

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยาและกรดมิวโคนิกในปัสสาวะของประชากร
ที่อาศัยอยู่ในหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศรีษะจรเข้ น้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ
ในปี พ.ศ. 2565-2567

Factor Influencing the Hematological Parameters and Urine t,t-Muconic Acid
among Population Live in Village no.2, 9 and 10 Sisa Chorakhe Noi Sub-
district, Bang Sao Thong District, Samut Prakan during Year 2565-2567 B.E.

กรวิภา วิภักย์นภากุล*, พิชญา วงศ์สุรินทร์, ศศิธร บุญรอด, ชลธิมา นาคดี, พิมพ์ชนก คำไธสง,

ภัทรภณ ยัตติพิณิจ, ปุณชญา คุ่มวงศ์

คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

*Email : kornwipa55@yahoo.com

Abstract

This research aims to assess environmental benzene exposure by measuring the levels of urinary trans,trans-muconic acid (t,t-MA) and complete blood count (CBC), as well as the factors influencing these values, among the population residing in Villages No. 2, 9, and 10 of Sisa Chorakhe Noi Subdistrict, Bang Sao Thong District, Samut Prakan Province. The sample group consisted of 229 individuals who participated in health check-ups with the Faculty of Medical Technology between 2022 and 2024. Data were collected using questionnaires and laboratory test results. The results revealed that the average values of t,t-MA and CBC, the number of abnormal t,t-MA results, and the prevalence of anemia showed no statistically significant differences across the years. Factors including age, sex, body mass index (BMI), alcohol consumption, smoking, dietary habits, residential location, work behaviors, and daily chemical exposure were not associated with t,t-MA levels. However, it was found that individuals who burned grass or inhaled smoke 2-3 days prior to the examination had a 2.5 times higher risk of having t,t-MA levels exceeding the standard limit. Furthermore, individuals with abnormal t,t-MA levels were approximately 1.9 times more likely to have abnormal MCH and RDW values compared to normal individuals. Additionally, t,t-MA levels were found to have a statistically significant negative correlation with WBC and Eosinophil counts. Therefore, it is recommended that this population undergo annual CBC and t,t-MA screenings to monitor for anemia and hematological abnormalities, along with providing education to reduce the risks associated with environmental benzene exposure.

Keywords : trans,trans-muconic acid (t,t-MA), complete blood count (CBC), benzene

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการได้รับสัมผัสเบนซีนจากสิ่งแวดล้อมโดยการตรวจวัดระดับ trans,trans-muconic acid (t,t-MA) ในปัสสาวะและค่าความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) รวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าดังกล่าวในกลุ่มประชากรที่อาศัยอยู่ในหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศีรษะจรเข้น้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ กลุ่มตัวอย่างคือประชากรที่เข้ารับการตรวจสุขภาพกับคณะเทคนิคการแพทย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2565-2567 จำนวน 229 คน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของ t,t-MA และ CBC จำนวนผลที่ผิดปกติของ t,t-MA และภาวะโลหิตจางในแต่ละปีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยด้านอายุ เพศ ดัชนีมวลกาย การดื่มสุรา การสูบบุหรี่ การบริโภคอาหาร แหล่งที่อยู่อาศัย พฤติกรรมการทำงานและการสัมผัสสารเคมี ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับ t,t-MA อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ที่จุดไฟเผาหญ้าหรือสูดดมควันไฟก่อนมาตรวจ 2-3 วัน มีความเสี่ยงที่จะมีค่า t,t-MA สูงเกินเกณฑ์ถึง 2.5 เท่า และคนที่มีความผิดปกติ จะมีโอกาสที่ค่า MCH และ RDW ผิดปกติประมาณ 1.9 เท่าของคนปกติ และพบว่าค่า t,t-MA มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า WBC และ Eosinophil อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงแนะนำให้มีการตรวจ CBC และ t,t-MA เป็นประจำทุกปีในกลุ่มตัวอย่างนี้ เพื่อเฝ้าระวังภาวะโลหิตจางและความผิดปกติทางระบบโลหิต รวมถึงให้ความรู้เพื่อลดความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเบนซีนในสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: trans,trans-muconic acid (t,t-MA), ค่าความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC), สารเบนซีน

บทนำ

สารเบนซีน (Benzene) เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก จึงมีการนำเบนซีนมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตสี หมึกพิมพ์ สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและการผลิตสารเคมีอื่นๆ นอกจากนี้เบนซีนยังสามารถพบได้จากควันบุหรี่ ควันไฟ การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน เช่น สารทำความสะอาด สี และน้ำมันเคลือบไม้ เป็นต้น ประชาชนสามารถได้รับสารเบนซีนโดยตรงจากการทำงานหรือจากสิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำและอากาศ โดยการหายใจ การกินหรือการสัมผัส เมื่อร่างกายได้รับสารเบนซีนแม้ในปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดการสะสมและส่งผลกระทบต่อร่างกายเพราะเบนซีนจัดเป็นสารก่อมะเร็งที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว หากได้รับสัมผัสในระยะยาวมีผลกระทบต่อระบบโลหิตโดยกีดการทำงานของไขกระดูกและการสร้างเม็ดเลือด ทำให้เกิดภาวะโลหิตจางและการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันลดลง (ฉาน ปัทมะ พลย และอนามัย เทศกะทิก, 2566) เมื่อได้รับเบนซีนเข้าสู่ร่างกาย เบนซีนจะถูกเมแทบอลิต์ที่ตับและขับออกทางปัสสาวะในรูปของ trans,trans-muconic acid (t,t-MA) โดยใช้เวลาประมาณ 5-13 ชั่วโมง (ค่าครึ่งชีวิต) จึงจะถูกขับออกทางปัสสาวะ ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับประเมินการสัมผัสสารเบนซีนจากสิ่งแวดล้อมได้ โดยใช้ค่ามาตรฐานตามเกณฑ์องค์กรสมาคมนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienists ; ACGIH) สำหรับผู้สัมผัสสารเบนซีนแบบต่อเนื่องไม่ตั้งใจหรือโดยอาชีพ ควรมีค่าน้อยกว่า 0.5 mg/g creatinine และผลกระทบต่อสุขภาพที่ควรเฝ้าติดตามคือค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยาหรือค่าความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (complete blood count หรือ CBC) ซึ่ง ได้แก่ เม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell; RBC), เม็ดเลือดขาว (White Blood Cell; WBC), เกล็ดเลือด (Platelet; PLT), ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; HB), ฮีมาโตคริต (Hematocrit; HCT), ปริมาตรของเม็ด

เลือดแดงโดยเฉลี่ย (Mean Corpuscular Volume; MCV), ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงโดยเฉลี่ย (Mean Corpuscular Hemoglobin; MCH), ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงเฉลี่ย (Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; MCHC) และความกว้างของการกระจายขนาดเม็ดเลือดแดง (Red Cell Distribution Width; RDW) เพื่อติดตามการเกิดภาวะโลหิตจางหรือความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบโลหิต นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ เช่น ปัจจัยส่วนบุคคล พฤติกรรมการบริโภค พฤติกรรมการทำงานและการสัมผัสสารเคมีในชีวิตประจำวัน อาจมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยา และระดับ t,t-MA ได้ (Polyong & Thetkatuek, 2022; Chaiklieng et al., 2019)

คณะเทคนิคการแพทย์ร่วมกับบริษัทเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) สาขาสุวรรณภูมิ ได้จัดทำโครงการตรวจสุขภาพฟรีเป็นประจำทุกปีให้แก่คนในชุมชนหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศิระชะจรเข้ชั้นน้อย จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมและคลังเก็บน้ำมัน ทำให้บริเวณดังกล่าวอาจมีระดับสารเบนซินปนเปื้อนในบรรยากาศสูงกว่าพื้นที่ทั่วไป รวมถึงมีปัจจัยเสี่ยงจากการจราจรที่หนาแน่น หากประชากรในพื้นที่ได้รับสารเบนซินเข้าสู่ร่างกายในระดับสูงแบบเฉียบพลัน อาจทำให้เกิดอาการวิงเวียนและระคายเคืองทางเดินหายใจ แต่หากได้รับสัมผัสอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (เรื้อรัง) จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อไขกระดูก ทำให้จำนวนเม็ดเลือดขาวลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป และส่งผลเสียต่อสุขภาพในระยะยาว ทำให้ประชากรมีความเสี่ยงในการรับสัมผัสเบนซินจากสิ่งแวดล้อม จึงมีการประเมินการได้รับสัมผัสสารเบนซินโดยวัดระดับ t,t-MA ในปัสสาวะและประเมินภาวะโลหิตจางโดยดูจากผลตรวจ CBC และการสัมภาษณ์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสเบนซิน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยาและระดับ t,t-MA ในปัสสาวะจากกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยในหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศิระชะจรเข้ชั้นน้อย โดยใช้ข้อมูลการสัมภาษณ์และผลการตรวจสุขภาพของประชาชนที่เข้าร่วมโครงการตรวจประเมินภาวะสุขภาพกับคณะเทคนิคการแพทย์ ในปี พ.ศ. 2565-2567 เพื่อเฝ้าระวังและติดตามภาวะโลหิตจางและประเมินการได้รับสัมผัสสารเบนซิน รวมถึงศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของค่า CBC และ t,t-MA เพื่อนำไปสู่การวางแผนป้องกันและดูแลสุขภาพของคนในชุมชนได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อติดตามค่า t,t-MA ในปัสสาวะ และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยา (CBC) เพื่อประเมินการได้รับสัมผัสสารเบนซินและภาวะโลหิตจางของกลุ่มตัวอย่าง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับค่า t,t-MA ในปัสสาวะ กับค่า CBC
3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่า t,t-MA และ CBC ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคล (เพศ อายุ BMI) ปัจจัยด้านพฤติกรรมการใช้ชีวิตและการบริโภค (สูบบุหรี่ ดื่มสุรา อาหารปิ้งย่าง อาหารผสมสารกันบูด sorbic acid) ปัจจัยด้านแหล่งที่อยู่อาศัย ปัจจัยด้านพฤติกรรมการทำงานและการสัมผัสสารเคมี พฤติกรรมที่ปฏิบัติก่อนมาตรวจสุขภาพ 2-3 วัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional survey study)

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง: ประชากรที่เข้าร่วมโครงการตรวจประเมินภาวะสุขภาพกับคณะเทคนิคการแพทย์ ในปี พ.ศ. 2565-2567 และอาศัยอยู่ในหมู่ 2, 9 และ 10 ต.ศรีษะจรเข้ น้อย อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ โดยเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะรายที่มีผลการตรวจครบทั้งค่า t,t-MA และ CBC โดยไม่เปิดเผยชื่อและข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 229 คน
2. การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง การศึกษาในครั้งนี้ผ่านการพิจารณาและได้รับรองการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ เลขที่ HCU-EC1548/2567
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย: ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ
 - 3.1 ข้อมูลจากแบบสอบถาม ได้แก่ ข้อมูลสุขภาพ และข้อมูลส่วนบุคคล (เพศ อายุ BMI) ปัจจัยด้านพฤติกรรมการใช้ชีวิตและการบริโภค (สูบบุหรี่ ดื่มสุรา อาหารปิ้งย่าง อาหารผสมสารกันบูด sorbic acid) ปัจจัยด้านแหล่งที่อยู่อาศัย ปัจจัยด้านพฤติกรรมการทำงานและการสัมผัสสารเคมี พฤติกรรมที่ปฏิบัติก่อนมาตรวจสุขภาพ 2-3 วัน
 - 3.2 ข้อมูลผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่า t,t-MA ในปัสสาวะ (วิเคราะห์ด้วยเทคนิค High-Performance Liquid Chromatography; HPLC) และ CBC (วิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ; Automated hematology analyzer)
4. การวิเคราะห์ข้อมูล: ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 24 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05
 - 4.1. วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปด้วยสถิติเชิงพรรณนา (ความถี่, ร้อยละ, ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
 - 4.2. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตรวจในแต่ละปี ด้วยสถิติ Kruskal-Wallis
 - 4.3. เปรียบเทียบสัดส่วนความผิดปกติของผลตรวจในแต่ละปี ด้วยสถิติ chi-square
 - 4.4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระดับ t,t-MA และค่า CBC ที่ผิดปกติ ด้วย chi-square และ Odds Ratio (OR)
 - 4.5. การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ (correlation analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า t,t-MA และ CBC
 - 4.6. การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาวะโลหิตจาง และผล t,t-MA ที่ผิดปกติ ด้วยสถิติ chi-square

ผลการวิจัย

จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 229 คน ลักษณะข้อมูลทั่วไปมีดังนี้ คือ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 127 คน (ร้อยละ 55.5) และเพศชาย 102 คน (ร้อยละ 44.5) อายุน้อยกว่า 60 ปี มีจำนวน 119 คน (ร้อยละ 51.9) และอายุ 60 ปีขึ้นไป 110 คน (ร้อยละ 48.1) ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ส่วนใหญ่จัดอยู่ภาวะอ้วน (ร้อยละ 55.5) รองลงมาคือน้ำหนักปกติ (ร้อยละ 28.8) น้ำหนักเกินเกณฑ์ (ร้อยละ 9.6) และน้ำหนักน้อยกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 6.1) ระดับการศึกษาส่วนใหญ่จบระดับประถมศึกษา (ร้อยละ 49.8) ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรกรรม (ร้อยละ 24.9) รองลงมาคือธุรกิจส่วนตัว (ร้อยละ 18.8)

1. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ CBC และ t,t-MA และสัดส่วนที่ผิดปกติในแต่ละปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2565-2567 จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของ CBC และ t,t-MA ทั้ง 3 ปีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 1 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนผิดปกติของแต่ละรายการในแต่ละปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2565-2567 โดยใช้สถิติ ไคสแควร์ (Chi-square) พบว่า monocyte และ basophil มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่า mean $\pm$ SD และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า CBC และ t,t-MA ในปีสภาวะ ในปี พ.ศ. 2565-2567

รายการตรวจ	ปี 2565 (72 คน)	ปี 2566 (79 คน)	ปี 2567 (78 คน)	Kruskal-Wallis H ($p\text{-value}$)
Mean $\pm$ SD				
ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC)				
WBC	6,878 $\pm$ 2,177.44	7,034 $\pm$ 2,752.37	7,475 $\pm$ 5,572.61	0.864
RBC	4.86 $\pm$ 0.65	4.86 $\pm$ 0.57	4.94 $\pm$ 0.67	0.815
HB	13.1 $\pm$ 1.51	13.3 $\pm$ 1.69	13.5 $\pm$ 1.62	0.342
HCT	40.8 $\pm$ 4.16	41.1 $\pm$ 4.28	41.9 $\pm$ 4.80	0.468
MCV	84.6 $\pm$ 8.56	85.1 $\pm$ 7.75	85.5 $\pm$ 7.39	0.936
MCH	27.2 $\pm$ 3.09	27.6 $\pm$ 3.14	27.6 $\pm$ 2.88	0.698
MCHC	32.1 $\pm$ 1.03	32.4 $\pm$ 1.27	32.2 $\pm$ 1.21	0.363
RDW	13.9 $\pm$ 1.61	13.8 $\pm$ 1.87	13.9 $\pm$ 1.68	0.635
Platelet	266,292 $\pm$ 126,944.86	247,114 $\pm$ 80,364.87	261,795 $\pm$ 114,639.17	0.465
Neutrophil	52 $\pm$ 9.99	53 $\pm$ 9.84	54 $\pm$ 10.12	0.494
Lymphocyte	38 $\pm$ 8.48	36 $\pm$ 8.71	37 $\pm$ 9.32	0.488
Monocyte	5 $\pm$ 1.29	6 $\pm$ 1.74	5 $\pm$ 1.06	0.053
Eosinophil	5 $\pm$ 4.49	5 $\pm$ 6.67	4 $\pm$ 3.14	0.188
Basophil	1 $\pm$ 0.47	1 $\pm$ 0.53	1 $\pm$ 0.48	0.087
สารเบนซีนในปัสสาวะ				
t,t-MA	0.60 $\pm$ 0.62	0.47 $\pm$ 0.40	0.56 $\pm$ 0.49	0.656

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบจำนวนและร้อยละของผลการตรวจแต่ละรายการ ในปี พ.ศ. 2565-2567

รายการตรวจ	ปี 2565		ปี 2566		ปี 2567		Chi-square (p-value)
	(72 คน)		(79 คน)		(78 คน)		
	ผิดปกติ	ปกติ	ผิดปกติ	ปกติ	ผิดปกติ	ปกติ	
	จำนวนคน	จำนวนคน	จำนวนคน	จำนวนคน	จำนวนคน	จำนวนคน	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC)							
WBC	14 (19.4)	58 (80.6)	9 (11.4)	70 (88.6)	13 (16.7)	65 (83.3)	0.382
RBC	16 (22.2)	56 (77.8)	15 (19.0)	64 (81.0)	21 (26.9)	57 (73.1)	0.302
HB	26 (36.1)	46 (63.9)	15 (19.0)	64 (81.0)	19 (24.4)	59 (75.6)	0.052
HCT	3 (4.2)	69 (95.8)	9 (11.4)	70 (88.6)	10 (12.8)	68 (87.2)	0.159
MCV	20 (27.8)	52 (72.2)	20 (25.3)	59 (74.7)	18 (23.1)	60 (76.9)	0.804
MCH	23 (31.9)	49 (68.1)	21 (26.6)	58 (73.4)	27 (34.6)	51 65.4)	0.541
MCHC	22 (30.6)	50 (69.4)	20 (25.3)	59 (74.7)	23 (29.5)	55 (70.5)	0.748
RDW	23 (31.9)	49 (68.1)	22 (27.8)	57 (72.2)	24 (30.8)	54 (69.2)	0.851
Platelet	1 (1.4)	71 (98.6)	2 (2.5)	77 (97.5)	3 (3.8)	75 (96.2)	0.641
Neutrophil	5 (6.9)	67 (93.1)	4 (5.1)	75 (94.9)	9 (11.5)	69 (88.5)	0.302
Lymphocyte	14 (19.4)	58 (80.6)	12 (15.2)	67 (84.8)	12 (15.4)	66 (84.6)	0.734
Monocyte	19 (26.4)	53 (73.6)	31 (39.2)	48 (60.8)	11 (14.1)	67 (85.9)	0.002*
Eosinophil	13 (18.1)	59 (81.9)	17 (21.5)	62 (78.5)	9 (11.5)	69 (88.5)	0.241
Basophil	0 (0.0)	72 (100.0)	4 (5.1)	75 (94.9)	0 (0.0)	78 (100.0)	0.021*
โลหิตจาง	14 (19.4)	58 (80.6)	13 (16.5)	66 (83.5)	12 (15.4)	66 (84.6)	0.793
สารเบนซีนในปัสสาวะ							
t,t-MA	26 (36.1)	46 (63.9)	31 (39.3)	48 (60.8)	32 (41.0)	46 (59.0)	0.824

2. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆกับค่า t,t-MA ด้วยสถิติ Chi-square ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ และ BMI กับค่า t,t-MA ในปัสสาวะ ไม่พบความสัมพันธ์กัน (p-value > 0.05) ปัจจัยด้านพฤติกรรมการใช้ชีวิตทั้งการสูบบุหรี่และการดื่มสุรามีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA ปัจจัยด้านพฤติกรรมการบริโภค ได้แก่ การกินอาหารปิ้งย่าง เช่น หมูกระทะ เนื้อสัตว์รมควัน และการกินเบเกอรี่ น้ำผลไม้ แยมหรือเครื่องดื่มที่ผสมสารกันบูด sorbic acid ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA ปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย ได้แก่ ที่อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้ปั๊มน้ำมัน คลังน้ำมัน อยู่ซ่อมรถ และโรงงานอุตสาหกรรมในระยะไม่เกิน 2 กิโลเมตร ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA ปัจจัยด้านพฤติกรรมการสัมผัสสารเคมีในการทำงานหรือในชีวิตประจำวัน ได้แก่ น้ำมันเครื่อง น้ำมันรถยนต์ น้ำมันก๊าด ทินเนอร์ แลคเกอร์ กาว สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เครื่องถ่ายเอกสาร น้ำยาทำความสะอาดต่างๆ เช่น น้ำยาล้างห้องน้ำ ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA ปัจจัยด้านพฤติกรรมในการทำงาน ได้แก่ การสวมหน้ากากอนามัยขณะทำงาน การล้างมือก่อนรับประทานอาหาร/ดื่มน้ำทุกครั้ง มีสถานที่รับประทานอาหารที่เป็นสัดส่วน ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA ปัจจัยด้านพฤติกรรมที่ปฏิบัติก่อนมาตรวจสุขภาพ 2-3 วัน ได้แก่ การสูบบุหรี่ก่อนตรวจ การจุดเผาหญ้าหรือสุมตมควันไฟจากการเผาหญ้า การสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชหรือสารเคมีทางการเกษตร การสัมผัสน้ำมันเครื่องหรือน้ำมันรถยนต์ ทินเนอร์ กาว สี

ที่บ้าน สีย้อมผ้า ผลการศึกษาพบว่ามีการจูดเผาหญ้าหรือสวดมควันไฟจากการเผาหญ้าที่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ค่า $OR = 2.5$ (95%CI 1.289 - 4.824) บ่งชี้ว่าพฤติกรรมจูดเผาหญ้าหรือสวดมควันไฟจากการเผาหญ้าภายใน 2-3 วัน ก่อนมาตรวจสุขภาพมีความเสี่ยงที่ทำให้ค่า t,t-MA สูงเกินเกณฑ์ เป็น 2.5 เท่าของผู้ที่ไม่มีพฤติกรรมดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆกับค่า CBC ด้วยสถิติ Chi-square ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ และ BMI พบว่าค่า RBC Hb MCHC และ RDW มีความสัมพันธ์กับเพศ และค่า MCH มีความสัมพันธ์กับอายุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเพศชายมีแนวโน้มที่จะมีค่า RBC Hb MCHC และ RDW ผิดปกติ น้อยกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($OR = 0.416$, 95%CI 0.229-0.758) และบุคคลที่มีอายุน้อยกว่า 60 ปีมีความเสี่ยงที่จะมีค่า MCH ผิดปกติประมาณ 1.9 เท่า ของบุคคลที่มีอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 60 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($OR = 1.9$, 95%CI 1.092-3.452) ในขณะที่ปัจจัยด้านพฤติกรรมการใช้ชีวิต ได้แก่ การสูบบุหรี่ ดื่มสุรา พฤติกรรมการบริโภค ได้แก่ การกินอาหารปิ้งย่าง เช่น หมูกระทะ เนื้อสัตว์รมควันและการกินเบเกอรี่ น้ำผลไม้ แยมหรือเครื่องดื่มที่ผสมสารกันบูด sorbic acid ปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย ปัจจัยด้านพฤติกรรมการสัมผัสสารเคมีในการทำงานหรือในชีวิตประจำวัน รวมทั้งปัจจัยด้านพฤติกรรมที่ปฏิบัติภายใน 2-3 วัน ก่อนมาตรวจสุขภาพ ไม่พบความสัมพันธ์กับค่า CBC

ปัจจัยด้านพฤติกรรมในการทำงาน พบว่าพฤติกรรมการล้างมือมีความสัมพันธ์กับค่า WBC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) และเป็นปัจจัยช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดค่า WBC ผิดปกติ ($OR = 0.357$, 95%CI 0.141-0.903) พฤติกรรมการสวมหน้ากากอนามัยขณะทำงานมีความสัมพันธ์กับค่า HCT และ MCHC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) และเป็นปัจจัยป้องกันต่อการเกิดค่า HCT ผิดปกติ ($OR = 0.316$, 95%CI 0.128-0.778) และ MCHC ผิดปกติ ($OR = 0.536$, 95%CI 0.294-0.977)

4. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่าง CBC และ t,t-MA ด้วย Pearson correlation ผลการศึกษาพบว่า ค่า t,t-MA มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า WBC ($r = -0.130$) และ Eosinophil ($r = -0.160$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ซึ่งจัดว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ไม่พบความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA

5. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง CBC และ t,t-MA ด้วยสถิติ Chi-square ผลการศึกษาพบว่าค่า MCH และ RDW มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) และจากการวิเคราะห์สถิติ Odds Ratio พบว่าบุคคลที่มีค่า t,t-MA ผิดปกติ จะมีค่า MCH และ RDW ผิดปกติ ประมาณ 1.9 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($OR = 1.872$, 95%CI 1.059-3.310 และ $OR = 1.855$, 95%CI 1.045-3.292 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า t,t-MA

6. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะโลหิตจาง และ t,t-MA ด้วยสถิติ Chi-square ผลการศึกษาพบว่า t,t-MA ไม่มีความสัมพันธ์กับภาวะโลหิตจางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ส่งผลต่อระดับสาร t,t-MA ในปัสสาวะที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญ คือพฤติกรรมการสูดดมควันไฟจากการเผาหญ้าหรือชีวมวลในช่วง 2-3 วันก่อนการตรวจสุขภาพ (OR = 2.5) ในขณะที่ปัจจัยด้านอาชีพ การบริโภค หรือการสัมผัสสารเคมีอื่นๆ ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน นอกจากนี้ ระดับ t,t-MA ที่ผิดปกติมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) และ Eosinophil รวมทั้งเพิ่มความเสี่ยงต่อความผิดปกติของดัชนีเม็ดเลือดแดง (MCH และ RDW) ถึง 1.9 เท่า การที่ค่า RDW สูงขึ้นมักสะท้อนถึงความแปรปรวนของขนาดเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นสัญญาณเตือนเบื้องต้นของความเครียดในไขกระดูก แม้ในการศึกษานี้จะยังไม่พบความสัมพันธ์กับภาวะโลหิตจางที่ชัดเจน ซึ่งอาจเป็นเพราะระดับการรับสัมผัส (Low-dose exposure) ยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดภาวะโลหิตจางแบบแสดงอาการ (Overt anemia) อย่างไรก็ตาม แม้ผลการศึกษาจะพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่า t,t-MA กับค่า WBC และ Eosinophil แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จัดอยู่ในระดับน้อย (-0.130 และ -0.160 ตามลำดับ) ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าระดับเบนซีนในสิ่งแวดล้อมที่กลุ่มตัวอย่างได้รับ ยังส่งผลกระทบต่อระบบเม็ดเลือดขาวในระยะเริ่มต้นเท่านั้น

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) พบว่าพฤติกรรมป้องกันส่วนบุคคล ได้แก่ การล้างมือและการสวมหน้ากากอนามัยขณะทำงาน เป็นปัจจัยปกป้อง (Protective factors) ที่ช่วยลดความเสี่ยงของความผิดปกติในค่า WBC, HCT และ MCHC ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาแนวโน้มในช่วง 3 ปี (พ.ศ. 2565-2567) พบว่าค่าเฉลี่ยของ CBC และ t,t-MA ในกลุ่มตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาบริบทของชุมชนหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศีร์ษะจรเข้ชั้น้อย ซึ่งตั้งอยู่ใกล้คลังน้ำมันและแหล่งอุตสาหกรรม แม้จะมีความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อมสูง แต่ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านแหล่งที่อยู่อาศัยกลับไม่มีความสัมพันธ์กับระดับ t,t-MA ชัดเจนเท่ากับพฤติกรรมการจุดเผาหญ้า ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ามลพิษจากการเผาชีวมวลในระดับชุมชน อาจเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายแบบเฉียบพลันและรุนแรงกว่ามลพิษจากแหล่งอุตสาหกรรมในบริบทของการศึกษานี้

อภิปรายผลการศึกษา

1. ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสควันไฟจากการเผาหญ้าและระดับ t,t-MA ในบริบทสิ่งแวดล้อมของชุมชน ผลการศึกษาที่พบว่าพฤติกรรมจุดไฟเผาหญ้าหรือการสูดดมควันไฟจากการเผาหญ้าภายในช่วง 2-3 วันก่อนเข้ารับการตรวจสุขภาพ เป็นปัจจัยส่วนบุคคลเพียงประการเดียวที่มีความสัมพันธ์และเพิ่มความเสี่ยงต่อการมีระดับกรดมิวโคนิกในปัสสาวะ (trans,trans-Muconic acid; t,t-MA) สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานถึง 2.5 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดทางอาชีวอนามัยเกี่ยวกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์และชีวมวล (Biomass burning) ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds; VOCs) รวมถึงสารเบนซีน (Benzene) ขึ้นสู่บรรยากาศ (ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร, 2565) เมื่อพิจารณาบริบททางสิ่งแวดล้อมของชุมชนหมู่ 2, 9 และ 10 ตำบลศีร์ษะจรเข้ชั้น้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรม คลังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน ตลอดจนเส้นทางคมนาคมที่มีการจราจรหนาแน่น แม้ประชากรจะอาศัยอยู่ในเขตที่มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารเบนซีน จากภาคอุตสาหกรรมในชีวิตประจำวัน แต่อภิปรายได้ว่ามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรหรือการเคลียร์พื้นที่ในชุมชน (Open burning) ส่งผลให้เกิดการรับสัมผัสสารเบนซีนในลักษณะเฉียบพลันที่มีความเข้มข้น

สูงในบริเวณใต้ลม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับสารบ่งชี้ทางชีวภาพอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเบนซินเมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจจะถูกนำไปเมแทบอลิต์ที่ตับและขับออกทางปัสสาวะในรูปของ t,t-MA ภายในระยะเวลาอันสั้น (มีค่าครึ่งชีวิตสั้นประมาณ 5-13 ชั่วโมง) การศึกษานี้จึงสะท้อนให้เห็นว่าในบริบทของพื้นที่ศึกษา ควน์ไฟจากการเผาไหม้ทางเกษตรกรรมและชีวมวลในระดับชุมชน ถือเป็นแหล่งสัมผัสสารเบนซินที่สำคัญและส่งผลกระทบแบบเฉียบพลันต่อร่างกายของประชาชนเด่นชัดกว่าการสัมผัสสารเบนซินในระดับต่ำแบบเรื้อรังจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือคลังน้ำมันรอบข้าง

2. ผลกระทบของสารเบนซินต่อระบบโลหิตวิทยา (Hematotoxicity) และความสัมพันธ์ในระดับต่ำ

สารเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งที่มีพิษต่อระบบโลหิตวิทยาโดยตรง โดยกลไกความเป็นพิษเกิดขึ้นผ่านสารเมแทบอลิต์ของเบนซินที่เข้าไปกดการทำงานของไขกระดูก (Bone marrow suppression) และขัดขวางกระบวนการสร้างเซลล์เม็ดเลือด (Hematopoiesis) ผลการศึกษาที่พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างระดับ t,t-MA กับจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) และจำนวนอีโอซิโนฟิล (Eosinophil) รวมถึงการเพิ่มความเสี่ยงต่อความผิดปกติของดัชนีเม็ดเลือดแดง ได้แก่ MCH และ RDW ประมาณ 1.9 เท่าในกลุ่มที่มีค่า t,t-MA ผิดปกติ จัดเป็นสัญญาณเตือนภัยในระยะแรกเริ่มของการเปลี่ยนแปลงทางระบบโลหิตวิทยา (Early hematological alterations) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในอดีตที่พบว่าการสัมผัสสารเบนซินส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของขนาดเม็ดเลือดแดงและความบกพร่องในการสร้างเม็ดเลือดขาว (เอียร์ริสรา วงษ์ศิริสถาวร และคณะ, 2562; Teklu et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ประเด็นสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบระหว่าง t,t-MA กับ WBC ($r = -0.130$) และ Eosinophil ($r = -0.160$) แม้จะมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จัดว่ามีความสัมพันธ์ในระดับที่น้อยมาก (Weak/Low correlation) ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ว่า ประชากรในชุมชนหมู่ 2, 9 และ 10 ได้รับสัมผัสสารเบนซินจากสิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ (Low-dose environmental exposure) ซึ่งส่งผลกระทบให้เกิดความเครียดต่อไขกระดูกในระยะเริ่มต้นเท่านั้น (Subclinical stage) โดยเฉพาะค่า RDW ที่สูงขึ้นซึ่งสะท้อนถึงภาวะเม็ดเลือดแดงมีขนาดไม่เท่ากัน (Anisocytosis) ก่อนที่จะพัฒนาไปสู่ภาวะโลหิตจางที่เด่นชัด ด้วยเหตุนี้ การศึกษานี้จึงยังไม่พบความสัมพันธ์ที่นัยสำคัญระหว่างระดับ t,t-MA กับภาวะโลหิตจางแบบแสดงอาการ (Overt anemia) เนื่องจากการกดไขกระดูกยังไม่รุนแรงพอจนถึงขั้นทำให้ระดับฮีโมโกลบินหรือฮีมาโตคริตลดต่ำลงจนผิดปกติในภาพรวม

3. พฤติกรรมสุขภาพและปัจจัยส่วนบุคคลต่อค่าความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) ในการวิเคราะห์

ปัจจัยส่วนบุคคล ผลการวิจัยพบว่าเพศชายมีความเสี่ยงต่อความผิดปกติของค่า RBC, Hb, MCHC และ RDW น้อยกว่าเพศหญิง ซึ่งข้อค้นพบนี้เป็นไปตามหลักสรีรวิทยาปกติของมนุษย์ เนื่องจากเพศหญิงในวัยเจริญพันธุ์มีการสูญเสียเลือดเป็นประจำทุกเดือนจากการมีประจำเดือน ซึ่งมักส่งผลให้เกิดภาวะขาดธาตุเหล็กแบบแฝงหรือภาวะซีดจากการขาดสารอาหาร (เช่น โฟเลตและธาตุเหล็ก) ได้ง่ายกว่าเพศชาย (Polyong & Thetkatuek, 2022) ในด้านพฤติกรรมสุขภาพ ข้อค้นพบที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ พฤติกรรมการสวมหน้ากากอนามัยขณะทำงานและการล้างมือก่อนรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำ สามารถทำหน้าที่เป็นปัจจัยปกป้อง (protective factors) ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของค่า WBC, HCT และ MCHC ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในบริบทของประชากรในพื้นที่ศึกษาซึ่งส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและรับจ้าง พฤติกรรมการป้องกันตนเองพื้นฐานเหล่านี้ช่วยลดโอกาสในการรับสัมผัสร่วม (Co-exposure) ระหว่างสารเคมีทางการเกษตร ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter; PM) และเชื้อก่อโรคในสิ่งแวดล้อม การสวมหน้ากากอนามัยช่วยลดการสูดดมสารพิษเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ขณะที่การล้างมือช่วยลดการ

ปนเปื้อนของสารเคมีและสารเบนซินที่เกาะติดอยู่ตามผิวหนังไม่ให้เข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร ส่งผลให้ร่างกายเกิดกระบวนการอักเสบเชิงระบบ (Systemic inflammation) ลดลง ซึ่งการอักเสบนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถรบกวนค่าพารามิเตอร์ของเม็ดเลือดขาวและเม็ดเลือดแดงได้ ดังนั้นการส่งเสริมพฤติกรรมสุขวิทยาส่วนบุคคลและการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE) ที่เหมาะสม จึงเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการรักษาความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนในชุมชนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (กนกกาญจน์ เขาเขจร และคณะ, 2565)

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

1. **การรณรงค์ลดการเผาชีวมวลและป้องกันการรับสัมผัส:** หน่วยงานสาธารณสุขและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลในการรณรงค์ลดการจุดไฟเผาหญ้าและเศษวัสดุทางการเกษตร พร้อมทั้งสร้างความตระหนักรู้แก่ประชาชนว่าควันไฟจากการเผาไหม้เป็นแหล่งกำเนิดของสารเบนซิน หากมีความจำเป็นต้องสัมผัสควันไฟ ควรส่งเสริมให้ประชาชนสวมอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจที่เหมาะสมและหลีกเลี่ยงการอยู่บริเวณใต้ลม

2. **การส่งเสริมสุขวิทยาส่วนบุคคลในการทำงาน:** ควรมีการให้สุขศึกษาและเน้นย้ำถึงความสำคัญของการสวมหน้ากากอนามัยขณะปฏิบัติงาน และการล้างมือให้สะอาดก่อนรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำทุกครั้ง โดยจัดให้เป็นมาตรการพื้นฐานด้านอาชีวอนามัย เนื่องจากเป็นปัจจัยปกป้อง (Protective factors) ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของเม็ดเลือดได้อย่างเป็นรูปธรรม

3. **การปรับปรุงแนวทางการเฝ้าระวังสุขภาพ:** ในการตรวจสุขภาพประจำปีสำหรับกลุ่มเสี่ยงที่มีโอกาสรับสัมผัสควันไฟ บุคลากรทางการแพทย์ควรให้ความสำคัญกับการเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของดัชนีเม็ดเลือดแดง (โดยเฉพาะ RDW และ MCH) และจำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) ซึ่งเป็นสัญญาณเตือนระยะเริ่มต้นของผลกระทบทางโลหิตวิทยาจากสารเบนซิน โดยควรดำเนินการเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิดตั้งแต่ยังไม่ปรากฏภาวะโลหิตจาง

4. **การศึกษาผลกระทบระยะยาวแบบติดตามประชากร (Longitudinal Cohort Study):** เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบเรื้อรังของการรับสัมผัสสารเบนซินในระดับต่ำ (Low-dose chronic exposure) ควรมีการออกแบบการศึกษาแบบติดตามกลุ่มตัวอย่างเดิมอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ซึ่งจะช่วยให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดและการทำงานของไขกระดูกได้ชัดเจนกว่าการเปรียบเทียบภาพรวมรายปี

เอกสารอ้างอิง

กนกกาญจน์ เขาเขจร, จุฑามาศ ฉากครบุรี, และสุนิสา ชายเกลี้ยง. (2565). การประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในเกษตรกร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ประเทศไทย. *วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม E-Journal*, 5(1), 9–19.

ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร. (2565). ควันจากการเผาชีวมวล อาจอันตรายกว่าที่คิด. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 26(2). สืบค้นจาก <https://thaienvi.com/storage/ckeditor/file/file-336-Thai-666850626.pdf>

ฉนวน ปัทมะ พลยง, และอนามัย เทศกะทิก. (2566). อาการทางสุขภาพจากการรับสัมผัสสารเบนซินในความเข้มข้นระดับต่ำ ในกลุ่มผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่สถานีให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง จังหวัดระยอง. *J Chulabhorn Royal Acad*, 5(4), 179-190.

- เจียรศิริ วรศิริสถาวร, ชีระศิษฎ์ เนินบำรุง, และพิสิษฐภูมิ อยุทธ. (2562). การเปลี่ยนแปลงค่าความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเบนซีนจังหวัดระยอง. *วารสารสาธารณสุข มหาวิทยาลัยบูรพา*, 27-36. เข้าถึงจาก <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/phjbuu/article/view/168871>
- สุนิสา ขายเกลี้ยง, พรนภา ศุกรเวทย์ศิริ, ศศิธร ตั้งสวัสดิ์, และวิชัย พงษ์ธาราธิกุล. (2560). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพโดยใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสสารเบนซีนในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 26(2), 272-280.
- Chaiklieng, S., Suggaravetsiri, P., Kaminski, N., & Autrup, H. (2019). Factors Affecting Urinary t,t-Muconic Acid Detection among Benzene Exposed Workers at Gasoline Stations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4209.
- Polyong, C. P., & Thetkatuek, A. (2022). Factors influencing the hematological parameters among laborers at a gas service station in Rayong Province, Thailand. *J Public Hlth Dev*, 20(3), 47-53.
- Teklu, G., Negash, M., Asefaw, T., Tesfay, F., Gebremariam, G., Teklehaimanot, G., Wolde, M., & Tsegaye, A. (2021). Effect of Gasoline Exposure on Hematological Parameters of Gas Station Workers in Mekelle City, Tigray Region, Northern Ethiopia. *J Blood Med*, 12, 839-847.