ำหนักเกิน (23.0 – 24.9)	20	13.7
	โรคอ้วนระดับ 1 (25.0 – 29.9)	57	39.0
	โรคอ้วนระดับ 2 (30.0 – 34.9)	18	12.3
	โรคอ้วนระดับ 3 ($\geq$ 35.0)	5	3.5
	Mean = 24.00, S.D. = 22.21		
	Median (IQR) = 25.54 (Q1 = 22.66, Q3 = 28.11)		
พฤติกรรมการสูบบุหรี่ในปัจจุบัน	ไม่สูบบุหรี่	126	86.3
	เคยสูบบุหรี่	17	11.6
	สูบบุหรี่เป็นครั้งคราว	3	2.1

2. สภาพแวดล้อมในการทำงานของพนักงานโรงงานผลิตหินเจียร

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในบรรยากาศของสถานประกอบการพบว่าในปี พ.ศ. 2556 ค่าความเข้มข้นในบริเวณกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ Baking Mixing และ Molding มีค่าเท่ากับ 0.001 ppm ขณะที่ในปี พ.ศ. 2566 ค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในทุกตำแหน่ง ได้แก่ Baking เท่ากับ 0.06 ppm, Mixing เท่ากับ 0.48 ppm และ Molding เท่ากับ 0.32 ppm อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นในทุกพื้นที่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง “ขีดจำกัดความเข้มข้น

ของสารเคมีอันตรายในการทำงาน” ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.75 ppm

สำหรับการระบายอากาศของสถานที่ทำงาน พบว่าในกระบวนการ Baking และ Mixing ใช้ระบบระบายอากาศแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (recirculation system) ส่วนในกระบวนการ Molding ใช้การระบายอากาศแบบลูกหมุน ซึ่งสามารถถ่ายเทอากาศออกสู่ภายนอกได้โดยตรง ทั้งนี้ ระบบระบายอากาศทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมายกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งกำหนดให้อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 4 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง ดังตาราง 2

ตาราง 2 สภาพแวดล้อมในการทำงานของพนักงานโรงงานผลิตหินเจียร

สภาพแวดล้อมในการทำงาน	ปี 2556		ปี 2566	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์ (ppm)				
Baking	0.001		0.06	
Mixing	0.001		0.48	
Molding	0.001		0.32	
การผ่านเกณฑ์มาตรฐานประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (ไม่เกิน 0.75 ppm)	ผ่าน		ผ่าน	
การระบายอากาศในสถานที่ทำงาน				
การระบายอากาศของ Baking และ Mixing	แบบหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่*			
การระบายอากาศของ Molding	การระบายอากาศแบบลูกหมุนระบายอากาศ*			

*ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกฎหมาย

ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

พ.ศ. 2522 (อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 4 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง)

3. มาตรการป้องกันอันตรายจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์

การประเมินมาตรการควบคุมอันตรายจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานประกอบการ พบว่า ภาพรวมยังขาดมาตรการป้องกันอันตรายหลายด้าน เช่น การกำจัดการฟอร์มาลดีไฮด์ในพื้นที่ปฏิบัติงาน การหาสารอื่นที่ปลอดภัยกว่ามาทดแทนทั้งนี้อาจเนื่องมาจากส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม มีการดำเนินการควบคุมทางด้านวิศวกรรมโดยใช้หลักการระบายอากาศแบบเจือจาง (dilution ventilation) เท่านั้น โดยยังไม่มีการประยุกต์ใช้หลักการระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (exhaust ventilation system) นอกจากนี้ พื้นที่ปฏิบัติงานไม่มีปุ่มหยุดฉุกเฉิน ซึ่งเป็นระบบความปลอดภัยขั้นพื้นฐานในงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีอันตราย

สำหรับมาตรการควบคุมทางการบริหารจัดการ พบว่า มีการกำหนดคุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงาน การฝึกอบรมและการจัดทำสื่อความรู้ด้านความปลอดภัยในโรงงาน แต่ยังไม่มีการกำหนดช่วงเวลาหรือจำกัดเวลาการทำงานในพื้นที่เสี่ยง ซึ่งอาจเพิ่มโอกาสในการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์

ลำดับสุดท้ายของลำดับขั้นในการป้องกันอันตรายของโรงงาน คือ การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE) พบว่า มีการจัดเตรียมอุปกรณ์อย่างครบถ้วน ได้แก่ หน้ากากป้องกันไอระเหยสารเคมีรองเท่านั้น รมควันและถุงมือไนไตร ซึ่งถือเป็นมาตรการป้องกันปลายทางที่จำเป็นในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ได้ทั้งหมด ผลการประเมินโดยรวมสะท้อนถึงการให้ความสำคัญต่อมาตรการควบคุมโดยการใช้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลมากกว่ามาตรการป้องกันเชิงรุก พิจารณารายละเอียดดังตาราง 3

ตาราง 3 มาตรการป้องกันอันตรายจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์

ประเด็นคำถาม	การปฏิบัติ
การจัด	
○ การนำสารฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากพื้นที่	ไม่มี
การแทนที่	
○ มีการนำสารเคมีที่เป็นตัวทำละลายเรซินที่ปลอดภัยกว่ามาแทนการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องมือด้วยเมทานอล	ไม่มี
○ มีการนำสารเคมีอื่น ๆ มาแทนสารฟอร์มาลดีไฮด์	ไม่มี
การควบคุมทางวิศวกรรม	
○ การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Exhaust Ventilation System)	ไม่มี
○ การออกแบบเพื่อติดตั้งปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Stop Buttons)	ไม่มี
○ การปิดกั้นแหล่งอันตรายกับตัวผู้ปฏิบัติงาน	มี

ตาราง 3 มาตรการป้องกันอันตรายจากการรับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์

ประเด็นคำถาม	การปฏิบัติ
การควบคุมทางการบริหารจัดการ	
○ กำหนดช่วงเวลาหรือจำนวนชั่วโมงในการทำงานที่มีความเสี่ยง	ไม่มี
○ กำหนดคุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงานนั้น ๆ	มี
○ มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและปลอดภัย	มี
○ การจัดทำสื่อความรู้ความปลอดภัยเกี่ยวกับสารเคมีในโรงงาน	มี
อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล	
○ หน้ากากป้องกันไอระเหยสารเคมี	มี
○ รองเท้านิรภัย	มี
○ หมวกนิรภัย	มี
○ ถุงมือไนไตร	มี

4. การเปรียบเทียบปริมาณเม็ดเลือดขาว ปี 2556 และปี 2566	1,469.14 เซลล์ต่อไมโครลิตร (S.D. = 5,423.70)
ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเม็ดเลือดขาวในปี พ.ศ. 2556 เท่ากับ 7015.99 เซลล์ต่อไมโครลิตร (S.D. = 1317.87) ขณะที่ในปี พ.ศ. 2566 ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 8,485.13 เซลล์ต่อไมโครลิตร (S.D. = 5,198.24) โดยผลต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองช่วงเวลาเท่ากับ	เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเม็ดเลือดขาวที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าเม็ดเลือดขาวในปี 2566 แตกต่างจากปี 2556 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) ค่าเฉลี่ยของปริมาณเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้นในช่วง 10 ปี ประมาณ 146.91 เซลล์ต่อไมโครลิตรต่อปี แม้ว่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานประกอบการยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม

ตาราง 4 การเปรียบเทียบปริมาณเม็ดเลือดขาว (Cells/ μ L) ปี 2556 และปี 2566 ของพนักงาน 146 คน

ปริมาณเม็ดเลือดขาว (cells/ μ L)			
ค่าสถิติ	2556	2566	ผลต่างของปี 2566 และ 2556
Mean	7,015.99	8485.13	1,469.14
SD	1,317.87	5198.242	5,423.70
Median	6900.00	7725.00	7725.00
Q1	6100.00	6557.50	6557.50
Q3	8077.50	9235.00	9235.00

$p < 0.001$ of the comparison bew B,E 2556 and 2566 (by Wilcoxon Signed Rank Test)

5. ความสัมพันธ์ของปัจจัยส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมในการทำงานแต่ละตัวกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงเม็ดเลือดขาวในช่วงระยะเวลา 10 ปี

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละของปัจจัยส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมในการทำงานกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวกับการเปลี่ยนแปลงเม็ดเลือดขาวในช่วงปี 2556 และ 2566 พบว่า เพศ ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาว ($b = -216.520$), 95% CI: -994.767 ถึง 561.728 และ $p = 0.586$) อายุมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดขาว ($p = 0.010$) โดยทุก ๆ อายุที่เพิ่มขึ้น 1 ปี คาดว่า จะทำให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 50.185 เซลล์/ไมโครลิตร (95% CI: 12.179 ถึง 88.192) ดัชนีมวลกาย (BMI) ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดขาวในช่วง 10 ปี ($b = 39.372$), 95% CI: - 16.785 ถึง 95.529 และ $p = 0.169$) การสูบบุหรี่ ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ

เม็ดเลือดขาว พนักงานที่ไม่เคยและเคยสูบบุหรี่ มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาว ไม่แตกต่างจากผู้ที่ไม่สูบบุหรี่เป็นครั้งคราวในปัจจุบัน ($b = 375.857$) 95% CI = - 1143.433 ถึง 1895.147, $p = 0.628$ และ ($b = 340.716$), (95% CI = - 1280.823 ถึง 1962.255), $p = 0.680$ ตามลำดับ) โรคประจำตัว ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดขาว ($b = -102.643$), 95% CI: -766.922 ถึง 561.636, $p = 0.762$) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟอรัมาลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.003$) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น 3,643.558 เซลล์/ไมโครลิตร ในปี 2566 เมื่อเทียบกับปี 2556 (95% CI: 1,208.333 ถึง (6,078.783) จากผลการวิเคราะห์ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการใช้ระบบระบายอากาศแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาว ($b = - 306.368$), 95% CI = - 983.411 ถึง 370.675 และ $p = 0.375$)

ตาราง 5 ความสัมพันธ์ของปัจจัยส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมในการทำงานแต่ละตัวกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงเม็ดเลือดขาวในช่วงระยะเวลา 10 ปี

ตัวแปร	b	S E(b)	95% CI of B		p-value	
			LL	UL		
ปัจจัยส่วนบุคคล						
เพศ	(Intercept)	7837.139	367.7663	7116.330	8557.947	0.000
	ชาย (หญิง ref)	-216.520	397.0723	-994.767	561.728	0.586
อายุ (ปี)	(Intercept)	5965.227	546.0501	4894.988	7035.465	0.000
	Age	50.185	19.3915	12.179	88.192	0.010
BMI	(Intercept)	6732.461	751.5589	5259.433	8205.489	≤ 0.001
	BMI	39.372	28.652	-16.785	95.529	0.169
การสูบบุหรี่ (สูบครั้งคราว ref)						
	(Intercept)	7379.667	734.4727	5940.127	8819.207	0.000
	ไม่สูบบุหรี่	375.857	775.1620	-1143.433	1895.147	0.628
	เคยสูบบุหรี่	340.716	827.3310	-1280.823	1962.255	0.680
โรคประจำตัว						
	(Intercept)	7823.152	195.1127	7440.738	8205.565	0.000
	ไม่มีโรคประจำตัว (มี ref)	-102.643	338.9241	-766.922	561.636	0.762
ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์						
	(Intercept)	7175.389	113.6143	6952.709	7398.069	0.000
	Formaldehyde ปี 2556 และ 2566	3643.558	1242.4846	1208.333	6078.783	0.003

6. ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับสภาพแวดล้อมในการทำงานกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเม็ดเลือดขาวของพนักงาน ในช่วง 10 ปี

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรอิสระ ได้แก่ อายุ ดัชนีมวลกาย (BMI) และปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวในช่วงระยะเวลา 10 ปี พบว่า ปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($b = 3,207.123$, $95\% \text{ CI} = 831.754$

ถึง $5,582.493$ และ $p = 0.008$) เมื่อควบคุมอายุ และ ดัชนีมวลกาย ซึ่งบ่งชี้ถึงผลกระทบทางชีวภาพต่อระบบเลือดจากการได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยชนิดนี้ในระยะยาวแม้จะอยู่ในระดับต่ำสำหรับอายุและดัชนีมวลกาย ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.282$ และ $.184$ ตามลำดับ) ซึ่งอาจสะท้อนถึงอิทธิพลของตัวแปรแวดล้อมที่มีผลมากกว่าตัวแปรด้านชีวลักษณะในบริบทของการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีการสัมผัสสารเคมีเป็นเวลานาน ดังตาราง 6

ตาราง 6 ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับสภาพแวดล้อมในการทำงานกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเม็ดเลือดขาวของพนักงาน ในช่วง 10 ปี

ตัวแปร	b	S E(b)	95% CI of B		P-Value
			LL	UL	
(Intercept)	5,636.332	946.449	3781.293	7491.371	≤ 0.001
อายุ (ปี)	16.592	15.433	-13.656	-13.656	0.282
ดัชนีมวลกาย (น้ำหนัก/ส่วนสูง เมตร ²)	39.680	29.880	-18.884	98.244	0.184
ปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ (ppm)	3,207.123	1,211.946	831.710	5,582.536	0.008

วิจารณ์

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ค่าปริมาณเม็ดเลือดขาว ในกลุ่มพนักงานโรงงานผลิตหินเจียรที่สัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 แม้ว่าระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานจะยังคงอยู่ภายใต้ค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับสมมติฐาน

และหลักฐานจากงานวิจัยก่อนหน้า ที่ระบุว่า การสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในระดับต่ำแต่ต่อเนื่อง อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบเม็ดเลือดและภูมิคุ้มกันในระยะยาว ⁽¹¹⁻¹²⁾

กลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณเม็ดเลือดขาว คือ ภาวะ oxidative stress และการอักเสบระดับเซลล์ที่เกิดจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถสร้างอนุมูลอิสระและมีศักยภาพ

ในการทำลาย DNA รวมถึงกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันอย่างเร็ว⁽¹³⁻¹⁴⁾ การกระตุ้นนี้อาจนำไปสู่การเพิ่มการผลิตเม็ดเลือดขาวโดยไขกระดูก ซึ่งเป็นกลไกที่ร่างกายตอบสนองต่อสารก่อการอักเสบ โดยเฉพาะในผู้ที่ได้รับสัมผัสในระยะยาวแม้ในระดับต่ำ⁽¹⁵⁾

ผลการวิเคราะห์ที่สนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่า การได้รับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์อย่างต่อเนื่องในระดับอาชีพอาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งสะท้อนผ่านระดับเม็ดเลือดขาวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้ จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวในช่วง 10 ปี ได้แก่ อายุ และระดับความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานประกอบการ ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการเฝ้าระวังความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อมในระยะยาว โดยเฉพาะในกลุ่มแรงงานสูงอายุที่อาจมีความไวทางสรีรวิทยาต่อการสัมผัสสารเคมีระเหยสะสม

ผลการวิเคราะห์แบบ generalized estimating equation (GEE) ทั้งในรูปแบบโมเดลแยกและโมเดลพหุคูณ ยังคงพบว่าการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณเม็ดเลือดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.008$) เมื่อควบคุมอายุและดัชนีมวลกาย (BMI) สะท้อนถึงความสัมพันธ์ที่มั่นคงระหว่างการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์กับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เม็ดเลือด⁽¹⁶⁻¹⁷⁾

แม้ปัจจัยด้านอายุและ BMI จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในโมเดลพหุคูณ แต่ยังคงพบแนวโน้มเชิงบวก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ชี้ว่าภาวะอ้วนหรือมีน้ำหนักเกินสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้น

ของระดับการอักเสบเรื้อรังแบบระดับต่ำและการเพิ่มของค่าเม็ดเลือดขาว⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ โดยเฉพาะผู้ที่มีภาวะ metabolic syndrome ร่วมด้วย อาจแสดงค่าพารามิเตอร์เม็ดเลือดผิดปกติได้ง่ายขึ้นเมื่อสัมผัสสารเคมีเรื้อรัง

แม้ในกรณีที่ระดับฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกฎหมายอาชีวอนามัยและความปลอดภัย เช่น 0.75 ppm ตามเกณฑ์ของ OSHA⁽³⁾ หลักฐานบางงานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าระดับต่ำกว่าเกณฑ์นี้ก็อาจมีผลกระทบเชิงชีวภาพต่อพนักงาน เช่น การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน lymphocytes, neutrophils, หรือแม้แต่ค่าของ inflammatory biomarkers^(14,17-18) นอกจากนี้ ยังมีรายงานที่ชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจมีผลสะสมหากไม่มีมาตรการควบคุมต้นทางที่เพียงพอ

จากการประเมินสถานการณ์ในสถานประกอบการ พบว่าระบบควบคุมความปลอดภัยในสิ่งแวดล้อมมักเน้นมาตรการปลายทาง เช่น การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (personal protective equipment: PPE) มากกว่าการใช้ระบบควบคุมต้นทาง เช่น การแทนที่สารด้วยสารที่ปลอดภัยกว่า (substitution) หรือการใช้ระบบระบายอากาศเฉพาะจุด (local exhaust ventilation) ซึ่งอาจยังไม่เพียงพอในการลดการสัมผัสสะสมในระยะยาว โดยเฉพาะในกลุ่มแรงงานที่ทำงานประจำในพื้นที่เสี่ยง⁽³⁻⁴⁾

ข้อมูลจากการศึกษานี้จึงเน้นย้ำความจำเป็นของระบบการเฝ้าระวังสุขภาพแรงงานในระยะยาว โดยเฉพาะในสถานประกอบการที่มีความเสี่ยงสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์อย่างต่อเนื่อง แม้จะอยู่ในระดับต่ำก็ตาม ควรมีการติดตามพารามิเตอร์ทางโลหิตเพิ่มเติมที่เฉพาะเจาะจงต่อการอักเสบ

เช่น C-reactive protein (CRP), interleukin-6 (IL-6) และ tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) ซึ่งจะช่วยให้การประเมินภาวะอักเสบเรื้อรังและความเสี่ยงของโรคระบบโลหิตตั้งแต่ระยะเริ่มต้น^(15,18-19)

ข้อจำกัดของการวิจัย

1) การวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลทุติยภูมิมาทำการวิเคราะห์ ทำให้ไม่ได้ควบคุมตัวแปรกวน (confounding factor) เช่น ควบคุมไม่ให้มีการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในที่พัก

2) ไม่สามารถวัดระดับการสัมผัสของแต่ละบุคคลได้โดยตรง (personal exposure monitoring) ทำให้การเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดขาวเป็นไปในระดับกลุ่มมากกว่ารายบุคคล

3) จำนวนพนักงานที่มีข้อมูลครบทั้งในปี 2556 และ 2566 มีเพียงบางส่วนของพนักงานทั้งหมด ซึ่งอาจไม่สามารถสรุปทั่วไป (generalize) ไปยังพนักงานทุกกลุ่มหรืออุตสาหกรรมอื่นได้

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

1) การเก็บตัวอย่างควรดำเนินการโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างเฉพาะบุคคล (Personal Sampling) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนระดับการสัมผัสสารเคมีของแต่ละบุคคลอย่างแท้จริง

2) ควรเก็บตัวอย่างข้อมูลทั่วไปเพิ่มเติม เช่น ภาวะติดเชื้อเฉียบพลัน การใช้ยา อาจกระทบต่อความแม่นยำในการแปลผลว่าเกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์โดยตรง

3) ควรมีการเก็บตัวอย่างผลตรวจปริมาณเม็ดเลือดขาวเป็นประจำทุกปี เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพและใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสสารเคมีกับผลกระทบทางสุขภาพ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรพิจารณาเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา เพื่อเสริมความแม่นยำในการวิเคราะห์เชิงสถิติ และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการนำผลลัพธ์ไปอ้างอิงหรือประยุกต์ใช้กับประชากรในวงกว้างได้อย่างเหมาะสม

2) การออกแบบการวิจัยในลักษณะติดตามระยะยาวจะช่วยให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือดขาวในระยะยาวและสะท้อนผลกระทบจากการรับสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างแม่นยำกว่าการเก็บข้อมูลแบบตัดขวางเพียงครั้งเดียว

3) ควรมีการบูรณาการการตรวจสุขภาพเพิ่มเติมควบคู่กับการตรวจวัดเม็ดเลือดขาว โดยพิจารณารวมการตรวจค่าทางโลหิตวิทยาอื่น ๆ เช่น ค่าการอักเสบ (C-reactive protein) รวมถึงค่าการทำงานของตับและไตเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการสัมผัสสารเคมีได้อย่างครอบคลุมและลึกซึ้งยิ่งขึ้น

4) ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้สัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสสารเคมีกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเม็ดเลือดขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4) ควรเสริมการศึกษาโดยเก็บข้อมูลด้านความรู้ ทักษะและพฤติกรรมของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการรับสัมผัสสารเคมี เพื่อประเมินความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยดังกล่าวกับระดับการสัมผัสและผลกระทบทางสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานผลิตหินเจียรบริษัท ไดอะ เรซิบอน (ไทยแลนด์) จำกัดในประเทศไทยที่เอื้อเพื่อข้อมูลทางสุขภาพและ

อนุญาตให้ใช้ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในการศึกษารวมถึงเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยและบุคลากรในสถานประกอบการที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในกระบวนการเก็บข้อมูลนอกจากนี้ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินโครงการวิจัย และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำทางวิชาการอย่างต่อเนื่องตลอดการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Concise International Chemical Assessment Document 40: Formaldehyde. Geneva: World Health Organization; 2002.
2. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 2006;88:1-478.
3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Formaldehyde – 1910.1048. Washington DC: U.S. Department of Labor; 2023.
4. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH pocket guide to chemical hazards. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services; 1992.
5. Lee CY, Lee CH, Shih HC, Lin LY. White blood cell count as a potential biomarker of systemic inflammation in workers. Environ Health Prev Med 2020;25(1):12.
6. Ryu JH, Lee HJ, Hwang YJ, Lee HS, Kim JY. Oxidative stress and inflammatory responses in human bronchial epithelial cells exposed to formaldehyde. J Toxicol Sci 2021;46(4):185–95.
7. Zhang L, Steinmaus C, Eastmond DA, Xin XK, Smith MT. Formaldehyde exposure and leukemia: a new meta-analysis and potential mechanisms. Mutat Res 2009;681(2–3):150–68.

8. Zhang L, Tang X, Rothman N, Vermeulen R, Ji Z, Shen M, et al. Occupational exposure to formaldehyde, hematotoxicity and leukemia-specific chromosome changes in cultured myeloid progenitor cells. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2010;19(1):80–8.
9. Szkandera J, Pichler M, Absenger G, Stotz M, Armingier F, Weissmueller M, et al. The elevated preoperative neutrophil–lymphocyte ratio predicts poor clinical outcome in soft tissue sarcoma patients. *Br J Cancer* 2013;108(3):556–60.
10. กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. รายงานผลการตรวจวัดสารเคมีอันตรายในสถานประกอบกิจการทั่วประเทศ ประจำปี 2564. กรุงเทพฯ: กระทรวงแรงงาน; 2565.
11. Tang X, Bai Y, Duong A, Smith MT, Li L, Zhang L. Formaldehyde in China: production, consumption, exposure levels, and health effects. *Environ Int* 2009;35(8):1210–24.
12. Kim Y, Kim H, Lim Y. Oxidative stress biomarkers and inflammatory markers in long-term low-level exposure to organic solvents. *Toxicol Lett* 2013;217(2):191–9.
13. Ballinger SW. Environmental cardiology: oxidative stress and inflammation in cardiovascular disease. *Curr Atheroscler Rep* 2004;6(1):47–52.
14. Chia SE, Ong CN, Foo SC, Lee HP. Medical surveillance of workers exposed to formaldehyde in the furniture manufacturing industry. *Ann Acad Med Singap* 1992;21(5):709–13.
15. Rodríguez-Hernández H, Simental-Mendía LE, Rodríguez-Ramírez G, Reyes-Romero MA. Obesity and inflammation: epidemiology, risk factors, and markers of inflammation. *Int J Endocrinol* 2013;2013:678159.
16. Pan Y, Cai W, Cheng Q, Dong W, An T, Yan Y. Chronic low-grade inflammation in the development of chronic diseases: a review of current literature. *Front Immunol* 2020;11:594206.
17. Hauptmann M, Lubin JH, Stewart PA, Hayes RB, Blair A. Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries. *J Natl Cancer Inst* 2003;95(21):1615–23.
18. Lu K, Collins LB, Ru H, Bermudez E, Swenberg JA. Distribution of DNA adducts caused by inhaled formaldehyde is consistent with induction of nasal carcinoma but not leukemia. *Toxicol Sci* 2010;116(2):441–51.
19. Shen Y, Zhang Y, Xu J, Li Z, Sun Y, Chen X. Aging, inflammation, and the immune system: implications for COVID-19. *J Immunol Res* 2020;2020:8950193.